METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN TIEDONANTOJA 947, 2005

SUOSTA METSÄKSI

Suometsien ekologisesti ja taloudellisesti kestävä käyttö

Tutkimusohjelman loppuraportti



Erkki Ahti, Seppo Kaunisto, Mikko Moilanen
ja Irene Murtovaara (toim.)

VANTAAN TOIMINTAYKSIKKÖ

METLA

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN TIEDONANTOJA 947, 2005

SUOSTA METSÄKSI

Suometsien ekologisesti ja taloudellisesti kestävä käyttö

Tutkimusohjelman loppuraportti

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
Jalostusosasto

Erkki Ahti, Seppo Kaunisto, Mikko Moilanen
ja Irene Murtovaara (toim.)

VANTAAN TOIMINTAYKSIKKÖ

Ahti, E., Kaunisto, S., Moilanen, M. ja Murtovaara, I. (toim.). 2005.
Suosta metsäksi. Suometsien ekologisesti ja taloudellisesti kestävä käyttö.
Tutkimusohjelman loppuraportti.
Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 947. 376 s. ISBN 951-40-1987-3
ISSN 0358-4283

Julkaisija: Metsäntutkimuslaitos, Vantaan toimintayksikkö. Hanke 3269.
Hyväksynyt tutkimusjohtaja Kari Mielikäinen 21.11.2005.

Taitto: Irene Murtovaara

Kansikuva: Pekka Pietiläinen

Painopaikka: Vammalan Kirjapaino Oy

Tilaukset: Metsäntutkimuslaitos, Kirjasto
PL 18 (Jokiniemenkuja 3 B)
01301 VANTAA
puh: 010 211 2200
faksi: 010 211 2201
sähköposti: kirjasto@metla.fi

Copyright: Metsäntutkimuslaitos

Kirjoittajien yhteystiedot

Aarnio Jukka
Metsäntutkimuslaitos
Unioninkatu 40 A
00170 Helsinki
jukka.aarnio@metla.fi

Ahti Erkki
Metsäntutkimuslaitos
Vantaan toimintayksikkö
PL 18, 01301 Vantaa
erkki.ahti@metla.fi

Ala-Ilomäki Jari
Metsäntutkimuslaitos
Vantaan toimintayksikkö
PL 18, 01301 Vantaa
jari.ala-ilomaki@metla.fi

Alm Jukka
Metsäntutkimuslaitos
Joensuun toimintayksikkö
PL 68, 80101 Joensuu
jukka.alm@metla.fi

Aro Lasse
Metsäntutkimuslaitos
Parkanon toimintayksikkö
Kaironiementie 54
39700 Parkano
lasse.aro@metla.fi

Domisch Timo
Metsäntutkimuslaitos
Joensuun toimintayksikkö
PL 68, 80101 Joensuu
timo.domisch@metla.fi

Hartman Markus
Metsäntutkimuslaitos
Vantaan toimintayksikkö
PL 18, 01301 Vantaa
markus.hartman@metla.fi

Heräjärvi Henrik
Metsäntutkimuslaitos
Joensuun toimintayksikkö
PL 68, 80101 Joensuu
henrik.herajarvi@metla.fi

Hytönen Jyrki
Metsäntutkimuslaitos
Kannuksen toimintayksikkö
PL 44, 69101 Kannus
jyrki.hytonen@metla.fi

Hökkä Hannu
Metsäntutkimuslaitos
Rovaniemen toimintayksikkö
PL 16, 96301 Rovaniemi
hannu.hokka@metla.fi

Joensuu Samuli
Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio
Soidinkuja 4
00700 Helsinki
samuli.joensuu@tapio.fi

Karsisto Marjut
Metsäntutkimuslaitos
Vantaan toimintayksikkö
PL 18, 01301 Vantaa
marjut.karsisto@metla.fi

Kaunisto Seppo
Metsäntutkimuslaitos
Parkanon toimintayksikkö
Kaironiementie 5
39700 Parkano
seppo.kaunisto@pp4.inet.fi

Kilpeläinen Harri
Metsäntutkimuslaitos
Joensuun toimintayksikkö
PL 68, 80101 Joensuu
harri.kilpelainen@metla.fi

Kojola Soili
Metsäntutkimuslaitos
Vantaan toimintayksikkö
PL 18, 01301 Vantaa
soili.kojola@metla.fi

Laiho Raija
Metsäekologian laitos
Latokartanonkaari 7 (PL 27)
00014 Helsingin yliopisto
raija.laiho@helsinki.fi

Lindblad Jari
Metsäntutkimuslaitos
Joensuun toimintayksikkö
PL 68, 80101 Joensuu
jari.lindblad@metla.fi

Moilanen Mikko
Metsäntutkimuslaitos
Muhoksen toimintayksikkö
Kirkkosaarentie 7, 91500 Muhos
mikko.moilanen@metla.fi

Nieminen Mika
Metsäntutkimuslaitos
Vantaan toimintayksikkö
PL 18, 01301 Vantaa
mika.nieminen@metla.fi

Nuutinen Tuula
Metsäntutkimuslaitos
Joensuun toimintayksikkö
PL 68, 80101 Joensuu
tuula.nuutinen@metla.fi

Penttilä Timo
Metsäntutkimuslaitos
Vantaan toimintayksikkö
PL 18, 01301 Vantaa
timo.penttila@metla.fi

Pietiläinen Pekka
Metsäntutkimuslaitos
Muhoksen toimintayksikkö
Kirkkosaarentie 7
91500 Muhos
pekka.pietilainen@metla.fi

Piirainen Sirpa
Metsäntutkimuslaitos
Joensuun toimintayksikkö
PL 68, 80101 Joensuu
sirpa.piirainen@metla.fi

Päivänen Juhani
Metsäekologian laitos
Latokartanonkaari 7 (PL 27)
00014 Helsingin yliopisto
juhani.paivanen@helsinki.fi

Reinikainen Antti
Metsäntutkimuslaitos
Vantaan toimintayksikkö
PL 18, 01301 Vantaa
antti.reinikainen@metla.fi

Saarinen Markku
Metsäntutkimuslaitos
Parkanon toimintayksikkö
Kaironiementie 54
39700 Parkano
markku.saarinen@metla.fi

Sarjala Tytti
Metsäntutkimuslaitos
Parkanon toimintayksikkö
Kaironiementie 54
39700 Parkano
tytti.sarjala@metla.fi

Sarkkola Sakari
Metsäekologian laitos
Latokartanonkaari 7 (PL 27)
00014 Helsingin yliopisto
sakari.sarkkola@helsinki.fi

Siren Matti
Metsäntutkimuslaitos
Vantaan toimintayksikkö
PL 18, 01301 Vantaa
matti.siren@metla.fi

Stöd Reeta
Metsäntutkimuslaitos
Joensuun toimintayksikkö
PL 68, 80101 Joensuu
reeta.stod@metla.fi

Tomppo Erkki
Metsäntutkimuslaitos
Unioninkatu 40 A
00170 Helsinki
erkki.tomppo@metla.fi

Wall Tapio
Metsäntutkimuslaitos
Joensuun toimintayksikkö
PL 68, 80101 Joensuu
tapio.wall@metla.fi

Verkasalo Erkki
Metsäntutkimuslaitos
Joensuun toimintayksikkö
PL 68, 80101 Joensuu
erkki.verkasalo@metla.fi

Vuollekoski Martti
Metsäntutkimuslaitos
Vantaan toimintayksikkö
PL 18, 01301 Vantaa
martti.vuollekoski@metla.fi

Sisällys

Lukijalle **9**

Ekosysteemi suometsien tutkimuksen ajatusmallina **11**

Suot, metsät ja suometsät 11
Ekosysteemin perustoiminnat soilla ja turvekankailla 13
Perustuotanto 13
Kulutus, hajotus ja aineiden kierrot 14
Sukkessio 16
Monimuotoisuus 17
Muuttuvat suot – muuttuva suometsätiede 18

1 Suomen suometsät 1951-2003 ..... **25**

1.1 Johdanto 26
1.2 Tulosten ja niiden luotettavuuden laskenta 26
1.3 Maaluokkien ja soiden alat sekä ojitustilanne ja niiden muutokset 27
1.4 Soiden jakautuminen metsämaaksi, kitumaaksi ja joutomaaksi 28
1.5 Ojikot, muuttumat ja turvekankaat 29
1.6 Soiden jakautuminen pääryhmiin ja kasvupaikkaluokkiin 29
1.7 Puulajivaltaisuudet korvissa ja rämeillä 30
1.8 Puuston tilavuus 31
1.9 Puuston kasvu 32
1.10 Suometsien hakkuut ja hakkuiden tarve 35
1.11 Tehdyt ojitukset ja kunnostusojitustarve 35
1.12 Johtopäätöksiä 35

2 Turvemaiden ravinteet ja niiden riittävyys **39**

2.1 Turvemaan ravinnevarat 40
2.1.1 Turvemaan ravinteisuuteen vaikuttavat tekijät 40
2.1.2 Ravinnetilaa kuvaavat tunnukset 41
2.1.3 Kasvupaikkatyyppi ravinteisuuden kuvaajana 42
2.1.4 Suometsien sisäinen ravinteisuuden vaihtelu 44
2.2 Suometsien ravinnetilan kehitys ojituksen jälkeen 46
2.2.1 Soiden ravinnekierto ja ojituksen aikaansaamat muutokset 46
2.2.2 Kasvavan puuston ravinnetarve 48
2.2.3 Maan ravinnetilan muutokset ojituksen jälkeen 52
2.2.4 Riittävätkö suometsien ravinteet kestävään puuntuottamiseen? 55
2.2.5 Kaliumtutkimusten tulosten tulkintaa 56
2.2.6 Turpeen ravinnevarojen alueellinen näytteenotto 57
2.3 Suometsien typpitalous 61
2.3.1 Turpeeseen sitoutunut typpi ja sen mineralisaatio 61
2.3.2 Kasvupaikan typpitalouden arviointi 67
2.3.3 Puiden typenoton mekanismit 69
2.3.4 Turpeen typen vaikutus puuston ravinnetilaan ja kasvuun 73
2.4 Puuston ravinnetilan arviointi 81
2.4.1 Ravinneongelmaisten alueiden laajuus ja arviointiperusteet 81
2.4.2 Kasvupaikan ominaisuudet 82
2.4.3 Ravinnepuutosten näkyvät oireet puustossa 84
2.4.4 Lehtien ja neulasten analysointi 87

2.4.5 Valtapuuston ravinnetilan arvioiminen alikasvosten ja eräiden pintakasvillisuuden lajien lehtianalyysillä ... 92

3 Metsäisten turvemaiden kulkukelpoisuus ... 97

3.1 Taustaa ... 98
3.2 Käsitteitä ... 98
3.3 Turvemaiden rakenne ja ominaisuudet kulkukelpoisuutta ajatellen ... 99
3.4 Kulkukelpoisuusmallin kehittäminen ... 100
3.5 Maastokokeet ... 102
3.5.1 Yleistä ... 102
3.5.2 Turvemaan lujuuden mittaus ... 103
3.5.3 Ajoneuvokokeet ... 103
3.6 Tulokset ... 104
3.6.1 Gammasäteilykartat ... 104
3.6.2 Turvemaan lujuuskokeet ... 104
3.6.3 Ajoneuvokokeet ja kulkukelpoisuusmalli ... 107
3.7 Johtopäätökset ... 110

4 Suometsien hoito ... 113

4.1 Kunnostusojitus ... 114
4.1.1 Ojitusalueen hydrologia ... 114
4.1.2 Kunnostusojituksen vaikutus puuston tuotokseen ... 116
4.2 Harvennushakkuut ojitusalueilla ... 121
4.2.1 Suopuustojen rakenne ... 121
4.2.2 Harvennushakkuiden perusteet ... 122
4.2.3 Harvennushakkuiden ekologiset vaikutukset ... 124
4.2.4 Harvennushakkuun puustovaikutukset ... 126
4.2.5 Kunnostusojituksen ja harvennuksen tuotosvaikutukset metsikkö- ja aluetasolla ... 128
4.3 Suometsien lannoitus ... 134
4.3.1 Metsäpuiden tärkeimmät ravinteet ... 134
4.3.2 Lannoitteet ja niiden ominaisuudet ... 135
4.3.3 Ravinnelisäyksen maaperävaikutukset ... 138
4.3.4 Ravinnelisäyksen kasvillisuus- ja puustovaikutukset ... 140
4.3.5 Lannoituksen kannattavuus ... 156
4.4 Suopellot ja suonpohjat puiden kasvualustoina ... 167
4.4.1 Suopellot puuston kasvualustoina ... 167
4.4.2 Suopeltojen männyntaimikoiden lannoitus ... 169
4.4.3 Suonpohjien ominaisuudet ... 171
4.4.4 Metsänkasvatus suonpohjilla ... 173
4.5 Metsänuudistaminen turvemailla ... 177
4.5.1 Uudistettavaa on pian sadoilla tuhansilla hehtaareilla ... 177
4.5.2 Turvemaiden metsänuudistamistutkimuksen historiaa ... 177
4.5.3 Ojitusalueen pintakasvillisuus ja taimettuminen ... 179
4.5.4 Pohjaveden ja raakahumuksen vaikutus taimettumispinnan kosteuteen ... 180
4.5.5 Mätästys luontaisen uudistumisen edistäjänä ... 181
4.5.6 Mätästyksen vaihtoehdot ... 181
4.5.7 Pintamuokkauksen ja mätästyksen vertailun ongelmia ... 182
4.5.8 Voiko turvemaita kulottaa? ... 183
4.5.9 Edistääkö lannoitus taimettumista? ... 183
4.5.10 Alikasvokset luontaisen uudistamisen mahdollisuutena ... 184
4.5.11 Männyn ja kuusen viljelytuloksia ... 185

4.5.12 Kokemuksia rauduskoivun viljelystä ... 186
4.5.13 Ojitusalueiden taimikkotuhoriskit huonosti tunnettuja ... 187
4.5.14 Riittävätkö ravinteet myös toiselle puusukupolvelle? ... 187
4.5.15 Metsänuudistamisen taloudellisuus ojitusalueilla askarruttaa ... 188
4.5.16 Onko turvemaametsien uudistaminen uhka vesistöille? ... 188
4.5.17 Löytyykö ojitusalueiltakin monimuotoisuusarvoja? ... 188
4.5.18 Miten tästä eteenpäin? ... 188
4.6 Suometsätalouden kannattavuus yksityismetsissä ... 194
4.6.1 Uudisojitus ... 194
4.6.2 Kunnostusojitus ... 197
4.6.3 Lannoitus ... 198

5 Korjuuolot ja puunkorjuu ... 203
5.1 Harvennuskertymä ja sen rakenne ... 204
5.2 Ensiharvennusmänniköiden runkolukusarjat ... 207
5.3 Puuston jakautuminen ... 209
5.4 Leimikoiden koko ... 209
5.5 Turvemaiden leimikoiden korjuukelpoisuus ... 210
5.6 Korjuukelpoisuuden parantamismahdollisuudet ... 212
5.6.1 Metsänomistajien ja puunostajien yhteistyö ... 212
5.6.2 Kuitupuun minimiläpimitan alentaminen ... 213
5.6.3 Aines- ja energiapuun integroitu korjuu ... 214
5.6.4 Leimaus- ja ajouravaihtoehdot ... 214
5.6.5 Taimikonhoito ja ennakkoraivaus ... 217
5.6.6 Muita parannuskeinoja ... 217
5.7 Korjuuvaihtoehdot ja niiden soveltuvuus turvemaille ... 218
5.7.1 Kevyen korjuukaluston käyttökokemukset ... 218
5.8 Korjuutyön tuottavuus ja kustannukset ... 221
5.8.1 Metsäkuljetus ... 221
5.8.2 Koneellinen hakkuu ... 222
5.8.3 Korjurin käyttömahdollisuudet ... 225
5.8.4 Korjuuvaihtoehtojen kustannusvertailu ... 226
5.9 Korjuujälki ja sen vaikutukset ... 227
5.9.1 Korjuujäljen seuranta ... 228
5.9.2 Puustovauriot ... 228
5.9.3 Raiteenmuodostus ja siihen vaikuttavat tekijät ... 229
5.9.4 Jäävän puuston ja poistuman rakenne ... 231
5.9.5 Korjuujäljen taloudelliset vaikutukset ja puunkorjuun kokonaistalous ... 233

6 Suometsien käytön vesistökuormitus ... 239
6.1 Kunnostusojituksen vaikutus valumaveden laatuun ... 241
6.1.1 Vanhojen ojitusalueiden vedet ... 241
6.1.2 Kunnostusojituksen vaikutus metsäojitusalueiden valumaveden kemiallisiin ominaisuuksiin ... 245
6.2 Hakkuun ja maanmuokkauksen vaikutus huuhtoutumiin ... 254
6.2.1 Johdanto ... 254
6.2.2 Aineisto ja menetelmät ... 254
6.2.3 Tulokset ... 254
6.2.4 Tulosten tarkastelu ... 256
6.3 Suometsien lannoituksen vaikutus fosforin huuhtoutumiseen ... 259
6.3.1 Tausta ... 259

6.3.2 Fosforin huuhtoutumiseen vaikuttavat tekijät ... 259
6.3.3 Fosforihuuhtoutumien vähentäminen ... 260
6.3.4 Tutkimukset raudan lisäämisestä fosforilannoitteisiin ... 261
6.3.5 Johtopäätökset ... 264
6.4 Huuhtoutuuko tuhkalannoitusaloilta ravinteita vesistöihin? ... 266
6.5 Vesiensuojelu suometsätaloudessa ... 270
6.5.1 Toimenpiteiden suunnittelu ... 270
6.5.2 Laskeutusaltaat ... 271
6.5.3 Vesien pintavalutukseen perustuvat ratkaisut ... 272

7 Suometsien puuraaka-aineen laatu ja soveltuvuus eri käyttötarkoituksiin ... 275
7.1 Johdanto ... 276
7.1.1 Suopuun ja sen laadun merkitys puunkäytössä ... 276
7.1.2 Suopuun laadun tutkimus ... 277
7.2 Puun ja puuraaka-aineen laatu ja suometsien erityispiirteet ... 278
7.2.1 Laadun määrittely ... 278
7.2.2 Hypoteeseja suometsien puun laadusta ja käyttöominaisuuksista ... 279
7.3 Turvemaiden havupuun laatu- ja käyttötutkimukset ... 280
7.3.1 Harvennushakkuut ... 280
7.3.2 Päätehakkuut ... 299
7.4 Turvemaiden hieskoivun laatu- ja käyttötutkimukset ... 316
7.4.1 Taustatilanne ... 316
7.4.2 Hieskoivun puuaineen ominaisuudet ja niiden vaihtelu ... 317
7.4.3 Turvemaiden hieskoivun hakkuukertymät ja puutavaralajirakenne ... 320
7.4.4 Turvemaiden hieskoivu vaneriteollisuudessa ... 322
7.5 Suopuun käyttömahdollisuuksia ja muita johtopäätöksiä ... 324

8 Suometsien kehitysennusteet ... 335
8.1 Suometsien kehitysmallit ... 336
8.1.1 Yleistä kehitysmalleista ... 336
8.1.2 Kuolemismallit männylle ja hieskoivulle ... 336
8.1.3 Kunnostusojituksen kasvureaktion ennustaminen männyllä ... 337
8.2 Valtakunnalliset hakkuumahdollisuudet ... 340
8.2.1 Suometsät osana metsätalouden kestävyyttä ... 340

9 Yhteenveto ... 344
9.1 Taustaa ... 344
9.2 Metsänkasvatuksen perusteet turvemailla ... 344
9.3 Ravinteiden saatavuus ja riittävyys ... 345
9.4 Suometsien lannoitus ... 346
9.5 Kunnostusojituksen tarve ... 346
9.6 Harvennushakkuut ... 346
9.7 Suometsien uudistaminen ... 347
9.8 Suopuustojen tekninen laatu ja käyttömahdollisuudet ... 347
9.9 Turvemaiden puunkorjuu ... 349
9.10 Ravinteiden ja kiintoaineen huuhtoutuminen ... 349
9.11 Suometsien kehitysennusteet ... 350

Liitteet ... 351

Lukijalle

Suomen metsien kasvu jäi 1950-luvulla puun käyttöä pienemmäksi. Tilannetta ryhdyttiin korjaamaan panostamalla voimakkaasti metsänhoidon tehostamiseen ja metsänparannustoimintaan. Soiden ojitustoiminta saavutti huippunsa, lähes 300 000 hehtaarin vuotuisen määrän 1960- ja 1970-lukujen taitteessa ja suometsien lannoitus 1970-luvun puolivälissä yli 100 000 hehtaarin vuotuisilla lannoituksilla.

Ennen valtakunnan metsien kolmatta inventointia (VMI3, 1951-53) soiden ojituksella arvioidaan saavutetun noin 2 miljoonan kuutiometrin vuotuinen puuston lisäkasvu. VMI3:n jälkeen suometsien kasvu on lisääntynyt inventoinnista toiseen ollen VMI8:ssa (1986-1994) jo 7,5 miljoonaa kuutiometriä suurempi kuin VMI3:ssa. Kun lisäksi noin 660 000 ha VMI3:ssa soiksi luokiteltuja ojitusalueita oli siirtynyt kangasmaiden luokkaan (kasvuarvio 2,7 miljoonaa kuutiometriä vuodessa), oli soiden ojituksella saavutettu yhteensä yli 12 miljoonan kuutiometrin vuotuinen kasvun lisäys VMI8:n loppuun mennessä. Suometsien vuotuinen kokonaiskasvu oli tällöin noin 20 miljoonan kuutiometriä. Vasta valmistuneiden VMI9:n tulosten mukaan v. 1951-53 soiksi luokiteltujen maiden kokonaiskasvu oli 23,6 milj. m^3, joten suometsien kasvun suotuisa kehitys on edelleen jatkunut.

Suomen metsien kokonaispoistuma on lisääntynyt 1950-luvulta 2000-luvulle tultaessa noin 20 miljoonalla kuutiometrillä eli 70 miljoonaan kuutiometriin. Suomen kansallisessa metsäohjelmassa esitettiin kotimaisen ainespuun käyttöä energian tuottamiseen lisättäväksi vielä 5-10 miljoonalla kuutiometrillä vuodessa. Kun VMI8:n mukaan metsien kokonaiskasvu oli 77,1 ja VMI9:n mukaan 86,7 miljoonaa kuutiometriä vuodessa, suometsillä on olennainen merkitys metsäteollisuuden puuhuollossa.

Suometsät poikkeavat vesi- ja ravinnetaloudeltaan siinä määrin kangasmetsistä, että on tarvittu ja tarvitaan jatkossakin erityisesti näihin teemoihin keskittyvää monipuolista tutkimusta. Myös suometsien uudistamisessa on omat erityispiirteensä. Perinteisesti vahvan suometsien ekologian lisäksi on tarpeen tutkia myös suopuustojen korjuuta, jota käytännön metsätalous on vieroksunut usein kangasmaita pienemmän saannon ja vaikeampien puunkorjuuolosuhteiden vuoksi. Myös suopuiden tekniset ominaisuudet ja puuaineksen laatu ovat askarruttaneet puun käyttäjiä.

Metsäntutkimuslaitoksessa käynnistyi maa- ja metsätalousministeriön tukemana vuonna 1999 viisivuotinen poikkitieteellinen ”Suometsien ekologisesti ja taloudellisesti kestävän kasvatuksen ja käytön” tutkimusohjelma. Tutkimusohjelmaa suunniteltaessa kohosi esille lähinnä neljä aihekokonaisuutta:

1. **Suopuustojen tila ja toimenpidetarpeet**
2. **Suopuustojen käytön edistäminen**
3. **Puuston kasvun ylläpitäminen/kohottaminen ja vesien suojelu sekä**
4. **Suometsien kehitysennusteet**

Osaa näistä aihekokonaisuuksista on tutkittu kokonaan muissa ohjelmissa, osaa yhteistyössä muiden ohjelmien kanssa. Tässä julkaisussa käytetään hyväksi myös näiden ohjelmien tuloksia mahdollisimman hyvän kokonaiskuvan saamiseksi.

1. Suopuustojen tila ja toimenpidetarpeet. Soiden ja suometsien pinta-aloja, puuston määrää, järeyttä, puutavaralajijakaumia ja kasvua, metsiköiden laatua, tuhoja ja hakkuiden tarvetta sekä niiden alueellista ja kasvupaikoittaista jakautumista on selvitetty yhteistyössä Valtakunnan metsien inventoinnin tutkimusohjelman kanssa.

2. Suopuustojen käytön edistäminen. Tutkimusohjelmassa on tutkittu puunkorjuuoloja ja niiden parantamismahdollisuuksia sekä eri korjuuvaihtoehtoja turvemailla. Turvemaiden puunkorjuuta on tutkittu tutkimusohjelmaan kuuluneessa hankkeessa “Turvemaiden puunkorjuun kehittäminen” ja sen kahdessa, osaksi Tekesin rahoittamassa rinnakkaishankkeessa. Myös Pohjois-Karjalassa toteutetun suometsien yhteiskehityshankkeen keskeisiä tuloksia referoidaan. Suopuustojen käytön edistämiseksi on tutkittu myös suopuiden laatua ja niiden soveltuvuutta eri käyttötarkoituksiin sekä suopuustojen rakennetta ja kehitystä. Puun laatua on tutkittu yhteistyössä Helsingin

yliopiston Metsävarojen käytön laitoksen kanssa ja puuston rakennetta yhteistyössä Helsingin yliopiston Metsäekologian laitoksen kanssa, jotka kumpikin ovat saaneet rahoituksensa Wood Wisdom -tutkimusohjelmasta.

3. Puuston kasvun ylläpitäminen/kohottaminen ja vesien suojelu. Tässä yhteydessä on tutkittu metsänkasvatuksen ravinnetaloudellisia perusteita turvemailla. Erityistä huomiota on kiinnitetty puille käyttökelpoisen typen riittävyyteen ilman lämpösumman ja turpeen typpipitoisuuden funktiona. Tämän lisäksi on kartoitettu pintaturpeen ravinnevaroja kasvupaikkatyypeittäin maan eri osissa sekä luonnontilaisilla että ojitetuilla soilla VMI8:n pysyviltä koealoilta. Nämä ravinnevaratiedot eivät ehtineet tähän raporttiin. Edelleen on kehitetty menetelmiä suopuustojen ravinnetilan arvioimiseksi ja selvitetty erilaisten lannoituskäsittelyjen vaikutuksia puuston kasvuun maan eri osissa ja erilaisilla kasvupaikoilla ja laadittu näiden perusteella lannoituksen vaikutusmalleja ja tuottolaskelmia. Metsänparannustoimenpiteiden vesistöhaittojen vähentämiseksi on kehitetty uusia vaikealiukoisia fosforilannoitteita ja tutkittu fosforin huuhtoutumista lannoitteista yhteistyössä Kemira Agro Oy:n kanssa. On jatkettu Metsätalouden vesistövaikutukset ja Metsätalouden ympäristövaikutukset -hankkeissa aloitettuja selvityksiä kunnostusojituksen vaikutuksista valumavesien laatuun sekä tutkittu erilaisia menetelmiä vesistökuormituksen vähentämiseksi. Lisäksi on tutkittu kunnostusojituksen vaikutusta puuston kasvuun ja laadittu sen pohjalta tuottolaskelmia ja kasvumalleja.

4. Suometsien kehitysennusteet. Tässä yhteydessä on laadittu suometsien kehitysmalleja ja kasvatusohjelmia, joihin on kytketty mukaan myös ravinnetalouden, metsänparannustöiden, puunkorjuuteknologian ja puutavaralajijakaumien vaikutukset ja arvioitu myös valtakunnallisia hakkuumahdollisuuksia.

Tutkimusohjelman toteutus on painottunut aihekokonaisuuksiin 2 (Suopuustojen käytön edistäminen) ja 3 (Puuston kasvun ylläpitäminen/kohottaminen ja vesien suojelu). Taloudellisen kestävyyden tarkastelu tapahtuu pääosin epäsuorasti suometsien tuotokseen kohdistuvien analyysien kautta.

Pääosa tutkimusohjelman tuloksista on julkaistu tieteellisissä julkaisusarjoissa. Tässä raportissa eri aiheita ja tutkimustuloksia käsitellään sekä ajallisesti että sisällöllisesti laajemmin kuin ohjelman aikana saatujen tulosten perusteella olisi mahdollista. Pyrkimyksenä on luoda kustakin aihekokonaisuudesta synteesiä nykytiedon pohjalta. Samalla esitetään vielä julkaisematonta, ohjelman aikana kertynyttä tutkimustietoa.

Tutkimusohjelman toimintaa edistämään perustettiin tukiryhmä, joka aktiivisesti auttoi hankesuunnitelmien arvioinnissa ja tutkimusten edistymisen seurannassa. Tukiryhmässä toimivat ylitarkastajat Matti Heikurainen ja Marja Hilska-Aaltonen maa- ja metsätalousministeriöstä, metsänhoitaja Juhani Kokkonen Metsätalouden kehittämiskeskus Tapiosta, professori Hannu Mannerkoski Joensuun yliopistosta, professori Juhani Päivänen Helsingin yliopistosta, metsänhoitaja Kalervo Rissanen metsähallituksesta sekä metsänhoitopäälliköt Fred Kalland ja Jyri Schildt UPM-Kymmene Oyj:stä. Tutkimusohjelman toimintaa rahoitti Metsäntutkimuslaitoksen lisäksi maa- ja metsätalousministeriö.

Tutkimusohjelman puolesta kiitämme tukiryhmää ja hankkeisiin osallistuneita organisaatioita arvokkaasta avusta ja yhteistyöstä, samoin kuin tutkijoita sekä kaikkia aineistojen keruun ja käsittelyn eri vaiheissa mukana olleita henkilöitä hyvästä ja tuloksekkaasta yhteistyöstä.

Vantaalla 22. joulukuuta 2005

Seppo Kaunisto
Tutkimusohjelman koordinaattori
1999-2001

Erkki Ahti
Tutkimusohjelman koordinaattori
2002-2003

Ekosysteemi suometsien tutkimuksen ajatusmallina

Antti Reinikainen

Suot, metsät ja suometsät

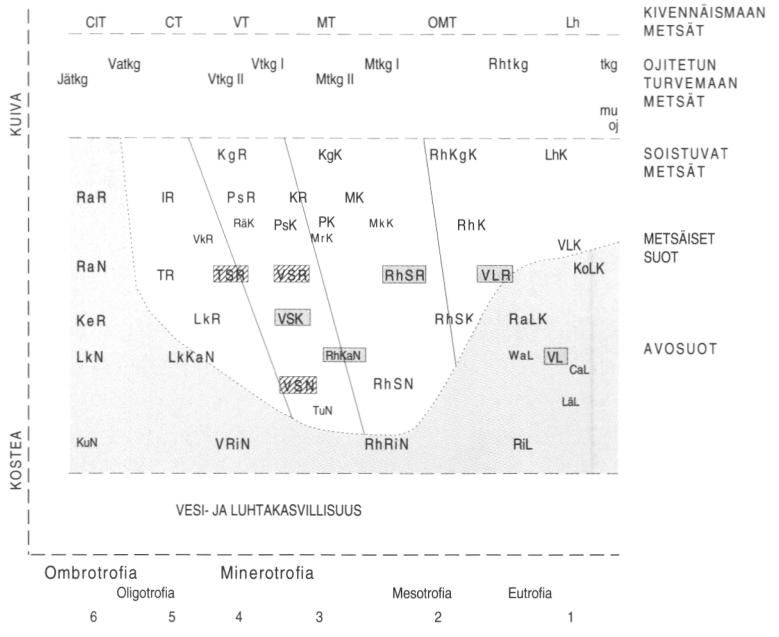
Boreaalisen kasvillisuusvyöhykkeen vallitsevat eliöyhteisöt, kangasmetsät ja suot voidaan ymmärtää yhteen vähittäisen vaihtelun ja keskinäisen vuorovaikutuksen verkkoon kuuluviksi (kuva 1) ekosysteemeiksi. Suot sijoittuvat suurella vesitaloudellisella vaihtelugradientilla metsä- ja vesiekosysteemien väliin. Suon ja metsän raja on boreaalisessa kasvillisuudessa sekä fyysisesti vähittäinen että dynaaminen. Maastossa kangasmetsä vaihettuu suoksi vähittäin ja samoin suon alueella puustoinen suotyyppi aukeaksi (esim. Lumiala 1937). Suon ja metsän muuttuminen luontaisesti toisikseen on molempiin suuntiin mahdollista (esim. Cajander 1911). Puustoisimmat suot ovat samalla myös metsiä ja niillä on suurin mahdollisuus muuttua kangasmetsien kaltaisiksi. Pitkällä aikavälillä boreaalisten soiden jääkauden jälkeisessä kehityksessä voidaan löytää sarjoja nevasta metsäksi ja päinvastoin (esim. Tolonen 1967).

Boreaalisten soiden eliöyhteisöjen vaihtelu, jota kuvataan ja luokitellaan yleisimmin kasvillisuuteen perustuvina suotyyppeinä (kuva 1, mm. Cajander 1913, Laine & Vasander 2005), osataan jokseenkin tyhjentävästi selittää varsin yksinkertaisten ekologisten tekijäin avulla (kuva 2). Suon syntymisen perusehtona on topografian ja kivennäismaan laadun yhteisvaikutuksesta syntyvä veden kyllästämä pohjamaa ja sen pinnan tuntumaan ulottuva pohjaveden taso. Suotyyppi määräytyy sitten suoveden korkeuden, liikkuvuuden ja alkuperän mukaan. Veden alkuperä vaikuttaa ratkaisevasti suokasviyhteisön ravinneresurssien määrään ja laatuun. Ravinnetekijöiden osuus suoekosysteemin ylläpidossa on siten erottamattomasti kytkeytynyt vesitekijään. Vesitalouden dominoivaa merkitystä korostaa ylläpitojärjestelmän nimitys ekohydrologia (Laine & Vasander 1998).

Nettotuotantoa selvästi pienempi kasvibiomassan hajoaminen ja siitä seuraava turpeen kerrostuminen ovat kaikkia soita yhdistävä ja kaikissa määritelmissä suon muista ekosysteemeistä erottava piirre (esim. Moore 1984). Syntyvän turpeen laatu vaihtelee ensisijaisesti veden vaikutuksen määrän ja laadun mukaan suuresti. Rakenteeltaan ja kemialtaan erilaiset turpeet ovat kasvualusta aktuaaliselle kasvillisuudelle, joka taas muodostaa tulevan kasvillisuuden kasvualustan. Niinpä sitten esimerkiksi rahkainen räme, vetinen neva ja lehtokorpi ovat biologisilta toiminnoiltaan hyvin erilaisia systeemejä. Turpeen ja kasvillisuuden välisen vuorovaikutteisuuden sekä tästä aiheutuvan sukkession havaitseminen on helpottanut suon mieltämistä ekosysteemiksi ja ekosysteemiajatusmallin tuloa suoekologiaan (esim. Reinikainen 1980).

Kangasmetsän ekosysteemi syntyy viileän humidissa ilmastossa happamalle kivennäismaalle, jonka maalaji ja topografiset suhteet estävät soistumisen. Myös kangasmetsän kasvualusta kehittyy vuorovaikutuksessa kasvillisuuden kanssa: kivennäismaan pinnalle kertyvästä karikkeesta muodostuu kangashumusta, jonka läpi suotautuva vesi happamoituu ja uuttaa kivennäismaan pinnasta mm. rautaa ja alumiinia muodostaen aikojen kuluessa kerroksellisen podsolimaannoksen (kuva 4). Orgaanista ainesta kertyy humuskerrokseen ja kivennäismaahan karikkeen tehokkaan aerobisen hajotuksen vuoksi olennaisesti vähemmän kuin soilla.

Metsäojitus aloittaa kasvillisuudessa muutosprosessin, jonka lopputuloksena tietyin ehdoin on kangasmetsämäinen kasvillisuus tur-

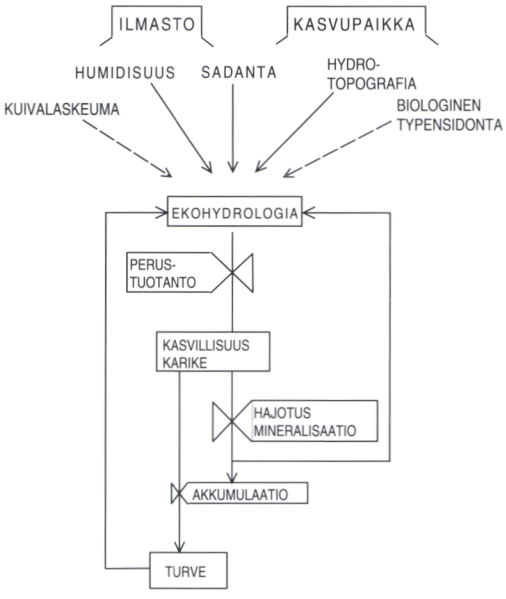


Kuva 1. Suo- ja metsätyypit sekä ojitettujen turvemaiden metsätyypit kahden ekologisen päävaihtelusuunnan, kosteuden ja ravinteisuuden koordinaatistossa. Lyhyt katkoviiva rajaa yläpuolelle suotyypit, joita pidettiin ojituskelpoisina 1950-luvun alussa (Lukkala & Kotilainen 1951). Vyöhykkeet suotyyppien kentässä viittaavat tyypin turvekangaskehitykseen. Vinoviivoitetut ja tummennetut tyypit johtavat II-tyyppien turvekankaisiin (Laine & Vasander 2005). Alimpana Huikarin (1952) ravinteisuusluokat.

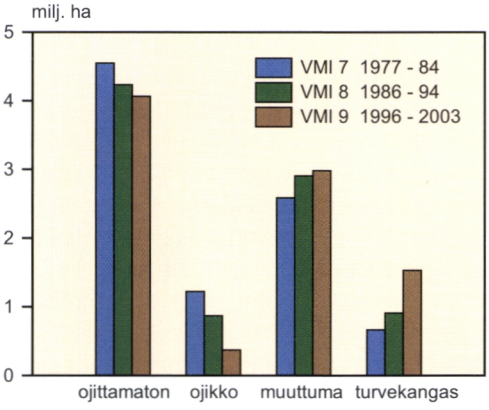
vemaalla. Tätä varhain havaittua (Cajander 1911, Tanttu 1915) kehitystä on seurattu ja tutkittu sekä aluskasvillisuuden että puuston osalta intensiivisesti lähes vuosisadan ajan. Erityyppisten luonnontilaisten suokasvupaikkojen edellytykset kehittyä turvekankaiksi (kuva 1) tunnetaan verraten hyvin. Suotyypin runsasravinteisuus, suhteellinen kuivuus ja reunavaikutuksen eri muodot edistävät turvekankaaksi muuttumista ja vastakkaiset ominaisuudet hidastavat tai ehkäisevät sitä (Laine 1989, Reinikainen 1989, Laine & Vasander 2005).

Valtakunnan metsien inventointi (VMI) on seurannut Suomessa yli 5 miljoonalla hehtaarilla tapahtuvaa ojitettujen soiden muutosta arvioimalla eri kuivatusasteiden (luonnontilainen, ojikko, muuttuma, turvekangas) pinta-alat 1950-luvun alusta lähtien (Ilvessalo 1956). Turvekankaiden kokonaisala on 9. VMI:n mukaan ylittänyt 1,5 milj. ha ja kehitys on kesken yli 3 miljoonalla turvemaan hehtaarilla (kuva 3). Koko VMI:n arvioima ala ei ehkä vielä täytä turvekankaan tuntomerkkejä kasviekologisessa mielessä (Eurola ym. 1991). Seuraavien 20 vuoden aikana turvekankaat nousevat joka tapauksessa luonnonelementiksi, jonka osuus on yli 20 % metsämaan alasta (Hökkä ym. 2002).

Millaisia turvekankaat ovat ekosysteemeinä verrattuina soihin ja kangasmetsiin ja millaisia muutoksia ekosysteemin eri toiminnoissa käydään läpi metsäojituksen seurauksena? Näihin kysymyksiin joudutaan toistaiseksi vastaamaan suhteellisen vähäisten empiiristen aineistojen ja niukkojen tutkimustulosten perusteella verrattuna esimerkiksi ojitettujen soiden puustoja ja kasvillisuutta koskevaan laajaan tietoon (ks. esim. Ruuhijärvi & Reinikainen 1981). Tässä artikkelissa tarkastellaan



Kuva 2. Yksinkertaistettu kaavio suoekosysteemin perusrakenteista ja – toiminnoista sekä ylläpitojärjestelmästä.



Kuva 3. Suomen turvemaiden pinta-alat eri ojitustilanteissa kolmen peräkkäisen VMI:n mukaan.

suon muuttumista metsäekosysteemiksi ekosysteemin perustoiminnoissa tapahtuvien muutosten avulla. Lopuksi pohditaan ekosysteemimalliin perustuvan ajattelutavan merkitystä suometsätieteessä ja soiden metsätaloudellisen käytön ratkaisuissa.

Ekosysteemin perustoiminnat soilla ja turvekankailla

Perustuotanto

Luonnontilaisilla soilla auringon säteilyenergiaa sitovat hyvin monimuotoisesti vaihtelevat, erikoistuneista lajeista muodostuvat kasviyhteisöt (esim. Liedenpohja 1981). Lajisto käsittää laajan skaalan vesikasveista metsäkasveihin. Kasvibiomassa vaihtelee väljästi riippuen erityisesti puuston määrästä (Reinikainen ym. 1984). Metsäisillä soilla biomassa ja tuotanto keskittyvät puustoon, ja niiden kasviyhteisöjen kerrosjakauma muistuttaa kangasmetsien vastaavaa (esim. Solmari & Vasander 1981). Avosoilla kasvillisuus käsittää vain kenttä- ja pohjakerroksen, ja puuttomuuden vuoksi biomassat jäävät pieniksi. Perustuotanto voi silti olla verraten korkea. Esimerkiksi märille kasvupaikoillensa hyvin sopeutuneet sarakasvit ja rahkasammalet yltävät monilla nevatyypeillä yhdessä kokonaistuotokseen, joka ylittää vähäpuustoisten rämeiden nettoperustuotannon (Vasander 1990). Biomassan tuotannon määrä ei avosoilla näytä korreloivan suotyypin boniteettiin, vaan ravinne- ja muilta resursseiltaan hyvin erilaisissa olosuhteissa saavutetaan saman suuruusluokan tuotantotehokkuuksia (Liedenpohja 1981). Varsinkin saravaltaisilla avosoilla maanalaisen biomassan tuotannon määrä on osoittautunut aiemmin arvioitua suuremmaksi (Laine & Vasander 1998). Tuotannon kokonaistehokkuus luonnontilaisilla soilla mitattuna käyttökelpoisen säteilyn osuudesta on n. 30 suotyyppiä koskevissa määrityksissä vaihdellut välillä 0,7-1,5 % avosoilla, 0,7-1,4 % vähäpuustoisilla (puusto <60 m^3/ha) soilla ja 0,9-3,5 % metsäisillä soilla (Reinikainen ym. 1984).

Metsäojitus, jonka tarkoituksena on saattaa kasvatettaville puulajeille alioptimaalinen kasvupaikka vastaamaan näiden kangasmailla optiminsa löytävien kasvien vaatimuksia, horjuttaa ekohydrologiana ilmenevää suon ylläpitojärjestelmää ja useimmiten lopettaa

sen kokonaan. Suokasvillisuuden vaatimat tekijäkompleksin osat heikkenevät tai lakkaavat olemasta. Kasvupaikan boniteetti eli hyvyys kasvatettavan puulajin kannalta sekä lähtöpuusto lähinnä ratkaisevat, miten nopeasti ja missä määrin perustuotannon painopiste siirtyy puustoon (Reinikainen 1981). Metsäojituskelpoisilla soilla biomassan allokaatio puustoon, joka runsaspuustoisissa korvissa on luonnontilassakin yli 90 % (Solmari & Vasander 1981), saavuttaa tämän rajan yleensä viimeistään 20 vuodessa. Biomassan ja tuotoksen kerrosjakauman muutoksen myötä kokonaistuotanto ja sen tehokkuus nousevat vastaavan boniteetin kangasmetsien tasolle (ks. Mälkönen 1974, Reinikainen 1980). Karuilla rämeillä ja nevaojituksilla kenttä- ja pohjakerroksen osuus biomassasta ja tuotannosta voi pitkään säilyä merkittävällä 10-30 %:n tasolla, ja tuotannon kokonaistehokkuus nousee hyvin vähän (Reinikainen 1981).

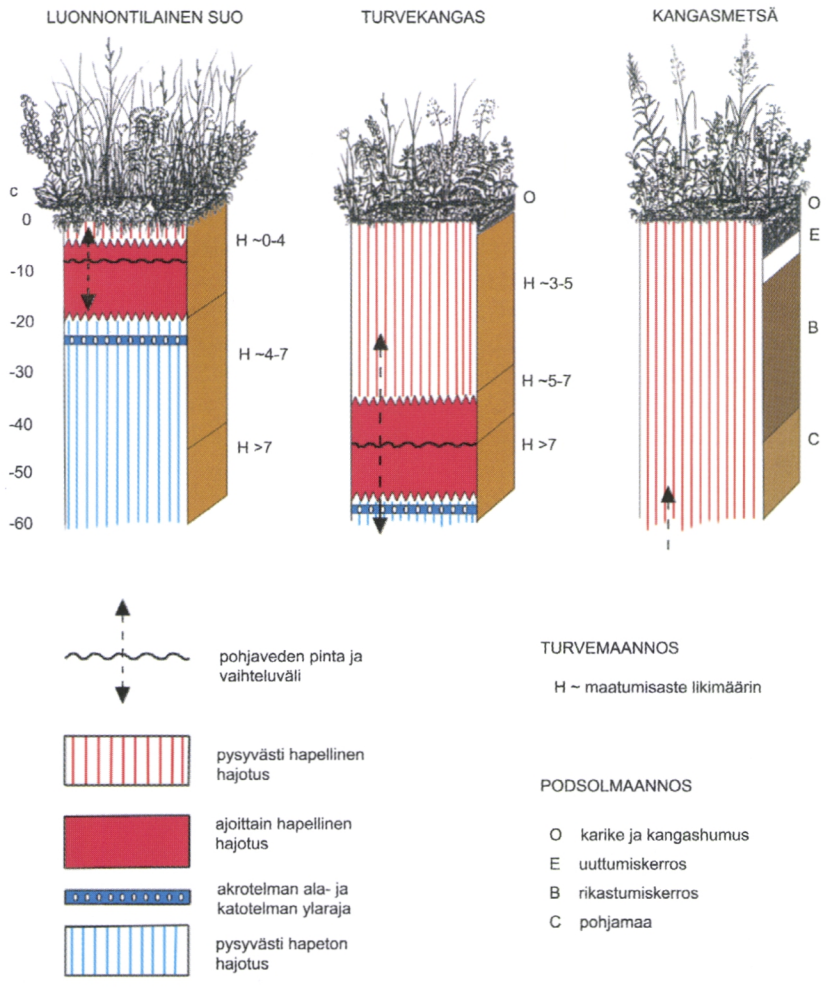
Metsäojituksen tavoitteiden kannalta on siis tärkeintä biomassan allokaation muuttuminen kahdella tasolla, aluskasvillisuudesta puustoon ja puuston sisällä sen keskittyminen runkoon. Suopuustoissa ei viimemainitussa prosessissa aina saavuteta samaa tasoa kuin kangasmetsissä. Syitä tähän ovat mm. puustojen luontainen harvuus ja kasvupaikalle epäsopiva puulaji (Hökkä ym. 2002). Turvekankailla voivat vajaapuustoisuus ja tuotoksen aleneminen liittyä suon luonnontilaiseen ekologiaan. Tuotannon allokaation muuttumista kangasmetsämäiseksi hidastavat tunnetut keskustavaikutteiset kompleksitekijät, nevaisuus ja ombrotrofia (esim. Reinikainen 1989). Niiden vallitsemilla soilla on paljon metsittymiselle ja puuston kasvulle epäsuotuisaa pintaa, mikä johtaa pysyvään vajaapuustoisuuteen.

Kulutus, hajotus ja aineiden kierrot

Perustuotannossa syntyneen orgaanisen aineksen kohtalo luonnontilaisessa suoekosysteemissä tunnetaan parhaiten biologisesta kierrosta syrjäytyvältä eli turpeeksi kasautuvalta osuudelta. Suomen soiden keskimääräistä vuotuista vertikaalista kerrostumisnopeutta 0,5 mm/a (mm. Korhola & Tolonen 1996) vastaa keskimääräinen hiilen kerrostumisnopeus (LORCA) 18,5g/m^2/a, mikä taas vastaa kasvibiomassaa n. 37 g/m^2/a (Turunen ym. 2002). Kun soiden keskimääräinen nettoperustuotanto lienee välillä 200-500 g kasvibiomassaa neliömetrillä vuodessa (Vasander 1990), on turpeen akkumulaatio karkeasti 10 % kasvintuotannosta. Soiden kasvimassasta hyvin pieni osa, ehkä 1-2 %, joutuu eläinten eli varsinaisten kuluttajien syötäväksi (Laine & Vasander 1998). Muutamaa poikkeustapausta – esim. märät avoimet lintusuot, joilla on myös runsas selkärangattomien sekundäärituotanto – lukuun ottamatta suot tuottavat vähän kelvollista ravintoa eläimille.

Valtaosa kasvibiomassasta joutuu siis hajottajaravintoketjuun, jossa sitä esikäsittelevät selkärangattomat maaperäeläimet. Näistä ensimmäisen asteen kuluttajat syövät kuollutta kasviainesta. Ainakin puustoisten soiden pintaturpeessa esiintyy samoja maaperäeläinten ryhmiä kuin kangasmetsissä. Yksilömäärien ja biomassojen perusteella voidaan arvioida niiden merkityksen turpeen hajotuksessa olevan suhteellisesti samaa suuruusluokkaa kuin kangasmetsien karike- ja humuskerroksessa (Vilkamaa 1981). Useissa tutkimuksissa on päädytty arvioon, että eläinten osuus esihajottajina on keskimäärin 10-15 %:n luokkaa (ks. Reinikainen 1980).

Varsinaisten hajottajien, s.o. mikrobien, osuudeksi jää siis n. 70-80 % syntyvästä kasvibiomassasta. Lopullinen orgaanisen aineen varastoituminen turpeeseen riippuu myös sen viipymisestä hapekkaassa pintakerroksessa eli akrotelmassa (Laine & Vasander 1998): kuta pitempi on viipymä, sitä suurempi on aerobisesti hajoava osuus (kuva 4). Hapettomassa katotelmassa hiiliyhdisteiden hajotus jatkuu hidastuvana anaerobisten bakteerien toimesta tuottaen mm. hiilidioksidia, metaania ja rikkivetyä. Katotelmassa tapahtuva hidas hajotus pienentää turveprofiilin todellisen hajoamisen (ARCA) noin 2/3:aan LORCA-arvosta (Korhola & Tolonen 1996).



Kuva 4. Luonnontilaisen suon, turvekankaan ja kangasmetsän pintamaan (n. 60 cm) maalajien, pohjavesisuhteiden ja hapekkuus-(aerobisuus-)tilanteen yksinkertaistettu vertailu. Piirros: H. Nousiainen ja T. Haikarainen.

Ojituksen vaikutus hajotukseen ekohydrologian kautta perustuu lähinnä pohjavesipinnan alenemiseen (kuva 4). Syntyy epämääräiseksi ajaksi detritusekosysteemien vaihettuminen (gradientti) pinnalla vallitsevista terrestrisistä olosuhteista kasvavan märkyyden ja hapettomuuden luonnehtimiin limnisiin oloihin (ks. Paavilainen & Päivänen 1995). Aerobinen akrotelma laajenee vertikaalisesti ja anaerobisen katotelman yläraja vaipuu syvemmälle turpeeseen (ks. Laine & Vasander 1998). Kuivemmissa ja hapekkaammissa olosuhteissa pintaturpeen hajotus nopeutuu ja uuden muuttuvan kasvillisuuden tuottaman orgaanisen aineen hajotus alkaa turpeen pinnalla etäällä pohjavedestä, kuivissa ja yhä kangasmetsämäisemmiksi kehittyvissä olosuhteissa. Turpeen muodostuminen loppuu ja laajenneessa akrotelmassa ammoin syntyneen turpeen aerobinen hajotus alkaa uudelleen. Pinnalla hajoavasta, yhä enemmän metsäkasveista koostuvan karikkeen ylijäämästä

taas syntyy kangashumusta, joka karuilla turvekankailla voi kertyä nk. kunttakerrokseksi (esim. Kaunisto & Paavilainen 1988). Turpeen hiilivarastoa lisää myös kasvava juuristobiomassa ja kasvien maanalaisten osien karike (Laiho & Finér 1996).

On ilmeistä, että ainakin keskiravinteiset (Mtkg, Ptkg) ja sitä karummat ojitetut suot ovat edelleen hiiltä maaperään varastoivia systeemejä kangasmetsien tapaan. Humuksena akkumuloituvan hiilen määrä on kuitenkin pienempi kuin ojittamattomalla suolla. Tarkkoja määriä ja osuuksia perustuotannossa sitoutuneesta hiilestä ei tunneta. Ohutturpeisilla rehevillä soilla turpeen hajoaminen voi olla ojituksen jälkeen nopeata ja johtaa turvekerroksen ohenemiseen ja muuttumiseen multamaiseksi. Valtaosa VMI-tietoihin perustuvasta suopinta-alan vähenemisestä, mikä on arvioitu 660 000 ha:ksi (Hökkä ym. 2002), lienee luettava tämän ilmiön aiheuttamaksi. Ojitetun suon turpeen ns. detritusekosysteemi muuttuu hiilitaseeltaan heikommin positiiviseksi tai negatiiviseksi. Koko systeemin tasolla tätä kompensoi puuston biomassan kasvu, joka pitää hiilitaseen positiivisena sitä selvemmin mitä paremmin puusto kasvaa. Viljavuudeltaan keskimääräisen ojitusalueen (suotyyppi VSR) puuston on laskettu pitävän ojitetun turvemaan ekosysteemin luonnontilaista suota tehokkaampana hiilen nettositojana puuston käsittelystä riippuen 100-300 vuotta (Laine & Minkkinen 1996a).

Perustuotanto-, kulutus- ja hajotusprosessien avulla ekosysteemi ylläpitää aineiden biogeokemiallista kiertokulkua. Suoekosysteemit osallistuvat tehokkaasti myös veden fyysiseen kiertoon (esim. Ahti 1987) ja sen mukana mm. ravinteiden huuhtoutumiseen ekosysteemistä. Bioottisten rakenneaineiden, kuten hiilen, suurkierrossa soilla on merkitystä globaalisessa mitassa.

Ravinteiden kierrot ovat tietyssä määrin analogisia hiilen ja muiden rakenneaineiden dynamiikan kanssa. Luonnontilassa suot ovat myös ravinnenieluja (Laine & Vasander 1998). Ne keräävät biologisen kierron ulottumattomiin etenkin suuria typpimääriä. Sekä onnistuneen metsäojitustuloksen että ekosysteemin turvekankaaksi kehittymisen kannalta ravinteiden sisäisen kierron nopeutuminen ja turpeen ravinnevarojen käyttöön saanti ovat oleellisia. Muuttuvan suon ravinnedynamiikka onkin viime vuosikymmeninä noussut suometsäekologian keskeiseksi teemaryhmäksi, kuten tämänkin niteen sisältö osoittaa.

Sukkessio

Suoekosysteemin ajallinen muutosdynamiikka on helposti havaittavaa ja monisuuntaista. Luonnontilassa voi suoyhdistymän eri osissa olla käynnissä kasvillisuuden muuttumista eri suuntiin (esim. Paasio 1935, Reinikainen 1990). Suoekosysteemissä jatkuvasti tapahtuvien yhteisöllisten muutosten sijoittaminen sukkessioteorian käsitteistöön on ongelmallista (ks. esim. Hanski ym. 1998). Onko esimerkiksi soistuminen luettava primäärisen vai sekundäärisen sukkession piiriin ja mitkä suosukkessioista ovat autogeenisiä, itsestään "bioottisin voimin" eteneviä ja mitkä taas allogeenisiä, ulkopuolisista impulsseista lähteviä?

Sellaisissa ilmastollisissa ja topografisissa olosuhteissa, joissa soistumisen edellytykset ovat olemassa, sukkessio yleensä etenee kohti suon ekologisia ominaisuuksia ja loittonee vastaavasti kangasmetsän piirteistä (Sjörs 1955). Vaihtelugradientit metsäisyydestä puuttomuuteen kuuluvat suotyyppien vaihtelun verkostoon ja yleisimmin muutoksen suunta on kohti puuston vähenemistä. Kyse on yleensä sukkessiosta, joka heikentää reunavaikutusta ja vahvistaa keskustavaikutusta. Keidassuoalueella vallitseva suunta on kohti ombrotrofiaa, irtautumista suon ulkopuolelta tulevasta ravinnelisästä. Aapasuoalueella keskustavaikutteisuuden lisääntyminen ilmenee ensisijaisesti nevaisuutena, mutta missä tulva ei estä rahkoittumista, syntyy myös aapasuoalueilla keitaita ombrotrofisen kasvillisuuden vallitsemine jänteineen (Ruuhijärvi 1983). Sukkessio kangasmetsäisyyden suuntaan näyttää edellyttävän kuivattavaa ekohydrologista muutosta (Cajander 1911, Sjörs 1955). Pitkällä aikavä-

lillä ilmastonmuutokset vaikuttavat soilla vallitseviin sukkessiosuuntiin (esim. Vasari 2000).

Ojituksen suoekosysteemissä käynnistämä muutos täyttää allogeenisen sekundäärisukkession tuntomerkit. Sen panee liikkeelle äkillinen ja useimmiten radikaali muutos ekosysteemin ylläpitojärjestelmään kasvupaikalla vaikuttavassa ekohydrologisessa (=ravinnehydrologisessa) kompleksissa (kuva 2). Ojaverkosto suunnitellaan ensisijaisesti pohjaveden pinnan alentamiseksi ja vesien liikkeelle saamiseksi (esim. Päivänen 1990). Suon ekohydrologian erityispiirteitä, kuten suon ulkopuolelta lisäravinteita tuovia reunavaikutuksen eri muotoja (korpisuus, luhtaisuus, lähteisyys), ei yleensä voida ottaa huomioon metsäojituksessa.

Ojitusukkession eteneminen tunnetaan kasvillisuuden muuttumisen osalta varsin monipuolisesti (ks. esim. Laine 1989, Laine ym. 1995, Hotanen ym. 1999). Pohjaveden pinnan alenemisen aiheuttamat muutokset kasviyhteisöissä ovat aluksi nopeita. Sarasto (1952) erottaa kasvillisuuden 30-vuotisessa alkukehityksessä kolme vaihetta, ”rynnäkkö-”, ”taistelu-” ja ”tasoittumisvaiheet”, joissa lajisto ja lajiluku vaihtelevat aluksi nopeasti. Sukkessiota on myös ehdotettu jaettavaksi kahteen päävaiheeseen, kuivatusukkessioon ja metsäsukkessioon (esim. Reinikainen 1990). Tällöin ensimmäistä vaihetta luonnehtivat äkillisen häiriön tuntomerkit, suolajien väistyminen, kilpailun väheneminen ja uuden lajiston, usein pioneeriluonteisen ilmestyminen. Puusto, joka kehittyy aluskasvillisuuden muutoksesta riippumattomana (esim. Laine & Vasander 1990), alkaa yhä enemmän vaikuttaa aluskasvillisuuteen. Puuston biomassan kasvaessa voimistuvat sen kolme erilaista vaikutustapaa: latvusvarjostus (esim. Korpela 2004), kariketuotanto (esim. Paavilainen 1980) ja pohjaveden pintaa alentava haihdunta (Ahti 1988). Puustosta tulee metsäsukkessiota ylläpitävä tekijä.

Suoekosysteemin muun eliöstön, selkärankaisten ja selkärangattomien eläinten sekä sienten ja mikrobien muutoksesta ja osallisuudesta ojitussukkessioon tiedetään vähän. Eniten on aineistoja linnustosta, maaperäeläimistä ja makrosienistä. Perusoletus on, että muutos myötäilee kasvillisuuden muuttumista ja että eliöstö kokonaisuudessaan alkaa muistuttaa kangasmetsien yhteisöjä (esim. Reinikainen ym. 1998). Kuluttajaeliöstön muuttumisen kannalta ratkaisevia prosesseja ovat puuston kehitys (esim. Eurola & Huttunen 1990) ja turpeen detritusekosysteemin olosuhteiden muutos (kuva 4, esim. Markkula 1981, Karsisto & Kitunen 1995).

Eri eliöryhmille metsäksi muuttuva suoekosysteemi merkitsee erilaista elinympäristön muutosta. Esimerkiksi lintulajeihin vaikuttavat eniten metsikön rakenteelliset maisema- ja habitaattitason muutokset (Hildén 1965). Metsittymisen ja puuston sulkeutumisen seurauksena avosoita ja soiden reunoja suosiva lajisto katoaa ja korvautuu metsälajistolla. Turvekankaaksi muuttuminen näyttää suosivan sopeutumiskykyisiä yleisimpiä metsälajeja (Väisänen & Rauhala 1983). Mikrobisto ja maaperäeläimistö kehittyvät vuorovaikutteisesti turpeen fysikaalisten ja kemiallisten muutosten sekä kasvillisuuden kanssa. Ne ovat suoraan riippuvaisia välittömän fyysisen ympäristönsä, ”kasvupaikkansa”, muutoksista. Niiden merkitys sukkessiossa suosta turvekankaaksi näyttää olevan ratkaiseva ennen kaikkea ekosysteemin maanpäällisen tuottavan ja turpeessa toimivan kuluttavan osasysteemin vuorovaikutuksen kautta (Wardle ym. 2004).

Monimuotoisuus

Suokasvillisuuden ja -kasvupaikkojen monimuotoisuus määräytyy ekohydrologisen järjestelmän tarjoamien vesi- ja ravinnetalouden vaihtelun ulottuvuuksien ja yhdistelmävaihtoehtojen mukaan (esim. Korpela & Reinikainen 1996). Täysin kehittyneessä suoyhdistymässä, esimerkiksi Oriveden Lakkasuon viettokeitaalla, ekologiset gradientit ovat pitkiä (Laine ym. 2002). Kasvillisuuden vaihdellessa moniulotteisesti metsä- ja vesikasvillisuuden välillä lajistollinen monimuotoisuus on suuri. Lajimäärä ylittää moninkertaisesti esimerkiksi vastaavankokoisen yhtenäisen kangasmetsäalueen lajiston.

Ojitussukkession edetessä kasvilajisto ja lajimäärä muuttuvat siten, että alkuperäisestä suotyypistä riippuen 10-85 % lajistosta on vaihtunut, kun turvekangasvaihe saavutetaan (Larmola 1997). Ilmeisesti vaihtuminen voi joissakin tapauksissa märimpien tasa- ja rimpipintaisten soiden ojituksilla nousta 100 %:iin. Lajimäärän huippu osuus usein nuoreen muuttumavaiheeseen, jossa sekä suo- että metsälajistoa on läsnä (Sarasto 1961). Turvekankaiden kypsän vaiheen lajimäärä saattaa sitkeiden suokasvireliktien ansiosta säilyä hieman korkeampana kuin vastaavien kangasmetsätyyppien (Larmola 1997). Suuresta vaihtuvuudesta huolimatta ei tiettyä suotyyppiä edustavan kuvion näytealan lajimäärä sanottavasti muutu. Nk. alfa-diversiteetti eli habitaatin inventaariodiversiteetti voi pysyä samassa suuruusluokassa. Eniten lajimäärä alenee alkuaan märillä ja rehevillä reunavaikutteisilla suotyypeillä, vähiten kuivilla ja karuilla, alkuaan puustoisilla soilla (esim. Reinikainen 1984).

Kun soiden, kuten muidenkin luontotyyppien merkitystä kokonaisdiversiteetin kannalta arvioidaan, tärkeiksi nousevat alfa-diversiteettiä korkeammat monimuotoisuuden hierarkian tasot. Turvekankaaksi kehittyminen merkitsee: 1) betadiversiteetin pienenemistä ekologisten gradienttien lyhenemisen takia (Larmola 1997), 2) kangasmetsämäistymistä eli aluetason diversiteetin vähenemistä (Reinikainen 1984), 3) tietyn "arvodiversiteetin" vähenemistä; tämä koskee erityisesti lehto- ja ruohokorpien, märimpien soiden sekä ekohydrologialtaan herkkien reunavaikutteisten habitaattien lajistoa.

Muutokset soiden lajistollisessa koostumuksessa ja monimuotoisuudessa kertovat ilmeisistä toiminnallisista muutoksista. Ekosysteemitutkimuksessa suhteellisen uusi toiminnallisen monimuotoisuuden näkökulma (esim. Wardle ym. 2004) on toistaiseksi lähes kokonaan hyödyntämättä suometsätieteessä (ks. Eurola & Huttunen 1990). Viitteitä lähestymistavan hyödyllisyydestä on saatu erityisesti muuttuvien soiden hajotustoimintojen ja kasvihuonekaasujen dynamiikan tutkimuksessa (esim. Laine & Minkkinen 1996b).

Muuttuvat suot – muuttuva suometsätiede

Viimeistään Cajanderin (1911, 1913, 1914) aktiivisimmasta suontutkimuksellisesta kaudesta lähtien soiden metsätaloudellinen hyödyntäminen on perustunut tutkimukseen. Jo 1920-luvun alussa voidaan todeta omaleimaisen suometsätieteen ja sen suomalaisen version syntyneen (ks. esim. Tirkkonen 1952). Tieteenalan kehitys on ollut hyvin pragmaattista. Sen tutkimusongelmat ovat lähtöisin metsätalouden tarpeista. Suometsätiede on sisällöllisesti muotoutunut monitieteiseksi pienoismetsätieteeksi. Suometsätieteellä ei ole ollut omaa erilaistunutta oppirakennelmaa. Tutkimusta yhdistävä tekijä on ollut tutkimuksen kohde, suot ja turvemaa. Tieteenalan dominoivana tavoitteena on ollut kehittää keinoja soiden puuntuotannon kohottamiseksi. Voidaan kysyä, olisiko suometsätieteelle ollut eduksi omaksua yhtenäinen oppirakennelma, kenties kuhnilaisen paradigman (ks. esim. Palo 1982, Venkula 1988) tapaan ja olisiko sellaisella vastaisuudessa käyttöä tutkimuksen muuttuvassa toimintaympäristössä.

Metsällisessä suontutkimuksessa on paljon ekologisia elementtejä ja siinä on nähtävissä tietyn oppijärjestelmän vallitsemia osaalueita. Niistä ehkä selvimpinä erottuvat kasvupaikkaluokituksen, kasvua edistävien tai rajoittavien tekijäin analyysin, eliöyhteisön muuttumisen eli sukkession ja hydrologian doktriinit. Tutkimusote on enimmäkseen ollut analyyttinen. Oman lukunsa muodostaa kasvupaikkaluokitus, joka on edennyt Cajanderin (1913) suotyyppijärjestelmän tarjoamassa kehyksessä nykyiseen muotoonsa (Tuomikoski 1950, Eurola ym. 1984). Kun luokitus perustui kasvillisuuteen, oli luonnollista, että lähestymistapa oli alusta asti yhteisöekologinen (synekologinen). Cajander itse käytti hallitusti ja luovasti kasviyhteisöjä koskevaa terminologiaa. Myös vuorovaikutus eliöstön ja ympäristön välillä sekä eliöiden kesken sisältyi oleellisesti hänen ajatukseensa (ks. Nieppola 1986).

Hugo Sjörs (1955) toi pohjoismaiseen kasvimaantieteelliseen ja -ekologiseen tutkimukseen ekosysteemi-käsitteen artikkelissa, joka tyhjentävästi ja kriittisesti esittelee käsitteen kehityshistorian ja Tansleyn ja Clementsin klassiset oppirakennelmat. Suontutkijana Sjörs käyttää boreaalisia soita esimerkkinä toimivista ekosysteemeistä. Hän mm. ottaa sukkessioteorian osalta suoesimerkkien nojalla selvän kannan Cainin polykliimaks-teorian puolesta Clementsin alueellista monokliimaks-teoriaa vastaan. Voidaan sanoa Sjörsin ratkaisevasti edistäneen ekosysteemiajattelun tuloa pohjoismaiseen tietoisuuteen ja kaikkien käytettäväksi tarvittaessa.

Ekologien tutkijayhteisö alkoi 1960-luvulla kiinnostua ekosysteemistä paitsi teoriana myös käytännöllisin motiivein. Ekosysteemi omaksuttiin kuitenkin tutkimuksen paradigmaksi vasta tilanteessa, jossa epäiltiin havaittujen ympäristön ja eliöstön muutosten jo aiheuttaneen haitallisia toiminnallisia muutoksia (Ellenberg 1971). Aloitettiin kansainvälinen suurprojekti "International Biological Program" (IBP).

Suomessa reagoitiin verraten nopeasti 1960-70-lukujen vaihteessa ekosysteemiekologian läpimurtoon. Jo ennen tutkimusprojektien alkamista ajatus kotiutui korkeakouluopetukseen. IBP:ssa ja sen liepeillä käynnistetyille tutkimusprojekteille, jotka koskivat vesi-, metsä- ja suoekosysteemejä, oli yhteistä se, että tutkittiin systeemin perustoimintoja ja asetettiin tavoitteeksi niiden mallintaminen (esim. Hari ym. 1970, Ruuhijärvi 1974, Ruuhijärvi & Reinikainen 1981).

Ekosysteemiajattelun juurtuessa suomalaiseen metsäekologiaan elettiin soidemme metsäojituksen intensiivisintä aikaa. Ojituksen huippuvuosina myös kritiikki metsäojitusta kohtaan oli koventunut. Suometsätieteen johtavat nimet puolustautuivat viitaten metsäojitustoiminnan sisäiseen, tutkimukseen perustuvaan kontrolliin ja mm. vilkkaana alkaneeseen hydrologisten haittavaikutusten tutkimukseen (Huikari & Paavilainen 1971). Metsäojituksen kriittisessä tarkastelussa nojauduttiin vähin erin myös ekosysteemiajatteluun (Borg & Reinikainen 1972) ja kannettiin huolta mm. luonnon toiminnan häiriintymisestä ja monimuotoisuuden vähenemisestä. Huolimatta näkyvästä ja tilastoin seuratusta suuresta luonnonmuutoksesta jäi suoekosysteemitutkimukseen osoitettu panostus vähäiseksi. Laajojen suunnitelmien suppea toteutus vuosina 1973-80 ei tuottanut riittäviä tuloksia raaka-aineiksi tavoitteeksi asetetuille malleille. Pystyttiin kuitenkin saamaan aikaan alustava kuva suoekosysteemin perusrakenteista ja -toiminnoista sekä metsänparannustoimenpiteiden vaikutuksesta niihin (Ruuhijärvi & Reinikainen 1981, Martikainen 1994).

Muuttuvan suoekosysteemin tutkimus hajosi pilottivaiheen jälkeen osa-alueisiin, joilla toimittiin tietoisena ekosysteemin kokonaisuudesta, mutta keskityttiin tärkeiksi katsottuihin osatoimintoihin. Näitä olivat biomassan allokaatio ja ravinteiden kierto (esim. Paavilainen 1980, Finér 1991), ravinnevarat ja ravinteiden mobilisaatio (esim. Kaunisto & Paavilainen 1988, Laiho & Laine 1994a, b) ja hiilen kierto ja tase (Laine & Minkkinen 1996a). Hiilidynamiikan perusteelliseen tutkimiseen pakottivat ensimmäiset huolestuttavat tulokset metsäojituksen vaikutuksesta suon hiilivarastoon (Silvola 1986). Hiilitaseen analyysi avasi näkymän soiden ja muuttuvien soiden kokonaisrooliin kasvihuonekaasujen, hiilidioksidin, metaanin ja typpioksiduulin tuottajina tai nieluina (Laine & Minkkinen 1996b). Ravinnetalouden tutkimuksessa suuntauduttiin aikaisemman käsittely/kasvuvaste -asetelman sijaan myös resurssien, prosessien ja taseiden tutkimiseen. Ekosysteemikontekstilla näyttää olleen huomattava merkitys uusien tutkimusotteiden syntymisessä.

Soiden metsätaloudellisessa käytössä ja sitä tukevassa tutkimuksessa on tultu vuosituhannen vaihteessa uuteen vaiheeseen. Ensiojitukset ovat loppuneet ja turvemaiden metsätalouden vastuulle on jäänyt tunnettu 5,5 miljoonaa hehtaaria muutostilassa olevia ojitusalueita. Tärkeimpänä tehtävänä on säilynyt suometsien kasvukunnosta huolehtiminen. Tässä taas keskeisiä osatehtäviä ovat

ojastojen kunnossapito, ravinneresurssien tarkkailu ja takaaminen sekä suometsien hoito. Puunkasvatuksen kestävyyden tavoitteiden rinnalle ovat nousseet erilaiset ympäristölliset haasteet, joihin on voitava vastata, jotta suometsätalous voitaisiin katsoa kestäväksi myös boreaalisessa luonnossa ja globaalisesti. Metsäojituksen puuntuotoksellista nettohyötyä, joka kiistatta on suuri, ei toistaiseksi ole juurikaan arvioitu metsätalouden sisäistä kestävyyttä laajemmin (esim. Hökkä ym. 2002, Mielikäinen 2005). Suuri osuutemme maapallon turvevaroista ja turvemaan ekosysteemeistä kytkee hiilitaseeseen ja kasvihuonekaasuihin vaikuttavan suometsätalouden merkittäväksi tekijäksi ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden säätelyssä (Laine & Minkkinen 1996b). Tietoa Fennoskandian turvemaiden hiili- ja kasvihuonekaasutaseista voidaan soiden ekologisesti vankan luokittelun ansiosta jokseenkin luotettavasti yleistää koskemaan koko boreaalista vyöhykettä (Turunen ym. 2002).

Suoekosysteemitutkimuksen ensimmäinen aalto 1970-80 -luvulla osoitti ekosysteemin kokonaismallin liian raskaaksi ja idealistiseksi tavoitteeksi (Ruuhijärvi & Reinikainen 1981). Puutteellisuudestaan huolimatta vähäiset ja preliminääriset konkreettiset mallit ovat paljastaneet ajatustavan hyödyllisyyden. Nykyisessä tilanteessamme, jossa suoluonnon ojituksen jälkeinen muutos jatkuu, olisi tiedettävä paljon enemmän soista toimivina biottisina yhteisöinä. Soiden metsätaloudellisen käytön vastaisia linjauksia ajatellen olisi tarpeen tietää esimerkiksi, millaisia ekosysteemejä turvekankaat ovat verrattuina mineraalimaan metsiin tai mitä merkitsevät luonnontaloudessa nk. virheojituksina metsätalouskäytön ulkopuolelle jätetyt n. 500 000 turvemaan hehtaaria (Hökkä ym. 2002). Nk. Forresterin kuvamallin tyyppinen kaavio (esim. Sievänen 1982), joka kuvaa rakenteita (tilamuuttujia), ainevirtoja rakenteesta toiseen ja niiden määrää sääteleviä "venttiilejä" sekä vuorovaikutuksia sovituin symbolein olisi nykyisellään aivan riittävä tavoite siihen pääsemiseksi, että toiminnallisen kokonaismallin yleisiä etuja voitaisiin hyödyntää suometsätaloudessa. Yksinkertainenkin malli, jota voidaan jatkuvasti täydentää mittaustiedolla rakenteista ja toiminnoista (biomassat, kasvunopeus, hajoamisnopeudet, siirtymien nopeus jne.), kykenee ohjaamaan ajattelua suunniteltujen toimenpiteiden seurausten hallintaa edistävään suuntaan.

Muutostilassa olevat turvemaamme ovat tarjonneet viime vuosikymmeninä oivallisen tutkimuskohteen dynaamisista ilmiöistä kiinnostuneille ekologeille. Suomen soista julkaistut yleisesitykset (Laine 1982, Vasander 1996) kertovat tutkimusotteen nopeasta ja merkittävästä muutoksesta toiminnallisempaan suuntaan. Pisimmälle tähän suuntaan on ehditty hiilen kierron ja kasvihuonekaasujen dynamiikan kohdalla. Yllättävän harvoin on kuitenkin muuttuva suo valittu tutkimuskohteeksi testattaessa ekosysteemiekologian keskeisiä hypoteeseja ja teorioita, erityisesti kiinnostavia väittämiä ekosysteemien tasapainosta ja monimuotoisuuden ja tasapainon välisestä suhteesta. Kiitollinen tilaisuus on vieläkin käytettävissä, vaikka ojitusalueiden ikääntyminen vähentääkin nuoria sukkessioyhteisöjä nopeasti. Jo pelkkä ekosysteemiterminologian käyttö paljastaa valkoisia alueita suometsäekologian kentässä.

Kansainvälisen suontutkimuksen johtava teema on tällä hetkellä "Wise use of mires and peatlands" (Joosten & Clarke 2002). Suometsätalouden johtavassa maassa osallistuminen tähän missioon edellyttää toiminnallisen ekosysteemitiedon nopeaa lisäämistä. Luotettavat tiedot soidemme osallisuudesta globaalissa luonnontaloudessa, erityisesti turpeen hiilivaraston dynamiikasta ja muuttuvien suoekosysteemien hiilen sidonnasta olisivat Suomelle eduksi myös suurten kansainvälisten ympäristösopimusten sisällön määrittelyssä (esim. Tomppo & Helmisaari 2004).

Kirjallisuus

Ahti, E. 1987. Water balance of drained peatlands on the basis of water table simulation during the snowless period. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 141. 64 s.

Ahti, E. 1988. Hydrologia ja turpeen vesitalous. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 308: 29-39.

Borg, P. & Reinikainen, A. 1972. Luonnon moninaiskäyttö ja soiden ojitus. Suomen Luonto 1/1972: 5-14.

Cajander, A.K. 1911. Kangasmetsistä turvemailla. Suomen Metsänhoitoyhdistyksen julkaisuja 28 (11): 1-8.

Cajander, A.K. 1913. Studien über die Moore Finnlands. Acta Forestalia Fennica 2.3. 208 s.

Cajander, A.K. 1914. Metsähallinnon suonkuivaustöistä. Metsähallitus. Metsätilasto XVII.

Ellenberg, H. 1971. Introductory survey. Teoksessa: Ellenberg, H. (toim.). Integrated Experimental Ecology. Methods and Results of Ecosystem Research in the German Solling Project. Ecological Studies 2: 1-15. Springer Verlag, Berlin – Heidelberg – New York.

Eurola, S., Aapala, K., Kokko, A. & Nironen, M. 1991. Mire type statistics in the bog and southern aapa mire areas of Finland (60-66 °N). Annales Botanici Fennici 28: 15-36.

Eurola, S., Hicks, S. & Kaakinen, E. 1984. Key to Finnish mire types. Julkaisussa: Moore, P.D. (toim.). European mires. Academic Press, London. s. 11-117.

Eurola, S. & Huttunen, A. 1990. Suoekosysteemin toiminnallinen ryhmitys. Suo 41 (1): 15-23.

Finér, L. 1991. Effect of fertilization on dry mass accumulation and nutrient cycling in Scots pine on an ombrotrophic bog. Acta Forestalia Fennica 223. 42 s.

Hanski, I., Lindström, J., Niemelä, J., Pietiäinen, H. ja Ranta, E. 1998. Ekologia. WSOY, Porvoo – Helsinki – Juva. 580 s.

Hari, P., Leikola, M. & Räsänen, P.K. 1970. A dynamic model for the daily height increment of plants. Annales Botanici Fennici 7: 375-378.

Hildén, O. 1965. Habitat selection in birds. A review. Annales Zoologici Fennici 2: 53-75.

Hotanen, J.-P., Nousiainen, H. & Paalamo, P. 1999. Vegetation succession and diversity on Teuravuoma experimental drainage area in northern Finland. Suo 50: 55-82.

Huikari, O. 1952. Suotyypin määritys maa- ja metsätaloudellista käyttöarvoa silmällä pitäen. Silva Fennica 75. 22 s.

Huikari, O. & Paavilainen, E. 1971. Metsänparannustyöt ja luonnon moninaiskäyttö. Folia Forestalia 113. 17 s.

Hökkä, H., Kaunisto, S., Korhonen, K.T., Päivänen, J., Reinikainen, A. & Tomppo, E. 2002. Suomen suometsät 1951-1994. Metsätieteen aikakauskirja 2B/2002: 201-357.

Ilvessalo, Y. 1956. Suomen metsät vuosista 1921-24 vuosiin 1951-53. Kolmeen valtakunnan metsien inventointiin perustuva tutkimus. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 47.1. 227 s.

Joosten, H. & Clarke, D. 2002. Wise use of mires and peatlands. IPS. 303 s.

Karsisto, M. & Kitunen, V. 1995. Effect of drainage intensity and fertilization on peat carbon compounds and their mineralization. Teoksessa: Kanninen, M. & Heikinheimo, P. (toim.). The Finnish Research Programme on Climate Change. Second Progress Report. Publications of the Academy of Finland 1/94: 316-321

Kaunisto, S. & Paavilainen, E. 1988. Nutrient stores in old drainage areas and growth of the stands. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 145. 39 s.

Korhola, A. & Tolonen, K. 1996. The natural history of mires in Finland and the peat accumulation. Teoksessa: Vasander, H. (toim.). Peatlands in Finland. Finnish Peatland Society, Helsinki. s. 20-26.

Korpela, L. 2004. The importance of forested mire margin plant communities for the diversity of managed boreal forests in Finland. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 935. 59 s.

Korpela, L. & Reinikainen, A. 1996. Patterns of diversity in boreal mire margin vegetation. Suo 47 (1): 17-28

Laiho, R. & Finér, L. 1996. Changes in root biomass after water-level draw-down on pine mires in southern Finland. Scandinavian Journal of Forest Research 11: 251-260.

Laiho, R. & Laine, J. 1994a. Nitrogen and phosphorus stores in peatlands drained for forestry in Finland. Scandinavian Journal of Forest Research 9: 251-260.

Laiho, R. & Laine, J. 1994b. Changes in mineral element concentrations in peat soils drained for forestry in Finland. Scandinavian Journal of Forest Research 10: 218-224.

Laine, J. (ed.) 1982. Peatlands and Their Utilization in Finland. Finnish Peatland Society, Helsinki. 139 s.

Laine, J. 1989. Metsäojitettujen soiden luokittelu. Suo 40 (1): 37-51.

Laine, J. & Minkkinen, K. 1996 a. Effect of forest drainage on the carbon balance of a mire: a case study. Scandinavian Journal of Forest Research 11: 307-312.

Laine, J. & Minkkinen, K. 1996 b. Forest drainage and the greenhouse effect. Teoksessa: Vasander, H. (toim.). Peatlands in Finland. Finnish Peatland Society, Helsinki. s. 159-164.

Laine, J. & Vasander, H. 1990. Suotyypit. Kirjayhtymä, Helsinki. 80 s.

Laine, J. & Vasander, H. 1998. Suo ekosysteeminä. Teoksessa: Vasander, H. (toim.) Suomen suot. Suoseura ry. Helsinki. s. 10-19.

Laine, J. & Vasander, H. 2005. Suotyypit ja niiden tunnistaminen. Metsäkirjat, Hämeenlinna. 110 s.

Laine, J., Vasander, H. & Laiho, R. 1995. Long-term effects of water level drawdown on the vegetation of drained pine mires in southern Finland. Journal of Applied Ecology 32: 785-802.

Laine, J., Komulainen, V-M, Laiho, R., Minkkinen, K., Rasinmäki, A., Sallantaus, T., Sarkkola, S., Silvan, N., Tolonen, K., Tuittila, E-S., Vasander, H. & Päivänen, J. 2002. Lakkasuo – opas suon ekosysteemiin. Helsingin yliopiston Metsäekologian laitoksen julkaisuja 26. 120 s.

Larmola, T. 1997. Kasvillisuuden muutokset ojituksen jälkeen Oriveden Lakkasuolla ja Vilppulan Jaakkoinsuolla. Pro gradu. Helsingin yliopisto, Ekologian ja systematiikan laitos, systemaattisen biologian osasto. 56 s.

Liedenpohja, M. 1981. Avosuotyyppien kasvillisuus, kasvibiomassa ja tuotos Janakkalan Suurisuolla. Suo 32 (4-5): 100-103.

Lukkala, O. & Kotilainen, M.J. 1951. Soiden ojituskelpoisuus. Tapio, Helsinki. 63 s.

Lumiala, O. 1937. Kasvimaantieteellisiä ja pintamorfologisia suotutkimuksia Luoteis-Karjalassa. Annales Botanici Societatis Zoologicae-Botanicae Fennicae "Vanamo" 10. 115 s.

Markkula, I. 1981. Maaperäeläinten vertikaalijakauma luonnontilaisella ja ojitetulla keidasrämeellä. Suo 32 (4-5): 126-129.

Martikainen, P. (toim.) 1994. Effect of Fertilization on Forest Ecosystem. Biological Research Reports from the University of Jyväskylä 38. 218 s.

Mielikäinen, K. 2005. Tutkimuksen lisäarvo. Metsäntutkimus. Metlan asiakaslehti 3/2005: 15.

Moore, P.D. 1984. Classification of mires: an introduction. Teoksessa: Moore, P.D. (toim.). European mires. Academic Press, London. s. 1-10.

Mälkönen, E. 1974. Annual primary production and nutrient cycle in some Scots pine stands. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 84 (5). 87 s.

Nieppola, J. 1986. Cajanderin metsätyyppiteoria. Kirjallisuuteen perustuva tarkastelu. Folia Forestalia 654. 42 s.

Paasio, I. 1935. Häädetkeitaan, erään länsisuomalaisen kermikeidassuon kasvillisuus. Annales Botanici Societatis Zoologicae – Botanicae Fennicae Vanamo 6. 35 s.

Paavilainen, E. 1980. Effect of fertilization on plant biomass and nutrient cycle on a drained dwarf shrub pine swamp. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 98.5. 71 s.

Paavilainen, E. & Päivänen, J. 1995. Peatland Forestry: Ecology and Principles. Ecological Studies 111. Springer, Berlin. 248 s.

Palo, M. 1982. Ajatuksia metsätyyppikoulukunnasta. Metsä ja Puu 8/1982: 7-10.

Päivänen, J. 1990. Suometsät ja niiden hoito. Kirjayhtymä, Helsinki. 231 s.

Reinikainen, A. 1980. Suoekosysteemi toimii. Teoksessa: Ruuhijärvi, R. & Häyrinen, U.(toim.). Suomen luonto 3. Suot. Kirjayhtymä, Helsinki. s. 211-262.

Reinikainen, A. 1981. Metsänparannustoimenpiteiden vaikutuksesta suoekosysteemin kasvibiomassaan ja perustuotantoon. Suo 32 (4-5): 110-113.

Reinikainen, A. 1984. Suotyypit ja ojituksen vaikutus pintakasvillisuuteen. Teoksessa: Paarlahti, K. (toim.). Jaakkoinsuon koeojitusalue 75 vuotta. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 156: 7-21.

Reinikainen, A. 1989. Luonnontilaisesta suosta turvekankaaksi. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 337: 15-25.

Reinikainen, A. 1990. The peatland ecosystem in change. Proceedings of the Seminar Biomass Production and Element Fluxes in Forested Peatland Ecosystems. Seminar in Umeå, Sweden, September 3-7, 1990: 167-175.

Reinikainen, A., Larmola, T. & Nousiainen, H. 1998. Long-term effects of forest drainage on biodiversity in an eccentric raised bog – a comparative case study. Teoksessa: Sopo, R. (toim.). The Spirit of Peatlands, Proceedings of the International Peat Symposium, Jyväskylä, Finland, 7-9 Septemper 1998: 162-163.

Reinikainen, A., Vasander, H. & Lindholm, T. 1984. Plant biomass and primary production of southern boreal mire-ecosystems in Finland. Teoksessa: Proceedings of the 7th International Peat Congress, Dublin. Vol. 4. s. 1-20.

Ruuhijärvi, R. 1974. Pääjärvi. Luonnon Tutkija 78 (4-5): 101-107.

Ruuhijärvi, R. 1983. Suomen suoyhdistymätyypit. Teoksessa: Suomen suot ja niiden käyttö. Suoseura ry, Helsinki: 24-28.

Ruuhijärvi, R. & Reinikainen, A. 1981. Luonnontilaisten ja ojtettujen soiden vertaileva ekosysteemianalyysi –projektin tutkimusohjelma. Suo 32 (4-5): 86-91.

Sarasto, J. 1952. Metsäojituksen aiheuttamista aluskasvillisuuden muutoksista eräissä suotyypeissä. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 91 (2). 32 s.

Sarasto, J. 1961. Über die Klassifizierung der für Walderziehung entwässerten Moore. Acta Forestalia Fennica. 74. 57 s.

Sievänen, R. 1982. Dynaamisista malleista. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 42: 65-73.

Silvola, J. 1986. Carbon dioxide dynamics in mires reclaimed for forestry in Eastern Finland. Annales Botanici Fennici 23: 59-67.

Sjörs, H. 1955. Remarks on ecosystems. Svensk Botanisk Tidskrift 49 (1-2): 155-169.

Solmari, H. & Vasander, H. 1981. Neljän korpikasviyhdyskunnan kasvibiomassa ja -tuotos. Suo 32 (4-5): 97-99.

Tanttu, A. 1915. Tutkimuksia ojitettujen soiden metsittymisestä. Acta Forestalia Fennica. 5.2. 245 s.

Tirkkonen, O.O.J. 1952. Suomen metsäojitus 1900-luvun alkupuoliskolla. Silva Fennica 72. 103 s.

Tolonen, K. 1967. Über die Entwicklung der Moore in finnischen Nordkarelien. Annales Botanici Fennici 4: 219-416.

Tomppo, E. & Helmisaari, H.-S. 2004. Ilmastosopimus on metsien osalta epärealistinen. Helsingin Sanomat 12.1.2004.

Tuomikoski, R. 1950. Mietteitä suotyyppijärjestelmästämme. Suo 1: 25-26.

Turunen, J., Tomppo, E., Tolonen, K. & Reinikainen, A. 2002. Estimating carbon accumulation rates of undrained mires in Finland – application to boreal and subarctic regions. The Holocene 12 (1): 69-80.

Vasander, H. 1990. Plant biomass, its production and diversity on virgin and drained southern boreal mires. Helsingin yliopiston kasvitieteen laitoksen julkaisuja 18. 110 s.

Vasander, H. (ed.) 1996. Peatlands in Finland. Finnish Peatland Society, Helsinki. 168 s.

Vasari, Y. 2000. Suomen luonnon kehitys jääkaudesta nykyaikaan. Teoksessa: Reinikainen, A., Mäkipää, R., Vanha-Majamaa, I. & Hotanen, J.-P. (toim.). Kasvit muuttuvassa metsäluonnossa. Tammi, Helsinki: 21-33.

Venkula, J. 1988. Miksi tieto ei auta? Tiedepolitiikka 3/88: 15-24.

Vilkamaa, P. 1981. Isovarpuisen rämeen ja sen metsänparannusmuuttumien maaperäeläimistö. Suo 32 (4-5): 120-122.

Väisänen, R.A. & Rauhala, P. 1983. Succession of landbird communities on large areas of peatland drained for forestry. Annales Zoologici Fennici 20: 115-127.

Wardle, D. A., Bardgett, R. D., Klironomos, J.N., Setälä, H., van der Putten, W.H. and Wall, D. H. 2004. Ecological linkages between aboveground and belowground biota. Science 304: 1629-1633.

SUOMEN SUOMETSÄT 1951-2003



1 Suomen suometsät 1951-2003

Erkki Tomppo

1.1 Johdanto

Seuraavassa esitetään Suomen suometsiä koskevia päätuloksia valtakunnan metsien 9. inventoinnin (VMI9, 1996-2003) mukaan ja joitakin pinta-aloja sekä puuston määrää ja kasvua koskevia muutoksia 3. inventoinnista lähtien (VMI3, 1991-53). Valtakunnan metsien inventoinnin määritelmät ovat muuttuneet jonkin verran inventointien välillä. Esimerkiksi VMI3:ssa metsämaa jaettiin kasvulliseen ja huonokasvuiseen metsämaahan. VMI5:stä lähtien vastaavat käsitteet ovat olleet metsämaa ja kitumaa, jotka poikkeavat sisällöltään jonkin verran edellisistä. Joissakin vertailuissa käytetään jakoa Etelä-Suomi ja Pohjois-Suomi siten, että Pohjois-Suomi käsittää Pohjois-Pohjanmaan, Kainuun ja Lapin metsäkeskusten alueen. Aluejako muuttui VMI8:n ja VMI9:n välillä, mikä on otettava huomioon vertailtaessa tuloksia aikaisempiin julkaisuihin. Aluejako on taulukoissa VMI9:n mukainen, ellei sitä ole erikseen mainittu.

Soita on ojitettu metsätalouskäyttöön yhteensä noin 5,5 milj. hehtaaria. Suometsien metsänparannus ja -hoito ovat lisänneet 1950-luvun alun soiden puuvarantoa 252 milj. kuutiometristä VMI9:ssa 528 milj. kuutiometriin ja puuston vuotuisen kasvun 9,9 milj. kuutiometristä 23,6 milj. kuutiometriin. Suometsätalouden osuus koko maan 31,5 milj. kuutiometrin puuston vuotuisen kasvun lisäyksestä 1950-luvun alun jälkeen on 13,7 milj. kuutiometriä. Suometsissä on runsaasti rästissä metsänparannus- ja hoito- sekä hakkuutöitä. Niiden oikea-aikainen suorittaminen on suometsien tulevien hakkuumahdollisuuksien turvaamiseksi ensiarvoisen tärkeätä.

1.2 Tulosten ja niiden luotettavuuden laskenta

VMI9:n tulosten laskentamenetelmä on kuvattu julkaisussa Tomppo ym. (1998) ja Tomppo (2005) sekä Lapin osalta julkaisussa Tomppo ym. (2006). Tulosten luotettavuuden arviointimenetelmä on kuvattu yksityiskohtaisesti julkaisussa Heikkinen (2006).

VMI:n pinta-alaestimaatit lasketaan niiden metsikkökuvioiden tiedoista, jotka sisältävät yhden tai useampia VMI -koealojen keskipisteitä. Pinta-alaosuudet estimoidaan koealojen keskipisteiden lukumäärien suhteiden avulla. Puuston keski- ja kokonaistilavuudet puutavaralajeittain estimoidaan seuraavasti:

1. Estimoidaan koepuiden puutavaralajeittaiset tilavuudet tilavuusyhtälöiden, runkokäyrämallien (Laasasenaho 1982) ja koepuumittausten avulla.

2. Estimoidaan tilavuustunnukset lukupuille koepuiden puutavaralajeittaisten tilavuuksien ja lukupuutunnusten avulla ositteittain.

3. Taulukoidaan keski- ja kokonaistilavuustunnukset laskentaositteille.

VMI:ssa puuston kasvu lasketaan ennen elokuun 1. päivää mitatuista puista mittausvuotta edeltävän viiden vuoden keskimääräisenä kasvuna ja elokuun 1. päivän tai sitä myöhemmissä mittauksissa mittauskesän ja neljän sitä edeltävän vuoden kasvujen keskikasvuna. Kasvuestimaatti sisältää mittausjakson (5 vuoden) loppuun säilyneen puuston kasvun sekä arvion jakson aikana poistuneen puuston kasvusta. Kasvujen laskenta VMI:ssa koostuu seuraavista vaiheista:

1. Tilavuuskasvujen estimointi koepuille.

2. Säilyneen puuston tilavuuskasvujen laskenta maaluokittain, läpimittaluokittain ja puulajiryhmittäin.

3. Kokonaiskasvun (= säilyneen puuston ja laskentajakson aikana poistuneen puuston kasvun) laskenta laskenta-alueelle.

Tulosten luotettavuuden laskennan periaatteet on kuvattu esimerkiksi julkaisussa Tomppo ym. (1998). Siinä ja muissa Metsätieteen aikakausikirjan metsävaraosioissa on esimerkkejä tulosten keskivirheistä.

1.3 Maaluokkien ja soiden alat sekä ojitustilanne ja niiden muutokset

Maaluokkien alat ja soiden alat VMI9:ssä luokiteltuina muun muassa pääryhmän, kasvupaikan, kuivatusasteen ja turvekerroksen paksuuden mukaan on esitetty metsäkeskuksittain metsätieteen aikakauskirjassa (Korhonen ym. 2000a, 2000b, 2000c, 2001, Tomppo ym. 1998, 1999a, 1999b, 1999c, 1999d, 2000, 2001a, 2003, 2004 ja 2005). Näissä julkaisuissa esitetään myös puuston tilavuuksia ja kasvuja sekä useimmiten erikseen soille ja kankaille. Lisäksi tarkastellaan pinta-aloissa ja puuston määrissä tapahtuneita muutoksia VMI5:sta (1964-70) lähtien.

Suomen maa-ala VMI9:n ajankohtana oli maanmittauslaitoksen virallisen tilaston mukaan 30,5 milj. ha (liite 1). Siitä metsätalousmaata on 26,3 milj. ha (86,4 %) ja metsämaata 20,3 milj. ha (66,8 %). Etelä-Suomen maa-ala on 15,5 milj. ha (metsätalousmaan osuus 77,8 %) ja Pohjois-Suomen 15,0 milj. ha (metsätalousmaan osuus 95,3 %) (taulukko 1, liite 2). Metsämaan ala olisi näin kasvanut VMI5:n (1964-1979) 18,697 milj. ha:sta 1,640 milj. ha (liite 1). Metsämaan alan nousun pääasiallinen syy on kitumaan ja joutomaan soiden ojitus. Myös pellon metsitykset ovat lisänneet jonkin verran metsämaan alaa, kun taas rakentaminen on sitä pienentänyt. Maatalousmaan ala on laskenut VMI5:n mukaisesta VMI9:n mennessä vajaa 700 000 ha, mutta rakennetun maan ala noussut samaan aikaan 940 000 ha.

Soiden ala on VMI9:n mukaan 9,062 milj. ha. Soiden ala oli VMI3:n mukaan vielä 9,742 milj. ha ja VMI5:n mukaan 9,779 milj. ha. Ala on pienentynyt siis 1950-luvun alusta 680 000 ha (taulukko 2, liite 3). VMI8:ssa soiden alaksi arvioitiin 8,912 milj. ha. Lisäys VMI8:sta VMI9:ään johtunee suopeltojen metsityksestä sekä erityisesti siitä, että VMI9:ssa maalaji arvioitiin tarkemmin kuin VMI8:ssa ja vaikeammin tunnistettavatkin suot tulivat havaituiksi.

Soiden alan pienenemisen (680 000 hehtaaria VMI5:n ja VMI8:n välillä) syitä on arvioitu julkaisuissa Tomppo (1999) ja Hökkä ym. (2002). Merkittävin syy on joidenkin ohutturpeisten tai turpeettomien soiden siirtyminen ojituksen seurauksena kivennäismaihin turvekerroksen häviämisen vuoksi. Muita syitä ovat olleet teiden, asutusten ja veden säännöstelyaltaiden rakentaminen sekä pellon raivaus. Suopeltojen metsitys on pienentänyt kyseistä vaikutusta. Edellä mainituissa julkaisuissa siirtymän kokonaispinta-alaksi arvioitiin VMI3:n ja VMI8:n välillä 660 000 ha. Soiden tarkemman luokituksen ja suopeltojen metsittämisen vuoksi siirtymä on jonkin verran edellä mainittua lukua pienempi. Kun otetaan huomioon VMI8:n ja VMI9:n suoalojen ero, voidaan karkeasti arvioida, että VMI9:ssa siirtymä VMI3:n suo-alaan verrattuna olisi 510 000 ha. Siirtymä painottuu Etelä-Suomeen, jossa ojitukseen on ollut tarjolla viljavia, ohutturpeisia soita ja jossa ojitusalueet ovat vanhempia kuin pohjoisessa.

Taulukko 1. Metsätalousmaan jakautuminen soihin ja kivennäismaihin VMI9:n aikaisen ojitustilanteen mukaan.

	Metsämaa	Metsätalousmaa Kitumaa	Joutomaa	Yhteensä
Kivennäismaa km²	151893	8952	10167	171012
Ojittamaton km²	138611	8948	10156	157715
Ojitettu km²	13282	4	11	13297
Suo km²	51481	17750	21389	90620
Ojittamaton km²	8460	12531	20434	41425
Ojitettu km²	43021	5219	955	49195
Kivennäismaat ja suot yhteensä, km²	203374	26702	31556	263168
Metsätalousmaan osuus maa-alasta, %	66,8	8,8	10,4	86,4

Taulukko 2. Soiden kuivatusvaiheiden pinta-alat (km²) koko maassa 1951-2003.

	VMI3 (1951–53)	VMI5 (1964–70)	VMI6 (1971–76)	VMI7 [2] (1977–84)	VMI8 [3] (1986–94)	VMI9 [4] (1996–2003)
Koko maa						
Ojittamaton	88250	66071	52731	45458	42297	41426
Ojikko [1]	2730	18079	18291	12202	8695	2684
Muuttuma	5070	8843	17167	25819	29011	31007
Turvekangas	1380	3640	5454	6638	9098	15499
Suot yhteensä	97420	96635	93645	90115	89099	90616

[1] Aiemmissa inventoinneissa (VMI5–VMI7) ojitettu kitu- ja joutomaa on luokiteltu aina ojikoksi.
[2] Lisäksi ojitettua kangasta VMI7 6040 km²
[3] Lisäksi ojitettua kangasta VMI8 10083 km²
[4] Lisäksi ojitettua kangasta VMI9 13296 km²

1.4 Soiden jakautuminen metsämaaksi, kitumaaksi ja joutomaaksi

Julkaisussa Hökkä ym. (2002) arvioitiin suo-ojitusten lisänneen metsämaan alaa noin VMI5:n ja VMI8:n välillä noin 1,5 milj. ha. Soiden muuttuminen metsämaaksi on jatkunut vielä VMI8:n ja VMI9:n välillä. Soiden metsämaan ala on VMI9:ssa noin 350 000 ha suurempi kuin VMI8:ssa. Jos oletetaan, että noin 150 000 ha VMI8:ssa kivennäismaaksi luokitellusta metsämaasta on VMI9:ssä luokiteltu tarkentuneen maalajiarvioinnin vuoksi uudelleen suoksi, suo-ojitukset ovat lisänneet metsämaan alaa VMI5:n ja VMI9:n välillä todellisuudessa noin 1,7 milj. ha. Aikanaan metsänparannusohjelmissa esitettiin ojitustavoitteeksi suurimmillaan jopa 7,0-7,5 milj. ha ja HKLN-suunnitteessa n. 6,5 milj. ha ja oletettiin sen lisäävän metsämaan alaa vajaalla 4 milj. ha:lla (Heikurainen ym. 1960, Kuusela 1972). Kuten myöhemmin nähdään, suometsätaloudelle asetettu puuston vuotuisen kasvun lisäystavoite on kuitenkin saavutettu, vaikka ojitusala on jäänyt suurimpia tavoitteita pienemmäksi.

Metsämaaksi luokiteltavan suon ala on VMI9:n mukaan 5,15 milj. ha, Etelä-Suomessa 2,67 milj. ha ja Pohjois-Suomessa 2,48 milj. ha (taulukko 1, liite 2). VMI5:ssa metsämaan soita oli 3,93 milj. ha. Koska osa ojitetuista soista on siirtynyt kankaisiin, on ojituksella

saatu metsämaan lisäys suurempi kuin pinta-alojen erotus 1,2 milj. ha eli lähes edellä arvioidun 1,7 milj. ha:n suuruinen. Kitu- ja joutomaan soiden ala on vähentynyt samaan aikaan 5,73 milj. ha:sta 3,91 milj. ha:iin.

1.5 Ojikot, muuttumat ja turvekankaat

Suokasvupaikat jaetaan ojituksen kuivatusvaikutuksen mukaan luokkiin ojittamaton, ojikko, muuttuma ja turvekangas. Kuivatusvaihe on inventoinnista toiseen määritelty siinä määrin samoin perustein, että pinta-alamuutoksia voidaan tarkastella jokseenkin sellaisenaan. Muuttumavaiheelta aikaisemmin edellytetty metsämaan kriteerin toteutuminen on voinut jossain määrin viivyttää ojikoiden siirtymistä muuttumiin. VMI9:ssa turvekankaat ja ojikot voivat olla myös kitu- tai joutomaita. Turvekankaista taas on tapahtunut siirtymää kivennäismaiden puolelle.

Koko maan VMI9:n mukaisesta 9,06 milj. ha:n suoalasta on ojitettu 4,92 milj. ha (taulukot 1 ja 2, liite 3). Kun otetaan huomioon soiden siirtymä kankaisiin, on ojitettu ala siis noin 5,5 milj. ha. Ojitetuista soista on koko maassa ojikkovaiheessa 5,5 %, muuttumia 63,0 % ja turvekankaita loput 31,5 %. Etelä-Suomessa osuudet ovat vastaavasti 5,7 %, 52,5 % ja 41,8 % ja Pohjois-Suomessa 5,2 %, 73,9 % ja 20,9 %.

Tulokset havainnollistavat erityisesti eroa Etelä- ja Pohjois-Suomen välillä. Ilmastolliset syyt, lähtökohtana ollut erilainen suotyyppijakauma sekä myöhäisempi ojitus selittävät sen, että Pohjois-Suomessa turvekankaiden osuus ojitusalasta on pienempi ja muuttumien suurempi kuin etelässä. Turvekankaiden osuudet ovat nousseet jonkin verran VMI8:n ja VMI9:n välillä. Ne ovat kuitenkin edelleen pienehköjä ja muuttumien osuudet suuria, kun otetaan huomioon ojitusten ikä. Hökkä ym. (2002) esittivät kankaisiin siirtymisen lisäksi syiksi muun muassa karujen suotyyppien ojituksen ja keskimäärin suhteellisen harvat ojaverkot.

1.6 Soiden jakautuminen pääryhmiin ja kasvupaikkaluokkiin

VMI9:n ojittamattomat suot (yhteensä 4,1 milj. ha) ovat lähellä sitä suopinta-alaa, joka tullee jäämään ojitustoiminnan ulkopuolelle. Niistä korpia on 0,8 milj. ha, rämeitä 1,8 milj. ha ja avosoita 1,6 milj. ha (taulukko 3, liite 4a). Ojittamattomia rämeitä ja avosoita on runsaasti Pohjois-Suomessa. VMI3:n aikaisesta tilanteesta (Ilvessalo 1957) ojittamattomien soiden jakauma pääryhmiin on muuttunut siten, että korpien ja rämeiden osuus on pienentynyt ja avosoiden osuus kasvanut. Ojittamattomien soiden jakautuminen kasvupaikkatyyppeihin pääryhmittäin on esitetty liitteessä 4a Etelä-Suomelle, Pohjois-Suomella ja koko maalle. Vertailun vuoksi liitetaulukoissa on myös kivennäismaiden tyyppijakautumat. Ojittamattomien soiden alueellisessa jakaumassa ja tyyppijakaumassa heijastuvat sekä erot Etelä- ja Pohjois-Suomen luonnonoloissa että suotyyppien valikoituminen ojituskohteiksi.

Etelä-Suomessa korpien osuus ojitetuista soista on tuntuvasti suurempi kuin Pohjois-Suomessa. Pohjoisessa rämeitä on peräti kolme neljännestä ojitetusta alasta. Ojitettujen soiden kasvupaikkajakauma (taulukko 3, liite 4b). poikkeaa yllättävän vähän ojittamattomien soiden kasvupaikkajakaumasta Alueellisina piirteinä näkyvät keskiravinteisten korpien ja karujen rämeiden vallitsevuus Etelä-Suomen ojituskohteina, kun taas Pohjois-Suomessa runsasravinteiset ruohoiset korvet sekä saraiset rämeet ovat olleet tavanomaisia ojituskohteita. Ojitettujen soiden inventointihetken mukainen pääryhmäjakauma ei kuvaa kovinkaan tarkasti eri pääryhmien osuutta ojituskohteina, koska etenkin avosoita on ojituksen seurauksena siirtynyt rämeisiin ja mahdollisesti myös rämeitä korpiin (vertaa Hökkä ym. 2002). VMI9:n ojitetuista soista on luokiteltu korviksi 33 % (1,6 milj. ha) ja rämeiksi 66 % (3,3 milj. ha).

Taulukko 3. Ojittamattoman ja ojitetun metsätalousmaan pinta-alan (km^2) jakautuminen pää- ja kasvupaikkatyyppeihin VMI9:ssa.

	Kasvupaikkatyyppi						
	1	2	3	4	5	6	Yhteensä
Ojittamaton metsä-, kitu- ja joutomaa							
Kangas	2806	19755	69312	40369	4689	81	137012
Korpi	838	2502	3375	988	.	.	7703
Räme	663	1059	3497	7603	4233	1035	18090
Avosuo	762	2460	6741	2783	2240	644	15630
Suot yhteensä	2263	6021	13613	11374	6473	1679	41423
Yhteensä	5069	25776	82925	51743	11162	1760	178435
Ojitettu metsä-, kitu- ja joutomaa							
Kangas	1051	3053	6712	2339	126	0	13281
Korpi	854	5249	8924	971	.	.	15998
Räme	326	1035	4063	17138	9384	652	32598
Avosuo	34	56	140	176	154	39	599
Suot yhteensä	1214	6340	13127	18285	9538	691	49195
Yhteensä	2265	9393	19839	20624	9664	691	62476

Kasvupaikkatyypit
1 Lehdot sekä lehtomaiset ja lettosuot (luonnontilaiset, ojikko- ja muuttumasuot) ja lehtoturvekankaat
2 Lehtomaiset kankaat ja ruohoiset suot sekä ruohoturvekankaat
3 Tuoreet kankaat ja suursaraiset sekä mustikkaiset suot ja turvekankaat
4 Kuivahkot kankaat ja piensaraiset sekä puolukkaiset suot ja turvekankaat
5 Kuivat kankaat ja tupasvillaiset sekä isovarpuiset suot ja turvekankaat
6 Karukkokankaat ja rahkaiset suot sekä rahkaturvekankaat

1.7 Puulajivaltaisuudet korvissa ja rämeillä

Etelä-Suomen metsämaan korpisoilla kuusi on vallitsevana puulajina 47 %:lla pinta-alasta, ja koivu 27 %:lla. Mänty on lähes yhtä yleinen kuin koivu (liite 5). Lähes kaikki rämeet ovat mäntyvaltaisia. Koivu on vallitsevana puulajina 3,5 %:lla metsämaan rämeiden alasta. Pohjois-Suomen metsämaan korpisoista 40 % on kuusivaltaisia ja lehtipuuvaltaisia suurempi osuus kuin Etelä-Suomessa (37 %). Mäntyvaltaisten metsämaan korpien osuus on likimain sama kuin Etelä-Suomessa (23 %). Pohjois-Suomen rämeiden pääpuulajin jakauma on lähellä Etelä-Suomen vastaavaa jakaumaa. Kuusivaltaisten ja lehtipuuvaltaisten alat ovat pieniä, kuten etelässäkin.

Mäntyvaltaisten korpisoiden osuus pinta-alasta nousi Etelä-Suomessa VMI6:n ja VMI7:n välillä ja on noussut Pohjois-Suomessa koko ajan VMI6:sta lähtien (Paavilainen ja Tiihonen 1988, vertaa myös Hökkä ym. 2002). Kuusen osuus vallitsevana puulajina on vähentynyt Etelä-Suomen ojitetuilla korpisoilla. Muutokseen lienee vaikuttanut ohutturpeisten suokasvupaikkojen siirtyminen kivennäismaiden luokkaan. Rämeiden puulajivaltaisuuksissa ei ole tapahtunut olennaisia muutoksia VMI6:n jälkeen.

Taulukko 4. Puuston runkotilavuus VMI9:n mukaan.

	Metsämaa		Kitumaa		Metsä- ja kitumaa	
	Keski-tilavuus m^3/ha	Kokonais-tilavuus 1000 m^3	Keski-tilavuus m^3/ha	Kokonais-tilavuus 1000 m^3	Keski-tilavuus m^3/ha	Kokonais-tilavuus 1000 m^3
Etelä-Suomi						
Kankaat						
Ojittamattomat	133,5	1021774	38,2	6104	131,5	1027878
Ojitetut	110,7	93289	0,0	0	110,7	93289
Kankaat yhteensä	131,2	1115063	38,2	6104	129,5	1121168
Suot						
Ojittamattomat	108,5	35422	20,3	2663	83,3	38085
Ojitetut	105,2	246485	13,7	1874	100,1	248359
Suot yhteensä	105,6	281906	16,9	4537	97,5	286444
Pohjois-Suomi						
Kankaat						
Ojittamattomat	71,0	440645	23,3	17103	65,9	457753
Ojitetut	68,5	33262	0,0	0	68,4	33262
Kankaat yhteensä	70,8	473907	23,3	17103	66,1	491015
Suot						
Ojittamattomat	63,4	32931	18,7	20977	32,8	53914
Ojitetut	68,0	133173	14,3	5499	59,2	138676
Suot yhteensä	67,0	166104	17,6	26476	48,3	192590
Koko Suomi						
Kankaat						
Ojittamattomat	105,5	1462419	25,9	23207	100,7	1485631
Ojitetut	95,3	126551	0,0	0	95,3	126551
Kankaat yhteensä	104,6	1588970	25,9	23207	100,2	1612183
Suot						
Ojittamattomat	80,8	68353	18,9	23640	43,8	91999
Ojitetut	88,2	379658	14,1	7373	80,2	387035
Suot yhteensä	87,0	448010	17,5	31013	69,2	479034

1.8 Puuston tilavuus

Suometsien puuston kokonaistilavuus on 479,0 milj. m^3 (taulukko 4, liite 6). Siitä metsämaalla on 448,0 milj. m^3. Suometsien puusto on 23 % maan kaikkien metsien puustosta, kun vastaava osuus VMI8:n mukaan oli 20 %. Männyn osuus puuston runkotilavuudesta on likimain puolet, kuusen noin neljännes. Loppu on lähes kokonaan hieskoivua.

Tilavuudella mitattuna 60 % koko maan suometsien puustosta on Etelä-Suomessa, kun metsämaan soiden pinta-alasta on maan eteläosassa 52 % ja metsä- ja kitumaan soista 42 %. Kuusen osuus suometsien puuvarannosta on Etelä-Suomessa 29 % ja Pohjois-Suomessa 19 %. Männyn osuus suometsien tilavuudesta maan eteläosassa on 46 % ja Pohjois-Suomessa 54 %.

Puuston keskitilavuus metsä- ja kitumaan soilla (ojitetut + ojittamattomat) on 69,2 m^3/ha ja metsämaan soilla 87,0 m^3/ha (taulukko 6). Ojitetuilla soilla vastaavat luvut ovat 80,2 m^3/ha ja 88,2 m^3/ha. Etelä-Suomessa metsämaan soiden puuston keskitilavuus (106 m^3/ha) on jonkin verran pienempi kuin metsämaan kankaiden keskitilavuus (131 m^3/ha), mutta Pohjois-Suomessa keskitilavuudet ovat lähellä toisiaan (67 ja 71 m^3/ha).

Ohutturpeisten soiden siirtyminen kivennäismaihin vaikeuttaa suopuustojen tilavuuden

muutoksen tarkastelua. Muutostarkasteluissa on otettava huomioon myös, että alle 2,5 cm:n läpimittaiset puut on mitattu vasta VM7:sta lähtien. Julkaisussa Hökkä ym. (2002) tarkastellaan runkotilavuuden muutoksia VMI3:n ja VMI8:n välillä. VMI7:aa edeltäviin lukuihin on siinä lisätty 0,7 % kompensoimaan alle 2,5 cm läpimittaisten puiden mittaamatta jättämistä. Sen lisäksi luvuissa on otettu huomioon tilavuusyhtälöiden muuttaminen VMI5:n ja VMI6:n välillä (Kuusela 1978).

Jos tarkastellaan vain kunakin ajankohtana soiksi luokiteltuja alueita ja niiden puustoja, puuston tilavuus on noussut 1950-luvun alun 252 milj. m^3:sta VMI9:ssa mitattuun 479 milj. m^3:iin, eli 227 milj. m^3 eli 90 % (taulukko 5, liite 7). Arvioitaessa puuston runkotilavuutta ja sen muutosta VMI9:n mukaan niillä kasvupakoilla, jotka olivat 1950-luvulla soita, vertailuissa on otettava huomioon soiden siirtyminen kankaisiin. Siirtyneet suokasvupaikat on todennäköisesti luokiteltu VMI9:ssä ojitetuiksi kankaiksi. Niiden keskitilavuus on VMI9:n mukaan 95,3 m^3/ha (taulukko 4, liite 6). Siirtymän suuruudeksi arvioitiin edellä 510 000 ha, joten siirtyneiden alueiden puuvaranto olisi tämän mukaan noin 49 milj. m^3. Puuvaranto VMI3:n mukaisilla suokasvupaikoilla olisi VMI9:ssa siis 528 milj.m^3 (479+49). Lisäystä 1950-luvun alun varantoon on tällöin 276 milj. m^3 eli puuvaranto on yli kaksinkertaistunut kyseisillä kasvupaikoilla vajaassa 50 vuodessa. Koko maan puuvarannon suhteellinen lisäys ojitusalueilla ja luonnontilaisilla soilla on vastaavalla jaksolla 35 %.

1.9 Puuston kasvu

Myös suometsien puuston kokonais- ja keskikasvuja, samoin kuin tilavuuksia ja erityisesti niiden muutoksia tarkasteltaessa on otettava huomioon, että osa ojitetuista soista on siirtynyt kivennäismaihin varsinkin VMI5:n ja VMI8:n välillä. VMI9:n mukainen soiden pinta-ala on taas noin 150 000 ha suurempi kuin VMI8:n mukainen ala. Todennäköisin syy on, kuten edellä todettiin, soiden tunnistus VMI9:ssa tarkemmin kuin esimerkiksi VMI8:ssa. Kasvun muutosten vertailussa on otettava huomioon myös se, että alle 2,5 cm:n läpimittaiset puut on luettu vasta VMI7:sta lähtien. Näiden puiden osuus on suopuustojen kasvusta huomattavasti suurempi kuin osuus tilavuudesta.

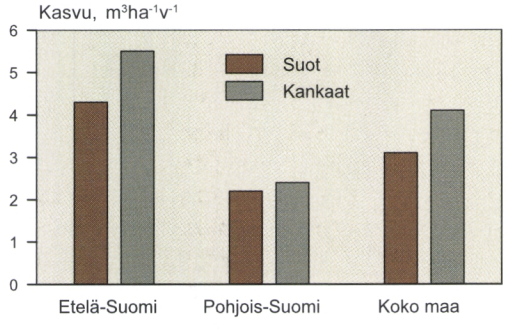
VMI9:n mukaisten metsä- ja kitumaan soiden puuston keskimääräinen viiden vuoden vuotuinen kokonaiskasvu on 21,19 milj. m^3 (taulukko 6, liite 8). Koko metsä- ja kitumaan vastaava kasvu on 86,70 milj. m^3. Männyn osuus suometsien puuston kasvusta on 48 % ja koivun osuus (26 %) hieman suurempi kuin kuusen osuus (24 %). Ojitettujen soiden puuston kasvu on 18,08 milj. m^3 ja ojittamattomien soiden 3,11 milj. m^3. Suopuustojen kasvusta Etelä-Suomen soiden puustojen osuus on 12,2 milj. m^3 (70 %), kun metsä- ja kitumaan soiden alasta on Etelä-Suomessa 46 % ja metsämaan soiden alasta 57 %.

Taulukko 5. Puuston runkotilavuus (milj.m^3) kivennäismailla ja soilla 1951-2003 sekä arvioituna VMI3:n aikaisille soille VMI8:n ja VMI9:n ajankohdalla (sarake Suot 1951-53). Etelä- ja Pohjois-Suomen aluejako on muuttunut VMI8:n ja VMI9:n välillä.

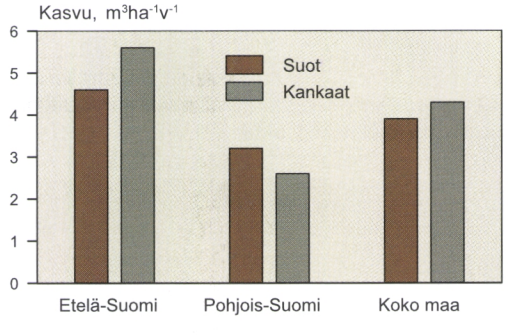
	Etelä-Suomi			Pohjois-Suomi			Koko maa			
	Kiv.-maat	Suot	Yht.	Kiv.-maat	Suot	Yht.	Kiv.-maat	Suot	Yht.	Suot 1951-53
VMI3 (1951-53)	856	161	1017	422	91	513	1297	252	1549	252
VMI6 (1971-76)	911	154	1065	388	77	465	1299	231	1530	
VMI7 (1977-84)	977	194	1171	392	97	489	1369	291	1660	
VMI8 (1986-94)	1085	248	1333	429	128	557	1513	377	1890	430
VMI9 (1996-03)	1121	286	1408	491	193	684	1612	479	2091	525

Taulukko 6. Puuston runkotilavuuden keskimääräinen vuotuinen kasvu VMI9:n mukaan.

	Metsämaa		Kitumaa		Metsä- ja kitumaa	
	m^3/ha/v	1000 m^3/v	m^3/ha/v	1000 m^3/v	m^3/ha/v	1000 m^3/v
Koko Suomi						
Kankaat						
Ojittamattomat	4,2	58715	0,6	534	4,0	59249
Ojitetut	4,7	6260	0,0	-	4,7	6260
Kankaat yhteensä	4,3	64975	0,6	534	4,1	65509
Suot						
Ojittamattomat	2,9	2477	0,5	632	1,5	3110
Ojitetut	4,1	17732	0,7	344	3,7	18076
Suot yhteensä	3,9	20209	0,5	976	3,1	21185
Kankaat ja suot yhteensä	4,2	85184	0,6	1510	3,8	86695
Puuntuotannon metsät yhteensä	5,0	82064	0,7	1124	4,7	83189



Kuva 1. Puuston keskimääräinen vuotuinen tilavuuskasvu (m^3/ha) yhdistetyllä metsä- ja kitumaalla.



Kuva 2. Puuston keskimääräinen vuotuinen tilavuuskasvu (m^3/ha) metsämaalla.

Metsä- ja kitumaan soiden puuston vuotuinen hehtaarikohtainen keskikasvu (m^3/ha/v) on VMI9:n mukaan 3,1 m^3/ha/v, Etelä-Suomessa 4,3 m^3/ha/v ja Pohjois-Suomessa 2,2 m^3/ha/v. Kankaiden vastaavat keskikasvut ovat 4,1 m^3/ha/v, 5,5 m^3/ha/v ja 2,4 m^3/ha/v. Metsä- ja kitumaan ojitettujen soiden keskikasvu on koko maassa 3,7 m^3/ha/v, Etelä-Suomessa 4,5 m^3/ha/v ja Pohjois-Suomessa 3,3 m^3/ha/v (kuva 1).

Metsämaan soiden puuston vuotuinen hehtaarikohtainen keskikasvu on koko maassa 3,9 m^3/ha/v (kivennäismailla 4,3 m^3/ha/v), Etelä-Suomessa 5,4 m^3/ha/v (kivennäismailla 5,6 m^3/ha/v) ja Pohjois-Suomessa 2,8 m^3/ha/v (kivennäismailla 2,6 m^3/ha/v). Pohjois-Suomessa metsämaan soiden keskikasvu on siis korkeampi kuin metsämaan kivennäismaiden keskikasvu ja erityisesti ojitettujen metsämaan soiden keskikasvu selvästi korkeampi kuin metsämaan kivennäismaiden keskikasvu (kuva 2).

Puuston vuotuinen kasvu soilla oli VMI3:n mukaan 9,9 milj. m^3, VMI7:n mukaan 14,9 milj. m^3, VMI8:n mukaan 17,4 milj. m^3 ja VMI9:n mukaan 21,2 milj. m^3 (taulukot 7 ja 8, liitteet 9 ja 10). VMI8:sta VMI9:iin kasvu on noussut siis 3,8 milj. m^3 eli 21 %. Kivennäismaiden ja soiden koko puuston kasvu on

Taulukko 7. Suometsien puuston keski- ja kokonaiskasvut metsä- ja kitumaalla VMI7:ssä, VMI8:ssa ja VMI9:ssä. Etelä- ja Pohjois-Suomen raja on muuttunut VMI8:n ja VMI9:n välillä.

	VMI7 (1977-84)		VMI8 (1986-94)		VMI9 (1996-2003)	
	m^3/ha	1000 m^3	m^3/ha	1000 m^3	m^3/ha	1000 m^3
Etelä-Suomi	3,4	10650	3,9	12222	4,3	12549
Pohjois-Suomi	1,1	4210	1,4	5168	2,2	8642
Koko maa	2,1	14860	2,6	17390	3,1	21191

noussut samaan aikaan 77,7 milj. m^3:sta 86,7 milj. m^3:iin eli 12 %. VMI7:n ja VMI9:n suokäsitteet ovat mahdollisesti lähempänä toisiaan kuin VMI8:n ja VMI9:n mukaiset. Suopuustojen suhteellinen kasvun nousu VMI7:n ja VMI9:n välillä on 43 %, kun koko puuston suhteellinen kasvun nousu on 27 %.

Julkaisuissa Tomppo (1999) ja Hökkä ym. (2002) on yritetty arvioida suometsätalouden vaikutusta maamme metsien puuston kasvun lisäykseen 1950-luvun alun jälkeen ottamalla huomioon niiden metsien kasvu, jotka ovat VMI:n luokituksessa siirtyneet soista kivennäismaihin kyseisen jakson aikana. Edellä mainituissa julkaisuissa siirtymän pinta-alaksi arvioitiin 660 000 ha. Kun VMI9:n mukainen soiden ala on 150 000 suurempi kuin VMI8:n mukainen soiden ala, mikä pääosin johtuu VMI9:n tarkemmasta soiden tunnistamisesta, voidaan karkeasti arvioida, että todellinen siirtymä olisi n. 510 000 ha. Tämä on luultavasti aliarvio, koska rakentaminen pienentää koko ajan soiden alaa ja koska osa suoalan lisäyksestä voi tulla ennen 1950-luvun alkua raivattujen suopeltojen metsityksestä. Mainitun suuruinen siirtymä ei luultavasti yliarvioi suometsätalouden merkitystä puuston kasvun lisäyksessä, pikemminkin päinvastoin.

Ojitettujen kankaiden kasvu oli VMI9:ssa 6,26 milj. m^3 ja keskikasvu 4,71 m^3/ha. Tätä keskikasvua vastaava kasvun lisä 510 000 ha:lla olisi siis 2,40 milj. m^3. VMI3:ssä soiksi luokiteltujen maiden kasvu olisi siis VMI9:ssa 23,6 milj. m^3 (taulukko 8, liite 10). Koko puuston 31,5 milj. m^3:n kasvun lisäyksestä 1950-luvun alun mukaisten soiden osuus olisi 13,7 milj. m^3 ja kivennäismaiden loput 17,8 milj. m^3. Suhteellinen kasvun lisä soilla on huomattavasti suurempi kuin kivennäismailla, n. 140 %, kun se kivennäismailla on n. 40 %.

HKLN-ohjelmassa (Heikurainen ym. 1960) arvioitiin suometsien ojitusalan kasvavan 6,5 miljoonaan, enimmillään 7,5 milj. hehtaariin (Kuusela 1972), ja suometsien kasvun huipun ajoittuvan 1990-luvun puoliväliin. Tällöin suometsien puuston vuotuisen kasvun ilman soistuneita kankaita arvioitiin asettuvan välille 18-23 milj. m^3. Nykykasvu on HKLN-tavoitteiden ylärajalla, vaikka ojituspinta-ala on jäänyt 0,8-1,8 milj. ha 1960-luvun alussa asetettua tavoitetta pienemmäksi. Suometsien puuston kasvu on siis ollut keskimäärin selvästi korkeampi kuin aiemmin odotettiin. Kasvun ylläpitämiseksi ojien kunnosta huolehtiminen on tärkeää, käyttöpuun saannin kannalta myös kasvatushakkuiden oikea ajoitus.

Taulukko 8. Kivennäismaiden ja soiden puuston vuotuinen kasvu (milj. m^3) metsä- ja kitumaalla 1951-53, 1986-94 ja 1996-2003. Sarakkeessa "Suot 1951-53" on kasvut arvioitu alueille, jotka VMI3:ssa olivat suota, mutta olivat VMI8:ssa ja VMI9:ssa vastaavasti joko suota tai ojitettua kangasta.

	Kivennäis-maat	Suot	Yhteensä	Suot 1951-53
1951-53	45,3	9,9	55,2	9,9
1986-94	59,7	17,4	77,1	20,1
1996-2003	65,5	21,2	86,7	23,6
Muutos, % 1951-53 – 1996-2003	44,6	114,1	57,1	138,4

1.10 Suometsien hakkuut ja hakkuiden tarve

Inventointia edeltäneiden 10 vuoden aikana on hakkuita tai taimikon hoitoa tehty puuntuotannossa olevilla metsämaan soilla 1,20 milj. hehtaaria (24 %:lla puuntuotannon metsämaan soiden alasta) (liite 11). Kivennäismailla hakkuita on tehty suhteessa enemmän, 36 %:lla puuntuotannossa olevan metsämaan alasta (5,0 milj. hehtaarilla 14,0 milj. hehtaarista). Erityisesti uudistushakkuita on tehty soilla selvästi vähemmän kuin kivennäismailla. Pääasiallinen syy eroihin ovat kehitysluokkajakaumien erot soiden ja kivennäismaiden välillä. Hakkuita on tehty Etelä-Suomessa suhteessa selvästi enemmän kuin Pohjois-Suomessa, etelässä 30 %:lla ja pohjoisessa 18 %:lla puuntuotannon metsämaan alasta. Varsinkin uudistushakkuiden ja ensiharvennusten jälkeen tehtävien kasvatushakkuiden yleisyydessä on suuret erot.

Inventointia seuraavalle 10-vuotiskaudelle on VMI8:ssa todettu hakkuu- tai taimikonhoitotarvetta puuntuotannossa olevilla metsämaan soilla yhteensä 2,69 milj. hehtaarilla, joista maan eteläosassa 1,50 milj. ha:lla (liite 12). Hakkuista tai taimikonhoidoista on myöhässä runsas 740 000 ha, kun VMI8:ssa näiden ala oli 500 000 ha. VMI8:n ja VMI9:n välillä eli noin 10 vuoden aikana myöhässä olevien hakkuiden ja taimikonhoitojen ala on noussut lähes puolella. Hakkuu- ja hoitotarpeista eniten on ensiharvennuksia ja taimikonhoitoa. Ne ovat suurimmat ryhmät myös jo myöhässä olevista toimenpiteistä. Pohjois-Suomessa on suhteellisesti selvästi enemmän myöhässä olevia hakkuita kuin Etelä-Suomessa, pohjoisessa 18 %:lla puuntuotannon metsämaan alasta ja etelässä 12 %:lla. Pohjois-Suomessa myöhässä olevia toimia on suhteessa enemmän yksityisten omistamissa metsissä kuin muilla omistajaryhmillä.

1.11 Tehdyt ojitukset ja kunnostusojitustarve

VMI9:n mukaan soiden uudisojituksia oli inventointia edeltäneellä 10-vuotiskaudella tehty 170 000 ha:lla. Kunnostusojituksia eli ojien perkausta ja täydennysojitusta oli tehty soilla yhteensä 590 000 ha:lla (taulukko 9, liite 13). Tehdyistä kunnostusojituksista 360 000 ha oli Etelä-Suomessa. Metsä- ja kitumaan soiden tehtyjen kunnostusojitusten ala koko maassa on 12 % ojitettujen metsä- ja kitumaan soiden alasta.

VMI9:n tulosten mukaan kunnostusojitusten tarpeessa olevien ojitettujen soiden ala on 1,67 milj. ha, mistä maan eteläosassa on 930 000 ha (liite 14). Kunnostusojitustarve on lisääntynyt 8. inventoinnista, mikä on odotettua, koska toteutuneet kunnostusojitukset ovat olleet vähäisempiä kuin VMI8:ssa todetut tarpeet (Tomppo ym. 2001b, Hökkä ym. 2002). Hökkä ym. (2002) arvioivat kunnostusojitustarpeen lisääntyvän erityisesti VMI8:n jälkeen. Tarve on edelleen kasvamassa, ellei kunnostusojituksia lisätä tuntuvasti nykyisestä. VMI9:n mukaan uudisojitukseen sopivaa suota oli vielä 684 000 ha. Tämä pinta-ala kuvaa lähinnä teoreettista, puuntuotannon lisäämiseen käytettävissä olevaa potentiaalia.

1.12 Johtopäätöksiä

Suomen alkuperäisestä noin 10 milj. hehtaarin suoalasta on ojitettu metsätalouskäyttöön noin 5,5 milj. hehtaaria. Osa ojitetuista soista, arviolta runsas puoli miljoonaa hehtaaria, luokitettiin VMI9:ssa kivennäismaiksi. Suometsien puuston kasvu lisäys on ollut korkeampi kuin 1960-luvulla ja 1970-luvulla odotettiin, vaikka uudisojitusala jäi puuntuotannon laskelmissa arvioitua pienemmäksi. Koko maan metsien puuston kasvun lisäys 1950-luvun alun jälkeen on 31,5 milj. kuutiometriä. Suometsien osuus tästä kasvun lisäyksestä on arviolta 13,7 milj. kuutiometriä.

Taulukko 9. Tehdyt ojitukset metsämaan kankailla sekä metsä-, kitu- ja joutomaan soilla VMI9:n mukaan.

	Kangas		Suo			Yhteensä
	Metsämaa		Metsämaa	Kitumaa	Joutomaa	Yhteensä
				1000 ha		
Etelä-Suomi						
Metsäojitukset, 0-10 v.						
Uudisojitus	124	91	11	3	104	228
Ojien perkaus	31	215	9	1	225	256
Täydennysojitus [1)]	19	132	3	0	136	154
Metsäojitukset yhteensä	173	439	23	4	465	638
Vanhat ojitukset, 11–30 v.	416	1239	80	11	1330	1746
Pohjois-Suomi						
Metsäojitukset, 0-10 v.						
Uudisojitus	40	49	16	2	67	107
Ojien perkaus	17	127	8	0	136	153
Täydennysojitus [1)]	10	93	5	0	98	108
Metsäojitukset yhteensä	67	268	30	2	301	368
Vanhat ojitukset, 11–30 v.	248	1016	221	30	1267	1516
Koko Suomi						
Metsäojitukset, 0-10 v.						
Uudisojitus	164	140	27	5	171	335
Ojien perkaus	48	342	17	1	360	409
Täydennysojitus [1)]	29	225	8	0	234	263
Metsäojitukset yhteensä	241	707	53	6	766	1006
Vanhat ojitukset, 11–30 v.	665	2255	301	42	2597	3262

1) Täydennysojituksen lisäksi näillä alueilla on voitu perata vanhoja ojia.

Ojitettujen soiden kuivatustilasta huolehtiminen on turvemaiden metsien hoidossa keskeistä. Kunnostusojituksella ei ensisijaisesti pyritä ojitusalueen puuston kasvun lisäämiseen, vaan säilyttämään puuston kasvu kasvupaikan ravinteisuuden sallimalla tasolla (Lauhanen & Ahti 2001). Hökkä ym. (2002) arvioivat vuosien 2000-2004 vuotuiseksi kunnostusojitustarpeeksi 116 000 ha. Tarve on kasvanut ja tästä arvioidustakin tarpeesta ollaan VMI9:n mukaan jäljessä.

Myös taimikonhoidon ja puuston harvennustarpeiden osalta ollaan jäljessä VMI9:ssa arvioiduista tarpeesta. Taimikonhoitoja ja puuston harvennushakkuita tulisi tehdä inventointia seuraavalla 10-vuotiskaudella 2,2 milj. hehtaarilla. Taimikonhoitotyöt ovat myöhässä 250 000 ha:lla ja harvennushakkuut 320 000 ha:lla.

Oikein ajoitetut metsänparannus-, hoito- ja hakkuutoimien ovat eritäin tärkeitä tulevien hakkuumahdollisuuksien kannalta, koska suopuustojen pääosan päätehakkuita joudutaan odottamaan vielä muutama vuosikymmen. Ilman oikea-aikaisia toimia menetetään jo tehtyjä investointeja. Edellä todetut metsänhoito- ja metsänparannustöiden jälkeenjääneisyydet suometsissä lienee korjattavissa vain hyvin suunniteltujen yhteishankkeiden avulla ja kohdentamalla julkista rahoitusta sekä hankkeiden suunnitteluun että niiden toteuttamiseen.

Kirjallisuus

Heikkinen, J. 2006. Assessment of Uncertainty in Spatially Systematic Sampling. Teoksessa: Kangas, A. & Maltamo, M. 2005 (toim.). Forest Inventory, Methods and Applications. Managing Forest Ecosystems Vol. 10. Springer, Dordrect. XIX: 155-176.

Heikurainen, L., Kuusela, K., Linnamies, O. ja Nyyssönen, A. 1960. Metsiemme hakkuumahdollisuudet. Pitkän ajan tarkastelua. Silva Fennica 110: 115-191.

Hökkä, H., Kaunisto, S., Korhonen, K.T., Päivänen, J., Reinikainen, A. & Tomppo, E. 2002. Suomen suometsät 1951-94. Metsätieteen aikakauskirja 2B/2002: 201-357.

Ilvessalo, Y. 1957. Suomen metsät metsänhoitolautakuntien toiminta-alueittain. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 47(3). 128 s.

Korhonen, K.T., Tomppo, E., Henttonen, H., Ihalainen, A. & Tonteri, T. 2000a. Lounais-Suomen metsäkeskuksen alueen metsävarat ja niiden kehitys 1965–98. Metsätieteen aikakauskirja. 2B/2000: 337-411.

Korhonen, K.T., Tomppo, E., Henttonen, H., Ihalainen, A. & Tonteri, T. 2000b. Hämeen-Uudenmaan metsäkeskuksen alueen metsävarat 1965-99. Metsätieteen aikakauskirja. 3B/2000: 489-566.

Korhonen, K.T., Tomppo, E., Henttonen, H., Ihalainen, A., Tonteri, T. & Tuomainen, T. 2000c. Pirkanmaan metsäkeskuksen alueen metsävarat 1965–99. Metsätieteen aikakauskirja. 4B/2000: 661-739.

Korhonen, K.T., Tomppo, E., Henttonen, H., Ihalainen, A., Tonteri, T. & Tuomainen, T. 2001. Pohjois-Karjalan metsäkeskuksen alueen metsävarat 1966-2000. Metsätieteen aikakauskirja 3B/2001: 495-576.

Kuusela, K. 1972. Suomen metsävarat ja metsien omistus 1964-1970 sekä niiden kehittyminen 1920-70. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 76.5. 126 s.

Kuusela, K. 1978. Suomen metsävarat ja metsien omistus 1971–1976. Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja 93.6: 1-107.

Lauhanen, R. & Ahti, E. 2001. Effects of maintaining ditch networks on the development of Scots pine stands. Kunnostusojituksen vaikutus rämemänniköiden kehitykseen. Suo 52(1): 29-38.

Paavilainen, E. & Tiihonen, P. 1988. Suomen suometsät vuosina 1951-1984. Folia Forestalia 714. 29 s.

Tomppo, E. 1999. Forest resources of Finnish peatlands in 1951-1994. International Peat Journal 9: 38-44.

Tomppo, E. 2006. The Finnish Multi-Source National Forest Inventory – Small Area Estimation and Map Production. Teoksessa: Kangas, A. and Maltamo, M. (toim.). Forest Inventory, Methods and Applications. Managing Forest Ecosystems Vol. 10. Springer, Dordrect. XIX: 195-224

Tomppo, E. & Henttonen, H. 1996. Suomen metsävarat 1989-1994 ja niiden muutokset vuodesta 1951 lähtien. Metsätilastotiedote 354.

Tomppo, E., Henttonen, H., Korhonen, K. T., Aarnio, A., Ahola, A., Heikkinen, J., Ihalainen, A., Mikkelä, H., Tonteri T. & Tuomainen, T. 1998. Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueen metsävarat ja niiden kehitys 1968-97. Metsätieteen aikakauskirja. 2B/1998: 293-374.

Tomppo, E., Henttonen, H., Korhonen, K.T., Aarnio, A., Ahola, A., Heikkinen, J. & Tuomainen, T. 1999a. Pohjois-Savon metsäkeskuksen alueen metsävarat ja niiden kehitys 1967–96. Metsätieteen aikakauskirja. 2B/1999: 389-462.

Tomppo, E., Henttonen, H., Korhonen, K.T., Aarnio, A., Ahola, A., Ihalainen, A., Heikkinen, J. & Tuomainen, T. 1999b. Keski-Suomen metsäkeskuksen alueen metsävarat ja niiden kehitys 1967–96. Metsätieteen aikakauskirja. 2B/1999: 309-387.

Tomppo, E., Korhonen, K.T., Henttonen, H., Ihalainen, A., Tonteri, T. & Heikkinen, J. 1999c. Kymen metsäkeskuksen alueen metsävarat ja niiden kehitys 1966-98. Metsätieteen aikakauskirja. 3B/1999: 603-681.

Tomppo, E., Korhonen, K.T., Ihalainen, A., Tonteri, T., Heikkinen, J. & Henttonen, H. 1999d. Ålands skogar och deras utveckling 1963-1997. Metsätieteen aikakauskirja. 4B/1999: 785-849.

Tomppo, E., Korhonen, K.T., Ihalainen, A., Tonteri, T., Heikkinen, J. & Henttonen, H. 2000. Skogstillgångarna inom Kustens skogscentral

och deras utveckling 1965-98. Metsätieteen aikakauskirja IB/2000: 83-232.
Tomppo, E., Henttonen, H, Ihalainen, A., Tonteri, T. & Tuomainen, T. 2001a. Etelä-Savon metsäkeskuksen alueen metsävarat 1966-2000. Metsätieteen aikakauskirja. 2B/2001: 309-388.
Tomppo, E., Henttonen & Tuomainen, T. 2001b. Valtakunnan metsien 8. inventoinnin menetelmä ja tulokset metsäkeskuksittain Pohjois-Suomessa 1992-94 sekä tulokset Etelä-Suomessa1986-92 ja koko maassa 1986-94. Metsätieteen aikakauskirja. 1B/2001: 99-248.
Tomppo, E., Tuomainen, T., Henttonen, H., Ihalainen, A. & Tonteri, T. 2003. Kainuun metsäkeskuksen alueen metsävarat 1969-2001. Metsätieteen aikakauskirja 2B/2003: 169-256.
Tomppo, E., Tuomainen, T., Henttonen, H., Ihalainen, A., Korhonen, K.T., Mäkelä, H. & Tonteri, T. 2004. Pohjois-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueen metsävarat 1968-2002. Metsätieteen aikakauskirja 3B/2004: 339-418.
Tomppo, E., Tuomainen, T., Heikkinen, J., Henttonen, H., Ihalainen, A., Korhonen, K.T., Mäkelä, H. & Tonteri, T. 2005. Lapin metsäkeskuksen alueen metsävarat 1970-2003. Metsätieteen aikakauskirja 2B/2005: 199-287.

TURVEMAIDEN RAVINTEET JA NIIDEN RIITTÄVYYS



2 Turvemaiden ravinteet ja niiden riittävyys

2.1 Turvemaan ravinnevarat

Raija Laiho ja Jukka Alm

2.1.1 Turvemaan ravinteisuuteen vaikuttavat tekijät

Turve koostuu lähes kokonaan vaillinaisesti hajonneista kasvinjäännöksistä. Turvetta suon luonnontilaisen kehityksen aikana muodostaneen kasvillisuuden ominaisuudet vaikuttavat siis suoraan turpeen ominaisuuksiin, ja tämä vaikutus säilyy kauan myös suon ojituksen jälkeen. Luonnontilaisen suon kasvillisuus puolestaan määräytyy sen mukaan, kuinka korkealla vedenpinnan taso on, kuinka hapanta suovesi ja turve on, sekä paljonko käytettävissä on kasveille tärkeitä ravinteita (esim. Wheeler & Proctor 2000, Økland ym. 2001). Kaikki nämä tekijät riippuvat hyvin pitkälle suolle tulevan veden määrästä ja ominaisuuksista. Veden määrän ja laadun vaihtelut, eli suon ekohydrologia, vaikuttavat turvemaan ravinteisuuteen myös sitä kautta, että ne säätelevät kasvinjäännöksiä hajottavan mikrobiyhteisön koostumusta, hajoamisprosessien kulkua ja hajoamistuotteiden kulkeutumista, sekä tuomalla suoraan ravinteita turpeeseen, josta suurin osa on itse asiassa vettä.

Ravinteita tulee luonnontilaisille soille pääasiassa kolmea tietä. Ombrotrofisille eli sateen ruokkimille soille tai suon osille ravinteita tulee pääsääntöisesti pelkästään laskeuman mukana, sekä sadevedessä että kuivalaskeumana. Minerotrofisille eli mineraalien ruokkimille soille tai suon osille ravinteita tulee lisäksi ympäröivältä valuma-alueelta valumavesien mukana ja/tai pohjavesivaikutuksena turvekerroksen läpi. Typpi poikkeaa muista ravinteista, koska eräät suovedessä ja sammalten yhteydessä elävät mikrobit (useimmiten sinibakteereja) voivat sitoa sitä myös suoraan ilmakehästä (esim. Blasco & Jordan 1976).

Aapasuot ovat kokonaan minerotrofisia. Keidas- eli kohosuot ovat meidän ilmastooloissamme myös syntyneet minerotrofisina, mutta turpeen paksuuskasvun myötä niihin on muodostunut ombrotrofinen osa, joka on "kasvanut" valunta- ja pohjavesivaikutusten ulottumattomiin. Kohosoiden laiteet ovat edelleen valuma-alueen kivennäismaaosalta tulevien vesien vaikutuspiirissä. Näiden minerotorofisten laiteiden leveys voi vaihdella suuresti.

Laskeuman mukana tulevien ravinteiden määrä on melko vähäinen, joten kivennäismailta tulevien vesien vaikutus on erittäin tärkeä tekijä suon ravinteisuuden muodostumisessa (taulukko 1). Minerotrofisille soille tai suon osille valuma-alueelta tulevan veden määrässä ja laadussa, ja siten suolle tulevien ravinteiden määrässä, on suurta vaihtelua, joka riippuu mm. valuma-alueen koosta, topografiasta ja maaperän ominaisuuksista. Vettä ei myös yleensä tule tasaisesti koko suolle, vaan veden virtaussuunnat ja -väylät aiheuttavat suurta suon sisäistä paikallista vaihtelua. Veden määrä ja laatu säätelevät myös epäsuorasti typen määrää ja sen paikallista vaihtelua. Typensitojat viihtyvät märässä, neutraalissa pH:ssa ja valoisassa, eli typensidonta on vilkkainta runsaasti minerotrofisia vesiä saavilla avosuokuvioilla (Basilier ym. 1978, Waughman & Bellamy 1980).

Kun suo on nuori ja sen turvekerros ohut, kasvit saavat ravinteita alla olevasta kivennäismaasta joko suoraan tai pohjavesivaikutuksen kautta. Hitaasti korkeutta kasvavassa minerotrofisessa vaiheessa kasvimateriaalin hajoaminen ja ravinteiden vapautuminen on

Taulukko 1. Esimerkki suolle eri kautta tulevien vesien ravinnepitoisuuksien vaihtelusta. Lakkasuo Orivedellä. Lähde: Laine ym. (2002).

Veden lähde	N	P	K	Ca	Mg
		mg l^{-1}			
Sade	0,67	0,017	0,08	0,2	0,05
Pohjavesi ("Lähde")	0,12	0,012	0,6	2,2	0,6
Pohjavesi ("Pv 3")	0,16	0,007	1,3	10,5	2,3

verraten nopeaa, ja suuri osa ravinteista pysyy mukana biologisessa kierrossa. Kun turpeen kerrostumisnopeus kasvaa suon kehityksen myötä, yhä enemmän ravinteita hautautuu hajoamattoman kasvimateriaalin mukana turpeeseen. Samalla ympäriltä ja alta tulevien vesien vaikutus vähenee. Tämä johtaa pintaturpeen ravinteisuuden vähenemiseen, ja lopulta ombrotrofiaan. Ombrotrofia edustaa kasveille äärioloja ravinteiden saatavuuden suhteen.

Kun suota kuivatetaan ojittamalla, osa ympäröiviltä kivennäismailta tulevasta valunnasta ohjautuu ojiin eikä pääse enää "ruokkimaan" suota. Ojitetun suon saama ravinnetäydennys riippuu siten paljolti siitä, kuinka paljon syvemmältä tulevaa pohjavettä pääsee turvekerroksen läpi vaikuttamaan pintaturpeeseen, sekä toisaalta laskeuman määrästä.

2.1.2 Ravinnetilaa kuvaavat tunnukset

Turpeen ravinnetilaa voidaan tarkastella kahden erilaisen tunnuksen avulla: turpeen kuiva-aineen ravinnepitoisuuden (esim. mg g^{-1} kuivaa turvetta) ja tietynpaksuisen turvekerroksen sisältämän ravinnemäärän (esim. kg ha^{-1} 30 cm pintaturvekerroksessa). Nämä tunnukset kuvaavat kahta eri asiaa, ja niissä ojituksen jälkeen tapahtuvat muutokset poikkeavat osin selvästi toisistaan (esim. Laiho ym. 1999). Siksi tunnuksien kanssa tulee olla tarkkana. Pitoisuus kuvaa turveaineksen laatua, ja pitoisuuden muutokset kuvaavat ravinteita maasta poistavien ja niitä maahan lisäävien tekijöiden vaikutusten summaa. Ravinnemäärä taas on käytännönläheisempi tunnus, joka kertoo turpeessa olevan ravinnevaraston suuruuden. Turpeen ravinnetilaa tarkasteltaessa on tärkeää kiinnittää huomiota siihen, kumpia tunnuksia käytetään. Tämä johtuu siitä, että turpeen tiheys vaihtelee, ja kasvaa ojituksen jälkeen suon pinnan painuessa ja turpeen tiivistyessä. Toisin sanoen tietyn paksuinen turvekerros sisältää vaihtelevan määrän turvetta kuiva-aineena mitattuna, ja ojitetuilla soilla esimerkiksi 30 cm paksuinen kerros sisältää sellaistakin turvetta, joka oli 30 cm:n rajan alapuolella ennen ojitusta. Tiheyden muuttuminen ei tietenkään vaikuta koko turvekerrostuman ravinnevaraston suuruuteen, mutta se vaikuttaa kasvien ravinteidenoton ulottuvilla olevan varaston suuruuteen.

Turpeen ravinteisuudesta, sekä pitoisuuksista että määristä, puhuttaessa tarkoitetaan yleensä ns. kokonaispitoisuuksia tai kokonaismääriä. Näistä kokonaisravinnemääristä vain osa on välittömästi kasvien käytettävissä, kun taas osa on sitoutuneena orgaanisen aineksen molekyylirakenteeseen ja vapautuu vasta hajotustoiminnan tuloksena. Käytettävissä olevan osuuden suuruus vaihtelee ravinteittain. Sitä voidaan arvioida erilaisilla uuttomenetelmillä. Starr & Westman (1978) esittivät, että luonnontilaisilla nevarämeillä (RhSR, VSR, LkR) käytettävissä olevan typen osuus oli 4-7 % kokonaismäärästä, fosforin 6-12 %, kaliumin 56-98 %, kalsiumin 62-69 % ja magnesiumin 67-70 %. Kauniston ja Paavilaisen (1988) ruoho- ja sararämeistä kehittyneitä turvekankaita koskevassa aineistossa (ojitettuina yli 70 vuotta) ammoniumtypen ja liukoisen fosforin osuus olivat 0-10 cm:n turvekerroksessa huomattavasti pienempiä kuin edellä (N 0,7 %, P 2-3 %). Turpeen päällä olevassa raakahumuskerroksessa ammoniumtypen osuus oli noin 1 %, mutta liukoisen fosforin osuudet olivat selvästi korkeampia (10-18 %). Saman aineiston korvissa (RhK, MK ja PK) ammoniumtypen osuus oli 0-10 cm:n kerroksessa noin 1 % ja raakahumuskerroksessa noin 2 % sekä liukoisen fos-

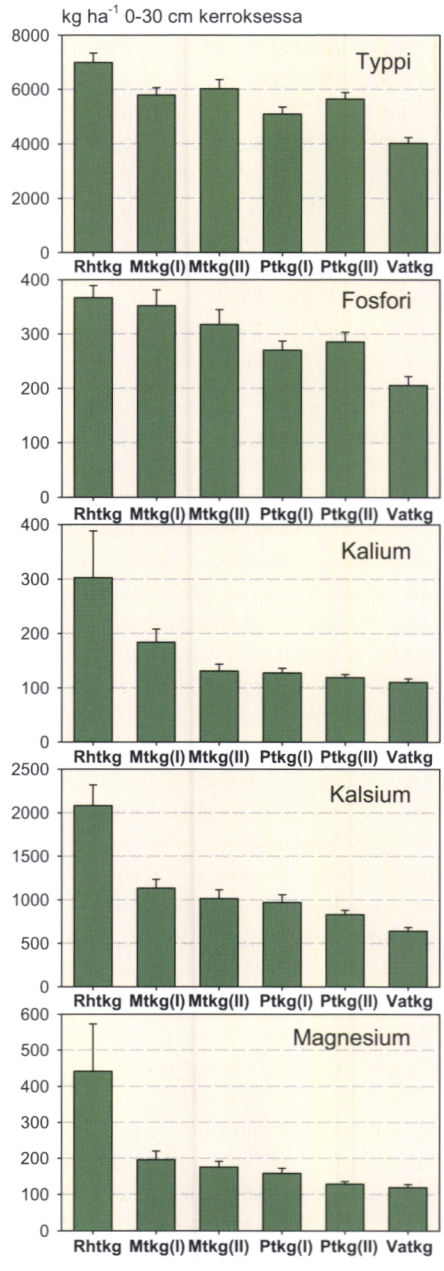
forin osuudet vastaavasti eri kerroksissa 7-10 ja 22-33 %. Ravinnemäärät raakahumuskerroksessa olivat kuitenkin pieniä.

2.1.3 Kasvupaikkatyyppi ravinteisuuden kuvaajana

Koska maan ravinteisuuden suora havainnointi edellyttää työlästä näytteenottoa ja ravinnetunnusten määrittämistä laboratoriossa, kasvupaikkojen ravinteisuuden ja sen myötä odotettavissa olevan tuotoksen arviointi on käytännön syistä päädytty tekemään epäsuorasti kasvillisuuden perusteella. Kasvillisuuden perusteella erotettaviin suotyyppeihin perustuva suoluokituksemme sisältää yksinkertaisessa muodossa valtavan määrän ekologista informaatiota. Suotyyppien perustana olevat kasviyhdyskunnat kuvastavat yllättävänkin tarkasti eri kasvupaikkojen vesi- ja ravinnetilan vaihtelua ja historiaa.

Suotyypit ovat kuitenkin kasvillisuusvaihtelunkin osalta melko laajoja luokkia. Lisäksi samanlaistakin kasvillisuutta voivat ylläpitää jossakin määrin vaihtelevat yhdistelmät yksittäisiä ravinteita. Siksi suotyyppien ja edelleen ojitettuja soita kuvaavien turvekangastyyppien (jatkossa puhutaan kasvupaikkatyypeistä) sisällä voidaan havaita melko suurta luonnollista vaihtelua ravinnetunnuksissa (esim. Westman 1981). Suuri vaihtelu vaikeuttaa ravinnetilan täsmällistä arviointia ekologisten kasvillisuustunnusten, eli kasvupaikkatyyppimäärityksen avulla. Keskimäärin turpeen ravinnemäärät (kg ha^{-1}) ovat kuitenkin selvästi sitä suuremmat, mitä paremmaksi luokitellusta kasvupaikkatyypistä on kyse (Kuva 1).

Westman & Laiho (2003) selvittivät myös eri kasvupaikkatyyppien erottumista toisistaan pintaturpeen ravinnemäärien perusteella. Turvekangastyyppien eroja kuvasivat parhaiten turpeen kalsium- ja kaliummäärät, seuraavaksi tärkeimmiksi ravinteiksi osoittautuivat rauta ja typpi. Kalsium erotti toisistaan trofiatasot (ruoho-, mustikka-, puolukka- ja varputurvekankaat), kun taas kalium, rauta ja typpi tarvittiin lähinnä erottamaan toisistaan



Kuva 1. Turpeen (0-30 cm) keskimääräiset kokonaisravinnemäärät (kg ha^{-1}) eri turvekangastyypeillä Etelä-Suomessa, rajalinjana noin Oulun korkeus, Westmanin ja Laihon (2003) mukaan. Kuvan aineistona on 490 ojitettua suokohdetta, ojitusiältään 6-84 vuotta, joilla turpeen paksuus oli vähintään 30 cm. Kohteilla ei oltu tehty hakkuita edellisen 10-vuotiskauden aikana. Janat kuvaavat keskiarvon keskivirhettä.

puolukka- ja mustikkaturvekankaiden I- ja II-tyypit. Kasvillisuuteen perustuva ekologinen luokitus kuvasi turpeen ravinnemääriä parhaiten niukkaravinteisilla kasvupaikoilla. Yli kaksi kolmasosaa Vatkg-kohteista voitiin sijoittaa "oikeaan" turvekangastyyppiin, kun kriteerin muodosti pintaturpeen Ca-, K-, Fe- ja N-määrien yhdistelmä. Turvekangastyypit Mtkg(I) ja Ptkg(I) olivat ravinnemääriensä suhteen hajanaisimpia; vain neljännes Mtkg(I)-tyypin kohteista ja reilu kolmannes Ptkg(I)-tyypin kohteista voitiin tässä analyysissä tunnistaa oikein ravinnetunnustensa avulla. Keskimäärin 49 % tutkituista kohteista olisi luokittunut Ca-, K-, Fe- ja N-määrien perusteella samoihin luokkiin kuin pintakasvillisuuden perusteella tehdyssä luokituksessa. Useampien ravinteiden huomioon ottaminen ei olisi parantanut luokitusten vastaavuutta.

Mustikka- ja puolukkaturvekankaiden alatyyppien I ja II erot turpeen ravinnemäärissä johtuvat paljolti luonnontilaisten alkuperäistyyppien erilaisesta hydrologiasta, mikä kuvastuu K-, Fe- ja N-määrien erilaisuutena. Kun alatyyppiä I edustavat kasvupaikat ovat olleet melko kuivia ja puustoisia ennen ojitusta, alatyypin II kohteet ovat alun perin melko märkien kasvupaikkojen, joko vähäpuustoisten, nevamaisia painanteita sisältäneiden sekatyypin soiden tai puuttomien avosoiden ojitusaloja. Märkien painanteiden kasvillisuus, jonka biomassasta suuri osa kuolee vuosittain, pidättää kaliumia heikosti. Siten kaliumvaranto, joka suoekosysteemissä esiintyy pääosin kasvillisuuteen sitoutuneena, on II-tyypin kohteilla vähäisempi. Vastaavasti korkeamman rautavarannon syynä II-tyypin kohteilla lienee suurempi pohjavesivaikutus (Solantie 1974) ja raudan saostuminen turpeeseen (Puustjärvi 1952). Typen suhteellinen runsaus alunperin märemmillä ja avoimemmilla II-tyypin soilla on seurausta runsaammasta sinibakteerien typensidonnasta.

Kun alkuperäisten kosteusolojen erot häivytettiin keinotekoisesti yhdistämällä mustikka- ja puolukkaturvekankaiden alatyypit I ja II toisiinsa, kalsiumin, fosforin ja kaliumin määrät kuvasivat parhaiten turvekangastyyppien eroja. Korkea Ca-pitoisuus kuvastaa yleisesti korkeaa tuottavuutta myös kivennäismaiden metsissä (Valmari 1921), ja P ja osin K ovat todennäköisimmin kasvua rajoittavia minimiravinteita turvemaiden metsissämme (esim. Kaunisto 1997, Sundström ym. 2000). Turvekangastyyppien väliset erot kaliummäärissä saattavat toisaalta olla myös seurausta kaliumin runsaammasta pidättymisestä runsaspuustoisemmille tyypeille.

Alkuperäisen suotyypin sisäinen turpeen ravinnemäärien vaihtelevuus siis säilyy ravinnevarastoissa ojituksen jälkeenkin. Ennustettavissa olevaa vaihtelua aiheuttavia tekijöitä puolestaan ovat mm. turvekerroksen paksuus ja ilmastotekijät. Westmanin ja Laihon (2003) mukaan erityisesti pintaturpeen N-, P- ja K-määrät olivat sitä suuremmat mitä ohuempi oli turvekerros. Ilmastotekijöiden ja pintaturpeen N-, P-, Fe- ja Mn-määrän välillä havaittiin selvä yhteys: samaa kasvupaikkatyyppiä edustavilla kohteilla sekä nämä ravinnemäärät että pH-luvun arvo ovat keskimäärin sitä suuremmat mitä pienemmän lämpösumman alueella ollaan (Westman & Laiho 2003). Raudan ja mangaanin osalta kyse voi olla koho- ja aapasoiden hydrologisista eroista, mutta typen ja fosforin osalta ilmiö kertonee myös ravinne-ekologian muutoksesta. Typen ja fosforin saatavuus suhteessa niiden kokonaismääriin turpeessa vähenee lämpösumman pienetessä (Sundström ym. 2000, Pietiläinen & Kaunisto 2003, ks. myös luku 2.3), joten käytännössä kylmässä ilmastossa tietty kasviyhdyskunta ilmeisesti tarvitsee lämpimämpiin oloihin verrattuna suuremmat kokonaisravinnevarat. Siten nykyinen kasvillisuuteen perustuva kasvupaikkaluokitus kuvaa lähinnä kohteen tuotospotentiaalia eli kasvussa tarvittavien ravinteiden saatavuutta, mutta yksin kasvillisuuskuvauksen perusteella ei kyetä ennustamaan kovinkaan tarkasti turvemaan kokonaisravinnemääriä eri ilmastovyöhykkeillä (Westman & Laiho 2003).

Erot kallio- ja maaperän mineraalikoostumuksessa voivat aiheuttaa alueellista vaihtelua myös turpeen ravinnevarastoissa. Turvemaiden ravinteisuuden alueellista vaihtelua selvitetään parhaillaan Metsäntutkimuslaitok-

sella pysyviltä VMI-koealoilta otettujen näytteiden sekä aiempien tutkimusaineistojen perusteella laadittavien mallien avulla. Malleilla pyritään ennustamaan eri turvekangastyyppien turpeen ravinnetunnuksia eri osissa maata. Helpoimmin näyttäisi olevan ennustettavissa turpeen fosforin pitoisuus ja määrä, vaikeimmin kaliumin.

2.1.4 Suometsien sisäinen ravinteisuuden vaihtelu

Turpeen ravinnetunnukset voivat vaihdella huomattavasti paitsi eri kasvupaikkatyyppejä edustavien suo- tai metsikkökuvioiden välillä, myös niiden sisällä (Laiho ym. 2004). Tällä on suurta käytännön merkitystä silloin, kun otetaan maanäytteitä metsikön ravinnetilan arvioimiseksi. Mitä enemmän ravinnetunnukset metsikön sisällä vaihtelevat, sitä enemmän on otettava osanäytteitä luotettavan keskiarvoravinnetunnuksen saamiseksi. Jos osanäytteitä otetaan liian vähän, niiden avulla saatava tulos voi olla aivan sattumanvarainen.

Laiho ym. (2004) tutkivat metsikön sisäistä vaihtelua turpeen tiheydessä sekä ravinnepitoisuuksissa ojittamattomilla (2) ja ojitetuilla (9) varsinaisilla sararämeillä (ojitettuna Ptkg(II)). Vähiten metsiköiden sisällä vaihtelivat turpeen tiheys ja fosforipitoisuus. Pintaturpeessa (0-30 cm) niiden suhteellista vaihtelua kuvaava variaatiokerroin (keskihajonta suhteessa keskiarvoon) oli keskimäärin noin 10 %. Emäskationien (K, Ca, Mg) keskimääräinen variaatiokerroin 0-30 cm kerroksessa vaihteli välillä 20-30 %, sinkillä se oli noin 40 %, ja mangaanilla suurin: 75 %. Typpipitoisuuden vaihtelua ei tutkittu. Vaihtelun määrässä ei ollut selviä eroja ojittamattomien ja ojitettujen koealojen välillä muissa mitatuissa tunnuksissa, mutta mangaanin vaihtelu oli vähäisempää ojitetuilla koealoilla.

Jos tavoitteeksi asetetaan, että näytteenotolla metsikölle saatavien keskiarvotunnusten teoreettinen suurin poikkeama on enintään 10 % metsikön "todellisesta" keskimääräisestä ominaisuudesta, riittää 0-30 cm turvekerrokselle 5 osanäytettä silloin, kun ollaan kiinnostuneita vain turpeen tiheydestä ja fosforipitoisuudesta. Mahdollisesti sama pätee myös typpipitoisuuteen. Kaikilla muilla tutkituilla ravinteilla (Ca, K, Mg, Fe, Mn, Zn) vastaavaan tarkkuuteen pääseminen edellyttää selvästi suurempaa osanäytemäärää, mangaanilla jopa noin kahta sataa. Jos halutaan tarkastella erillisten 10 cm kerrosten tunnuksia, tarvittavat näytemäärät ovat vielä suurempia. Koska lähes kaikissa tunnuksissa on selvää syvyyssuuntaista vaihtelua jopa 0-30 cm kerroksen sisällä, näytteenoton onnistumisen kannalta on myös erittäin tärkeää, että näytteenoton "nollaraja", eli se raja, josta alaspäin näytteet otetaan (yleensä elävän kasvillisuuden alaraja), määritetään hyvin huolellisesti.

Mitä on turve?

Kun turpeesta otetaan näyte ravinneanalyysejä varten, mukaan tulee muutakin kuin varsinaista turvemaata. Elävät juuret, maaperäeläimet sekä hajottaja- ja muut mikrobit muodostavat vaihtelevan osuuden näytteen kokonaismassasta. Isompien juurten poistaminen sujuu helposti, mutta ohuet juuret, pienet eläimet ja mikrobit jäävät osaksi näytettä. Maanäytteen ravinnesisältöön tulevat siis mukaan myös näiden ravinnesisällöt.

Laihon (1997) arvion mukaan ojitetuilla nevarämeillä 0-50 cm turvekerroksen ravinnevaroista oli itse asiassa ohutjuurissa alle 1 % typestä, fosforista ja kalsiumista, 1-4 % magnesiumista ja jopa 8 % kaliumista. Mikrobeissa voi olla muutama prosentti ravinteista.

Kirjallisuus

Basilier, K., Granhall, U. & Stenström, T. 1978. Nitrogen fixation in wet minerotrophic moss communities of a subarctic mire. Oikos 31: 236-246.

Blasco, J.A. & Jordan, D.C. 1976. Nitrogen fixation in the muskeg ecosystem of the James Bay Lowlands, Northern Ontario. Can. J. Microbiol. 22: 897-907.

Kaunisto, S. 1997. Peatland forestry in Finland: problems and possibilities from the nutritional point of view. Teoksessa: Trettin, C.C., Jurgen-

sen, M.F., Grigal, D.F., Gale, M.R. & Jeglum, J.K. (toim.). Northern forested wetlands: Ecology and management, s. 387-401. CRC Press, Boca Raton.

Kaunisto, S. & Paavilainen, E. 1988. Nutrient stores in old drainage areas and growth of stands. Commun. Inst. For. Fenn. 145: 1-39.

Laiho, R., Sallantaus, T. & Laine, J. 1999. The effect of forestry drainage on vertical distributions of major plant nutrients in peat soils. Plant Soil 207: 169-181.

Laiho, R., Penttilä, T. & Laine, J. 2004. Variation in soil nutrient concentrations and bulk density within peatland forest sites. Silva Fennica 38: 29-41.

Laine, J., Komulainen, V.-M., Laiho, R., Minkkinen, K., Rasinmäki, A., Sallantaus, T., Sarkkola, S., Silvan, N., Tolonen, K., Tuittila, E.-S., Vasander, H. & Päivänen, J. 2002. Lakkasuo – opas suon ekosysteemiin. Helsingin yliopiston Metsäekologian laitoksen julkaisuja 26. 120 s.

Pietiläinen, P. & Kaunisto, S. 2003. The effect of peat nitrogen concentration and fertilization on the foliar nitrogen concentration of Scots pine (Pinus sylvestris L.) in three temperature sum regions. Suo 54: 1-13.

Puustjärvi, V. 1952. The precipitation of iron in peat soils. Acta Agr. Fenn. 78: 72.

Solantie, R. 1974. Kesän vesitaseen vaikutus metsä- ja suokasvillisuuteen ja linnustoon sekä lämpöolojen välityksellä maatalouden toimintaedellytyksiin Suomessa. Silva Fennica 8: 160-184.

Starr, M. & Westman, C.J. 1978. Easily extractable nutrients in the surface peat layer of virgin sedge-pine swamps. Silva Fennica 12: 65-78.

Sundström, E., Magnusson, T. & Hånell, B. 2000. Nutrient conditions in drained peatlands along a north-south climatic gradient in Sweden. For. Ecol. Manage. 126: 149-161.

Valmari, J. 1921. Beiträge zur chemischen Bodenanalyse. Acta For. Fenn. 20(4): 67 s.

Westman, C.J. & Laiho, R. 2003. Nutrient dynamics of peatland forests after water-level drawdown. Biogeochemistry 63: 269-298.

Wheeler, B.D. & Proctor, M.C.F. 2000. Ecological gradients, subdivisions and terminology of north-west European mires. J. Ecol. 88: 187-203.

2.2 Suometsien ravinnetilan kehitys ojituksen jälkeen

Raija Laiho, Seppo Kaunisto & Jukka Alm

2.2.1 Soiden ravinnekierto ja ojituksen aikaansaamat muutokset

Märillä luonnontilaisilla soilla suurin osa ravinteiden kierrosta tapahtuu kenttä- ja pohjakerroksen kasvien, lähinnä sarojen ja saramaisten kasvien sekä sammalten kautta. Suurin osa näiden kasvien biomassasta kuolee talven ajaksi, joten ne joutuvat ottamaan joka vuosi uusia ravinteita uuden biomassan kasvattamiseen, ja suuri osa keväällä otetuista ravinteista palautuu karikkeen mukana maahan syksyisin. Suurin osa ravinteiden kierrosta on tätä vuotuista kiertoa (Bernard ja Hankinson 1979, Urban ja Eisenreich 1988, Verry ja Urban 1992, Laiho ym. 2003). Jo luonnontilassa kuivemmilla soilla, joilla on paljon varpuja ja/tai puita, osa ravinteista sitoutuu myös pidemmäksi ajaksi monivuotiseen biomassaan. Ojituksen aikaansaama muutos ravinnekierrossa on sitä suurempi, mitä märempi suo on alunperin ollut, ja mitä suurempi on siis ojituksen aikaansaama kasvillisuuden muutos.

Käytetään esimerkkinä (lähteenä Laiho ym. 2003) tyypillistä eteläsuomalaista varsinaista sararämettä, joka on luonnontilaisena suursarojen vallitsemien melko märkien välipintojen ja mäntyä kasvavien matalien mättäiden mosaiikkia. Kasvillisuuden kokonaisbiomassa on noin 17 tonnia hehtaarilla, mistä kaksi kolmannesta on pintakasvillisuudessa (kenttä- ja pohjakerros) ja vain kolmannes puustossa. Viisikymmentä vuotta ojituksen jälkeen kokonaisbiomassa on seitsenkertaistunut (130 tonnia hehtaarilla) ja nyt yli 90 % siitä on puuston biomassaa. Samaan aikaan maanpäällisen vuotuisen maksimi-kasvibiomassan sisältämän typen määrä on noussut noin 80:stä noin 310 kiloon hehtaarilla, kaliumin noin 30:sta vajaaseen 85 kiloon hehtaarilla ja fosforin 4:stä reiluun 20 kiloon hehtaarilla. Juurien ravinnemäärissä muutokset ovat vajaasta 60:stä 210 kiloon hehtaarilla typpeä, 12:sta 35 kiloon kaliumia ja 2:sta 20 kiloon hehtaarilla fosforia.

Putkilokasvikarikkeen kokonaismäärä lisääntyy hieman ojituksesta kuluvan ajan myötä, noin 5,5 tonnista hehtaarille vuodessa luonnontilassa ja parin ensimmäisen ojitusta seuraavan vuosikymmenen aikana noin 6 tonniin 30-50 vuoden kuluttua ojituksesta. Jos mukaan otetaan arvio sammalkarikkeen määrästä, muodostuvan karikkeen määrä on suurimmillaan, lähes 10 tonnia hehtaarille vuodessa, vähän ojituksen jälkeen, ja vaihtelee sen jälkeen minimiarvosta noin 6 tonnia suokasvien nopean vähenemisen aikaan noin 8,5 tonniin hehtaarille vuodessa aikana jolloin uusi suometsäkasvillisuus on vakiintunut. Kasvillisuuden muutos heijastuu selkeästi karikkeen koostumuksessa. Luonnontilassa noin 80 % karikkeesta on peräisin kenttä- ja pohjakerroksen saroista ja sammalista. Parin vuosikymmenen kuluessa ojituksen jälkeen puut ottavat valta-aseman karikkeen muodostajina, tuottaen 90 % putkilokasvikarikkeesta ja kaikkiaan 75 % koko kariketuotannosta, mukaan luettuna sammalkerros.

Vastaavasti luonnontilassa suurin osa vuotuisesta ravinnekierrosta, eli vuoden aikana maasta otetuista mutta karikkeiden mukana maahan palaavista ravinteista, kulkee sarojen ja saramaisten kasvien ja sammalten kautta. Puiden kautta kulkee vain 10 % typen ja 5 % kaliumin vuotuiskierrosta. Jo kaksi vuosikymmentä ojituksen jälkeen puusto vastaa 80-90 % typen ja kaliumin vuotuiskierrosta putkilokasveissa ja 50-80 % sammalpeite mukaan luettuna. Typellä vuotuiskierron määrä vaihtelee reilusta 5 kg:sta noin 8 kiloon

hehtaarilla vuodessa. Kaliumin vuotuiskierron määrä selvästi laskee ojituksen jälkeen, reilusta 10 kg:stä noin 6 kiloon hehtaarilla vuodessa 20-30 vuoden kuluttua ojituksesta, ja alkaa sitten hitaasti kohota uudelleen. Fosforin vuotuiskierto vaihtelee luonnontilan vajaasta 3 kg:sta hehtaarilla vuodessa noin 5 kiloon 50-60 vuoden kuluttua ojituksesta.

Kokonaisravinteidenottoa tai -käyttöä voidaan arvioida lisäämällä biomassan ravinnemäärien muutokset vuotuiskierron määriin. Tällä tavoin arvioitu putkilokasvien vuotuinen typenotto moninkertaistuu pian ojituksen jälkeen. Tämä johtuu lähinnä varpujen ja puuston maanpäällisen biomassan, erityisesti runsaasti typpeä sisältävän yhteytyskoneiston eli lehvästön lisääntymisestä. Suovarpujen väheneminen puuston lisääntyessä näyttää saavan aikaan tilapäisen vähenemisen kokonaistypenotossa 20-30 vuoden kuluttua ojituksesta, mutta pidemmällä aikavälillä putkilokasvien typenotto ojitetulla suolla pysyy noin kolmanneksen korkeammalla tasolla kuin luonnontilassa. Sammalten typenotto, joka on noin puolet putkilokasvien typenotosta, noudattelee samantyyppistä kehityskulkua (Laiho ym. 2003).

Typpeä on turvemaassa pääosin orgaanisessa muodossa suhteellisen runsaasti (ks. myös luku 2.3). Tämä varanto on melko vakaa, koska se ei ole altis esim. huuhtoutumiselle. Typen kokonaisotto voikin lisääntyä ojituksen jälkeen vaikuttamatta havaittavasti maan typpivaroihin (Kaunisto & Paavilainen 1988, Laiho & Laine 1994, Moilanen ym. 1996, Kaunisto & Moilanen 1998, Westman & Laiho 2003). Kaliumin osalta tilanne on joka suhteessa aivan toisenlainen. Kalium pidättyy suoekosysteemiin lähinnä biologisesti, ja sitä on paksuturpeisilla soilla niukasti kasvillisuuden tarpeisiin nähden (Kaunisto & Paavilainen 1988, Kaunisto & Moilanen 1998, Westman & Laiho 2003). Ojituksenjälkeiset muutokset kasvillisuuden kaliuminotossa ovatkin hyvin mielenkiintoisia.

Runsaasti kaliumia ohutjuurtensa kautta kierrättävien sarojen katoaminen ojituksen jälkeen saa aikaan selvän vähenemisen myös putkilokasvien kokonaiskaliuminotossa (Laiho ym. 2003). Varpujen ja puiden kaliuminotto ei nouse vastaavalle tasolle ennen kuin noin vuosikymmenen kuluttua ojiyuksesta. Tämä kaliuminoton väheneminen tapahtuu samaan aikaan kun kaliumin huuhtouma kasvupaikalta on korkeimmillaan. Kasvillisuuden myöhempien kehitysvaiheiden osalta voidaan havaita, että kun kaliuminotto maanalaisiin osiin lisääntyy niin sen otto maanpäällisiin osiin vähenee, ja päinvastoin, ja kokonaisotto pysyy luonnontilaa alemmalla tasolla usean vuosikymmenen ajan. Ilmeisesti "ylimääräistä" kaliumia ei ole saatavilla kasvavan biomassan tarpeisiin: kun kaliumia sitoutuu johonkin biomassaositteeseen, sen täytyy vähentyä jostakin toisesta. Kaliuminotto kasvaa ojitusta edeltäneelle tasolle vasta 40 vuoden kuluessa ojituksesta. Tässä vaiheessa puusto on jo riittävän kehittynyt kyetäkseen itse latvuspidännän kautta vaikuttamaan kasvupaikkansa ravinnetaseeseen kuivalaskeumana saapuvia ilmavälitteisiä ravinteita "siivilöimällä" (ks. Schauffler ym. 1996).

Se, kuinka suuressa määrin ja kuinka nopeasti kasvien maasta ottamat ja siihen karikkeina palauttamat ravinteet voivat kiertää maasta uudelleen kasvien käyttöön, riippuu karikkeiden hajoamisnopeudesta. Sitä on suometsissä selvitetty toistaiseksi melko vähän. Tehdyt tutkimukset (Karsisto ym. 1996, Domisch ym. 1998, 2000, Laiho ym. 2004) osoittavat kuitenkin, että karikkeen hajoaminen ei välttämättä ole nopeampaa ojitetussa suometsässä kuin luonnontilaisella suolla. Ojituksen jälkeen tapahtuvat muutokset kasvillisuudessa ja sitä kautta karikkeiden määrässä ja laadussa (mitä kasvinosia mistä kasvilajeista) ovat sen suuntaisia, että putkilokasvien osalta suhteellisen hitaasti hajoavien karikelajien määrät lisääntyvät, ja hitaasti hajoavana pidetyn sammalkarikkeen määrä nousee tilapäisen vähenemisen jälkeen vanhoilla ojitusalueilla taas huomattavaksi (Laiho ym. 2003). Tästä kehityksestä on osoituksena turvekankaille usein muodostuva raakahumuskerros (Saarinen & Hotanen 2000).

2.2.2 Kasvavan puuston ravinnetarve

Puun kasvaessa kokoa myös sen biomassan sisältämien ravinteiden määrä kasvaa. Osa puiden maasta ottamista ravinteista palautuu maahan karikkeiden mukana. Puiden, tai puuston, kokonaisravinteidenottoa ja sitä kautta ravinnetarvetta arvioitaessa täytyy tuntea molempien osatekijöiden suuruus.

Sekä puun että puuston tasolla koko biomassan sisältämä ravinnemäärä on vahvasti verrannollinen puun tai puuston kokoon (kuvat 1 ja 2, taulukot 1 ja 2). Eri kasvupaikkojen välillä on jonkin verran vaihtelua, mutta vaihtelu näyttäisi olemassa olevien aineistojen perusteella olevan suhteellisen vähäistä. Onhan loogista, että tietynkokoinen puu on tarvinnut kasvaakseen tietyn määrän ravinteita, kasvoipa se sitten runsasravinteisella kasvupaikalla nopeasti tai niukkaravinteisella kasvupaikalla hitaasti.

Kuvassa 3 on esitetty arvio mäntyvaltaisen puuston kokonaisravinteidenoton kehityksestä varsinaisella sararämeellä (ojitettuna Ptkg (II)) luonnontilasta aikaan 55 v. ojituksen jälkeen. Mukana ovat vain puuston maanpäällisiin osiin käytetyt ravinteet. Arvio sisältää sekä vuotuisen kierron että kertymän kasvavaan biomassaan. Kuvattuna ajanjaksona puuston runkotilavuus kasvoi kahdeksasta sataanviiteenkymmeneen kuutiometriin hehtaarilla.

Luonnontilaisella suolla harva puusto otti maasta maanpäällisten osiensa käyttöön vain noin 2,5 kg ha^{-1} v^{-1} typpeä ja 0,5 kg ha^{-1} v^{-1} kaliumia vuodessa. Kasvun elpyessä ojituksen jälkeen puuston ravinteidenotto lisääntyi jyrkästi. Ravinteita kuluu runsaasti erityisesti yhteytyskoneiston eli latvuston kehittämiseen. Latvuston sulkeutumisvaiheessa puuston vuotuinen ravinnetarve on suurimmillaan. Tällöin esimerkkipuustomme otti maasta noin 27 kg ha^{-1} typpeä ja 5 kg ha^{-1} kaliumia vuodessa. Fosforille vastaava maksimiarvo oli noin n. 2,5 kg ha^{-1} v^{-1}.

Ravinteiden merkitys puille

Puut kuten muutkin kasvit käyttävät ravinteista eniten typpeä (ks. myös luku 2.3.1). Tärkeimpiä typpeä sisältäviä yhdisteitä ovat valkuaisaineet, jotka muodostavat soluliman ja tuman rakenteen, ja entsyymit, jotka katalysoivat aineenvaihdunnan prosesseja. Typpeä tarvitaan myös mm. aminohappoihin, amideihin, alkaloideihin, hormoneihin, sekä moniin muihin kasvun kannalta oleellisiin yhdisteisiin. Typpipitoisia yhdisteitä on yleensä eniten lehdissä ja ohutjuurissa. Kaliumia on kasveissa ravinteista toiseksi eniten, lukuun ottamatta varttuneita puita, joilla runkoon on kertynyt runsaasti kalsiumia. Kaliumia on kasveissa erityisesti solunesteessä. Kaliumionit vaikuttavat solunesteen osmoottiseen potentiaaliin ja sitä kautta solun vedenottokykyyn ja vesijännityksen eli turgorin ylläpitämiseen. Kaliumilla on tärkeä osuus ilmarakojen avautumisen ja sulkeutumisen säätelyssä. Kaliumin määrä on erityisen suuri lehdissä.

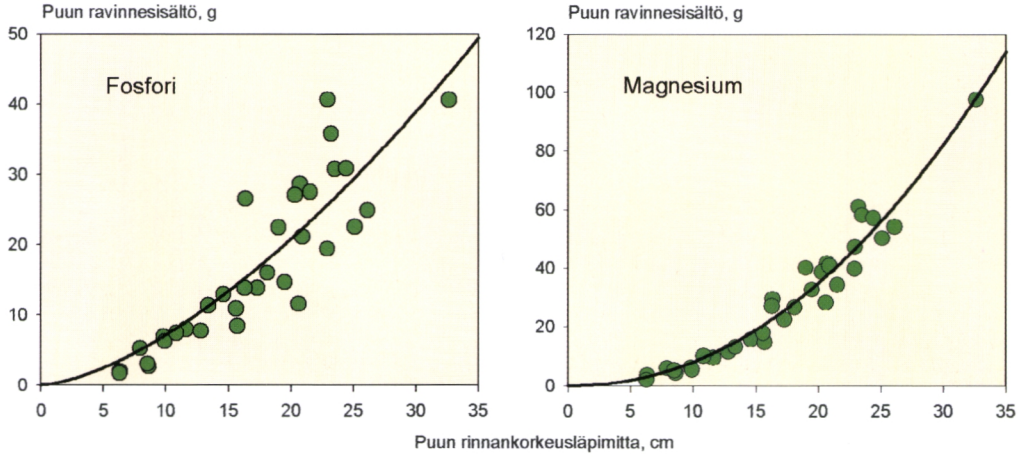
Kalsiumia taasen on kasveissa eniten soluseinän yhdisteissä, ja se vaikuttaa soluseinän ominaisuuksiin. Kalsiumia on kasveissa ravinteista toiseksi tai kolmanneksi runsaiten (ks. kalium). Fosforia tarvitaan mm. nukleotideihin, jotka ovat nukleiinihappojen (DNA, RNA) ja tiettyjen koentsyymien rakenneosia. Eräs tärkeä nukleotidi on solujen energiatalouden ja energiansiirron kannalta tärkeä adenosiinitrifosfaatti (ATP). Fosforia on myös mm. fosfolipideissä solun kalvojen rakenteissa. Magnesium on tärkeä lehtivihreämolekyylin osa, ja se osallistuu myös aktivaattorina moniin entsyymitoimintoihin. Kasvit tarvitsevat hivenaineita (B, Cu, Fe, Mn, Mo, Na, Zn) vain hyvin pieniä määriä, mutta ne ovat silti välttämättömiä elintoiminnoille. Suurina pitoisuuksina ne ovat usein myrkyllisisä. Monet hivenaineet toimivat entsyymisysteemien aktivaattoreina tai inhibiittoreina, tai koentsyymeinä. Rautaa ja mangaania tarvitaan mm. viherhiukkasten synteesissä.

Taulukko 1. Ptkg(II):lla kasvavien mäntyjen biomassan ja ravinnesisällön (C_i, biomassalle kg, ravinteille g) suhde rinnankorkeusläpimittaan (DBH, cm). Yhtälöiden avulla voidaan arvioida yksittäisten mäntyjen biomassa ja ravinnesisältö, kun niiden rinnankorkeusläpimitta tunnetaan. Lähde: Laiho ym. 2003. A = dummy-muuttuja hiljan ojitetuille soille (A = 1 mikäli ojituksesta kulunut aika <10 vuotta, muuten A = 0). Parametrien p1 – p3 jälkeen suluissa niiden asymptoottiset keskivirheet.

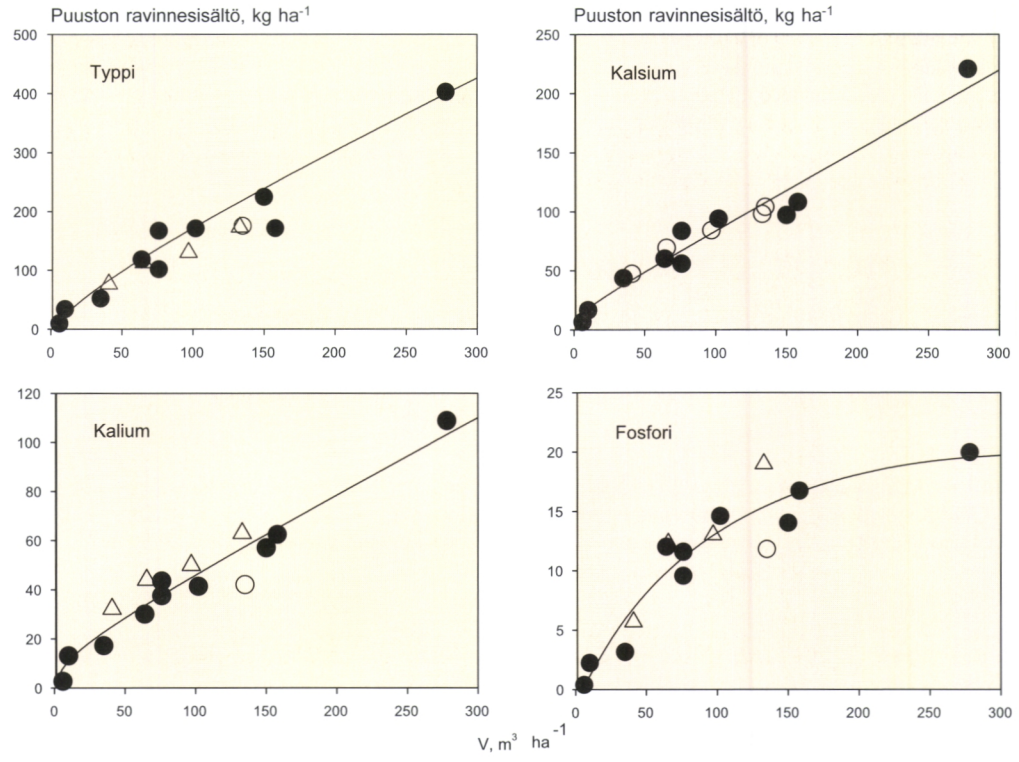
	$C_i = p1 \cdot DBH^{p2} + A \cdot DBH^{p3}$					
C_i	p1	p2	p3	R^2	s.e.e.	n
Biomassa	0,106 (0,028)	2,369 (0,083)		0,987	14,8	38
N	0,921 (0,513)	1,988 (1,173)		0,979	63,6	18
P	0,202 (0,120)	1,547 (0,191)		0,931	5,4	33
K	0,168 (0,055)	2,100 (0,103)	1,047 (0,127)	0,970	10,5	33
Ca	1,040 (0,503)	1,692 (0,154)		0,957	34,3	33
Mg	0,062 (0,021)	2,116 (0,107)		0,982	5,0	33

Taulukko 2. Mäntyvaltaisen suopuuston sisältämän ravinnemäärän (C_i, kg ha^{-1}) suhde runkotilavuuteen (V, m^3 ha^{-1}). Lineaarinen osa *p1 • V* edustaa runkoa (puu + kuori) ja logaritminen osa $p2 \cdot (lnV)^{p3}$ latvusta. Yhtälöiden avulla voidaan arvioida puuston ravinnesisältö, kun sen runkotilavuus tunnetaan. Lähde: Laiho 1997.

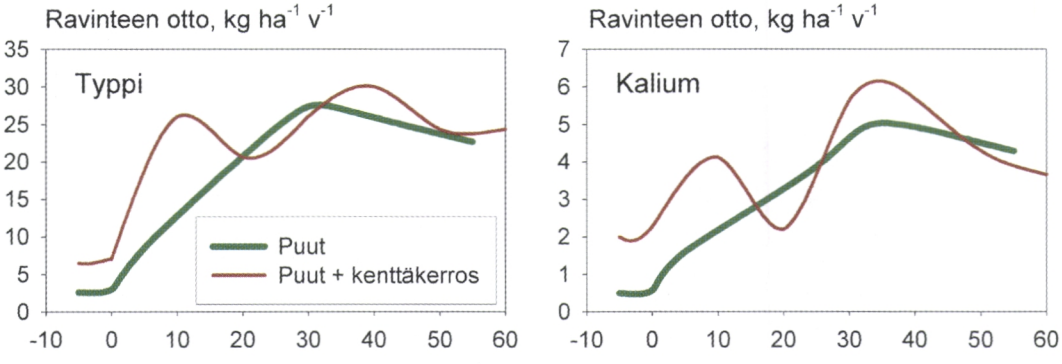
	$C_i = p1 \cdot V + p2 \cdot (lnV)^{p3}$					
C_i	p1	p2	p3	R2	s.e.e.	n
N	0,76 (0,01)	2,35 (3,07)	24,30 (8,56)	0,986	17,56	6
P	0,039 (0,004)	0,069 (0,07)	30,87 (7,36)	0,971	1,74	6
K	0,17 (0,01)	0,63 (0,68)	24,06 (7,02)	0,991	3,47	6
Ca	0,44 (0,04)	1,87 (1,29)	19,96 (4,54)	0,978	10,86	6
Mg	0,09 (0,002)	0,11 (0,10)	27,85 (5,85)	0,997	0,78	6



Kuva 1. Männyn läpimitan perusteella voidaan arvioida suhteellisesti parhaiten sen (maanpäällisen osan) magnesiumsisältö, ja suhteellisesti epävarmimmin sen fosforisisältö. Taulukon 1 yhtälöiden perustana olevaa aineistoa. Lähde: Laiho 1997 ja julkaisematon aineisto.



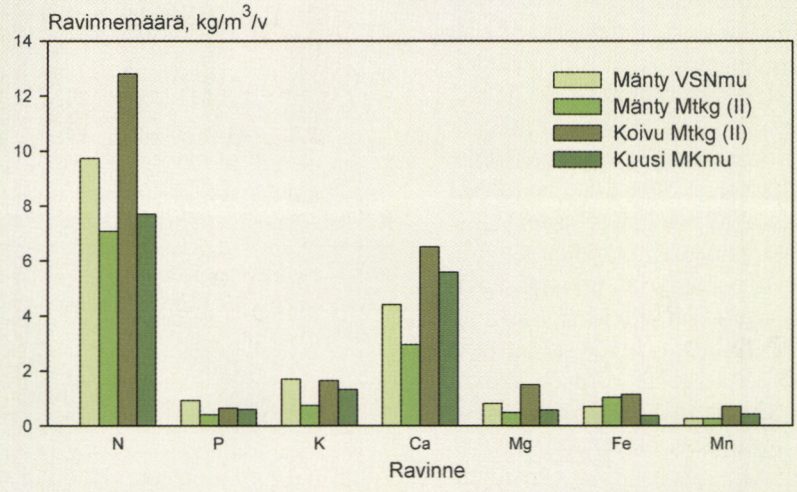
Kuva 2. Mäntyvaltaisten suopuustojen (maanpäällisen osan) kokonaisravinnemäärät suhteessa puuston runkotilavuuteen. Taulukon 2 yhtälöiden perustana olevaa aineistoa. Mustat ympyrät = Ptkg(II) eri puolilla Suomea, avoympyrä = Mtkg(II) PK, avokolmiot = Vatkg eri puolilla Fennoskandiaa. Lähde: Laiho 1997 (sisältää aineistoa myös julkaisuista Holmen 1964, Paavilainen 1980, Finér 1989, Finér 1991 sekä T. Penttilä ja R. Laiho julkaisematon aineisto). Typen osalta vertailua vaikeuttavat eri analyysimenetelmät. Taulukon 2 yhtälöt ja kuvassa olevat käyrät perustuvat Laihon (1997 ja julkaisematon aineisto) Ptkg(II)-koealoihin.



Kuva 3. Arvioitu puuston sekä puuston + kenttäkerroksen kasvillisuuden kokonaisravinteiden otto maanpäällisiin osiin Ptkg(II)-tyypillä eteläisessä Suomessa. Kenttäkerroksen sisältämän ravinnemäärän väheneminen toisella ojituksenjälkeisellä vuosikymmenellä on tässä laskelmassa negatiivistä ravinteidenottoa, ja siksi pelkän puuston ravinteidenotto voi tällä jaksolla olla suurempi kuin puuston + kenttäkerroksen. Lähde: Laiho ym. 2003.

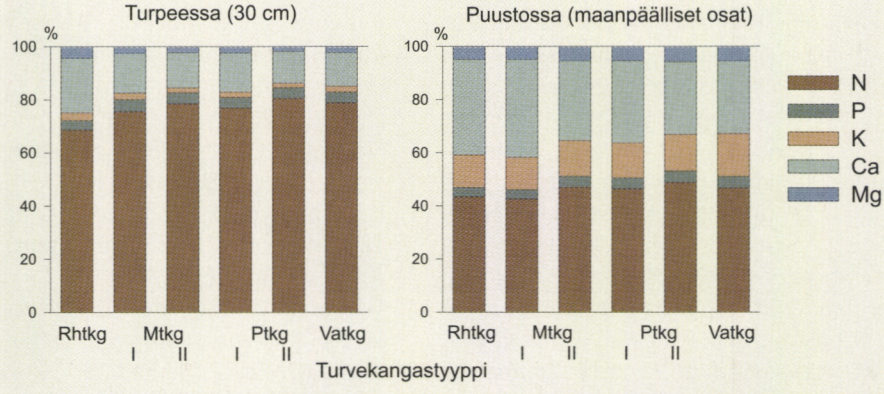
Eri puulajien ravinteiden käyttö

Esimerkkejä eri puulajien vuotuisesta ravinteiden otosta yhden tilavuuskuutiometrin suuruisen kasvun saavuttamiseksi erilaisilla kasvupaikoilla. Taulukossa on esitetty tutkimusmetsiköiden tunnuslukuja. Lähde: Leena Finér, Acta Forestalia Fennica 208, 1989.



Puulaji	Kasvupaikka	Runkoluku kpl/ha	Pohjapinta-ala m^2/ha	Tilavuus m^3/ha	Tilavuuskasvu m^3/ha
Mänty	VSNmu	922	10	48	2,7
Mänty	Mtkg (II)	557	10	72	2,0
Koivu	Mtkg (III)	443	6	39	2,0
Kuusi	MKmu	565	18	162	4,0

Pääravinteiden suhteet

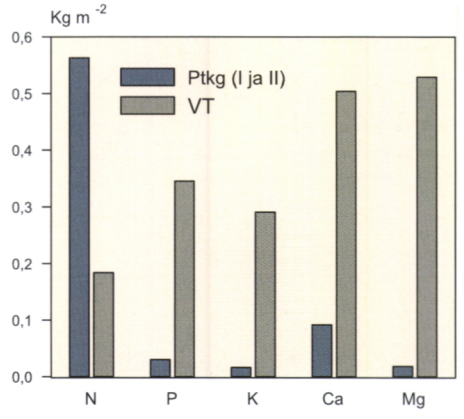


Pääravinteiden suhteet maassa (0-30 cm turvekerros) ja puustossa eri kasvupaikkatyypeillä. Arviot perustuvat Westmanin ja Laihon (2003) esittämiin tuloksiin.

2.2.3 Maan ravinnetilan muutokset ojituksen jälkeen

Suometsät poikkevat kivennäismaametsistä siten, että niiden maaperässä on suhteellisesti paljon typpeä mutta vähän kivennäisravinteita (kuva 4). Metsänkasvatuskelpoisuuden alaraja on pyritty määrittämään siten, että kasvupaikan luontaiset ravinnevarat riittäisivät vähintään yhden puusukupolven taloudellisesti kannattavaan kasvattamiseen. Tiedot siitä, mitä maassa todella tapahtuu ojituksen jälkeen, ovat viime aikoihin asti olleet melko niukat. Taustalla lienee ollut hiljainen oletus siitä, että ojituksen jälkeen pintaturpeen hajoaminen vähitellen nopeutuu ja siihen sitoutuneet ravinnevarat vapautuvat puuston käyttöön. Uudemmat tulokset ojituksen vaikutuksesta soiden hiilitaseeseen viittaavat kuitenkin siihen suuntaan, että vanhan turpeen hajotus ei varsinkaan karuhkoilla soilla oleellisesti nopeudukaan ojituksen jälkeen, ja turpeen paksuuskasvu saattaa jopa jatkua vuosikymmeniä ojituksen jälkeen (Minkkinen & Laine 1998b). Arvioitaessa turvemaiden kestävän metsätalouden harjoittamisen edellytyksiä pitkällä, useamman puusukupolven aikavälillä on tarpeen tietää mitä muutoksia kasvupaikan ravinnetilassa ja siihen vaikuttavissa prosesseissa tapahtuu.

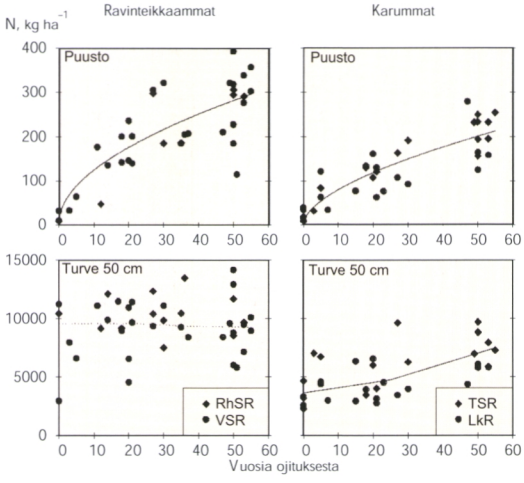
Ojituksen jälkeen kasvava puusto vaikuttaa turpeen ravinnemääriin kahdella eri tavalla. Puuston ravinteidenotto ja ravinteiden sitoutuminen puustobiomassaan vähentävät maan ravinnevaroja. Toisaalta puusto siivilöi sekä sateesta että erityisesti kuivalaskeumasta enemmän ravinteita kuin mitä aukealle paikalle tulisi. Nämä ravinteet huuhtoutuvat pääosin latvuksesta maahan sateen mukana. "Siivilöintivaikutus" lisääntyy puuston kasvaessa, ja on suhteellisesti suurinta erikokoisrakenteisissa puustoissa (Schauffler ym. 1996). Ilmiö on luultavasti erityisen tärkeä kasvupaikan kaliumvarojen kannalta. Puusto vaikuttaa myös maan happamuuteen. Puuston ravinteidenotto lisää happamuutta, samoin latvustosta huuhtoutuvat happamat yhdisteet. Myös hydrologian ja hajotusprosessien muutokset vaikuttavat siihen suuntaan, että ojituksen jälkeen pintaturpeen happamuus lisääntyy (esim. (Minkkinen ym. 1999).



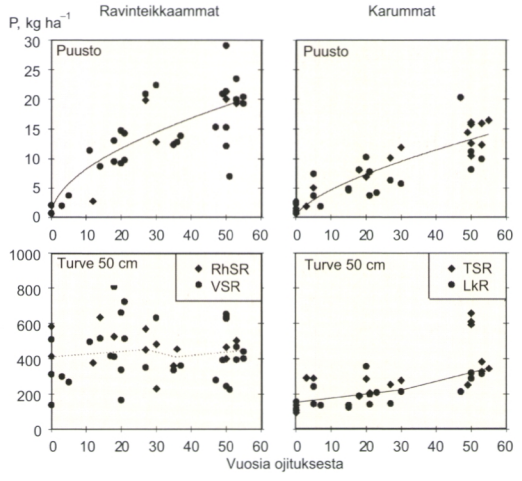
Kuva 4. Pintamaan (0-30 cm kerros) kokonaisravinnemäärät, kg m^{-2}, puolukkatyypin kivennäismaamänniköissä sekä puolukkaturvekangas I ja II -tyyppien turvemaamänniköissä Westmanin & Laihon (2003) mukaan.

Seuraavassa esitetään poikkileikkausaineistoon perustuvia tuloksia pintaturpeen (50 cm kerros) ravinnemäärien muutoksista ojituksen jälkeen sararämeillä Pirkka-Hämeessä. Suot ovat kaikki paksuturpeisia (>1 m), mikä yhdessä ilmastollisen yhtenäisyyden kanssa helpottaa tarkastelua. Kuvat on aiemmin esitetty julkaisussa Laiho ym. (2000). Vertailun vuoksi esitetään myös arvioidut puustoon sitoutuneet ravinnemäärät. Westman & Laiho (2003) sekä Moilanen ym. (1996) ovat esittäneet vastaavanlaisia tuloksia laajemmalle kasvupaikkatyyppijoukolle maan eri osissa.

Typen varat turvemaassa ovat niin runsaat, että vaikka puusto sitoo ravinteista eniten juuri typpeä, ravinteidenotolla ei ole havaittavaa vaikutusta maan typpitilaan (kuva 5). Samanpaksuista kerrosta tarkasteltaessa voi vanhoilla ojitusalueilla joskus olla havaittavissa pienentyneitä typpimääriä, mikä johtuu suhteellisen niukkatyppisen raakahumuksen kerrostumisesta "vanhan" turpeen pinnalle. Toisaalta vanhoilla ojitusalueilla raaka-



Kuva 5. Puuston (maanpäälliset osat) ja pintaturpeen (0–50 cm:n kerros) typpimäärät (kg ha^{-1}) eri aikoina ojitetuilla sararämeillä Pirkka-Hämeessä. Ravinteikkaammat = ruohoinen (RhSR) ja varsinainen (VSR) sararäme; karummat = tupasvillasararäme (TSR) ja lyhytkorsiräme (LkR). Nolla vuotta ojituksesta = luonnontilainen suo. Lähde: Laiho (1997). Kuvat 5-10. ovat julkaisusta Laiho ym. (2000).

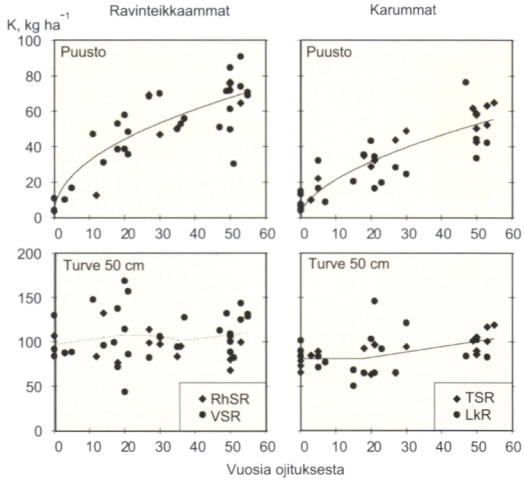


Kuva 6. Puuston ja pintaturpeen fosforimäärät eri aikoina ojitetuilla sararämeillä Pirkka-Hämeessä. Selitykset ks. kuva 5.

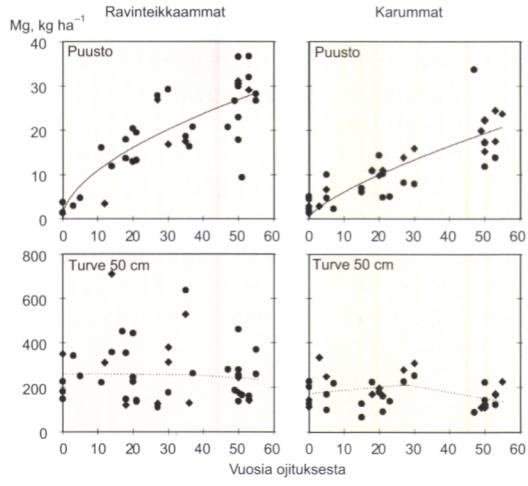
humuskerroksen alla olevassa turpeessa typen määrät voivat olla jopa 2-4 kertaa suurempia kuin vastaavilla luonnontilaisilla suotyypeillä (Kaunisto & Paavilainen 1988, Kaunisto & Moilanen 1998). Nuorehkoillakin ojitusalueilla on voitu todeta pintaturpeen typpitoisuuden lisääntyneen, varsinkin alunperin vähätyppisissä olosuhteissa (ks. luku 2.3.1).

Fosforin niukkuus rajoittaa useimmin puuston kasvua turvemailla (ks. luku 2.4). Fosforia kuten muitakin kivennäisravinteita on turpeessa niukasti verrattuna kivennäismaihin (kuva 6). Fosforia on pintaturpeessa runsaasti suhteessa puuston tarpeisiin; ongelmana on ennemminkin turpeeseen sitoutuneen fosforin hidas vapautuminen ja typen ja fosforin epäedullinen suhde turpeessa verrattuna niiden suhteeseen mikrobibiomassassa. Tämän vuoksi hajottajamikrobit voivat pidättää huomattavan osan hajotuksen yhteydessä turpeesta vapautuvasta fosforista. Rämeillä fosforin, kuten typenkin, määrä pintaturpeessa voi lisääntyä ojituksen jälkeen ja olla vanhoilla ojitusalueilla jopa kaksin-kolminkertainen vastaaviin ojittamattomiin suotyypeihin verrattuna (Kaunisto & Paavilainen 1988, Kaunisto & Moilanen 1998), kun löyhähkö rahkaturve tiivistyy ja turpeen maatuminen nopeutuu mikrobiston nopeutuneen hajotustoiminnan seurauksena.

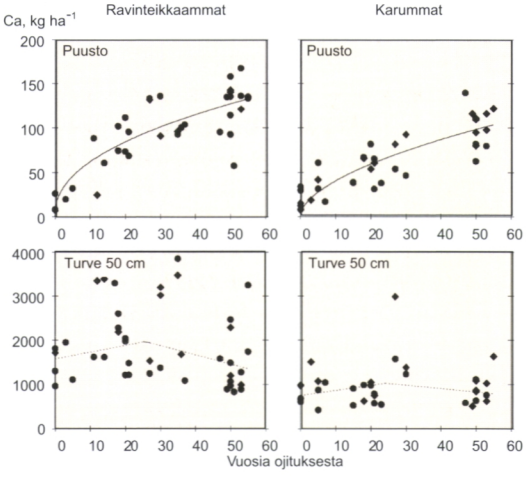
Kalium on fosforin ohella yleisimmin turvemaalla puuston kasvua rajoittava ravinne (ks. luku 3.4). Sen määrä pintaturpeessa on yleensä melko vähäinen. Kaliumia on eniten aivan pinnassa ja sen määrä pienenee voimakkaasti syvemmälle mennessä (esim. Kaunisto & Paavilainen 1988, Laiho ym. 1999), lukuun ottamatta ohutturpeisia soita, joilla kaliumlisää tulee pohjamaasta. Lähes kaikki kalium on maassa liukoisessa ja siis periaatteessa helposti huuhtoutuvassa muodossa (Starr & Westman 1978). Kalium pidättyy kuitenkin hyvin tehokkaasti kasvillisuuden biologiseen kiertoon eikä juuri huuhtoudu, mikäli sitä ei ole tarjolla ylen määrin kasvillisuuden tarpeisiin nähden. Tällainen ylimäärä voi muodostua esim. lannoituksen seurauksena (Ahti 1983). Vaikka kasvava puusto ottaa maasta kaliumia suuria määriä suhteessa maan alku-



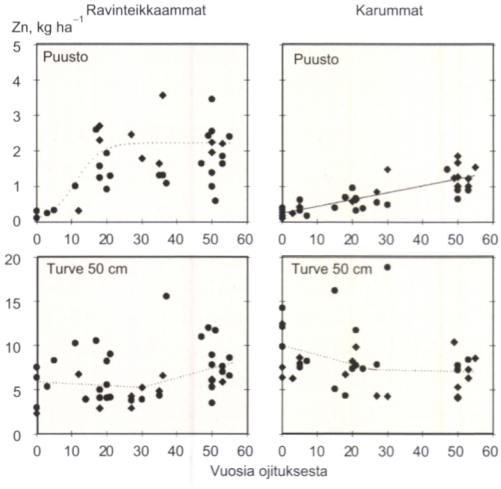
Kuva 7. Puuston ja pintaturpeen kaliummäärät eri aikoina ojitetuilla sararämeillä Pirkka-Hämeessä. Selitykset ks. kuva 5.



Kuva 9. Puuston ja pintaturpeen magnesiummäärät eri aikoina ojitetuilla sararämeillä Pirkka-Hämeessä. Selitykset ks. kuva 5.



Kuva 8. Puuston ja pintaturpeen kalsiummäärät eri aikoina ojitetuilla sararämeillä Pirkka-Hämeessä. Selitykset ks. kuva 5.



Kuva 10. Puuston ja pintaturpeen sinkkimäärät eri aikoina ojitetuilla sararämeillä Pirkka-Hämeessä. Selitykset ks. kuva 5.

peräiseen varastoon, eivät alun perin puustoisten, hakkuin käsittelemättömien, soiden maan kaliumvarat ole yleensä pienentyneet ojituksen jälkeenkään (kuva 7). Tämä jossakin määrin yllättävä havainto voi selittyä juuri tiukalla biologisella kierrolla: niukkaa kaliumia ei päästetä pakenemaan systeemistä, ja laskeuman mukana tuleva kaliumlisä pidättyy myös systeemiin. Eteläisessä Suomessa mitattu vuotuinen kaliumlaskeuma on samaa suuruusluokkaa kuin varttuvan puuston biomassaansa pidättämä kaliumin nettomäärä. Metsikköön laskeuman mukana tulevat ainemäärät ovat suurempia kuin aukealle tulevat puuston "siivilöintivaikutuksen" ansiosta. Toisaalta vanhoilla rämeiden ojitusalueilla,

joilta puustoa on korjattu, kaliumin määrät ovat olleet noin puolet pienempiä kuin vastaavilla luonnontilaisilla suotyypeillä (Kaunisto ja Paavilainen 1988).

Kalsium- ja magnesiummäärät ovat pintaturpeessa yleensä moninkertaiset puuston yhden kiertoajan aikana tarvitsemiin määriin nähden (kuvat 8 ja 9). Ojitetuilla sararämeillä määrien on kuitenkin havaittu alkavan hieman pienetä ensimmäisen kiertoajan aikana (Laiho & Laine 1995).

Hivenainemäärien kehityksestä ojituksen jälkeen on edelleen niukasti tietoja. Niitä on turpeessa alunperinkin vähän, mutta hyvin vaihtelevasti, joten tarkkojen arvioiden saanti on vaikeaa (kuva 10). Sinkkipitoisuuksien on havaittu olevan keskimäärin pienempiä ojitetuilla kuin luonnontilaisilla soilla. Muutoksen jatkuvuus ja merkitys ei ole selvillä. Boorilla ei ole havaittu yhtä selvää eroa, ei myöskään kuparilla.

2.2.4 Riittävätkö suometsien ravinteet kestävään puuntuottamiseen?

Hakkuin käsittelemättömissä suometsissä juuriston lähiulottuvilla olevat ravinnemäärät eivät siis oleellisesti muutu ensimmäisen ojituksenjälkeisen puusukupolven aikana; karuilla soilla ne saattavat jopa lisääntyä (luku 2.2.3). Juuristokerroksen ravinnemäärien pysyminen vakaina puuston lisääntyneestä ravinteidenotosta huolimatta johtuu ilmeisesti paljolti ojituksen aiheuttamasta suon pinnan painumisesta ja turpeen tiivistymisestä (esim. Minkkinen & Laine 1998a, Laiho ym. 1999). Tiivistyminen johtuu useasta tekijästä, kuten nosteen väheneminen ja huokoskokojakauman muutos vedenpinnan tason aletessa, vähitellen lisääntyvä puuston massa, lisääntynyt puiden ja varpujen ohutjuurikarike sekä vanhan turpeen nopeutunut hajoaminen (ks. Minkkinen & Laine 1998ab). Juuristokerroksen turve ei siis ole ”samaa” luonnontilaisella suolla ja eri-ikäisillä ojitusalueilla.

Suokasvupaikkojen puuntuotoskyvyn on todettu paranevan ainakin 40 vuoden ajan ojituksen jälkeen, jolloin Etelä-Suomessa on jo kyse uudistamisvaiheen puustosta (Hökkä & Penttilä 1999). Puuntuotoskyvyn paranemisesta on yllättävän paljon havaintoja juuri karuhkoilta soilta. Siihen voi vaikuttaa myös se, että suon pinnan painumisen myötä juuriston ulottuville tuleva syvemmällä oleva turve on suon kehityshistorian vuoksi usein runsastyppisempää kuin pintakerrokset.

Ravinnepitoisuuksissa tapahtuu ojituksen ja puuston varttumisen myötä joitakin muutoksia, jotka kannattaa panna merkille. Koska turpeen tiivistyminen ei välttämättä jatku toisen kiertoajan aikana, pitoisuuksissa havaittavat trendit ennakoivat tulevia muutoksia juuriston ulottuvilla olevissa määrissä. Koska kaliumin määrät syvemmissä turvekerroksissa ovat hyvin pienet, ei tiivistyminen muutenkaan voi pidemmällä aikavälillä oleellisesti vaikuttaa sen määriin paksuturpeisten soiden juuristokerroksessa.

Kaliumin pitoisuus pienenee aluksi ojituksen jälkeen (Laiho ym. 1999, Laiho & Laine 1995), kun alkuperäisen suokasvillisuuden ylläpitämä biologinen kierto häiriintyy (Laiho ym. 2003). Myöhemmin suometsäekosysteemin vakiinnuttua ja puuston vartuttua kaliumin pitoisuus pysyy kuitenkin kuta kuinkin vakiona (Laiho ym. 1999, Laiho & Laine 1995). Tämä kuvaa myös suometsäekosysteemin kykyä pitää yllä kaliumin tehokasta kiertoa.

Mitä tapahtuu, jos biologista kiertoa jälleen häiritään eli puustoa hakataan? Hakkuutähteet, erityisesti neulaset, sisältävät runsaasti kaliumia, joka vapautuu niistä nopeasti (esim. Paavilainen 1980, Palviainen ym. 2004). Kaliumia systeemissä pidättävän kasvillisuuden määrä on samaan aikaan oleellisesti pienentynyt, kun puustoa on poistettu. Samalla vedenpinnan taso usein nousee (Heikurainen & Päivänen 1970). Tällöin on olemassa selkeä huuhtoutumisriski. Hakkuiden (Ahtiainen 1988) ja kunnostusojitusten (Ahti ym. 1999) jälkeen onkin mitattu kohonneita kaliumhuuhtoumia. Kaliumin huuhtoutuminen erilaisilta suokasvupaikoilta hakkuiden jälkeen tulisi kiireellisesti selvittää. Rehevöi-

tyvä pintakasvillisuus (esim. Hannerz & Hånell 1997) ja harvennusten jälkeen myös jäävä puusto (Hökkä ym. 1996) voivat pidättää osan vapautuvista ravinteista. On myös tutkimustuloksia, joiden mukaan toistuvin hakkuin käsitellyissä suometsissä turpeen kaliumvarat voivat puunkorjuun myötä vähetä varsin huolestuttavasti ja saattavat olla huomattavasti pienemmät kuin puustoon sitoutuneen kaliumin määrä (Kaunisto & Paavilainen 1988), vaikka ilmiötä ei ole yleisesti suometsien ravinnevarojen inventoinneissa havaittu (Laiho & Laine 1995, Moilanen ym. 1996, Westman & Laiho 2003).

Avosoiden turpeessa on vähemmän kaliumia kuin muuten vastaavan ravinteisuustason puustoisilla soilla. Avosuolähtöisissä sekä sekatyyppien märimmistä varianteista kehittyneissä suometsissä kaliumin määrä voi usein olla liian pieni puuston varttumiselle siihen vaiheeseen, että puuston pidätys ja kierrätys pitäisi yllä tyydyttävää kaliumvarantoa (Saarinen 1997, Silver & Saarinen 2001). Tällaisissa tapauksissa on havaittu kaliumin puutostiloja (Kaunisto & Tukeva 1984, Kaunisto 1992), jotka voivat ilmaantua hyvin äkillisesti ja dramaattisesti. Riski kaliumin vakavan puutoksen kehittymiselle on mitä ilmeisimmin suuri kaikilla paksuturpeisilla avosuokohteilla sekä alunperin märillä ruohoisilla sekatyypin kohteilla, missä typen ja kaliumin määrien epäsuhta on erityisen suuri. Yhteensä avosoita ja erilaisia sekatyyppien soita on ojitettu yli miljoona hehtaaria (Keltikangas ym. 1986).

Kalsiumin ja magnesiumin pitoisuuksien on havaittu alenevan ojituksen jälkeen, erityisesti vanhoilla ojitusalueilla (Laiho ja Laine 1995, Laiho ym. 1999). Ilmiö ei selity pelkästään puuston ravinteiden otolla (Laiho ym. 1999), vaan liittyy luultavasti maaperän happamuuden puskurointiin. Pintaturpeen happamuus lisääntyy ojituksen jälkeen. Happamuuden lisääntymisen seurauksena emäskationeja siirtyy maasta maanesteeseen, josta ne voivat huuhtoutua. Kalsiumia ja magnesiumia on havaittu huuhtoutuvan ojitusalueilta luonnontilaan verrattuna suhteellisesti enemmän kuin kaliumia (Sallantaus 1992,1995). Ilmiöstä on vielä melko vähän tietoa, mutta mikäli huuhtoutuminen on jatkuvaa, siitä voi aiheutua ongelmia pitkällä aikavälillä.

Sinkkiä ja booria on todettu olevan erittäin niukasti hakkuin käsiteltyjen vanhojen ojitusalueiden turpeessa. Varttuneeseen puustoon niitä saattaa olla sitoutuneena kaksin- kolminkertaisesti 30 cm:n pintaturvekerroksessa olevaan määrään verrattuna (Kaunisto & Paavilainen 1988, Kaunisto & Moilanen 1998). Boorin puutos onkin varsin yleistä turvemaiden metsissä (ks. luku 2.4), mutta sinkin puutosta ei ole todettu (Reinikainen ym.1998). Kummankin hivenravinteen tilanteen kehittymistä tulisi tarkkailla.

2.2.5 Kaliumtutkimusten tulosten tulkintaa

Edellä on tarkasteltu kaliumin määrää ja riittävyyttä turvemailla eri tutkimusten valossa. Tutkimustulokset saattavat näyttää osittain ristiriitaisilta, kun toisaalta todetaan kaliumin määrän säilyvän lähes muuttumattomana jopa koko ensimmäisen puusukupolven ajan ja toisaalta on tuloksia, joissa vanhoilla hakkuin käsitellyillä ojitusalueilla kaliumia saattaa olla turpeessa vain puolet vastaavien luonnontilaisten soiden pintaturvekerroksen määristä.

Ensinnäkin tutkimusten tuloksia tulkittaessa tulee muistaa, että ne kaikki ovat ajan suhteen poikkileikkauksia. Missään ei ole voitu seurata muutoksia samalla paikalla ajan funktiona, joten ajalliset vertailut tutkimusten sisällä, yhtälailla kuin tutkimusten välisetkin vertailut koskevat aina maantieteellisesti eri kohteita ja ovat alttiina tästä aiheutuvalle hajonnalle.

Toinen tärkeä näkökohta on, että otantatyyppisissä tutkimuksissa otanta oli rajattu hakkuin käsittelemättömiin (Laiho & Laine 1994, 1995, Laiho ym. 1999), tai kohteisiin, joissa hakkuita ei ollut tehty näytteenottoa edeltäneiden kymmenen vuoden aikana eikä hakkuiden määrästä sitä ennen ollut tietoa (Westman & Laiho 2003). Sen sijaan Kauniston & Paavilaisen (1988) ja Kauniston & Moi-

lasen (1998) tutkimuksien aineistot olivat Metsäntutkimuslaitoksen toistuvin hakkuin käsitellyiltä, pitkäaikaisilta kasvukoealoilta, joiden hakkuupoistuman määrät olivat tarkoin tiedossa. Tämä mahdollisti myös poistuman sisältämän ravinteiden määrän arvioinnin, jotka varsinkin ensinmainitussa tutkimuksessa olivat joissakin kohteissa varsin suuria (jopa 35-40 kg ha^{-1}).

Kolmas huomioon otettava näkökohta tuloksia tulkittaessa on tutkimuksissa käytetty erilainen näytteenottomenettely. Otantatutkimuksien maanäytteissä raakahumuskerrosta ei erotettu omaksi osanäytteekseen, kun sitävastoin Kauniston & Paavilaisen (1988) samoinkuin Kauniston & Moilasen (1998) tutkimuksessa raakahumuskerros ja turvekerrokset analysoitiin erikseen. Kauniston & Moilasen (1998) tutkimuksessa raakahumuskerroksessa oli joissakin tapauksissa huomattavan paljon kaliumia, kun sitävastoin Kauniston & Paavilaisen (1988) aineistoissa sitä oli vähän. Raakahumuksen sisällyttäminen tai sen poisjättäminen voi näin ollen aiheuttaa huomattaviakin eroja puhuttaessa maan pintakerroksen kaliumin määristä. Toistaiseksi ei ole tietoa, kuinka suuri osa kaliumista on sitoutuneena raakahumuskerroksen erittäin runsaaseen elävään sienirihmastoon ja pintakasvillisuuden juuristoon ja mikä osa on vapaasti puiden käytettävissä.

Kaikkien em. tutkimusten perusteella voidaan todeta, että kaliumia on puiden juuristokerroksessa soilla suunnilleen saman verran tai vähemmän kuin varttuneeseen puustoon sitoutuneena. Edelleen tutkimukset osoittavat, että parin-, kolmenkymmenen senttimetrin pintakerroksen alapuolella sekä kaliumin pitoisuus että määrä vähenevät voimakkaasti pintakerrokseen verrattuna. Kun ojituksen jälkeen eri syistä tapahtuva turpeen tiivistyminen vähitellen hidastuu, ”siirtyy” alemmista turvekerroksista puiden juuriston ulottuville kaliumia tiivistymisen ensivaiheen jälkeen siis verrattain vähän. Toisaalta, kuten aikaisemmin on todettu puuston varttuessa sen latvuskerros pystyy enenevässä määrin ”siivilöimään” laskeuman kaliumia, mutta toisaalta kaliumia huuhtoutuu ja hakkuut lisäävät sen huuhtoumista.

Kaikkien em. tutkimusten mukaan kaliumia on suhteessa puuston käyttämiin määriin niukimmin alunperin puuttomilla tai vähäpuustoisilla ja märillä, saraisilla ja ruohoisilla sekatyypeillä ja niistä kehittyneillä turvekankailla (MtkgII ja PtkgII). Pelkästään näihin ryhmiin kuuluvia ojitettuja rämeitä oli VMI8:n mukaan lähes puoli miljoonaa hehtaaria (Hökkä ym. 2002). Toisaalta on tapauksia, joissa kaliumia on niukasti myös voimakkain hakkuin käsitellyissä mustikka- ja puolukkakorvista kehittyneillä turvekankailla (Kaunisto & Paavilainen 1988).

Kaliumkysymys turvemailla on siis hyvin monisäikeinen ja ja sen vakavuus riippuu hyvin monista eri seikoista. Onkin hyvin vaikeata esittää mitään yleispätevää totuutta kaliumin riittävyydestä tai riittämättömyydestä puuston kehityksen kannalta. Ainoastaan kuviokohtaisella maastotarkastuksella ja sen yhteydessä tehdyillä puuston havainnoinnilla ja/tai mahdollisesti näitä tarkentavilla neulas- ja lehtianalyyseillä voidaan arvioida puuston kaliumravitsemustila (luku 2.4). Hyvänä apuna tarkastuskohteita valittaessa on kuitenkin tieto alkuperäisestä suotyypistä.

Kaliumin määrästä erilaisilla suotyypeillä ja eri kuivatusvaiheessa olevilla turvemailla saadaan koko maan kattavaa tietoa SUO-ohjelman aikana kerätystä ja pääosin jo analysoidusta aineistosta, jossa turvenäytteitä kerättiin VMI8:n pysyviltä turvemaiden koealoilta (ks. luku 2.2.6.).

2.2.6 Turpeen ravinnevarojen alueellinen näytteenotto

Turvemaiden puuntuotantokyvyn säilyttäminen vaatii kangasmaita enemmän huomiota, sillä niiden ravinnetalous on kangasmaita herkempi häiriöille. On arvioitu, että noin 1,4 miljoonaa hehtaaria ojitetuista turvemaista on potentiaalisia ravinteiden puutos- tai epätasapainokohteita. Tarkkaa tietoa näiden kohteiden kokonaismäärästä ei ole eikä myöskään

niiden alueellisesta jakaumasta. Vaikuttaa kuitenkin siltä, että esim. kaliuminpuutosta esiintyy yleisemmin Länsi- ja Lounais-Suomen nuorilla huuhtoutuneilla mailla kuin muualla maassa. Typpi, fosfori, kalium ja boori ovat turvemaiden ravinnetalouden keskeisimpiä elementtejä. Näiden ravinteiden määrät juuristokerroksessa vaihtelevat maan eri osissa ja eri kasvupaikkatyypeillä. Puiden käytettävissä oleviin ravinnemääriin vaikuttavat myös mm. ojitusikä, turvekerroksen paksuus, puulaji, hakkuut ja puuston määrä. Monissa tutkimuksissa on havaittu, että ojitettujen turvemaiden juuristokerroksessa on usein niukasti kaliumia ja booria. Kasvavaan puustoon sitoutuu huomattava määrä ravinteita. On arveltu, että hakkuut voivat joissakin tapauksissa ehdyttää ravinnevarastot niin että seuraavien puusukupolvien kehitys vaarantuu.

SUO-ohjelman alueellisen näytteenoton yleisenä tavoitteena oli tuottaa paikkaan sidottua alueellista ojitettujen turvemaiden ravinnepitoisuus- ja ravinnemäärätietoa sekä numeerisessa että karttamuodossa tutkimuksen ja käytännön metsätalouden tarpeisiin. Päähuomio kiinnitettiin juuristokerroksen (0-20 cm) orgaanisen aineen ja ravinteiden N, P, K ja B määriin.

Vuosina 2001-2002 toteutettiin systemaattinen koko valtakunnan kattava näytteenotto turvemailta. Valtakunnan metsien kahdeksannen inventoinnin (VMI8) 321:ltä ojittamattomalle ja 657:ltä metsäojitetulle turvemaalle sattuneelta yhteensä 978 pysyvältä koealalta kerättiin tilavuustarkat näytteet laatikkokairalla. Kultakin koealalta otettiin korkeintaan kahdeksasta osanäytteestä koostuva kokoomanäyte eri syvyyksiltä turveprofiilista. Osanäytteet jaettiin viiteen kerrokseen turvekerroksen paksuuden niin salliessa: raakahumus (RH), 0-10, 10-20, 20-30 ja 30-40 cm. Kerrosten RH, 0-10 ja 10-20 cm kokoomanäytteistä määritettiin hiili- ja typpipitoisuus (C, N %) sekä ICP-analyysillä ravinteet Al, B, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Mo, Ni, P, Pb, S, Zn. Syvempien kerrosten näytteet on kuivattu ja punnittu.

Näytteiden keruu ja analysointi muodosti koko SUO-ohjelman suurimman yksittäisen panostuksen. Ravinneanalyysit valmistuivat vasta SUO-ohjelman päättymisen jälkeen keväällä 2004, eikä analyysituloksia ehditty käsitellä ennen ohjelman loppuraportointia. Käsillä on nyt ensimmäinen koko valtakunnan käsittävä turvemaiden ravinneaineisto. Aineisto on poikkileikkaus turvemaiden ravinnevarojen nykytilasta ja antaa mahdollisuuden vertailla erilaisten ojitettujen ja ojittamattomien puustoisten turvemaiden ravinnetilan kehitystä myös tulevaisuudessa. Ravinnemääritykset on yhdistetty tietokannaksi VMI8 puusto- ja kasvillisuustietoihin ja näytteenoton yhteydessä päivitettyihin maankäyttö- ja metsänkäsittelytietoihin.

Arvokasta ravinnetietokantaa hyödynnetään aluksi vuonna 2004 alkaneessa jatkohankkeessa "Ojitettujen turvemaiden ravinnemäärät ja ravinnedynamiikka". Uuden hankkeen tavoitteena on mm. selvittää, voidaanko kasvillisuustunnusten avulla tunnistaa kasvupaikkatyyppien sisältä sellaista ravinnetilan vaihtelua, joka vaikuttaa suometsien puuntuotoskyvyn ylläpitoon liittyvään strategiseen suunnitteluun, esim. lannoitusohjelmat.

Kirjallisuus

Ahti, E. 1983. Fertilizer-induced leaching of phosphorus and potassium from peatlands drained for forestry. Comm. Inst. For. Fenn. 111. 20 s.

Ahti, E., Joensuu, S. & Vuollekoski, M. 1999. Kunnostusojituksen vaikutus metsäojitusalueiden valumaveden kemiallisiin ominaisuuksiin. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 745: 79-90.

Ahtiainen, M. 1988. Effects of clear-cutting and forestry drainage on water quality in the Nurmes-study. Teoksessa: Proceedings of the International Symposium on the Hydrology of Wetlands in Temperate and Cold Regions, Joensuu, Finland, 6-8 June, 1988. Publications of the Academy of Finland 4/1988: 206-219.

Bernhard, J.M. & Hankinson, G.K. 1979. Seasonal changes in standing crop, primary production and nutrient levels in a Carex rostrata wetland. Oikos 32: 328-336.

Domisch, T., Finér, L., Karsisto, M., Laiho, R. & Laine, J. 1998. Relocation of carbon from decaying litter in drained peat soils. Soil Biol. Biochem. 30: 1529-1536.

Domisch, T., Finér, L., Laiho, R., Karsisto, M. & Laine, J. 2000. Decomposition of Scots pine litter and the fate of released carbon in pristine and drained pine mires. Soil Biol. Biochem. 32: 1571-1580.

Finér, L. 1989. Biomass and nutrient cycle in fertilized and unfertilized pine, mixed birch and pine and spruce stands on a drained mire. Acta For. Fennica 208. 63 s.

Finér, L. 1991. Effect of fertilization on dry mass accumulation and nutrient cycling in Scots pine on an ombrotrophic bog. Acta For. Fennica 223. 42 s.

Hannerz, M. & Hånell, B. 1997. Effects on the flora in Norway spruce forests following clear-cutting and shelterwood cutting. For. Ecol. Manage. 90: 29-49.

Heikurainen, L. & Päivänen, J. 1970. The effect of thinning, clear cutting, and fertilization on the hydrology of peatland drained for forestry. Acta For. Fennica 104. 23 s.

Hökkä, H. & Penttilä, T. 1999. Modelling the dynamics of wood productivity on drained peatland sites in Finland. Silva Fennica 33: 25-39.

Hökkä, H., Penttilä, T. & Hånell, B. 1996. Effect of thinning on the foliar nutrient status of Scots pine stands on drained boreal peatlands. Can. J. For. Res. 26: 1577-1584.

Hökkä, H., Kaunisto, S., Korhonen, K.T., Päivänen, J., Reinikainen, A. & Tomppo, E. 2002. Suomen suometsät 1951-1994. Metsätieteen aikakauskirja 2B/2002: 201-357.

Holmen, H. 1964. Forest ecological studies on drained peatland in the province of Uppland, Sweden. Parts I-III. Studia Forestalia Suecica 16: 236.

Karsisto, M., Varjola, I., Kitunen, V. & Domisch, T. 1996. Decomposition of mosses in different peats. Teoksessa: Laiho, R., Laine, J. & Vasander, H. (toim.). Northern peatlands in global climatic change. Publications of the Academy of Finland 1/96: 47-53.

Kaunisto, S. 1992. Effect of potassium fertilization on growth and nutrition of Scots pine. Suo 43: 45-62.

Kaunisto, S. & Moilanen, M. 1998. Kasvualustan, puuston ja harvennuspoistuman sisältämät ravinnemäärät neljällä vanhalla ojitusalueella. Metsätieteen aikakauskirja 3/1998: 393-410.

Kaunisto, S. & Paavilainen, E. 1988. Nutrient stores in old drainage areas and growth of stands. Commun. Inst. For. Fenn. 145. 39 s.

Kaunisto, S. & Tukeva, J. 1984. Kalilannoituksen tarve avosoille perustetuissa riukuasteen männiköissä. Folia Forestalia 585. 40 s.

Keltikangas, M., Laine, J., Puttonen, P. & Seppälä, K. 1986. Vuosina 1930-1978 metsäojitetut suot: ojitusalueiden inventoinnin tuloksia. Acta For. Fennica 193. 94 s.

Laiho, R. 1997. Plant biomass dynamics in drained pine mires in southern Finland: Implications for carbon and nutrient balance. (Väitöskirja). Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 631. 53 s. + liitteet.

Laiho, R. & Laine, J. 1994. Nitrogen and phosphorus stores in peatlands drained for forestry in Finland. Scand. J. For. Res. 9: 251-260.

Laiho, R. & Laine, J. 1995. Changes in mineral element concentrations in peat soils drained for forestry in Finland. Scand. J. For. Res. 10: 218-224.

Laiho, R., Penttilä, T. & Laine, J. 2000. Riittävätkö ravinteet suometsissä? Metsätieteen aikakauskirja 2/2000: 316-320.

Laiho, R., Vasander, H., Penttilä, T. & Laine, J. 2003. Dynamics of plant-mediated organic matter and nutrient cycling following water-level drawdown in boreal peatlands. Global Biogeochem. Cycles 17(2), 1053, doi:10.1029/2002GB002015.

Laiho, R., Laine, J., Trettin, C.C. & Finér, L. 2004. Scots pine litter decomposition along drainage succession and soil nutrient gradients in peatland forests, and the effects of inter-annual weather variation. Soil Biol. Biochem. 36: 1095-1109.

Laine, J., Komulainen, V.-M., Laiho, R., Minkkinen, K., Rasinmäki, A., Sallantaus, T., Sarkkola, S., Silvan, N., Tolonen, K., Tuittila, E.-S., Vasander, H. & Päivänen, J. 2002. Lakkasuo–opas suon ekosysteemiin. Helsingin yliopiston Metsäekologian laitoksen julkaisuja 26. 120 s.

Minkkinen, K. & Laine, J. 1998a. Effect of forest drainage on the peat bulk density of pine mires in Finland. Can. J. For. Res. 28: 178-186.

Minkkinen, K. & Laine, J. 1998b. Long-term effect of forest drainage on the peat carbon stores of pine mires in Finland. Can. J. For. Res. 28: 1267-1275.

Minkkinen, K., Vasander, H., Jauhiainen, S., Karsisto, M. & Laine, J. 1999. Post-drainage changes in vegetation and carbon balance in Lakkasuo mire, Central Finland. Plant and Soil 207: 107-120.

Moilanen, M., Piiroinen, M.-L. & Karjalainen, J. 1996. Turpeen ravinnevarat Metsähallituksen vanhoilla ojitusalueilla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 598: 35-54.

Økland, R.H., Økland, T. & Rydgren, K. 2001. A Scandinavian perspective on ecological gradients in north-west European mires: reply to Wheeler and Proctor. J. Ecol. 89: 481-486.

Paavilainen, E. 1980. Effect of fertilization on plant biomass and nutrient cycle on a drained dwarf shrub pine swamp. Comm. Inst. For. Fenn. 98. 71 s.

Palviainen, M., Finer, L., Kurka, A.-M., Mannerkoski, H., Piirainen, S. & Starr, M. 2004. Release of potassium, calcium, iron and aluminium from Norway spruce, Scots pine and silver birch logging residues. Plant Soil 259: 123-136.

Reinikainen, A., Veijalainen, H. & Nousiainen, H. 1998. Puiden ravinnepuutokset – metsänkasvattajan ravinneopas. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 688. 44 s.

Saarinen, M. 1997. Ojitusaluepuustojen kaliumin puutokset ja metsätalouden suunnittelu. Suo 48: 21-25.

Saarinen, M. & Hotanen, J.-P. 2000. Raakahumuksen ja kasvillisuuden yhteisvaihtelu Pohjois-Hämeen vanhoilla ojitusalueilla. Suo 51: 227-242.

Sallantaus, T. 1992. Leaching in the material balance of peatlands – preliminary results. Suo 43: 253-258.

Sallantaus, T. 1995. Huuhtoutuminen metsäojitusalueiden ainekierroissa. Teoksessa: Saukkonen, S. & Kenttämies, K. (toim.). Metsätalouden vesistövaikutukset ja niiden torjunta: METVE-projektin loppuraportti, s. 131- 138. Suomen ympäristö 2. ISBN 952-11-0007-9.

Schauffler, M., Jacobson, G.L., Pugh, A.L. & Norton, S.A. 1996. Influence of vegetational structure on capture of salt and nutrient aerosols in a Maine peatland. Ecol. Appl. 6: 263-268.

Silver, T. & Saarinen, M. 2001. Terveyslannoituskohteen määrittely turvemailla. Suo 52: 115-120.

Starr, M. & Westman, C.J. 1978. Easily extractable nutrients in the surface peat layer of virgin sedge-pine swamps. Silva Fennica 12: 65-78.

Urban, N.R. & Eisenreich, S.J. 1988. Nitrogen cycling in a forested minnesota bog. Can. J. Bot. 66: 435-449.

Verry, E. S., & Urban, N.R. 1992. Nutrient cycling at Marcell Bog, Minnesota. Suo 43:147-153.

Waughman, G.J. & Bellamy, D.J. 1980. Nitrogen fixation and the nitrogen balance in peatland ecosystems. Ecology 61: 1185-1198.

Westman, C.J. 1981. Fertility of surface peat in relation to the site type and potential stand growth. Acta For. Fennica 172. 77 s.

2.3 Suometsien typpitalous

Pekka Pietiläinen, Tytti Sarjala, Markus Hartman, Marjut Karsisto ja Seppo Kaunisto

2.3.1 Turpeeseen sitoutunut typpi ja sen mineralisaatio

Hiilen ja typen kierto ovat riippuvaisia toisistaan

Pohjoisessa ilmastovyöhykkeessä soiden orgaaninen aines on tärkeä hiilen ja ravinteiden varasto. Turpeen mikrobien toimintaa rajoittaa ensisijaisesti energian saanti ja vasta sen jälkeen ravinteiden ja hivenaineiden saatavuus. Hiilen ja typen kierto ovat tiukasti yhteydessä toisiinsa ja kierron käyttövoima on hiilestä peräisin. Turpeen orgaaninen aine sisältää paljon hiiltä, yleensä noin 30-50 %, mutta typpeä vain 0,5-3 %. Kun turpeen orgaanisista yhdisteistä vapautuu typpiyhdisteistä, myös hiiliyhdisteet muuttuvat. Kasvukauden aikana mikrobit ja kasvit joutuvat kilpailemaan keskenään ravinteista ja hivenaineista.

Metsämaan orgaanisen aineen hajoamisen on todettu korreloivan maan hiilen ja typen pitoisuuksien suhteen (ns. hiili/typpisuhde eli C/N-suhde) kanssa. (Karsisto 1979a). Maan orgaanisen aineksen sisältämä typpi mineralisoituu ammoniumiksi, kun C/N -suhde on alhainen. Prescott ym. (2000) ovat myöhemmin todenneet typen mineralisoituvan, kun C/N -suhde on alle 25-30:1. Karikkeen korkea C/N-suhde hidastaa typen vapautumista maaperään. Maaperän C/N tilanne saattaa vaikuttaa myös typettömien yhdisteiden hajoamiseen (Kurka ym. 2001).

Karikkeen ja turpeen orgaanisen aineen laatu

Sarat ja rahkasammalet ovat tärkein hiiltä ja ravinteita sitova lajiryhmä luonnontilaisilla soilla (Laine & Minkkinen 1998, ks. myös luku 2.2.2). Niiden peittävyys laskee nopeasti ojituksen jälkeen etenkin runsasravinteisilla soilla. Kasviyhdyskunnan perustuotos ja biomassa kasvavat kun biomassatuotoksen painopiste siirtyy pohja- ja kenttäkerroksesta puustoon.

Turve muodostuu eri hajoamisvaiheissa olevista kasvimateriaaleista, mikrobeista, niiden hajoamistuotteista ja kasvien juurieritteistä. Turpeessa on lähes kaikkia yhdisteitä, joita esiintyy kyseisellä suolla kasvavissa kasveissa ja mikrobistossa. Tällaisia ovat mm. hiilihydraatit, ligniinit, selluloosat, proteiinit, kitiinit, vahat, rasvahapot, sterolit, fenolihapot, aminohapot ja aminosokerit. Mikrobit hajottavat ja muuttavat näitä yhdisteitä vaikuttaen turpeen koostumukseen. Lisäksi yhdisteiden muuttumista tapahtuu kemiallisten ja fysikaalisten reaktioiden kautta.

Jokaisella turpeessa esiintyvällä yhdisteellä on sille luonteenomainen hajoamisnopeutensa. Mikrobien ja sienten suorittama karikkeen hajotus tapahtuu kahdessa vaiheessa (Berg & Staaf 1980). Mikrobit käyttävät ensin helposti hajoavia yhdisteitä kuten selluloosaa, jolloin aerobisissa oloissa syntyy hiilidioksidia. Kariketta syntyy kasvien maapäällisistä osista sekä juurikariketta kasvien maanalaisista osista. Hajotuksen edetessä syntyy humusta. Humus on heterogeeninen erityyppisistä yhdisteistä muodostunut orgaaninen vaikeasti hajoava fraktio, joka on muodostunut monimutkaisten reaktioiden kautta. Kasvi- ja eläinperäisten ainesten rakenteet ovat hajotustoiminnan edetessä muuttuneet. Hu-

mukselle ei ole yksiselitteistä rakennekaavaa. Usein se jaotellaan liukenemisominaisuuksien mukaan kolmeen ryhmään: humiini, humushapot ja fulvohapot.

Turvemailla hajotuksen ensivaiheessa sienirihmaston osuus on merkittävä. Eräs tekijä, joka selittää sienten suurta määrää turpeessa, on turpeen suuri happamuus. Sienirihmasto sietää happamuutta paremmin kuin suurin osa bakteereista. Karsiston (1979a) tutkimuksissa ilmeni sienirihmaston määrän suuri vuodenaikainen vaihtelu. Sen sijaan sienibiomassan kasvukaudenaikainen vaihtelu ergosterolina mitattuna ei ollut suurta Alkkian kokeella (Potila & Sarjala 2004). Kun happea on rajoitetusti, fakultatiivisesti anaerobiset bakteerit hajottavat sekä kasvimateriaalia että sienirihmastoja.

Turpeen hajoamisen edetessä kasvillisuudessa tapahtuu muutoksia. Kasvilajiston muutosten takia myös maaperään kertyvän karikkeen ja juurikarikkeen sekä niiden sisältämien orgaanisten yhdisteiden määrä ja laatu muuttuvat. Tämä vaikuttaa kasvupaikalle kertyvän orgaanisen aineen hajoavuuteen ja tätä kautta typen ja muiden ravinteiden vapautumiseen puille käyttökelpoiseen muotoon.

Orgaanisen aineen laatu voi vaikuttaa selvemmin typpiyhdisteiden vapautumiseen kuin lämpötila (Van Cleve ym. 1993). Typen vapautuminen puille käyttökelpoiseen muotoon on riippuvainen siitä, miten ja millaisiksi yhdisteiksi mikrobit muuttavat orgaanista ainetta (Van Cleve ym. 1993, Van Cleve ym. 1996). Myös kasvien juurieritteet vaikuttavat jossain määrin typpiyhdisteiden saatavuuteen. Juurieritteet voivat toimia mikrobistolle joko ravinteiden lähteenä tai estää niiden toimintaa (Van Cleve ym. 1991). Northup ym. (1995) ovat osoittaneet Pinus muricata-metsikössä karikkeen polyfenolipitoisuuden ja typen mineralisaation välisen riippuvuuden. Lisääntynyt polyfenolipitoisuus lisäsi DON (liukoisen orgaanisen typen) osuutta vapautuvasta typestä. Northup ym. (1995) mukaan typen dynamiikan polyfenolikontrolli lisää mäntysienijuuri-yhteisöjen kilpailuetua vapautuvan typen suhteen muihin eliöihin nähden.

Suon typpitilanteen vaikutus typpiyhdisteiden vapautumiseen

Teorian mukaan typen kierto on nopeampaa runsaasti typpeä sisältävässä maaperässä kuin vähemmän typpeä sisältävässä. Tätä osoittaa eräissä avosoille perustetuissa metsityskokeissa epäsuorasti myös se, että puuston kasvu on lisääntynyt turpeen luontaisen kokonaistyppipitoisuuden kohotessa, kun muista kasvinravinteista on huolehdittu lannoitteilla (esim. Kaunisto 1982, 1987, Kaunisto & Pietiläinen 2003). Prescott ym. (2000) on osoittanut, että runsastyppisillä kasvupaikoilla maahan tuli enemmän typpeä karikkeen mukana. Karikkeen hajoaminen sekä typen mineralisaatio oli nopeampaa runsastyppisillä kuin vähätyppisillä kasvupaikoilla.

Vähän typpeä sisältävissä ekosysteemeissä kasvit kasvavat hitaammin ja käyttävät käytettävissä olevan typen tarkemmin kuin runsastyppisissä ekosysteemeissä. Näin muodostunut karike on vaikeammin hajoavaa, sillä siinä on korkeampi ligniinipitoisuus ja suurempi C:N suhde (Hobbie 1992, 2000). Koska mikrobit hajottavat orgaanista ainesta hitaammin, on myös mineralisoituneen typen määrä pienempi. Karikkeen orgaanisen aineen laatu on hajotusta enemmän määräävä tekijä kuin lämpötila, etenkin hajotuksen loppuvaiheissa.

Kaunisto (1982) ja Kaunisto ja Pietiläinen (2003) ovat todenneet, että ammonium- ja kokonaistyppipitoisuus ovat kiinteässä korrelaatiossa 0-5 cm:n turvekerroksessa kasvukauden aikana ja syvemmissä kerroksissa varhain keväällä. Uuttuvan typen fraktioita (ammoniumtyppi, nitraattityppi, liukoinen orgaaninen typpi) 0-10 cm:n turvekerroksessa seurattiin ojitetulla suolla Alkkiassa kahden kasvukauden ajan vuosina 1999-2000 (Potila & Sarjala 2004). Turpeessa esiintyi nitraattia hyvin vähän tai ei lainkaan. Ammoniumpitoisuudessa havaittiin kymmenkertaista vaihtelua kasvukauden aikana. Sen sijaan liukoisissa orgaanisissa typpiyhdisteissä vaihtelu oli vähäisempää. PK-lannoitetuilla puustoisilla koeruuduilla orgaanisten yhdisteiden osuus turpeen liukoisesta typestä vaihteli seurantajakson aika-

na 42 % ja 89 % välillä, keskiarvon ollessa 70 %. Loput, keskimäärin 30 %, oli käytännössä ammoniumia (Potila & Sarjala 2004). Pohjois-Suomen koealoilla orgaanisen typen osuus liukoisesta typestä oli vieläkin suurempi (Sarjala ym. julkaisematon). Alkkian koealueella ammoniumtyppipitoisuus korreloi positiivisesti turpeen kokonaistypen kanssa 0-10 cm kerroksessa vain alkukesällä. Nettomineralisaatio tässä kerroksessa puolestaan kasvoi turpeen kokonaistypen noustessa välillä 1-2 % (Potila & Sarjala 2004).

Alkkiassa havaittiin, että turpeen typpipitoisuuden kasvaessa 2 %:iin (Potila & Sarjala 2004) kasvoi myös sienibiomassan määrä (ergosterolimäärityksillä mitattuna), kun taas mikrobibiomassaan (fumigaatiomenetelmällä mitattuna) sidotun typen ja hiilen määrät pienenivät. Siirryttäessä yli 2 %:n pitoisuusrajan mikrobibiomassa alkoi jälleen kasvaa ja sienibiomassa vähetä. C/N -suhteen pienentyessä turpeen hajotusprosessista hiilensä saava mikrobibiomassa väheni, mutta sienibiomassa kasvoi (Potila & Sarjala 2004), johtuen mahdollisesti siitä, että mykoritsasienet (= puiden kanssa symbioosissa elävät sienet) saavat tarvitsemansa orgaanisen hiilen isäntäkasvilta. Siinä suhteessa mykoritsasienillä on kilpailuetu muuhun mikrobistoon nähden. Alkkian tulosten perusteella korkeammissa typpipitoisuuksissa (>2 %) tilanne kääntyy päinvastaiseksi (Potila & Sarjala 2004).

Ilomantsin Särkässä tutkittiin myös turpeen typpigradientin ja lannoituksen vaikutusta mikrobibiomassan hiilen määrään, mikrobihengitykseen ja selluloosan hajotukseen (Karsisto julkaisematon). Mitatuista turpeen ominaisuuksista voimakkaimmin puiden pituuden kanssa korreloi selluloosan hajotus ja liukoisen hiilen määrän suhde kokonaistypen määrään. Puiden kasvun kanssa korreloivat seuraavaksi parhaimmin mikrobibiomassan hiilen määrä (Karsisto julkaisematon) ja turpeen typpipitoisuus (Kaunisto 1987, Kaunisto & Pietiläinen 2003). Selluloosan hajotustesti ei kuvaa koko mikrobistoa vaan ainoastaan niiden mikrobien toimintaa, jotka kykenevät selluloosan hajotukseen. Samassa tutkimuksessa runsastyppisillä ruuduilla, joilla myös puuston kasvu on hyvä, on selluloosan hajottajien määrä kaikissa tutkituissa turvekerroksissa ollut suurempi kuin vähätyppisimmillä heikommin puuta kasvavilla ruuduilla (Karsisto julkaisematon). Särkän aineiston perusteella näyttää siltä, että ravinteiden epätasapaino, kuten esimerkiksi kaliumin puute suhteessa muiden ravinteiden käytettävyyteen saattaa rajoittaa mikrobiston toimintaa niin paljon, että hajotustoiminta hidastuu.

Karsisto ym. (2002c) tutkimuksissa typen määrän lisäys esim. lannoituksella edisti vapaiden aminohappojen kertymistä sammaliin. On ilmeistä, että sammalien muuttuessa karikkeeksi runsastyppisellä kasvupaikalla vapautuu turpeeseen enemmän aminohappoja kuin vähän typpeä sisältävien kasvupaikkojen sammalista.

Turpeen lämpötilan vaikutus typpiyhdisteiden vapautumiseen

Typen mineralisaatio metsäekosysteemeissä pienenee lämpötilan laskiessa, koska yksi tärkeimmistä hajottajamikrobien aktiivisuutta rajoittavista tekijöistä on lämpötila (esim. Kaunisto & Norlamo 1976). Joissakin tutkimuksissa ilmastolla on pystytty selittämään hajotustoiminnan vilkkautta. Lämpötilan ja karikkeenhajotuksen välillä Johansson ym. (1995) on todennut selvän yhteyden. Alaskan boreaalisissa metsissä orgaaninen aines hajoaa hyvin hitaasti alhaisen lämpötilan johdosta (Van Cleve ym. 1981, 1990). Drury ym. (1991) on todennut alhaisen lämpötilan ja alhaisen vesipotentiaalin (märkyyden) rajoittavan mikrobien aktiivisuutta ja tätä kautta typen mineralisaatiota.

Lämpötilan merkitys hajotustoiminnan kannalta ei ole kuitenkaan yksiselitteinen asia, koska samanaikaisesti vaikuttavat myös muut tekijät. Huomattavaa typpiyhdisteiden mineralisaatiota voi tapahtua myös talviaikaan (Kjonaas ym. 1998, Devito ym. 1999). Kauniston ja Pietiläisen (2003) tutkimuksissa turpeen ammoniumpitoisuus oli korkeimmillaan keväällä, jolloin turpeen lämpötila on alhainen. Kauniston ja Norlamon (1976) tutkimuksessa todettiin lämpötilan kohottamisen ja lannoituksen edistävän mikrobitoimintaa, jolloin myös orgaanisista typpiyhdisteistä vapautui mineraalityppeä. Eri lämpösummavyöhykkeillä tapahtuvien turpeen mikrobiologisten prosessien selvittämiseksi tutkittiin vakioiduissa olosuhteissa kasvatuskammioissa neljässä eri lämpösummakäsittelyssä 17 viikon ajan kolmen typpitasoltaan erilaisen turpeen pintakerroksen (0-10 cm) ominaisuuksia. Turpeesta määritettiin liukoisten orgaanisten yhdisteiden pitoisuuksia seuraavista yhdisteryhmistä: fenolihapot, hartsihapot, rasvahapot, sterolihapot ja aminohapot (Karsisto ym. 2002b, 2003). Määritetyt yhdisteet ja niiden merkitys on esitetty turpeen maatumista kuvaavassa tietotaulussa. Samoissa vakioiduissa olosuhteissa toteutetussa kokeessa seurattiin mikrobi- ja sienibiomassoja, liukoisia typpiyhdisteitä sekä CO_2-tuottoa (Hartman ym. 2002, 2003).

Turpeen maatuminen

Kasvillisuus	Karike, kasvimateriaalia, mikrobit
Raakahumus	Kasvimateriaalia (myös osittain hajonnutta), sisältää mm. hiilihydraatteja, proteiineja, selluloosaa, hemiselluloosaa, ligniiniä
Turve	Eri maatumisvaiheessa olevia kasvin osia, sisältävät myös samoja yhdisteryhmiä kuin raakahumus. Orgaanisten yhdisteiden määrä ja laatu muuttuvat turpeen iän, kasvupaikan, fysikaalisten, kemiallisten ja mikrobiologisten reaktioiden kautta. Ravinteet ovat osittain orgaanisesti sidottuja.

Turpeesta eristettyjä liukoisia yhdisteitä:

Aminohapot
alaniini
asparagiini
aspartiinihappo
fenyylialaniini
glutamiinihappo
glysiini
leusiini
lysiini
metioniini
proliini
treoniini
tyrosiini

Rasvahapot
dekosaanihappo
eikosaanihappo
heksadekaanihappo
oktadekeenihappo
oleiinihappo
palmitiinihappo
tetradekaanihappo
tetrakosaiinihappo

Hartsihapot
pimaarihappo
abieettihappo
dehydroabieettihappo

Fenolihapot
3,4 dihydroksibentsoehappo
2,5-dihydroksibentsoehappo
ferulihappo
gallushappo
4-hydroksibentsoehappo
p-kumariinihappo
vaniliinihappo

Sterolit
betasitosteryyli
kampesteroli
stigmastanoli
stigmasteroli

Aminohapot

Mikrobien hajottaessa proteiineja syntyy aminohappoja, jotka hajotuksen edetessä muuttuvat ammoniakiksi. Mikrobit pystyvät hajottamaan aminohappoja hyvin nopeasti erilaisissa maaperissä jopa kylmissä olosuhteissa kuten arktisella tundralla (Kielland 1995). Näin ollen aminohappojen hajoaminen ammoniakiksi ei ole typen vapautumista rajoittava tekijä vaan sitä edeltävä aminohappojen vapautuminen hitaammin hajoavista proteiineista.

Kaikissa lämpösummakäsittelyissä sienibiomassaa kuvaavan ergosterolin pitoisuus vaihteli kasvatuskammiokokeen aikana (Hartman ym. 2003), mikä poikkesi kenttäkokeissa tehdyistä havainnoista (Potila ja Sarjala 2004). Vaihteluun on voinut vaikuttaa se, että kasvillisuus oli poistettu kasvatuskammiokokeissa, mikä rajoittaa mykorritsasienten kasvua. Turpeen CO_2-C -hengitys korreloi positiivisesti lämpösumman kanssa vain korkeimmissa typpipitoisuuksissa. Alhaisimmassa turpeen N-pitoisuudessa lämpötilan vaikutusta ei havaittu. Mikrobibiomassa väheni kokeen aikana, eniten korkeimmassa lämpösummassa ja alhaisimmassa typpipitoisuudessa. Liukoisten typpiyhdisteiden fraktio koostui pääasiassa ammoniumista ja DON-yhdisteistä, joiden suhteellinen osuus vaihteli suuresti. Ammoniumin määrä kasvoi kokeen loppua kohden eniten korkeimmassa lämpösummakäsittelyssä ja typpipitoisuudessa. DON-yhdisteiden suhteellinen osuus oli korkein alhaisimmassa lämpösummassa ja typpipitoisuudessa.

Fenoliset yhdisteet

Kasvillisuudella on suuri vaikutus maaperän fenolihappokoostumukseen (Shindo ym. 1978, Whitehead ym. 1982). Fenoliyhdisteet ovat yleisimpiä kasvien sekundäärisistä aineenvaihduntatuotteista. Fenoliyhdisteiden uskotaan olevan tärkeä tekijä humuksen muodostumisessa ja hidastavan entsyymien katalysoimia reaktioita myös fenoliyhdisteiden pitoisuuksien ollessa matalia. Monien fenoliyhdisteiden on lisäksi todettu olevan allelopaattisia eli ne joko sellaisenaan tai muiksi aineiksi muuttuen ehkäisevät tai edistävät kasvien normaalia yksilönkehitystä (Katase & Kondo1989, Katase ym. 1994, Katase 1995). Kahdeksan erilaista liukoista fenolihappoa identifioitiin kasvatuskammiokokeemme aikana. Samoin kuin rasvahappojen myös fenolihappojen esiintymiseen vaikuttivat sekä turpeen typpipitoisuus että lämpötila. Eri yhdisteet käyttäytyivät erilailla. Esim. 3,4-dihydroxybentsoehapon määrä väheni merkittävästi turpeen typpipitoisuuden noustessa.

Hartsihapot

Turpeen hartsihappopitoisuuksista tiedetään vain vähän, mutta mm. monien mäntylajien pintapuuaineksessa on yleisesti trisyklisiä hartsihappoja kuten pimaari-, isopimaari- ja dehydroabieettihappoja kun taas neulasissa on pääasiassa diterpeenejä (Zinkel ym. 1985, Arrabal ym. 1994) ja pieniä määriä mm. abieetti- ja dehydroabieettihappoja (Gref ym. 1987). Hartsihappojen määriin vaikutti turpeen lämpötila enemmän kuin sen typpipitoisuus. Hartsihappojen esiintyminen oli enemmän riippuvainen lämpösummasta kuin turpeen typpipitoisuudesta.

Rasvahapot

Turpeen eri rasvahappojen määrään vaikuttavat muun muassa turpeen hajoamisaste, pohjaveden laatu ja turpeen aerobisuus tai anaerobisuus sekä se mistä kasveista turve on muodostunut. Rasvahapot ovat turpeessa yleensä ottaen epästabiileja, mutta niiden reaktiivisuus vähenee hiiliketjun kasvaessa (Tsutsuki ym. 1997). Tästä seuraa, että syvemmällä (eli vanhemmassa) turpeessa pitkäketjuisten rasvahappojen suhteellinen osuus kokonaisrasvahapoista kasvaa, kun taas rasvahappojen kokonaismäärä pienenee. Myös turvemaan kuivattaminen vähentää lyhytketjuisten rasvahappojen osuutta kokonaisrasvahapoista, mutta merkittäviä kasvukauden aikaisista lämpötilavaihteluista johtuvia muutoksia kylmän ilmaston turpeen rasvahappokoostumukseen ei ole havaittu. Sekä turpeen typpipitoisuus että lämpösumma vaikuttivat rasvahappojen esiintymiseen turpeessa. Lämpötilalla oli kuitenkin vähäisempi vaikutus kuin turpeen typpipitoisuudella.

Sterolit

Myöskään sterolien esiintymistä suomalaisissa turpeissa ei tunneta, mutta tiedetään että kaikissa korkeammissa kasveissa on huomattavia määriä steroleja, niinpä niiden esiintyminen turpeessa on todennäköistä. Voidaan olettaa, että steroleilla voisi olla vaikutuksia mikrobien kasvuun. Esim. tuomen läheisyydestä on eristetty sitosterolia, jonka epäiltiin olevan satoa ja maaperän bakteerikasvustoa vähentävä allelopaatti. Sterolien esiintymiseen turpeessa vaikutti sekä lämpötila että turpeen typpipitoisuus. Stigmasterolin ja betasitosterolin pitoisuudet olivat korkeimmat näytteissä, joissa turpeen lämpösumma oli alhaisin, mutta typpipitoisuus korkein.

Käytännön toimenpiteet suolla vaikuttavat mikrobitoimintaan ja sitä kautta typen ja muiden ravinteiden sitoutumiseen tai vapautumiseen

Orgaanisen aineen laadun lisäksi siitä vapautuvien ja/tai siihen sitoutuvien ravinteiden määriin vaikuttavat mm. suossa vallitsevat aerobisuus, turpeen happamuus ja lämpötila. Erilaiset käytännön toimenpiteet kuten ojitus, lannoitus, hakkuut ja ennallistaminen muuttavat turpeen monimutkaisia fysikaalisia, kemiallisia ja mikrobiologisia reaktioita ja vaikuttavat typen ja muiden ravinteiden saatavuuteen. Tässä yhteydessä typpiyhdisteiden saatavuus tarkoittaa sitä, kuinka paljon typpiyhdisteistä on vapaina (jolloin ne ovat myös puuston ulottuvilla), suuri osahan on immobilisoitunut mikrobistoon ja orgaaniseen aineeseen.

Useat tutkimukset ovat osoittaneet, että sopivilla käytännön toimenpiteillä on mahdollista vaikuttaa turpeen mikrobistoon niin, että se sitoo itseensä typpeä ja muita ravinteita. Sitoutuneet ravinteet vapautuvat mikrobiston hajotessa myös puuston käyttöön. Mikrobiston ratkaisevaa merkitystä turpeen typen kannalta kuvaavat ennallistettavalla suolla toteutetut kokeet (Silvan ym. 2002). Näissä hyvin poikkeuksellisissa olosuhteissa voidaan oppia ymmärtämään mikrobiston toimintaa, kun kilpaileva puusto on poistettu. Mikrobibiomassaan sitoutui alueelle levinneeseen valumaveteen lisätystä typestä noin 25 %. Tässä tapauksessa hyötynä oli se, että osa valumaveden typestä, joka olisi voinut olla peräisin esim. lähellä toteutetusta lannoituksesta, sitoutui osa maaperämikrobistoon eikä huuhtoutunut alapuoliseen vesistöön. Myös puustoisilla alueilla mikrobit pystyvät varastoimaan typpeä, joka myöhemmin vapautuu myös puiden käyttöön.

Toisena esimerkkinä mikrobien kyvystä sitoa ravinteita maaperään ovat vanhat tuhkalannoituskokeet turvemailla (lannoitus vuosina 1926 ja 1939). Kun ojitus on ollut kunnossa, on tuhkalannoituksella voitu osoittaa olevan kymmeniä vuosia pysyvä perusparannusvaikutus maaperässä. Sekä mikrobiologiset mittaukset (Karsisto 1979b) että puiden kasvumittaukset ovat tukeneet tätä käsitystä. Tuhka on muuttanut turpeessa olevia olosuhteita sellaisiksi, että ravinteita – etenkin tärkeää typpeä – vapautuu puiden käyttöön. Tuhka vaikuttaa prosesseihin ainakin sitä kautta, että se neutraloi turvetta ja tuo maaperään fosforia, kaliumia ja hivenaineita. Näin tapahtui myös lyhytaikaisilla tuhkalannoitetuilla energiametsäkokeilla (Weber ym. 1985).

Suuri osa typpiyhdisteiden transformaatioista tapahtuu turpeen hapellisessa eli aerobisessa pintakerroksessa, jossa vapautuu puille käyttökelpoisia ravinteita. Jos pyritään pääsemään selville niistä typen raja-arvoista, missä kullakin lämpösumma-alueella tapahtuu edelleen riittävästi typen mineralisaatiota puiden kasvua ajatellen, on huolehdittava siitä, että muut ravinteiden vapautumiseen vaikuttavat tekijät ovat kunnossa (ks.myös luku 2.3.4).

Aerobinen mikrobisto on yleensä aktiivisinta 0-20 cm:in pintakerroksessa vapauttaen typpeä ja muita ravinteita (Karsisto 1979a). Mikrobien aktiivisuus on suurin juuri samassa syvyydessä, missä puiden ja muiden kasvien juuristot toimivat, mikä aiheuttaa kilpailua käyttökelpoisista ravinteista. Aerobisten mikro-organismien aktiivisuus vähenee selvästi syvemmissä turvekerroksissa. Karsisto (1979a) on todennut, että mitä syvemmälle pohjavesi on ojituksen avulla säännöstelty, sitä tehokkaampaa on esim. sellusoosan hajotus (mikrobien hajotustoiminnan indikaattori). Tehokkaasti ojitetuilla (pohjaveden syvyys 50 cm) lannoittamattomilla ruuduilla oli selluloosan hajotus vielä 40-50 cm:n syvyydessä tehokkaampaa kuin heikosti ojitettujen alueiden pintaturpeessa (0-5 cm). Samoin erilaisten bakteerien lukumäärät olivat suurempia tehokkaasti ojitetuilla alueilla kuin heikosti ojitetuilla. Tehokkaasti ojitetuilla alueilla turpeeseen kertyneestä orgaanisesta aineesta on vapautunut puiden käyttöön typpeä ja muita ravinteita (Karsisto 1979a), mikä ilmenee huomattavina puuston kasvun lisäyksinä (Huikari & Paarlahti 1973, Päivänen 1974).

Karsiston (1992) tutkimuksissa ojitukset ja lannoitukset lisäsivät mikrobibiomassoja ja

orgaanisten aineiden vapautumista (vapaat aminohapot, liukoiset sokerit, fenoliyhdisteet, selluloosa). Minkkisen ym. (1999) tutkimuksissa ojitetuilla soilla selluloosan hajotus oli pintaturpeessa vilkkaampaa kuin ojittamattomilla, mutta erot vähenivät syvemmälle mentäessä. Lähde (1966) ja Paarlahti (1964) ovat saaneet samansuuntaisia tuloksia.

Typpiyhdisteiden vapautumiseen liittyvät prosessit ovat niin monimutkaisia, että niiden lisätutkimus on edelleen tarpeellista. Suo–ohjelman aikana on jo kertynyt lisää sellaista tietoa mikrobeista ja typen vapautumisesta orgaanista aineesta, jota voidaan käyttää hyväksi arvioitaessa eri ilmastovyöhykkeillä suon typpitilanteen vaikutuksia typen riittävyyteen puiden kasvua ajatellen. Yhteenvetona voidaan todeta, että mikrobien hajotuksen kautta vapautuvien typpiyhdisteiden määriin voidaan vaikuttaa mm. soiden ojituksella sekä huolehtimalla ravinnetasapainosta lannoittamalla.

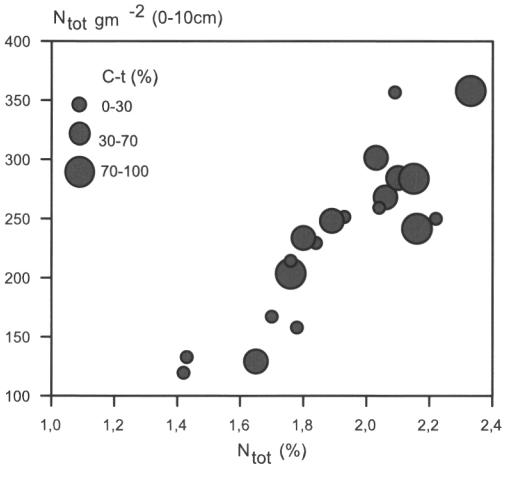
2.3.2 Kasvupaikan typpitalouden arviointi

Soiden kasvupaikkaluokituksia metsätalouden käyttöön on useita (esim. Huikari 1952, Heikurainen 1959 ja Laine &Vasander 1990). Näissä alkuperäisen kasvupaikan ravinteisuus ja puuntuotoskyky määritetään indikaattorikasvien avulla. Kyseisissä soiden luokituksissa kasvupaikan rehevyys kasvaa lähinnä turpeen typpi- ja kalsiumpitoisuuden noustessa (ks. myös luku 2.1.3). Luonnontilaisten ja ojitettujen turvemaiden typpivarat vaihtelevat suuresti, vaihteluväli on noin 1-3 % (60...1000 g m^{-2} turpeen pintakerroksessa, 0-10 cm, ks. esim. Vahtera 1955, Kurki 1983, Päivänen 1990, Hartman ym. 2001). Ojituksen jälkeen pintaturpeen typpipitoisuus ja typen määrä yleensä kasvavat (ks. myös luvut 2.3.1 ja 2.2.4), kun hajotustoiminta kiihtyy ja turve tiivistyy (Laiho & Laine 1994). Käytännössä kaikki turpeen luontainen typpi on peräisin ilmakehästä joko suoraan laskeumana tai biologisen typensidonnan kautta (esim. Basilier 1979, Waughman & Bellamy 1980, Chapman & Hemond 1982, Hemond 1983). Ombrotrofisilla kasvupaikoilla laskeuman osuus on suuri (Rosswall & Granhall 1980). Turpeen typpipitoisuus on myös riippuvainen sen kasvijäänteiden koostumuksesta (Laine ym. 2000).

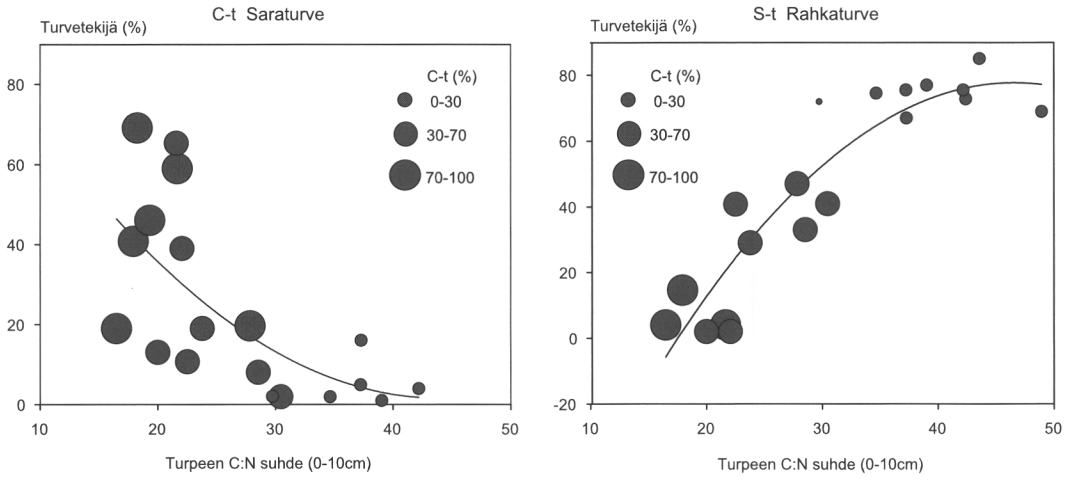
Maatumisaste ja turpeen typpipitoisuus

Turpeen maatumisasteen perusteella tehtävä turpeen typpipitoisuuden arviointi on käytännön kannalta nopeampi, huokeampi ja yksinkertaisempi menetelmä kuin kemiallinen analyysi. Siksi maatumisasteen ja typpipitoisuuden välistä riippuvuutta on pyritty myös SUO–ohjelman puitteissa määrittämään. Arviointi on perustunut mm. von Postin asteikkoon (ks. tietotaulu) sekä turvetekijöiden mikroskooppiseen tarkasteluun.

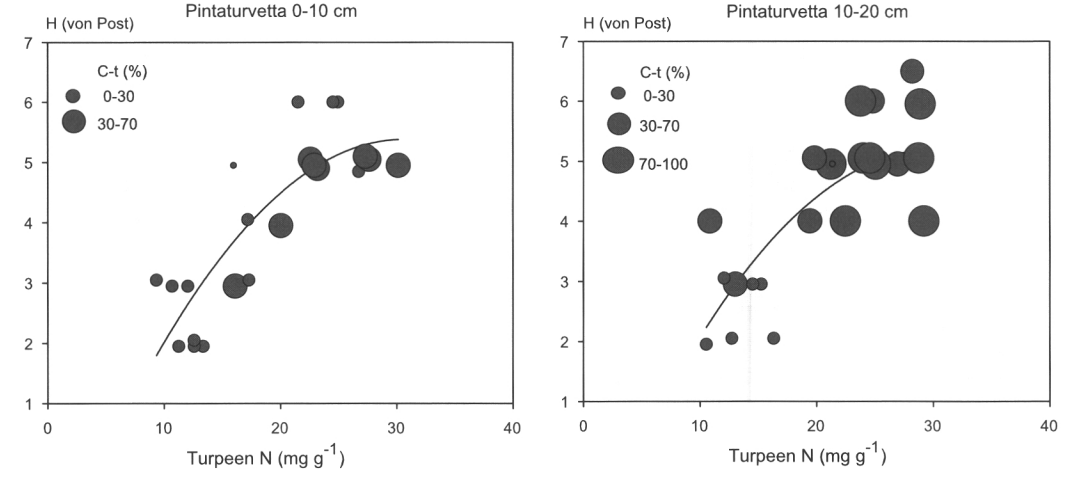
Kuten aiemmin on todettu, pintaturpeen typpipitoisuudet ja määrät vaihtelevat ja saraturvetekijän osuus kasvaa turpeen typpipitoisuuden kasvaessa, kuten esim. Parkanon Liesinevalla (kuva 1). Yleensä saravaltaisten turpeiden C/N-suhde on pienempi kuin rahkavaltaisten (kuva 2).



Kuva 1. Parkanon Liesinevan hydrologisen kokeen pintaturpeen (0-10) typpipitoisuuden ja typen määrän välinen riippuvuus kahdellakymmenellä eri koealalla ja saraturvetekijän (C-t) prosentuaalinen osuus turpeessa.



Kuva 2. Turpeen C/N suhteen riippuvuus turvetekijöistä Ilomantsin Särkän typpigradienttikokeella (0-10 cm). Pisteiden koko = turpeen typen määrä (g m^{-2}).



Kuva 3. Ilomantsin Särkän typpigradienttikokeen pintaturpeen (1 = 0-10 cm ja 2 = 10 -20 cm) maatumisasteen riippuvuus typpipitoisuudesta.

Luonnontilaisen suon turpeen maatumisnopeus riippuu mm. pohjaveden pinnan tasosta ja turpeen typen määrästä (Frolking ym. 2001). Maatuneisuuden ja turpeen typpipitoisuuden välillä on voimakas riippuvuus (Kaunisto 1982, 1987). Turpeen maatuneisuus, turpeen typpi sekä saraturvetekijöiden määrä olivat riippuvaisia toisistaan myös Ilomantsin Särkässä sijaitsevalla typpigradienttikokeella (Hartman ym. 2001). Turvetekijät voidaan tunnistaa mikroskoopilla (ks. Heikurainen & Huikari 1952, Laine ym. 2000). Ojituksen jälkeen turvetekijät säilyvät tunnistettavina suhteellisen kauan, mutta maatuneisuusasteen kohotessa niiden tunnistettavuus heikkenee. Ojituksen ja sitä seuraavan pohjaveden pinnan laskun jälkeen turve altistuu aerobisten organismien hajotustoiminnalle. Oji-

Maatumisaste ja typpipitoisuus

Selvitellessään viime vuosisadan alussa Ruotsin soiden turpeen kelpoisuutta viljely- ja polttoturpeeksi turvegeologi Lennart von Post (1922) laati vieläkin käytössä olevan turpeen maatumisasteikon. Asteikko on hyvin käytännönläheinen ja perustuu turpeen kasvijäännösten tunnistettavuuteen ja turpeessa olevan veden laatuun turvenäytettä puristettaessa (esim. Päivänen 1982).

Maatumis-asteet	Turpeen N % *	Sormien välistä puristuvan veden laatu	Sormien välistä puristuva turvemassa
H 1		Kirkas ja väritön	Ei yhtään
H 2		Lähes kirkas, kellanruskea	Ei yhtään
H 3	1,0	Samea, ruskea	Ei yhtään
H 4	2,0	Mutaisen ruskea	Ei yhtään 'Kimmoraja'
H 5		Erittäin mutainen, sisältää hiukan turvelietettä	Erittäin vähän
H 6	3,0	Tumma, sisältää runsaasti turvelietettä	Kolmasosa
H 7		Erittäin tummaa, paksua	Puolet
H 8		Erittäin paksua	Kaksi kolmasosaa
H 9		Ei vapaata vettä	Lähes kaikki
H 10		Ei vapaata vettä	Kaikki

* Turpeen typpipitoisuus eri maatuneisuusluokissa. Lähteet: Kaunisto 1987, Hartman & Moilanen, julkaisematon data.

tuksen jälkeen rahkasammalet ja sarat väistyvät ja kasvillisuus muuttuu aikaa myöten ojikolle ja turvekankaalle tyypilliseksi (Laine & Vasander 1990, ks. myös luku 2.1.3).

Turpeen kokonaistypen ja maatumisasteen välisen riippuvuuden havaitsi myös Kaunisto (1987). Suon puuntuotospotentiaalia arvioitaessa turpeen typpipitoisuus voidaan arvioida turpeen maatuneisuuden perustella. Moilanen (1993) sekä Pietiläinen ja Kaunisto (2003) ovat arvioineet, että puille vapautuu riittävästi typpeä, kun ojitetun suon pintaturpeen typpipitoisuus on vähintään 1,5-2,0 % silloin, kun lämpösumma vaihtelee välillä 1100-950 d.d. Tämä vastaa maatumisastetta 3,5-4,5 (vrt. kuva 3) 1050 d.d. lämpösummavyöhykkeessä.

2.3.3 Puiden typenoton mekanismit

Pääpuulajimme mänty, kuusi ja koivu pystyvät ottamaan typpeä monin eri tavoin. Pitkään oli vallalla käsitys, että typensaannin edellytys on orgaanisen typen mineralisoituminen lähinnä ammoniumiksi. Nykyään tiedetään, että puiden typenotto ei ole riippuvainen pelkästään epäorgaanisen typen saannista, vaan juuriston mykorritsasymbioosi mahdollistaa myös orgaanisten typpilähteiden hyödyntämisen.

Mykorritsat, mitä ne ovat?

Mykorritsat eli sienijuuret ovat sienen ja isäntäkasvin juuren muodostamia symbioottisia elimiä, joissa sieniosakas saa isäntäkasvilta sokereita ja sieni puolestaan parantaa isäntäkasvin ravinteiden ja veden saantia (kuva 4). Useat tuntemamme metsäsienet kuten tatit, haperot ja rouskut ovat mykorritsasieniä. Mykorritsat voivat parantaa ravinteidenoton lisäksi isäntäkasvin kuivuuden- ja taudinkestävyyttä patogeeneja vastaan. Sienet eivät pysty yhteyttämään, joten ne ovat täysin riippuvaisia muualta saamastaan orgaanisesta hiilestä. Lahottajasienet eli saprofyytit saavat orgaanisen hiilensä hajottamalla kariketta,

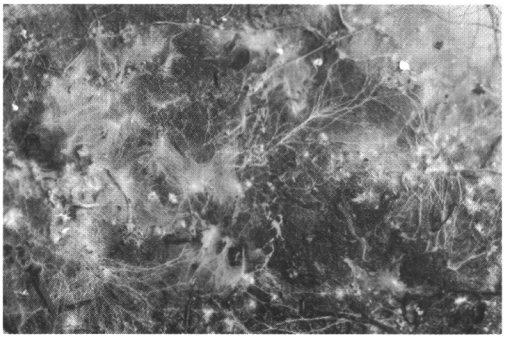
mutta mykorritsasienten hiilenlähteenä toimii isäntäkasvi (ks. myös luku 2.3.1).

Metsäpuiden juuriin syntyvät mykorritsat ovat yleensä ektomykorritsoja. Niissä sieni muodostaa juuren ympärille vaipan, jonka paksuus vaihtelee sienilajista riippuen. Sienirihmat tunkeutuvat juuren kuorisolujen väliin ja muodostavat ns. Hartigin verkon.

Mykorritsasienten merkitys puuvartisten kasvien ravinteiden otossa on äärimmäisen tärkeä. Mykorritsasienten kyky parantaa isäntäkasvin ravinteiden ottoa perustuu mm. rakenteellisiin ominaisuuksiin. Laajalle ja runsaina mykorritsasta haarautuvat sienirihmat moninkertaistavat ravinteita absorboivan pinta-alan verrattuna ilman mykorritsasientä toimivaan juureen (kuva 5). Vaikealiukoisten ravinteiden saanti helpottuu myös sienirihmojen entsyymitoiminnan ansiosta sekä orgaanisten happojen avulla, joita erittyy sienirihmoista (esim. Smith & Read 1997, Wallander & Wickman 1999). Vaikka tässä yhteydessä keskitytään mykorritsojen merkitykseen typenotossa, on syytä mainita, että mykorritsasienet edistävät fosforinottoa mm. vaikeasti liukenevista fosforiyhdisteistä (Smith & Read 1997). Viimeaikoina on julkaistu myös tutkimuksia mykorritsasienten kyvystä hyödyntää vaikeasti liukenevia kaliumyhdisteitä (Wallander & Wickman 1999).

Epäorgaaninen typpi

Puut ottavat sienijuurillaan epäorgaanisen typen ammoniumina (NH_4^+) ja nitraattina (NO_3^-). Ojitetun suon turpeessa vapautuu enemmän NH_4^+ -typpeä, jonka pitoisuus voi olla parhaillaan jopa satakertainen NO_3^- -typpeen verrattuna (Kaunisto & Pietiläinen 2003, Potila & Sarjala 2004). Ojitettujen soiden puustot ottavat valtaosan epäorgaanisesta typestään NH_4^+ -typpenä. Sen sijaan sitä, kuinka suuri osuus kokonaistypestä tulee orgaanisesta ja kuinka suuri epäorgaanisesta, ei pystytä tarkasti arvioimaan. Turvemailla, jossa orgaanisen typen osuus on suuri ja mineralisoituminen hidasta, uskotaan orgaanisen typen osuuden olevan kuitenkin huomattava.



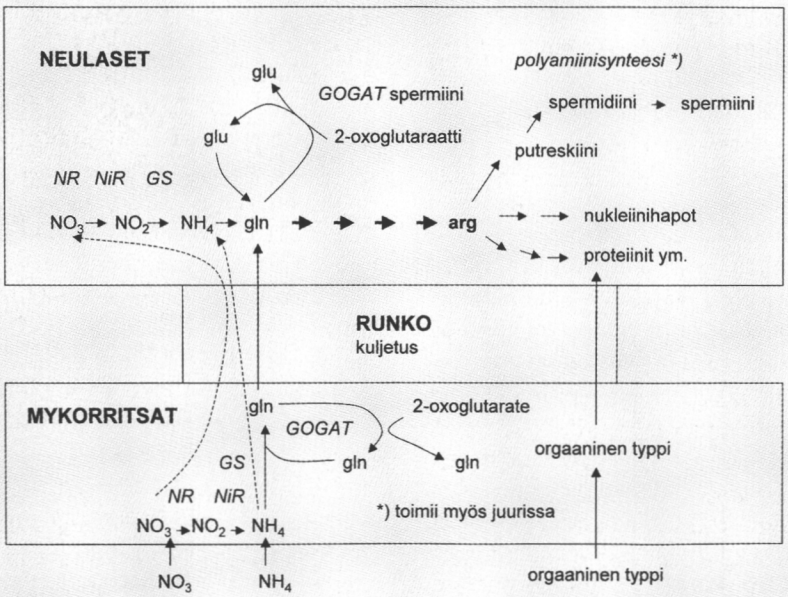
Kuva 4. Mykorritsasienirihmasto muodostaa tiheän verkoston turpeeseen. Kuva männyntaimen juuristosta. Kuva: H. Latvajärvi/T. Sarjala.

Orgaaninen typpi

Orgaaninen typpi on pääasiallisin typen muoto turpeessa. Liukoisia orgaanisia yhdisteitä ovat mm. aminohapot, peptidit ja proteiinit. Useiden laboratoriossa suoritettujen tutkimusten lisäksi myös kenttäkokeissa on todistettu kiistattomasti, että ektomykorritsalliset puut, kanervakasvit ja mykorritsalliset ruohovartiset kasvit käyttävät aminohappoja (mm. Chalot & Brun 1998, Näsholm ym. 1998). Mykorritsat voivat siis menestyksellä kilpailla muiden maaperän organismien kanssa orgaanisista ravinteista.

Turpeessa kasvavilla männyn- ja kuusentaimilla tehty tutkimus (Öhlund & Näsholm 2001) osoitti, että yleisten aminohappojen, leimatun (^{15}N) arginiinin ja glysiinin, sekä ammoniumin ottonopeudet olivat yhtäsuuret, mutta 7-8 kertaa suuremmat kuin nitraatin. Lisäksi osoitettiin, että männyllä 100 % arginiinista ja 67 % glysiinistä ja kuusella 83 % arginiinista ja 96 % glysiinistä otettiin sellaisenaan, hajoamattomana, juuriston kautta. Tulosten perusteella ainakin kokeessa käytetyt aminohapot, arginiini ja glysiini, ovat yhtä hyviä typen lähteitä kuin epäorgaaninen ammonium.

Mykorritsasienet ottavat joitakin ravinteita suoraan kasvikarikkeesta, mutta osittain jopa muilta mykorritsa- tai lahottajasieniltä



Kuva 5. Männyn typenoton ja assimilaation mekanismit. Glu = glutamiinihappo, Gln = glutamiini. Entsyymien lyhenteiden selitykset tekstissä.

Nykyisin tiedetään, että kasveilla ammoniumin assimilaatio tapahtuu pääasiassa GS/GOGAT- reittiä (Oaks 1994, Inokuchi ym. 2002). Männyllä nitraattireduktaasin ja GS/GOGAT- reitin toimintaa on tutkittu sekä mykorritsajuurista että neulasista. GS-aktiivisuus on 50-kertainen ja NR-aktiivisuus 6-kertainen männyn taimien juurissa neulasiin verrattuna (Pietiläinen & Lähdesmäki 1988). Tutkimuksissamme kontrolloiduissa olosuhteissa männyn taimien juurten GS-aktiivisuus oli 5 mmol glutamaattia g^{-1} tuorepainoa tunnissa ja NR-aktiivisuus oli vastaavasti 1,7 mmol nitriittiä g^{-1}. Ojitusalueelta otetuissa juurinäytteissä vastaava GS-aktiivisuus oli 5,12 mmol g^{-1} ja NR-aktiivisuus oli 0,028 mmol g^{-1}. Näissä tutkimuksissa NR-reduktaasin matala aktiivisuus johtunee turpeen alhaisista nitraattipitoisuuksista. Männyn ammoniuminotto on tehokkaampaa kuin nitraatin. Männyn neulasten typpipitoisuus korreloi voimakkaasti turpeen kokonaistyppi- ja NH_4^+ -pitoisuuden kanssa kun ilman lämpösumma >950 d.d.

Männyn nitraattireduktaasin ja GS/GOGAT- reitin toimintaa on tutkittu sekä juurista että neulasista. Nitraattireduktaasin vuodenaikaisvaihtelu ja aktiivisuus neulasissa ja juurissa osoittaa, että nitraatti pelkistetään pääasiassa juurissa. Mikäli maan lämpötila on alhainen, juurten NR-aktiivisuus laskee. Tällöin nitraattia kulkeutuu vapaana neulasiin, jossa se assimiloidaan (Pietiläinen & Lähdesmäki 1986, Sarjala ym. 1987, Pietiläinen & Lähdesmäki 1988, Lähdesmäki & Pietiläinen 1989, Pietilä ym. 1989, Pietiläinen ym. 1991, Sarjala 1991). Yleisesti ottaen nitraattia on kuitenkin melko vähän tarjolla happamilla mailla kuten soilla, joten männyn NR-kapasiteetti voidaan olettaa olevan riittävä, eikä se ole rajoittavana tekijänä typen assimilaatiossa. Neulasissa typpi sukkuloidaan glutamiinin (gln) ja arginiinin kautta tarvittaviin typpiyhdisteisiin.

Jotkut mykorritsasienet pystyvät käyttämään nitraattia (Sarjala 1990), mutta useimmiten sienet kasvavat puhdasviljelmissä paremmin ammoniumtypellä (mm. Keller 1996). Ektomykorritsasienten typenkäyttöä ja assimilaatiota on tutkittu paljon eri puolilla maailmaa. Tutkimusta on tehty sienten puhdasviljelmillä, kuten myös mykorritsallisten juurten, koko kasvin ja metsäekosysteemin osalta. Puhdasviljelmäkokeissa mykorritsasienet pystyvät usein kasvamaan ja hyödyntämään monia orgaanisia typenlähteitä, joskin lajienväliset erot ovat suuria (kts. esim. Laiho 1970, Finlay ym. 1992, Keller 1996, Sarjala 1999). Mykorritsoissa isäntäsoluista kulkeutuu hiilihydraatteja sienisoluihin, joissa ne syntetisoidaan epäorgaanisen typen kanssa aminohapoiksi ja siirretään takaisin juureen.

(Lindahl ym. 2002). Otetuista ravinteista osa jää sienirihmastoon ja osa menee isäntäkasville eli puulle. Useissa kenttäkokeissa annetusta ^{15}N:stä korkeintaan 15 % päätyy kasviin ja loput maan orgaaniseen ainekseen, lähinnä sienirihmastoon, mikä osoittaa sienten ravinteidenoton olevan nopeampaa kuin kasvien (esim. Lindahl ym. 2002).

Mikro-organismit, erityisesti sienet, vaikuttavat merkittävästi hiilen ja ravinteiden kiertoon, ei ainoastaan maaperässä, vaan myös ilmakehän ja kasvibiomassan välillä (Lindahl ym. 2002). Tämä korostuu ojitetuilla turvemailla, jossa hiiltä on suuret määrät orgaanisessa aineksessa ja puuston ravinnekierto on vahvasti mykorritsojen varassa alhaisen mineralisaation vuoksi.

Parkanon Alkkiaan ojitetulle turvemaalle männikköön istutetuista männyntaimien juurista löytyi karkealla tasolla tarkasteltuna useita männylle tyypillisiä mykorritsatyyppejä (Sarjala & Kaunisto 2000). Juurten sienibiomassan määrä ergosterolina mitattuna oli samaa suuruusluokkaa tai hiukan vähemmän kuin kivennäismailta raportoidut määrät (Markkola ym. 1995). Sienibiomassan määrän todettiin kohoavan jonkin verran turpeen kokonaistyppipitoisuuden kasvaessa n. 2 % saakka (Sarjala & Kaunisto 2000).

Mykorritsasienten kykyä ottaa typpeä typpipitoisuudeltaan viidestä erilaisesta turpeesta tutkittiin useassa laboratoriokokeessa (Sarjala & Potila 2005). Mykorritsasienet paransivat taimien typenottoa kaikissa eri turvelajeissa verrattuna ymppäämättömiin taimiin. Korkeimmassa turpeen typpipitoisuudessa (2,7 %) sekä taimien typpimäärä että kuivamassa alkoivat jälleen vähentyä alempaan typpipitoisuuteen (2,2 %) verrattuna. Käytettyjen sienilajien (*Lactarius rufus, Suillus variegatus, Piloderma croceum*) välillä oli eroja siinä, miten ne vaikuttivat kuivamassan kehitykseen juurissa, neulasissa ja varressa. *L. rufus* ja *S. variegatus* lisäsivät neulasten biomassaa, kun taas *P. croceum* lisäsi juurten biomassaa verrattuna ymppäämättömiin. Mykorritsasienten havaittiin lisäksi vaikuttavan paitsi taimien typenottoon myös turpeessa tapahtuvaan typen mineralisaatioon (Sarjala & Potila 2005).

Maan lämpötila ja typenotto

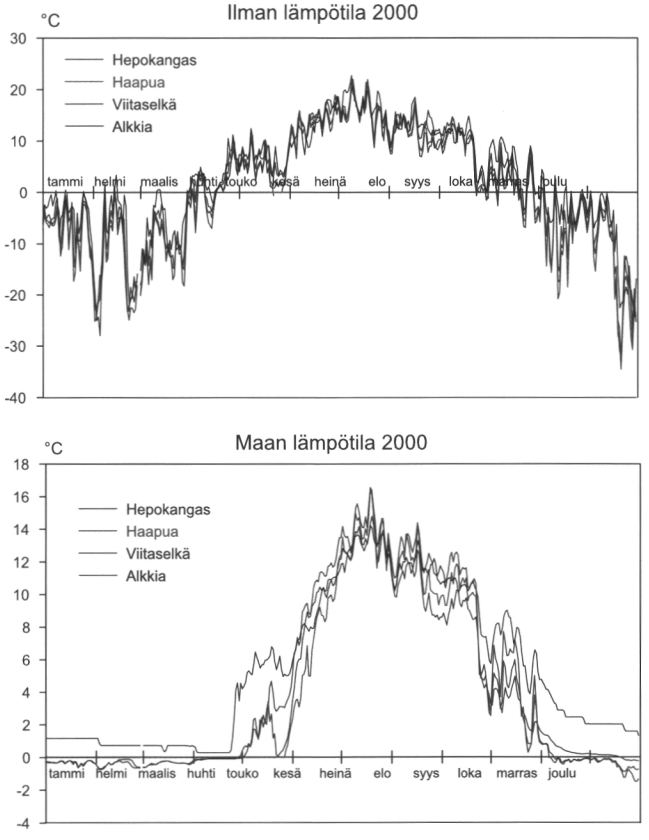
Pietiläinen ja Lähdesmäki (1998) havaitsivat männyntaimilla tekemässään kontrolloidussa kokeessa, että männyn taimien juuret ottivat ravinneliuoksesta viisi kertaa enemmän ammoniumia kuin nitraattia. Nitraatin otto oli lämpötilasta riippuva toisin kuin ammoniumin otto. Taimien juurihomogenaattien NR- ja γ-GT aktiivisuudet olivat lämpötilasta riippuvaisia. γ-GT aktiivisuus oli 10 °C:ssa satakertainen NR aktiivisuuteen nähden (Pietiläinen & Lähdesmäki 1998). Männyn ottama typpi varastoituu neulasiin arkiniinina. Puiden neulasten typpipitoisuus ja liukoinen arginiinipitoisuus korreloivat turpeen 0-10 cm pintakerroksen kokonaistyppi- ja ammoniumtyppipitoisuuden kanssa, kun ilman lämpösumma oli 950 d.d. tai 1080 d.d. (Pietiläinen ym. 1996, Kaunisto & Pietiläinen 2003).

Juuriston lämpötilalla on huomattava vaikutus männyntaimien kasvuun. Ryyppö ym. (1998) mukaan juurten kasvu keväällä on hyvin hidasta alle 5 °C:ssa ja jonkin verran rajoittunutta alle 13 °C.ssa. Ryyppö ym. (1998) ja Iivonen ym. (1999) havaitsivat kontrolloidussa kokeessa, että männyn nettotypenotto alkoi keväällä vasta juuriston saavuttaessa 9 °C lämpötilan. Lisäksi heidän kokeissaan korkea ravinnetaso paransi kasvua vasta juuriston lämpötilan ollessa yli 13 °C. Maan lämpötilan mittaus 7-10 cm syvyydessä ojitetulla turvemaalla usealla eri paikkakunnalla (taulukko 1, kuva 6) on osoittanut maan lämpötilan nousevan sangen hitaasti keväällä.

Saamiemme tulosten perusteella lämpösumman ollessa 850 d.d. tai sen alle turpeessa tapahtuvat mikrobiologiset typen transformaatioprosessit eivät riipu enää turpeen typpipitoisuudesta. Tällöin turpeen kokonaistyppipitoisuuden ja puiden neulasten typpipitoisuuden välillä ei ole korrelaatiota (Pietiläinen & Kaunisto 2003) ja turpeen typpipitoisuudesta riippumatta puut kärsivät typen puutteesta.

Taulukko 1. Hepokankaan (Taivalkoski), Haapuan (Pudasjärvi), Viitaselän (Muhos) ja Alkkian (Parkano) koekenttien korkeus merenpinnasta (m) sekä ilman (2 m korkealta) ja turpeen (7-10 cm syvyydeltä) lämpösummat (d.d) vuonna 2001. Kasvukauden lämpösumma koostettu päivittäisistä keskilämpötiloista +5 °C ylittävältä osalta.

Koealue	Koordinaatit	Korkeus (m)	Ilma (d.d.)	Turve (d.d.)
Hepokangas	65° 32'N 28° 25'E	240	885	654
Haapua	65° 22'N 27° 45'E	190	945	701
Viitaselkä	64° 54'N 26° 07'E	78	1149	880
Alkkia	62° 9'N 22° 52'E	175	1169	957



Kuva 6. Hepokankaan (Taivalkoski), Haapuan (Pudasjärvi), Viitaselän (Muhos) ja Alkkian (Parkano) koekenttien ilman ja turpeen (7-10 cm syvyydeltä) keskilämpötilat vuodelta 2000.

2.3.4 Turpeen typen vaikutus puuston ravinnetilaan ja kasvuun

Puuston kasvu lisääntyy siirryttäessä isovarpuisilta ja tupasvillaisilta soilta saraisille ja ruohoisille ja toisaalta maantieteellisesti pohjoisen metsäsuomen matalista lämpösummista Etelä-Suomen lähes kaksinkertaisiin lämpösummiin (Heikurainen 1959, Keltikangas ym. 1986). Suotyypit ovat puolestaan kytköksissä turpeen typpipitoisuuden kanssa (Vahtera 1955, Westman 1981), mutta typpipitoisuuden vaihtelu suotyypin sisällä voi olla varsin suuri (Westman 1981). Turpeen kokonaistyppipitoisuuden ja puuston kasvun välillä on useissa tutkimuksissa todettu var-

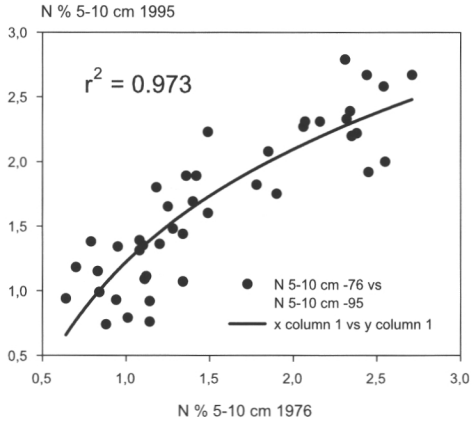
sin kiinteä yhteys (Kaunisto 1982, 1987, Kaunisto & Paavilainen 1988, Kaunisto & Pietiläinen 2003).

Puut käyttävät typpeä moninkertaisesti enemmän kuin mitään muuta pääravinnetta. Rehevillä soilla puustolle on turpeessa tarjolla typpeä ylimäärin muihin ravinteisiin verrattuna. Esim. fosforia on vanhojen ojitusalueiden turpeessa suhteessa typpeen suunnilleen 1/20-30, mutta puustossa näitä ravinteita on suhteessa 1/7-10 (Kaunisto ja Paavilainen 1988). Kun sekä typpi että fosfori ovat orgaanisesti sitoutuneita ja vapautuvat mikrobien hajotustoiminnan seurauksena turpeesta samassa suhteessa, fosforista on yleensä puutetta typpeen nähden. Fosforin puutos onkin useimmin puiden kasvua rajoittava ravinne ojitetuilla soilla, joskin suopuustoille on tyypillistä myös kaliumin ja boorin puutos (ks. myös luvut 2.4 ja 4.4). Muiden ravinteiden puutoksen seurauksena typen käyttö vaikeutuu ja osa typestä varastoituu neulasiin vapaana aminohappona eli arginiinina (tietotaulu Typen otto ja assimilaatio, ks. myös Pietiläinen & Lähdesmäki 1986) kohottaen neulasten typpipitoisuutta (Kaunisto 1982, Kaunisto & Pietiläinen 2003, Pietiläinen & Kaunisto 2003). Kun puu saa fosforia, kaliumia ja booria esim. lannoitteista, se voi käyttää arginiinin valkuaisainesynteesiinsä ja kasvu lisääntyy, jolloin samalla neulasten typpi- ja arginiinipitoisuudet alenevat (Pietiläinen ym. 1996, Pietiläinen & Kaunisto 2003). Toisaalta karuilla suotyypeillä PK-lannoitus lisää kasvua typen puutteen vuoksi vain vähän tai ei lainkaan. Tällaisilla soilla typpilannoituksenkin vaikutus jää lyhytaikaiseksi ja vähäiseksi (ks. luku 4.4, Paavilainen 1977, Moilanen 1993), koska hiilen ja typen suhde (C/N) on korkea ja typpi sitoutuu nopeasti mikrobistoon.

Vaikka puut tarvitsevatkin paljon typpeä, voi ainakin männyllä esiintyä myös typen ylitarjontaa. Joissakin tapauksissa näyttääkin siltä, että typpeä sisältävän moniravinnelannoitteen (NPK) käyttäminen runsastyppisellä kasvupaikalla (Kaunisto 1987) tai yksipuolinen typpilannoitus karullakin kasvupaikalla (Kaunisto & Paavilainen 1977) saattaa aiheuttaa ongelmia (ks. myös luku 4.3 suometsien lannoitus). Seurauksena voi olla kesällä syntyneiden neulasten ruskettuminen seuraavan talven aikana. Korkean typpipitoisuuden aiheuttamiin ongelmiin on syynä ehkä osittain neulasten kylmänkestävyyden alentuminen (Aronsson 1980). Näyttää myös siltä, että korkeissa turpeen kokonaistyppipitoisuuksissa männyn kasvu saattaa alentua (Kaunisto 1987, Ferm. ym. 1990, Kaunisto & Pietiläinen 2003, Kaunisto ym. 2003). Yksi syy tähän voi olla kylmänkestävyysongelma, mutta kasvun aleneminen korkeissa N-pitoisuuksissa on todettu myös kontrolloiduissa kokeissa ilman pakkasvaurio-ongelmia (esim. Sarjala & Potila 2005).

Typen merkitys puuston kehitykselle on siis varsin monivivahteinen. Toisaalta typen runsaus merkitsee korkeata potentiaalista biomassan tuotosta, mutta toisaalta sen liiallinen määrä saattaa aiheuttaa fysiologisia ongelmia, jotka saattavat johtaa kasvutappioihin.

Ojitusalueen ikääntyessä alkuperäisen suotyypin määrittäminen vaikeutuu, kun kangasmaiden kasvilajit valtaavat alaa ja ojitusalue muuttuu vähitellen turvekankaaksi. Turvekankaita erotellaan metsätaloutta varten huomattavasti vähemmän kuin alkuperäisiä suotyyppejä (Laine & Vasander 1990). Kasvupaikan kehityksen lopputuloksen ennustaminen saattaa tuottaa vaikeuksia käytännön toiminnalle riippuen siitä, missä kuivatusvaiheessa ojitusalue on sekä siitä, mitkä ovat alueen kasviyhdyskunnan muutosvaiheet. Nämä muutokset ovat lisäksi erilaisia eri ilmastooloissa. Myös turpeen maatuneisuuden aste ja typpitoisuus muuttuvat ajan myötä, koska mikrobit hajottavat turvetta, jolloin orgaaninen aine hajoaa pääasiassa hiilidioksidiksi ja vedeksi, mutta typpi sitoutuu mikrobimassaan. Turpeen typpipitoisuus kohoaa vähitellen turpeen hajoamisen edistyessä (kuva 7). Maatuneisuuden ja turpeen typpipitoisuuden välillä on kiinteä yhteys (Kaunisto 1987, Hartman ym. 2003).



Kuva 7. Turpeen typpipitoisuus Parkanon Alkkiassa v. 1976 ja 1995.

Kuten luvussa 2.3.3 on todettu puut ottavat typen turpeesta osittain ammoniumtyppenä ja osittain liukoisina orgaanisina yhdisteinä, kuten aminohappoina. Nitraattityppeä turpeessa on yleensä erittäin vähän. Turpeen typen muuttuminen, mineralisoituminen ammoniumtypeksi ja nitraattitypeksi riippuu mm. turpeen kokonaistyppipitoisuudesta ja lämpötilasta. Pintaturpeen (0-5 cm) ammoniumtyppipitoisuus kohoaa turpeen kokonaistyppipitoisuuden myötä (Kaunisto & Pietiläinen 2003), joskin NH_4^+ -pitoisuudet vaihtelevat kasvukauden aikana suuresti eivätkä välttämättä aina korreloi N-pitoisuuden kanssa (Potila & Sarjala 2004). Typen nettomineralisoituminen lisääntyy turpeen N-pitoisuuden kasvaessa (Potila & Sarjala 2004) ja lämpötilan kohotessa turvemaissa normaalisti esiintyvistä lämpötiloista (Kaunisto & Norlamo 1976, Pietiläinen & Kaunisto 2003, Hartman ym. 2003).

Edellä esitetyistä syistä puuston typpiravitsemusta ja kasvupaikan puuntuotoskykyä on SUO-ohjelman aikana pyritty sitomaan sekä ilman lämpösummaan että suoraan turpeen maatuneisuuteen ja kokonaistyppipitoisuuteen, jotka ovat verrattain tarkasti määritettävissä olevia turpeen ominaisuuksia.

Ohjelman aikana tutkittiin mm. turpeen kokonaistyppipitoisuuden vaikutusta neulasten typpi- ja arginiinipitoisuuteen kolmella suoalueella, joilla ilman lämpösummat poikkesivat toisistaan ja joilla kaikilla oli hyvin laaja turpeen kokonaistyppipitoisuuden vaihteluväli. Lämpösummat olivat 850, 950 ja 1080 d.d. ja turpeen typpipitoisuuden vaihteluväli 0-10 cm:n turvekerroksessa vastaavasti 0,79-2,65, 1,04-2,98 ja 0,79-2,80 % kuiva-aineesta. NH_4^+-typpeä oli tutkituissa turpeissa 50-600 mg kg^{-1} ja NO_3^--typpeä 4-60 mg kg^{-1} kuiva-ainetta. Matalimman lämpösumman koealueella puut kärsivät selvästi kaliumin puutoksesta, jolloin neulasten typpipitoisuuden olisi pitänyt olla korkea tilanteissa, joissa turpeesta vapautuu typpeä riittävästi puille käyttökelpoiseen muotoon. Neulasten typpipitoisuudet olivat kuitenkin puutosrajan (N=1,30 %) alapuolella korkeimmissakin turpeen typpipitoisuuksissa eikä vapaata arginiinia kertynyt neulasiin. Turpeen ja neulasten typpipitoisuuden välinen riippuvuus ei ollut merkitsevä. PKB-ravinnelisäyksellä ei näissä olosuhteissa saataisi merkittävää puuston kasvunlisäystä, koska typpi oli alhaisesta lämpösummasta johtuen kasvua rajoittava tekijä.

Turpeen ja neulasten typpipitoisuuden välinen riippuvuus oli molemmilla lämpimämmillä (950 ja 1050 d.d.) alueilla tilastollisesti merkitsevä. Keskimmäisellä lämpösummaalueella neulasten typpipitoisuus kohosi puutosrajan yläpuolelle turpeen typpipitoisuuden ollessa noin 1,40-1,50 %, mutta neulasten typpipitoisuus lisääntyi verrattain hitaasti turpeen typpipitoisuuden funktiona. Tulos viittaa siihen, että PKB-ravinnelisäys parantaisi puuston kasvua, mutta kasvu jäisi verrattain vaatimattomaksi runsastyppisimpiä kasvupaikkoja lukuunottamatta. PKB-ravinnelisäyksen jälkeinen kasvulisäys oli keskimäärin 22 vuoden aikana 1,7 m^3 ha^{-1} v^{-1} rehevimmillä (0-10 cm:n pintakerroksen N >1,8 %) kasvupaikoilla, mutta karummilla aloilla ravinnelisäys ei vaikuttanut puuston keskimääräiseen kasvuun.

Lämpimimmällä alueella neulasten typpipitoisuus ylitti puutosrajan turpeen typpipitoisuuden ollessa noin 1,30 % ja kohosi jyrkästi turpeen typpipitoisuuden funktiona. Tuloksen mukaan PKB-ravinnelisäyksellä puuston

kasvua voitaisiin lisätä 1050 d.d. lämpösummassa varsin voimakkaasti. Puuston tilavuuskasvu olikin tällä alueella 5-8 -kertainen koealoilla, joiden turpeessa oli typpeä yli 1,8 % (0-10 cm:n kerros) verrattuna kasvuun koealoilla, joilla turpeen typpipitoisuus oli noin 1 %. Puuston kokonaistilavuus 25 vuoden iässä oli niukkatyppisellä osalla 10-20 m^3 ha^{-1}, mutta runsastyppisellä osalla se oli 60-80 m^3 ha^{-1}.

Kirjallisuus

Aronsson, A. 1980. Frost hardiness in Scots pine (Pinus silvestris L.) Studia Forestalia Suecica 155: 1-27.

Arrabal, C. & Cortijo, M. 1994. Fatty and resin acids of spanish Pinus pinaster Ait. Subspecies. Journal of the American Ocl Chemists Society 71: 1039-1040.

Basilier, K. 1979. Nitrogen fixation associated with Sphagnum and some other Musci. Acta Universitatis Upsaliensis 538: 23 s.

Berg, B. & Staaf, H. 1980. Decomposition rate and chemical changes of Scots pine needle litter. II. Influence of chemical composition. Teoksessa: Persson, T. (toim.). Structure an Function of Northern Coniferous Forest – An Ecosystem Study. Ecological Bulletins 32., Stockholm, p. 373-390.

Chalot, M. & Brun, A. 1998. Physiology of organic nitrogen acquisition by ectomycorrhizal fungi and ectomycorrhizas. FEMS Microbiology Reviews 22: 21-44.

Chapman, R. & Hemond, H. 1982. Dinitrogen fixation by surface peat and Sphagnum in an ombrotrophic bog. Canadian Journal of Botany 60: 538-543.

Devito, K.J., Westbrook, C.J. & Schiff, S.L. 1999. Nitrogen mineralization and nitrification in upland and peatland forest soils in two Canadian shield catchments. Canadian Journal of Forest Research 29: 1793-1804.

Drury, C.F., Voroney, R.P. & Beuchamp, E.G. 1991. Availability of NH_4^+-N to microorganisms and the soil internal N cycle. Soil Biology & Biochemistry 23: 165-169.

Ferm, A., Hytönen, J., Lähdesmäki, P., Pietiläinen, P. & Pätilä, A. 1990. Effects of high nitrogen deposition on forests: Case studies close to fur animal farms. Teoksessa: Kauppi ym. (toim.). Acidification in Finland, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg. 635 s.

Finlay, R.D., Frostegård, Å.& Sonnerfeldt, A.-M. 1992. Utilization of organic and inorganic nitrogen sources by ectomycorrhizal fungi in pure culture and symbiosis with Pinus contorta. Dougl. Ex Loud. New Phytol. 120: 105-115.

Frolking, S., Roulet, N., Moore, T., Richard, P., Lavoie, M. & Muller, S. 2001. Modeling northern peatland decomposition and peat accumulation, Ecosystems, 4: 479-498.

Gref, R., Tenow, O. 1987. Resin acid variation in the sun and shade needles of Scots pine (Pinus sylvestris L.), Can. J. Res. 17, 346-348.

Hartman, M., Kaunisto, S. & Silfverberg, K. 2001. Peat properties and vegetation along different trophic levels on an afforested, fertilised mire. Suo 52(2): 57-74.

Hartman, M., Karsisto, M. & Sarjala, T. 2003. Microbial activity, CO_2-C and organic and inorganic compounds in peat during four temperature sum treatments. Teoksessa: Järvet, A. & Lode, E. (toim.). Ecohydrological Processes in Northern Wetlands. Selected papers of International Conference & Educational Workshop, Tallinn, Estonia 30 June-4 July 2003. Tallinn - Tartu. s. 143-148.

Hartman, M., Sarjala, T. & Karsisto, M. 2002. Changes in total and dissolved nitrogen, microbial biomass, and CO_2-C respiration in mire surface peat during four soil temperature sum treatments. Teoksessa: Pietola, L. & Esala, M. (toim.). Maa, josta elämme. II. Maaperätieteiden päivät, Helsinki 19.-20.11.2002. Laajennetut abstraktit. Pro Terra 15: 25-27.

Heikurainen, L. 1959. Tutkimus metsäojitusalueiden tilasta ja puustosta. Acta Forestalia Fennica 69(1): 1-279.

Heikurainen, L. & Huikari, O. 1952. Turvelajin mikroskooppinen määrittäminen. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 40: 1- 34.

Hemond, H. 1983. The nitrogen budget of Thoreau's bog. Ecology 64(1): 99-109.

Hobbie, S.E. 1992. Effects of plant species on nutrient cycling. Trends Ecol. Evol. 6: 336-339.

Hobbie, S.E. 2000. Interactions between litter lignin and soil nitrogen availability during leaf litter decomposition in a Hawaiian montane forest. Ecosystems 3: 484-494.

Huikari, O. 1952. Suotyypin määritys maa- ja metsätaloudellista käyttöarvoa silmällä pitäen. Silva Fennica 75: 1-22.

Huikari, O. & Paarlahti, K. 1973. Kivisuon metsänlannoituskokeet. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 10/1973: 1-57.

Iivonen, S., Rikala, R., Ryyppö, A. & Vapaavuori, E. 1999. Responses of Scots pine (Pinus sylvestris) seedlings grown in different nutrient regimes to changing root zone temperature in spring. Tree Physiology 19: 951-958.

Inokuchi, R., Kuma, K., Miyata, T. & Okada, M. 2002. Nitrogen-assimilating enzymes in land plants and algae: phylogenic and physiological perspectives. Physiol.Plant. 116: 1-11.

Johansson, M.-B., Berg, B. & Meentemeyer, V. 1995. Litter mass-loss rates in late stages of decomposition in a climatic transect of pine forests. Canadian Journal of Botany 73: 1509-1521.

Karsisto, M. 1979a. Maanparannustoimenpiteiden vaikutuksista orgaanista ainetta hajottavien mikrobien aktiivisuuteen suometsissä. Osa I. Pohjaveden etäisyyden ja NPK-lannoituksen vaikutus Vilppulan ja Kivalon rämeellä ja korvessa. Suo 30: 49-58.

Karsisto, M. 1979b. Maanparannustoimenpiteiden vaikutuksista orgaanista ainetta hajottavien mikrobien aktiivisuuteen suometsissä. Osa II. Tuhkalannoituksen vaikutus. Suo 30: 81-91.

Karsisto, M. 1992. Microbiological and organic characterisation of peat. Teoksessa: Vasander, H. & Starr, M. (toim.). Proceedings of the International Workshop Carbon Cycling in Boreal Peatlands and Climate Change. Hyytiälä Forestry Station, Finland, 28 September - 1 October, 1992. Suo - Mires and Peat 43(4-5): 217-220.

Karsisto, M., Hartman, M., Potila, H. & Sarjala, T. 2002b. Peat nitrogen and peat organic compounds during four temperature regimes. teoksessa: Pietola, L. & Esala, M. (toim.). Maa, josta elämme. II. Maaperätieteiden päivät, Helsinki 19.-20.11.2002. Laajennetut abstraktit. Pro Terra 15: 32-33.

Karsisto, M., Hartman, M., Potila, H. & Sarjala, T. 2003. Peat organic compounds during four temperature regimes in different peat nitrogen contents. Teoksessa: Järvet, A. & Lode, E. (eds.). Ecohydrological Processes in Northern Wetlands. Selected papers of International Conference &Educational Workshop, Tallinn, Estonia 30 June - 4 July 2003. Tallinn - Tartu. s. 122-124.

Karsisto, M., Kitunen, V., Jauhiainen, J. & Vasander, H. 2002c. Free amino acid accumulation in Shagna under different levels of N deposition. Teoksessa: Pietola, L. & Esala, M. (toim.). Maa, josta elämme. II. Maaperätieteiden päivät, Helsinki 19.-20.11.2002. Laajennetut abstraktit. Pro Terra 15: 34-35.

Katase, T. 1995. Phenolic acids in boreal peats from Finland and comparison with those from tropical and temperate areas. Plant Soil Interactions at Low pH, Date, R.A. ym. (toim.): 71-74.

Katase, T. & Kondo, R. 1989. Vertical profiles of trans- and cis-4-hydroxycinnamic acids and other phenolic acids in Horonobe peat soils, Japan. Soil Science 148: 258-264.

Katase, T., Naoi, M &, Hänninen, K. 1994. Distribution of lignin related phenolic acids in the humic fractions of Finnish peat soils. Humic Substances in the Global Environment and Implication on Human Health Senesi. N., Miano, T.M. (toim.): 631-636.

Kaunisto, S. 1982. Development of pine plantations on drained bogs as affected by some peat properties, fertilization, soil preparation and liming. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 109. 56 s.

Kaunisto, S. 1987. Effect of refertilization on the development and foliar nutrient contents of young Scots pine stands on drained mires of different nitrogen status. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 140. 58 s.

Kaunisto, S. & Norlamo, M. 1976. On nitrogen mobilization in peat. I. Effect of liming and rotavation in different incubation temperatures.

Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 88(2): 1-27.

Kaunisto, S. & Paavilainen, E. 1977. Response of Scots pine plants to nitrogen refertilization on oligotrophic peat. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 92(1). 54 s.

Kaunisto, S. & Paavilainen, E. 1988. Nutrient stores in old drainage areas and growth of stands. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 145. 39 s.

Kaunisto, S. & Pietiläinen, P. 2003. Peat nitrogen status at different times and nutrition of Scots pine in an afforested mire area with a wide peat nitrogen gradient. Baltic Forestry 9: 33-42.

Kaunisto, S., Kinnunen, K., Lehtinen, S. & Ryynänen, A. 2003. Alkkian kenttäkokeet 1961-2003.

Keller, G. 1996. Utilization of inorganic and organic nitrogen sources by high-subalpine ectomycorrhizal fungi of Pinus cembra in pure culture. Mycol. Res. 100: 989-998.

Keltikangas, M., Laine, J., Puttonen, P. & Seppälä, K. 1986. Vuosina 1930-78 metsäojitetut suot: ojitusalueiden inventoinnin tuloksia. Acta Forestalia Fennica 193: 94 s.

Kielland, K. 1995. Landscape patterns of free amino acids in arctic tundra soils. Biogeochemistry 31(2): 85-95.

Kjønaas, O.J., Stuanes, A.O.& Huse, M. 1998. Effects of weekly nitrogen additions on N cycling in a coniferous forest catchment, Gårdsjön, Sweden. Forest Ecology and Management 101: 227-249.

Kurka, A.-M., Starr, M., Karsisto, M. & Salkinoja-Salonen, M. 2001. Relationship between decomposition of cellulose strips and chemical properties of humus layer in natural boreal forests. Plant and Soil 229: 137-146.

Kurki, M. 1983. Turvemaiden pääasialliset kemialliset ominaisuudet. Teoksessa: Laine, J. (toim.). 1983. Suomen suot ja niiden käyttö. Suoseura ry. IPS:n kansallinen komitea. Helsinki: 37-41.

Laiho, O. 1970. Paxillus involutus as a mycorrhizal symbiont of forest trees. Acta For. Fenn. 106: 1-65.

Laiho, R. & Laine, J. 1994. Nitrogen and phosphorus stores in peatlands drained for forestry in Finland. Scandinavian Journal of Forest Research 9: 251-260.

Laine, J. & Minkkinen, K. 1998. Metsäojitus ja kasvihuoneilmiö. Teoksessa: Vasander, H. (toim.) Suomen suot. Suoseura ry. Helsinki.

Laine, J. Vasander, H. 1990. Suotyypit. Kirjayhtymä. Helsinki. 80 s.

Laine, J., Minkkinen, K., Laiho, R., Tuittila, E.-S. & Vasander, H. 2000. Suokasvit – turpeen tekijät. Helsingin yliopiston Metsäekologian laitoksen julkaisuja 24. 55 s.

Lindahl, B.O., Taylor, A.F.S.& Finlay, R.D. 2002. Defining nutritional constraints on carbon cycling in boreal forests- towards a less 'phytocentric' perspective. Plant and Soil 242: 123-135.

Lähde, E. 1966. Kokeita selluloosan hajaantumisnopeudesta erilaisissa metsiköissä. Silva Fenn. 119.1, 12 s.

Lähdesmäki, P. & Pietiläinen, P. 1989. Seasonal variation in nitrate reductase activity and concetration of NO_3^-, NO_2^- and NH_4^+ in the buds and needles of Scots pine. Aquilo Ser. Bot. 26: 7-11.

Markkola, A.M., Ohtonen, R., Tarvainen, O. & Ahonen-Jonnarth, U. 1995. Estimates of fungal biomass in Scots pine stands on an urban pollution gradient. New Phytol. 131: 139-147.

Minkkinen, K., Vasander, H., Jauhiainen, S., Karsisto, M. & Laine, J. 1999. Post-drainage changes in vegetation composition and carbon balance in Lakkasuo mire, Central Finland. Plant and Soil 207: 107-120.

Moilanen, M. 1993. Lannoituksen vaikutus männyn ravinnetilaan ja kasvuun Pohjois-Pohjanmaan ja Kainuun ojitetuilla soilla. Folia Forestalia 820. 37 s.

Northup, R.R., Yu, Z., Dahlgren, R.A. & Vogt, K.A. 1995. Polyphenol control of nitrogen release from pine litter. Nature 377: 227-229.

Näsholm, T., Ekblad, A., Nordin, A., Giesler, R., Högberg, M. & Högberg, P. 1998. Boreal forest plants take up organic nitrogen. Nature 392: 914-916.

Oaks, A. 1994. Primary nitrogen assimilation in higher plants and its regulation. Can. J. Bot. 72: 739-750.

Paarlahti, K. 1964. Havaintoja pohjaveden korkeuden vaikutuksesta selluloosan hajaantumiseen rämeen ja korven turpeessa. Konekirjoite

Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitoksella.

Paavilainen, E. 1977. Jatkolannoitus vähäravinteisilla rämeillä. Ennakkotuloksia. Folia Forestalia 327. 32 s.

Pietilä, M., Kuusipuro, P., Pietiläinen, P. & Lähdesmäki, P. 1989. Specificity and seasonal variation of arginase, glutamate synthase and nitrate reductase activities in Scots pine needles. Plant Science 64: 153-160.

Pietiläinen, P. & Kaunisto, S. 2003. The effect of peat nitrogen concentration and fertilization on the foliar nitrogen concentration of Scots pine (Pinus sylvestris L.) in three temperature sum regions. Suo: 54: 1-13.

Pietiläinen, P. & Lähdesmäki, P. 1986. Free amino acid and protein levels, and gamma-glutamyltranferase activity in Pinus sylvestris apical buds and shoots during the growing season. Scand. J. For. Res. 1: 387-395.

Pietiläinen, P. & Lähdesmäki, P. 1988. Effect of various concentrations of potassium nitrate and ammonium sulphate on nitrate reductase activity in the roots and needles of Scots pine seedlings in N Finland. Ann. Bot. Fennici 25: 201-206.

Pietiläinen, P. & Lähdesmäki, P. 1998. Temperature dependance and activation energy of nitrate and ammonium uptake and of nitrate reductase, aspartate aminotransferase and gamma-glutamyltransferase activities in the roots of Scots pine seedlins. Aquilo Ser. Bot. 37: 1-6.

Pietiläinen, P., Moilanen, M. & Lähdesmäki, P. 1996. Peat inorganic nutrients and the concentration of soluble arginine in Scots pine needles. Humus 3(1): 4-13.

Pietiläinen, P., Poikolainen, J. & Lähdesmäki, P. 1991. Long-term monitoring of nitrate reductase activity in the needles of Pinus sylvestris in the context to the environmental temperature and ground frost as an indicator of nitrogen balance in N Finland. Ann. Bot. Fennici 28: 131-134.

Post, L. von. 1922. Sveriges Geologiska Undersöknings torvinventering och några av dess hittills vunna resultat. Svenska Mosskulturföreningens Tidskrift 36: 1-27.

Potila, H. & Sarjala, T. 2004. Seasonal fluctuation in microbial biomass and activity along a natural nitrogen gradient in a drained peatland. Soil Biol. Biochem. 36: 1047-1055.

Prescott, C.E., Chappell, N.H. & Vesterdal, L. 2000. Nitrogen turnover in forest floors of coastal Douglas-fir at sites differing in soil nitrogen capital. Ecology 81: 1878-1886.

Päivänen, J. 1974. Nutrient removal from Scots pine canopy on drained peatlands by rain. Acta For. Fenn. 139: 1-19.

Päivänen, J. 1982. Turvemaan fysikaaliset ominaisuudet. Helsingin yliopiston suometsätieteen laitoksen julkaisuja 2. 69 s.

Päivänen J. 1990. Suometsät ja niiden hoito. Kirjayhtymä. 231 s.

Rosswall, T. & Granhall, U. 1980. Nitrogen cycling in a subarctic ombrotrophic mire. Ecological Bulletins 30: 209-234.

Ryyppö, A., Iivonen, S., Rikala, R., Sutinen, M.-L. & Vapaavuori, E. 1998. Responses of Scots pine seedlings to low root zone temperature in spring. Physiol. Plant. 102: 503-512.

Sarjala, T. 1990. Effect of nitrate and ammonium concentration on nitrate reductase activity in five species of mycorrhizal fungi. Physiol. Plant. 79: 65-70.

Sarjala, T. 1991. Effect of mycorrhiza and nitrate nutrition on nitrate reductase activity in Scots pine seedlings. Physiol. Plant. 81: 89-94.

Sarjala, T. 1999. Effect of organic and inorganic nitrogen sources on endogenous polyamines and growth of ectomycorrhizal fungi in pure culture. Mycorrhiza 8: 277-281.

Sarjala, T. & Kaunisto, S. 2000. Ectomycorrhizae in Scots pine seedlings at different trophic levels of a drained mire. A preliminary study. Suo 51: 205-211.

Sarjala, T. & Potila, H. 2005. Effect of ectomycorrhizal fungi on nitrogen mineralisation and the growth of Scots pine seedlings in natural peat. Plant and Soil 269(1-2): 171-180.

Sarjala, T., Raitio, H. & Turkki, E-M. 1987. Nitrate metabolism in Scots pine seedlings during their first growing season. Tree Physiol. 3: 285-293.

Shindo, H., Ohta, S. & Kuwatsuka, S. 1978. Behavior of phenolic substances in the decaying

process of plants - IX. Distribution of phenolic acids in paddy fields and forests. Soil Science and Plant Nutrition 24: 233-243.

Silvan, N., Karsisto, M., Vasander, H. & Laine, J. 2002. Response of microbial biomass to N and P addition in a constructed wetland buffer zone. Teoksessa: Pietola, L. & Esala, M. (toim.). Maa, josta elämme. II. Maaperätieteiden päivät, Helsinki 19.-20.11.2002. Laajennetut abstraktit. Pro Terra 15: 46-48.

Smith, S.E. & Read, D.J. 1997. Mycorrhizal Symbiosis. Academic Press, Cambridge, Great Britain. 605 s.

Tsutsuki, K. & Kondo, R. 1997. Changes in fatty acid composition with age and environment in different types of peat profiles in Japan. Soil Sci. Plant Nutr. 43: 285-294.

Vahtera, E. 1955. Metsänkasvatusta varten ojitettujen soiden ravinnepitoisuuksista. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 45(4): 108 s.

Van Cleve, K., Barney, R.& Schlentner, R. 1981. Evidence of temperature control of production and nutrient cycling in two interior Alaska black spruce ecosystems. Canadian Journal of Forest Research 11: 258-273.

Van Cleve, K., Oechel, W.C.& Hom, J.L. 1990. Response of black spruce (Picea mariana) ecosystems to soil temperature modification in interior Alaska. Canadian Journal of Forest Research 20: 1530-1535.

Van Cleve, K., Chapin, F.S.I., Dyrness, C.T. & Viereck, L.A. 1991. Element cycling in taiga forests: state factor control. Bioscience 41: 78-88.

Van Cleve, K., Yarie, J.& Erickson, R. 1993. Nitrogen mineralization and nitrification in successional ecosystems on the Tanana river floodplain, ineterior Alaska. Canadian Journal of Forest Research 23: 970-978.

Van Cleve, K., Viereck, L.A. &, Dyrness, C.T. 1996. State factor control of soils and forest succession along the Tanana River in interior Alaska, U.S.A. Arctic and Alpine Research 28: 388-400.

Wallander, H. & Wickman, T. 1999. Biotite and microcline as potassium sources in ectomycorrhizal and non-mycorrhizal Pinus sylvestris seedlings. Mycorrhiza 9: 25-32.

Waughman, G. & Bellamy, D. 1980. Nitrogen fixation and the nitrogen balance in peatland ecosystems. Ecology 61(5): 1185-1198.

Weber, A., Karsisto, M., Leppänen, R., Sundman, V. & Skujins, J. 1985. Microbial Activities in a Histosol: Effects of wood ash NPK fertilizers. Soil Biol. Biochem. Vol. 17(3): 291-296.

Westman, C.J. 1981. Fertility of surface peat in relation to the site type and potential stand growth. Acta Forestalia Fennica 172: 77 s.

Whitehead, D.C., Dibb, H. & Hartley, R.D. 1982. Phenolic compounds in soils as influeced by the growth of different plant species. Journal of Applied Ecology 19: 529-538.

Öhlund, J. & Näsholm, T. 2001. Growth of conifer seedlings on organic and inorganic nitrogen sources. Tree Physiol. 21: 1319-1326.

2.4 Puuston ravinnetilan arviointi

Mikko Moilanen, Seppo Kaunisto ja Tytti Sarjala

2.4.1 Ravinneongelmaisten alueiden laajuus ja arviointiperusteet

Kaikkein viljavimpia lehto- ja ruohokorpia lukuun ottamatta ravinteiden niukkuus ja/tai epätasapaino voivat rajoittaa puuston kasvua ojitusaluemetsissä. Paksuturpeisten nevakorpien ja -rämeiden vanhoilla ojitusalueilla kasvualustan kivennäisravinnemäärät (kalium, boori, sinkki) ovat vähäiset suhteessa puustoon jo yhden kiertoajan kuluessa sitoutuneisiin ravinnemääriin. Kivennäisravinteiden niukkuus ja epätasapaino turpeen typpivaroihin verrattuna ovat yleisiä alkuaan märillä soilla, suonpohjien metsitysalueilla ja myös sellaisilla entisillä suopelloilla, joille ei ole lisätty painomaata.

Typen, fosforin ja kalsiumin määrät vaihtelevat riippuen suotyypistä ja turvelajista. Turpeessa orgaanisessa muodossa olevien fosforin ja typen kokonaismäärät ovat riittävät, mutta mineralisoituminen puille käyttökelpoiseen muotoon on hidasta. Fosforin eriasteisia puutostiloja on todettu esiintyvän hyvin yleisesti lähes kaikilla kasvupaikkatyypeillä (esim. Moilanen 1992, Veijalainen 1992). Piensaraisilla ja sitä karummilla soilla myös typpeä on usein niukalti puiden käytettävissä (esim. Kaunisto 1977, Paavilainen 1977, Kaunisto & Paavilainen 1977). Ohutturpeisilla soilla (turvetta alle 30-40 cm) puuston juuristosta osa ulottuu pohjamaahan, mikä merkitsee puiden parempaa kaliumtaloutta mutta monesti heikompaa typpitaloutta (Moilanen ym. 1996, Saarinen 1997, Moilanen & Issakainen 2003). Ojitusalueen ikääntyessä typpi ja fosfori yleensä konsentroituvat (Kaunisto & Paavilainen 1988, Laiho & Laine 1994a), mutta löyhästi turpeeseen sitoutuneet ravinteet, kuten kalium ja boori vähenevät (Kaunisto & Paavilainen 1988) tai niiden määrä pysyy pitkällä aikavälillä ennallaan (Laiho & Laine 1994b, Laiho ym. 1999). Kalium liikkuu vapaasti maavesien mukana ja on altis huuhtoutumaan (Ahti 1983). Huuhtoutumisriski kasvaa kunnostusojituksen (Ahti ym. 1999) ja hakkuiden (Nieminen 1999) yhteydessä. Soilla metsikön kivennäisravinnetasetta heikentää myös puunkorjuu, etenkin jos kasvupaikalta viedään runkopuun lisäksi pois myös ravinteita runsaimmin sisältävät latvukset (Kaunisto 1996).

On luultavaa, että ravinteiden epätasapainoon liittyvät ongelmat tulevaisuudessa kärjistyvät puustojen varttuessa. Käytännön metsäojitusalueilla tehdyt ravinnetilakartoitukset osoittavat fosforin ja kaliumin puutostilojen olevan yleisimmillään paksuturpeisilla ja nevaisilla soilla (Hytönen & Kokko 1999, 2001, 2003a, 2003b, Moilanen ym. 1996, Silver & Saarinen 2001). Ongelman potentiaalisesta laajuudesta on toistaiseksi voitu tehdä vain suotyyppien esiintymiseen perustuvia arvioita, jotka päätyvät yli miljoonan hehtaarin suuruusluokkaan (Kaunisto 1997). Jo 1980-1990-lukujen vaihteessa tehdyt ravinnetilaselvitykset (Moilanen 1992, Veijalainen 1992) osoittivat suopuustoilla esiintyvän ravinnetalousongelmia.

Laajoja ja yleistämiskelpoisia selvityksiä ravinnepuutosten yleisyydestä ei ole tehty. Alueelliset selvitykset suopuuston ravinnetilasta ovat vahvistaneet, että käytännön metsäojitusalueilla fosforinpuutokset ovat yleisempiä kuin typen tai kaliumin puutokset. Mm. Keski-Pohjanmaan yksityismetsissä karuhkoilla rämeillä ankaraa fosforin puutosta esiintyi 1990-luvun lopussa ja 2000-luvun alussa vuodesta ja aineistosta riippuen 30-70 %:lla tutkituista kohteista, ankaraa kaliu-

min puutosta 15-30 %:lla ja ankaraa typen puutosta 10-25 %:lla (Hytönen & Kokko 1999, 2001, 2003a, 2003b). Aiemmat selvitykset Metsähallituksen oligo-mesotrofisilta vanhoilla ojitusalueilla osoittivat ravinnetilan vielä heikommaksi: fosforin puutoksesta kärsi joka kolmas, kaliumin puutoksesta joka neljäs ja typen puutoksesta joka kolmas metsikkö (Moilanen ym. 1996). Uudempi Metsähallituksen mailla tehty selvitys päätyi samoihin lukuihin (Moilanen & Issakainen 2003). Myös Lounais-Suomen paksuturpeisilla alun perin saraisilla soilla on todettu esiintyvän yleisesti kaliumin ja fosforin vajausta (Silver & Saarinen 2001). Edellä mainittujen selvitysten ongelmana on maantieteellinen rajoittuneisuus, sekä se, että niitä ei oltu suunniteltu ravinneongelmien laajuuden selvittämiseen.

Puuston ravinnetilaa ja kasvualustan ravinteisuutta voidaan kuvata useilla eri menetelmillä, joista osa perustuu silmävaraiseen arviointiin ja osa analyyttisiin ravinnepitoisuuksien määritykseen. Pintakasvillisuuden lajikoostumukseen pohjautuva suotyyppi- ja kasvupaikkatyyppiluokitus erottaa toisistaan runsas- ja niukkatyppiset kohteet, turveanalyysi antaa tarkemman kuvan potentiaalisista ravinnevaroista ja neulasanalyysi paljastaa puuston tietynhetkisen ravinnetilan. Ravinnepuutosoireet ilmenevät myös silmin havaittavina neulasiston värimuutoksina ja puun poikkeavana kasvutapana.

Neulasanalyysin laajamittaista käyttöä metsäsuunnittelun yhteydessä rajoittaa sen kalleus ja nykyisellään vielä rajoittuminen talviaikaan kerättyihin näytteisiin, joskin lupaavia tuloksia on saatu myös syksyllä otetuista näytteistä (ks. luku 2.4.4). Metsätalouden suunnittelijan olisi kyettävä erottamaan ravinnetaloudeltaan epätasapainoiset kasvupaikat: olisi kehitettävä silmänvaraisesti arvioitavia ja helposti sovellettavissa olevia tunnuksia ravinnetilan arvioimiseen kesäaikaisessa maastotyössä.

2.4.2 Kasvupaikan ominaisuudet

Käytännön metsätalouden päätöksentekoa varten tarvitaan puiden ravinnetilaa kuvaavia ja erityisesti ennustavia välineitä, joiden avulla voidaan arvioida puuston lannoitustarvetta tai kohteen kunnostusojituskelpoisuutta. Suomessa soiden viljavuusluokittelu on perinteisesti tehty pintakasvillisuuden lajikoostumukseen nojautuvien luokittelumenetelmien avulla. Kasvupaikkaluokitus pintakasvillisuuden perusteella kuvastaa kasvualustan typpitaloutta ja typpivaroja kohtalaisen hyvin, etenkin luonnontilaisilla soilla. Suotyypin määrityksellä voidaan siten arvioida ravinneongelmien ilmaantumisen riskiä. Lisäksi kasvupaikan laadun tunteminen on tärkeä tieto kemiallisia ravinneanalyysejä tulkittaessa ja esim. lannoituspäätöksiä tehtäessä.

Pintakasvillisuuteen ja suotyyppeihin perustuva soiden kasvupaikkatyyppiluokitus Huikarin ym. (1964) mukaan jakaa suokasvupaikat käytännön metsätaloutta ajatellen kuuteen ravinteisuusluokkaan). Meso-eutrofisilla (”rehevillä”) soilla pintaturve on saravaltaista, turve on maatuneempaa ja sen typpi-, kalsium-, fosfori- ja rautapitoisuudet ovat korkeampia kuin rahkaturvevaltaisilla ombrooligotrofisilla (”karuilla”) soilla. Runsastyppiset suot – etenkin nevaiset ja paksuturpeiset kohteet – ovat kuitenkin ravinnetaloudeltaan epätasapainoisia niukkojen kalium- ja boorivarojensa vuoksi. Myös turpeen typpi- ja sinkkipitoisuuden välillä on useissa selvityksissä negatiivinen korrelaatio (Kaunisto & Paavilainen 1988, Kaunisto & Moilanen 1998, Sundström ym. 2000, Hartman ym. 2001). Turpeen paksuuden ja suon alkuperäisen ojitusta edeltäneen puustoisuuden (neva- tai rämealkuperä) perusteella on voitu melko hyvin erotella ne nevapintaiset suot, joilla kaliumin, boorin ja mahdollisesti myös sinkin puutokset ovat todennäköisimmät (Moilanen ym. 1996, Saarinen 1997).

Ojitussukkession edetessä turvekangasvaiheeseen kasviyhdyskuntien koostumus ja lajien runsaussuhteet muuttuvat, mikä vaikeuttaa alkuperäisen suotyypin käyttöä ravin-

Taulukko 1. Turpeen typpipitoisuuden arviointi vanhoilla ojitusalueilla (turvekankaat, muuttumat) kasvien esiintymisen perusteella (Moilanen & Issakainen 2003). Opaskasveina käytettävät kasvilajit osoittavat pintaturpeen (0 - 20 cm) nousevaa typpipitoisuutta (N, % turpeen kuiva-aineesta).

N,%	Kasvin nro	Kasvin nimi	Esiintymisrunsaus
<1,0	1	hieskoivu, vaivaiskoivu	0
	2	pajut	0
	3	korpikastikka	0
	4	riidenlieko	0
	5	siniheinä	0
	6	kataja	0
	7	pihlaja	0
	8	talvikit, orvokit	0
>3,0	9	paatsama, tuomi	0

Esiintymisrunsaus: 0 = ei esiinny, 1 = vähäisesti, 2 = kohtalaisesti, 3 = runsaasti

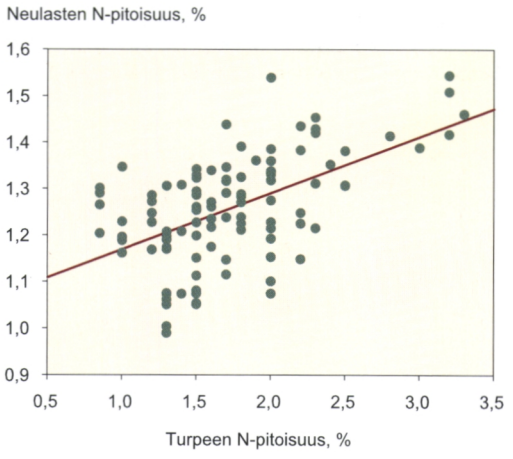
N-luokka	Turpeen N-pitoisuus, %	Kasvien nrot 1-9 esiintyminen
1	<1,0	0, ei lainkaan
2	1,0-1,5	1, (2), vähäisesti
3	1,6-2,0	1ja 2
4	2,1-2,5	3, 4 ja 5
5	2,6-3,0	(5), 6 ja 7
6	>3,0	(7), 8 ja 9

Menetelmä on kehitteillä kokemuksia on kerätty lähinnä Oulun läänin alueelta. Taulukko toimii havaintojen mukaan parhaiten paksuturpeisilla räme-ja neva-alkuisilla soilla. Joskus typensuosijakasvit tulevat esille vasta PK-lannoituksen jälkeen.

teisuustason arvioinnissa (Laine 1989, Hotanen & Nousiainen 1990). Vanhoilla ojitusalueilla jo kasvupaikkatyypin tunnistaminen tuottaa vaikeuksia, koska alkuperäisestä suokasvillisuudesta suurin osa on hävinnyt ja korvautunut uudella kasvilajistolla. Runsastyppinen ja niukkatyppinen ojitusalue voivat muistuttaa erehdyttävästi ulkoasultaan toisiaan niin, että molemmat luokitellaan samaan viljavuustasoon. Vanhallakin ojitusalueella kasvilajisto kuitenkin heijastaa suon vesi- ja ravinnetaloudellisia ominaisuuksia (esim. Hotanen 2003).

Eräiden typen määrää kuvastavien kasvilajien on havaittu esiintyvän myös vanhoilla ojitusalueilla. Osa näistä kasvilajeista on ollut paikalla jo ennen ojitusta, osa on ilmaantunut vasta ojitussukkession edetessä. Korpikastikka, siniheinä, riidenlieko, kataja tai pihlaja ovat esimerkkejä lajeista, joita vaihtelevasti on löydettävissä silloin, kun pintaturpeen typpipitoisuus on yli 2 % (taulukko 1). Runsastyppistä kasvupaikkaa ilmentävät mm. kataja, pihlaja, talvikkilajit ja tuomi. Tällainen epäsuora turpeen typpitason arviointimenetelmä on osoittautunut lupaavaksi arvioitaessa niin turpeen typpivaroja kuin puuston typpitaloutta (kuva 1).

Kasvillisuuteen perustuvan luokittelun avulla ei voida diagnosoida metsäpuiden akuutteja ravinnepuutoksia. Siksi on enenevässä määrin käytettävä täydentäviä menetelmiä ravinnetilan arvioinnissa. Turveanalyysi on osoittautunut suhteellisen hyväksi suopuuston ravinteisuuden mittariksi niin metsäojitusalueilla kuin entisillä suopelloilla ja turpeennostokenttien pohjilla. Tärkeimpiä turpeesta määritettäviä tunnuksia kasvualustan ravin-



Kuva 1. Turpeen ja neulasten typpipitoisuuden välinen korrelaatio (Moilanen & Issakainen 2003). Turpeen N-pitoisuus arvioitu taulukon 1 opaskasvien esiintymisen perusteella, neulasten N-pitoisuus analysoitu laboratoriossa. Aineisto kerätty talvella 2001 Metsähallituksen vanhoilta ojitusalueilta Pohjois-Pohjanmaalta (36 metsikköä, n = 108).

teisuutta ajatellen ovat typpitoisuus, turpeen maatuneisuus ja turvelaji.

Kasvualustan typpipitoisuutta voi siis käyttää apuna arvioitaessa kasvupaikan potentiaalista puuntuotoskykyä. Pintaturpeen typpipitoisuus (ammoniumtyppi ja kokonaistyppi) ja hiili/typpi-suhde selittävät hyvin puiden typpiravitsemuksen tilaa ja myös puuston kasvua (Kaunisto 1982, 1987, Kaunisto & Pietiläinen 2003). Turveanalyysin vaihtoehtona puuston typpiravitsemustila voidaan suuntaa-antavasti määrittää turpeen maatuneisuuden avulla: mitä maatuneempaa turve on sitä enemmän siinä on typpeä, rautaa ja fosforia (Westman 1987, Hartman ym. 2001, Kaunisto & Pietiläinen 2003, ks. luku 2.4.4). Saravaltaisilla turpeilla tietty maatumisaste vastaa hiukan korkeampaa turpeen typpipitoisuutta kuin rahkaturpeilla (Kaunisto 1987). Turpeen maatuneisuuden sekä ravinnepitoisuuksien (N, P, K) on todettu korreloivan myös pintakasvillisuuden lajikoostumuksen kanssa (Hotanen ym. 1999, Hotanen 2003).

Turpeen maatuneisuus (von Postin luokitus, luku 2.3.1.4) voidaan arvioida silmävaraisesti jo maasto-oloissa (von Post 1922). Ilmastotekijöistä johtuen on turpeen oltava Pohjois-Suomessa maatuneempaa kuin Etelä-Suomessa, jotta siitä mineralisoituisi riittävästi typpeä puiden käyttöön. Pohjois-Suomen nevarämeiltä tehtyjen selvitysten yhteydessä on havaittu, että kun pintaturpeen (5-10 cm) maatuneisuusarvo ylittää tason 4.5-5, männynneulasten typpipitoisuus on puutosrajan yläpuolella (Moilanen 1992, taulukko 2). Typpeä on arveltu vapautuvan sääoloiltaan keskimääräisinä kasvukausina Pohjois-Suomessa tyydyttävästi puille, kun pintaturpeen N-pitoisuus on vähintään 1,5-2,0 % (Moilanen 1993, Kaunisto ym. 1999, Pietiläinen & Kaunisto 2003, ks. myös luku 2.3.1). Keski- ja Etelä-Suomen lämpimämmissä ilmasto-oloissa typpeä mineralisoituu männyn käyttöön turpeesta tyydyttävästi jo maatuneisuusarvolla 3, mikä vastaa turpeen typpipitoisuutta noin 1,4-1,6 % (Kaunisto 1982, Kaunisto 1987, Pietiläinen & Kaunisto 2003). Maantieteelliset erot voivat näkyä myös muiden ravinteiden keskimääräisissä pitoisuuksissa. Siirryttäessä Pohjois-Pohjanmaalta alavilta ja tasaisilta soilta Kainuun ja Koillismaan rinnesoille suomänniköiden neulasten N/K-suhde alenee, mikä merkitsee typen puutosten lisääntymistä ja kaliumpuutosten vähenemistä (Moilanen 1992).

2.4.3 Ravinnepuutosten näkyvät oireet puustossa

Eräät ravinteiden puutokset näkyvät puustossa puutosoireina (Reinikainen 1965, Reinikainen ym. 1998). Lievä ravinnepuutos ei yleensä ole silmävaraisesti havaittavissa, mutta ravinnepuutoksen ollessa voimakas se ilmenee puiden epänormaalina ulkoasuna ja neulasten poikkeavina värisävyinä. Pääravinteiden (N, P, K) ja sivuravinteena tunnetun magnesiumin (Mg) puutosoireita on kuvattu ojitetuilla ja lannoitetuilla turvemailla useilta puulajeilta. Lisäksi on määritetty mangaanin- ja boorinpuutosoireistoja (Raitio & Rantala 1977, Raitio

Taulukko 2. Turpeen (5-10 cm:n pintakerros) kokonaistyppipitoisuus ja neulasten N-, P-, K- ja B-pitoisuudet maatuneisuusluokittain Oulun läänin ja Etelä-Lapin ojitusaluemänniköissä (lämpösumma-alue 837-1116 d.d.) vuosina 1991-1992. Sama kirjain arvojen perässä tarkoittaa, että maatuneisuusluokkien väliset erot eivät poikkea tilastollisesti toisistaan (Tukeyn testissä p-arvo < 0.05).

Maatuneisuus, von Post	n	Turve, Ntot %	Neulaset N, mg/g	P, mg/g	K, mg/g	B, mg/kg
3	25	1,35a	11,7a	1,33a	4,39a	16,1a
4	51	1,99b	12,6ab	1,37a	4,12ab	14,0a
5	50	2,32c	12,8ab	1,34a	4,02ab	12,5a
6	20	2,40c	13,2b	1,25a	3,86b	12,0a

1979). Havaituista oireista diagnostisesti käyttökelpoisimmiksi ovat turvemailla osoittautuneet kaliumin ja fosforin puutosoireet (neulasten ja lehtien väri) sekä boorin puutokseen liittyvä kasvuhäiriö (kasvupisteiden kuoleminen, latvaoireet) sekä eräät puutosyhdistelmien oireet (NPK, PK ja NP). Oireiden ilmaantumisen riippuvuutta puuston ravinnetilasta ei kaikilta osin kuitenkaan ole selvitetty.

Puuston ravinnetilan arviointi puutossymptomien avulla on käytännössä nopeaa ja periaatteessa helppoa, mikä merkitsee myös menetelmän halpuutta verrattuna esimerkiksi neulasanalyysiin. Monet tekijät kuitenkin rajoittavat puutosoireiden käyttökelpoisuutta. Ravinnepuutosten ollessa lievää ne eivät aina esiinny näkyvinä oireina kasvissa. Eräät puutossymptomit näkyvät selvinä vasta kun puutos on vähentänyt puiden kasvua (esim. N, P) tai aiheuttanut kasvuhäiriöitä (esim. B) tai päärangan vaihdoksia (K). Kuusella näkyvät kaliumin puutosoireet ilmaantuvat neulasiin vasta kun neulasten K-pitoisuus on alle 4 mg/g. Puutoksen fysiologinen sraja on kuitenkin selvästi korkeampi (Veijalainen 2001, Kaunisto & Sarjala 2002). Eräitä ravinnepuutoksia muistuttavia symptomeja (esim. vaaleanvihreä väri) voivat aiheuttaa monet muutkin tekijät. Ravinteiden puutosoireita on varottava sekoittamasta muiden tekijöiden aiheuttamiin epänormaalisuuksiin puiden ulkoasussa (esim. halla, kuivuus, sienitaudit). Aina ei valtapuumäntyjen tai alikasvoskuusten neulasten kellertävä värisävy merkitse kaliumpuutostilaa, joten ravinnetilan tulkinta värin perusteella – ainakin talviaikana – voi osoittautua virheelliseksi (Hytönen & Kokko 1999, 2003a, 2003b, Moilanen & Issakainen 2003). Oireiden tulkintaa helpottaa ja täydentää kohteen suo- tai kasvupaikkatyypin määritys.

Metsäsuunnittelun yhteydessä olisi voitava käyttää silmänvaraisesti arvioitavia tunnuksia, jotka paitsi osoittavat akuutin ravinnepuutoksen, omaavat myös ennustearvoa kasvatettavan puuston tulevasta ravinnetalouden tilasta. Tällaisen mahdollisuuden tarjoavat mm. mäntyvaltapuuston alle syntyneet kuusialikasvokset, joiden neulasista määritetyt kaliumpitoisuudet korreloivat männyn vastaavien kaliumpitoisuuksien kanssa, ja joiden neulasten värioireiden ja valtapuumäntyjen neulasten alhaisen kaliumpitoisuuden välillä on selvä yhteys (Saarinen 1997, Hytönen & Kokko 1999, 2001). Alikasvoskuusten näkyvien kaliumpuutosoireiden vallitessa siis myös valtamännyillä on kaliumpuutostila.

Kaliumin puutosoireet ovat selvimmin nähtävissä syyskesällä ja syksyllä. Männyllä uusimpien vuosikasvainten neulasten kärkiosat kellastuvat. Vielä selvemmin neulasten keltakärkisyys (kloroosi) tai ruskettuminen (nekroosi) näkyvät edellisvuoden kasvaimissa. Ankarassa puutostilassa neulaset ovat kärjestä 1/3-2/3 mitaltaan kellertäviä ja ruskeakärkisiä.

Myös kuusella kaliumin puutos havaitaan parhaiten syyskesällä, jolloin neulaset edellisvuoden kasvaimissa ovat kauttaaltaan kellertävät tai keltaiset. Uusimmat neulaset sen si-

Pääavinnepuutosten ulkoiset oireet havupuilla

Voimakas ravinnetalouden epätasapaino ja ravinnepuutokset näkyvät neulasten poikkeavina värioireina (neulasten kellastuminen), kasvun taantumisena ja runkovikoina. Typen puutos tai heikko saatavuus näkyy puiden heikentyneenä kasvuna ja neulasten ja lehtien vaaleanvihreänä värinä. Fosforin puutoksesta kärsivien mäntyjen pituuskasvu on heikkoa, kasvaimet ovat ohuita ja heikon puutumisen takia usein mutkaisia. Neulaset ovat lyhyitä ja puissa on vain 1-2 neulasvuosikertaa. Fosforin puutoksen värioireet ovat harvinaisia, joskus neulasten kärjet voivat ruskettua. Ääritapauksissa esiintyy kärkisilmujen kuolemista ja latvakatoa.

Männyllä kaliumin puutosoireet ovat selvimmin nähtävissä syksyllä, jolloin uudet neulaset kellastuvat kärkiosistaan (kloroosi). Selvimmin neulasten keltakärkisyys ja/tai kärkien ruskettuminen (nekroosi) näkyvät edellisvuoden kasvaimissa syyskesällä. Ankarassa puutostilassa neulaset ovat kärjestä 1/3-2/3 mitaltaan kellertäviä ja ruskeakärkisiä. Ruskean ja vihreän osan väliin jää kuitenkin keltainen vyöhyke. Myös kuusella kaliumin puutos havaitaan parhaiten syyskesällä, jolloin neulaset edellisvuoden kasvaimissa ovat kauttaaltaan kellertävät tai keltaiset. Uusimmat neulaset ja toisaalta myös vuotta vanhemmat neulaset sen sijaan ovat selvästi vihreämmät tai vihreät. Myöhemmin syksyllä kloroosi ilmestyy myös uusimpiin kasvaimiin ja värierot tasoittuvat niin, että puu talvehtii kokonaan lievästi kellastuneena.



P-puutos männyllä



K-puutos männyllä



K-puutos kuusella

PK-lannoitus (apatiitti+kalisuola) korjaa puiden kaliumpuutoksen jo levitystä seuraavan kasvukauden aikana. Fosforin puutoksesta toipuminen kestää 2-3 vuotta. Puuston kasvussa ravinnetilan parantuminen näkyy 1-2 vuoden kuluessa.



Lannoittamaton



Lannoitettu

Kuvat: Jorma Issakainen, Kalervo Kylmänen, Hannu Nousiainen ja Markku Saarinen

jaan ovat selvästi vihreämmät. Myöhemmin syksyllä kloroosi ilmestyy myös uusimpiin kasvaimiin ja värierot tasoittuvat.

Jo metsikön ulkoasu voi paljastaa potentiaaliset kaliumpuutosalueet ja kertoa kasvupaikan typpitasosta. Soiden istutusmänniköiden on runsastyppisillä kasvupaikoilla havaittu olevan usein oksikkaita. Ulkoasunsa perusteella sairaiksi luokitelluissa suometsiköissä neulasten typpipitoisuus on ollut korkeampi ja kaliumpitoisuus alempi kuin ulkoasultaan terveissä metsiköissä (Veijalainen 1992, Hytönen & Kokko 1999).

Kasvupaikka- ja ilmastotekijöiden lisäksi suopuuston ravinnetilaan vaikuttavat mm. puiden välisen kilpailun voimakkuus ja kasvualustan vesitalous. Harvennuksen seurauksena jäävän puuston kasvuresurssit – kasvutila, valo, hakkuutähteiden sisältämät ravinteet – lisääntyvät, mikä näkyy neulasissa mm. kohonneina fosforipitoisuuksina (Hökkä ym. 1996). Kunnostusojituksen on puolestaan todettu vaikuttavan suomännikön typpiravitsemustilaan (Lauhanen & Kaunisto 1999). Hakkuulla ja/tai kunnostusojituksella ei kuitenkaan voida pitkällä tähtäyksellä korjata ravinnepuutoksia.

2.4.4 Lehtien ja neulasten analysointi

Tausta

Eri ravinteiden puutoksella on hyvin erilainen merkitys metsänkasvattajan kannalta. Typen niukkuus merkitsee yleistä kasvun alhaista tasoa (luku 2.3.1). Puun kasvu on tällöin kuitenkin sopusuhtaista eikä puussa esiinny varsinaisia kasvun häiriöitä. Puiden typpiravitsemusta ei yleensä kannata pyrkiä parantamaan lannoittammalla (luku 3.4).

Fosforin lievän puutoksen vaikutus on samantapainen, mutta puutoksen lisääntyessä ilmestyy myös silminnähtäviä oireita ja ankarassa puutoksessa kasvupisteiden vaurioita ja puiden pensastumista (Reinikainen ym. 1998). Lisäämällä fosforia kasvua voidaan yleensä lisätä ja runsastyppisillä suotyypeillä myös taloudellisesti kannattavasti (luku 3.4).

Pääravinteista kaliumin puutos on puuston häiriöttömän ja metsänkasvattajalle tuottoisan kehityksen kannalta ehkä ongelmallisin, koska sitä esiintyy erityisesti kasvupaikoilla, joilla kasvupaikan hyvän typpitalouden vuoksi puuston kasvupotentiaali on korkea (ks. luvut 2.4.1, 2.4.2 ja 3.4). Kaliumin puutos ei alkuvaiheessa vaikuta sanottavasti pituuskasvuun, mutta saattaa verrattain nopeasti aiheuttaa pääverson silmujen tuhoutumisen, jonka seurauksena joku sivuversoista muuttuu pääversoksi (Reinikainen ym. 1998). Seurauksena on siis rangan vaihto ja näin runkovika. Puutoksen jatkuessa ranganvaihtoja saattaa olla useita. Kaliumin puutos on nopeasti ja kannattavasti korjattavissa lannoituksella (luku 3.4). Em. syistä kaliuminpuutoksen tunnistaminen mahdollisimman varhaisessa vaiheessa on tärkeää.

Myös boorin puutos on ongelmallinen, koska se aiheuttaa kasvupisteiden vioittumista ja hyvin monimuotoisia kasvuhäiriöitä ja pahimmillaan puiden monilatvaisuutta ja pensastumista erityisesti runsastyppisillä kasvupaikoilla Samoinkuin kaliumin, myös boorin puutos on nopeasti korjattavissa lannoituksella (luku 3.4)

Ravinnepuutosten näkyvien oireiden ilmestyessä puun lehtiin tai neulasiin puutos on saattanut jatkua jo pitkään fysiologisella tasolla ja puun kasvu on voinut heikentyä jo useiden vuosien ajan. Symptomatiikan lisäksi onkin ollut tarpeen kehittää menetelmiä, joiden avulla puuston ravinnetilaa voidaan arvioida ennen näkyviä oireita. Lehtien ja neulasten ravinnepitoisuudet ja niiden suhteet ilmentävät verraten hyvin puiden ravinnetilaa. Ravinneanalyysi puuston ravinnetilan arvioimiseksi tehdäänkin yleensä neulasista tai lehdistä, vaikka verraten hyviä tuloksia on saatu myös analysoimalla juuriston ravinnepitoisuuksia (Paavilainen 1968).

Reinikainen (1967) selvitti fosforin- ja kaliuminpuutossymptomien esiintymisen ja hieskoivun lehtien ja männyn neulasten fosfori- ja kaliumpitoisuuksien välistä yhteyttä turvemaalla kasvukauden aikana. Myöhemmin Paarlahti ym. (1971) tutkivat erittäin laajan lannoituskoeaineiston perusteella männyn

neulasten ravinnepitoisuuksien ja puiden pituuskasvun välistä yhteyttä rämemännyillä ja päätyivät esittämään raja-arvoja pääravinteiden puutoksille ja optimipitoisuuksille vertailemalla puiden pituuskasvua erilaisilla neulasten ravinnepitoisuustasoilla. Tämän erittäin monipuolisen tutkimuksen tulokset ovatkin olleet vuosikymmenien ajan perustana arvioitaessa männyn ravinnetilaa.

Veijalainen (2001) arvioi kuusen ravinnepitoisuuksien raja-arvoja pituuskasvun perusteella käyttäen lievän puutoksen rajana pituuskasvun keskiarvon kohdalla olevia neulasten ravinnepitoisuuksia ja puutosrajana pituuskasvun maksimin kolmanneksen kohdalla olevia pitoisuuksia. Tätä menetelmää on käytetty myös muualla (esim. Braekke 1994).

Pituuskasvun käyttö puutosrajoja määritettäessä on kuitenkin subjektiivista ja sen vuoksi jossain määrin epämääräistä. Kuten edellä todettiin, erityisesti kaliuminpuutokseen reagointi olisi tärkeää jo hyvin varhaisessa vaiheessa. Tämä on mahdollista jo fysiologisten reaktioiden perusteella eräiden polyamiinien, erityisesti putreskiinin avulla (ks. luku 2.3.2, kuva 2). Putreskiinin kertyminen on yhteydessä kasvien lehtien ja neulasten kaliumpitoisuuden (Sarjala & Kaunisto 1993, Sarjala & Kaunisto 1996, Kaunisto & Sarjala 1997, Sarjala & Kaunisto 2002, Kaunisto & Sarjala 2003) ja myös kasvun alenemiseen. Kaliumin puutoksen edetessä muutokset kaliumpitoisuudessa tapahtuvat ensin solujen vakuolissa ja sen jälkeen solulimassa (kts. viittaukset Kaunisto & Sarjala 1997). Vakuoli toiminee eräänlaisena puskurina, jossa kaliumin väheneminen ei vielä aiheuta näkyviä häiriöitä. Sen sijaan kaliumpitoisuuden aleneminen solulimassa johtanee nopeasti myös ulkoisiin vaurioihin ja kasvun taantumiseen ja viimekädessä puun kuolemaan.

Havupuiden neulaset ravinneanalyysiä varten on perinteisesti kerätty talvilevon aikana joulukuun alun ja maaliskuun lopun välisenä aikana. Näytteiden otto talvella on kuitenkin hankalaa lumi- ja sääolosuhteiden ja lyhyen päivän vuoksi. Käytännössä kätevämpää olisi kerätä näytteet ainakin osittain metsätalussuunnitelmaa laadittaessa. Lisäksi käytännön työtä helpottaisi, jos olisi mahdollista arvioida puiden ravinnetila myös muina vuodenaikoina kuin talvikautena kerätyistä näytteistä tai mahdollisesti jopa muiden kasvilajien avulla.

Ensijaisena tavoitteena puuston ravinnetilan arvioimisessa on tutkimusohjelman aikana ollut pääpuulajien kaliumpitoisuuden raja-arvojen tarkentaminen ja sellaisten keinojen kehittäminen, joilla valtapuuston kaliumravitsemusta voitaisiin arvioida myös puiden talvilevon ulkopuolisina aikoina. Seuraavassa lehtianalyysiä esitellään kuitenkin kokonaisuutena, joka sisältää myös aikaisempien tutkimusten tuloksia sekä kaliumin lisäksi myös typen, fosforin ja boorin raja-arvoja.

Lehtien ravinnepitoisuuksien raja-arvoja eri puulajeilla talvilevon aikana

Neulas- ja lehtinäytteiden keruu

Neulasanalyysissä monia, näytteidenottoon, käsittelyyn ja analysointiin liittyviä menettelyohjeita on standardoitu, koska ravinnepitoisuudet vaihtelevat riippuen monista eri tekijöistä. Neulasten ravinnepitoisuuksiin vaikuttavat mm. näytteenottoa edeltäneen kasvukauden sääolot, näytteenoton vuodenaika, neulasvuosikerta ja latvuksen osa. Kun standardointi on tehty ja analyysi kiinnitetty, myös tulkittavien näytteiden on täytettävä nämä ehdot. Muutoin tulkinta voi olla väärä. Ohjelman puitteissa on aloitettu laajan männynneulasaineiston keruu, jotta voitaisiin selvittää ravinnepitoisuuksien vasta vähän tunnettua vuosien välistä vaihtelua ja sen syitä. Näin voidaan saada lämpösummakertymältään erilaisille vuosille omat vertailulukunsa.

Neulasten ravinnepitoisuuksien nykyiset raja-arvot perustuvat talvilevon aikana joulumaaliskuussa kerättyjen neulasten analysointiin (Paarlahti ym. 1971, Reinikainen ym. 1998), koska tällöin ravinnepitoisuudet pysyvät useiden kuukausien ajan verrattain muuttumattomina. Koivun lehdet kerätään elokuussa (Sarjala & Kaunisto 2002). Metsikön ravinnetilan määrittämistä varten kerättyjen neulasten ja lehtien analyysitulosten tulkitse-

miseksi myös käytännön työlle on suositettu samoja ajankohtia näytteiden keräämiseksi.

Havupuiden neulasnäytteitä varten otetaan 1-2 oksaa vallitsevan latvuskerroksen 5-10 puusta, yleensä ylimmistä tai toiseksi ylimmistä etelänpuoleisista oksakiehkuroista, joista viimeinen vuosikasvu otetaan mukaan näytteeseen. Lehtipuiden näytteet otetaan latvuksen yläosan sisäosista oksan keskivaiheilta, kuluvan kasvukauden aikana syntyneestä versosta (Reinikainen ym. 1998). Vältetään ojanvarsipuita. Näyte pannaan paperipussiin ja pussiin kirjoitetaan aika ja paikka. Näytteet voidaan kuivattaa huoneenlämmössä pussin suut avonaisina. Täytetään taustatietolomake (metsikön yleistiedot, puuston kuvaus, ojitustilanne ja arvio kasvupaikasta).

Mänty

Paarlahti ym. (1971) esittivät voimakkaan typen puutoksen raja-arvoksi männylle 12 mg g^{-1}, optimipitoisuudeksi 15-16 mg g^{-1} sekä lannoitustarpeen rajaksi 13 mg g^{-1}. Samaan optimiarvoon päätyi myös Kaunisto (1982). Myöhemmin (1998) Reinikainen ym. esittivät yhteenvedossaan optimialueen huomattavasti laajemmaksi (13-18 mg g^{-1}), mutta eivät kuitenkaan perustelleet tätä käsitystä. Ainakin nuorissa turvemaiden mäntypuustoissa optimialueena voitaneen pitää 15-16 mg g^{-1} (taulukko 3).

Myös männyn neulasten fosforipitoisuuden raja-arvot perustuvat lähinnä em. Paarlahden ym. julkaisuun, jossa katsottiin fosforilannoituksen olevan tarpeen, kun neulasten fosforipitoisuus on alle 1,4 mg g^{-1} ja puiden hyötyvän fosforilannoituksesta vielä alle 1,7 mg g^{-1}:n pitoisuuksilla, mikäli typpi- ja kaliumravitsemus on hyvä. Yhteenvedossaan Reinikainen ym. (1998) esittävät ankaran fosforinpuutoksen rajaksi 1,3 mg g^{-1} ja optimialueen varsin laajaksi, 1,6-2,2 mg g^{-1} .

Paarlahti ym. (1971) esittivät pituuskasvun perusteella männyn neulasten ankaran kaliuminpuutoksen rajaksi 3,5 mg g^{-1}. Myöhemmin samaan raja-arvoon päätyivät Sarjala ja Kaunisto (1993) tarkastelemalla putreskiinipitoisuuden ja kaliumpitoisuuden välistä riippuvuutta.

Pituuskasvun perusteella Paarlahti ym. (1971) esittivät lievän kaliumin puutoksen rajaksi 4 mg g^{-1}. Fysiologisella tasolla tarkasteltuna näyttäisi siltä, että tämä raja mäntytaimikoissa olisi jonkin verran korkeammalla (Sarjala & Kaunisto 1993). Neulasten putreskiinipitoisuudet kohosivat jonkin verran jo 5 mg g^{-1} korkeammissa kaliumpitoisuuksissa ja erittäin voimakkaasti, mutta vielä suoraviivaisesti 3,6 ja 5,0 mg g^{-1}: n kaliumpitoisuuksien välillä. Putreskiini- ja kaliumpitoisuuden välinen yhteys muuttui eksponentiaaliseksi, kun kaliumpitoisuudet olivat 3,5 mg g^{-1} tai sen alle (ks. myös Sarjala & Kaunisto 1996).

Voitaneen olettaa, että puut hyötyvät kaliumlannoituksesta jossain määrin jo neulasten kaliumpitoisuuden ollessa 4,5-5,0 mg g^{-1} ja että lannoitustarvetta ilmenee 4,0-4,5 mg g^{-1} alemmissa kaliumpitoisuuksissa ja että puut kärsivät ankarasta kaliumin puutoksesta 3,5 mg g^{-1} alemmissa neulasten kaliumpitoisuuksissa. Lannoitus olisi järkevää toteuttaa neulasten kaliumpitoisuuden ollessa 4,0-4,5 mg g^{-1}, jotta voitaisiin turvata puuston jatkuva myönteinen kehitys.

Suotaimikoissa alkoi jo 1960-luvulla ja enenevässä määrin 1970-luvun alkupuolella esiintyä kasvuhäiriöitä, jotka ilmenivät puiden latvusten pensastumisena. Kasvuhäiriötä tavattiin kaikilla puulajeilla, mutta erityisen yleistä se oli avosoiden ja suopeltojen mäntytaimikoissa. Ongelmaa selvittämään perustettiin ns. kasvuhäiriöprojekti, jonka järjestämässä kansainvälisessä seminaarissa asiakokonaisuutta käsiteltiin perusteellisesti (Kolari 1983). Projektin työ osoitti professori Olavi Huikarin (1974) esittämän hypoteesin mukaisesti kasvuhäiriön aiheuttajaksi boorin puutoksen. Booria lisättiinkin kaikkiin suometsien lannoitteisiin jo 1970-luvun loppupuoliskolla. Männyllä ankaran boorin puutoksen rajaksi on esitetty 5 mg kg^{-1} ja optimiksi 10-30 mg kg^{-1} (Reinikainen ym. 1998).

Kuusi

Kuusen neulasten ravinnepitoisuuksia on Suomessa tutkittu verraten vähän. Paavilainen (1975) esitti lannoituskokeiden perus-

Taulukko 3. Neulas- ja lehtianalyysin tulkinta turvemaiden metsissä. Havupuiden neulasnäytteet otettu talvella latvuksen ylimmästä tai toiseksi ylimmästä oksakiehkurasta ja koivun lehtinäytteet elokuussa. Luvut on koostettu tekstissä mainittujen julkaisujen tulosten perusteella.

Ravinne	Ankara puutos	Välttävä	Sopiva
Mänty			
N, %	alle 1,2 [1)]	1,2-1,5	1,50-1,80
P, g/kg	alle 1,3	1,3-1,6	1,6-2,2
K, g/kg	alle 4,0	4,0-4,5	4,5-5,5
B, mg/kg	alle 5,0	5,0-10,0	10-30
Cu, mg/kg	alle 2,0 [2)]	?	?
Zn, mg/kg	alle 40 [2)]	?	?
Mn, mg/kg [3)]	?	?	?
Kuusi			
N, %	alle 1,15 [1)]	1,15-1,45	1,45-1,90
P, g/kg	alle 1,7	1,7-2,3	2,30-3,50
K, g/kg	alle 5,0	5,0-6,0	yli 6,0
Mg, g/kg	alle 0,8 [2)]	?	?
B, mg/kg	alle 7,0	7,0-10,0	10-30
Cu, mg/kg	alle 2,0 [2)]	?	?
Fe, mg/kg	alle 13,0 [2)]		
Zn, mg/kg	alle 16,0 [2)]	?	?
Mn, mg/kg	alle 170 [3)]	?	?
Koivut			
K, mg/kg	*alle 7,0-8,0*		

[1)] = kohteet liian karuja terveyslannoitettaviksi, lannoitusvaikutus lyhytaikainen
[2)] = arveluttavan alhainen arvo (varmaa puutosrajaa ei tunneta)
[3)] = arveluttavan alhainen arvo (varmaa puutosrajaa ei tunneta), mangaanin korkeat arvot (Mn > 500 - 600 mg/kg) kertovat yleensä alueen huonosta kuivatuksesta.
? = ei tiedossa

teella kuusen typpilannoitustarpeen rajaksi turvemailla neulasten typpipitoisuuden 12,0 mg g^{-1}. Veijalainen (2001) sai puiden pituuskasvuun perustuvalla arviollaan typpipitoisuuden lievän puutoksen rajaksi 11,5-13,0 mg g^{-1} eli verrattain yhtäpitävän tuloksen Paavilaisen tutkimuksen kanssa. Typpipitoisuuden optimiksi Reinikainen ym. (1998) esittivät varsin laajan vaihteluvälin, 12,5-19,1 mg g^{-1}.

Kuusen fosforilannoitustarpeen raja-arvoksi esitti Paavilainen em. tutkimuksessaan neulasten fosforipitoisuuden 1,5 mg g^{-1}. Veijalaisen (2001) mukaan lievän fosforin puutoksen raja on selvästi korkeammalla, 1,7-2,3 mg g^{-1}. Reinikainen ym. (1998) esittivät yhteenvedossaan ankaran puutoksen rajaksi 1,7 ja optimialueeksi 2,3-3,5 mg g^{-1}. Myös ulkomaisissa tutkimuksissa on kuusen fosforipitoisuuksien raja-arvoissa suurta vaihtelua.

Kuusen kaliumin puutosta on tutkittu lannoituskokeiden (Paavilainen 1975), neulasten kaliumpitoisuuden ja pituuskasvun välisen riippuvuuden (Veijalainen 2001) ja neulasten kalium- ja putreskiinipitoisuuksien välisen riippuvuuden avulla (Kaunisto & Sarjala 1997 ja 2002). Paavilainen esitti em. tutkimuksessaan kaliumlannoitustarpeen raja-arvoksi 4 mg g^{-1} ja Veijalainen lievän kaliuminpuutoksen rajaksi 7 mg g^{-1}. Kauniston ja Sarjalan (1997) tutkimuksessa putreskiinin kertyminen neulasiin alkoi neulasten kaliumpitoisuuden ollessa 5,4 mg g^{-1} ja putreskiinipitoisuuden eksponentiaalinen kohoaminen kaliumpitoisuuden ollessa 4,2-4,6 mg g^{-1}. Aineisto sisälsi erikokoisia puita, ainespuista järeisiin tukkipuihin. Puun koko ei kuitenkaan vaikuttanut tulokseen. Samoin aineisto sisälsi fosforiravitsemukseltaan erilaisia puita, mutta vasta erittäin ankarasta fosforinpuutoksesta ($P < 1$ mg g^{-1}) kärsivissä puissa kaliumin ja putreskiinin välistä riippuvuutta kuvaava käyrä oli jonkin verran muusta aineistosta poikkeavalla tasolla. Varsin samanlainen oli tulos myös Kauniston & Sarjalan myöhemmässä (2002) taimikkovaiheen kuusia koskevassa tutkimuksessa, jossa putreskiinin suoraviivainen lisääntyminen alkoi vähän 5,0 mg g^{-1}:n yläpuolelta ja sen eksponentiaalinen lisääntyminen noin 4,5 mg g^{-1}:ssa.

On todennäköistä, että kuusi hyötyisi kaliumlannoituksesta jo neulasten kaliumpitoisuuden ollessa 5 ja 6 mg g^{-1}:n välillä ja että neulasten kaliumpitoisuuden ollessa alle 5 mg g^{-1} lannoitustarve on jo ilmeinen ja että alle 4,5 mg g^{-1}: n kaliumpitoisuudet ilmentävät jo ankaraa kaliumin puutosta. Lannoitus olisikin järkevää toteuttaa viimeistään silloin, kun kuusen neulasten kaliumpitoisuus on 5,0 ja 5,5 mg g^{-1}:n välillä, jotta puuston jatkuva myönteinen kehitys voitaisiin turvata.

Kuusella neulasten booripitoisuuden ankaran puutoksen rajaksi on esitetty 7 mg kg^{-1} ja optimiksi 10-30 mg kg^{-1} (Reinikainen ym. 1998).

Koivut

Koivuille ei Suomessa ole esitetty typen lehtianalyyttisiä raja-arvoja. Reinikainen (1967) analysoi hieskoivun lehtien fosforipitoisuuksia puista, joissa ei esiintynyt fosforin puutossymptomeja ja toisaalta puista, joiden lehdissä oli jo kuollutta solukkoa. Mitään yksiselitteistä yhteyttä hän ei kuitenkaan löytänyt lehtien fosforipitoisuuden ja puutossymptomien välillä. Aineiston perusteella hän kuitenkin esitti, että lehtien fosforipitoisuus 0,9-1,12 mg g^{-1} merkitsisi puutostilaa ja 1,8-2,5 mg g^{-1} riittävää fosforiravitsemusta.

Kaliumin kohdalla puutossymptomien ja lehtien kaliumpitoisuuksien välillä oli selkeämpi yhteys. Kaliumpitoisuuksien ollessa 4,4-5,5 mg g^{-1} symptomeja ei esiintynyt, mutta kaliumpitoisuuden ollessa noin 4,0 mg g^{-1} esiintyi lehdissä kloroosia ja pitoisuuden ollessa noin 3,5 myös kuollutta solukkoa.

Sarjala & Kaunisto (2002) keräsivät aineiston seitsemänä ajankohtana kolmena peräkkäisenä vuotena 15-17 -vuotiaista raudus- ja hieskoivumetsiköistä tutkiakseen lehtien kalium- ja putreskiinipitoisuuden välistä riippuvuutta. Varsinkin hieskoivun osalta riippuvuus osoittautui huomattavasti vaikeammin tulkittavaksi kuin havupuilla. Kummallakin puulajilla lehtien putreskiinipitoisuudet saattoivat olla verrattain matalia 4-5 mg g^{-1}:n kaliumpitoisuuksissa, mutta toisaalta putreskiinia saattoi kertyä jo 7-8 mg g^{-1}:n pitoisuuksissa. Tutkijat päätyivät esittämään näitä pitoisuuksia kaliuminpuutoksen raja-arvoiksi. Toisaalta myöhemmin (Kaunisto & Sarjala 2003) alikasvoksena kasvaneista hieskoivuista kerätyssä aineistossa putreskiinipitoisuudet alkoivat kohota jonkin verran vasta, kun lehtien kaliumpitoisuudet olivat 5-6 mg g^{-1}:n ja erittäin voimakkaasti käyräviivaisesti, kun lehtien kaliumpitoisuudet olivat 3-4 mg g^{-1}:n välillä. Koivusta löytyi toinenkin diamiini (diaminopropaani), joka reagoi kaliumin puutokseen, mikä vaikeutti tulosten tulkintaa. Koivulle ei ole esitetty booriravitsemuksen raja-arvoja.

Talvilevon ulkopuolella otettujen neulasnäytteiden käyttökelpoisuus

Mänty

Kasvukauden aikana männyn neulasten ravinnepitoisuudet vaihtelevat erittäin paljon (Paavilainen 1990, Helmisaari 1990, Sarjala ja Kaunisto 1996). Pääravinteiden ja monien hivenravinteiden pitoisuudet ovat männyn edellisen vuoden neulasissa alimmillaan keväällä ja alkukesällä ja kohoavat syksyä kohden (Paavilainen 1990, Helmisaari 1990). Tähän on syynä näiden helposti liikkuvien ravinteiden siirtyminen uusiin, kasvaviin neulasiin ja kasvupisteisiin.

Neulasten kaliumpitoisuuksien vaihtelu on erityisen voimakasta (Paavilainen 1990, Sarjala & Kaunisto 1996). Syksyn kevättä ja alkukesää korkeammista pitoisuuksista männyn neulasten kaliumpitoisuudet alenevat uudelleen talvea kohden (Sarjala & Kaunisto 1993 ja 1996). Koska männyn neulasten putreskiinipitoisuus kuvaa hyvin puun kaliumravitsemusta, on tarkasteltu myös putreskiinin vaihtelua kasvukauden aikana (Sarjala ja Kaunisto 1996). Tulosten mukaan neulasten putreskiinipitoisuus sekä sen ja toisen polyamiinin, spermidiinin suhde pysyivät kasvukauden aikana suhteellisen vakiona. Yli 500 nmol g^{-1}:n putreskiinipitoisuudet tuorepainosta laskettuna ilmensivät yleensä jonkin verran heikentynyttä kaliumravitsemusta ja yli 1000 nmol g^{-1}:n pitoisuudet kaliumin puutosta. Putreskiinin ja spermidiinin suhteen ollessa yli 5 oli puiden kaliumravitsemus tyydyttävällä tasolla ympäri vuoden. Kaupalliset laboratoriot eivät kuitenkaan vielä analysoi polyamiineja.

Kuusi

Kuusen neulasten ravinnepitoisuuksia turvemailla on Suomessa aikaisemmin analysoitu verrattain vähän. Neulasten ravinnepitoisuuksien vaihtelua vuoden eri aikoina ei ole analysoitu lainkaan. Lisäinformaation saamiseksi kaliumin osalta kerättiin 5-10-metristen

kuusten neulasia toukokuussa, elokuun lopussa, syys- ja lokakuun puolivälissä sekä talvilevon aikana (Kaunisto & Sarjala 2002). Tulokset olivat samantapaisia kuin edellä männyn kohdalla. Neulasten kaliumpitoisuudet olivat huomattavasti alempia toukokuussa kuin talvilevon aikana ja kohosivat syksyä kohden alentuakseen lievästi uudelleen siirryttäessä myöhäisyksyn ja talvilevon aikaan.

Tämän lisäksi verrattiin syyskauden ja talvilevon aikana kerättyjen neulasten kaliumpitoisuuksia keskenään. Tulokset osoittivat, että syys- ja talvikauden neulasten pitoisuuksien välillä oli erittäin kiinteä yhteys. Sekä elosyys- että lokakuussa kerättyjen neulasten kaliumpitoisuudet selittivät yli 90 % talvikautena kerättyjen neulasten kaliumpitoisuuden vaihtelusta. Tulos viittaa siihen, että analysoimalla syksyllä kerättyjen kuusen neulasten kaliumpitoisuuksia olisi mahdollista arvioida varsin hyvin kuusen kaliumravitsemusta. Tutkimustulos vaatii kuitenkin vielä jatkotutkimuksin saatavaa varmennusta.

Koivut

Myös koivulajien lehtien ravinnepitoisuuksien kasvukaudenaikaista vaihtelua on turvemailla tutkittu aikaisemmin varsin vähän. Ferm ja Markkola (1985) tutkivat eri-ikäisten hieskoivikoiden lehtien ravinnepitoisuuksia turvemailla todeten, että neulasten typpi- fosfori- ja kaliumpitoisuudet olivat korkeimmillaan kesäkuussa ja alenivat voimakkaasti heinäkuun loppupuoliskolle saakka. Elokuun aikana typpi- ja fosforipitoisuuksien muutos oli vähäisempää.Tuolloin kaliumpitoisuudet tasaantuivat vanhimmassa, 40- vuotiaassa metsikössä. Sen sijaan 15-vuotiaassa metsikössä ne kohosivat aikaisempaa korkeammalle tasolle. Kaikkien em. ravinteiden pitoisuudet alenivat voimakkaasti elokuun jälkeen.

Sarjala & Kaunisto (2002) tutkivat sekä raudus- että hieskoivun kaliumpitoisuuden vaihtelua 15-17 -vuotiaissa puustoissa kolmen vuoden aikana kesäkuusta syyskuuhun. Elokuun ja syyskuun alkupuoliskon aikana näytteitä otettiin viikoittain. Samoin kuin em. tutkimuksessa kummankin puulajin lehtien kaliumpitoisuudet olivat korkeampia kesäkuussa kuin elo-syyskuussa otetuissa näytteissä ja yhtä vuotta lukuunottamatta yleensä alempia syyskuussa kuin elokuussa. Elokuun näytteiden ja syyskuun alun (7.8.-4.9.) näytteiden välillä erot olivat verrattain pieniä kaikkina vuosina kummallakin puulajilla. Myös puulajien väliset erot olivat vähäisiä samoin kuin erot vuosien välillä. Koivun lehtinäytteet on kerätty perinteisesti elokuun alkupuoliskolla (Reinikainen ym. 1998). Em. tulosten perusteella näyttää kuitenkin siltä, että näytteenoton aikaa on mahdollista pidentää syyskuun alkuun saakka huonontamatta olennaisesti tuloksen luotettavuutta.

2.4.5 Valtapuuston ravinnetilan arvioiminen alikasvosten ja eräiden pintakasvillisuuden lajien lehtianalyysillä

Runsastyppisillä rämeillä on usein alikasvoksena koivuja ja yksittäisiä kuusia. Kuten luvussa 2.4.2 on todettu, kaliumin puutos kuusella on erittäin helposti tunnistettavissa neulasten värin perusteella syyskesällä ja syksyllä. Saarinen (1997) tutki alikasvoskuusten näkyvien kaliumin puutosoireiden ja valtapuulajin, männyn ravinnetilan välistä yhteyttä ja totesi, että silloin kun kaliumin puutosoireita näkyi alikasvoskuusissa, myös valtapuulaji kärsi kaliumin puutoksesta. Onkin ilmeistä, että tämä menetelmä on käyttökelpoinen valtapuulajin kaliuminpuutoksen indikaattorina, mutta todennäköisesti valtapuuston kasvu on tällöin jo ehtinyt taantua ainakin jossain määrin.

Kaunisto & Sarjala (2003) tutkivat mahdollisuutta käyttää alikasvoskoivujen sekä juolukan ja mustikan lehtianalyysiä männyn kaliumravitsemuksen kuvaajana. Tutkimus tehtiin varputurvekankaalla, jossa erilaisin jatkolannoituksin oli saatu aikaan suuri neulasten kaliumpitoisuuden vaihtelu. Lehtinäytteitä kerättiin kesä-elokuun aikana yhteensä viisi kertaa. Lehdistä analysoitiin kalium- ja putreskiinipitoisuudet ja tutkittiin niiden välistä

yhteyttä ja sen lisäksi lehtien ja seuraavana talvena samoilta paikoilta kerättyjen männyn neulasten kaliumpitoisuuksien välistä yhteyttä.

Kaikissa tutkituissa kasvilajeissa lehtien putreskiinitoisuudet kohosivat voimakkaasti kaliumpitoisuuden alentuessa. Juolukalla putreskiinin kertymisen perusteella määritetty ankaran kaliumin puutoksen raja oli selvästi alempana kuin muilla, mikä ilmeisesti on seurausta sen sopeutumisesta kaliumin niukkuuteen luontaisissa kasvupaikoissaan. Lehtien ja männyn neulasten kaliumpitoisuuksien välillä oli kiinteä korrelaatio. Lehtien keräysajankohta vaikutti tähän verraten vähän, mutta männyn lievän ja ankaran puutoksen rajan kohdalla lehtien kaliumpitoisuudet vaihtelivat kasvukauden aikana varsin paljon ollen korkeimmillaan kesäkuussa ja heinäkuun alussa kerätyissä näytteissä. Elokuussa vaihtelu oli vähäisempää. Männyn ankaran puutoksen rajalla (3,5 mg g^{-1}) kaliumpitoisuus oli elokuussa kerätyissä mustikan lehdissä 3,04-3,20 mg g^{-1}, juolukan lehdissä 3,31-3,51 mg g^{-1} ja koivun lehdissä 4,26-4,35 mg g^{-1}. Vastaavat luvut männyn lievän kaliuminpuutoksen rajalla (4,5 mg g^{-1}) olivat 4,30-4,48 mg g^{-1}, 5,0-5,36 mg g^{-1} ja 6,03-6,05 mg g^{-1}. Tulosten perusteella näyttää siltä, että mustikan, juolukan ja hieskoivun elokuussa kerättyjen lehtien analysoinnista voisi olla kehitettävissä männyn ja mahdollisesti myös muiden puulajien kaliumravitsemuksen arviomismenetelmä.

Kirjallisuus

Ahti, E. 1983. Fertilizer-induced leaching of phosphorus and potassium from peatlands drained for forestry. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 111. 20 s.

Ahti, E., Joensuu, S. & Vuollekoski, M. 1999. Kunnostusojituksen vaikutus metsäojitusalueiden valumaveden kemiallisiin ominaisuuksiin. Teoksessa: Ahti, E., Granlund, H. & Puranen, E. (toim.). Metsätalouden ympäristökuormitus. Seminaari Nurmeksessa 23.-24.9.1998. Tutkimusohjelman väliraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 745: 79-90.

Brække, F. 1994. Diagnostiske grenseverdier for næringselementer i gran- og furunåler. Aktuelt fra skogforsk 15/94, 11 s.

Ferm, A. & Markkola, A. 1985. Hieskoivun lehtien, oksien ja silmujen ravinnepitoisuuksien kasvukautinen vaihtelu. Nutritional variation of leaves, twigs and buds in Betula pubescens stands during the growing season. Folia Forestalia 613. 28 s.

Hartman, M., Kaunisto, S. & Silfverberg, K. 2001. Peat properties and vegetation along different trophic levels on an afforested, fertilised mire. Turpeen ominaisuudet ja kasvillisuus metsitetyn ja lannoitetun avosuon eri trofiatasoilla. Suo 52(2): 57-74.

Helmisaari, H.-S. 1990. Temporal variation in nutrient concentrations of Pinus sylvestris needles. Scandinavian Journal of Forest Research 5: 177-193.

Hotanen, J.-P. 2003. Multidimensional site description of peatlands drained for forestry. Silva Fennica 37(1): 55-93.

Hotanen, J.-P. & Nousiainen, H. 1990. Metsä- ja suokasvillisuuden numeerisen ryhmittelyn ja kasvupaikkatyyppien rinnastettavuus. Folia Forestalia 763. 54 s.

Hotanen, J.-P., Nousiainen, H. & Paalamo, P. 1999. Vegetation succession and diversity on Teuravuoma experimental drainage area in northern Finland. Suo 50(2): 55-82.

Huikari, O. 1974. Hivenravinteet ja puiden kasvu. Metsä ja Puu 11/1974: 24-25.

Huikari, O., Muotiala, S. & Wäre, M. 1964. Ojitusopas. Kirjayhtymä, Helsinki. 244 s.

Hytönen, J. & Kokko, A. 1999. Kalajokilaakson suometsien neulasnäytteet. Metla, Kannuksen tutkimusasema. 16 s.

Hytönen, J. & Kokko, A. 2001. Suometsien ravinnetila Kala- ja Pyhäjokilaaksoissa talvella 2000-2001. Metla, Kannuksen tutkimusasema. 15 s.

Hytönen, J. & Kokko, A. 2003a. Mäntyjen neulasanalyysituloksia suometsistä Kala- ja Pyhäjokilaaksoista talvella 2001-2002. Metla, Kannuksen tutkimusasema. 10 s.

Hytönen, J. & Kokko, A. 2003b. Suometsien ravinnetila Pyhä-Haapa metsänhoitoyhdistyksen alueella talvella 2001-2002. Raportti Metsänhoitoyhdistys Pyhä-Haavalle. Metla, Kannuk-

sen tutkimusasema. 8 s.
Hökkä, H., Penttilä, T. & Hånell, B. 1996. Effect of thinning on the foliar nutrient status of Scots pione stands on drained boreal peatlands. Can. J. For. Res. 26: 1577- 1584.
Kaunisto, S. 1977. Ojituksen tehokkuuden ja lannoituksen vaikutus männyn viljelytaimistojen kehitykseen karuilla avosoilla. Folia Forestalia 317. 31 s.
Kaunisto, S. 1982. Development of pine plantations on drained bogs as affected by some peat properties, fertilization, soil preparation and liming. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 109. 56 s.
Kaunisto, S. 1987. Effect of refertilization on the development and foliar nutrient contents of young Scots pine stands on drained mires of different nitrogen status. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 140. 58 s.
Kaunisto, S. 1996. Massahakemenetelmä ja ravinnepoistuma rämeen ensiharvennusmetsiköissä. Julkaisussa; Laiho, O. & Luoto, T. (toim.). 1996. Metsäntutkimuspäivä Poriossa 1995. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 593: 15-23.
Kaunisto, S. 1997. Suometsien kasvu turvattava metsänparannus- ja metsänhoitotoimilla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedote 27.11.1997.
Kaunisto, S. & Moilanen, M. 1998. Kasvualustan, puuston ja harvennuspoistuman sisältämät ravinnemäärät neljällä vanhalla ojitusalueella. Metsätieteen aikakauskirja - Folia Forestalia 3/ 1998: 393-410.
Kaunisto, S. & Paavilainen, E. 1977. Response of Scots pine plants to nitrogen refertilization on oligotrophic peat. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 92(1). 54 s.
Kaunisto, S. & Paavilainen, E. 1988. Nutrient stores in old drainage areas and growth of stands. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 145. 39 s.
Kaunisto, S. & Pietiläinen, P. 2003. Peat nitrogen status and its effect on the nutrition and growth of Scots pine (Pinus sylvestris L.) on an afforested mire. Baltic Forestry 9(1): 33-42.
Kaunisto, S. & Sarjala, T. 1997. Critical needle potassium concentrations indicated by diamine putrescine in Norway spruce growing on peat soils. Silva Fennica 31: 383-390
Kaunisto, S. & Sarjala, T. 2002. Estimating potassium nutrition of Norway spruce (Picea abies Karst.) with needle analysis during different seasons. Suo 53(1): 17-26.
Kaunisto, S. & Sarjala, T. 2003. Foliar potassium concentrations of bilberry, bog bilberry and downy birch as indicators of potassium nutrition of Scots pine on peatland. Silva Fennica 37(3): 325-332.
Kaunisto, S., Moilanen, M. & Issakainen, J. 1999. Effect of apatite and phlogopite application on the needle nutrient concentrations of Pinus sylvestris (L.) on drained pine mires. Suo 50(1): 1-15.
Kolari, K.K. (toim.) 1983. Growth disturbances of forest trees. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 116: 208 s.
Laiho, R. & Laine, J. 1994a. Nitrogen and phosphorus stores in peatlands drained for forestry in Finland. Scandinavian Journal of Forest Research 9: 251-260.
Laiho, R. & Laine, J. 1994b. Changes in mineral element concentrations in peat soils drained for forestry in Finland. Scandinavian Journal of Forest Research 10: 218-224.
Laiho, R., Sallantaus, T. & Laine, J. 1999. The effect of forestry drainage on vertical distribution of major plant nutrients in peat soils. Plant and Soil 207: 169-181.
Laine, J. 1989. Metsäojitettujen soiden luokittelu. Suo 40(1): 37-51.
Lauhanen, R. & Kaunisto, S. 1999. Effect of drainage maintenance on the nutrient status on drained Scots pine mires. Suo 50(3-4): 119-132.
Moilanen, M. 1992. Suopuustojen ravinnetila Pohjois-Suomen vanhoilla ojitusalueilla. Julkaisussa: Valtanen, J, Murtovaara, I. & Moilanen Merja (toim.) Metsäntutkimuspäivä Taivalkoskella 1991. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonatoja 419: 58-65.
Moilanen, M. 1993. Lannoituksen vaikutus männyn ravinnetilaan ja kasvuun Pohjois-Pohjanmaan ja Kainuun ojitetuilla soilla. Folia Forestalia 820. 37 s.
Moilanen, M. & Issakainen, J. 2003. Turvemaiden tervehdyttämislannoituskohteiden suunnittelu –kehittämishankkeen loppuraportti Metsä-

hallitukselle. 15 sivua + 3 liitesivua.
Moilanen, M., Piiroinen, M-L & Karjalainen, J. 1996. Turpeen ravinnevarat metsähallituksen vanhoilla ojitusalueilla. Teoksessa: Piiroinen, M-L & Väärä, T. (toim.). Metsäntutkimuspäivä Kajaanissa 1995. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 598: 35-54.
Nieminen, M. 1999. Päätehakkuun ja maanmuokkauksen vaikutus valumaveden laatuun vanhoilla ojitusalueilla. Teoksessa: Ahti, E., Granlund, H. & Puranen, E. (toim.). Metsätalouden ympäristökuormitus. Seminaari Nurmeksessa 23. - 24.9.1998. Tutkimusohjelman väliraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 745: 109-114.
Paarlahti, K., Reinikainen, A. & Veijalainen, H. 1971. Nutritional diagnosis of Scots pine by needle and peat analysis. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 74(5): 58 s.
Paavilainen, E. 1968. Juuristotutkimuksia Kivisuon metsänlannoituskoekentällä. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 66(1): 1-31.
Paavilainen, E. 1975. Koetuloksia lannoituksen vaikutuksesta korpikuusikoissa. Folia Forestalia 239. 10 s.
Paavilainen, E. 1977. Jatkolannoitus vähäravinteisilla rämeillä. Ennakkotuloksia. Abstract: Refertilization on oligotrophic pine swamps. Preliminary results. Folia Forestalia 327. 32 s.
Paavilainen, E. 1990. Effect of refertilization of pine and birch stands on a drained fertile mire. Silva Fennica 24(1): 83-92.
Pietiläinen, P. & Kaunisto, S. 2003. The effect of peat nitrogen concentration and fertilization on the foliar nitrogen concentration of Scots pine (Pinus sylvestris L.) in three temperature sum regions. Suo 54(1): 1-13.
Raitio, H. 1979. Boorin puutteesta aiheutuva männyn kasvuhäiriö metsitetyllä suopellolla. Oireiden kuvaus ja tulkinta. Abstract: Growth disturbances of Scots pine caused by boron deficiency on an afforested abandoned peatland field. Description and interpretation of symptoms. Folia Forestalia 412. 16 s.
Raitio, H. & Rantala, E-M. 1977. Männyn kasvuhäiriön makro- ja mikroskooppisia oireita. Oireiden kuvaus ja tulkinta. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 91(1): 1-29.
Reinikainen, A. 1965. Vegetationuntersuchungen auf dem Waldüengungs-Versuchsfeld des Moores Kivisuo, Kirchsp. Leivonmäki, Mittelfinnland. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 59: 1-62.
Reinikainen, A. 1967. The appearance of nutrient deficiency in plants growing in the experimental area for forest fertilization at Kivisuo. Proceedings of the colloquium on forest fertilization, Jyväskylä/Finland 1967, 345–361 s.
Reinikainen, A., Veijalainen, H. & Nousiainen, H. 1998. Puiden ravinnepuutokset – Metsänkasvattajan ravinneopas. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 688. 44 s.
Saarinen, M. 1997. Ojitusaluepuustojen kaliumin puutokset ja metsätalouden suunnittelu. Suo 48(1): 21-25.
Sarjala, T. & Kaunisto, S. 1993. Needle polyamine concentrations and potassium nutrition in Scots pine. Tree Physiology 13: 87-96.
Sarjala, T. & Kaunisto, S. 1996. Effect of different potassium sources on the seasonal variation of potassium and free polyamines in Scots pine needles. Silva Fennica 30(4): 387-398.
Sarjala, T. & Kaunisto, S. 2002. Potassium nutrition and free polyamines of Betula pendula Roth and Betula pubescens Ehrh. Plant and Soil 238: 141-149.
Silver, T. & Saarinen, M. 2001. Terveyslannoituskohteen määrittely turvemailla. Suo 52(3-4): 115-120.
Sundström, E., Magnusson, T. & Hånell, B. 2000. Nutrient conditions in drained peatlands along a north-south climatic gradient in Sweden. Forest Ecology and Management 126: 149-161.
Veijalainen, H. 1992. Neulasanalyysituloksia suometsistä talvella 1987-88. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 408. 27 s.
Veijalainen, H. 2001. Nutritional diagnosis of Norway spruce stands growing on drained peatlands using foliar analysis. Suo 52(3-4): 89-98.
Westman, C. J. 1987. Site classification in estimation of fertilization effects on drained mires. Acta Forestalia Fennica 198. 55 s.
von Post, L. 1922. Sveriges Geologiska Undersöknings torvinventering och några av dess hittils vunna resultat. Sv. Mosskulturföreningens Tidskrift 1, Jönköping. 27 s.

METSÄISTEN TURVEMAIDEN KULKUKELPOISUUS



3 Metsäisten turvemaiden kulkukelpoisuus

Jari Ala-Ilomäki

3.1 Taustaa

Turvemaalla sijaitsevien metsien puunkorjuun merkitys kasvaa jatkuvasti suurien ojituspinta-alojen saavuttaessa harvennusiän. Puunkorjuussa on suuntauksena ollut pyrkimys mahdollisimman moniin kivennäismaan metsiköiden olosuhteisiin sopivien korjuukoneiden käyttöön, joten valtaosa yleisesti käytössä olevista korjuukoneista soveltuu parhaiten routaisen turvemaan puunkorjuuseen. Tämä onkin turvemaan puunkorjuun luontevin ajankohta. Mikäli turvemailta saatavan raakapuun määrä halutaan pitää vuodenajoista riippumattomana, joudutaan joko käyttämään puutavaran kylmävarastointia (Patentti- ja rekisterihallitus 2002) tai korjaamaan puuta ympärivuotisesti. Luotettavaan ympärivuotiseen korjuuseen voidaan päästä käyttämällä erityisesti turvemaille suunniteltuja, lähinnä telaalustaisia korjuukoneita. Yleisesti käytettyjen pyöräalustaisten korjuukoneiden käyttöä roudattomalla turvemaalla edesauttaisi nykyistä parempi tieto korjuukohteen maaperän lujuudesta. Nykyisin turvemaan lujuutta ei puunkorjuun suunnittelun tai toteutuksen yhteydessä mitenkään mitata, vaan lujuus arvioidaan suunnittelijan tai korjuukoneen kuljettajan kokemukseen perustuen. Puunkorjuun lisäksi myös suometsien hoitoon liittyy usein tarve liikkua turvemaalla ajoneuvolla.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää eräiden roudattoman turvemaan lujuutta ennustavien tunnusten käyttökelpoisuutta turvemaan kulkukelpoisuuden arvioinnissa sekä kehittää kulkukelpoisuuden arviointi- ja mittausmenetelmiä.

3.2 Käsitteitä

Tämä tutkimus kuuluu terramekaniikan alaan. Terramekaniikka on oppi koneiden ja maaperän vuorovaikutuksesta, ja se käsittää mm. ajoneuvojen liikkuvuuden ja maaston kulkukelpoisuuden sekä maaperän koneellisen muokkauksen, kuten esim. kaivamisen (Wong 1989).

Ajoneuvon liikkuvuudella tarkoitetaan laajimmillaan sen kykyä siirtyä paikasta A paikkaan B sille suunniteltua työtä tehden ennaltamäärättyä reittiä pitkin. Vastaavasti maaston kulkukelpoisuudella tarkoitetaan maaston kykyä kestää edellä kuvattua ajoneuvoliikennettä (International... 1977). Edellä mainitusta seuraa, että liikkuvuus ja kulkukelpoisuus ovat vuorovaikutussuhteessa. Tarkasteltavana onkin yleensä tietyn ajoneuvon liikkuvuus tietyssä maastossa tai tietyn maaston kulkukelpoisuus tietyllä ajoneuvolla.

Liikkuvuuteen ja kulkukelpoisuuteen vaikuttavat useat tekijät. Vaikuttavia ajoneuvon ominaisuuksia ovat mm. ajoneuvon vetovoima suhteessa sen kulkuvastukseen sekä ajoneuvon ohjattavuus ja koko. Näihin vaikuttavat mm. ajoneuvon pyörä- ja telavarustus, tekniset ominaisuudet, mitat, massa, uppoama maastoon, kitka sekä leikkausvoimat ajoneuvon ja maaperän välillä, maavara, estekohtauskulmat sekä vakaus. Vaikuttavia maaston ominaisuuksia ovat mm. kaltevuus, maaperän lujuus ja esteiden koko sekä niiden sijaintitiheys. Esitettyä jaottelua on kuitenkin pidettävä yksinkertaistettuna, sillä ajoneuvon ja maaston vuorovaikutusta ei voida poissulkea tässäkään yhteydessä.

3.3 Turvemaiden rakenne ja ominaisuudet kulkukelpoisuutta ajatellen

Turvemaa koostuu pääosin elävistä ja kuolleista, osittain maatuneista kasvinosista sekä veden tai ilman täyttämistä huokosista. Suuresta huokostilavuudesta johtuen turvemaan kokoonpuristuvuus kuormituksessa on suuri, joten myös ajoneuvon uppoama kulkualustaan nousee helposti suureksi. Turvemaan kosteus voi olla yli 90 % (Päivänen 1990), joten sen kantavuuden vuodenaikaisvaihtelu on suuri. Onnisen (1990) mukaan 0,2 m routakerros nostaa turpeen kimmokertoimen jopa 10^3 kertaiseksi. Turvemaan kantavuuteen oleellisesti vaikuttava kasvillisuus vaihtelee suuresti, joten kantavuuden vaihtelu voi olla huomattavaa pienelläkin alueella. Edellä mainitut tekijät vaikeuttavat turvemaan kantavuuden arviointia. Kantavuuden suhteelliseen arviointiin on käytetty mm. jalkaisin suolla liikkuvan henkilön saappaan uppoamaa ja kastumista, turpeen syvyyttä, kosteutta ja maatumisastetta sekä suon kasvillisuustunnuksia. Myös matalalentomitauksin mitattu turvekerroksen läpäisevä maaperän gammasäteily on mielenkiintoinen mahdollisuus soiden kulkukelpoisuuden ennustamiseen.

Suolla on kuitenkin myös liikkuvuutta edesauttavia tekijöitä. Liikkuvuutta haittaavien esteiden määrä on suolla ojia lukuun ottamatta yleensä vähäinen. Lisäksi soiden kaltevuus on Suomessa pieni.

Turvetta pidetään yleisesti koheesiomaana (Yong ym. 1984). Kuitenkin Wilsonin (1978) mukaan rakenteeltaan kuituisen turpeen kuidut lukkiutuvat paineen vaikutuksesta toisiaan vasten, mikä lisää lujuutta. Paineen kasvaessa kuitujen solujen seinät murtuvat ja solujen sisältämä vesi vapautuu aiheuttaen lujuuden äkillisen alenemisen (Wilson 1978). Lujuuden kasvaminen paineen lisääntyessä pitänee paikkansa myös turvemaan pintakerroksen osalta. Pintakerroksen kastuessa sen rakenneosien välinen kitka pienenee, millä saattaa olla vaikutusta turvemaan kantavuuden alenemiseen sateiseen aikaan sekä toistuvilla ylityskerroilla.

Turve on ominaisuuksiltaan anisotrooppinen (Yong ym. 1984) ja turvemaan rakenne on pystysuunnassa tarkasteltuna selkeästi kerroksellinen: elävät kasvinosat sijoittuvat pintakerrokseen ja maatuneet sen alapuolelle. Kulkukelpoisuutta ajatellen pintakerroksen merkitys on ratkaiseva, sillä pelkän maatuneen turvemateriaalin lujuus ei yleensä ole ajoneuvoliikenteelle riittävä. Kasvillisuuspeitteen käyttö kulkukelpoisuuden ennustamiseen perustuukin kasvillisuuden tyypin ja runsauden sekä juurien määrän ja lujuuden väliseen riipuvuuteen. Jotta turvemaa olisi kulkukelpoinen, sen pintakerroksen tulisi yleensä säilyä mahdollisimman rikkomattomana. Näin on etenkin, jos samassa maastonkohdassa halutaan liikkua useamman kuin yhden kerran. Turvemaata voidaan kuvata mekaanisilla malleilla, jotka tavallisimmin koostuvat jousesta tai jousesta ja sen rinnalle kytketystä vaimentimesta.

Terramekaniikan tutkimuksia varten maaperän ominaisuuksia voidaan selvittää mm. erilaisilla leikkaus-, levykuormitus- ja pudotuspainolaitteilla sekä penetrometrillä. Soilla penetrometrin pieni kartiomainen kärki todennäköisesti siirtää suuren osan sen eteen sattuvista juurista sivulle eikä se näin ollen sovellu pinnan juurikerroksen lujuuden mittaamiseen (Yong ym. 1984). Suon pinnan lujuutta on kuvattu sekä kimmokertoimella (Onninen 1990) että paine-uppoama -suhteella (Wong 1989, Lee & Jarret 1978). Puunkorjuussa käytettävät ajoneuvot tavallisesti aiheuttavat suolla liikkuessaan maaperään suhteellisuusrajan ylittäviä muodonmuutoksia, mutta tässä tutkimuksessa suon kantavuutta kuitenkin mallinnetaan levykuormituslaitteella määritetyn kimmokertoimen avulla.

Levykuormituskokeessa suon pintaa vasten painetaan levyä, jonka uppoama suohon sekä sitä vastaava painamiseen käytettävä voima mitataan. Voima muutetaan paineeksi jakamalla se levyn pinta-alalla, ja kokeen tuloksena saadaan suon muodonmuutosominaisuuksia kuvaava paine-uppoama -kuvaaja

(kuva 1). Suon lujuuskäyttäytymiselle levykuormituskokeessa on tyypillistä paineen hidas nousu pintakerroksessa, mitä seuraa paineen lähes linearinen nousu juurikerroksen murtumiseen saakka. Pintakerroksen rikkoutumisen jälkeen paine laskee, kunnes saavutetaan pelkkä maatuneessa turpeessa etenevään levyyn kohdistuva paine, joka on selvästi suurinta saavutettua painetta alhaisempi.

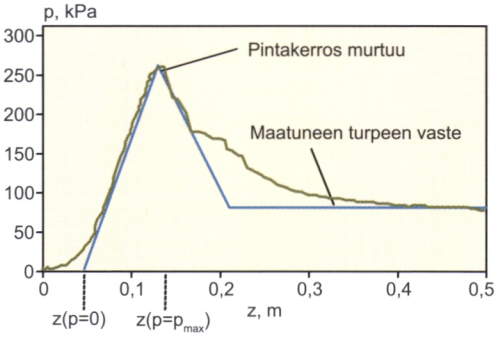
Pintakerroksesta mitattu lujuus riippuu ensisijaisesti yksittäisten juurten ja kasvionsien jännitys- ja leikkauslujuuden summasta sekä lisäksi alla olevan turpeen tukireaktiosta (Lee & Jarret 1978, Yong ym. 1984). Kun pintakerroksen juurten muodonmuutoksen oletetaan kuormituksessa keskittyvän levyn reunoille, vaikuttaa saavutettavaan suurimpaan paineeseen levyn pinta-alan lisäksi myös sen ympärysmitta. Tästä seuraa, että kooltaan vaihtelevilla tai erimuotoisilla levyillä mitatut muodonmuutosominaisuudet poikkeavat toisistaan (kuva 2).

Levykuormituskokeiden pohjalta lujuusmalleja turvemaalle ovat esitettäneet mm. Bekker (1969), Lee & Jarret (1977) ja Wong ym. (1982). Kahdessa ensiksi mainitussa mallissa ajoneuvon liikkuvuutta ajatellen oleellinen uppoama ei ole mukana muuttujana. Jälkimmäinen pyrkii kuvaamaan lujuuskäyttäytymistä suon pinnasta maksimipaineeseen saakka, siis myös ennen lineaarisen käyttäytymisen aluetta. Mallia mittaustuloksiin sovitettaessa mallin parametrien käyttäytyminen ei aina ole helposti tulkittavissa. Jatkossa esitettävän mallin kehittelyssä erityistä huomiota kiinnitettiinkin sen helppoon tulkintaan sekä käytännönläheisyyteen.

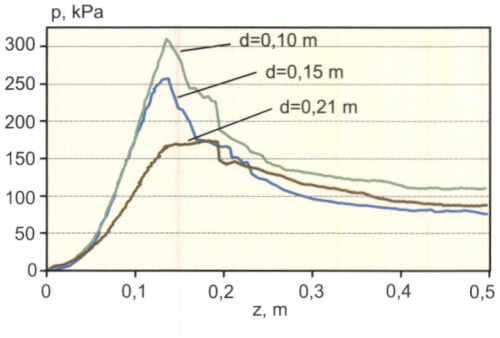
3.4 Kulkukelpoisuusmallin kehittäminen

Yksinkertainen lujuuskäyttäytymisen malli voidaan muodostaa siten, että paine-uppoama -suhdetta kuvataan nousevalla, laskevalla ja vaakasuoralla suoralla (kuva 1). Nousevaa suoraa jatketaan alkupäästään pisteeseen z(p=0) saakka, sillä näin muodostettua lineaarista aluetta pienemmillä uppoamilla kuormitus on ajoneuvojen liikkuvuutta ajatellen pieni. Nousevaa lineaarista aluetta suuremmilla uppoamilla kantavuus alenee uppoaman kasvaessa, joten haluttaessa ylittää maastonkohta n kertaa, tulisi kuormituksen pysyä paine-uppoama -suhteen nousevalla alueella ainakin ylityskertaan n-1 saakka.

Nouseva paine uppoaman funktiona r-säteisen levyn alla voidaan esittää yhtälön 1 mukaisesti. Paine-uppoama suhteen avulla voidaan myös määrittää maaperän kimmokerroin Wu:n (1966) esittämällä yhtälöllä 2. Yhdistä-



Kuva 1. Suon pinnan todellinen (vihreä viiva) ja yksinkertaistettu (sininen viiva) käyttäytyminen levykuormituskokeessa.



Kuva 2. Esimerkki pyöreän levyn halkaisijan vaikutuksesta paine-uppoama –suhteeseen.

mällä yhtälöt 1 ja 2 voidaan nousevan paineen kulmakerroin määrittää kimmokertoimen ja kuormituspinnan säteen avulla, jolloin tietynkokoisella levyllä määritetyn kimmokertoimen avulla voidaan laskea paineen käyttäytyminen halutunkokoisen kuormituspinnan alla (yhtälö 3). Uppoamaa määritettäessä nollapisteeksi määritellään paine-uppoama -kuvaajan lineaarisen alueen alku, ts. suon ylintä pehmeää kerrosta ei oteta huomioon.

$$p = b \cdot z \qquad (1)$$

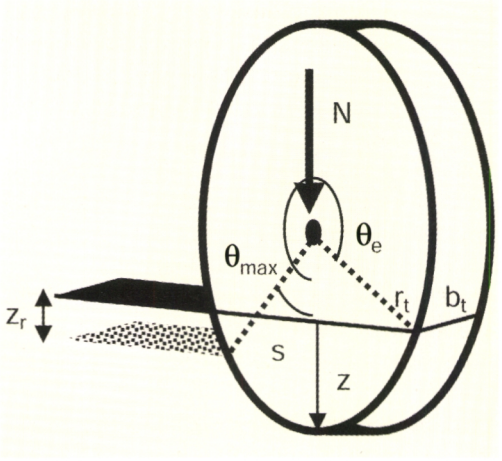
$$E = \frac{1{,}5 \cdot p \cdot r}{z} \qquad (2)$$

$$b = \frac{E}{1{,}5 \cdot r} \qquad (3)$$

missä b = nousevan paine-uppoama -suoran kulmakerroin, kg $m^{-1}s^{-2}$
E = kimmokerroin, kPa
p = paine, kPa
r = kuormituspinnan säde, m
z = uppoama, m.

Mallinnettaessa kantavuutta nousevaa lineaarista aluetta suuremmilla uppoamilla suurin lujuus p_{max}, laskevan suoran kulmakerroin b_l sekä maatuneen turpeen lujuus p_c voidaan ennustaa b:n tai E:n avulla. Laskevan suoran alueella yhtälön 1 termi b korvataan termillä b_l.

Yksinkertaistetun lujuuskäyttäytymismallin nousevaa lineaarista osaa voidaan verrata perinteiseen saapaskokeeseen. Siinäkin pinta-alaltaan tunnettua levymäistä kappaletta; saappaan pohjaa, painetaan suohon tunnetulla voimalla; seisovan ihmisen painolla. Kimmokertoimen arvioimiseksi tarvitaan siis tieto suon pehmeän pintakerroksen paksuudesta, koehenkilön massasta, saappaan pohjan pinta-alasta sekä uppoaman syvyydestä. Saavutettavat paineet ja erityisesti kuomituspinta-ala jäävät tällä menetelmillä alhaisiksi, kuormitusnopeus ja -aika vaihtelevat eikä pehmeän pintakerroksen paksuuden arvoiminenkaan ole yksiselitteistä, joten koneellinen laite soveltuu lujuuden määritykseen paremmin.



Kuva 3. Turvemaalla liikkuva pyörä. b_t=renkaan leveys, N=pyöräkuorma, r_t=renkaan säde, s=kosketuspinnan jänne, z=uppoama, z_r=uppoaman jäämä, θ_e=kohtauskulma, θ_{max}=jättökulma.

Kun turvemaan kimmokerroin on selvitetty, siirrytään tarkastelemaan ajoneuvon liikkuvuutta. Turvemaalla liikkuva pyörä ja tilanteeseen liittyvät symbolit on esitetty kuvassa 3. Renkaan ja maaperän kosketuspinnan vaakaprojektion pinta-alaa käytetään mallissa kuormituspintana siten, että lasketaan pyörän kosketuspinnan vaakaprojektion pinta-alaa vastaavan ympyrän säde r_{eq}, joka on uppoaman z tai kosketuskulman θ funktio. Yhtälöllä 3 lasketaan nousevan paineen kulmakerroin b edelleen uppoaman tai kosketuskulman funktiona. Tämän jälkeen voidaan laskea pystysuora paine $p(\theta)$ pyörän kosketuskulman θ funktiona. Sekä kosketuskulmaan että kosketuspinnan projektioon vaikuttaa myös pyörän uppoaman jäämä z_r.

Turvemaan pystysuora tukivoima F_z saadaan integroimalla $p(\theta)$ renkaan leveyden ja kosketuskulman yli (yhtälö 4). Termissä $p(\theta)$ paine määräytyy nousevalla ja laskevalla lineaarisella alueella yhtälön (1) mukaisesti niin, että uppoama z on renkaan kehäpisteen uppoama kosketuskulmalla θ. Kehäpisteen saavuttaessa maatuneen turpeen paine saa arvon p_c. Kosketuspinnan jättöpuolen paineen ale-

neminen pisteesta (2π,p_{max}) arvioitiin turpeen sisäisen vaimennuksen vuoksi paraboliseksi pisteeseen (θ_{max},0).

$$F_z = b_t \cdot \int_{\theta_e}^{\theta_{max}} r_t \cdot \cos(\theta) \cdot p(\theta) d\theta \qquad (4)$$

missä b_t = renkaan leveys, m
F_z = turvemaan pystysuora tukivoima, kN
$p(\theta)$ = pystysuora paine, kPa
r_t = renkaan säde, m.

Ylittäessään tarkasteltavan maastonkohdan pyörä muokkaa sitä sekä vaaka- että pystysuunnassa. Tämän seurauksena turvemaan rakenne rikkoutuu ja sen kuivat osat kostuvat, mikä johtaa kantavuuden alenemiseen. Lisäksi pyörän kulkualustaa muokkaava vaikutus poikkeaa levykuormituksesta, jolla turvemaan lujuutta on selvitetty. Nämä seikat otetaan huomioon kertomalla turvemaan kimmokerroin ylityskertojen lukumäärästä riippuvalla kertoimella k_n (yhtälö 5). Näin saadaan ylityskertojen lukumäärästä riippuva kimmokerroin E_n.

$$E_n = k_n^{(n-1)} \cdot E \qquad (5)$$

missä E_n = kimmokerroin ylityskerralla n, kPa
k_n = ylityskertojen lukumäärästä riippuva kerroin
n = ylityskertojen lukumäärä.

Ylityskertojen turvemaan lujuutta heikentävän vaikutuksen lisäksi mallinnuksessa on otettava huomioon pyörän uppoaman jäämä pyörän ylityksen jälkeen ennen seuraavaa pyörän ylitystä.

Laskentaa varten tehtiin Mathcad -ohjelma, jonka vuokaavio on esitetty kuvassa 4). Kyseessä on iteratiivinen prosessi, jossa uppoamaa z tarkasteltavalla pyörän ylityskerralla muutetaan siten, että turvemaan tukivoima F_z ja pyöräkuorma N saadaan yhtäsuuriksi. Johtopäätökset kulkukelpoisuudesta tehdään vertaamalla ajoneuvon maavaraa laskennan perusteella saatuun uppomaan sekä turpeen lujuutta pyörän siihen kohdistamaan paineeseen.

3.5 Maastokokeet

3.5.1 Yleistä

Turvemaan kulkukelpoisuutta tutkittiin Janakkalan Uraaninsuolla ja Kärkistensuolla sekä Ristijärven Kyntösuolla kaikkiaan 23 koealalla, jotka valittiin pyrkien kantavuuden mahdollisimman suureen vaihteluun. Kokeet tehtiin Janakkalassa yhteistyössä Puolustusvoimien Panssariprikaatin ja Pioneerikoulun, UPM-Kymmenen sekä ProSilva Oyj:n kanssa ja Ristijärvellä Toby Steel Oy:n kanssa. Koealoilta määritettiin seuraavat tiedot:

Suotiedot

- suotyyppi
- turpeensyvyys
- heikosti maatuneen pintakerroksen paksuus (pl. elävä sammalkerros)
- turvetyyppi
- maatuneisuusaste von Postin asteikolla
- mättäisyys
- pohjaveden korkeus
- vetisyys saapasmenetelmällä
- ympäröivien ojien lukumäärä
- ojaväli
- pienin etäisyys ojasta
- ojien keskimääräinen syvyys ja leveys

Puustotiedot

- puulajisuhteet
- puuston pohjapinta-ala
- keskiläpimitta
- keskipituus
- puiden tila (elävä/kuollut)
- lähimmän puun etäisyys kulkukelpoisuuden mittauspisteestä
- alle 1,3 m pituisten puiden muodostamien ryhmien lukumäärä
- puiden lukumäärä alle 1,3 m pituisten puiden ryhmissä

- keskipituus alle 1,3 m pituisten puiden ryhmissä
- lähimmän alle 1,3 m pituisten puiden ryhmän etäisyys kulkukelpoisuuden mittauspisteestä

Lisäksi Janakkalan Uraaninsuolta ja Kärkistensuolta hankittiin Geologian tutkimuskeskuksen matalalentomitattu gammasäteilyaineisto sekä turvetutkimustiedot.

3.5.2 Turvemaan lujuuden mittaus

Janakkalan soilla turvemaan mekaaninen lujuus kulkukelpoisuuden mittauspisteissä selvitettiin Sisu Nasu -telakuorma-autoon kiinnitetyllä levykuormituslaitteella halkaisijaltaan 0,10 m, 0,15 m ja 0,21 m levyjä sekä pyörän kosketuspintaa jäljittelevää, halkaisijaltaan 0,3 m ja leveydeltään 0,1 m metallipintaista suoran ympyrälieriön puolikasta käyttäen. Tunkeutumisnopeus oli noin 0,05 m s^{-1}. Turvetta kuormitettiin sekä kerta- että toistuvalla kuormituksella. Jokainen koeala pyrittiin mittaamaan kertakuormituksella 0,15 m levyllä, mutta kaikkein kantavimmilla paikoilla turvekerros pystyttiin läpäisemään vain 0,10 m levyllä. Kohteen lujuusominaisuuksien kokeen aikana havainnoidusta homogeenisuudesta riippuen kullakin levyllä tehtiin 5...7 toistoa/koeala. Joillakin koealoilla selvitettiin turpeen lujuutta myös toistuvalla kuormituksella samaan maastonkohtaan 0,15 m levyllä sekä lieriönpuolikkaalla.

Ristijärvellä käytettiin halkaisijaltaan 0,21 m, 0,30 m ja 0,42 m levyjä. Kokeilla pyrittiin erityisesti selvittämään turpeen käyttäytymistä suuremmilla levyillä kuormitettaessa sekä kuormitusnopeuden vaikutusta. Kuormitusnopeus kokeissa oli noin 0,05...0,18 m s^{-1}. Kokeissa levykuormituslaite oli kytketty Terrier -maastoajoneuvoon. Ajoneuvon keveyden johdosta turpeen pinta pystyttiin läpäisemään kaikilla koealoilla vain 0,21 m levyllä. Läpäisyn epäonnistuessa kimmokerroin määritettiin paine-uppoama -suoran alkuosan perusteella.

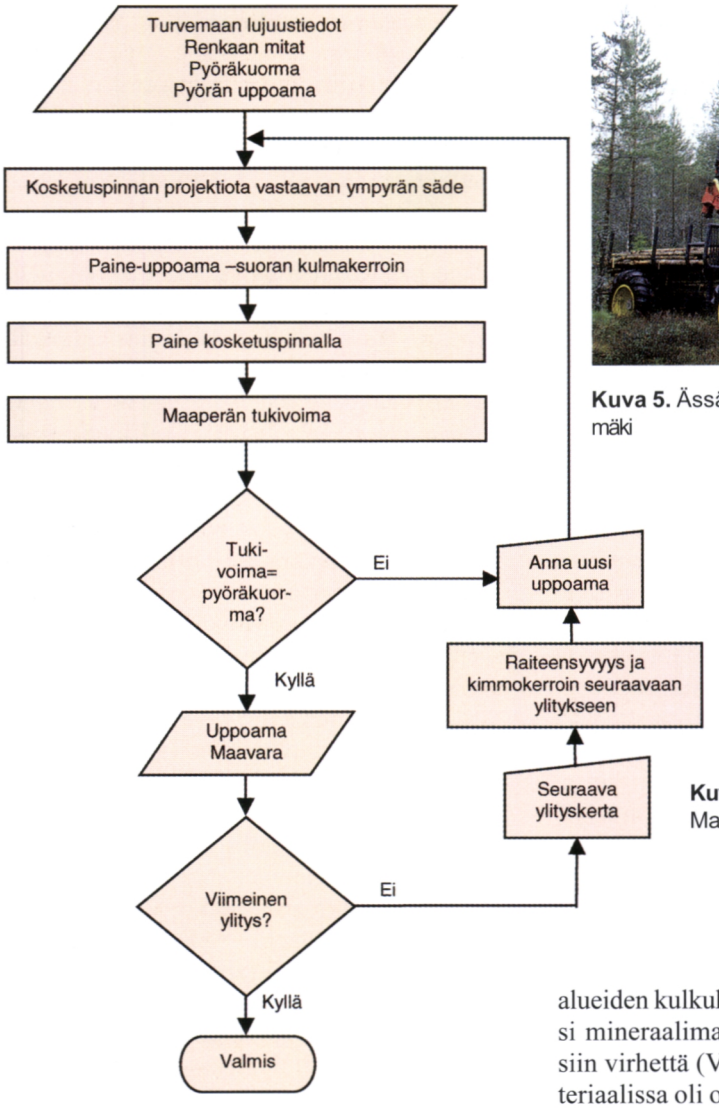
3.5.3 Ajoneuvokokeet

Janakkalan Uraaninsuolla turvemaan kulkukelpoisuutta selvitettiin ajoneuvokokein käyttäen Ässä 810 -harvesteriin perustuvaa kuormatraktoria (kuva 5). Kuormatraktori koostuu runko-ohjatusta harvesterin rungosta, jonka perään on kytketty runko-ohjatulla nivelellä perävaunu. Kaikilla ajoneuvon kolmella akselilla on hydrostaattinen voimansiirto ja Nokian TRS L-2 700/55-34 -renkaat. Renkaiden säde on 0,817 m ja leveys 0,7 m. Renkaiden ilmanpaineiksi valmistaja oli asettanut etuakselille 80 kPa ja keski- sekä taka-akselille 100 kPa. Hydraulimoottoreiden pyörintänopeus säätyy ohjauskulman mukaan niin, että sisäkaarteen pyörät pyörivät hitaammin. Ajoneuvon maavara on 0,6 m. Kokeissa ei käytetty kitkaketjuja.

Uraaninsuolla ajoneuvokokeet tehtiin runsaspuustoisimmilla koealueilla, joilla ajoneuvon valmistaja arvioi kantavuuden olevan riittävä. Heikoimmin kantavalla alueella kokeiltiin myös hakkuutähteiden vaikutusta. Valmistaja sai päättää kuorman koon kokemustensa perusteella. Kokeissa ajoneuvo oli kuormattu 3...5 m pitkällä mäntykuitupuulla. Kuorman laskennallinen paino oli kantavammilla koealueilla noin 60 kN ja huonommin kantavalla alueella noin 30 kN.

Ajoneuvolla ajettiin arvioidun kulkukelpoisuuden mukaan mahdollisimman monta ajokertaa, ts. viimeisellä renkaan ylityksellä turvemaan pinta murtui tai sen arvioitiin murtuvan seuraavalla ylityksellä. Kokeissa ajettiin samaa uraa edestakaisin ajosuuntaa vaihtaen havutuskoetta lukuun ottamatta. Ajoneuvon toisen sivun renkaita videokuvattiin niin, että videokuvalta voitiin kuvankäsittelyohjelmaa käyttäen mitata renkaiden uppoama maahan. Kunkin ajokerran eli kolmen akselin ylityksen jälkeinen raiteensyvyys mitattiin.

Myös Ristijärvellä tehtiin ajoneuvokokeita Terrier -maastoajoneuvolla pyörien keinuntamekanismi kiinteäksi lukittuna. Ajoneuvon keveydestä ja suuresta rengaskoosta johtuen painumat jäivät kuitenkin suon pinnan pehmeään sammalkerrokseen suhteutettuina niin pieniksi, ettei johtopäätöksiä voitu tehdä.



Kuva 4. Turvemaan kulkukelpoisuuden Mathcad -ohjelman vuokaavio.



Kuva 5. Ässä -kuormatraktori. Kuva: J. Ala-Ilomäki

3.6 Tulokset

3.6.1 Gammasäteilykartat

Janakkalan Uraaninsuolta ja Kärkistensuolta hankittujen gammasäteilykarttojen informaatio oli havaintojen mukaan liian suurpiirteistä kulkukelpoisuuden arviointiin puunkorjuun tarpeita ajatellen. Lentolinjojen 200 m väleistä sekä mittausalueen n. 40 m halkaisijasta johtuen tieto on luonteeltaan keskiarvoista ja soveltuu paremmin suurempimittakaavaiseen alueiden kulkukelpoisuuden arviointiin. Lisäksi mineraalimaasaarekkeet aiheuttavat tuloksiin virhettä (Virtanen 1997). Hankitussa materiaalissa oli ongelmana lisäksi säteilyn tasoero, joka tuli esille esimerkiksi järvien kohdalla, joissa säteilytason tulisi periaatteessa olla aina nolla.

3.6.2 Turvemaan lujuuskokeet

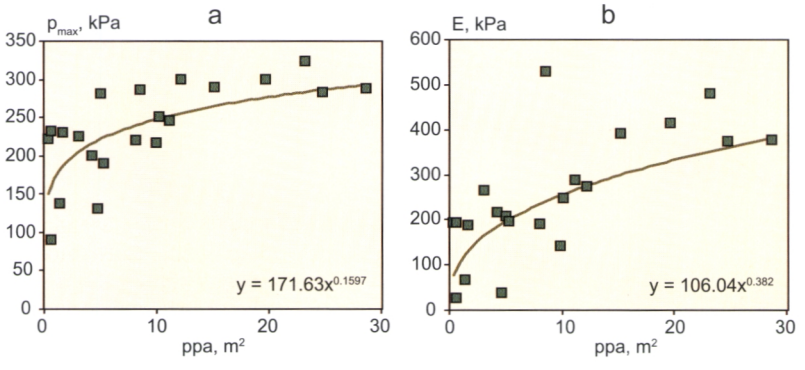
Alueiden puusto vaihteli tukkipuustosta puuttomaan, turpeensyvyys 0,5...4,3 m ja kimmokertoimen E arvo 26...528 kPa. Halkaisijaltaan 0,21 m levyn tunkeutumisnopeudella ei tutkitulla nopeusalueella ollut vaikutusta havaittuun turvemaan lujuuteen.

Tutkimuksessa tarkasteltiin suurta määrää turvemaan lujuuteen suorasti tai epäsuorasti vaikuttavia tekijöitä, joista seuraavassa tarkastellaan vain merkittävimpiä. Turvemaan lujuuden kanssa parhaiten korreloivat puuston pohjapinta-ala ja turvemaan vetisyys saapasmenetelmällä arvioituna. Kuvassa 6 on esitetty turvemaan puhkaisulujuus ja kimmokerroin pohjapinta-alan funktiona ja kuvassa 7 saapasmenetelmällä arvioidun vetisyyden funktiona. Myös mitattu pohjaveden korkeus sekä turpeen maatumisaste olivat hyviä lujuuden selittäjiä. Muiden tarkasteltujen tekijoiden korrelaatio turvemaan lujuuden kanssa oli selvästi heikompi.

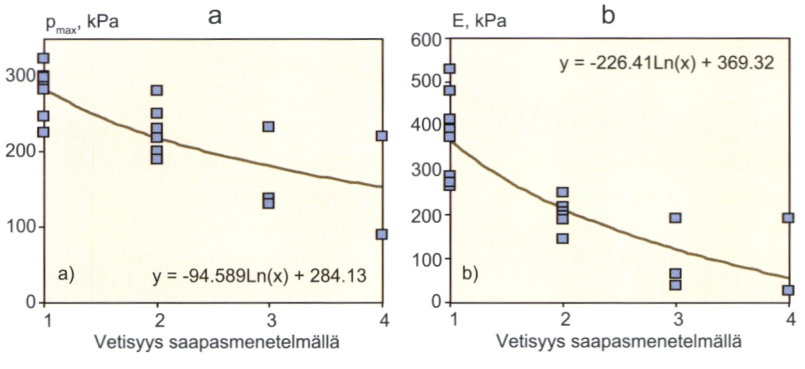
Levykuormituskokeissa nousevan- ja laskevan kulmakertoimen sekä maatuneen turpeen lujuuden itseisarvot pienenivät levyn koon kasvaessa. Suurinta lujuutta vastaava uppoama sekä uppoama saavutettaessa maatuneen turpeen vaste suurenivat levyn koon kasvaessa. Toistuvassa kuormituksessa uppoaman jäämän tiivistämässä turpeessa n+1 kuormituskerran paine nousi nopeasti, kunnes saavutettiin kuormituskerran n suurin paine ja sitä vastaava uppoama turpeen pinnasta. Uppoaman edelleen kasvaessa paine nousi aiemmin mainitun nousevan suoran mukaisesti. Jäljempänä esiteltävissä malleissa paine toistuvassa kuormituksessa käyttäytyy edellä kuvatun mukaisesti.

Puhkaisulujuus, laskevan suoran kulmakerroin sekä maatuneen turpeen lujuus kimmokertoimen funktiona on esitetty kuvassa 8.

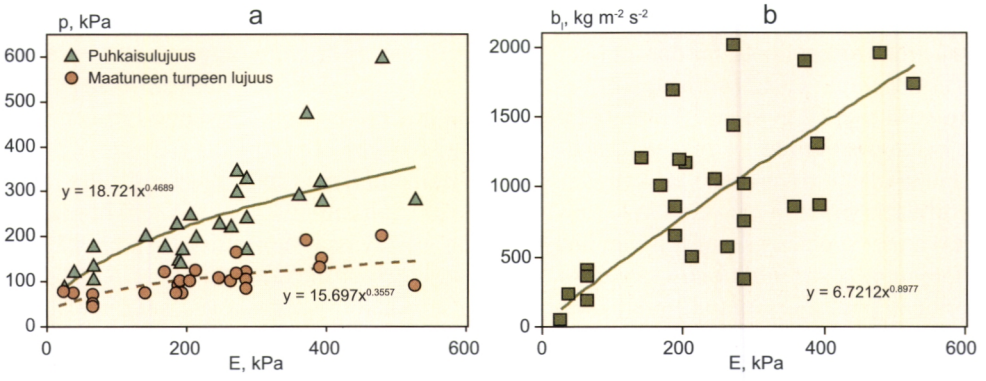
Paineen käyttäytymisen eroja levyn ja pyörän alla selvitettiin laskemalla lieriönpuolikkaan turvemaahan painamiseen tarvittava voima yhtälön 4 avulla. Lieriönpuolikkaan kosketuspinnan kaarevuudesta johtuen turvemaan pintakerroksen murtuminen on anisotrooppista, ts. pinta murtuu helpommin lieriön leveyden suunnassa. Laskettu voima-uppoama -suhde vastasi mitattua parhaiten, kun levyllä ennustettu puhkaisulujuus kerrottiin



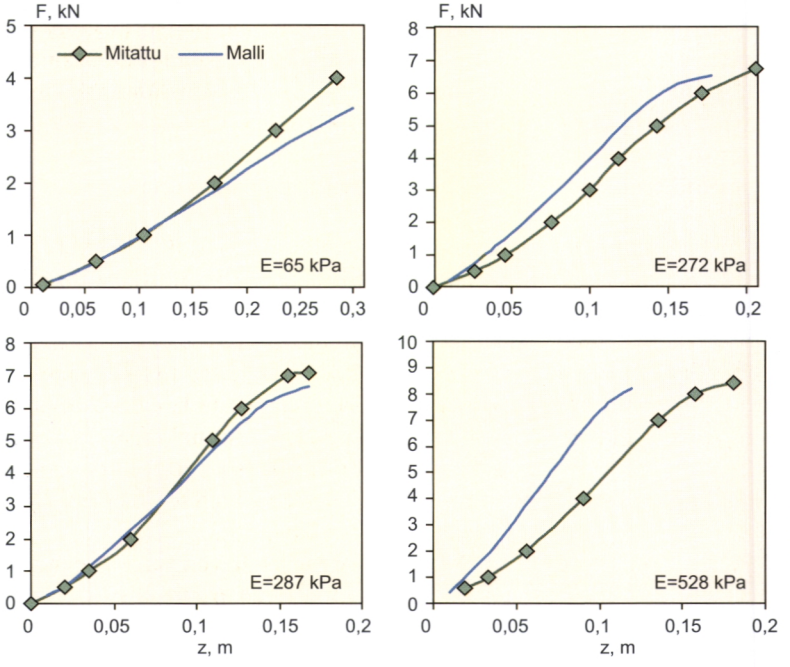
Kuva 6. Turvemaan puhkaisulujuus (a) ja kimmokerroin (b) puuston pohjapinta-alan funktiona.



Kuva 7. Turvemaan puhkaisulujuus (a) ja kimmokerroin (b) saapasmenetelmällä arvioidun vetisyyden funktiona.



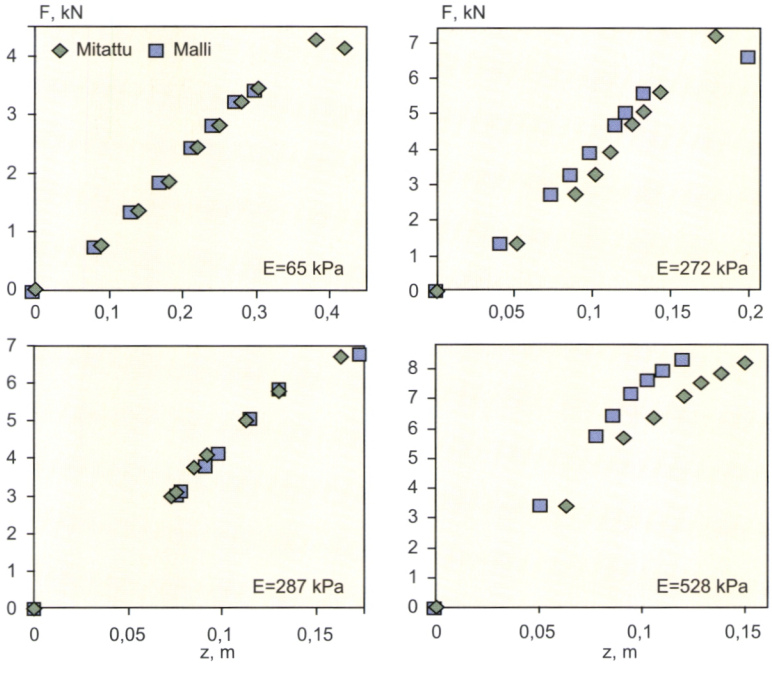
Kuva 8. Puhkaisulujuus ja maatuneen turpeen lujuus (a) sekä laskevan suoran kulmakerroin (b) kimmokertoimen funktiona.



Kuva 9. Mitattu ja mallinnettu lieriönpuolikkaan painamiseen tarvittava voima koealoilla uppoaman funktiona.

arvolla 1,05 ja laskevan suoran kulmakerroin jaettiin arvolla 2,7 (kuva 9). Koealoilla E=272 kPa ja E=528 kPa mallinnettu voima-uppoama -kuvaaja on mitattua jyrkempi. Tähän saattoi etenkin koealalla E=528 kPa vaikuttaa alueen juuriston tiheyden vaihtelu. Lujuus mitattiin levykokeessa huomattavan korkeaksi ja vastaavasti lieriön painuman mittauskohta on ilmeisesti ollut heikommin kantava. Mallinnettu voima-uppoama -kuvaaja saavuttaa taitepisteen, jossa pintakerroksen oletetaan murtuvan ja paineen laskenta siirtyy laskevalle suoralle, mitattua pienemmällä uppoamalla. Mallilla ei voi laskea lieriön halkaisijaa suurempaa uppoamaa vastaavaa voimaa.

Toistuvassa kuormituksessa lieriönpuolikkaalla (kuva 10) mallinnettu voima vastasi parhaiten mitattua käsittelemällä puhkaisulu-



Kuva 10. Mitattu ja mallinnettu lieriönpuolikkaan painamiseen tarvittava voima koealoilla toistuvassa kuormituksessa uppoaman funktiona. Jokainen piste vastaa yhtä kuormituskertaa samassa maastonkohdassa.

juutta ja laskevan suoran kulmakerrointa kuten yksittäiskuormituksessakin ja antamalla yhtälön 5 kertoimelle k_n arvo 1. Laskelmissa siis oletettiin lujuuden pysyvän samana toistuvassa kuormituksessa lieriöllä. Etenkin koealalla E=528 kPa mallinnettu voima-uppoama -kuvaaja on mitattua jyrkempi, kuten kertakuormituksessakin.

3.6.3 Ajoneuvokokeet ja kulkukelpoisuusmalli

Mallinnettu todellisen ajoneuvon pyörän käyttäytyminen poikkesi pyörää jäljittelevän lieriön käyttäytymisestä. Malli vastasi parhaiten mitattuja arvoja käyttämällä nousevan paineen kulmakertoimelle yhtälön 6 mukaisia kertoimia yhtälön 3 kertoimien asemesta.

$$b = \frac{E}{3 \cdot r^{1,34}} \qquad (6)$$

Oleellisin ero oli turvemaan lujuuden aleneminen jokaisella ylityskerralla. Mallin tulokset vastasivat parhaiten mitattuja, kun termin k_n arvo oli 0,7 muilla, paitsi kaikein kantavimmilla koealoilla (ppa 26...32m^2 , keskipit. 15...18 m, keskilpm. 18...19 cm, E=360...394 kPa), jolla käytettiin arvoa 0,93. Suurin lujuus kerrottiin luvulla 1,05, kuten lieriölaskelmissakin, paitsi kantavimmalla koealalla luvulla 1,4. Laskevan suoran kulmakerroin jaettiin luvulla 2,7. Laskennassa pyörän uppoaman suhteellisena jäämänä ennen seuraavaa ylityskertaa käytettiin arvoa 0,3.

Mallinnuksessa Ässää verrattiin samanpainoiseen tavanomaiseen 6-pyöräiseen kuormatraktoriin sekä omapainoltaan 20 kN alhaisempaan 8-pyöräiseen kuormatraktoriin. Taulukossa 1 on esitetty ajoneuvojen laskennalliset akselipainot. Ässällä kuorman painon oletettiin jakautuvan 2. ja 3. akseleille suhteessa1:2, 6-pyöräisellä kuormatraktorilla kohdistuvan kokonaan takatelille ja 8-pyöräisellä etu- ja takateleille suhteessa 1:9.

Kuvassa 11 on esitetty Ässä -kuormatraktorin pyörän uppoama ja raiteensyvyys pyörän ylityskertojen (1 ylitys ajoneuvolla=3 ylitystä pyörällä) funktiona kantavuudeltaan ennen koetta hyväksi arvioidulta mustikka-

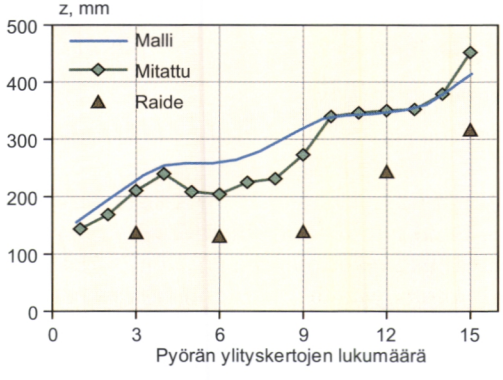
Taulukko 1. Tutkittujen kuormatraktorien laskennalliset akseli- ja kokonaispainot.

Traktori	Kuorma, kN	Akselipaino, kN				Kokonais-paino, kN
		1. akseli	2. akseli	3. akseli	4. akseli	
Ässä	0	50	40	30	-	120
	30	50	50	50	-	150
	60	50	60	70	-	180
	80	50	67	83	-	200
Norm. 6-p	0	60	30	30	-	120
	80	60	70	70	-	200
Norm. 8-p	0	32	32	18	18	100
	80	36	36	54	54	180

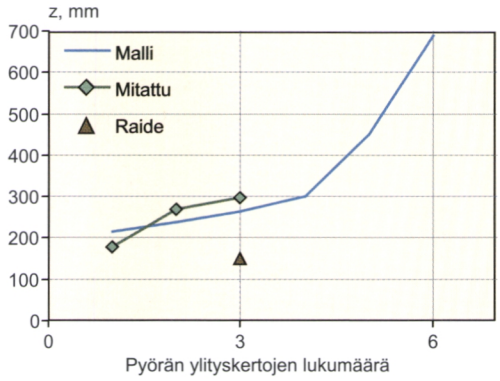
turvekankaalla, kun turpeensyvyys on 0,6 m, ppa=29 m^2, E=377 kPa m ja kuorma 60 kN. Tulokset on yhdistetty kahdelta vierekkäiseltä koealalta, sillä ensimmäisessä kokeessa ajoneuvon videokuvatun puolen pyörät upposivat selvästi toisen puolen pyöriä syvemmälle, kun taas jälkimmäisessä kokessa tapahtui päinvastoin. Akselikohtaisista pyöräkuormien eroista johtuen uppoaman käyttäytyminen eroaa eteen (ylityskerrat 1...3, 7...9 ja 13...15) ja taaksepäin (ylityskerrat 4...6, 10...12) ajettaessa. Mallinnettu uppoama vastaa suuruudeltaan mitattua melko hyvin. Pyörän todellinen uppoama on selvästi suurempi kuin ylityskertaa vastaavan ajokerran jälkeen mitattu raiteensyvyys.

Kuva 12 esittää Ässän koetulokset tupasvillasararämemuuttumalla, kun turpeensyvyys on 3,2 m, ppa=3 m^2, E=264 kPa ja kuorma 30 kN. Kohde arvioitiin ennen koetta kantavuudeltaan huonoksi, mutta todennäköisesti kulkukelpoiseksi. Myös tällä koealalla malli antaa varsin realistisia uppoaman arvoja. Havaittu raiteensyvyys ensimmäisen ajokerran jälkeen on vain noin puolet pyörän uppoamasta. Laskentaa jatkettiin myös toiselle ajokerralle, jolla turvemaa ei mallin mukaan ollut enää kulkukelpoinen. Ajoneuvon ajaessa mittauskohdan yli seuraavalta koealalta palatessaan se juuttui kiinni.

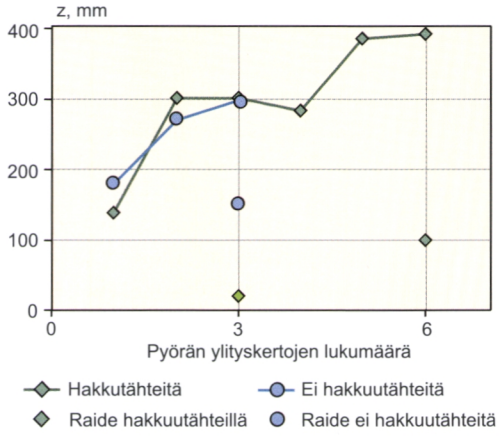
Samalla tupasvillasararämemuuttumalla ja ajoneuvolla selvitettiin myös hakkuutähteiden vaikutusta pyörän uppoamaan sekä raiteensyvyyteen (Kuva 13). Hakkuutähteiden vaikutusta jäljiteltiin asettamalla uppoaman mittauskohdalle 1,5 m matkalle kohtisuoraan ajoneuvon kulkusuuntaan nähden 7 kpl keskipituudeltaan 2,5 m kuusia, joiden keskimääräinen läpimitta raiteen keskikohdalta oli 3,5 cm. Hakkuutähteiden vaikutuksesta koealue oli kulkukelpoinen toisellakin ajokerralla. Molemmat ajokerrat ajettiin ajoneuvon keula edellä. Havutuksen vaikutus uppoamaan ensimäisellä ajokerralla oli vähäinen, mutta sen sijaan mitattua raiteensyvyyttä se alensi huomattavasti.



Kuva 11. Ässä -kuormatraktorin pyörän uppoama ja raiteensyvyys ylityskertojen funktiona mustikkaturvekankaalla, kun ppa=29 m^2, E=377 kPa ja kuorma 60 kN.

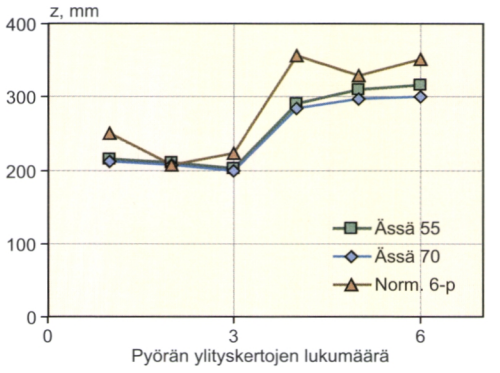


Kuva 12. Ässä -kuormatraktorin pyörän uppoama ja raiteensyvyys ylityskertojen funktiona tupasvillasararämemuuttumalla, kun ppa=3 m^2, E=264 kPa ja kuorma 30 kN.



Kuva 13. Hakkuutähteiden vaikutus Ässä -kuormatraktorin pyörän uppoamaan ja raiteensyvyyteen tupasvillasararämemuuttumalla, kun ppa=3 m^2, E=264 kPa ja kuorma 30 kN.

Mallin avulla vertailtiin valinnaisen rengasvarustuksen sekä korjuukoneen rakenteen vaikutusta pyörien uppoamaan, kun kulkukelpoisuus kokeiden perusteella riittää kahteen ajokertaan tyhjänä. Kuvasta 14 havaitaan Ässä -kuormatraktorin pyörien uppoaman pienenevän vähän käytettäessä halkaisijaltaan 1,634 m 700/55-34 renkaiden asemesta halkaisijaltaan 1,844 m 700/70-34 renkaita. 6-pyöräisen, rakenteeltaan tavanomaisen

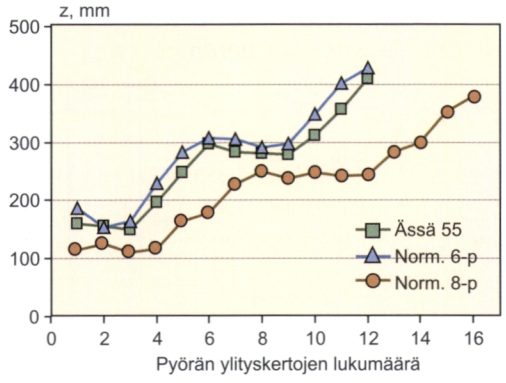


Kuva 14. Rengasvarustuksen ja ajoneuvon rakenteen vaikutus pyörien mallinnettuun uppoamaan tyhjänä ilman teloja ja ketjuja ajettaessa, kun E=264 kPa. Selitykset: **Ässä 55**= Ässä -kuormatraktori 700/55-34 renkain, **Ässä 70**= Ässä -kuormatraktori 700/70-34 renkain, **Norm. 6-p**= rakenteeltaan tavanomainen runko-ohjattu 6-pyöräinen kuormatraktori 700/55-34 eturenkain ja 700/50-26,5 takarenkain. Kaikkien ajoneuvojen omapaino 120 kN.

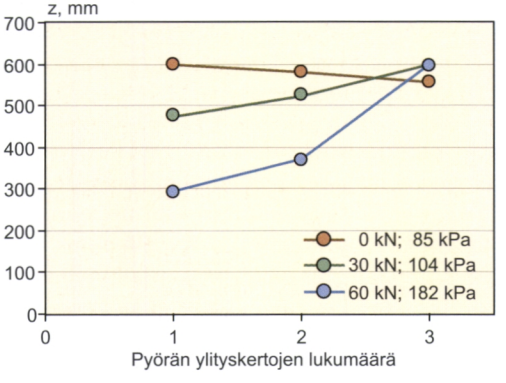
kuormatraktorin suurempi etuakselipaino sekä takarenkaiden pienempi kosketuspinnan halkaisija johtavat suurempaan uppoamaan etenkin toisella ajokerralla. Akselipainon vaikutus uppoamaan on kaikissa vaihtoehdoissa selkeä etenkin ensimmäisellä ajokerralla.

Vastaavasti mallilla selvitettiin pyörien uppoamaa tavanomaisessa meno tyhjänä ja paluu kuormattuna ajossa ilman teloja ja ketjuja, kun E=377 kPa ja kuorman koko 80 kN (kuva 15). 8-pyöräisen, muita 20 kN kevyemmän traktorin uppoama on pienin, joskin ero vähenee loppua kohden suuremmasta pyörän ylityskertojen lukumäärästä johtuen.

Laskennallisesti selvitettiin myös, mikä on pienin sallittu kimmokertoimen arvo ja vastaavasti pyörän uppoama akseleittain tarkasteltuna, jos turvemaa halutaan ylittää kerran Ässä -kuormatraktorilla 700/55-34 renkain 0 kN, 30 kN ja 60 kN kuormilla (kuva 16). Havaitaan, että ero etuakselin pyörien uppoamasta johtuu pelkästään erosta turvemaan kantavuudessa ja että uppoaman kehityksen muoto riippuu akselipainojen suhteesta.



Kuva 15. Pyörien mallinnettu uppoama ajettaessa ilman teloja ja ketjuja kaksi edestakaista ajokertaa, meno tyhjänä ja paluu 80 kN kuormalla, kun E=377 kPa. Selitykset kuten kuva 13, paitsi: **Norm. 8-p**= rakenteeltaan tavanomainen runko-ohjattu 8-pyöräinen kuormatraktori 700/40-22,5 renkain, omapaino 100 kN.



Kuva 16. Ässä -kuormatraktorin pyörien uppoama kuorman koon vaihdellessa, kun ajetaan turvemaalla, jonka kimmokerroin E on pienin yhden ajokerran laskennallisesti kantava.

3.7 Johtopäätökset

Mitatut turvemaan kimmokertoimet olivat samaa suuruusluokkaa Helenelundin (1981) ilmoittamien ja Lee & Jarretin (1978) tulosten perusteella laskettujen arvojen kanssa mutta vain noin kahdeskymmenesosa Onnisen (1990) pudotuspainolaitteella sulalla turvemaalla mittaamista. Ero jälkimmäisiin saattaa johtua erilaisesta mittausmenetelmästä.

Turvemaan muodonmuutos kokeissa oli mallinnetun nousevan kuormituksen aluella suhteellista mutta ei täysin palautuvaa. Turvemaan rakenne ei vastaa kimmoteorian oletuksia. Kimmokertoimen sovellus johti kuitenkin tyydyttäviin tuloksiin upoaman mallinnuksessa.

Tulosten perusteella metsäisen turvemaan kantavuuteen vaikuttaa turvemaan ominaisuuksien lisäksi kuormitustapahtuma. Määräävinä tekijöinä ovat etenkin kuormittavan pinnan koko ja muoto, pinnan liikerata kuormituksen aikana sekä kuormituksen toistuvuus. Myös pinnan materiaalilla, tekstuurilla, kuormituskertojen välisellä ajalla sekä kuormitusnopeudella on todennäköisesti vaikutusta, vaikka viimeksi mainitun vaikutusta ei tutkitulla nopeusalueella saatukaan esille.

Kehitetyn kulkukelpoisuuden arviointimenetelmän näissä kokeissa havaittua tarkkuutta voidaan sinänsä pitää riittävänä, jotta sitä voitaisiin käyttää apuna korjuukaluston ja -kohteiden valinnassa. Lujuuden mittauksessa käytettyjen kappaleiden ja pyörän kuormitusmekanismit poikkeavat kuitenkin toisistaan huomattavasti, joten menetelmään sisältyy epävarmuutta erityisesti turvemaan lujuuden käyttäytymisessä toistuvassa kuormituksessa ja sen muodonmuutoksen palautumisessa. Mallissa muodonmuutoksen palautuminen oletettiin vakioksi, mutta käytännössä se riippuu mm. edellisen kuormituksen suuruudesta turvemaan kantavuuteen verrattuna sekä etenkin ajokertojen välillä kuormitusten välisestä ajasta. Mitatun ja mallinnetun uppoaman poikkeamat kuvassa 10 ylityskerroilla 5...9 johtunevat juuri edellä mainituista tekijöistä. Ensimmäisen ajokerran uppoamien arvioinnissa mallin epävarmuus on tässä suhteessa pienin.

Malli ei ota huomioon ajoneuvon rakenteellisten ratkaisujen, kuten esimerkiksi teliakselin ja erilaisten tasauspyörästöjen vaikutusta pyörien ja maaperän väliseen vuorovaikutukseen. Myöskään pyörien luisto ei sisälly malliin. Levykuormituskokeissa käytetyt levykoot olivat monien ajoneuvojen kuormituspinnan halkaisijoihin verrattuina pieniä.

Menetelmän käytännön soveltamisen suurimmat esteet eivät kuitenkaan liity tark-

kuuteen vaan siihen, että se edellyttää maastohavaintojen tekoa soveltuvin menetelmin sekä numeeriseen integrointiin pystyvää tietokoneohjelmaa. Lujuuden määrittäminen erityisesti runsaspuustoisilla kohteilla on vaikeaa, sillä osa mittauksista keskeytyy mittausvälineen kohdatessa puun juuren. Mittausmenetelmän mahdollisilla käytännön sovelluksilla juuria ei välttämättä edes suoraan havaita.

Mallilaskelmien perusteella rengas pystyy käyttämään turvemaan pinnan kantavuutta tehokkaasti, sillä tulokset vastasivat mittauksia parhaiten, kun levyllä mitattua lujuutta korjattiin pienemmäksi. Renkaan edullisuus levyyn verrattuna johtunee kumimateriaalista sekä siitä ja renkaan muodosta johtuvasta kosketuspinnan reunojen pyöreydestä. Näiden johdosta pintakerroksen kasvinosat kestävät suurempaa kuormitusta.

Maastokokeiden ja laskelmien perusteella ajoneuvon painojakauman optimointia vaikeuttaa kuorman koon vaihtelu. Lievästi takapainoinen painojakauma vaikuttaa kuitenkin etupainoista paremmalta, sillä viimeisen akselin maavaran suuruinen uppoama ei maastokokeiden perusteella välttämättä aiheuta kiinnijuuttumista. Laskelmien mukaan 8-pyöräisen traktorin pyörien uppoamaa lisää 6-pyöräistä suurempi pyörän ylityskertojen lukumäärä ajokertaa kohden ja vähentää akseleiden väliset pienemmät kuormituserot, joskin laskelmien tulokset riippuvat turpeen käyttäytymisestä toistuvassa kuormituksessa tehdyistä oletuksista.

Tutkittua menetelmää tulisi kehittää selvittämällä turvemaan käyttäytymistä levykuormituksessa suuremmilla levyn halkaisijoilla sekä jatkamalla ajoneuvokokeita, joissa tulisi keskittyä erityisesti turvemaan lujuuden alenemiseen toistuvassa kuormituksessa pyörällä. Paremmin käytäntöön soveltuvaksi menetelmää voitaisiin kehittää selvittämällä saapasmenetelmän toimivuutta mallin yhteydessä tai kehittämällä kenttäkäyttöön yksinkertainen mittalaite. Numeeriseen integrointiin liittyvää ongelmaa voitaisiin helpottaa laatimalla taulukoita tai käyrästöjä, joista voitaisiin lukea pienin sallittu kantavuus halutulla kuorman koolla yleisimmille korjuukonetyypeille. Myös viimeksi mainittu vaatisi lisää tietoa lujuuden käyttäytymisestä toistuvassa ajoneuvokuormituksessa.

Kirjallisuus

Bekker, M. G. 1969. Introduction to Terrain-Vehicle Systems. University of Michigan Press. 846 s.

International Society for Terrain-Vehicle Systems Standards. 1977. Journal of Terramechanics, Vol. 14, No. 3: 153-182.

Helenelund, K. V. 1981. Maarakennusmekaniikka. 7. painos. Otakustantamo. 278 s.

Lee, R. A. & Jarret, P. M. 1978. Plate Bearing Tests on Fibrous Peat. Teoksessa: Proceedings of the 17th Muskeg Research Conference. National Research Council Canada, Associate Committee on Geotechnical Research, Technical Memorandum No 122: 151-164.

Onninen, H. 1990. Jäätyneen suon kulkukelpoisuus. Maastotutkimus ja koekuormitus. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, geotekniikan laboratorio. Tutkimusraportti. Tilaaja: Maanpuolustuksen tieteellinen neuvottelukunta MATINE. 49 s.

Patentti- ja rekisterihallitus 2002. Patenttijulkaisu FI 103028 B 2. 10 s.

Päivänen, J. 1990. Suometsät ja niiden hoito. 231 s. ISBN 951-26-3059-1.

Virtanen, K. 1997. Lentomittausten gamma-aineisto –menetelmä arvioida turvekerroksen paksuutta. Suo ja turve, 3/1997. s. 8-11.

Wilson, N. E. 1978. The Contribution of Fibrous Interlock to the Strength of Peat. Teoksessa: Proceedings of the 17th Muskeg Research Conference. National Research Council Canada, Associate Committee on Geotechnical Research, Technical Memorandum No 122: 5-10.

Wong, J. Y. 1989. Terramechanics and Off-Road Vehicles. 251 s. ISBN 0-444-88301-0.

Wong, J. Y. , Radforth, J. R. & Preston-Thomas, J. 1982. Some Further Studies on the Mechanical Properties of Muskeg in Relation to Vehicle Mobility. Journal of Terramechanics, Vol. 19, No. 2: 107-127.

Wu, T. H. 1966. Soil Mechanics. Allyn and Bacon, Inc. Boston. 431 s.

Yong, R. N., Fattah, E. A. & Skiadas, N. 1984. Vehicle Traction Mechahics. 307 s. ISBN 0-444-42378-8.

SUOMETSIEN HOITO



4 Suometsien hoito

4.1 Kunnostusojitus

Erkki Ahti

4.1.1 Ojitusalueen hydrologia

Vesitaseella tarkoitetaan yksinkertaistetusti tietylle alueelle tulevan veden jakautumista haihduntaan ja valuntaan. Vesitaseen yksi osatekijä on myös alueen vesivarasto, joka saattaa esimerkiksi sateisina vuosina kasvaa ja ojituksen vaikutuksesta pienentyä. Suomen pohjoispuoliskossa suot ovat pääosin aapasoita, joille tulee vettä sateiden lisäksi myös valuntana ympäröiviltä kivennäismailta. Luonnontilaisilla soilla haihdunta on yleensä valuntaa suurempi (Virta 1966). Pohjavesipinta on lähellä maanpintaa, ja kun puusto on etenkin rämeillä harvaa tai aukkoista, haihdunta maanpinnasta on voimakasta. Metsäojitusten yhteydessä pohjavesipinta laskee ja maan pinta kuivuu. Kuivasta pinnasta haihdunta on vähäisempää, ja ojat puolestaan mahdollistavat entistä huomattavasti suuremman valunnan. Näin ojitus aiheuttaa nopean ja voimakkaan muutoksen: päinvastoin kuin luonnontilassa, ojitusta välittömästi seuraavina vuosina suolta poistuu valumalla enemmän vettä kuin haihtumalla (Ahti 1987).

Talousmetsissä suurimmat vesitaseen muutokset kytkeytyvät päätehakkuisiin (Heikurainen ja Päivänen 1970, Seuna 1988), jotka lisäävät voimakkaasti valuntaa ja pienentävät vastaavasti haihduntaa. Samat muutokset tapahtuvat uudisojituksen yhteydessä, ts. valunta lisääntyy ja haihdunta pienenee. Kivennäismaiden metsien päätehakkuun jälkeen hydrologinen tase palautuu suhteellisen nopeasti lähelle ennen hakkuuta vallinnutta, kullekin alueelle tyypillistä tilannetta. Ojitusalueilla vesitalous on ojituksen yhteydessä tapahtuneen äkillisen muutoksenkin jälkeen jatkuvasti melko nopeassa muutostilassa. Kasvun nopeutuessa puusto alkaa haihduttaa yhä enemmän maavettä, ja vähitellen myös yhä merkittävämpi osa sadevedestä jää latvuksiin ja haihtuu suoraan niistä. Samanaikaisesti ojat madaltuvat ja niiden kuivatusteho heikkenee (Heikurainen 1980, Keltikangas ym. 1986), jolloin suolta poistuu valumalla yhä vähemmän vettä. Näin vesitase vähitellen palautuu haihduntavoittoiseksi: maanpinnasta tapahtuvan haihdunnan korvaa nyt puuston haihdunta, joka pitää pohjavesipinnan alemmalla tasolla kuin suon ollessa luonnontilassa (Ahti 1987).

Edellisessä kappaleessa kuvattu puuston vedenottoon ja latvushaihduntaan perustuvaa vesitasetta ei kuitenkaan muodostu kaikilla ojitusalueilla, eikä kysymyksessä ole mikään vakaa tasapainotila. Seuraavassa muutamia esimerkkejä.

1) Karuhkoilla rämeillä ja muillakin vajaatehoisesti ojitetuilla soilla puuston kehitys saattaa ojituksen jälkeen olla niin hidasta, ettei puuston haihdunta korvaa ojien umpeenkasvusta aiheutuvaa valunnan pienenemistä. Tällaisilla soilla maan vesitalous saattaa parissa vuosikymmenessä, joskus jopa nopeammin, palata lähelle luonnontilan vesitaloutta: valunta on vähäistä, puuston kasvu on heikkoa, haihdunta tapahtuu heikkona pysyneen puuston takia pääosin maanpinnasta, ja pohjavesipinta on lähellä maan pintaa (Ahti 1991).

2) Puusto on ojituksen jälkeen kehittynyt nopeasti sulkeutuneeksi metsiköksi, joka haihduttaa tehokkaasti vettä ja pitää pohjavesipinnan umpeutuneesta ojastosta huolimatta riittävän syvällä. Jos nyt puuston haihdutus äkillisesti pienenee, pohjavesipinta saattaa kasvukauden kriittisen jak-

son (keskikesä-syksy) aikana kohota ja pysytellä juurikerroksessa niin kauan, että juuristo vaurioituu ja sen toiminta heikkenee (Ahti 1991). Puuston haihdutus voi äkillisesti pienentyä ja pohjavesipinta nousta voimakkaan kasvatushakkuun, tuhohyönteisten ja sienitautien vaikutuksesta tai äkillisen ravinnepuutteen, esimerkiksi kaliumin puutteen takia, jotka kaikki pienentävät sekä kasvua että lehti- ja neulasmassaa. Vaikka näissä tilanteissa puuston elinvoiman heikkenemisen primäärinen syy (hyönteiset, sienet, kalin puute) lakkaisivatkin vaikuttamasta, puuston nopea toipuminen on epätodennäköistä, koska kohonnut pohjavesipinta estää juuriston uusiutumisen ja sen tehokkaan vedenoton.

3) Hyväkasvuinen, runsaspuustoinen ojitusalue, jonka ojasto on ummessa ja jonka suotuisa vesitalous on puuston haihdunnan varassa, saattaa taantua sellaisina vuosina, jolloin heinä-lokakuun sademäärät ovat poikkeuksellisen suuria. Tällaisina vuosina puuston haihdunta ei riitä kompensoiman ojaston heikkoa kuntoa, vaan pohjavesipinta nousee samoin seurauksin kuin esimerkissä 2 (Ahti 1991).

Vesitalouden muutokset, kun suopuusto on kookasta ja kasvu nopeaa

Kunnostusojituksen välitön vaikutus on vesivaraston äkillinen pieneneminen entistä syvemmän tai tiheämmän ojaverkoston kautta tapahtuvan tyhjenemisvalunnan johdosta. Suon vesivarasto pienenee, ja syntyy uusi hydrologinen tasapainotila, jota luonnehtii aiempaa syvemmällä oleva pohjavesipinta. Mikäli puusto on ennen kunnostusojitusta kookasta ja hyväkasvuista, maanpinnasta ei kunnostusojituksen jälkeenkään juuri tapahdu haihduntaa, vaan haihdunta tapahtuu lähes kokonaan puuston vedenoton ja latvuspidännän kautta. Uudessa tasapainotilassa haihdunta jää edelleen puuston varaan, eikä siinä tapahdu oleellisia muutoksia, ellei puuston kasvussa ja sitä kautta sen vedenotossa tapahdu muutosta. Jos puuston kasvu ei muutu pohjavesipinnan laskiessa kunnostusojituksen jälkeen uuden hydrologisen tasapainotilan edellyttämälle alemmalle tasolle, sen enempää valunta kuin haihduntakaan eivät oleellisesti poikkea kunnostusojitusta edeltäneestä tilanteesta.

Vaikka valunnan volyymi ei kunnostusojituksessa kasva, se ajoittuu toisin kuin ennen kunnostusojitusta. Valuntahuiput eivät ojanperkauksen vaikutuksesta muutu: esimerkiksi voimakkaiden kesäsateiden aiheuttama valunta tapahtuu turpeen pintakerroksissa, jolloin matalat ojat toimivat yhtä hyvin kuin syvät. Pienten sateiden aiheuttama valunta viivästyy ojanperkauksen vaikutuksesta: sadeveden on ensin läpäistävä aiempaa paksumpi, pohjavesipinnan yläpuolella oleva turvekerros kulkiessaan kohti syvemmällä olevaa pohjavesipintaa. Valumavedet myös purkautuvat ojiin aiempaa hitaammin syvempien, vettä heikommin läpäisevien turvekerrosten kautta. Täydennysojituksen jälkeen, jossa usein ojien määrä kaksinkertaistuu, valuntahuiput kasvavat, ja valunnan ajoittuminen muuttuu samoin perustein kuin ojanperkauksen jälkeen. Täydennysojituskaan ei aiheuta oleellisia muutoksia kokonaisvaluntaan.

Vesitalouden muutokset, kun suopuusto on pientä ja kasvu hidasta

Suuri osa kunnostusojituskohteista on suhteellisen karuja rämeitä, joilla puusto on uudisojitusvaiheessa ollut vain 3-10 $m^3\ ha^{-1}$:n luokkaa ja puuston kehitys hidasta. Kunnostusojitustilanteessa puuston tilavuus saattaa olla 20-30 $m^3\ ha^{-1}$. Tällaiset puustot kasvavat 1-2 $m^3\ ha^{-1}v^{-1}$, eikä perusojituksen aiheuttama puuston lisääntynyt vedenotto riitä turvaamaan puuston jatkokehitystä, vaan ojitusalueen vesitalous jää ojaston vedenkuljetuskyvyn varaan. Kunnostusojitus lisää välittömästi ojien kautta suolta poistuvaa vesimäärää ja alentaa pohjavesipintaa, mutta vesitalousongelmat toistuvat heti, kun ojasto alkaa kasvaa umpeen. Tällaisilla alueilla puuston kehitys on ojaston kunnon varassa, ja kunnostusojituspäätös voidaan tehdä yksinomaan ojaston kunnon perusteella.

4.1.2 Kunnostusojituksen vaikutus puuston tuotokseen

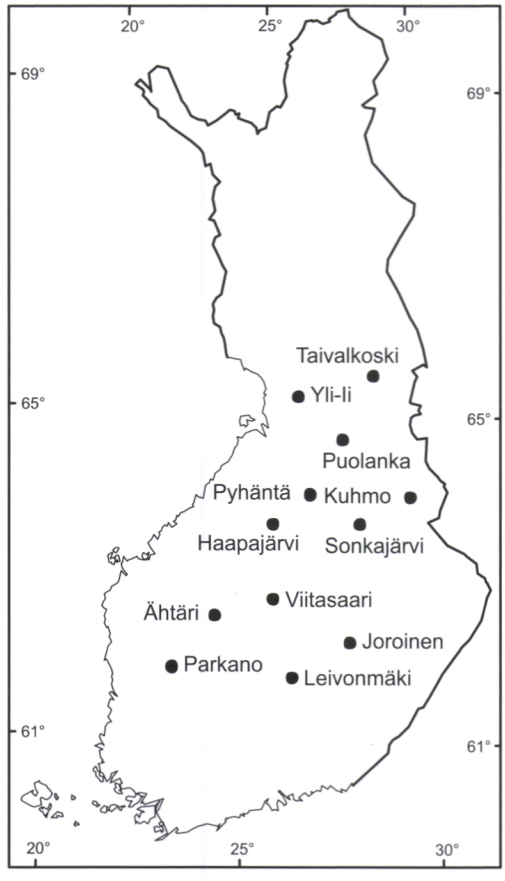
Vaikka ojastoja on Suomessa vuosina 1962-2003 kunnostettu lähes 1,9 miljoonaa hehtaaria (Peltola 2004), kunnostusojituksen vaikutuksesta puuston kasvuun on käytettävissä vähän mittauksiin perustuvia selvityksiä (Ahti 1995, Ahti & Päivänen 1997, Aarnio ym. 1997, Hökkä 1997, Olkinuora 1990, Lauhanen ym. 1998, Lauhanen & Ahti 2001). Lisäksi kunnostusojituksen kannattavuudesta on käytettävissä seuraavassa esiteltävään puustoaineistoon perustuvia selvityksiä (Aarnio ym. 1997, Hytönen & Aarnio 1998).

Vuonna 1981 Metsähallituksen kunnostusojitussuunnitelmien joukosta etsittiin ojitettuja rämeitä, joilla puusto oli uudisojituksen jälkeen kehittynyt niin pitkälle, että tilavuuskasvun mittaaminen olisi mielekästä, ja joilla ei oltu viimeisten 10 vuoden aikana tehty lannoituksia eikä hakkuita. Tutkimuksen kestäessä selvisi, että kahdella kohteella oli tehty jatkolannoitus (Kuhmo 1984, Pyhäntä 1979).

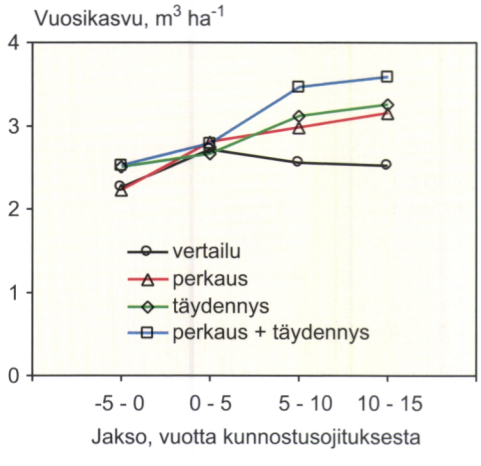
Vuosina 1982-1985 perustettiin yhteensä 12 kenttäkoetta eri puolille Suomea (kuva 1, taulukko 1).

Kuhunkin kenttäkokeeseen pyrittiin sisällyttämään 4 käsittelyä: ojanperkaus, täydennysojitus (eli sarkojen halkaisu), ojanperkaus + täydennysojitus (yhdistelmäkäsittely) sekä kunnostusojittamaton vertailu. Kokeet pyrittiin toteuttamaan vähintään kolmesti toistettuina. Tähän tavoitteeseen päästiin kuitenkin vain muutamalla kokeella (taulukko 2). Erityisesti käsittelyistä riippumattomien vertailuruutujen sisällyttäminen kokeisiin oli hankalaa: kun yksi oja perattiin, sen kummallekaan puolelle ei voitu sijoittaa vertailu- tai täydennysojitusruutua. Yhteensä vertailuruutuja oli 29 kappaletta, ojanperkausruutuja 39, täydennysojitusruutuja 35 ja molemmat toimenpiteet sisältäviä ruutuja 38 kappaletta.

Osalla kokeista seurattiin pohjavesipinnan syvyyttä ennen kunnostusojitusta ja kunnostusojituksen jälkeen. Taulukon 3 luvut osoittavat, että täydennysojitus vaikutti pohjavesipinnan syvyyteen voimakkaammin kuin ojanperkaus.



Kuva 1. Kenttäkokeiden sijainti



Kuva 2. Kunnostusojituksen vaikutus rämemännikön tuotokseen.

Taulukko 1. Kunnostusojituskokeiden taustatietoja. Alkuperäiset suotyypit: LkR = lyhytkortinen räme, TR = tupasvillaräme, TSR = tupasvillasararäme, PsR = pallosararäme, PsKR = pallosarakorpiräme, VSN = varsinainen saraneva, VSR = varsinainen sararäme, KR = korpiräme, RhSR= ruohoinen sararäme. V= lähtöpuuston tilavuus ojalinjahakkuun jälkeen.

Koe	Alkuperäinen suotyyppi	V m^3ha^{-1}	Uudisojitus-vuosi	Lannoitus-vuosi	Kunnostus-ojitusvuosi
Leivonmäki	VSR	52	1955	1970	1983
Joroinen	KR	54	1953	1971	1984
Parkano	TSR	54	1954	ei lann.	1982
Viitasaari	KR	58	1935	1966	1983
Ähtäri	TSR	31	1952-53	1963	1982
Sonkajärvi	PsR	54	1958	1964	1984
Haapajärvi	PsR	61	1926	1974	1982
Pyhäntä	PsKR	39	1958	1966, 1979	1984
Yli-Ii I	LkR	19	1967	1968	1984
Yli-Ii II	VSR	19	1967	1968	1984
Kuhmo	TR	21	1967	1969, 1984	1985
Puolanka I	TSR	43	1930	1965	1982
Puolanka II	VSN	21	1930	1965	1982
Taivalkoski	RhSR	20	1966	1967	1985

Taulukko 2. Kunnostusojituskokeiden taustatietoja. Käsittelyt 0 = kunnostusojittamaton vertailu, a = ojan perkaus, b = täydennysojitus, ab = samanaikainen ojan perkaus ja täydennysojitus (yhdistelmäkäsittely). Haapajärven koe oli perattu kertaalleen jo vuonna 1950.

Koe	Käsittely, kpl koeruutuja				Sarka-leveys, m	Turve-kerros, m	Lämpösumma d.d. °C
	0	a	b	ab			
Leivonmäki	2	4	6	4	51	0,2 - 1,0+	1178
Joroinen	1	1	2	2	63	1,5+	1173
Parkano	1	4	0	5	67	0,5 - 1,3	1132
Viitasaari	1	2	1	2	48	1,1 - 1,5+	1070
Ähtäri	1	3	3	3	46	0,6 - 1,5+	1069
Sonkajärvi	3	4	3	3	47	0,7 - 1,5+	1044
Haapajärvi	2	1	1	0	43	0,5 - 0,7	1044
Pyhäntä	4	4	4	4	50	0,2 - 0,6	1024
Yli-Ii I	3	3	4	4	35	1,5+	1002
Yli-Ii II	2	2	2	2	35	1,5+	1002
Kuhmo	4	4	4	4	45	0,6 - 1,0+	982
Puolanka I	1	3	2	1	44	0,8 - 1,5+	951
Puolanka II	2	2	1	2	44	0,7 - 1,5+	951
Taivalkoski	2	2	2	2	45	1,0+	867

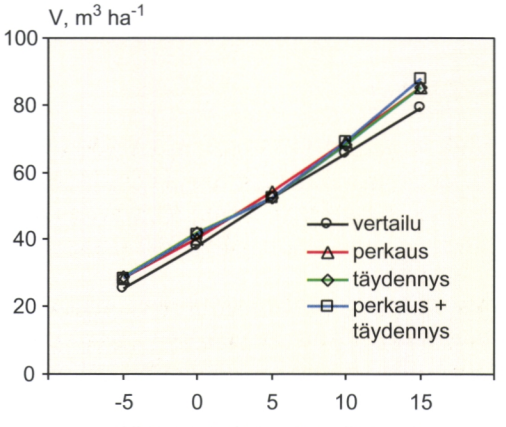
Kuvasta 2 näkyy, että kunnostusojitus on keskimäärin selvästi vaikuttanut puuston tuotokseen, kuitenkin siten, että ensimmäisen kunnostusojitusta seuraavan 5-vuotisjakson aikana tuotoksen muutokset ovat vähäisiä. Tämä johtuu osittain siitä, että ojalinjahakkuut vaikuttavat voimakkaasti puuston kokonaistuotosta vähentävästi ensimmäisen 5-vuotisjakson aikana, ja erityisen voimakkaasti sellaisilla käsittelyillä, joihin sisältyy täydennysojitus. Toisaalta myös biologinen kasvureaktio näyttäisi olevan näillä käsittelyilla suurin, eli täydennysojitus näyttää lisäävän tuotosta enemmän kuin ojanperkaus.

Taulukko 3. Kunnostusojituksen vaikutus pohjavesipinnan syvyyteen

Koe	Puuston tilavuus 5 vuotta kunnostus-ojituksen jälkeen, m^3ha^{-1}	Alkuperäinen sarkaleveys, m	Pohjavesipinnan syvyysmuutos, cm Ojanperkaus	Täydennysojitus	Ojanperkaus + täydennysojitus
Leivonmäki	76	51	- 8,8	- 4,7	- 9,5
Parkano	68	67	-14,0	-	- 23,0
Viitasaari	108	48	+ 2,1	+ 1,1	- 1,5
Ähtäri	37	46	- 1,6	- 6,6	- 11,1
Sonkajärvi	80	47	+ 2,7	- 1,8	- 6,5
Pyhäntä	53	50	- 8,8	- 3,3	- 8,4
Kuhmo	36	45	- 5,5	- 10,0	- 14,8
Yli-Ii	40	35	- 5,7	- 14,2	- 17,9
Taivalkoski	30	45	- 0,6	- 10,4	- 9,2
Keskimäärin	57,5	45,9	- 3,3	- 6,2	- 9,7

Vaikka kunnostusojituksella on ollut selvä vaikutus puuston kasvuun, 0-ruutujen heikompi kasvu alkaa näkyä elävän puuston tilavuudessa vasta viimeisen 5-vuotisjakson aikana (kuva 3). Viisi vuotta kunnostusojituksen jälkeen ojalinjahakkuut näkyvät selvästi täydennysojitus- ja yhdistelmäkäsittelyillä.

Näyttää siltä, että kunnostusojituksen laiminlyöminen vaikuttaa merkitsevästi rämepuustojen kasvuun, mutta kunnostusojituksen myöhästyminen ei kokonaan katkaise puuston tilavuuskehityksen nousevaa trendiä.



Kuva 3. Kunnostusojituksen vaikutus elävän puuston tilavuuteen

Uudisojituksen ja kunnostusojituksen kasvureaktioiden vertailu

Luonnontilaisten suopuustojen kasvusta on julkaistu tutkimustietoa lähinnä ns. aitojen suotyyppien (ks. Laine & Vasander 1990) osalta, jotka jo ennen ojitusta ovat olleet puustoisia (Gustavsen & Päivänen 1986, Päivänen 1988). Tutkimus perustuu vuosina 1951-53 toteutettuun Suomen metsien kolmanteen inventointiin. Seuraavassa taulukossa on esitetty Päiväsen (1988) ja Heikuraisen & Seppälän (1973) tuloksiin perustuvia tietoja luonnontilaisten suopuustojen tilavuudesta ja kasvusta.

Suo-tyyppi	Etelä-Suomi m^3ha^{-1} Tila-vuus	Vuosi-kasvu	Pohjois-Suomi m^3ha^{-1} Tila-vuus	Vuosi-kasvu	Pinta-ala, ha v. 1951-53
LhK*	106	6,4	85	2,8	60 000
RhK	66	4,2	54	1,7	160 000
KgK*	72	3,3	49	1,6	750 000
VK	69	2,8	66	1,7	700 000
KgR*	43	1,6	35	1,0	700 000
KR	53	2,2	39	1,1	430 000
R	45	1,4	29	0,9	660 000

*ohut turvekerros, metsämaan soistumia

Taulukosta käy ilmi, että aidot puustoiset suotyypit kattoivat kolmanneksen Suomen 10 miljoonan hehtaarin suoalasta, todennäköisesti vielä suuremman osan nykyisestä 5,7 miljoonan hehtaarin metsäojitusalasta. Ohutturpeisten aitojen suotyyppien pinta-ala oli ennen koneellisen metsäojituksen alkua peräti 1,5 miljoonaa hehtaaria. Kun ojitetut ohutturpeiset suotyypit, ts. lehtokorvet, kangaskorvet ja kangasrämeet, on viimeisimmissä valtakunnan metsien inventoinneissa usein luokiteltu kivennäismaiksi turvekerroksen ohenemisen vuoksi, alun perin soiksi luokiteltujen maiden on pienenemässä. Kangasmaaksi oli jo 8. inventoinnissa muuttunut 660 000 hehtaaria sellaista maata, joka aikaisemmin luokiteltiin suoksi.

Heikuraisen ja Seppälän (1973) mukaan uudisojitus on 35 vuodessa lisännyt puuston juoksevaa tilavuuskasvua Etelä-Suomen ruohokorvissa 5,4 $m^3ha^{-1}a^{-1}$, mustikkakorvissa 3,3 $m^3ha^{-1}a^{-1}$, varsinaisilla sararämeillä 4,4 $m^3ha^{-1}a^{-1}$, isovarpurämeillä 1,5 $m^3ha^{-1}a^{-1}$ ja tupasvillarämeillä 1,2 $m^3ha^{-1}a^{-1}$. Pohjois-Suomen ruohokorvissa kasvunlisä oli 3,6 $m^3ha^{-1}a^{-1}$, mustikkakorvissa 1,8 $m^3ha^{-1}a^{-1}$, varsinaisilla sararämeillä 1,5 $m^3ha^{-1}a^{-1}$, isovarpurämeillä 0,8 $m^3ha^{-1}a^{-1}$ ja tupasvillarämeillä 0,3 $m^3ha^{-1}a^{-1}$. Karuilla suotyypeillä uudisojituksella saadut kasvunlisäykset ovat siis melko pieniä, erityisesti pohjois-Suomessa. Kunnostusojituksella saatu keskimääräinen puuntuotoksen lisäys (m^3 ha^{-1}) eri 5-vuotisjaksoilla (kunnostusojituksen kohteena olleiden koealojen tuotoskeskiarvoja verrataan 0-ruutujen keskiarvoihin) selviää seuraavasta asetelmasta:

	Jakso, vuosia kunnostusojituksesta		
	1-5	6-10	11-15
Ojien perkaus	+ 0,4	+ 2,1	+ 3,1
Täydennysojitus	- 0,3	+ 2,7	+ 3,7
Perkaus + täydennys	+ 0,3	+ 4,5	+ 5,3

Kuten kuvasta 2 myös asetelmasta nähdään, että kunnostusojituksen vaikutus näkyy selvästi vasta toisella 5-vuotisjaksolla. Kolmannella 5-vuotisjaksolla kunnostusojituksella on jo saatu vuotta kohti 0,6-1,1 m^3 ha^{-1} suuremmat tuotokset kuin 0-ruuduilla, eli kasvun lisäys on merkittävä verrattaessa uudisojituksellakin saatuihin kasvunlisäyksiin.

Edellä esitetyssä huomio kiinnittyy täydennysojituksen ojanperkausta suurempaan kasvulisäykseen. Tämän perusteella voidaan päätellä, että kun ojanperkauksessa on kysymys ojaston kuivatustehon palauttamisesta, täydennysojitus lisää ojaston alkuperäistä kuivatustehoa. Kun edelleen ojanperkauksen ja täydennysojituksen suhteellinen kasvuero on suurimmillaan pohjois-Suomessa, voidaan arvioida, että ojaverkoston tulisi siellä suurimman tuotoksen saavuttamiseksi olla tiheämpi kuin etelä-Suomessa. Jos kunnostusojituksen vaikutusta tarkastellaan markkamääräisesti, jolloin tärkeää ei ole suurin mahdollinen tuotos tai kasvunlisäys prosenteissa vaan kasvunlisäys kuutiometreissä, kuivatuksen tehostaminen pohjois-Suomessa ei aina liene kannattavaa (Keltikangas 1971). Tämä johtuu siitä, että puuston kasvu saattaa parhaissakin olosuhteissa olla pohjois-Suomessa niin vähäistä, etteivät investoinnit suometsien kasvatukseen ole kannattavia. Sen sijaan Suomen eteläpuoliskossa myös kunnostusojitukseen sijoitetut rahat tulevat todennäköisesti korkojen kanssa takaisin, vaikka prosentuaaliset kasvunlisäykset ovat pienempiä kuin pohjois-Suomessa.

Kirjallisuus

Aarnio, J., Ahti, E., Hytönen, L.A. & Lauhanen, R. 1997. Kunnostusojitus. Julkaisussa: Mielikäinen, K. & Riikilä, M. (toim.). Kannattava puuntuotanto. Kustannusosakeyhtiö Metsälehti. s. 102-108.

Ahti, E. 1987. Water balance of drained peatlands on the basis of water table simulation during the snowless period. Commun. Inst. For. Fenn. 141. 64 s.

Ahti, E. 1991. Kunnostusojituksen puuntuotanto- ja ympäristövaikutukset. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 374: 12-14.

Ahti, E. 1995. Kunnostusojituksen vaikutus pohjavesipinnan syvyyteen ja männyn pohjapinta-alan kasvuun karuhkoilla rämemuuttumilla. Teoksessa Hytönen, J. & Polet, K.(toim.) Metsäntutkimuspäivä Kälviällä 1994. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 540: 49-58.

Ahti, E. & Päivänen, J. 1997. Response of stand growth and water table level to maintenance of ditch networks within forest drainage areas. Teoksessa: Trettin, C.C., Jurgensen, M.F., Grigal, D.F., Gale, M.R. & Jeglum, J.K.(toim.). Northern Forested Wetlands: Ecology and Management. CRC Press Inc.; Lewis Publishers, USA. s. 449-457.

Gustavsen , H. & Päivänen, J. 1986. Luonnontilaisten soiden puustot kasvullisella metsämaalla 1950-luvun alussa. Folia Forestalia 673. 27 s.

Heikurainen, L. & Päivänen, J. 1970. The effect of thinning, clear cutting, and fertilization on the hydrology of peatland drained for forestry. Acta Forestalia Fennica 104. 23 s.

Heikurainen, L. & Seppälä, K. 1973. Ojitusalueiden puuston kasvun jatkumisesta ja alueellisuudesta. Acta Forestalia Fennica. 132. 36 s.

Heikurainen, L. 1980. Kuivatuksen tila ja puusto 20 vuotta vanhoilla ojitusalueilla. Acta Forestalia Fennica 167. 39 s.

Hytönen, L.A. & Aarnio, J. 1998. Kunnostusojituksen erilliskannattavuus muutamilla karuhkoilla rämeillä. Suo 49(3): 87-99.

Hökkä, H. 1997. Models for predicting growth and yield in drained peatland stands in Finland. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 651. 45 s. + 3 osajulkaisua.

Keltikangas, M. 1971. Sarkaleveyden vaikutus ojainvestoinnin taloudelliseen tulokseen. Acta Forestalia Fennica 123. 70 s.

Keltikangas, M. , Laine, J. , Puttonen, P. & Seppälä, K. 1986. Vuosina 1930-78 metsäojitetut suot: ojitusalueiden inventoinnin tuloksia. Acta Forestalia Fennica 193. 94 s.

Laine, J. & Vasander, H. 1990. Suotyypit. Kirjayhtymä. Helsinki. 80 s.

Lauhanen, R. , Piiroinen, M.-L., Penttilä, T. & Kolehmainen, E. 1998. Kunnostusojitustarpeen arviointi Pohjois-Suomessa. Suo 49(3): 101-112.

Lauhanen, R. & Ahti, E. 2001. Effects of maintaining ditch networks on the development of Scots pine stands. Suo 52(1): 29-38.

Olkinuora, M. 1990. Kunnostusojituksen vaikutus pohjavesipinnan tasoon ja puuston kasvuun. Tutkielma. Helsingin yliopisto. 54 s.

Peltola, A. (toim.) 2004. Metsätilastollinen vuosikirja 2004. Metsäntutkimuslaitos. SVT, maa-, metsä- ja kalatalous 2004: 45. 416 s.

Päivänen, J. 1988. Luonnontilaisten soiden puustot. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 308: 169-172.

Seuna, P. 1988. Effects of clear-cutting and forestry draining on runoff in the Nurmes-study. Symposium on the hydrology of wetlands in temperate and cold reagions - vol. 1. Joensuu, Finland 6-8 June 1988, Suomen Akatemian julkaisuja 4/1988: 122-134.

Virta, J. 1966. Measurement of Evapotranspiration and Computation of Water Budget in Treeless Peatlands in the Natural State. Commentationes Physico-Mathematicae, Societas Sdientarum Fennica, Vol. 32 (11) 1966. 70 s.

4.2 Harvennushakkuut ojitusalueilla

Timo Penttilä, Hannu Hökkä, Soili Kojola, Erkki Ahti, Sakari Sarkkola, Juhani Päivänen ja Raija Laiho

4.2.1 Suopuustojen rakenne

Yleistä suopuustojen läpimittajakaumista

Läpimittajakaumalla kuvataan puiden jakaantumista eri kokoluokkiin metsikön sisällä. Se antaa yksityiskohtaisemman kuvan puustosta kuin pelkät summa- ja keskitunnukset. Läpimittajakaumalla on merkitystä arvioitaessa esim. hakkuukertymän rakennetta ja hakkuun kannattavuutta. Läpimittajakauman määrittäminen on keskeistä metsätalouden suunnittelussa. Usein metsikkökuvioiden puuston läpimittajakaumaa ei ole mitattu, joten puuston tulevan kehityksen ennustamiseksi simuloimalla joudutaan kokojakauma jollakin keinolla tuottamaan. Tämä tehdään ennustemalleilla, joilla jonkun tunnetun jakaumafunktion parametrin arvot ennustetaan metsikkötunnuksien avulla ja ennustettujen parametrien avulla tuotetaan puiden läpimittajakauma.

Luonnontilaisille soille on tyypillistä, että puusto koostuu erikokoisista ja -ikäisistä puista, joten ikä- ja läpimittajakaumat ovat voimakkaasti vinoja laskevia jakaumia (esim. Heikurainen 1971, Gustavsen & Päivänen 1986), mikä tarkoittaa suurta lukumäärää puita pienissä läpimittaluokissa. Aiempien tutkimusten tulosten perusteella on todettu suopuustojen rakenteen säilyvän erikokoisena myös vuosikymmeniä ojituksen jälkeen (Hökkä & Laine 1988, Laiho ym. 1997). Nämä tulokset perustuvat kuitenkin poikkileikkausaineistoihin, joissa metsikkötason dynamiikkaa ei ole voitu tutkia. Puuston rakenteen muutoksen kuvaaminen kronosekvenssinä, joka muodostetaan asettamalla kertakoealoilta mitattujen puustojen keskimääräinen rakenne ojitusiän suhteen aikasarjaksi voi antaa harhaisen kuvan todellisesta metsikkötason dynamiikasta. Luotettavaan selvitykseen päästään vain samojen metsiköiden seurannalla. Suometsiköiden rakenteen muutoksen selvittämiseksi ja kuvaamiseksi päätettiin tehdä kestokoealoihin perustuva tutkimus rakenteen dynamiikasta ojitetuilla korvilla ja rämeillä läpimittajakaumien muutoksia tutkimalla.

Kuusivaltaiset korvet

Puuston rakenteen dynamiikkaa kuusivaltaisissa korvissa tutkittiin Metlan ja Helsingin yliopiston vanhojen kestokoealojen avulla. Yhteensä 33 toistuvasti mitatun metsikön puittaiset (kuuset ja hieskoivut) läpimittajakaumat tasoitettiin Weibull-jakaumalla ja laadittiin regressiomallit jakauman muotoparametrille. Korpien osalta voitiin todeta, että jakaumat muuttuivat 60 vuodessa luonnontilaisten soiden voimakkaasti vinoista jakaumista kohden normaalijakaumaa ja lopulta suuriin puihin painottuviksi, lievästi vinoiksi jakaumiksi. Jakauman muodon muutos todettiin johtuvan aluksi uusien puiden syntymisestä ja myöhemmin niiden määrän voimakkaasta vähenemisestä sekä alaharvennusten vuoksi, että myös siksi, että pieniä puita kuolee enemmän, koska ne häviävät kilpailussa suuremmilleen. Kuusen mallissa jakauman muotoa kuvaavan parametrin muutosta selittivät mediaani- ja maksimiläpimitan erotus, runkoluku ja ojituksesta kulunut aika. Koivun jakauman muotoa selittivät mediaani- ja maksimiläpimittojen erotus ja pohjapinta-ala.

Uudistuskypsissä metsissäkin läpimittojen vaihtelu oli silti hyvin laaja, joten metsiköiden rakenteellinen monimuotoisuus säilyi hoidosta huolimatta. Aineistosta tosin ei voitu tutkia täysin hakkaamattomien metsiköiden luontaista dynamiikkaa, mutta toteutetut hakkuut ovat olleet keskimäärin hyvin lieviä, joten voitiin olettaa, että niissä oli pääasiallisesti korjattu puustoa, joka tulisi siirtymään luonnonpoistumaksi ilman hakkuita. Tutkimuksesta on valmistunut julkaisu Sarkkola ym. (2003).

Mäntyvaltaiset rämeet

Männikkötutkimus perustui samoin aineiston osalta Metlan ja Helsingin yliopiston toistuvasti mitattuihin kestokoealoihin. Mäntyvaltaisia puustoja oli yhteensä 83 metsikköä. Männiköissä rakenne muuttui hyvin paljon ojituksen jälkeen. Luonnontilaisten soiden puuston erikokoisrakenne muuttui ojituksen jälkeen vielä selvemmin erikokoiseksi ensimmäisten 20-30 vuoden aikana etenkin sararämeillä. Tämä johtui metsiköiden täydentymisestä uusien puiden syntymisen kautta. Myöhemmin puuston rakenne muuttui niin, että pienten puiden määrä väheni voimakkaasti ja jakauma alkoi lähestyä symmetristä jakaumaa ja lopulta oikealle vinoa jakaumaa. Muutos tapahtui nopeammin harvennushakkuin käsitellyillä koealoilla. Harvennetuissa metsiköissä puusto myös järeytyi nopeammin.

Valtapuuston jakauman muodon muutosta kuvattiin tasoittamalla männyn ja hieskoivun yhdistetyt läpimittajakaumat Weibull-funktiolla ja laatimalla regressiomalli muotoa kuvaavalle parametrille. Jakauman muotoa selittivät maksimi- ja keskiläpimitan suhde, runkoluku, hakkuussa poistunut runkoluku, lehtipuuston osuus pohjapinta-alasta, kasvupaikka ja ojituksesta kulunut aika. Tärkein kasvupaikkatekijä oli alunperin nevamaisten sekatyypin soiden ja aitojen suotyyppien erottelu, sillä niillä kehitys oli erilaista (Sarkkola ym. 2005).

Tämän lisäksi tarkasteltiin erikseen 10 täysin hakkaamattoman koealan avulla luontaisen uudistumisen, kasvun ja kuolemisen vaikutusta jakauman muotoon (Sarkkola ym. 2004). Voitiin todeta, että suurimmat muutokset runkoluvuissa tapahtuivat pienikokoisten puiden joukossa, joiden määrä ojituksen jälkeen lisääntyi voimakkaasti. Tosin niiden kuolleisuus alkoi myös lisääntyä, mutta viiveellä. Runkoluku oli suurimmillaan 20 vuoden kuluttua ojituksesta. Kuolleiden puiden läpimittajakauma oli samanmuotoinen elävien puiden kanssa, mutta jakauman huippu oli selvästi pienemmissä läpimittaluokissa. 50-60 vuoden kuluttua ojituksesta myös jonkin verran suuria puita alkoi kuolla, mihin oletettiin olevan syynä valtapuiden korkea ikä. Ojituksen jälkeen alunperin erikokoisten rämemänniköiden tihentyminen ja parantunut kasvu voimistavat puiden välistä kilpailua, mikä muuttaa puuston jakauman lopulta kellokäyrän muotoiseksi ja metsikön suhteellisen tasarakenteiseksi.

4.2.2 Harvennushakkuiden perusteet

Harvennushakkuiden tärkeimpänä tavoitteena on ohjata puiden käytettävissä olevat kasvuresurssit lukumääräisesti harvemmille puuyksilöille niiden kasvuedellytysten parantamiseksi. Resurssien keskittämisen avulla voidaan parantaa puuntuotannon taloudellista kannattavuutta. Lisäksi harvennushakkuilla voidaan ehkäistä erilaisia liikatiheydestä aiheutuvia tuhoja ja vähentää siten luonnonpoistumaa. Harvennus merkitsee lähes aina metsikön kokonaisrunkopuutuotoksen alenemista harventamattomaan vaihtoehtoon verrattuna. Jotta harvennus olisi taloudellisesti mielekästä, kokonaisrunkopuun tuotostappion tulee kompensoitua kasvamaan jäävän puuston käyttöpuutuotoksen määrän ja/tai arvon lisääntymisen kautta. Käytännössä tämä edellyttää, että harvennus lisää yksittäisten puiden runkopuun kasvua eikä ainakaan merkittävästi heikennä laatuominaisuuksia. Harvennuksesta saadaan etuja myös sitä kautta, että runkojen suurempi keskijäreys alentaa korjuukustannuksia ja ainakin osa hakkuutuloista aikaistuu

harventamattomana kasvatettavaan metsään verrattuna.

Tiheässä metsässä puiden välillä on kasvua rajoittaviin resursseihin liittyviä vuorovaikutuksia eli puiden välistä kilpailua, joka hidastaa yksittäisten puiden kasvua. Harvennuksissa puiden välinen kilpailu vähenee, mutta kasvamaan jäävien puiden kasvureaktiot riippuvat paljon siitä, millainen kilpailutilanne metsikön puiden välillä vallitsee harvennuksen toteutusvaiheessa. Jos kilpailua ei ole lainkaan, kasvureaktioitakaan ei ole odotettavissa. Toisaalta liian voimakas kilpailu on jo saattanut heikentää puuyksilöiden elinvoimaa niin paljon, että ne eivät kykene käyttämään harvennuksen tarjoamaa hyötyä. Kohtuullisen kilpailun vallitessa puiden reagointi harvennukseen riippuu ehkä merkittävästikin siitä, mistä kasvuresursseista kulloinkin on eniten kilpailua.

Puiden välisen kilpailun luonnetta voidaan analysoida kilpailuun liittyviin teorioihin nojautuen tarkastelemalla esimerkiksi eri latvuskerroksiin kuuluvien puiden suhteellisen kasvun ja koon välisiä vuorosuhteita. Puhtaassa valokilpailutilanteessa vallittujen puiden suhteellinen kasvu on puun kokoon nähden hitaampaa kuin vallitsevien puiden, ts. vallitut puut kärsivät kilpailusta selkeästi enemmän. Kilpailun sanotaan tällöin olevan yksisuuntaista. Yksisuuntaisessa kilpailussa vallitsevien ja vallittujen puiden kokoerot kasvavat, vallitut puut eriytyvät aluspuustoksi ja lopulta varjoon jääneet puut kuolevat. Yksittäisten puiden tasolla valokilpailu ilmenee neulasten ja oksien kuolemisena latvusten varjoon jäävissä alaosissa. Puut myös suuntaavat uuden yhteyttävän neulasmassan tuotantoa valoon eli mahdollisimman ylös, jolloin puiden latvusraja nousee, latvussuhde pienenee ja lopulta latvuksista tulee tupsumaisia. Puhtaan valokilpailun tilanteessa pelkästään vallittujen puiden poistaminen harvennuksessa ei paranna valtapuiden elinvoimaa eikä siten lisää niiden kasvua.

Jos kilpailu hidastaa jokseenkin yhtä paljon sekä suurten että pienten puiden kasvunopeutta suhteessa puiden kokoon, kilpailun sanotaan olevan kaksisuuntaista. Puiden keskinäiset kokoerot eivät tällöin olennaisesti muutu ajan myötä, joten esimerkiksi lähtökohdaltaan erirakenteiset metsiköt myös säilyvät erirakenteisina suhteellisen tiheyden kasvamisesta ja kilpailun voimistumisesta huolimatta. Esimerkiksi juuristokilpailun ajatellaan yleensä olevan kaksisuuntaista kilpailua.

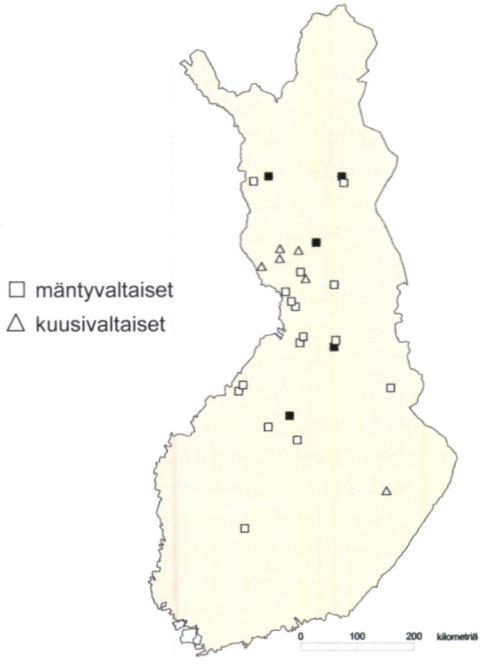
Ankara juuristokilpailu voi aiheuttaa kaiken kokoisten puiden kuolemista. Yksittäisissä puissa latvusraja ei juuristokilpailun takia nouse, mutta elinvoiman heikkeneminen alentaa silti yhteyttävän massan puukohtaista määrää optimitasoon verrattuna. Puiden latvuksissa neulasten ja oksien kuolemista voi tapahtua latvuksen kaikissa osissa. Kaksisuuntaisen kilpailun tilanteessa alaharvennus lisää myös vallitsevien puiden elinvoimaa ja kasvua. Kasvun lisäksi niin vallitsevien kuin vallittujenkin puiden ravinnetilan voi myös odottaa paranevan.

Valokilpailu on tyypillistä tiheinä ja tasarakenteisina kehittyville ja latvustoltaan sulkeutuneille valopuulajien metsiköille sellaisilla kasvupaikoilla, joilla ravinteisuus, kuivuus tai liika kosteus ei rajoita kasvua. Juuristokilpailua taas esiintyy erityisesti silloin, kun mainitut maaperään liittyvät kasvutekijät rajoittavat puiden kasvua. Tällöin metsiköt usein kehittyvät siinä määrin epätasaisina ja aukkoisina, että latvusto ei täysin sulkeudu. Käytännössä puhtaan valo- tai juuristokilpailun esiintyminen boreaalisissa metsissä lienee varsin harvinaista, ja esimerkiksi kasvatusmetsiemme männiköissä esiintyy yleisesti sekä valo- että juuristokilpailua yhtä aikaa.

Boreaalisissa oloissa ilmaston kylmyys rajoittaa mikrobitoimintaa ja sitä kautta myös orgaanisesti sitoutuneiden ravinteiden saatavuutta, mikä edelleen rajoittaa puiden kasvua. Turvemailla erityisesti fosforin saatavuus on yleisesti puiden kasvua rajoittava tekijä. Onkin ilmeistä, että harvennushakkuuvaihetta lähestyvissä suometsissä puiden välillä on latvusten mahdollisen valokilpailun lisäksi myös juuristokilpailua. Märissä oloissa juuristokilpailua voi ravinteiden lisäksi olla hapesta eli aerobisesta huokostilasta. Suomen oloissa

kuivuus lienee ojitetuillakin soilla siinä määrin poikkeuksellista, että kilpailua vedestä esiintyy harvoin. Juuristokilpailun suhteellinen merkitys ilmeisesti kasvaa ravinteiden ja hapen saatavuuden heikentyessä, eli sitä esiintynee karuilla kasvupaikoilla enemmän kuin viljavilla, pohjoisessa useammin kuin etelässä ja veden vaivaamilla kasvupaikoilla todennäköisemmin kuin hyvin vettä läpäisevillä mailla.

Laajoihin ojitettujen suometsien inventointiaineistoihin perustuvissa tutkimuksissa on osoitettu, että yksittäisten puiden kasvu pienenee metsikön suhteellisen tiheyden kasvaessa (Penner ym. 1995, Hökkä ym. 1997) ja että tämä kilpailuvaikutus kohdistuu metsikön sisällä yhtälailla sekä pieniin että suuriin puihin (Penner ym. 1995). Harvennusvaikutuksia näistä inventointiaineistoista ei kuitenkaan ole voitu luotettavasti analysoida. Siihen tarkoitukseen tarvitaan järjestettyjä kenttäkokeita, joissa tutkittaviin ilmiöihin vaikuttavia häiriötekijöitä voidaan helpommin kontrolloida. Tällaisten kokeiden alustavia tuloksia tarkastellaan seuraavissa luvuissa.



Kuva 1. Suometsien harvennuskokeiden sijainti. Intensiiviseurannan kokeet merkitty täytetyillä symboleilla.

4.2.3 Harvennushakkuiden ekologiset vaikutukset

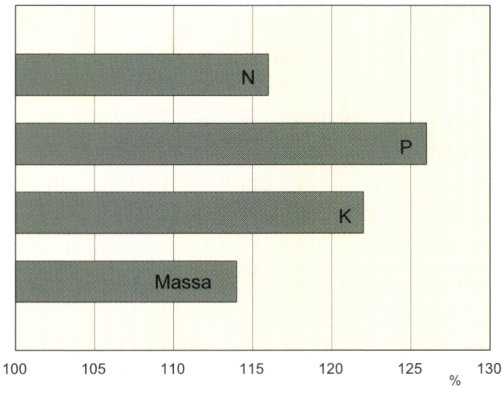
Harvennushakkuiden ekologisia vaikutuksia on selvitetty osalla niistä kenttäkokeista, joita Metsäntutkimuslaitos perusti 1980-luvun loppupuolelta alkaen suometsien harvennusten puustovaikutusten selvittämiseksi (kuva 1). Intensiivisimmin seuratut kohteet sijaitsevat Keski- ja Pohjois-Suomessa ja niillä on selvitetty mm. eri harvennuskäsittelyjen vaikutusta pohjavesipinnan vaihteluun, pintaturpeen lämpöoloihin, hajotusaktiivisuuteen, juuristokerroksen turpeen tiheyteen ja ravinnepitoisuuksiin, puuston ravinnetilaan sekä biomassan ja ravinteiden jakaantumiseen puuston ja puiden eri osien kesken. Suuri osa tuloksista on vielä julkaisematta, mutta seuraavassa tarkastellaan niitä joiltakin osin.

Pohjavesipinnan vaihtelu

Harvennuksen vaikutusta kasvupaikan vesitalouteen seurattiin neljällä harvennuskokeella kolmen kasvukauden ajan. Harvennuksen vaikutus pohjavesipinnan vaihteluun oli vähäinen, joskin useimmissa kokeissa ja useimpina vuosina pohjavesipinnan taso oli keskimäärin alimmillaan harventamattomilla koealoilla (Hökkä & Penttilä 1995). Harvennuksen yllättävän vähäisen vaikutuksen arveltiin johtuneen siitä, että seuratuissa kohteissa pohjavesi oli ilmastollisista syistä luonnostaan varsin korkealla tasolla (etäisyys maan pinnasta <30-40 cm), jolloin puuston määrä tai siinä tapahtuvat melko vähäiset muutokset eivät todennäköisesti juurikaan vaikuttaneet pohjavesipinnan tasoon (ks. myös Päivänen & Sarkkola 2002).

Puuston ravinnetila

Kolmessa koemetsikössä seurattiin eri harvennuskäsittelyjen vaikutusta puuston ravinnetilaan eri latvuskerroksiin kuuluvista puista useana peräkkäisenä vuonna tehtyjen neulasanalyysien avulla. Harvennuksen jälkeen puiden ravinnetila parani kaikissa latvuskerroksissa. Harvennetuilla koealoilla uusimpien neulasten koko (100 neulasen kuivamassa) oli harvennusvoimakkuudesta riippumatta noin 15 % suurempi kuin harventamattomilla (Hökkä ym. 1996, Penttilä ym., julkaisematon aineisto). Neulasten ravinnepitoisuuksissa havaittiin lievää nousua, mikä yhdistettynä neulasten koon kasvuun osoitti harvennuksen lisänneen merkitsevästi ainakin fosforin, magnesiumin, sinkin ja boorin määriä kaikkien latvuskerrosten puiden ylälatvusten uusimmissa neulasissa. Niukkuutta ja puiden välistä kilpailua näytti olleen erityisesti fosforista, jonka määrä neulasissa lisääntyi harvennuksen jälkeen selvästi enemmän kuin neulasten koko (kuva 2).



Kuva 2. Harvennuksen suhteellinen vaikutus (harventamaton = 100%) uusimpien neulasten kuivamassaan ja ravinnesisältöön. Lähde: Hökkä ym. 1996.

Biomassan ja ravinteiden jakautuminen

Yhdellä ravinneseurantakohteista (Pyhäjärvi) harventamattomien kontrollikoealojen ja voimakkaasti harvennettujen koealojen neulasnäytekoepuut kaadettiin kahdeksan kasvukauden kuluttua harvennuskokeen perustamisesta, ja niistä analysoitiin maanpäällisen biomassan ja sen sisältämien ravinteiden jakaantuminen runkopuun eri osiin: kuoreen, eläviin oksiin ja eri-ikäisiin neulasiin latvuksen eri osissa sekä kuolleisiin oksiin. Samoin selvitettiin runkoanalyysillä runkopuun kuoreton vuotuinen kasvu.

Ensimmäisten viiden vuoden aikana harvennus ei lisännyt yksittäisten puiden runkopuun biomassaa tai runkopuun kokonaistilavuutta kontrolliin verrattuna missään latvuskerroksessa (Penttilä & Laiho, julkaisematon aineisto). Puiden suhteellinen pohjapinta-alan kasvu rinnankorkeudella sen sijaan lisääntyi harvennuksen jälkeen jo ensimmäisellä 5-vuotisjaksolla, selvimmin pienillä puilla mutta merkitsevästi myös valtapuilla (Penttilä ym., käsikirjoitus). Erilaiset tulokset harvennuksen vaikutuksesta puiden pohjapinta-alan kasvuun ja koko runkopuun kasvuun viittaavat siihen, että harventamattomilla koealoilla kasvu olisi painottunut enemmän runkojen yläosiin ja harvennetuilla alaosiin. Myöhemmin erityisesti valtapuiden pohjapinta-alan kasvu ja niiden koko runkopuun tilavuuskasvu alkoivat lisääntyä harvennetuilla koealoilla nopeammin kuin harventamattomilla.

Yksittäisten puiden oksa- ja neulasmassat olivat harvennetuilla koealoilla selvästi suurempia kuin harventamattomilla, kun verrattiin latvuskerroksittain läpimitaltaan samankokoisia puita (Penttilä & Laiho, julkaisematon aineisto). Koko latvusmassan ravinnepitoisuuksissa erot käsittelyjen välillä olivat vähäisiä, mutta latvusten ylimmässä kolmanneksessa harvennus lisäsi fosforin ja kaliumin määrää kaikkien latvuskerrosten puilla. Tarkasteltaessa puiden koko maanpäällistä biomassaa, harvennettujen koealojen puut sisälsivät selvästi enemmän fosforia, kaliumia ja sinkkiä, mutta vain hieman enemmän typpeä ja mangaania kuin kontrollikäsittelyn puut. Magnesiumin määrässä ei ollut eroja ja kalsiumin määriä harvennus hieman vähensi.

Tulokset kasvun ja ravinteiden jakaantumisesta metsikön sisällä osoittivat, että harvennus lisäsi kaikissa latvuskerroksissa puiden elinvoimaisuutta ja paransi niiden ravinnetilaa. Ravinnetilan paraneminen näkyi selvimmin puiden latvusten ylimmissä osissa. Tulokset vahvistivat sitä oletusta, että harvennusvaihetta lähestyvissä turvemaan männiköissä ravinnekilpailu voi olla valokilpailua voimakkaampaa. Tähän saattavat liittyä myös heikohkot tai ainakin hitaat reaktiot runkopuun kasvussa.

4.2.4 Harvennushakkuun puustovaikutukset

Ensiharvennukset ojitetuilla rämeillä

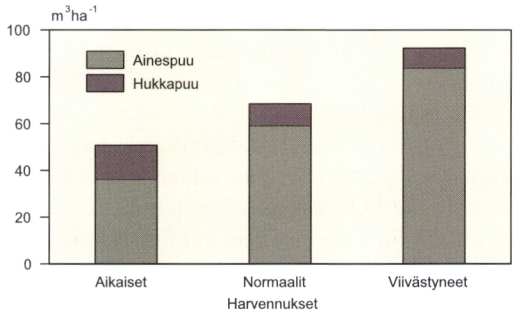
Suometsien ensiharvennukset ovat muutama vuosikymmen sitten tehtyjen mittavien uudisojitusten jäljiltä laajoilla alueilla ajankohtaisia. Harvennuksia on kuitenkin toteutettu selvästi vähemmän kuin mitä esimerkiksi VMI-tulosten tai metsäsuunnitelmien perusteella on harvennustarpeeksi arvioitu. Syynä vähäiseen kiinnostukseen ensiharvennusten toteuttamista kohtaan on pidetty mm. suometsien ensiharvennusten heikkoa kannattavuutta, minkä taas on arvioitu johtuvan mm. pienistä hakkuukertymistä, turvemaiden ongelmallisista korjuuolosuhteista tai mäntykuidun ajoittain heikosta kysynnästä.

Kertymien pienuus saattaa osittain olla näennäistä. Suometsien hakkuiden toimenpide-ehdotukset voivat olla ennenaikaisia, koska puuston ryhmittäisen rakenteen vuoksi toisissa osissa suoaluetta harvennustarve on ilmeinen toisten osien ollessa jopa vajaapuustoisia. Harvennusehdotus tehdään kuitenkin yleensä laajahkoille toimenpidekuvioille, jolloin keskimääräinen kertymä voi jäädä pieneksi. Harvennuskertymien määriin vaikuttaa mm. se, miten hakkuut ajoittuvat puuston eri kehitysvaiheisiin. Näin ollen eräs keino ensiharvennusten kannattavuuden parantamiseen voisi olla harvennusten viivästäminen, jolloin kertymän määrää saataisiin suurennettua. Samalla varmistuttaisiin siitä, että harvennuksen jälkeen jää riittävästi puustoa edelleen kasvatettavaksi. Suopuustojen ryhmittäisyydestä johtuvia "liian hätäisiä" harvennusehdotuksia voitaisiin myös välttää taimikonhoidolla, jonka avulla ryhmittäisyyttä saadaan tasoitettua jo puuston kehityksen alkuvaiheissa. Taimikonhoidolla käsitelty metsikkö myös kestää paremmin ensiharvennuksen viivästymisen.

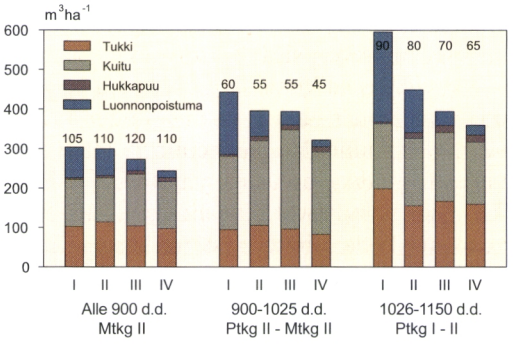
Wood Wisdom tutkimusohjelmaan kuuluneen hankkeen "Kuituraaka-aineen laatu ja tuotos ojitetuilla soilla" osatutkimuksessa tarkasteltiin erilaisten harvennusajankohtien vaikutusta harvennuskertymien määrään ja rakenteeseen (Kojola ym. 2005). Tutkimus perustui Metlan suometsien harvennuskokeisiin. Tarkasteluun valitut 15 koemetsikköä edustivat mäntyvaltaisia, taimikonhoidolla aiemmin käsiteltyjä ja hyvässä kuivatustilassa olevia rämemänniköitä eri kasvupaikoilta ja eri puolilta Suomea. Ensiharvennuksen ajankohdan suhteen ne ryhmiteltiin aikaisiin (valtapituus 10-13 m), normaaleihin (13-16 m) ja viivästyneisiin (16-19 m) tapauksiin.

Harvennuskertymän suuruus riippui voimakkaasti metsikön harvennuskypsyydestä (kuva 3). Aikaisten harvennusten kertymät jäivät 30-35 kuutiometrin tuntumaan, mitä voidaan pitää korjuun kannalta huonosti kannattavana. Viivästämällä harvennuksia 15-16 metrin valtapituusvaiheeseen tai vieläkin myöhemmäksi voitiin ensiharvennusten ainespuukertymiä kasvattaa jopa yli kaksinkertaisiksi aikaisiin harvennuksiin verrattuna. Vastaavasti hukkapuun osuus pieneni poistettavien puiden järeytyessä. Kaikissa harvennusajankohdissa poistettava puusto oli lähes kokonaan kuitupuuta.

Vaikka harvennuskertymien määriin voidaankin hakkuun ajankohdan valinnalla vaikuttaa, tulisi ensimmäisten hakkuiden kannattavuutta kuitenkin arvioida myös muiden kuin välittömien hakkuutulojen muodossa, sillä ensiharvennuksilla on vaikutusta puuston jatkokehitykseen, puuston laatuun ja myöhäisempien hakkuiden tuottoon ja tuotokseen. Ojitetuilla soilla harvennusten puustovaikutuksiin yhdistyvät kiinteästi myös kunnostusojitusten vaikutukset.



Kuva 3. Ainespuukertymän ja hukkapuun määrä (m^3ha^{-1}) puuston kehityksen suhteen aikaisissa, normaaleissa ja viivästyneissä ensiharvennuksissa.



Kuva 4. Esimerkkejä kokonaistuotoksesta eri käsittelyvaihtoehdoissa ja kasvupaikka/tuotosryhmissä. Palkkien yläpuoliset numerot kuvaavat ensimmäisestä harvennuksesta uudistamiskypsyyteen kulunutta aikaa vuosina. Käsittelyt: I - harventamaton, II - lievä ensiharvennus + viivästynyt normaali harvennus, III - normaalit harvennukset, IV - voimakkaat harvennukset.

Harvennusyhdistelmien vaikutukset rämemänniköiden kasvuun ja tuotokseen

Metsikön koko kiertoajan puuntuotokseen ja hakkuukertymiin vaikuttavat ensiharvennusten lisäksi myös muiden harvennusten lukumäärät ja voimakkuudet sekä harvennusten ja päätehakkuun toteuttamisajankohdat. Toisessa Wood Wisdom –tutkimusohjelman osatutkimuksessa selvitettiin vaihtoehtoisten harvennusyhdistelmien vaikutuksia ojitettujen suometsien kasvuun (Kojola ym. 2004a).

Metlan suometsien harvennuskokeiden puustoille määriteltiin erilaisia harvennushakkuiden yhdistelmiä. Ensimmäiset harvennukset olivat kokeiden perustamisvaiheessa tehtyjä lieviä, normaaleja tai voimakkaita harvennuksia, joissa puiden valinnalla pyrittiin ensisijaisesti tasoittamaan puuston tilajakaumaa. Metsiköiden jatkokehitys ja seuraavat harvennukset simuloitiin MOTTI-simulaattorilla. Vaihtoehtoiset yhdistelmät sisälsivät i) harventamattoman vertailun, ii) yhden lievän + yhden viivästyneen harvennuksen (normaali voimakkuus), iii) normaalien harvennusten sarjan sekä iv) voimakkaiden harvennusten sarjan. Simuloidun kehityksen aikana suon kuivatustilaa pidettiin yllä simulaattorin kunnostusojitustarvetta ennustavien ja ojitusten lisäkasvuvaikutusta kuvaavien mallien avulla. Simulointeja jatkettiin kunnes metsiköt saavuttivat metsänhoitosuositusten mukaisen, puuston keskiläpimittaan perustuvan uudistamisajankohdan.

Suurimmat kokonaistuotokset saatiin odotetusti harventamattomissa vaihtoehdoissa, mutta tällöin myös luonnonpoistuman osuus oli suurin, lähes kolmannes kokonaistuotoksesta (kuva 4). Aivan heikoimpia kasvupaikkoja lukuunottamatta suurimmat käyttöpuun keskimääräiset kasvut syntyivät kahden normaalin harvennuksen vaihtoehdossa ja keskimääräistä ravinnetasoa edustavilla kasvupaikoilla. Harvennukset lyhensivät selvästi päätehakkuukypsyyden saavuttamiseen kulunutta aikaa, enimmillään jopa 25 vuotta. Harvennusten positiivinen vaikutus näkyikin selvimmin niin, että hieman suurempi tai samansuuruinen käyttöpuumäärä tuotettiin lyhyemmässä ajassa kuin kontrollivaihtoehdoissa. Vastaavasti luonnonpoistuman osuus väheni harvennusten intensiteetin lisääntyessä. Ottaen huomioon eripituiset kasvatusajat, harvennukset lisäsivät käyttöpuun kokonaistuotosta keski- tai hyvätuottoisilla kasvupaikoilla keskimäärin 17 % harventamattomaan vaihtoehtoon verrattuna. Kaikkein vähätuot-

toisimmilla kasvupaikoilla harvennuksilla ei saavutettu tuotosetua. Harvennuksia sisältävien vaihtoehtojen keskinäiset erot käyttöpuun kokonaistuotoksessa olivat pieniä, joten useatkin harvennusvoimakkuudet näyttäisivät olevan käyttökelpoisia – oleellisinta on metsikön harventaminen ylipäätään. Myös uudistamisajankohdan aikaistuminen harvennusten nopeuttaman järeyskehityksen vuoksi vaikuttaa suotuisasti koko kasvatusketjun kannattavuuteen.

4.2.5 Kunnostusojituksen ja harvennuksen tuotosvaikutukset metsikkö- ja aluetasolla

SUO-ohjelmassa laadittiin Maa- ja metsätalousministeriölle asiantuntijaselvitys kunnostusojitusten ja metsänhoidon vaikutuksista puuston kasvuun ja alueittaisiin hakkuumahdollisuuksiin (Kojola ym. 2004b). Tavoitteena oli muun muassa selvittää, miten kunnostusojituksia olisi tarkoituksenmukaista kohdentaa erilaisille kasvupaikoille ja maan eri osiin. Selvityksessä keskityttiin ojitettuihin rämeisiin, joista noin 1,1 miljoonalle hehtaarille on VMI:ssa ehdotettu tehtäväksi kunnostusojituksia.

Selvitystä varten simuloitiin Metlan MOTTI-simulaattorilla erilaisten rämemetsiköiden kehitystä kunnostusojitusvaiheesta uudistuskypsyyteen, ja vertailtiin käsittelyvaihtoehtojen tuotos- ja kasvuvaikutuksia. Simulointien lähtöpuustot muodostettiin olemassa olevista inventointiaineistoista edustamaan ojitusiän perusteella kunnostusojitustarpeessa olevia rämeiden varttuneita taimikoita ja nuoria kasvatusmetsiä eri lämpösumma-alueilla ja turvekangastyypeillä. Lähtöpuustojen metsänhoidollisen tilan perusteella erotettiin puuston käsittelyn (viivästynyt taimikonhoito tai ensiharvennus) tarpeessa olevat ja vailla välitöntä hoitotarvetta olevat lähtöpuustorakenteet. Tulokset yleistettiin metsäkeskusalueille kunnostusojitettavien soiden kasvupaikka- ja pinta-alajakaumien perusteella. Nämä tiedot saatiin Lapin metsäkeskuksen osalta VMI 8:n tiedoista ja muualta Suomesta VMI 9:n tiedoista.

Simuloitaviin käsittelyketjuihin valittiin käsittelemättömän vaihtoehdon lisäksi kunnostusojitusten ja harvennusten erilaisia yhdistelmiä. Perusvaihtoehdossa toteutettiin harvennukset yksityismetsien metsänhoitosuositusten (Hyvän metsänhoidon...2001) harvennusmallien mukaisesti ja kunnostusojitus ensimmäisen harvennuksen ja tarvittaessa myös toisen harvennuksen yhteydessä. Lisäksi tarkasteltiin käsittelyjen viivästämisen tai laiminlyönnin vaikutuksia erityyppisissä metsiköissä. Kaikkiaan 239 simuloinnin tuloksena saatiin käsittelyvaihtoehtojen kokonais- ja käyttöpuutuotokset, joista laskettiin simulointiajan keskimääräiset vuotuiset kasvut sekä kokonaispuustolle että käyttöpuulle.

Simuloinnit osoittivat, että kunnostusojitukset eivät vain ylläpidä kasvua, vaan myös jonkin verran lisäävät käyttöpuutuotosta metsänkasvatuskelpoisilla rämeillä. Kunnostusojituksen tuottama, koko simulointijaksolle laskettu käyttöpuun keskimääräisen vuotuisen kasvun lisäys oli 0,2 m^3/ha/a. Kasvupaikkojen ja alueiden väliset erot olivat verraten pieniä. Harvennuksia sisältävät käsittelyvaihtoehdot, vaikka eivät lisänneetkään kokonaistuotosta, lisäsivät käyttöpuutuotosta, eteläisillä alueilla enemmän kuin pohjoisessa ja paremmilla kasvupaikoilla enemmän kuin karuilla. Kunnostusojitus ja harvennus yhdessä lisäsivät käyttöpuun tuotosta selvästi enemmän kuin pelkkä kunnostusojitus. Harvennuksen osuus yhteisvaikutuksesta oli yleensä suurempi kuin kunnostusojituksen vaikutus. Ensimmäisen harvennuksen ja siihen liittyvän ensimmäisen kunnostusojituksen viivästäminen noin kymmenellä vuodella lisäsi yllättäen käyttöpuutuotosta jonkin verran, hieman enemmän paremmilla kasvupaikoilla kuin huonoilla.

Vertailtaessa käsittelyvaihtoehtojen kannattavuuseroja metsikkötasolla tulee tuotoslukujen lisäksi ottaa huomioon toimenpiteistä aiheutuvat tulot ja menot sekä niiden korkovaikutukset esimerkiksi laskemalla nettotulojen nykyarvot koko kasvatusajalle. Tällainen alusta-

Taulukko 1. Kunnostusojitusalueiden pinta-alat (1000 ha) sekä simuloitujen käsittelyvaihtoehtojen mukaiset keskimääräiset vuotuiset käyttöpuun kasvut (MAI_{merch}, m^3/ha/a) metsäkeskusalueittain eri kasvupaikoilla.

a) Mtkg II, Ptkg II

	Pinta-ala 1000 ha	Käsittelyvaihtoehdot 1	2	3	4a	4b	5a	5b	6
					$MAI_{merch,}$ m^3/ha/a				
Mtkg II									
Rannikko, Helsinki	1	3,7	4,0	4,0	5,0	5,1	6,0	6,3	6,3
Rannikko, Pohjanmaa	3	2,6	2,8	2,9	3,3	3,3	3,8	4,0	
Lounais-Suomi	2	3,7	4,0	4,0	5,0	5,1	6,0	6,3	6,3
Häme-Uusimaa	2	3,7	4,0	4,0	5,0	5,1	6,0	6,3	6,3
Kaakkois-Suomi	3	3,7	4,0	4,0	5,0	5,1	6,0	6,3	6,3
Pirkanmaa	4	3,7	4,0	4,0	5,0	5,1	6,0	6,3	6,3
Etelä-Savo	10	3,7	4,0	4,0	5,0	5,1	6,0	6,3	6,3
Etelä-Pohjanmaa	12	2,6	2,8	2,9	3,3	3,3	3,8	4,0	
Keski-Suomi	5	2,6	2,8	2,9	3,3	3,3	3,8	4,0	
Pohjois-Savo	10	2,6	2,8	2,9	3,3	3,3	3,8	4,0	
Pohjois-Karjala	16	2,4	2,6	2,7	3,2	3,5	3,6	3,3	3,7
Kainuu	21	2,4	2,6	2,7	3,2	3,5	3,6	3,3	3,7
Pohjois-Pohjanmaa	39	2,4	2,6	2,7	3,2	3,5	3,6	3,3	3,7
Lappi	38	2,3	2,6	2,6	2,7	3,0	3,2	3,3	3,3
Ptkg II									
Rannikko, Helsinki	1	3,1	3,4	3,5	4,0	4,2	5,4	5,6	5,5
Rannikko, Pohjanmaa	8	2,4	2,6	2,7	3,0	3,0	3,7	3,8	3,9
Lounais-Suomi	15	3,1	3,4	3,5	4,0	4,2	5,4	5,6	5,5
Häme-Uusimaa	4	3,1	3,4	3,5	4,0	4,2	5,4	5,6	5,5
Kaakkois-Suomi	7	3,1	3,4	3,5	4,0	4,2	5,4	5,6	5,5
Pirkanmaa	12	3,1	3,4	3,5	4,0	4,2	5,4	5,6	5,5
Etelä-Savo	11	3,1	3,4	3,5	4,0	4,2	5,4	5,6	5,5
Etelä-Pohjanmaa	41	2,4	2,6	2,7	3,0	3,0	3,7	3,8	3,9
Keski-Suomi	22	2,4	2,6	2,7	3,0	3,0	3,7	3,8	3,9
Pohjois-Savo	19	2,4	2,6	2,7	3,0	3,0	3,7	3,8	3,9
Pohjois-Karjala	24	2,2	2,4	2,4	2,9	3,0	3,3	3,3	3,4
Kainuu	43	2,2	2,4	2,4	2,9	3,0	3,3	3,3	3,4
Pohjois-Pohjanmaa	64	2,2	2,4	2,4	2,9	3,0	3,3	3,3	3,4
Lappi	22	2,1	2,3	2,4	2,4	2,6	2,6		2,7

Käsittelyvaihtoehdot:

Simuloinnit ilman harvennuksia
- 1 = ilman kunnostusojituksia
- 2 = yksi kunnostusojitus
- 3 = kaksi kunnostusojitusta

Simuloinnit, joissa 1 harvennus
- 4a = yksi ojitus harvennuksen yhteydessä
- 4b = yksi ojitus viivästetyn harvennuksen yhteydessä

Simuloinnit, joissa 2 harvennusta
- 5a = yksi ojitus 1. harvennuksen yhteydessä
- 5b = yksi ojitus viivästetyn 1. harvennuksen yhteydessä
- 6 = ojitus kummankin harvennuksen yhteydessä

b) Ptkg I, Vatkg

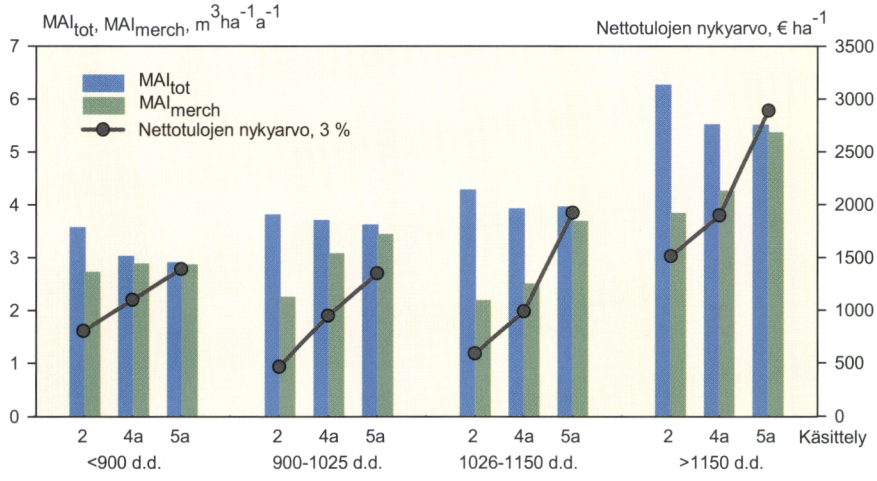
	Pinta-ala 1000 ha	Käsittelyvaihtoehdot 1	2	3	4a	4b	5a	5b	6
		MAI_{merch} m^3/ha/a							
Ptkg I									
Rannikko, Helsinki	1	3,3	3,6	3,8	3,9	4,1	4,0	4,2	4,2
Rannikko, Pohjanmaa	8	1,7	1,8	1,9	2,5	2,5	2,7		2,8
Lounais-Suomi	10	3,3	3,6	3,8	3,9	4,1	4,0	4,2	4,2
Häme-Uusimaa	2	3,3	3,6	3,8	3,9	4,1	4,0	4,2	4,2
Kaakkois-Suomi	5	3,3	3,6	3,8	3,9	4,1	4,0	4,2	4,2
Pirkanmaa	8	3,3	3,6	3,8	3,9	4,1	4,0	4,2	4,2
Etelä-Savo	8	3,3	3,6	3,8	3,9	4,1	4,0	4,2	4,2
Etelä-Pohjanmaa	41	1,7	1,8	1,9	2,5	2,5	2,7		2,8
Keski-Suomi	22	1,7	1,8	1,9	2,5	2,5	2,7		2,8
Pohjois-Savo	19	1,7	1,8	1,9	2,5	2,5	2,7		2,8
Pohjois-Karjala	35	2,1	2,3	2,4	2,4	2,4	2,6	2,7	2,7
Kainuu	65	2,1	2,3	2,4	2,4	2,4	2,6	2,7	2,7
Pohjois-Pohjanmaa	96	2,1	2,3	2,4	2,4	2,4	2,6	2,7	2,7
Lappi	33	1,5	1,6	1,7					
Vatkg									
Rannikko, Helsinki	2	2,3	2,5	2,7	2,8	2,7	3,0		3,2
Rannikko, Pohjanmaa	8	1,6	1,8	2,0	2,0				
Lounais-Suomi	18	2,3	2,5	2,7	2,8	2,7	3,0		3,2
Häme-Uusimaa	9	2,3	2,5	2,7	2,8	2,7	3,0		3,2
Kaakkois-Suomi	7	2,3	2,5	2,7	2,8	2,7	3,0		3,2
Pirkanmaa	15	2,3	2,5	2,7	2,8	2,7	3,0		3,2
Etelä-Savo	12	2,3	2,5	2,7	2,8	2,7	3,0		3,2
Etelä-Pohjanmaa	49	1,6	1,8	2,0	2,0				
Keski-Suomi	25	1,6	1,8	2,0	2,0				
Pohjois-Savo	22	1,6	1,8	2,0	2,0				
Pohjois-Karjala	41	1,6	1,8	1,9	1,8	2,0			
Kainuu	45	1,6	1,8	1,9	1,8	2,0			
Pohjois-Pohjanmaa	44	1,6	1,8	1,9	1,8	2,0			
Lappi	4	(1,2)	(1,3)	(1,4)					

Käsittelyvaihtoehdot:

Simuloinnit ilman harvennuksia
- 1 = ilman kunnostusojituksia
- 2 = yksi kunnostusojitus
- 3 = kaksi kunnostusojitusta

Simuloinnit, joissa 1 harvennus
- 4a = yksi ojitus harvennuksen yhteydessä
- 4b = yksi ojitus viivästetyn harvennuksen yhteydessä

Simuloinnit, joissa 2 harvennusta
- 5a = yksi ojitus 1. harvennuksen yhteydessä
- 5b = yksi ojitus viivästetyn 1. harvennuksen yhteydessä
- 6 = ojitus kummankin harvennuksen yhteydessä



Kuva 5. Esimerkki keskimääräisestä vuotuisesta kokonaistuotoksesta (MAI$_{tot}$), käyttöpuun tuotoksesta (MAI$_{merch}$) ja nettotulojen nykyarvoista Ptkg II:lla lämpösumma-alueittain, kun kunkin alueen tyypillisiä nuoria kasvatusmetsiköitä kasvatetaan uudistuskypsyyden saavuttamiseen seuraavilla käsittelyvaihtoehdoilla: 2=yksi kunnostusojitus, ei harvennuksia, 4a = yksi harvennus + yksi kunnostusojitus harvennuksen yhteydessä, 5a = kaksi harvennusta + yksi kunnostusojitus 1. harvennuksen yhteydessä.

va vertailu muutaman käsittelyvaihtoehdon kesken tehtiin puolukkaturvekangas II -tyyppiä edustaville metsiköille eri lämpösumma-alueilla. Kyseisellä kasvupaikalla harventaminen ja kunnostusojitus paransivat metsänkasvatuksen kannattavuutta selvästi (kuva 5).

Metsäkeskusalueittaiset ojitettujen rämeiden pinta-alat, joille VMI:ssä on ehdotettu kunnostusojitustoimenpiteitä, yhdistettiin simuloitujen käsittelyvaihtoehtojen keskimääräisiin kasvuihin (taulukko 1). Metsäkeskukset sijoitettiin simulointiaineiston neljälle lämpösumma-alueelle painopisteensä mukaan. Vertailun lähtötason muodostivat simuloidut tilanteet, joissa ojitusalueilla ei tehty mitään käsittelyjä, jolloin käyttöpuun keskimääräinen vuotuinen kasvu oli noin 2,2 m^3/ha/a. Laskettaessa kasvu yhteissummaksi koko kunnostusojituspinta-alalle saatiin noin 2,4 milj. m^3:n vuotuinen kokonaiskasvu vertailun perustasoksi (taulukko 2).

Kunnostusojitusten tuottama lisäys perustasoon olisi noin 0,2-0,3 milj. m^3/a. Yhden kunnostusojituksen ja harvennuksen toteuttaminen koko kunnostusojitustarpeessa olevalla pinta-alalla tuottaisi n. 0,5 milj. m^3 lisäyksen vuotuiseen käyttöpuutuotokseen. Kohtuullinen toimenpiteiden viivästäminen ei myöskään näyttäisi tuotostasoa alentavan. Kahden harvennuksen ja kunnostusojituksen käsittelyohjelma, silloin kun se metsikön kasvupotentiaalin perusteella on toteutettavissa, tuottaisi täysin käsittelemättömään vaihtoehtoon verrattuna n. 1,0 milj. m^3 lisäyksen käyttöpuun vuotuiseen kasvuun (taulukko 2). Kunnostusojitusten aikaansaamat erot keskimääräisissä vuotuisissa käyttöpuun kasvuissa olivat samaa suuruusluokkaa alueesta ja kasvupaikasta riippumatta. Siten tietty muutos kunnostusojituspinta-alassa merkitsisi käyttöpuun kokonaistuotoksen muuttumista pinta-alamuutoksen suhteessa.

Karuilla kasvupaikoilla harvennus ei lisää käyttöpuutuotosta yhtä selvästi kuin viljavammilla, mutta sen sijaan vesitalouden hoito voi olla hyvinkin tärkeää puuston elinvoimaisuuden säilyttämiseksi. Aluetasolla karujen kasvupaikkojen kokonaismerkitys tuotoksessa ja hakkuumahdollisuuksissa on kuitenkin vähäisempi kuin puuntuotoskyvyltään

Taulukko 2. Simuloitujen käsittelyvaihtoehtojen vaikutus käyttöpuun vuotuiseen kokonaiskasvuun (1000 m^3) koko kunnostusojituspinta-alalla. Tapauksissa, joissa kahden harvennuksen vaihtoehdot puuttuivat (karut kasvupaikat), kasvu laskettiin vastaavalla yhden harvennuksen vaihtoehdolla.

Käsittelyvaihtoehto	Käyttöpuun vuotuinen kokonaiskasvu, (1000 m^3)	Lisäys vaihtoehtoon 1, (1000 m^3)
1 - ei kunnostusojituksia	2390	0
2 - yksi kunnostusojitus	2603	213
3 - kaksi kunnostusojitusta	2714	324
4a - yksi ojitus harvennuksen yhteydessä	2942	552
4b - yksi ojitus viivästetyn harvennuksen yhteydessä	3044	654
5a - kaksi harvennusta, yksi ojitus 1. harvennuksen yhteydessä	3297	907
5b - kaksi harvennusta, yksi ojitus viivästetyn 1. harvennuksen yhteydessä	3352	962
6 - kaksi harvennusta, ojitus kummankin yhteydessä	3418	1028

parempien kasvupaikkojen, joten kunnostusojitukset olisi perusteltua kohdentaa ensisijaisesti niille alueille, joissa metsiköissä on myös harvennustarvetta. Rämekasvupaikkoja vertailtaessa parhaat tuotosodotukset ovat viljavilla sekatyypeillä, Mtkg II ja Ptkg II, joilla kunnostusojitus ja harvennus voidaan useimmiten tarkoituksenmukaisesti yhdistää.

Metsikkötasolla toimenpiteiden lievä viivästyminen (10-15 vuodella) ei vaikuta haitallisesti ojitusalueiden puustojen kehitykseen. Pidemmän aikavälin viivästymisten vaikutuksista on vähän tietoa, mutta vaikutukset lienevät selkeästi negatiivisia. Tuloksia tulkittaessa on myös hyvä ottaa huomioon, että simulointien lähtöpuustoina käytetyt metsiköt edustavat 15-20 vuoden ojitusiässä olevia metsiä, joten varsinkin Etelä-Suomen ojitusalueiden metsät ovat ojitusiältään keskimäärin tätä vanhempia. Koska kunnostusojitustavoitteita ei ole täysimittaisesti saavutettu, voidaan olettaa, että käytännössä Etelä-Suomen ojitusalueilla on jo runsaasti tämän selvityksen viivästyneitä olosuhteita vastaavia tilanteita.

Selvityksen perusteella suometsien hoitamattomuus (sekä harvennusten että kunnostusojitusten laiminlyönti) aiheuttaisi pitkälle aikavälille laskettuna keskimäärin vähintään 1 miljoonan käyttöpuukuutiometrin vuotuisen tuotostappion verrattuna hyvän hoidon tasoon. Ojitusten iästä, kunnostusojitusrästeistä ja erityisesti ojitettujen rämeiden kehitysluokkajakaumasta johtuen tuotostappio painottuisi välittömästi seuraavien 10-20 vuoden jaksolle.

Kirjallisuus

Gustavsen, H-G. & Päivänen, J. 1986. Luonnontilaisten soiden puustot kasvullisella metsämaalla 1950-luvun alussa. Folia Forestalia 673. 27 s.

Heikurainen, L. 1971. Virgin peatland forests in Finland. Acta Agralia Fennica. 123: 11-26.

Hyvän metsänhoidon suositukset 2001. Tapio, Helsinki. 96 s.

Hökkä, H., Alenius, V. & Penttilä, T. 1997. Individual-tree basal area growth models for Scots pine, pubescent birch and Norway spruce on drained peatlands in Finland. Silva Fennica 31(2): 161-178.

Hökkä, H. & Laine, J. 1988. Suopuustojen rakenteen kehitys ojituksen jälkeen. Silva Fennica 22(1): 45-66.

Hökkä, H. & Penttilä, T. 1995. Harvennushakkuun vaikutus pohjavedenpinnan syvyyteen ojitusalueilla Pohjois-Suomessa. Suo 46(1): 9-19.

Hökkä, H., Penttilä, T. & Hånell, B. 1996. Effect of thinning on the foliar nutrient status of Scots

pine stands on drained boreal peatlands. Canadian Journal of Forest Research 26: 1577-1584.

Kojola, S., Penttilä, T. & Laiho, R. 2004a. Impacts of different thinning regimes on the yield of uneven-structured Scots pine stands on drained peatland. Silva Fennica 38(4): 393-403.

Kojola, S., Ahti, E., Hökkä, H. & Penttilä, T. 2004b. Asiantuntijaselvitys alueellisten metsäohjelmien kunnostusojitustavoitteiden tarkentamista varten. Metsäntutkimuslaitos, Vantaa. 16 s.

Kojola, S., Penttilä, T. & Laiho, R. 2005. First commercial thinnings in peatland pine stands: Effect of timing on fellings and removals. Baltic Forestry 11(2): 51-58.

Laiho, O., Lähde, E., Norokorpi, Y. & Saksa, T. 1997. Undergrowth as a regeration potential of Finnish peatlands. Teoksessa: Trettin, C., Jurgensen, M., Grigal, D., Gale, M. & Jeglum, J. (toim.). Northern Forested Wetlands: Ecology and management. CRC Press, Lewis Publishers, Boca Raton, Fla: 121-131. ISBN 1-56670-177-5.

Penner, M., Penttilä, T. & Hökkä, H. 1995. A method for using random parameters in analyzing permanent sample plots. Silva Fennica 29(4): 287-296.

Penttilä, T., Alenius, V., Hökkä, H. & Laiho, R. Responses of tree growth and foliar nutrients to reduced competition in Scots pine on drained peatland. Käsikirjoitus. Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimuskeskus.

Päivänen, J. & Sarkkola, S. 2002. Ensiharvennuksen ja kunnostusojituksen vaikutus varputurvekankaan männikön kuivatustilaan. Metsätieteen aikakuskirja 4: 634.

Sarkkola, S., Alenius, V., Hökkä, H., Laiho, R., Päivänen, J. & Penttilä, T. 2003. Changes in structural inequality in Norway spruce stands on peatland sites after water-level drawdown. Canadian Journal of Forest Research 33: 222-231.

Sarkkola, S., Hökkä, H. & Penttilä, T. 2004. Natural development of stand structure in unevenaged Scots pine dominated peatlands following drainage: Results based on long-term monitoring of permanent sample plots. Silva Fennica 38(4): 405- 412.

Sarkkola, S., Hökkä, H., Laiho, R., Päivänen, J. & Penttilä, T. 2005. Stand structural dynamics on drained peatlands dominated by Scots pine. Forest Ecology and Management 206: 135-152.

4.3 Suometsien lannoitus

Mikko Moilanen

Lannoituksella voidaan korvata mm. puunkorjuun ja huuhtoutumisen aiheuttamat metsikön ravinnemenetykset ja turvata näin kasvupaikan puutuotannollinen kestävyys. Ravinnelisäyksen tavoitteena on ylläpitää puuston kasvukyky hyvänä varmistamalla puille tasapainoinen ravinteiden saatavuus. Käytännössä tärkeimpänä lannoituksen tavoitteena on lisätä puuston kasvua. Lannoittamisen on kuitenkin oltava paitsi ekologisesti mielekästä myös taloudellisesti perusteltua.

Ojitettuja soita on lannoitettu 1950-luvulta alkaen yhteensä noin 1,7 milj. ha, etupäässä fosforilla ja kaliumilla. Myös typpeä ja hivenravinteita on käytetty. Laajimmillaan suometsien lannoitustoiminta oli vuonna 1974, jolloin taimikko- ja riukuvaiheen puustoja lannoitettiin uudisojituksen yhteydessä 117 000 hehtaaria. 1980-luvulla käynnistyivät varttuneempien puustojen jatkolannoitukset. 1990-luvulle tultaessa suometsien lannoituspinta-alat vähentyivät jyrkästi ollen alimmillaan vain muutama sata hehtaaria vuodessa. Viime vuosina lannoitusalat ovat alkaneet uudestaan kasvaa. Selvimmin ovat lisääntyneet nk. terveyslannoitukset, joiden toteuttamista tuetaan yhteiskunnan varoin (KEMERA-tuet). Terveyslannoituksella korjataan puuston ravinnetilaa ravinnesuhteiltaan epätasapainoisilla kasvupaikoilla – yleensä kyse on kaliumin ja/tai boorin puutoksesta tai typen ja fosforin/kaliumin epäsuhdasta. Edellytyksenä KEMERA-tuen saamiselle on, että puusto kärsii silmin nähtävästi ravinnepuutoksista tai että ravinnepuutos on todennettu neulasanalyysillä.

Valtaosalla metsäojitusalueista puustot kehittyvät tyydyttävästi ilman lannoitusta. Aidoilla räme- ja korpityypeillä sekä ohutturpeisilla alueilla puut kykenevät hyödyntämään kasvualustan ja pohjamaan kivennäisravinnevaroja, eikä vakavaa ravinnetilan epätasapainoa pääse syntymään.

4.3.1 Metsäpuiden tärkeimmät ravinteet

Typpi

Typen saatavuus on keskeinen tekijä arvioitaessa suopuuston kasvatuksen edellytyksiä. Vaikka turvemaan kokonaistyppivarat ovat runsaat, niin mineraalitypen määrä vaihtelee suuresti ja on riippuvainen paitsi suotyypistä myös kohteen maantieteellisestä sijainnista (Sundström ym. 2000, ks. myös luku 2.3.1). Ombro-oligotrofisilla soilla ja Pohjois-Suomessa myös paremmilla suotyypeillä typen niukkuus rajoittaa puuston kasvua (Pietiläinen & Kaunisto 2003). Typen puutos näkyy puiden heikentyneenä kasvuna ja neulasten ja lehtien vaaleanvihreänä värinä (Reinikainen ym. 1998).

Fosfori

Suurin osa turpeen fosforista on orgaanisessa muodossa, josta se mineralisoituu mikrobitoiminnan seurauksena. Yleisesti ottaen turvemaissa katsotaan vallitsevan käyttökelpoisen fosforin niukkuuden suhteessa typpeen (ks. myös luvut 2.2.3 ja 2.3.4). Siihen viittaavat myös alueelliset ravinnetilakartoitukset, joissa fosforin puutokset ovat neulasanalyyseissa olleet yleisimpiä. Lannoitustutkimuksissa fosfori on osoittautunut suopuiden ravinnetalouden minimitekijäksi (mm. Huikari & Paarlahti 1966, Mannerkoski & Seppälä 1970, Kaunisto 1972, Kaunisto & Paavilainen 1977). Fosforin puutoksesta kärsivien mäntyjen pituuskasvu on heikkoa, kasvaimet ovat ohuita ja usein mutkaisia (Reinikainen ym. 1998).

Kalium

Juuristokerroksen kaliumvarat ovat ojitusaluemetsissä yleensä vähäiset verrattuna puuston sitomiin kaliummääriin (Kaunisto & Paavilainen 1988, Kaunisto & Moilanen 1998). Kaliumin merkitys korostuu metsikön myöhemmissä kehitysvaiheissa, erityisesti nevaisilla ja paksuturpeisilla soilla, joilla kaliumvarat ovat erityisen vähäiset (Kaunisto & Tukeva 1984, Kaunisto & Paavilainen 1988, ks. myös luku 2.2). Tällaisilla kasvupaikoilla kaliumtalouden ongelmia esiintyy myös kohteissa, jotka ovat saaneet peruslannoituksena fosforia 1960-70-luvuilla. Kaliumin puutos ilmenee männyllä 1-vuotisten neulasten kärkien kellastumisena (kloroosi) keskikesällä sekä uusien kasvainten neulasten kloroosina syksyllä. Kuusella kaliumpuutos näkyy elo-syyskuussa neulasten kellastumisena edellisvuonna syntyneissa kasvaimissa; uusimmat ja toisaalta vuotta vanhemmat kasvaimet ovat selvästi vihreämpiä (Reinikainen ym. 1998).

Boori

Suopuiden kasvua säätelevistä hivenravinteista boori on osoittautunut merkittävimmäksi. Boorinpuutoksia ja puutosten aiheuttamia puuston kasvuhäiriöitä esiintyy yleisimmin paksuturpeisilla entisillä avosoilla, joilla typpeä ja fosforia on käytössä runsaasti (Veijalainen 1983, Reinikainen & Veijalainen 1983, Veijalainen ym. 1984). Booria on puiden tarpeeseen nähden niukalti myös suonpohjilla (Aro & Kaunisto 2003). Metsitetyillä suopelloilla boorin saatavuus on usein alentunut peltoviljelyssä käytetyn kalkituksen vaikutuksesta (Hytönen & Ekola 1993). Nykyisissä soille tarkoitetuissa metsänlannoitteissa on boori mukana. Boorin puutos näkyy puissa kasvupisteiden kuolemisena, paksuuntuneina ja käyristyneinä "sapelimaisina" neulasina sekä päätesilmujen kuolemisena, mikä johtaa usein latvan haaroittumiseen ja puun pensastumiseen (Raitio & Rantala 1977, Veijalainen ym. 1984, Reinikainen ym. 1998).

4.3.2 Lannoitteet ja niiden ominaisuudet

Suometsien ravinnetaloustutkimuksia on Metlassa tehty vuodesta 1929 lähtien, jolloin perustettiin ensimmäiset soiden kalkituskokeet. Keinolannoitteita kokeiltiin ensimmäisen kerran avosoiden metsänviljelyn yhteydessä vuosina 1929-1932. Vanhimmat puutuhkakokeet ovat vuodelta 1937. Systemaattinen lannoituskoetoiminta käynnistyi metsänlannoitteiden käytön yleistymisen myötä 1950-luvulla ja on jatkunut nykypäiviin saakka.

Lannoitustutkimusten tavoitteena on ollut selvittää puuston kasvureaktion riippuvuutta paitsi ravinneyhdistelmistä myös käytetystä lannoitelajista ja -määrästä. Kenttäkokeilla testattava lannoitevalikoima on muuttunut lannoiteteollisuuden tuotekehityksen myötä. Fosforilannoitelajeista on kokeiltu mm. superfosfaattia, raakafosfaattia, tuomaskuonaa ja apatiittia. Kaliumlannoitelajeja ovat olleet kaliumkloridi, kaliumsulfaatti, kaliummetafosfaatti ja biotiitti, typpilannoitelajeja urea, ammoniumnitraatti ja ureaformaldehydi (taulukko 1). Moniravinnelannoitteista on kokeiltu erilaisia Y-lannoksia sekä puu- ja turvetuhkia. Yleisin suolannoite niin tutkimuksessa kuin käytännön lannoitustoiminnassa on ollut Suometsien PK-lannos (nykyinen Rauta PK), jossa fosforin ja kaliumin lisäksi on ollut 1970-luvun puolivälistä saakka mukana myös boori. Metsänhoito-ohjeissa PK-käsittelyä on suositeltu runsastyppisille soille ja NPK-käsittelyä niukkatyppisille soille. Typen käyttömääräsuositus on ollut n. 100 kg N/ha, fosforin n. 45 kg P/ha ja kaliumin n. 80-90 kg K/ha (esim. Paavilainen 1979b).

Suopuut pystyvät hyödyntämään sekä helppo- että vaikealiukoisia ravinneyhdisteitä. Turpeen fulvo- ja humiinihapoista johtuvan happoluonteen ja happaman suoveden sekä mykorritsasienten (ks. luku 2.3.1) ansiosta puusto saa lannoitefosforia jopa raaka-apatiitista (Karsisto 1976, Penttilä & Moilanen 1987). Uudemmissa koejärjestelyissä pääpaino on ollut hidasliukoisten lannoitteiden (apatiitti, biotiitti, ureaformaldehydi) testaamisessa.

Taulukko 1. Suometsien lannoitustutkimuksissa ja käytännön lannoituksissa eri aikoina käytettyjä ravinnelähteitä ja lannoitelajeja.

Typpilannoitteet:

Urea (46% N). Vesiliukoinen, hydrolysoituu maassa ammoniumtypeksi ja hiilidioksidiksi. Haihtuu kuivissa ja kuumissa sääoloissa ilmaan ammoniakkikaasuna.

Ureaform (39% N). Typen liukoisuutta alennettu happokäsittelyllä.

Nitroform (40% N). Hidasliukoinen typpilannoite.

Kemifix Metsän kestolannos (35% N, 1% Mg, 0.15% B). Typestä 83% on hidasliukoista metyleeniureaa. Nykyinen tuotenimi Metsän kestotyppi.

Kalkkiammonsalpietari eli Oulunsalpietari, vastaa nykyistä Suomensalpietaria (22-28% N, 1-2% Mg, 3-5% Ca). Typestä puolet on nitraatti- ja puolet ammoniumtyppeä. Suomensalpietarissa em. ravinteiden lisäksi 1 % K, 3 % S, 0.02 % B ja 0.0006 % Se.

Montansalpietari (26% N). Typestä 2/3-osa ammoniumtyppeä ja 1/3-osa nitraattityppeä.

Ammoniumsulfaatti (21% N, 24% S). Typpi ammoniumtyppeä.

Kalkkisalpietari (16% N, 20% Ca). Typestä 93% nitraatti- ja 7% ammoniumtyppeä.

Fosforilannoitteet:

Raakafosfaatti (14-15% P, 36-38% Ca, 0.4% Na, 0.3-0.8% S, 0.2-0.4% Mg, 0.1-0.2% Fe). Pohjoisafrikkalaista eloperäistä (merieläinten luista ja jätteistä syntynyttä) fosfaattia. Samaa fluoriapatiittia kuin kova mineraaliapatiitti, jota on tuotu Kuollan niemimaalta. Fosfori on veteen liukenematonta.

Hienofosfaatti. Pölymäiseksi jauhettua raakafosfaattia. Veteen liukenematonta.

Superfosfaatti (9% P, 20% Ca, 12% S, 0.2% Mg, 0.3% Na, 0.3% Fe). Valmistetaan raakafosfaatista rikkihapon avulla. Fosfori lähes kokonaan vesiliukoista. Valmistettu sekä jauheisena että rakeisena.

Kaksoissuperfosfaatti (20% P, 15% Ca, 1.2% S, 0.3% Mg, 0.3% Na, 0.4% Fe). Valmistetaan raakafosfaatista fosforihappokäsittelyn avulla. Fosfori lähes kokonaan vesiliukoista.

Monoammonfosfaatti (12% N, 23% P, 0.5% Ca, 1.2% S, 0.1% Na, 0.4% Fe). Valmistetaan fosforihappoa ammonoimalla. Fosfori lähes kokonaan vesiliukoista.

Kotkafosfaatti (10% P). Hienofosfaatin ja superfosfaatin seos. Puolet fosforista vesiliukoista.

Thomasfosfaatti l. tuomaskuona (7% P, 36 % Ca, 11% Fe, 7% SiO2, 2% Mn, 2% Mg, 0.2% S. Takkiraudan jalostuksen sivutuote, tuotu SuomeenEnglannista. Veteen liukenematonta.

Siilinjärven apatiitti (8% P, 24% K, 26% Ca). Fosfori on veteen ja ammoniumsitraattiin liukenematonta.

Siilinjärven apatiittirikaste (15% P, 0.1% K, 33% Ca). Fosfori veteen liukenematonta.

Kuollan apatiitti (17% P). Mineraaliapatiitti Kuollan niemimaalta. Fosfori veteen liukenematonta.

Soklin fosforiitti (12 – 17% P, 30 – 37% Ca, 2-15% Fe). Fosfori lähes kokonaan veteen liukenematonta.

Kaliumlannoitteet:

Kalimagnesia (23% K, 5.4% Mg). Vesiliukoista.

Kaliumkloridi I. kalisuola (50% K, 0.1% Mg, 0.1% S, 1% Na, 48% Cl). Vesiliukoista. Nykyinen kauppanimi Kaliumsuola.

Kaliumsulfaatti (42% K, 17% S, 0.4% Mg, 0.8% Na, 1.3% Cl). Vesiliukoista.

Metsäbiotiitti (Kemira-biotiitti) (n. 3% P, n. 8% K). Kalium on hidasliukoista biotiittia (flogopiittia), vain puolet liukenee HCl-uutossa. Biotiitti on jauhettua sivukiveä, joka jää jäljelle Siilinjärven malmista apatiitti-fosforin poistamisen jälkeen. Sisältää myös magnesiumia ja kalkkia, kalkitusvaikutus on n. 40 % kalsiittikalkkiin verrattuna. Käytetty pelloilla maanparannusaineena. Kiilleminеraali, jonka hilaväleihin sitoutunut kalium vapautuu rakenteen rapautuessa.

Sementtikali (Paraisten kali) (10% K, 21% Ca, 2.5% S, 1.1% Mg, 1.7% Na, 1% Fe, 5% Cl). Sementtitehtaan savukaasuista kerättyä pölyä. Kalium on helppoliukoista kaliumsulfaattia, -karbonaattia ja kaliumkloridia.

Hivenlannoitteet:

Kuparisulfaatti (25% Cu, 13% S, 0.2% Fe).

Lannoiteboraatti (14% B, 15% Na, 0.1% Fe). Vesiliukoista.

Mangaanosulfaatti (26% Mn, 15% S).

Magnesiumsulfaatti (19% Mg, 25% S, 0.3% Na).

Metsän booriravinne (11% Ca, 2% Mg, 15% S, 0.75% B).

Seoslannoitteet:

Jauheinen Suometsien PK-lannos (9-11% P, 13-18% K, 0.7% Mg, 30% Ca, 0.2% S, 0.5% Na, 0.2% B). Fosfori veteen liukenematonta raakafosfaattia, kalium vesiliukoista kaliumkloridia.

Rakeinen Suometsien PK-lannos, vastaa lähinnä nykyistä Metsän PK 1-lannoitetta (2% N, 9% P, 17% K, 22-30% Ca, 0.3-0.8% Mg, 1-2% S, 0.5% Na, 0.2-0.3% B, 15% Cl, 0.1% Fe). Fosfori veteen liukenematonta raakafosfaattia, kalium vesiliukoista kaliumkloridia. 1970-80 -luvuilla PK-lannoksen fosforista n. 15 % oli vesiliukoisena superfosfaattina. Myöhemmät metsään tarkoitetut PK-lannokset eivät ole sisältäneet vesiliukoista fosforia ja niissä on ollut mukana myös kupari (0.2 %).

Kaliummetafosfaatti (22% P, 32% K). Tuotu Suomeen Israelista. Fosforista 6 % ja kaliumista 22 % vesiliukoista.

Hiven PK-lannos (3% N, 10% P, 18% K, 8% Ca, 1% S, 0.1% Mg, 0.5% Na, 0.1% Fe, 17% Cl, 0.15% B, 1.8% Cu).

Metsän kali-hivenlannos (30% K, 1.5% Ca, 6% S, 7% Mg, 0.4% B, 0.4% Zn). Kalium vesiliukoisessa muodossa.

Metsän kalium-hivenravinne (32% K, 2.1% Ca, 3.5% Mg, 0.2% S, 0.4% B, 0.4% Zn). Kalium vesiliukoisessa muodossa.

Rautapitoinen Metsän PK (8% P, 16% K, 15% Ca, 2.5% Fe, 2.4% S, 0.3% B, 0.4% Mg, 0.1% Cu). Tullut markkinoille vuoden 2005 alussa.

Suometsien Y-lannos (11-13% N, 4-5% P, 9-11% K, 5-12% S, 0.2% B, 0.5% Mg, 9-12% Ca, 0.1% Fe, 0.6% Cl, 0.2% Cu, 0.2% Zn). Typestä puolet ammonium- ja puolet nitraattityppeä. Fosforista 10 % vesiliukoista.

Suometsien Y 1 (10% N, 4% P, 10% K, 8% Ca, 1.5% Mg, 5.5% S, 0.04% Fe, 0.1% B, 0.1-0.2% Cu, 0.2% Zn). Typesta 50 % on ammoniumtyppeä, 20 % ureatyppeä ja 30 % hidasliukoista metyleeniureaa. Fosfori veteen liukenematonta apatiittia. Kaliumista 10 % hidasliukoista biotiittia ja 90 % vesiliukoista kalisuolaa. Nykyinen nimi

Typpirikas Y-lannos, nimi vuodesta 1989 lähtien Typpirikas Y-lannos 2 (18-20% N, 4.4-5.2% P, 5-8% K, 1.0% Mg, 1-2% Ca, 4% S, 0.2% Na, 0.1% Fe, 8% Cl, 0.1-0.3% B). Typestä 62-80% ammonium- ja 20-38 % nitraattityppeä. Fosforista 65% vesiliukoista fosforia. Kalium vesiliukoista kalisuolaa.

Runsastyppinen Y-lannos, nimi vuodesta 1989 lähtien Typpirikas Y-lannos 1 (25% N, 4.4% P, 4% K, 2% Ca, 1.3% S, 0.5% Mg, 0.2% Na, 0.1% Fe, 4% Cl, 0.03% B)

Typpiköyhä Super Y-lannos (10% N, 11% P, 21% K). Fosfori ja kalium vesiliukoisessa muodossa.

Tasaväkevä Y-lannos (15% N, 6.5% P, 12.5% K, 5.5% Ca, 2% S, 12% Cl, 0.03% B). Typestä 63% ammonium- ja 37 % nitraattityppeä. Fosforista 53% vesiliukoista fosforia.

Normaali Y-lannos, nimi vuodesta 1989 lähtien Typpirikas Y-lannos 3 (16-17% N, 6-7% P, 12-13% K, 0.1-0.5% Mg, 2-3% Ca, 2% S, 0.2-0.4% Na, 4-13% Cl, 0.03-0.05% B, 0.1% Fe).

Fosforirikas Super Y-lannos (15% N, 11% P, 8% K). Fosfori ja kalium vesiliukoisessa muodossa.

Hivenseos, nimi vuodesta 1989 lähtien **Vähätyppinen Y-lannos** (1.1% B, 13% Cu, 5.5% Mn, 9.8% Fe, 5.5% Zn, 1.4% Mo, 0.7% Na, 3.1% S).

Kunnostuslannos 1 (10% N, 3% P, 5% K, 9.5% Ca, 5% Mg, 3.5% S, 0.13% B, 0.1% Cu, 0.1% Zn). Typpi hidasliukoista metyleeniureaa. Fosforista 20 % vesiliukoista ja 80 % hidasliukoista (apatiitti). Kaliumista 90 % vesiliukoista ja 10 % hidasliukoista (biotiitti).

Kunnostuslannos 2 (4% P, 7% K, 13% Ca, 6.5% Mg, 5% S, 0.14% B, 0.1% Cu, 0.1% Zn). Fosforista 25 % vesiliukoista. Kaliumista 80 % vesiliukoista kalisuolaa ja 20 % hidasliukoista biotiittia.

Puutuhka (0.2 – 3% P, 0.5 – 10%K, 5 – 40% Ca, 0.004 – 0.04% B). Pitoisuus vaihtelee suuresti mm. puulajin, poltettavan puuositteen jne. mukaan.

Turvetuhka (0.5 – 2% P, 0.2 – 0,4% K, 5 – 10% Ca, 0.001 – 0.005% B).

Lannoitustutkimuksissa on kokeiltu muitakin kuin em. ravinteita sisältäneitä ravinnelähteitä (mm. Ca, Mg, Mn, Zn, Cu). Puuston kehitykseen tai ravinnetalouteen näillä ravinnelisäyksillä ei yleensä ole voitu merkittävästi vaikuttaa. Kalkitus on tosin vähentänyt turpeen happamuutta ja vilkastuttanut mikrobitoimintaa, mutta puuston kasvun muutokset ovat jääneet vähäisiksi (mm. Nieminen & Pätilä 1994).

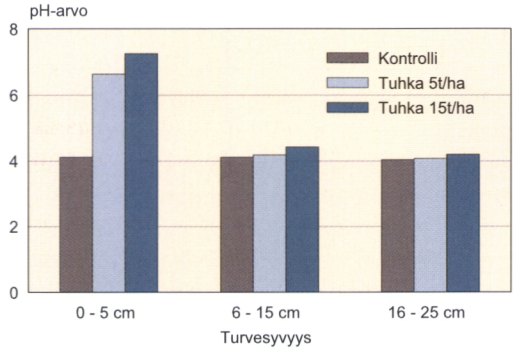
Yksittäisen minimiravinteen lisäystä ei käytännön lannoitustoiminnassa voida pitää soilla perusteltuna. Esimerkiksi yksipuolinen fosforin tai typen käyttö kärjistää helposti puiden kaliumpulaa (esim. Tamm 1956, Paavilainen & Pietiläinen 1983). Näin ollen on suositeltavaa, että keskeiset suopuiden kasvuun vaikuttavat ravinteet (P, K, B) annetaan lannoitteessa samanaikaisesti.

4.3.3 Ravinnelisäyksen maaperävaikutukset

Tavanomainen suometsien lannoituskäsittely (fosforia 45 kg/ha, kaliumia 85 kg/ha ja booria 1 kg/ha) lisää merkittävästi pintaturpeen vastaavien ravinteiden kokonaismäärää: kaliummäärä kaksinkertaistuu ja fosforimääräkin lisääntyy 1/3-1/4-osalla lähtötasoon verrattuna (Hartman ym. 2001). Ravinnelisäys on moninkertainen puuston vuotuiseen tarpeeseen nähden. Hidasliukoinen lannoitefosfori sitoutuu turpeen kalsium-, rauta- ja alumiiniyhdisteisiin varsin tiukasti, ja sen liikkuminen syvyyssuunnassa jää vähäiseksi. Lannoitekalium pidättyy turpeeseen löyhemmin, ja huomattava osa siitä huuhtoutuu muutaman vuoden aikana juuriston ulottumattomiin (Kaunisto & Tukeva 1984, Brække 1999b).

Fosforia, kaliumia ja kalsiumia sisältävät lannoitteet lisäävät mikro-organismien hajotustoimintaa turpeessa, mm. selluloosan hajoaminen nopeutuu (Karsisto 1979a, 1979b, Paavilainen 1980, Brække & Finér 1990). Puun tuhka kohottaa turpeen pH-arvoa jopa 2-3 yksikköä (mm. Silfverberg & Hotanen 1989, Moilanen & Issakainen 2003b), lisää maahengitystä (CO_2-tuotto) (Silvola ym. 1985, Martikainen ym. 1994, Moilanen ym. 2002), lisää mikrobimäärää ja bakteerien kasvua (Huikari 1953) ja vilkastuttaa typen mineralisaatiota (Karsisto 1979b, Kaunisto 1983, Weber ym. 1985, Moilanen ym. 2002) (kuva 1). Myös apatiitti-biotiitti-käsittelyn on havaittu kohottaneen turpeen pH-arvoa noin 0,5-yksikköä (Martikainen ym. 1994), sisältäähän apatiitti runsaasti kalsiumia.

Muistakin lannoitteiden maaperävaikutuksista on raportoitu: esim. fosforin liukoisuuden on todettu laskeneen tuhkalannoituksen seurauksena (Martikainen ym. 1994) ja hiilidioksidituotannon tilapäisesti alentuneen hivenravinnelisäyksen jälkeen (Mathur & Rayment 1977, Silvola ym. 1985, Martikainen ym. 1994). Turvetuhkan vaikutukset turpeessa ovat näkyneet vain suurilla (yli 100 t/ha) käyttömäärillä (Lehtonen & Tikkanen 1986, Lumme 1988, Silfverberg & Issakainen 1991, Hytönen 2000). Turvetuhkan kalkitusvaikutus jää selvästi puutuhkan kalkitusvaikutusta pienemmäksi (Saarela 1991).



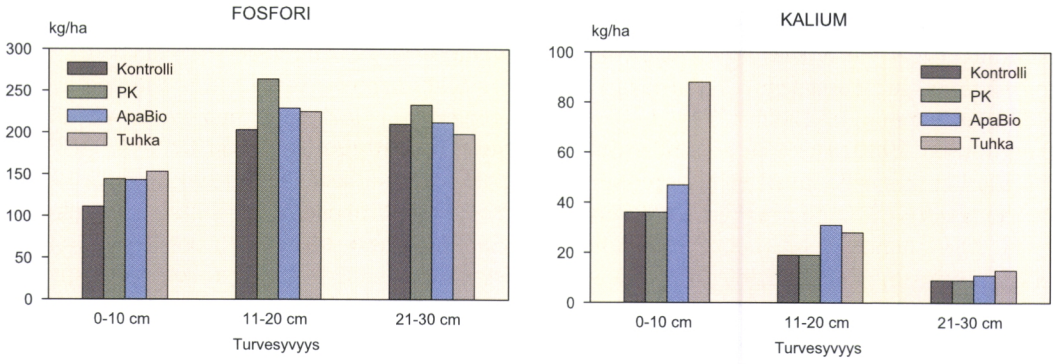
Kuva 1. Puutuhkan vaikutus turpeen happamuuteen paksuturpeisella ja runsastyppisellä nevarämeellä, Tuhkan levityksestä kulunut 4 vuotta. Pintakerros (0-5 cm) sisältää karikkeen ja raakahumuksen. Metlan lannoituskoe, Muhos.

Kalkituskokeissa turpeen happamuus on vähentynyt ja emäskyllästyaste kohonnut kymmenien vuosien ajaksi (Brække & Finér 1991, Nieminen & Pätilä 1994, Brække 1999a, Kakei & Clifford 2002). Kalkitus on kohottanut myös turpeen typpi- ja fosforipitoisuutta, mihin on ilmeisesti syynä mikrobitoiminnan vilkastuminen ja tästä seuraava typen ja fosforin konsentroituminen (Gardiner 1975, Kaunisto & Norlamo 1976, Ivarson 1977).

Lannoitteena annetun typen määrä on vähäinen turpeen typpivaroihin nähden. Ureatypen on kuitenkin havaittu voimistavan maahengitystä, mikä viittaa mikrobiyhteisöjen toiminnallisiin/rakenteellisiin muutoksiin (esim. Silvola ym. 1985).

Puusto kykenee hyödyntämään vain osan – ravinteesta riippuen 5-30 % – lannoitteen sisältämistä ravinteista (Paavilainen 1973, 1980, Finér 1989, 1991, ks. myös luku 2.2). Muu osa lannoitteista jää pintakasvillisuuden käyttöön, sitoutuu mikrobistoon ja kemiallisesti turpeeseen tai huuhtoutuu. Helppoliukoisista kalium- ja boorilannoitteista (kaliumkloridi, kaliumkarbonaatti, lannoiteboraatti) yli puolet voi huuhtoua juuristokerroksen alapuolelle jo 2-3 vuoden ja viimeistään 10 vuoden aikana (Vasander 1981, Brække & Finér 1991, Silfverberg 1998, Piirainen & Domish 2004). Kaliumannostusta nostamalla ei turpeen kaliumvarastoa ole juuri voitu lisätä, ainakaan pitempiaikaisesti (Kaunisto 1992).

Myös nopealiukoisten fosforilannoitteiden (esim. superfosfaatti) sisältämästä fosforista osa huuhtoutuu etenkin lumelle tehtyjen talvilevitysten jälkeen (esim. Ahti 1983, Carlsson & Möller 1985, Ahti & Paarlahti 1988, Nieminen & Ahti 1993). Sen sijaan hidasliukoisten fosforilannoitteiden kuten raakafosfaatin, apatiitin tai tuhkan sisältämä fosfori sitoutuu tiukemmin pintaturpeeseen, lähinnä turpeen rautaan ja alumiiniin, ja myös huuhtoutumat jäävät ainakin alkuvuosina pienemmiksi (Jarva ym. 1995, Piirainen & Domish 2004). Toisaalta soilla, joissa turpeen



Kuva 2. Turpeen fosfori- ja kaliummäärät paksuturpeisen nevarämeen lannoituskokeella. Lannoitteet levitetty 16 vuotta aiemmin. Kontrolli = lannoittamaton, PK = Suometsien PK-lannos 600 kg/ha, ApaBio = Siilinjärven apatiittirikaste 385 kg/ha+ biotiitti 1700 kg/ha, Tuhka = puutuhka 4500 kg/ha. Pohjois-Pohjanmaa, Ruukki.

fosfaatinpidätyskyky on heikko, myös hidasliukoista lannoitefosforia voi huuhtoutua merkittäviä määriä pitemmällä ajanjaksolla (Nieminen 2000, Saura 2001, ks. myös luvut 6.3 ja 6.4).

Fosforilisäys näkyy turpeen ravinnemäärissä vielä vuosikymmenien kuluttua levityksestä (Kaunisto & Paavilainen 1988, Silfverberg & Hotanen 1989, Brække & Finér 1991, Sundström 1995, Pietiläinen & Moilanen 2003) (kuva 2). Sundström ym. (2000) totesivat, että 22 vuoden kuluttua yli puolet lannoitefosforista oli jäljellä pintaturpeessa, kun taas lannoitekaliumista jäljellä oli vain 10-20 %.

Myös lannoitetypestä osa voi huuhtoutua. Levitysajankohdan sääolot ja lämpötila vaikuttavat etenkin ureatypen käyttäytymiseen maaperässä. Kuumalla säällä osa urean typestä voi haihtua ammoniumtyppenä, mikäli lannoite levitetään kuivalle alustalle (Derome 1979). Haihtuminen jää vähäiseksi, mikäli levitystä seuraavien päivien aikana esiintyy sadetta ja maa säilyy kosteana (Mugasha & Pluth 1995). Urean talvilevityksen on todettu lisänneen typen huuhtoutumista enemmän kuin tehtäessä levitys sulaan maahan (Nieminen & Ahti 1993).

Lannoituksella on epäsuora vaikutus kasvualustan vesitalouteen. Puuston määrän lisääntyessä sen latvusala kasvaa, minkä seurauksena metsikön sisälle tulevan sateen määrä pienenee. Suurempi puustopääoma myös haihduttaa enemmän, minkä on havaittu alentavan pohjaveden pintaa kesäkausina (Heikurainen & Päivänen 1970, Päivänen 1972, Laine 1986, ks. myös luku 4.2). Erityisen selvästi pohjaveden pinnan alentuminen näkyy vanhoilla tuhkalannoituskokeilla, joilla ravinnelisäys on merkittävästi suurentanut puustopääomaa (Moilanen ym. 2002).

4.3.4 Ravinnelisäyksen kasvillisuus- ja puustovaikutukset

Pohja- ja kenttäkerros

Lannoitus muuttaa pintakasvillisuuden lajistokoostumusta ja lajien välisiä runsausssuhteita (esim. Jäppinen & Hotanen 1990). Helppoliukoisten lannoitteiden vaikutukset näkyvät aluksi "suola- tai pH-shokkina", minkä seurauksena etenkin rahkasammallajiston (*Sphagnum* sp.) peittävyys alenee ja kasvillisuutta kuolee laikuittain (Päivänen & Seppälä 1968, Mannerkoski 1970, Backéus 1980, Vasander 1982, Finér & Brække 1991). Kuolleiden rahkasammalkasvustojen tilalle levittäytyvät mm. seinäsammal *(Pleurozium schreberi)*, huopasammal (*Aulacomnium palustre),* rämeenkar-

hunsammal *(Polytrichum strictum)*, varstasammal (*Pohlia nutans*) ja yleinen kynsisammal (*Dicranum scoparium)* (Vasander ym. 1993). Heikurainen ja Laine (1976) totesivat lannoituksen yleensä vähentävän rahkasammaleiden, mutta kohottavan kangassammaleiden peittävyyttä. Vasanderin ym. (1993, 1994) tutkimuksissa pää- ja hivenravinnekäsittely alensi rahkasammalten ohella myös karhunsammalkasvustojen peittävyyttä. Toisaalta ravinnelisäys voi myös hyödyttää karhunsammalta (Reinikainen 1965, Silfverberg & Hotanen 1989). Hivenlannoitteiden haittavaikutus sammallajeihin selittynee turpeen raskasmetallipitoisuuksien (mm. Cu) voimakkaalla nousulla (esim. Veijalainen 1998, Brække 1999b) ja siitä johtuvalla myrkytystilalla. Puutuhkan kasvillisuutta vaurioittava "polttovaikutus" näkyy alkuvaiheessa pohjakerroksen sammallajiston taantumisena ja myöhempinä vuosina ruoho- ja heinäkasvien yleistymisenä (Moilanen & Silfverberg 2004).

Kenttäkerroksen kokonaispeittävyys ja biomassa yleensä lisääntyvät ravinnelisäyksen jälkeen (Finér & Brække 1991, Vasander ym. 1993). Hillan (*Rubus chamaemorus*), karpalon (*Vaccinium oxycoccus*) ja suokukan (*Andromeda polyfolia*) tiedetään hyötyvän lannoituksesta, samoin kanervan ja variksenmarjan (Reinikainen 1965, Heikurainen & Laine 1976, Kortesharju & Mäkinen 1986, Finér & Brække 1991, Vasander ym. 1993, 1994). Suomarjojen satoisuuteen ei lannoituksella tiettävästi ole voitu vaikuttaa. Puutuhkaa saaneissa kohteissa ruoho- ja heinälajien peittävyys lisääntyy ja "typensuosijalajit" (esim. maitohorsma) yleistyvät (Silfverberg & Huikari 1985, Silfverberg & Hotanen 1989, Ferm ym. 1992, Moilanen ym. 2002).

Tupasvillan (*Eriophorum vaginatum*) rehevöityminen voi fosforilannoituksen jälkeen olla huomattavaa (Tamm 1954, Päivänen & Seppälä 1968, Mannerkoski 1970, Päivänen 1970, Heikurainen & Laine 1976, Vasander 1982). Runsastyppisillä suokasvupaikoilla pintakasvillisuuden muutokset ovat pitkäaikaisia ja joskus hyvinkin voimakkaita (Silfverberg & Hotanen 1989).

Kenttäkerroksen biomassan lisääntyminen lannoitusaloilla lienee lyhytaikaista, eikä reaktiota kaikissa tutkimuksissa ole havaittu lainkaan (Finér & Nieminen 1997). Vanhoilla puutuhka-aloilla pohja- ja kenttäkerroksen kokonaisbiomassa on säilynyt jotakuinkin muuttumattomana, mutta lajisto on suurelta osin vaihtunut: alkuperäinen varpu- ja sarakasvillisuus on väistynyt ja korvautunut ruoho- ja heinäkasvillisuudella. Rahkasammalten tilalle on tullut mm. kulosammalta (Silfverberg & Huikari 1985, Silfverberg & Hotanen 1989). Turpeen typen mineralisaation nopeutumisesta lannoitusaloilla kertovat mm. maitohorsman (*Epilobium angustifolium*) ja saniaiskasvustojen ilmestyminen. Sekä keinolannoitteiden että puutuhkan on todettu lisänneen soilla pulkkosienen (*Paxillus involutus*) itiöemätuotantoa (Veijalainen 1974, Salo 1979, Heimala-Raimas 1986, Moilanen & Issakainen 2000). Havaintoja on myös kangasrouskun ja saprofyyttisten sienilajien yleistymisestä lannoituksen jälkeen (Heimala-Raimas 1986). Satoisuusmuutokset näyttävät kuitenkin jääneen lyhytaikaisiksi.

Pohjakerroksessa sammallajiston P- ja N-pitoisuuden on todettu kohoavan ko. ravinteita sisältäneiden lannoitteiden käytön jälkeen jo vuoden kuluessa (Jäppinen 1987). PKCa- ja tuhkalannoituksen vaikutus on näkynyt pohja- ja kenttäkerroksen kasvilajiston kohonneina N-pitoisuuksina (Päivänen 1970, Jäppinen 1987). Syynä on pidetty turpeen typen mobilisaation kiihtymistä ja typen saatavuuden parantumista.

Lannoitus muuttaa myös marjojen ja sienten alkuainepitoisuuksia. Puutuhka-aloilla mustikan (*Vaccinium myrtillus*), puolukan (*Vaccinium vitis-idaea*) ja hillan ravinnepitoisuudet ovat yleensä kohonneet. Raskasmetallipitoisuudet ovat pysyneet ennallaan tai alentuneet siitä huolimatta, että tuhkalannoitus on kohottanut huomattavasti kasvualustan raskasmetallipitoisuuksia (Silfverberg & Issakainen 1991, Moilanen & Issakainen 2000). Syiksi on esitetty tuhkan korkeaa rautapitoisuutta ja happamuutta vähentävää vaikutusta maape-

rässä, jolloin raskasmetallien liukoisuus vähenee ja kulkeutuminen kasvillisuuteen estyy.

Myöskään sienten raskasmetallipitoisuuksiin ei puu- tai turvetuhkalla ole ollut selvää vaikutusta (Moilanen & Issakainen 2000). Ravinnepitoisuudet ovat kuitenkin kohonneet. Puutuhka on kohottanut mm. kangasrouskun (*Lactarius rufus*), pulkkosienen ja isohaperon (*Russula paludosa*) kalium- ja fosforipitoisuutta (Moilanen & Issakainen 2000). On pääteltävissä, ettei tuhkalannoituksella ole haitallisia vaikutuksia syötäväksi kerättävien marjojen ja sienten laatuun tai riistan ravintokasvien raskasmetallipitoisuuksiin (Perkiömäki ym. 2003, Moilanen & Issakainen 2003b).

Taimettumisolot

Lannoituksen on todettu aiheuttavan muutoksia suometsien uudistumisedellytyksissä. Fosfori-kaliumlannoituksen tiedetään lisäävän hieskoivun ja etenkin rauduskoivun taimien määrää (Kaunisto 1972, 1981, Mannerkoski 1972, Heikurainen & Laine 1976, Laine & Mannerkoski 1980, Moilanen & Issakainen 1984). Havupuiden taimettumiseen lannoituksella ei ole ollut selvää vaikutusta (esim. Kaunisto 1972, Moilanen & Issakainen 1981), joskin eräissä kokeissa männyntaimien määrän on todettu lisääntyneen tuhka- ja PK-lannoituksen jälkeen (Moilanen & Issakainen 1984, Silfverberg 1995). Samoin on havaintoja kuusialikasvosten yleistymisestä lannoitetuissa hieskoivikoissa (esim. Penttilä 1987a). Toisaalta puutuhkan aiheuttaman ”pH-shokin” samoin kuin vesiliukoisten typpi- ja kaliumlannoitteiden tiedetään haittaavan siementen itämistä (Kaunisto 1968, 1971, Paavilainen 1970, Mannerkoski 1971, Silfverberg 1995). Haitallisen vaikutuksen katsotaan perustuvan siemeniä ympäröivän veden osmoottisen imun nousuun, mikä vaikeuttaa taimien veden saantia (Kaunisto 1971, Mannerkoski 1971). Vesiliukoisten lannoitteiden on todettu lisänneen myös istutustaimien kuolleisuutta, ainakin jos lannoite on joutunut juurten kanssa kosketuksiin (Heikurainen ym. 1966, Paavilainen 1966, Seppälä 1968). Sen sijaan vaikealiukoiset fosforilannoitteet, kuten hieno- ja raakafosfaatti tai apatiitti eivät suurinakaan määrinä ole vaikuttaneet haitallisesti männyn ja kuusen sirkkataimien syntyyn tai ne ovat jopa edistäneet taimettumista (Kaunisto 1968, Mannerkoski 1971).

Tuhot

Lannoituksen seurauksena puuston ravinnetilassa tapahtuvat muutokset heijastuvat puiden tuhonkestävyyteen. Eri ravinteiden vaikutukset voivat myös olla eri suuntaisia. Koska kalium tunnetusti osallistuu puiden osmoosinsäätelymekanismiin talveentumisprosessin alkaessa (Marschner 1995), on kaliumlannoituksen päätelty vahvistavan puiden hallankestävyyttä (Koskela 1970). Kokeellisissa tutkimuksissa on kuitenkin saatu ristiriitaisia ja monesti päinvastaisia tuloksia. Sarjalan ym. (1997) tutkimuksessa tuloksena oli, että männyn talviaikainen kylmänkestävyys oli kaliumpuutoksista kärsivissä puissa parempi kuin puissa, joissa kaliumpuutosta ei neulasanalyysin mukaan todettu. Myös eräät muut selvitykset viittaavat siihen, että havupuiden kylmänkestävyys on korkea nimenomaan ravinnepuutosten vallitessa. Esim. Jalkanen ym. (1998) totesivat pääravinnepuutoksista potevien kuusten (*P. sitchensis*) kärsivän turvemaalla pakkasvaurioista vasta 5-10 °C-astetta alhaisemmissa lämpötiloissa kuin vertailtavina olleet NPK-käsittelyn saaneet ravinnetaloudeltaan hyvässä kunnossa olevat kuuset.

Metsän sienitaudeista versosurmakan (*Gremmeniella abietina*) on todettu lisääntyneen pääravinnelannoituksen seurauksena (Mannerkoski & Miyazawa 1983, Pätilä 1984, Pätilä & Uotila 1990). Versosyövän lisääntyminen on selitetty johtuvan lannoituksen aiheuttamasta puuston kasvun lisääntymisestä: kasvun rehevöityminen lisää sienitaudin tartuntapintoja ja vaikuttaa määrällisenä tekijänä. Toisaalta kaliumlannoituksen on osoitettu voivan kaliumpuutosalueilla vähentää versosurmakan aiheuttamaa kasvun taan-

tumaa ja parantaa puiden elossaoloa nuorissa ja varttuneissa suomänniköissä (Kaunisto 1989). Versosyöpätuhoa ei kaliumravitsemustilan parantamisella kuitenkaan ole voitu välttää. Typen lisäyksen on taas todettu hidastaneen puiden elpymistä versosurmakkatuhosta (Kaunisto 1989).

Fosforilannoitus on lisännyt lumikaristesienen (*Phacidium infestans* Karst.) yleisyyttä suotaimikoissa, jotka kärsivät kaliumpuutoksesta ja joissa puutos on voimistunut fosforilannoituksen jälkeen (Kurkela 1965, 1975). Kaliumlisäyksellä on voitu korjata tilannetta ja ehkäistä fosforin tuholle altistavaa vaikutusta. Kaliumin on arveltu vahvistaneen epidermisolukon ulkoseinää, jolloin sienen tunkeutuminen puun soluihin on estynyt.

Kaliumlannoituksella ei ole todettu olevan yhteyttä hirvituhojen määrään (Laine & Mannerkoski 1980). Sen sijaan typellä ja fosforilla lannoitetut männyntaimikot maistuvat hirvelle (*Alces alces*) lannoittamattomia paremmin niin kangas- kuin turvemaillakin (Laine & Mannerkoski 1980, Löyttyniemi 1981, Päivänen 1983, Finér 1985). Finérin (1985) tutkimuksessa syöntituhoja esiintyi jatkolannoittamattomilla koealoilla n. 40 %:lla ja jatkolannoitetuilla n. 60 %:lla puista. Syönnin voimakkuus on korreloinut positiivisesti lannoituksen aiheuttaman taimien rehevöitymisen ja neulasten typpipitoisuuden lisääntymisen kanssa (Löyttyniemi 1981). Syynä pidetään ravinnon kelpaavuuden paranemista (raakavalkuaisen lisääntyminen), kun puun kasvu lisääntyy ja ravinnon laatua alentavien yhdisteiden osuus pienenee. Puun sekudaarimetaboliatuotteiden sekä fenoli- ja terpeeniyhdisteiden pitoisuuksien on todettu korreloivan negatiivisesti syönnin kanssa. Puiden rehevöityminen typpi- ja fosforikäsittelyjen seurauksena saattaa soilla parantaa versojen saatavuutta ja näin lisätä hirvituhoja. Hirvivahinkoja esiintyy yleensä alle 3 metrin mittaisissa taimikoissa, joita ei käytännössä juuri lannoiteta. Hirven syöntikäyttäytymistä uudistusalojen taimikoissa saattavat kuitenkin ohjata myös edellisen puusukupolven aikana tehtyjen lannoitusten vaikutukset.

Yksipuolisen typpilannoituksen on useissa yhteyksissä todettu haittaavan suopuiden kasvua ja aiheuttavan latvakatoa niin karuilla kuin viljavillakin kasvupaikoilla (Kaunisto 1977, Kaunisto & Paavilainen 1977, Paavilainen 1979a, Raitio 1981, Kaunisto 1985, 1987a, Moilanen 1993). Typen yliannostuksen merkkejä ovat neulasten ja päätesilmun vauriot, neulasten ruskettuminen, monilatvaisuus, heikentynyt kasvu ja jopa kuolleisuuden lisääntyminen (Kaunisto 1977, Kaunisto & Paavilainen 1977, Kaunisto 1987a). Liiallisen typen saatavuuden yhdessä heikentyneen booritalouden kanssa tiedetään myös viivästyttävän puiden talveentumista ja altistavan ne pakkasvaurioille (esim. Aronsson 1980, Ferm ym. 1990). Samalla mm. neulasten N/B-suhde ja samalla kasvuhäiriöiden riski kasvavat (Veijalainen 1977, Veijalainen ym. 1984, Kaunisto 1987a, Moilanen 1993). Helppoliukoisten typpilannoitteiden käyttö viljavilla kohteilla on kyseenalaista myös siksi, että puuston kasvureaktiot jäävät vaatimattomiksi (Moilanen 1993).

Puustoreaktiot

Muutokset puiden ravinnepitoisuuksissa

Pääravinnelisäyksen (N, P, K) seurauksena suopuiden elävien osien (neulaset, lehdet, kuori, juuristo) ja puuaineksen ravinnepitoisuudet kohoavat (esim. Finér 1992, Finér & Kaunisto 2000). Vaikutuksen nopeus ja suuruus riippuvat mm. käytetystä lannoitelajista, puulajista, puuston ravinnetilasta ja kasvupaikan viljavuudesta (mm. Karsisto 1976, Kaunisto 1982, 1987a, Moilanen 1993, Mugasha ym. 1993, 1999, Kaunisto ym. 1993, Moilanen ym. 1996b, Penttilä & Moilanen 1997).

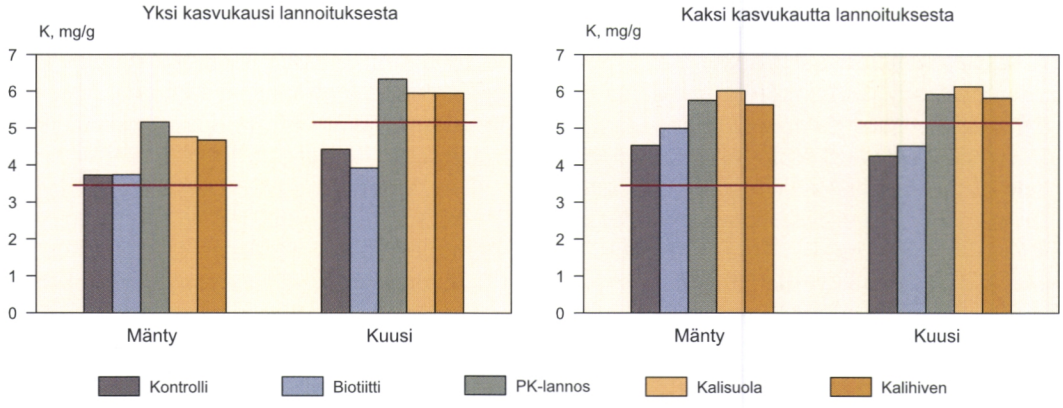
Muutokset puiden ravinnepitoisuuksissa näkyvät vuosia, joskus vuosikymmeniä. Männyn neulasten ravinnetilan parantumisen seurauksena myös neulasvuosikertojen määrä lisääntyy (Moilanen ym. 2002, Moilanen & Issakainen 2003a). Puutuhkan ja PK-lannoksen on havaittu kohottaneen myös koivunlehtien ravinnepitoisuuksia niin suometsissä (Penttilä

& Moilanen 1997) kuin suonpohjilla (Lumme 1988, Aro & Kaunisto 1996). Kuusen neulasten tiedetään niinikään reagoivan ravinnelisäykseen ojitetuilla soilla (esim. Moilanen ym. 1996a, Saarinen & Sarjala 1999) (kuva 3).

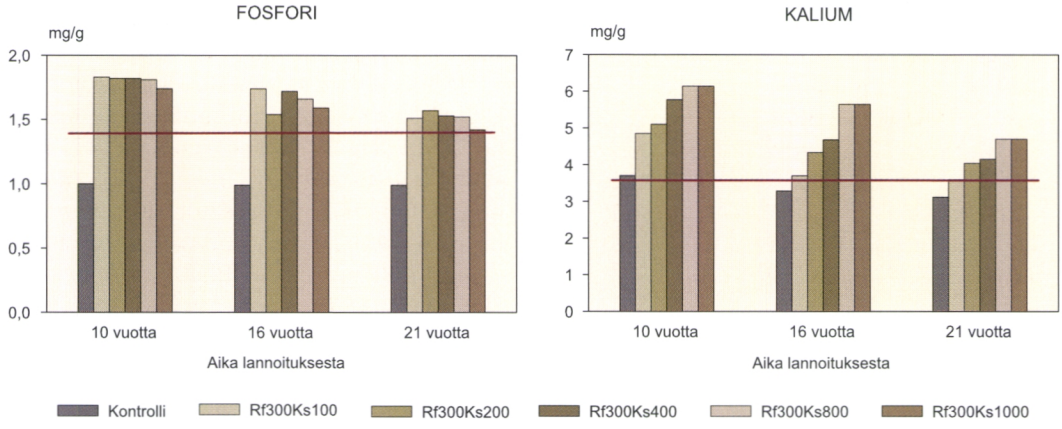
Typpilannoitteet (mm. urea ja ammoniumnitraatti) kohottavat neulasten typpipitoisuutta jo lannoitusta seuraavan vuoden aikana (Paavilainen & Pietiläinen 1983, Paavilainen 1984, Carsson & Möller 1985, Finér 1994), mutta vaikutusaika jää lyhyeksi, yleensä 3-5 vuoteen (Kaunisto & Paavilainen 1977, Raitio 1981, Carlsson & Möller 1985, Kaunisto 1982, 1985, 1987a, Finér 1992). Myös hidasliukoinen ureaformaldehydi (Nitroform) on kohottanut männyn ja kuusen neulasten typpipitoisuutta levityksen jälkeisen kasvukauden kuluessa (Finér 1994).Typpikäsittely kohottaa neulasten typpipitoisuutta muutamien vuosien ajan.

Fosforia ja kaliumia sisältävät lannoitteet usein alentavat neulasten typpipitoisuutta (mm. Paarlahti ym. 1971, Raitio 1981, Kaunisto 1982, 1985, Pietiläinen ym. 1996, Silfverberg & Issakainen 2001, Pietiläinen & Kaunisto 2003). Tämä johtuu nk. ohentumisilmiöstä: lannoituksen seurauksena puiden kasvu voimistuu ja puuston käyttämä turpeen liukoinen typpi on jakaantuneena "laimentuneena" suurempaan biomassaan.

Lannoitefosfori kohottaa suomännyn neulasten fosforipitoisuutta tutkimusten mukaan 15-25 vuoden ajan (esim. Penttilä & Moilanen 1987, Silfverberg & Hartman 1999) (kuva 4). Myös käytännön metsäojitusalueilta tehdyt ravinnetilaselvitykset osoittavat fosforilisäyksen näkyvän puuston ravinnetilassa 25-30 vuotta, joskus kauemminkin (Moilanen 1992, Moilanen ym. 1996b, Moilanen & Issakainen 2003a). Eri fosforilannoitelajit vaikuttavat pitkällä aikavälillä samalla tavoin, mutta alkuvuosina lannoitteen liukoisuudella on merkitystä: vesiliukoinen superfosfaatti kohottaa neulasten fosforipitoisuutta jo ensimmäisen levitystä seuraavan vuoden aikana (Karsisto 1976, Finér 1994). Superfosfaatin nopea alkuvaikutus on todettu useissa selvityksissä (mm. Mannerkoski & Miyazawa 1983, Carsson & Möller 1985). Hidasliukoisten fosforilannoitteiden (raakafosfaatti ja apatiitti) (Karsisto 1976, Finér 1994, Silfverberg & Hartman 1999) ja pääosin hidasliukoista fosforia sisältävän puutuhkan vaikutus ilmenee puiden ravinnetilassa vasta muutaman vuoden kuluttua levityksestä (Kaunisto 1987a, Finér 1994, Moilanen ym. 2002). Pitemmällä aikavälillä erot eri fosforilannoitteiden välillä ovat jää-



Kuva 3. Lannoituksen vaikutus männyn ja kuusen neulasten kaliumpitoisuuteen ojitusalueella. Lannoitus tehty kesäkuussa 1998, neulasnäytteet otettu yhden ja kahden kasvukauden kuluttua levityksestä huhtikuussa 1999 ja 2000. Punainen vaakaviiva osoittaa ankaran K-puutoksen raja-arvon. Muhos, Matolampi.



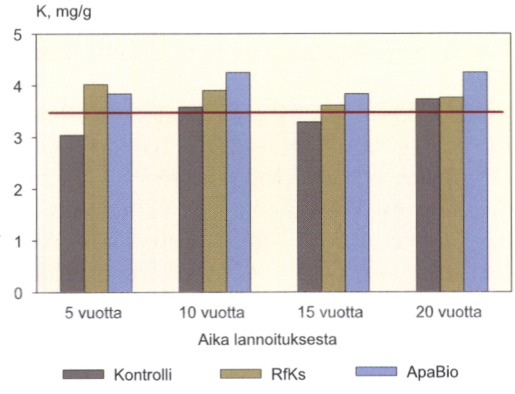
Kuva 4. Männynneulasten fosfori- ja kaliumpitoisuudet rämemännikössä eri ajankohtina lannoituksen jälkeen. Perusojitus tehty 1930-luvulla ja täydennysojitus vuonna 1980. Lannoitteina raakafosfaatti (Rf) ja kalisuola (Ks). Numero lyhenteessä tarkoittaa annostusta (kg/ha, Ks200-taso nykyisen lannoitussuosituksen mukainen). Punaiset vaakaviivat osoittavat ankaran fosforin ja kaliumin puutoksen raja-arvoja. Sievi, Etelä-Sydänmaa.

neet vähäisiksi (Penttilä & Moilanen 1987, Silfverberg & Hartman 1999). On huomattava, että nykyisin käytössä olevissa metsänlannoitteissa ei ole vesiliukoista fosforia.

Useimmissa metsänlannoitteissa kalium on vesiliukoisena kaliumkloridina eli kalisuolana. Kalisuola kohottaa neulasten kaliumpitoisuutta jo levityskesänä ja parantaa suopuuston ravinnetilaa kohteesta riippuen 10-20 vuoden ajan (Kaunisto 1987a, Kaunisto 1992, Finér 1994, Rautjärvi ym. 2004). Helppoliukoisesta kaliumista kuitenkin valtaosa huuhtoutuu puiden juuriston ulottumattomiin (Kaunisto & Paavilainen 1988, Kaunisto 1992).

Eri kalilannoitelajit (kalisuola, kaliumsulfaatti ym.) vaikuttavat suopuiden ravinnetilaan samalla tavoin (Kaunisto 1992). Myös hidasliukoisena pidetty puutuhka on parantanut suopuuston kaliumtaloutta jo vuoden kuluessa levityksestä – puutuhkasta kalium liukenee selvästi nopeammin kuin esimerkiksi fosfori (Moilanen & Issakainen 2000, Nieminen 2003). Neulasten kaliumpitoisuus on yleensä ollut sitä korkeampi, mitä enemmän kaliumia on lannoitteissa käytetty. Annostusta lisäämällä on vaikutusaikaa myös voitu jatkaa (Kaunisto 1992, Moilanen 1993) (kuva 4). Puuston ravinnetilan pitkäaikaiseen (yli 25 vuotta) kohottamiseen tarvittavat kalisuolamäärät ovat kuitenkin kalleutensa vuoksi käytännön toiminnan kannalta liian suuria.

Biotiitti vaikuttaa kalisuolaa hitaammin puiden kaliumravitsemustilaan (esim. Vasander & Lindholm 1992, Sarjala & Kaunisto 1996) ja muutokset ilmenevät vasta 2-3 vuoden kuluttua levityksestä (Kaunisto ym. 1993, Finér 1994, Kuuppo 2003) (kuva 5). Toisaalta biotiitti kohottaa puiden kaliumpitoisuutta kauemmin kuin kalisuola (Kaunisto ym. 1993, Kaunisto ym. 1999, kuva 5). Korvaamalla kalisuola (kaliumkloridi) hidasliukoisella biotiitilla oletettavasti vältyttäisiin ravinteiden huuhtoutumiselta ja saavutettaisiin yhtä pitkä vaikutusaika kuin hidasliukoisilla fosforilannoitteilla. Tällä olisi merkitystä myös käytännön lannoitustoiminnan kannalta, koska toistuvia lannoituksia – ainakaan kahta enempää kiertoajan kuluessa – ei tarvittaisi. Biotiitin kaliumpitoisuus on kuitenkin selvästi alhaisempi kuin kalisuolan, mikä merkitsee suurempaa annostusta ja korkeampia levityskustannuksia.



Kuva 5. Männyn neulasten kaliumpitoisuuden kehitys lannoituksen jälkeen paksuturpeisella nevarämeellä. Muhos, Jylkky. Vaakaviiva osoittaa puutosrajan.

PK- ja NPK-lannoitukset sekä kalkitus laskevat neulasten hivenravinnepitoisuuksia (mm. Raitio 1981, Kaunisto 1987a, Nieminen & Pätilä 1994). Tässäkin kyse lienee voimistuneen kasvun ja parantuneen pääravinnetilan aiheuttamasta "ohentumisilmiöstä" (Veijalainen 1977), jonka on nähty usein johtavan boorinpuutokseen ja kasvuhäiriöihin. Boorilisäys (lannoiteboraatti tai puutuhka) poistaa puiden boorinpuutoksen muutamassa kuukaudessa; vaikutus on myös pitkäkestoinen, vähintään 10-15 vuotta (esim. Paavilainen & Pietiläinen 1983, Veijalainen 1984, Kaunisto 1987a). Boori on mukana kaikissa nykyisissä suometsiin tarkoitetuissa lannoitteissa. Muidenkin hivenravinteiden lisäyksen tarpeellisuudesta on keskusteltu, onhan esimerkiksi sinkin määrä turpeessa usein huomattavasti pienempi kuin ko. metsikössä puustoon sitoutuneen sinkin määrä. Toisaalta tutkimuksissa ei ole kiistatta voitu osoittaa sinkin, mangaanin tai kuparin parantaneen puiden kasvua (ks. kuitenkin Veijalainen 1981, 1984, Paavilainen & Penttilä 1983, Paavilainen 1984) (ks. myös luku 2.2.4). Neulasten hivenravinnepitoisuuksia on hivenkäsittelyillä kuitenkin voitu kohottaa (Veijalainen 1984, Kaunisto 1987a, Moilanen 1989, Silfverberg & Issakainen 2001).

Koska lannoitus vaikuttaa metsikön kariketuotokseen sekä lehti- ja neulaskarikkeen ravinnepitoisuuksiin, se samalla muuttaa metsikön sisäistä ravinnekiertoa. Aluksi kariketuotos voi vähentyä ja neulasvuosikertojen määrä lisääntyä, koska neulaset pysyvät puussa aiempaa kauemmin (Miller ym. 1976, Finér 1996). Myöhempinä vuosina karikkeen määrä yleensä lisääntyy (Miller ym. 1976, Paavilainen 1987). Muutokset karikkeen ravinnepitoisuuksissa ovat samansuuntaisia kuin lehtien ja neulasten ravinnepitoisuuksissakin. Fosfori- ja kaliumlannoituksen on todettu kohottavan ja typpilannoituksen alentavan lehti- ja neulaskarikkeen fosfori- ja kaliumpitoisuutta (Mugasha ym. 1996, Paavilainen 1987, 1990, Vose & Allen 1991, Finér 1996). Vaikutus on havaittu jo yhden kasvukauden jälkeen. Typpilisäys on kohottanut neulaskarikkeen typpipitoisuutta (Paavilainen 1987, Mugasha ym. 1996). Eräiden hivenravinteiden (esim. Mn, Zn) pitoisuus neulaskarikkeessa voi pääravinnelannoituksen jälkeen alentua (Paavilainen 1987, Finér 1996).

Puustoon sitoutuu vain pieni osa lannoiteravinteista (Paavilainen 1973, Finér 1989). Esimerkiksi nuorehko rämemännikkö hyödyntää annetusta kaliumista n. 20 % ja muista lannoiteravinteista n. 10 % ensimmäisen viiden vuoden aikana (Finér 1989). Finérin (1991) tutkimuksessa lannoituksella tuotetun puumassa ravinnekertymä vastasi 10 % lannoitefosforin, 25 % lannoitekaliumin, 20 % lannoitetypen ja 10 % lannoiteboorin määrästä; kuusi hyödynsi lannoiteravinteista huomattavasti suuremman osan kuin mänty ja käytti mäntyyn verrattuna biomassayksikön tuottamiseen enemmän kalsiumia, mangaania ja booria. Finérin ja Niemisen (1997) tutkimassa rämemännikössä lannoitefosforista ja -kaliumista sitoutui kokonaisbiomassaan (puusto + pintakasvillisuus) kolmen vuoden kuluessa 25-30 %.

Pintakasvillisuus on varsin tehokas hyödyntämään lannoiteravinteita – alkuvuosina jopa tehokkaampi kuin puusto (Finér & Nie-

minen 1997). Paavilaisen (1973) tutkimuksessa puusto oli sitonut lannoitetypestä ensimmäisen kesän aikana 2-3 %, kun pintakasvillisuudessa sitä oli jo noin 20 %.

Puuston kasvureaktioon vaikuttavat tekijät

Suurin osa suometsien lannoitustutkimuksista on kohdistunut nevarämeiden nuoriin männiköihin (*Pinus sylvestris*). Kuusi- tai hieskoivuvaltaisista metsiköistä lannoitustietoutta on huomattavasti vähemmän. Käsitykset lannoituksen merkityksestä suopuustojen ravinnetalouden hoidossa samoin kuin käytännön lannoitussuosituksetkin pohjautuvat männyllä saatuihin tutkimustuloksiin. Eri puulajien välillä on kuitenkin eroja, jotka on syytä ottaa huomioon käytännön lannoitusten suunnittelussa. Seuraavassa esitettävät lannoitustulokset koskevat lähinnä mäntyä. Lopussa on yhteenveto muilla puulajeilla saaduista tutkimustuloksista.

Kasvupaikkatyyppi

Pääravinnelisäyksen (N, P, K) tuottaman puuston kasvunlisäyksen suuruus riippuu paitsi ravinteiden puutostilan voimakkuudesta myös puiden ravinnesuhteista lannoitushetkellä. Mitä korkeampi on suon luontainen viljavuustaso (so. mitä enemmän turpeessa on typpeä), sitä suuremman ja pitkäaikaisemman kasvuvasteen lannoitus (PK) aiheuttaa. Niukkatyppisillä soilla puut reagoivat lähinnä vain typpilisäykseen. Lannoituskokeiden tulokset osoittavat, että PK-käsittely parantaa Etelä- ja Keski-Suomen olosuhteissa männyn kasvua 1-2,5 m^3/ha/v, ja että vaikutus kestää 20-30 vuoden ajan (Aarnio ym. 1997). Pohjois-Suomessa vastaava kasvunlisäys vaihtelee metsikön typpitilasta riippuen välillä 0,5-1,5 m^3/ha/v.

Paksuturpeisilla ja alkuaan nevaisilla ja märillä soilla kalium- ja fosforipuutostilat ovat ankarimmat ja lannoitusvaikutukset suuria (kuva 6). Suurimmillaan runkopuuston lisäkasvu voi olla 4-5 m^3/ha vuodessa (Moilanen 1993, Veijalainen 1999), mikä merkitsee lannoitusvaikutuksen koko kestoajalle yli 100 m^3:n lisäystä. Tällaiset kohteet edustavat trofialtaan lähinnä ruohoisia ja suursaraisia suotyyppejä.

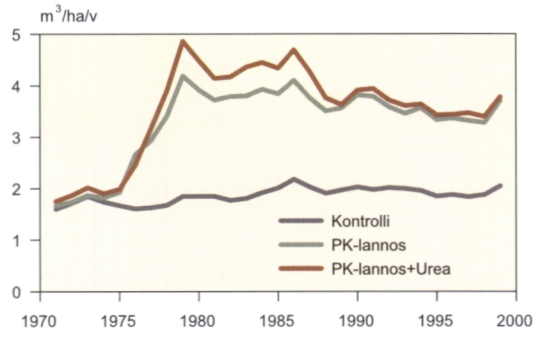
Typen lisäyksestä PK-lannoksen ohella ei runsastyppisillä soilla ole juurikaan hyötyä (Moilanen 1993). Yksipuolisen tai liiallisen typen käytön on todettu pikemminkin heikentäneen kuin voimistaneen puuston kasvua (Kaunisto 1977, Kaunisto & Paavilainen 1977, Kaunisto 1985, Kaunisto 1987a).

Piensara-, tupasvilla- ja isovarpuisilla sekä niitä karummilla rämeillä puut potevat fosforin ja kaliumin ohessa myös typen niukkuutta. Pelkän PK-käsittelyn vaikutus jää tällaisilla kohteilla vähäiseksi (Huikari 1973, Ipatiev & Paavilainen 1975, Kaunisto 1977, 1985, Paavilainen 1977a, Moilanen & Issakainen 1990, Moilanen 1993). Typen lisäys PK-lannoksen yhteydessä parantaakin selvästi puiden kasvua. NPK-käsittelyn vaikutusaika jää kuitenkin suhteellisen lyhyeksi (5-8 vuotta) (Moilanen & Issakainen 1990, Finér 1991, Moilanen 1993).

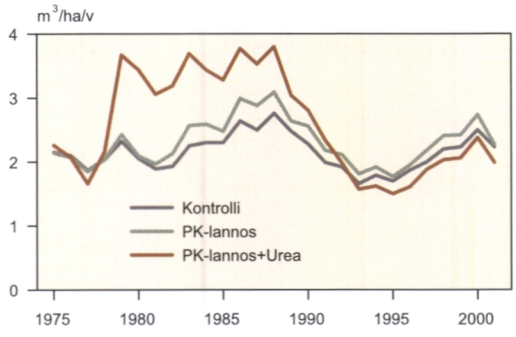
Myös turpeen paksuus vaikuttaa suopuiden ravinnetilaan ja lannoitusvaikutuksen suuruuteen.Ohutturpeisilla kohteilla (turvekerros alle 20-30 cm) puusto usein kykenee hyödyntämään pohjamaan fosfori- ja kaliumvaroja, ja näin myös PK-lannoituksen vaikutus jää pienemmäksi kuin paksuturpeislla soilla. Ohutturpeisilla kohteilla korostuu toisaalta typen niukkuus (esim. Paavilainen 1986, Moilanen & Issakainen 1990). Viljavuudeltaan keskitasoisilla ohutturpeisilla kohteilla tai kangasrämeillä voi siis typpilannoitus olla perusteltua, etenkin päätehakkuuta lähestyttäessä – kohdistuuhan kasvunlisäys arvokkaaseen tukkipuuhun (kuva 7).

Maantieteellinen sijainti

PK-käsittely lisää männyn kasvua suursaraisilla ja ruohoisilla soilla vielä Sodankylän korkeudella (esim. Paavilainen 1978).Turpeen typen mineralisaatio on Pohjois-Suomen ilmastoolosissa kuitenkni hitaampaa kuin Etelä-Suomessa. Se merkitsee, että pohjoisessa typen niukkuus rajoittaa puiden kasvua kohtalaisen runsastyppisilläkin soilla (Starr & Westman



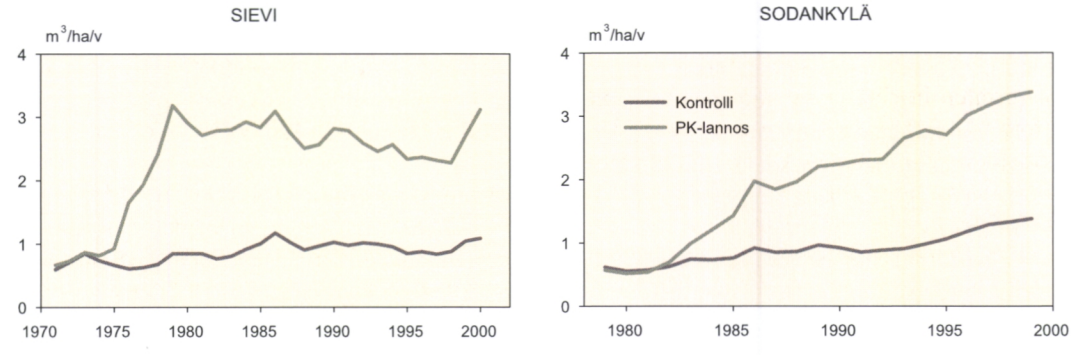
Kuva 6. Männyn tilavuuskasvu runsastyppisellä ja paksuturpeisella (>80 cm) nevarämeellä. Lannoitus tehty keväällä 1974. Sievi, Nevajärvi.



Kuva 7. Männyn tilavuuskasvu niukkatyppisellä ja ohutturpeisella (15-20 cm) rämeellä. Lannoitus tehty heinäkuussa 1977. Muhos, Rakka.

1978, Westman 1979, Sundström ym. 2000). Tietyn suuruisen puuston lannoitusvasteen syntyminen siis edellyttäisi Pohjois-Suomessa runsastyppisempää kohdetta kuin Etelä-Suomessa (Pietiläinen & Kaunisto 2003, ks. myös luku 2.3.1). Suomessa ja Ruotsissa tehtyjen tutkimusten mukaan lannoitusvaikutus pohjoisen alhaisilla lämpösummavyöhykkeillä on jäänyt vaatimattomaksi; suurimmat kasvunlisäykset on saatu NPK- ja NP-käsittelyillä (Seppälä & Westman 1976, Härkönen 1982, Heikurainen & Laine 1985, Westman 1987, Sundström 1995).

SUO-tutkimusohjelman aikana Oulun läänin pohjois- ja koillisosista sekä Etelä- ja Keski-Lapista saadut lannoituskokeiden mittaustulokset viittaavat siihen, että vaikka ravinneongelmaisten suometsiköiden lannoitus lisää puuston kasvua myös pohjoisessa, niin lannoituksen vaikutus jää pienemmäksi kuin etelämpänä (Pietiläinen & Kaunisto 2003, ks. myös luku 2.3.1) (kuva 8). Lämpösumman alentuessa puuston kasvu joka tapauksessa pienenee pohjoiseen mentäessä, samoin lannoituksella saatava lisäkasvu.



Kuva 8. PK-lannoituksen vaikutus puuston tilavuuskasvuun kahdessa nuoressa rämemännikössä: Sievin Nevajärvi (kasvukauden lämpösumma 1051 d.d.) ja Sodankylän Kalliolampi (lämpösumma 823 d.d.). Pintaturpeen (0-10 cm) typpipitoisuus molemmissa kohteissa 2,4 %. Puut kärsivät fosforin ja kaliumin puutoksesta.

Taulukko 2. Männyn neulasten ravinnepitoisuuksia Etelä-Suomen karujen rämeiden vanhoilla ojitusalueilla talvella 2002, lannoittamattomat koealat (vaihteluväli suluissa).

	Loppi, Aittoniemensuo	Suomusjärvi, Kettula 1A	Suomusjärvi, Kettula 4	Vilppula, Jaakkoinsuo J6
N, %	1,53	1,55	1,77	1,67
P, mg/g	1,47	1,45	1,40	1,78
K, mg/g	4,44	5,01	5,14	4,82
Zn, mg/kg	77	77	97	68
Cu, mg/kg	3,7	3,7	4,1	4,1
B, mg/kg	27	26	27	23

Ojitusalueiden pintaturpeessa tapahtuu pitkällä aikavälillä muutoksia, jotka heijastuvat puiden ravinnetilaan. Pintaturpeen tiivistyminen ja hajoaminen merkitsevät mm. puiden typensaannin tehostumista. Typpitalouden parantuminen on seurausta myös siitä, että juuristo ulottuu syvempiin ja usein myös runsastyppisempiin turvekerroksiin. Etelä-Suomen karuhkojen rämeiden vahoilla ojitusalueilla viime aikoina tehdyt havainnot puuston hyväkasvuisuudesta saattavatkin selittyä puiden typen saannin parantumisena. On mahdollista, että myös typpilaskeumilla on ollut vaikutusta karujen rämeiden "rehevöitymiseen" Etelä-Suomessa.

Näyttäisi siis siltä, että Etelä-Suomessa PK-lannoitus riittäisi alun perin karuillakin suokasvupaikoilla varmistamaan puiden ravinnetaloudellisesti kestävän kehityksen. Tähän suuntaan viittaavat myös uusimmat neulasanalyysien tulokset Etelä-Suomen karuhkoilta rämeiltä: männiköissä ravinnepuutoksia esiintyy verraten lievinä ja ne rajoittuvat lähinnä fosforiin (taulukko 2). Typen puutoksia ei lannoituskokeilla juuri esiinny. PK-lannoituksen aiheuttamat puustoreaktiot ovat olleet verraten suuria, keskimäärin 1,0-1,5 m^3/ha/vuodessa 30 vuoden aikana (Veijalainen 2000).

Lannoitelaji

Yleisimmät suometsien lannoituksessa käytetyt lannoitteet ovat olleet Suometsien PK-lannos (myöhempi Metsän PK-lannos) ja Urea. PK-lannoksessa fosfori on ollut hidasliukoista raakafosfaattia (nykyisin apatiittia) ja kalium vesiliukoista kaliumkloridia (=kalisuolaa). Myös puu- ja turvetuhkia on käytetty suometsien lannoittamiseen käytännön mittakaavassa.

Fosforilannoitelajeista raakafosfaatti, superfosfaatti ja kotimainen Siilinjärven apatiitti ovat vaikuttaneet puuston kasvuun pitkällä aikavälillä samalla tavoin (Silfverberg & Hartman 1999). Alkuvaiheessa superfosfaatin vaikutus on ollut nopeinta ja apatiitin hitainta (Karsisto 1976). Tutkimustuloksia on ollut käytettävissä myös toisesta kotimaisesta fosforimineraalista, Savukosken Sokliojalta louhitusta hidasliukoisesta fosforiitista. Sokliojan fosforiitin vaikutus on ollut yhtä suuri kuin muidenkin fosforiyhdisteiden: pelkkä rikastamaton malmimurske on kohentanut suomäntyjen kasvua (Penttilä & Moilanen 1987). Fosforin käyttömäärää lisäämällä on vaikutusaikaa voitu joissain tapauksissa jatkaa. Nykykäsityksen mukaan fosforiannostus n. 40-50 kg P/ha riittää turvaamaan puiden fosforin saannin 20-30 vuoden ajaksi.

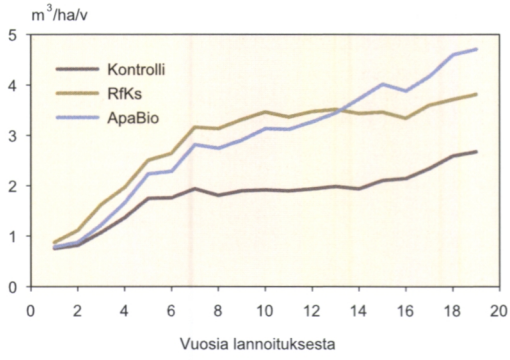
Erityyppiset kaliumlannoitelajit ovat vaikuttaneet puuston kasvuun hyvin samalla tavoin (Kaunisto 1992). Kaliumannostusta lisäämällä näyttää olevan mahdollista jatkaa vaikutusaikaa (Kaunisto 1992, Moilanen 1993), joskin puuston kasvureaktio ei ole suorassa suhteessa annettuun ravinnemäärään. Vesiliukoisia kalilannoitteita käytettäessä valtaosa kaliumista huuhtoutunee puuston ulottumattomiin (Kaunisto 1992).

Kaliumlannoituksen vaikutuksen kestoaika riippuu siitä, annetaanko kalium kalisuolana vai hidasliukoisena biotiittina. Uusimpien tutkimustulosten mukaan apatiitti-biotiitti-yhdistelmän aikaansaama puustoreaktio säilyy pitempään kuin raakafosfaatti-kalisuola-yhdistelmällä aikaansaatu puustoreaktio (Kaunisto ym. 1993, 1999) (kuva 9).

Typpilannoitelajeista Urea on aiheuttanut hiukan heikomman (Paavilainen 1972) tai samansuuruisen (Moilanen & Issakainen 1990) puustoreaktion kuin Oulunsalpietari (Suomensalpietari). Hidasliukoisen typpilannoitteen (Nitroform, Kemifix, Metsän Kestotyppi) puustovaikutuksista tutkimustietoa on niukasti. Kangasmailla sen on havaittu lisääänneen puuston kasvua hitaammin kuin muut typpilannoitelajit, mutta toisaalta sen vaikutusaika on jatkunut selvästi pitempään, jopa 25-30 vuotta (Päivinen 1999). Mahdollisesti myös turvemailla tällä "kestotypellä" saataisiin pitempi vaikutusaika kuin perinteisillä typpilajeilla, mutta lisätutkimuksia asian varmentamiseksi tarvitaan (Moilanen & Issakainen 1985, Finér 1994).

Puutuhka aiheuttaa pysyväisluonteisen maanparannusvaikutuksen suometsissä ja voimistaa puiden kasvua vuosikymmenten ajan (Silfverberg & Huikari 1985, Silfverberg 1996, Moilanen & Issakainen 2000, Moilanen ym. 2002). SUO-tutkimusohjelman aikana kerättiin puustomittausaineisto lannoituskoesarjasta, jossa vertailtavina lannoittaina olivat Suometsien PK-lannos ja puutuhka (Silfverberg & Issakainen 2001). Tuhkan ja PK-lannoksen sisältämät fosfori-, kalium- ja boorimäärät olivat samaa suuruusluokkaa. Tulokset osoittivat, että alkuvuosina PK-lannos lisäsi puiden kasvua hiukan enemmän kuin puutuhka. Myöhemmin ero tasaantui ja kääntyi 15 vuoden kuluttua lannoituksesta päinvastaiseksi (Moilanen ym. 2004) (kuva 10).

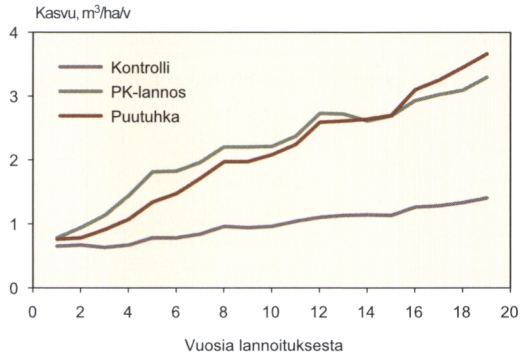
Puutuhka – toisin kuin PK-lannos – näyttää edistävän puuston kasvua myös niukkatyppisillä soilla, mutta vaikutus on hidas ja ilmenee vasta kun levityksestä on kulunut 5-10 vuotta. Selitys voi piillä tuhkan kalkitusvaikutuksessa, jonka seurauksena turpeen



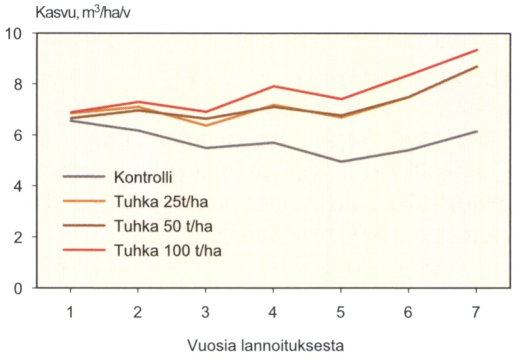
Kuva 9. Lannoituksen vaikutus männyn tilavuuskasvuun runsastyppisellä rämeellä. Lannoittamaton puusto kärsii fosforin ja kaliumin puutoksesta: neulasten P-pitoisuus 0,9-1,3 mg/g ja K-pitoisuus 3,2-3,4 mg/g. Kontrolli = lannoittamaton, RfKs = raakafosfaatti+ kalisuola, ApaBio = apatiitti+biotiitti.

käyttökelpoinen typpi sitoutuu vuosiksi maamikrobistoon. Vasta pitemmän ajan kuluttua typpeä alkaa vapautua riittävästi myös puille. Kalkin puustovaikutukset ovat kuitenkin jääneet vähäisiksi – alkuvuosina kalkitus voi jopa heikentää kasvua (Kaunisto 1982, Nieminen & Pätilä 1994, Kakei & Clifford 2002 (kuva 11).

Myös turvetuhkan tiedetään lisäävän puuston kasvua ojitusalueilla (kuva 11). Turvetuhkan soveltuvuutta metsänlannoitteeksi heikentää se, että se sisältää fosforia lukuun ottamatta vähän ravinteita puutuhkaan verrattuna (Issakainen ym. 1994, Moilanen & Issakainen 2000). Etenkin kaliumia ja booria turvetuhkassa on niukasti. Kalisuolalla "terästetty" turvetuhka on voimistanut puiden kasvua niin metsäojitusalueilla (Issakainen ym. 1994) kuin suonpohjien metsityksissä (Hytönen 2000). Turvetuhkassa on runsaasti rautaa, mikä on sen lannoitekäytön eräs etu: rautayhdisteet sitovat tuhkan fosforin tehokkaasti kasvualustaan ja pelätyiltä fosforihuuhtoumilta vältytään (Nieminen & Jarva 1996, Nieminen 2002). Suurtenkaan puu- tai turvetuhkamäärien ei ole todettu vaikuttaneen haitallisesti puuston kasvuun (mm. Moilanen & Issakainen 2000, Hytönen 2000) (kuva 12).



Kuva 10. Männyn tilavuuskasvun kehitys lannoituksen jälkeen. Lannoitteina käytetty Suometsien PK-lannosta ja puutuhkaa; fosforin annostus sama molemmissa vaihtoehdoissa.



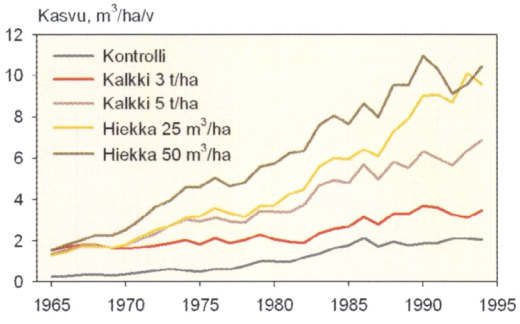
Kuva 11. Männikön tilavuuskasvu turvetuhkalannoituksen jälkeen paksuturpeisella ruohoisen sararämeen ojitusaluella. Tuhkan levitys huhtikuussa 1991.

Suopuiden ravinnetaloustutkimuksissa on selvitetty myös kivennäismaalisäyksen vaikutusta puuston kasvuun ojitusalueella. Esimerkkinä mainittakoon Muhoksen Leppiniemeen vuonna 1934 perustettu hiekoitus- ja kalkituskoe, jonka puuston kehitystä on seurattu nykypäiviin saakka. Männyn kasvu on lisääntynyt selvästi niillä koealoilla, joille on levitetty 2-5 cm:n paksuinen kerros hiekka-hietamaan sekoitusta (kuva 12).

Kuivatusteho

Maaperän kosteusolot vaikuttavat puiden ravinteiden ottoon – kulkeutuvathan ravinteet puihin veden mukana. Kasvualustan kuivuminen voi johtaa ravinteiden oton heikentymiseen ja ravinnepuutokseen. Sateisina kesinä pohjaveden pinta voi taas olla niin lähellä maanpintaa, että juuriston toiminta estyy. Vaikka ravinnelisäys on parantanut puuston kasvua myös silloin, kun pohjavesi on kasvukauden aikana ollut lähellä (10 cm) maanpintaa (Karsisto 1979a), ei lannoitusta ei suositella kohteisiin, joissa puusto kärsii liiasta märkyydestä. Kuivatustilan parantuminen ja pohjavesipinnan aleneminen merkitsee pintaturpeen mikrobitoiminnan vilkastumista (esim. Karsisto 1979a), mikä näkyy mm. turpeen ja puuston typpipitoisuuden kohoamisena (Lauhanen & Kaunisto 1999, Pietiläinen & Moilanen 2003). Kuivatustehon ja lannoituksen keskinäinen yhdysvaikutus riippunee kasvupaikkatyypistä. Karuhkoilla rämeillä puuston NPK-lannoitusreaktio on ollut samanlainen sarkaleveydestä riippumatta (Kaunisto 1977, Heikurainen ym. 1983, Sundström 1995). Runsastyppisillä soilla on PK-lannoitus sitä vastoin lisännyt puuston kasvua 40 metrin saroilla selvästi enemmän kuin 20 tai 10 metrin levyisillä saroilla (Pietiläinen & Moilanen 2003 (kuva 14). Myös Penttilän (1987b) tutkimuksessa lannoitus lisäsi rämemännikön kasvua, kun sarkaleveys oli 30-50 metriä, mutta heikensi kasvua kapeammilla saroilla. Toisaalta on viitteitä siitä, että tehokas kuivatus paksuturpeisella ja runsastyppisellä suolla alentaa pintaturpeen kaliumvaroja pitemmällä aikavälillä ja täten osaltaan lisää kaliumpuutoksen todennäköisyyttä (Pietiläinen & Moilanen 2003).

Lannoituksen on arveltu tuottavan parhaimman tuloksen, kun se tehdään muutamia vuosia kuivatuksen jälkeen, jolloin puusto on jo elpynyt hyödyntääkseen lisäravinteet (esim. Keränen 1975, Karsisto 1976, Kaunisto 1992). Käytännön metsänhoito-ohjeissa lannoitus esitetään tehtäväksi muutamia vuosia kunnostusojituksen jälkeen. Taustalla on



Kuva 12. Männyn tilavuuskasvun kehitys Muhoksen Leppiniemen kalkitus- ja hiekoituskokeella vuosina 1965-1994. Kalkkikivijauhe ja kivennäismaalevitykset vuodelta 1934. Puusto kärsii fosforin ja kaliumin puutoksesta vertailu- ja kalkkikoealoilla, hiekoitusaloilla puutoksia ei esiinny.

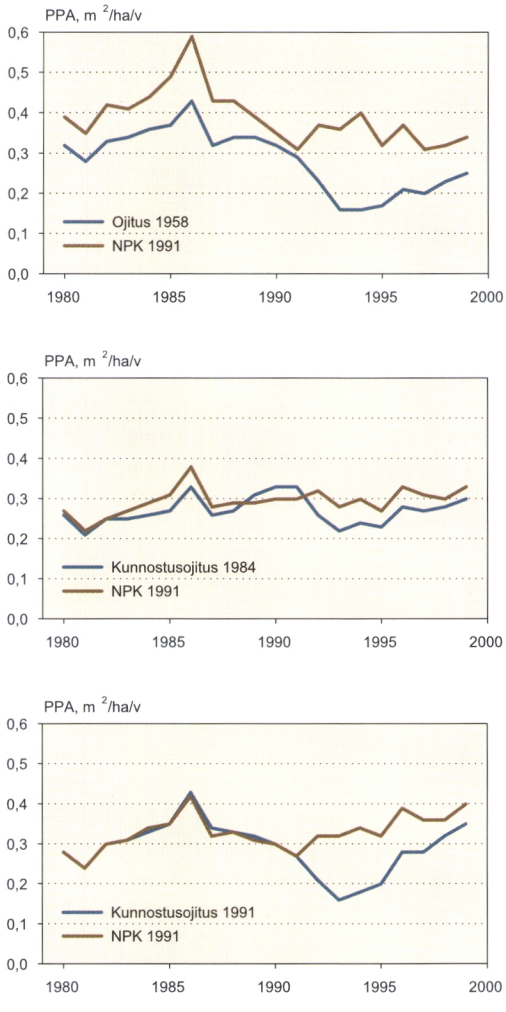
ajatus, jonka mukaan helppoliukoiset lannoiteravinteet – etenkin kalium – huuhtoutuvat puiden juuristokerroksen ulottumattomiin, jos puusto on harvaa ja kitukasvuista. Moilasen ja Issakaisen (1994) selvityksessä puustoreaktio karuhkoilla rämeillä oli samaa suuruusluokkaa riippumatta siitä, tehtiinkö lannoitus sa manaikaisesti vai viisi vuotta perusojituksen jälkeen. Myös SUO-tutkimusohjelman aikana saadut tulokset osoittivat, että kunnostusojituksen kanssa samanaikaisesti tehty NPK-lannoitus lisäsi rämemännikön kasvua yhtä paljon tai jopa enemmän kuin kuusi vuotta kunnostusojituksen jälkeen tehty lannoitus (kuva 13). Onkin pääteltävissä, että lannoitustoimenpide voidaan ajoittaa kunnostusojituksen yhteyteen. Levitys voitaneen tehdä jo ennen ojastojen kunnostusta, jolloin lannoitteen joutuminen ojiin ja sitä kautta vesistöihin on parhaiten vältettävissä.

Vuotuinen levitysajankohta

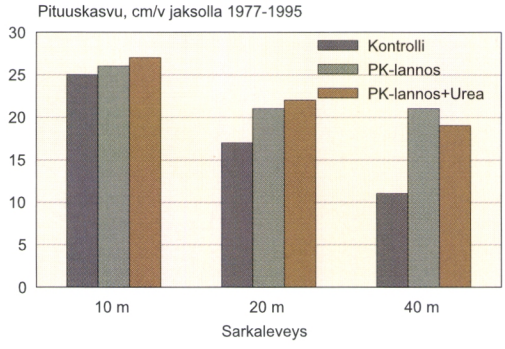
Ravinteiden huuhtoutumista selvitelleet tutkimukset osoittavat että huuhtoutuminen on ollut suurimmillaan lumelle tehtyjen levitysten jälkeen (Ahti & Paarlahti 1988, Nieminen & Ahti 1993). Myös puustoreaktion suuruuden on havaittu riippuvan vuotuisesta levitysajankohdasta. Vesiliukoisten lannoitteiden (nitraatti- ja ammoniumtyppi, kalisuola, superfosfaatti) aiheuttama puustoreaktio on jäänyt talvilevityksen jälkeen pienemmäksi kuin levitettäessä lannoitteet lumettomana aikana (Paavilainen 1969, Paavilainen 1977b). Toisaalta on myös tutkimustuloksia, joissa puustoreaktio on ollut yhtä suuri riippumatta siitä, tehtiinkö lannoitus sulaan maahan vai lumelle (Paarlahti 1967, Karsisto 1967, Moilanen & Issakainen 1985). Onkin luultavaa, että vaikka osa lannoiteravinteista huuhtoutuu keväisten lumensulamisvesien mukana ojiin, niin puuston kasvureaktion suuruuteen näillä ravinnehuuhtoumilla ei juuri ole vaikutusta. Helppoliukoiset ravinteet huuhtoutuvat herkimmin: esim. puutuhkalla lannoitetuilta soilta on todettu huuhtoutuneen välittömästi levitystä seuranneina vuosina sulfaattirikkiä, kaliumia, kalsiumia ja magnesiumia (Piirainen & Domish 2004). Apatiitti ja biotiitti samoin kuin puutuhka (fosforin osalta) ovat hidasliukoisia lannoitteita, joiden huuhtoutuminen lienee vähemmän riippuvainen vuodenajasta (ks. kuitenkin Piirainen & Domisch 2004). Huuhtoutumisherkkyyteen vaikuttavat paitsi lannoiteravinteiden liukoisuus myös turpeen ominaisuudet. Turvelajit tai lannoitteet, jotka sisältävät rauta-, kalsium- ja alumiiniyhdisteitä, sitovat tehokkaasti fosforia (esim. Nieminen 2000, 2002, ks. luku 6.3).

Suopuustojen lannoitustuloksista suurin osa on peräisin männiköiden kestokokeilta, joilla puusto on lannoitushetkellä ollut taimikko- tai riukuvaihetta. Puustoreaktio on ollut sekä määrällisesti kuin suhteessa lähtökasvun tasoon sitä suurempi, mitä voimakkaammin puut ovat kärsineet ravinnepuutoksista ja mitä heikommin puusto on kasvanut ennen lannoitusta. Tämä koskee erityisesti runsastyppisiä ja alkuaan nevaisia kasvupaikkoja. Aidoilla rämetyypeillä tai ohutturpeisilla kohteilla ravinnetalousongelmat ovat olleet vähäisempiä ja puusto kohtalaisen kasvuisaa jo ennen lannoitusta. Näin myös kasvunlisäykset ovat jääneet pienemmiksi.

Kokemukset varttuneiden tukkipuuvaihetta lähestyvien suometsiköiden lannoituksesta ovat vähäiset eikä niiden reagoimisesta ravin-



Kuva 13. Rämemännikön pohjapinta-alan kasvun kehitys kunnostusojituksen ja lannoituksen jälkeen. Ohutturpeinen piensararäme, jossa puuston kasvua rajoittaa typen puute. Pyhäntä, Jokiräme.



Kuva 14. Pääravinnelisäyksen vaikutus männyn pituuskasvuun. Kohde paksuturpeista TSR-VSR-tyypin nevarämettä, joka on ojitettu eri sarkaleveyksillä 1970-luvun alussa. Lannoitukset keväällä 1977. * = pylvään arvo poikkeaa kontrollista tilastollisesti merkitsevästi ko. sarkaleveydellä. Muhos, Oisava.

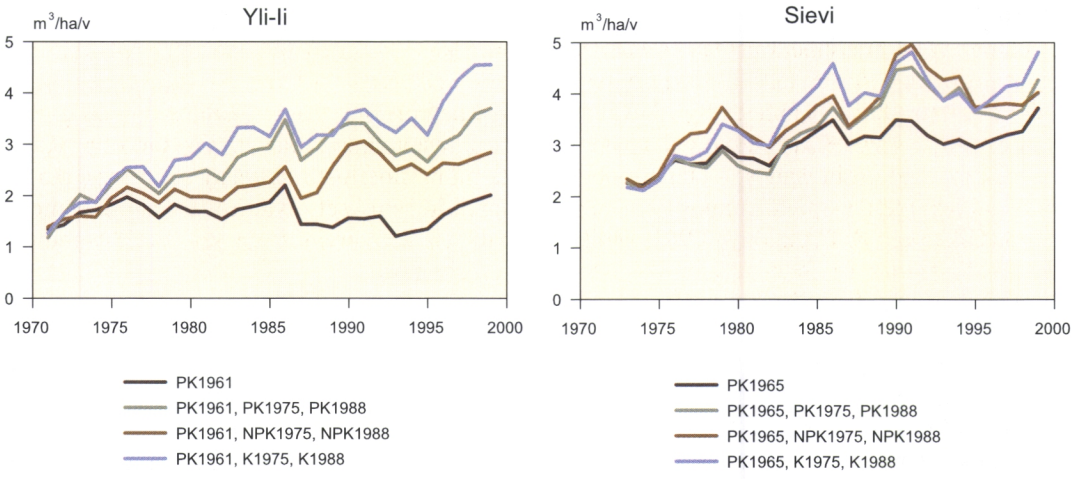
nelisäykseen ole juuri tutkimustietoa. Mahdollista on, että ohutturpeisilla kasvupaikoilla puuston kasvun minimiravinne on usein typpi, jota lisäämällä puustoa voitaisiin "lihottaa" samaan tapaan kuin kangasmaidenkin varttuneita puustoja.

Lannoitusvaikutuksen kesto ja uusintalannoitus

Ravinnelisäys vaikuttaa puiden kasvuun epäsuorasti senkin jälkeen, kun neulasten ravinnepitoisuudet ovat laskeneet uudestaan puutosrajan alapuolelle. Lannoitetun puuston vuotuinen kasvu säilyy suurentuneen puustopääoman ansiosta vuosien ajan korkeampana verrattuna lannoittamattoman puuston kasvuun.

Runsastyppisillä soilla (ruohoiset ja suursaraiset kasvupaikat) PK-käsittely lisää puuston kasvua 15-20 vuoden ajan (Paavilainen & Simpanen 1975, Paavilainen 1979a, Penttilä & Moilanen 1987, Moilanen 1993). Fosforin vaikutus voi näkyä puuston kasvussa ja ravinnetilassa yli 30 vuotta (Kaunisto 1989, Silfverberg & Hartman 1999). Vanhoilla tuhkalannoituskokeilla puuston ravinnetila on säilynyt tyydyttävänä jopa 40-50 vuotta (Moilanen ym. 2002)

Jos uusintalannoitus tehdään alle 20 vuoden kuluttua ensimmäisestä lannoituksesta, puuston kasvumuutokset jäävät alkuvuosina pienemmiksi kuin ensimmäisellä lannoituskerralla (Moilanen 1993). Syynä on ensimmäisen lannoituksen vaikutuksen ulottuminen



Kuva 15. Männyn tilavuuskasvu toistetun lannoituksen jälkeen kahdella runsastyppisellä ojitusalueella. Ensimmäinen lannoitus (PK) vuosina 1961 (Yli-Ii) ja 1965 (Sievi). Uusintalannoituskäsittelyt vuosina 1975 ja 1988 (N = urea, P = raakafosfaatti, K = kalisuola). Puuston kasvureaktio on voimistunut jatkolannoituksesta kuluneen ajan myötä.

uusintalannoituskaudelle. Uusintalannoituksen vaikutus kuitenkin voimistuu vuosien kuluessa sitä mukaa, kun ensimmäisen lannoituksen vaikutus ehtyy (kuva 15).

Helppoliukoisen kaliumlannoitteen (esim. kalisuola) vaikutus jää fosforilannoitteen vaikutusaikaa lyhyemmäksi. Paksuturpeisilla, alkuaan märillä soilla puuston kasvu alkaa taantua kaliumin puutoksesta johtuen uudestaan, kun lannoituksesta on kulunut 15-20 vuotta (Kaunisto & Tukeva 1984, Rautjärvi ym. 2004). Turpeen kaliumvarantoa vähentävät paitsi puiden suuri kaliumtarve (fosforiin verrattuna) (Paavilainen 1980, Finér 1989) myös kaliumin huuhtoutuminen (Ahti 1983, Kaunisto 1992). Tälläisissa kertaalleen lannoitetuilla puustoissa, jossa fosforin vaikutus vielä jatkuu, uusintalannoitus pelkällä kalisuolalla antaa yhtä suuren kasvunlisäyksen kuin PK-uusintalannoitus (Kaunisto & Tukeva 1984, Kaunisto 1989, 1992, Moilanen 1993, Rautjärvi ym. 2004) (kuva 15).

Hidasliukoisen kaliumlannoitteen (biotiitti) vaikutusaika on pitempi kuin kalisuolan vaikutusaika. Käytännön lannoitustoimintaa ajatellen tämä merkitsee, että biotiittia käytettäessä uusintalannoitukseen ei liene tarvetta ryhtyä kuin aikaisintaan 25 vuoden kuluttua ensimmäisestä lannoituksesta.

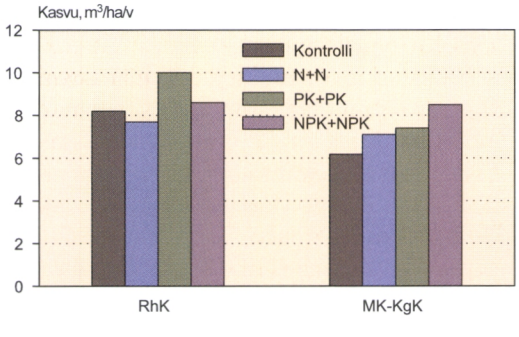
Niukkatyppisillä soilla (piensaraiset, tupasvillaiset ja isovarpuiset kasvupaikat) NPK-käsittelyn vaikutusaika jää suhteellisen lyhyeksi (5-8 vuotta) (Moilanen & Issakainen 1990, Finér 1991, Moilanen 1993). Puustoreaktio on hyvin samanlainen myös uusintalannoituksen jälkeen, jos uusintakäsittely tehdään ensimmäisen lannoituksen vaikutuksen päätyttyä. Typen merkitys näyttää uusintalannoitusvaiheessa korostuvan siten, että NPK-käsittely antaa PK-käsittelyä voimakkaamman puustoreaktion myös verraten runsastyppisissä kohteissa (Paavilainen 1978, Paavilainen & Penttilä 1983, Penttilä 1984, Paavilainen 1990, Moilanen 1993). Lannoitetypen käyttö on toisaalta lisännyt puiden kasvuhäiriöitä. Näin ollen typen käyttö ei ole suositeltavaa, kun on kyse suursaratasoisesta ja sitä runsastyppisemmästä kasvupaikasta.

Puulaji

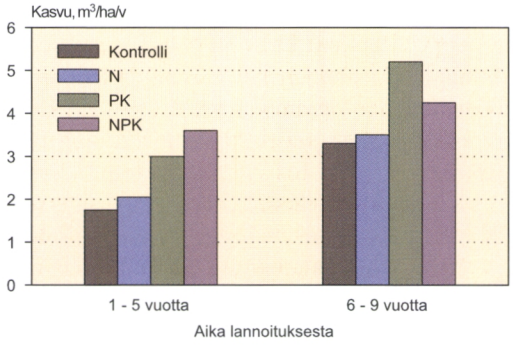
Puulajien väliset ravinnetarpeiden erot heijastuvat myös lannoitusvaikutuksen suuruuteen. Edellä esitetyt tutkimustulokset koskevat lähinnä mäntyä. Kuusella ja hieskoivulla lannoitusreaktiot ovat usein jääneet – etenkin ohutturpeisilla kohteilla – pienemmiksi kuin männyllä (Oikarinen & Pyykkönen 1981, Moilanen 1985, Paarlahti & Paavilainen 1985, Moilanen ym. 1996a, Penttilä & Moilanen 1997).

Kuusen (*Picea abies*) lannoitustuloksia on ollut käytettävissä verraten vähän (ks. kuitenkin Paavilainen 1975, Moilanen & Penttilä 1996). Pohjois-Suomesta julkaistujen tulosten mukaan lannoitus on lisännyt kuusen kasvua, mutta selvästi vähemmän kuin männyn kasvua vastaavilla ilmastoalueilla. Verraten rehevilläkin korpityypeillä minimiravinteena on Pohjois-Suomessa ollut yleensä typpi. SUO-tutkimusohjelman aikana saatiin kuusen lannoitusreaktioista tietoa myös Etelä-ja Keski-Suomen oloista. Tulokset osoittavat, että viljavissa korpikuusikoissa PK-lannoituksella on mahdollista lisätä puuston kasvua n. 2 m^3/ha/v. Karummilla korpityypeillä typen tarve näyttää ilmeiseltä Etelä-Suomenkin oloissa: toistettu NPK-käsittely on lisännyt kuusen tilavuuskasvua lannoitusta seuranneella 10-vuotisjaksolla yli 2 m^3/ha/v (kuva 16). Typen niukkuutta eteläisessä Suomessa esiintyi silloin, kun kohde oli mustikka- tai kangaskorpea, kun turpeen paksuus jäi alle 50 cm:n ja kun kasvukauden tehoisa lämpösumma jäi alle 1100 d.d.-yksikköä. Syyksi kuusen mäntyä heikompaan lannoitusreaktioon on arveltu kuusen suurempaa ravinnetarvetta. Käytännön suositusta selvästi suuremmatkaan lannoiteannokset eivät kuitenkaan lisänneet kuusen kasvureaktioita ko. Etelä-Suomen koesarjassa.

PK- ja NPK-lisäys parantaa paksuturpeisilla ja nevaisilla kohteilla myös hieskoivun (*Betula pubescens*) kasvua. Penttilän (1987a) esittelemässä tutkimuskohteessa lannoitus lisäsi hieskoivun kasvua keskimäärin 1,5 m^3/ha/v yhdeksän vuoden aikana lannoituksen jälkeen (kuva 17). Paavilainen (1990) on raportoinut hieskoivikon reagoineen runsastyppisellä ojitusalueella PK-jatkolannoitukseen. Hieskoivun on todettu reagoineen ravinnelisäykseen myös kasvaessaan sekapuuna ojitusalueen männikössä (Finér 1994). Suonpohjien metsityskokeissa koivun ja pajun (*Salix* sp.) on todettu hyötyneen ravinnelisäyksestä (keinolannoitteet, puutuhka) ja lisänneen kuivamassatuotosta (Kaunisto 1981, 1983, Kaunisto 1987b, Hytönen 1986, 1987, 1994, 1995, 1996, Lumme 1988, Lumme & Laiho 1988, Hytönen & Kaunisto 1999). Myös turvetuhkan tiedetään parantavan suonpohjilla mm. pajun tuotosta, joskin mainittavia lisäkasvuja saavutetaan vain suurilla tuhkan käyttömäärillä (Hytönen 2000).



Kuva 16. Kuusen tilavuuskasvu lannoituksen jälkeen Etelä-Suomen korpien ojitusalueilla. RhK = ruoho- ja heinäkorpi, MK = mustikkakorpi, KgK = kangaskorpi.



Kuva 17. Hieskoivun tilavuuskasvu lannoituksen jälkeen paksuturpeisella ojitusalueella Etelä-Lapissa. Ojitus tehty 1930-luvun alussa (Penttilä 1987a).

4.3.5 Lannoituksen kannattavuus

Suometsien lannoituksen kannattavuutta on selvitetty 1960-luvulta lähtien (Keltikangas & Seppälä 1968, 1973). Metsikkökohtaista erilliskannattavuutta koskevat selvitykset osoittavat PK-lannoituksen olevan selvästi NPK-lannoitusta edullisempi toimenpide niin korpikuusikoissa kuin rämemänniköissäkin. Tuottavimmiksi vaihtoehdoiksi on arvioitu rämemännikön peruslannoittaminen PK:lla tai uusintalannoittaminen K:lla Etelä-Suomen olosuhteissa. Nuoren ja etenkin varttuneemman suopuuston lannoitus on omarahoituksenakin toteutettuna kannattava investointi vielä Pohjois-Pohjanmaan ilmasto-oloissa (Hämäläinen & Laakkonen 1983, Hämäläinen ym. 1985, Rantala & Moilanen 1993). Kannattavan sijoituksen edellytyksenä on, että kasvupaikka on riittävän runsastyppinen (vähintään suursaratasoa) (Aarnio ym. 1997). Runsastyppisillä soilla päästään vielä Pohjois-Pohjanmaalla ja Kainuussa parhaimmillaan 10 %:n sisäiseen korkoon, mutta Lapissa enää 6 %:iin. Mikäli uusintalannoitus tehdään peruslannoitusvaikutuksen vielä vaikuttaessa puuston kasvuun, kannattavuus jää heikommaksi (Aarnio ym. 1997). Niukkatyppisten soiden PK-lannoitus on kannattamaton toimenpide.

Lannoitetypen käyttö on runsastyppisillä soilla paitsi kannattamatonta myös tarpeetonta, sillä typpilisäys ei voimista riittävästi puuston kasvua (Moilanen 1993, Rantala & Moilanen 1993, Aarnio ym. 1997).

Karuilla niukkatyppisillä soilla puusto reagoi merkittävästi vain NPK-lannoitukseen. Vähäpuustoisten karujen rämeiden lannoittamisen taloudellisuus on selvästi epäedullisempi kuin runsastyppisten kasvupaikkojen PK-käsittely.

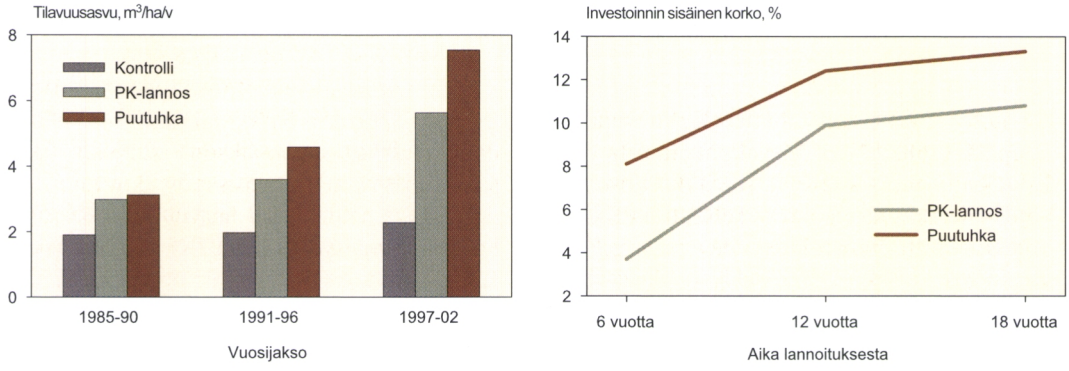
Kuusi ja hieskoivu hyötyvät lannoituksesta vähemmän kuin mänty ja myös lannoitusinvestoinnin kannattavuus jää heikommaksi. Tosin Etelä-Suomessa kuusikot reagoivat PK-lannoitukseen ja voivat olla kohtuullisen hyviä sijoituskohteita metsänkasvattajalle (Hämäläinen ym. 1985, Aarnio ym. 1997). Hieskoivikon lannoitus sen sijaan on kannattavuusmielessä kyseenalaista.

Kannattavuuslaskelmissa yleensä oletetaan, että puuston lisäkasvu voidaan realisoida hakkuissa laskentajakson aikana tai lopussa. Nuorissa suopuustoissa hakkuutuloja on odotettava seuraavaan harvennukseen saakka, jonka ajankohta vaihtelee tapauskohtaisesti. Lannoitusinvestoinnin optimaalista vaikutusaikaa koskevia laskelmia ei ole suopuustojen osalta tehty.

Lannoitusinvestoinnin kannattavuutta havainnollistetaan seuraavassa yhden Metlan pitkäaikaisen lannoituskokeen avulla. Lannoitusta tarkastellaan metsänomistajan kokonaistaloudesta irrallisena metsikkökohtaisena investointina. Lannoitustuotot on määritelty hakkuiden lisääntymismenetelmällä eli tuotot ovat lisäkuutiometrejä ja lisäeuroja. Lannoituksen kannattavuus on laskettu sisäisen korkokannan menetelmällä. Sisäinen korko tarkoittaa suhteellista, reaalista, korkona ilmaistua nettotuottoa, joka lannoitukseen sijoitetulle pääomalle saadaan kohonneen hakkuuarvon seurauksena. Sisäinen korko on laskettu kolmelle vaihtoehtoiselle sijoitusajankohdalle: 6 vuoden, 12 vuoden ja 18 vuoden päähän lannoitusajankohdasta.

Lannoitustuotot muodostuivat ravinnelisäyksen aiheuttaman kasvunlisäyksen suuruudesta (kuutiovaikutus) ja kasvunlisäyksen puutavaralajimuutoksista (järeysvaikutus). Lannoituskustannuksiin laskettiin mukaan lannoite-, suunnittelu- ja työnjohtokustannukset, lähi- ja kaukokuljetuskustannukset sekä levityskustannukset.

Puuston ravinnesuhteita tasapainottavaan ns. terveyslannoitukseen metsänomistajalla on mahdollista saada yhteiskunnan tukea. Esimerkkikohteen puuston heikko ravinnetalous mahdollistaa yksityismetsänomistajalle yhteiskunnallisen tuen saamisen metsän terveyslannoitukseen (KEMERA-rahoituslaki). Kannattavuustarkastelussa metsänomistajan omarahoitusvaihtoehdon tulosta verrattiin vaihtoehtoon, jossa metsänomistaja hyödyntäisi KEMERA-tuen.



Kuva 18. Lannoituksen aiheuttama puuston lisäkasvu ja lannoitusinvestoinnin sisäinen korko 18 vuoden aikana. Käsittelyvaihtoehdot: Suometsien PK-lannos 600 kg/ha ja puutuhka 5000 kg/ha, levitys keväällä 1985. Paksuturpeinen nevarämeen ojitusalue, Pohjois-Pohjanmaa Ruukki.

Tutkimusmetsikkö sijaitsi Pohjois-Pohjanmaalla Ruukin kunnassa. Kohde oli paksuturpeista nevarämeen vanhaa ojitusaluetta, joka lannoitusvuonna 1985 oli nuorta kasvatusmetsikköä. Koejärjestelyissä olivat mukana kaksi lannoitusvaihtoehtoa: Suometsien PK-lannos (600 kg/ha) ja puutuhka (4500 kg/ha). Lannoittamaton vertailupuusto kärsi ankarasta fosforin ja kaliumin puutoksesta koko seurantajakson 1985-2002 ajan. Männyn neulasten fosforipitoisuus oli alle 1,4 mg/g ja kaliumpitoisuus alle 3,5 mg/g. Pintaturpeen typpipitoisuus on noin 2 %, minkä ansiosta puiden typpitalous on hyvä.

Molemmat lannoituskäsittelyt lisäsivät puuston kasvua selvästi jo ensimmäisen 6-vuotisjakson aikana (kuva 18). Kasvureaktio voimistui koko tutkimusjakson ajan. Lannoitetut puustot kasvoivat tutkimusjakson lopulla 2,5-3 -kertaisesti lannoittamattomaan puustoon verrattuna. Puuston arvokasvu oli suurinta puutuhka-aloilla, joilla osa kuitupuusta on siirtynyt tukkipuun mittoihin.

Lannoitusinvestoinnin sisäinen korko oli suurimmillaan tarkastelujakson lopussa eli 18 vuoden kuluttua lannoituksesta (kuva 18). Molemmat vaihtoehdot tuottivat tuolloin yli 10 %:n sisäisen koron. Puutuhkakäsittelyn sisäinen korko oli PK-vaihtoehtoa suurempi; osittain puuston suuremman tilavuuskasvureaktion ja osittain puuston suuremman arvokasvun ansiosta. Todennäköistä on, että vaikka lannoitus lisää puiden kasvua myös tulevina vuosina, niin sisäinen korko ei juurikaan enää nouse, koska kasvava aikatekijä "syö" (kompensoi) lisäkasvusta aiheutuvaa tuottoa. Näin olleen lannoitusinvestoinnin optimaalinen pitoaika ko. tyyppisessä suometsikössä näyttäisi asettuvan 20-25 vuoden paikkeille.

KEMERA-tuen huomioiminen kohotti merkittävästi toimenpiteen yksityistaloudellista kannattavuutta. Kun lannoituksesta oli kulunut esim. 12 vuotta, niin PK-käsittelyn tuottama investoinnin sisäinen korko oli KEMERA-vaihtoehdolla toteutettuna 17 % eli 8 %-yksikköä korkeampi kuin omarahoitusvaihtoehdolla.

Kirjallisuus

Aarnio, J., Kaunisto, S., Moilanen, M. & Veijalainen, H. 1997. Suometsien lannoitus. Teoksessa: Mielikäinen, K. & Riikilä, M. (toim.). 1997. Kannattava puuntuotanto. Metsälehti Kustannus. s. 116-126.

Ahti, E. 1983. Fertilizer-induced leaching of phosphorus and potassium from peatlands drained for forestry. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 111. 20 s.

Ahti, E. & Paarlahti, K. 1988. Ravinteiden huuhtoutuminen talvella lannoitetulta metsäojitusalueelta. Suo 39: 19-25.

Aro, L. & Kaunisto, S. 1996. Tuhkalannoitus eräillä suonpohjien metsityskokeilla. Teoksessa: Laiho, O. & Luoto, T. (toim.). Metsäntutkimuspäivä Porissa 1995. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 593: 31-41.

Aro, L. & Kaunisto, S. 2003. Jatkolannoituksen ja kasvatustiheyden vaikutus nuorten mäntymetsiköiden ravinnetilaan sekä puuston ja juuriston kehitykseen paksuturpeisella suonpohjalla. Suo 54(2): 49-68.

Aronsson, A. 1980. Frost hardiness in Scots pine (Pinus silvestris L.). Stud. For. Suec. 155: 1-27.

Backéus, I. 1980. Vegetation changes after fertilization on drained peatlands in central Sweden. Acta Phytogeographica Suecica 68: 17-30.

Brække, F.H. 1999a. Drainage, liming and fertilization of organic soils. I. Long-term effects on acid/base relations. Scandinavian Journal of Forest Research 1999, Vol 14, Iss 1: 51-63.

Brække, F.H. 1999b. Drainage, liming and fertilization of organic soils. II. Distribution of macro elements and heavy-metal accumulation. Scandinavian Journal of Forest Research 1999, Vol 14, Iss 1: 64-77.

Brække, F.H. & Finér, L. 1990. Decomposition of cellulose in litter layer and surface peat of low-shrub pine bogs. Scandinavian Journal of Forest Research 5: 297-310.

Brække, F.H. & Finér, L. 1991. Fertilization effects on surface peat of pine bogs. Scandinavian Journal of Forest Research 6: 433-449.

Carsson, T. & Möller, G. 1985. Effekter av svårlösliga fosforgödsekmedel på torvmark. Föreningen skogsträdsförädling. Institutet för Skogsförbättring, Årsbok 1985: 81-109.

Derome, J. 1979. Urea hydrolysis and ammonia volatilization from urea pellets spread on top of the litter layer. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 97(2): 1-22.

Ferm, A., Hokkanen, T., Moilanen, M. & Issakainen, J. 1992. Effects of wood bark ash on the growth and nutrition of a Scots pine afforestation in central Finland. Plant and Soil 147: 305 -316.

Ferm, A., Hytönen, J., Lähdesmäki, P., Pietiläinen, P. & Pätilä, A. 1990. Effects of high nitrogen deposition on forests: case studies close to fur animal farms. Teoksessa: Kauppi, P., Anttila, P. & Kenttämies, K. (toim.). Acidification in Finland. Springer-Verlag: 635- 668.

Finér, L. 1985. Tuloksia Ruokolahden Eräjärvensuon lannoituskokeesta. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 195. 33 s.

Finér, L. 1989. Biomass and nutrient cycle in fertilized and unfertilized pine, mixed birch and pine and spruce stands on a drained mire. Acta Forestalia Fennica 208. 63 s.

Finér, L. 1991. Effect of fertilization on dry mass accumulation and nutrient cycling in Scots pine on an ombrotrophic bog. Acta Forestalia Fennica 223. 42 s.

Finér, L. 1992. Nutrient concentrations in Pinus sylvestris growing on an ombrotrophic pine bog, and the effects of PK and NPK fertilization. Scandinavian Journal of Forest Research 7(2): 205-218.

Finér, L. 1994. The effects of fertilization on the growth of tree stand. The experiments at Ilomantsi. Teoksessa: Effect of fertilization on forest ecosystem. Biological Research Reports from the University of Jyväskylä 38: 182-201.

Finér, L. 1996. Variation in the amount and quality of litterfall in a Pinus sylvestris L. stand growing on a bog. Forest Ecology and Management, Vol. 80, Issues 1- 3, s. 1-11.

Finér, L. & Brække, F.H. 1991. Understorey vegetation on three ombrotrophic pine bogs and the effects of NPK and PK fertilization. Scandinavian Journal of Forest Research 6: 113-128.

Finér, L. & Kaunisto, S. 2000. Variation in stemwood nutrient concentrations in Scots pine growing on peatland. Scandinavian Journal of Forest Research 15: 424-432.

Finér, L. & Nieminen, M. 1997. Dry mass and the amounts of nutrients in understorey vegetation before and after fertilization on a drained pine bog. Silva Fennica 31(4): 391-400.

Gardiner, J. J. 1975. The influence of fertilizers upon microbial activity in peat II. Calcium and nitrogen. Irish Forestry 32(2): 101-114.

Hartman, M., Kaunisto, S. & Silfverberg, K. 2001. Peat properties and vegetation along different trophic levels on an afforested, fertilised mire. Suo 52(2): 57-74.

Heikurainen, L. & Laine, J. 1976. Lannoituksen, kuivatuksen ja lämpöolojen vaikutus istutus- ja luonnontaimistojen kehitykseen rämeillä. Acta Forestalia Fennica 150. 38 s.

Heikurainen, L. & Laine, J. 1985. Duration of the height growth response of young pine stands to NPK-fertilization on oligotrophic pine bogs in Finland. Silva Fennica 19(2): 155-167.

Heikurainen, L. & Päivänen, J. 1970. The effect of thinning, clear cutting and fertilization on the hydrology of peatland drained for forestry. Acta Forestalia Fennica 104. 24 s.

Heikurainen, L., Laine, J. & Lepola, J. 1983. Lannoitus- ja sarkaleveyskokeita karujen rämeiden uudistamisessa ja taimikoiden kasvatuksessa. Silva Fennica 17(4): 359 -79.

Heikurainen, L., Päivänen, J. & Seppälä, K. 1966. Koetuloksia männyn kylvöstä ja istutuksesta ojitetuilla soilla. Silva Fennnica 119(2): 1-21.

Heimala-Raimas, R. 1986. Sienisadosta ja sienilajistosta kolmella lannoitetulla suomuuttumalla Ilomantsin Ahvensalossa. Joensuun Yliopisto. Käsikirjoitus. 120 s.

Huikari, O. 1953. Tutkimuksia ojituksen ja tuhkalannoituksen vaikutuksesta eräiden soiden pieneliöstöön. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 42(2): 1- 18.

Huikari, O. 1973. Koetuloksia metsäojitettujen soiden lannoituksesta. Metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosaton tiedonantoja 1/1973. 154 s.

Huikari, O. & Paarlahti, K. 1966. Kivisuon metsänlannoituskokeet. Kenttäopas. Kirja-Mono Oy, Helsinki. 43 s.

Hytönen, J. 1986. Fosforilannoitelajin vaikutus vesipajun biomassatuotokseen ja ravinteiden käyttöön turpeennostosta vapautuneella suolla. Folia Forestalia 653. 21 s.

Hytönen, J. 1987. Lannoituksen vaikutus koripajun ravinnetilaan ja tuotokseen kahdella suonpohja-alueella. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 245. 31 s.

Hytönen, J. 1994. Effect of fertilizers application rate on nutrient status and biomass production in short-rotation plantations of willows on cut-away peatland areas. Suo 45 (3): 65- 77.

Hytönen, J. 1995. Effect of fertilizer treatment on the biomass production and nutrient uptake of short-rotation willow on cut-away peatland. Silva Fennica 29: 21-40.

Hytönen, J. 1996. Biomass production and nutrition of short-rotation plantations. Väitöskirja. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 586. 61 s.

Hytönen, J. 2000. Effect of peat ash fertilization on the nutrient status and biomass production of short-rotation willow on cut-away peatland area. Biomass and Bioenergy, Vol. 15, Issue 1: 83-92.

Hytönen, J. & Ekola, E. 1993. Maan ja puuston ravinnetila Keski-Pohjanmaan metsitetyillä pelloilla. Folia Forestalia 822. 32 s.

Hytönen, J. & Kaunisto, S. 1999. Effect of fertilization on the biomass production of coppiced mixed birch and willow stands on a cut-away peatland, Biomass and Bioenergy, Volume 17, Issue 6: 455-469.

Hämäläinen, J. & Laakkonen, O. 1983. Turvemaan varttuneiden männiköiden lannoituksen edullisuus. Folia Forestalia 570. 32 s.

Hämäläinen, J., Paavilainen, E., Salminen, O. & Heinonen, R. 1985. Tuloksia ojitettujen korpikuusikoiden lannoituksesta. Folia Forestalia 623. 26 s.

Härkönen, K. 1982. Lannoituksen vaikutuksesta suopuustojen kasvuun eräillä ojitetuilla soilla Koillis-Suomessa. Laudaturtyö, Helsingin Yliopisto.

Ipatiev, V. & Paavilainen, E. 1975. Lannoituksen vaikutuksen kestoaika vanhassa tupasvillarämeen männikössä. Folia Forestalia 241. 13 s.

Issakainen, J., Moilanen, M. & Silfverberg, K. 1994. Turvetuhkan vaikutus männyn kasvuun ja ravinnetilaan ojitetuilla rämeillä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 499. 22 s.

Ivarson, K. C. 1977. Changes in decomposition rate, microbial population and carconhydrate content of an acid peat bog after liming and reclamation. Canadian Journal of Soil Science 57: 129 -137.

Jalkanen, R.E., Redfern, D.B. & Sheppard, L.J. 1998. Nutrient deficits increase frost hardiness in Sitka spruce (Picea sitchensis) needles. Forest

Ecology and Management 1998, Vol 107, Iss 1-3: 191-201.

Jarva, M., Kaunisto, S., Nieminen, M., Sallantaus, T. & Saura, M. 1995. Metsänlannoitteen huuhtoutuminen Liesinevan sarkaleveyskoekentältä – alustavia tuloksia. Teoksessa: Saukkonen, S. & Kenttämies, K. (toim.). Metsätalouden vesistövaikutukset ja niiden torjunta. METVE-projektin loppuraportti. Suomen ympäristö nro 2: 121-130.

Jäppinen, J.–P. 1987. Ojituksen ja lannoituksen vaikutukset sammalten typpi- ja fosforipitoisuuksiin kahdella soumuuttumalla. Suo 38(1): 13-22.

Jäppinen, J.-P. & Hotanen, J.-P. 1990. Effect of fertilization on the abundance of bryophytes in two drained peatland forests in eastern Finland. Annales Botanici Fennici 27: 93-108.

Kakei, M. & Clifford, P.E. 2002. Long-term effects of liming on needles, soil properties, and soil water in a Sitka spruce stand on deep peat. FORESTRY 2002, Vol 75, Iss 5: 553-567.

Karsisto, K. 1967. Eri ajankohtina annetun NPK-lannoituksen aiheuttamista reaktioista rämeen männyntaimistoissa. Suo 18(4): 1-7.

Karsisto, K. 1976. Fosforilannoitelajit suometsien lannoituksessa. Lisensiaattitutkielma, Helsinkin Yliopisto. 252 s.

Karsisto, M. 1979a. Maanparannustoimenpiteiden vaikutuksista orgaanista ainetta hajottavien mikrobien aktiivisuuteen suometsissä. Osa I. Pohjaveden etäisyyden ja NPK-lannoituksen vaikutus Vilppulan ja Kivalon rämeellä ja korvessa. Suo 30: 49- 58.

Karsisto, M. 1979b. Maanparannustoimenpiteiden vaikutuksista orgaanista ainetta hajottavien mikrobien aktiivisuuteen suometsissä. Osa II. Tuhkalannoituksen vaikutus. Suo 30(4-5): 81-91.

Kaunisto, S. 1968. Lannoitettu kasvuturve metsäpuiden siementen kasvualustana. Suo 19(1): 57 -61.

Kaunisto, S. 1971. Lannoituksen, muokkauksen ja vesipinnan etäisyyden vaikutus kylvötaimien ensi kehitykseen turvealustalla. Kasvihuoneessa suoritettu tutkimus. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 75(2): 1-64.

Kaunisto, S. 1972. Lannoituksen vaikutus istutuksen onnistumiseen ja luonnontaimien määrään rahkanevalla. Folia Forestalia 139. 11 s.

Kaunisto, S. 1977. Ojituksen tehokkuuden ja lannoituksen vaikutus männyn viljelytaimistojen kehitykseen karuilla avosoilla. Folia Forestalia 317. 31 s.

Kaunisto, S. 1981. Rauduskoivun (Betula pendula) ja hieskoivun (Betula pubescens) luontainen uudistuminen turpeennoston jälkeisellä suonpohjan turpeella Kihniön Aitonevalla. Suo 32 (3): 53-60.

Kaunisto, S. 1982. Development of pine plantations on drained bogs as affected by some peat properties, fertilization, soil preparation and liming. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 109. 56 s.

Kaunisto, S. 1983. Koripajun (Salix viminalis) biomassatuotos sekä ravinteiden ja veden käyttö eri tavoin lannoitetuilla turpeilla kasvihuoneessa. Folia Forestalia 551. 34 s.

Kaunisto, S. 1985. Lannoituksen, ilman lämpösumman ja eräiden kasvualustan ominaisuuksien vaikutus mäntytaimikoiden kasvuun turvemailla. Folia Forestalia 616. 27 s.

Kaunisto, S. 1987a. Effect of refertilization on the development and foliar nutrient contents of young Scots pine stands on drained mires of different nitrogen status. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 140. 58 s.

Kaunisto 1987b. Lannoituksen ja muokkauksen vaikutus männyn ja rauduskoivun istutustaimien kasvuun suonpohjilla. Folia Forestalia 681. 23 s.

Kaunisto, S. 1989. Jatkolannoituksen vaikutus puuston kasvuun vanhalla ojitusalueella. Folia Forestalia 724. 15 s.

Kaunisto, S. 1992. Effect of potassium fertilization on the growth and nutrition of Scots pine. Suo 43: 45-62.

Kaunisto, S. & Moilanen, M. 1998. Kasvualustan, puuston ja harvennuspoistuman sisältämät ravinnemäärät neljällä vanhalla ojitusalueella. Metsätieteen aikakauskirja - Folia Forestalia 3/1998: 393-410.

Kaunisto, S., Moilanen, M. & Issakainen, J. 1993. Apatiitti ja flogopiitti fosfori- ja kaliumlannoitteina suomänniköisä. Folia Forestalia 810. 30 s.

Kaunisto, S., Moilanen, M. & Issakainen, J. 1999. Effect of apatite and phlogopite application on the needle nutrient concentrations of Pinus sylvestris (L.) on drained pine mires. Suo 50(1): 1-15.

Kaunisto, S. & Norlamo, M. 1976. On nitrogen mobilization in peat. I. Effect of liming and rotavation in different incubation temperatures. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 88 (2): 1-24.

Kaunisto, S. & Paavilainen, E. 1977. Response of Scots pine plants to nitrogen refertilization on oligotrophic peat. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 92(1). 54 s.

Kaunisto, S. & Paavilainen, E. 1988. Nutrient stores in old drainage areas and growth of stands. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 145. 39 s.

Kaunisto, S. & Tukeva, J. 1984. Kalilannoituksen tarve avosoille perustetuissa riukuvaiheen männiköissä. Folia Forestalia 585. 40 s.

Keltikangas, M. Seppälä, K. 1968. Arvioita turvemaiden lannoituksen taloudellisesta edullisuudesta. Suo 19(1): 1-11.

Keltikangas, M. Seppälä, K. 1973. Metsänlannoituksen edullisuuden vaihtelu. Silva Fennica 7(3): 192-235.

Keränen, K. 1975. Eri-ikäisten ojitusalueiden rämemäntyjen lannoitusreaktioista ensimmäisenä kasvukautena. Opinnäytetyö metsänhoitajan tutkintoa varten. Helsingin Yliopisto, suometsätieteen laitos.

Kortesharju, J. & Mäkinen, Y. 1986. Vaotuksen, lannoituksen ja katteiden vaikutus hillaan karuilla luonnontilaisilla soilla. Folia Forestalia 669. 15 s.

Koskela, V. 1970. Havaintoja kuusen, männyn, rauduskoivun ja siperialaisen lehtikuusen halla- ja pakkaskuivumisvaurioista Kivisuon metsänlannoituskoekentällä. Folia Forestalia 78. 25 s.

Kurkela, T. 1965. Männyn lumikaristetaudin ja lannoituksen suhteesta Kivisuon metsänlannoitusalueella. Folia Forestalia 14. 8 s.

Kurkela, T. 1975. Incidence of snow blight on Scots pine as affected by fertilization and some environmental factors. Commun. Inst. For. Fenn 85(2): 1-35.

Kuuppo, M. 2003. Biotiitti kaliumlannoitteena ojitetuilla rämeillä. Opinnäytetyö, Rovaniemen Ammattikorkeakoulu, metsätalouden koulutusohjelman. 45 s. + liitteet.

Laine, J. 1986. Kuivatustekniikan, kuivatussyvyyden ja puuston kasvun välisiä vuorosuhteita 25 vuotta vanhoilla rämeojitusalueilla. Tutkimussopimushankkeen "Metsäojitettujen soiden ekologia" loppuraportti. Helsingin Yliopisto, metsäekologian laitos. 49 s.

Laine, J. & Mannerkoski, H. 1980 Lannoituksen vaikutus mäntytaimikoiden kasvuun ja hirvituhoihin karuilla ojitetuilla nevoilla. Acta Forestalia Fennica 166. 45 s.

Lauhanen, R. & Kaunisto, S. 1999. Effect of drainage maintenance on the nutrient status on drained Scots pine mires. Suo 50(3-4): 119-132.

Lehtonen, E.-M. & Tikkanen, E. 1986. Turvetuhkan vaikutus maahan sekä vesipajun (Salix cv. aquatica) ravinnetalouteen ja kasvuun turpeentuotannosta vapautuneella suolla. Oulun Yliopisto, Pohjois-Suomen tutkimuslaitos C69. 99 s.

Lumme, I. 1988. Early effects of peat ash on growth and mineral nutrition of the silver birch (Betula pendula) on a mined peatland. Silva Fennica 22(2): 99-112.

Lumme, I. & Laiho, O. 1988. Effects of domestic sewage sludge, conifer bark ash and wood fibre waste on soil characteristics and the growth of Salix aquatica. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 146. 24 s.

Löyttyniemi, K. 1981. Typpilannoituksen ja neulasten ravinnepitoisuuden vaikutus hirven mäntyravinnon valintaan. Folia Forestalia 487. 14 s.

Mannerkoski, H. 1970. Lannoituksen vaikutuksesta kylvölaikkujen kasvillisuuteen. Suo 21: 80-86.

Mannerkoski, H. 1971. Lannoituksen vaikutus kylvösten ensi kehitykseen turvealustalla. Silva Fennica 5(2): 105-128.

Mannerkoski, H. 1972. Havaintoja koivun esiintymisestä Haukivahonsuon lannoituskoekentällä. Suo 23(5): 80-86.

Mannerkoski, H. & Miyazawa, T. 1983. Growth disturbances and needle and soil nutrient

contents in a NPK-fertilized Scots pine plantation on a drained smallsedge bog. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 116: 85-91.

Mannerkoski, H. & Seppälä, K. 1970. Lannoituksen vaikutus istutustaimiston alkukehitykseen lyhytkortisella nevalla. Suo 21(1): 12-17.

Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Second edition. London, Academic Press. 889 s.

Martikainen, P. J., Ohtonen, R., Silvola, J. & Vuorinen, A. 1994. The effects of fertilization on forest soil biology. Teoksessa: Effect of fertilization on forest ecosystem. Biological research reports from the university Jyväskylä 38: 40-79. ISBN 951-34-0231-2. Sisäsuomi Oy, Jyväskylä 1994.

Mathur, S. P. & Rayment, F. 1977. Influence of trace element fertilization on the decomposition rate and phosphatase activity of a mesic fibrisol. Canadian Journal of Soil Science 57: 397-408.

Miller, H. G., Cooper, J. M. & Miller, J. D. 1976. Effect of nitrogen supply on nutrients in litter fall and crown leaching in a stand of Corsican pine. J. Appl. Ecol. 13: 233-248.

Moilanen, M. 1985. Lannoituksen ja harvennuksen vaikutus hieskoivun kasvuun ohutturpeisilla, ojitetuilla rämeillä. Folia Forestalia 629. 29 s.

Moilanen, M. 1989. Tuloksia KCuB-lannoitteen käytöstä viljavan nevarämeen lannoituksessa Pohjois-Suomessa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 321. 32 s.

Moilanen, M. 1992. Suopuustojen ravinnetila Pohjois-Suomen vanhoilla ojitusalueilla. Teoksessa: Valtanen, J, Murtovaara, I. & Moilanen Merja (toim.) Metsäntutkimuspäivä Taivalkoskella 1991. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 419: 58-65.

Moilanen, M. 1993. Lannoituksen vaikutus männyn ravinnetilaan ja kasvuun Pohjois-Pohjanmaan ja Kainuun ojitetuilla soilla. Folia Forestalia 820. 37 s.

Moilanen, M. & Issakainen, J. 1981. Lannoituksen ja muokkauksen vaikutus taimettumiseen kuusen ja koivun uudistumiseen eräillä Kainuun vaara-alueen paksuturpeisilla soilla. Folia Forestalia 481. 16 s.

Moilanen, M. & Issakainen, J. 1984. Ojituksen, lannoituksen ja muokkauksen vaikutuksesta luontaiseen uudistumiseen piensararämeillä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 133. 17 s + 6 liitesivua.

Moilanen, M. & Issakainen, J. 1985. Lannoitusvaikutuksen riippuvuus levitysajankohdasta nuorissa rämemänniköissä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 204. 32 s.

Moilanen, M. & Issakainen, J. 1994. Uudisojituksen ja lannoituksen keskinäisen ajoituksen vaikutus puuston kehitykseen rämeillä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 528. 12 s.

Moilanen, M. & Issakainen, J. 1990. PK-lannos ja typpilannoitelajit karuhkojen ojitettujen rämeiden lannoituksessa. Folia Forestalia 754. 20 s.

Moilanen, M. & Issakainen, J. 2000. Tuhkalannoituksen metsävaikutukset. Metsätehon raportti 93. 38 s. + liitteet.

Moilanen, M. & Issakainen, J. 2003a. Turvemaiden tervehdyttämislannoituskohteiden suunnittelu – kehittämishankkeen loppuraportti Metsähallitukselle. 15 sivua + 3 liitesivua.

Moilanen, M. & Issakainen, J. 2003b. Puu- ja turvetuhkien vaikutus maaperään, metsäkasvillisuuden alkuainepitoisuuksiin ja puuston kasvuun. Konsortiohanke. Metsätehon raportti 162. 108 s.

Moilanen, M., Penttilä, T. & Issakainen, J. 1996a. Lannoituksen vaikutus kuusikoiden kasvuun ja ravinnetilaan ojitetuilla turvemailla Pohjois-Suomessa. Suo 47 (3): 85-94.

Moilanen, M., Piiroinen, M-L & Karjalainen, J. 1996b. Turpeen ravinnevarat metsähallituksen vanhoilla ojitusalueilla. Teoksessa: Piiroinen, M-L & Väärä, T. (toim.). Metsäntutkimuspäivä Kajaanissa 1995. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 598: 35-54.

Moilanen, M. & Silfverberg, K. 2004. Short-term effects of wood ash fertilisation on two drained mires in Central Finland. Teoksessa: Päivänen, J. (toim). Wise use of Peatlands. Proceedings of 12th International Peat Congress 6-11 June 2004 Tampere, Finland. Vol 1. Oral presentations: 464-471.

Moilanen, M., Silfverberg, K. & Hokkanen, T.J. 2002. Effects of wood-ash on the tree growth, vegetation and substrate quality of a drained mire: a case study. Forest Ecology and Management, Volume 171, Issue 3: 309-320.

Moilanen, M., Silfverberg, K., Hökkä, H. & Issakainen, J. 2004. Comparing effects of wood ash and commercial PK fertiliser on the nutrient status and stand growth of Scots pine on drained mires. Baltic Forestry 10(2): 2-10.

Mugasha, A.G. & Pluth, D.J. 1995. Ammonia loss following surface application of urea fertilizer to undrained and drained forested minerotrophic peatland sites in central Alberta, Canada. Forest Ecology and Management, Vol. 78, Issues 1 – 3: 139-145.

Mugasha, A.G., Macdonald, S.E. & Pluth, D.J. & 1996. Needle litter responses of peatland tamarack and black spruce to fertilization of minerotrophic peatland sites. Forest Ecology and Management, Vol. 87, Issues 1-3: 257-264.

Mugasha, A.G., Pluth, D.J. and Hillman, G.R. 1993. Foliar responses of tamarack and black spruce to drainage and fertilization of a minerotrophic peatland. Can. J. For. Res., 23: 166-180.

Mugasha, A.G., Pluth, D.J. & Macdonald, S.E. 1999. Effects of fertilization on seasonal patterns of foliar mass and nutrients of tamarack and black spruce on undrained and drained minerotrophic peatland sites. Forest Ecology and Management, Vol. 116, Issues 1-3: 13-31.

Nieminen, M. 2000. Phosphorus fertilizer leaching from drained ombrotrophic peatland forest: empirical studies and modelling. Väitöskirja. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 756. 50 s + 4 liitejulkaisua.

Nieminen, M. 2002. Suometsiin kehitteillä uusi fosforilannoite. Leipä leveämmäksi 1: 20-22.

Nieminen, M. 2003. Ravinteiden ja raskasmetallien vapautuminen tuhkalannoitteista. Konsortiohanke. Metsätehon raportti 155. 20 s.

Nieminen, M. & Ahti, E. 1993. Talvilannoituksen vaikutus ravinteiden huuhtoutumiseen karulta suolta. Folia Forestalia 814. 22 s.

Nieminen, M. & Jarva, M. 1996. Phosphorus adsorption by peat from drained mires in southern Finland. Scandinavian Journal of Forest Research 11: 321-326.

Nieminen, M. & Pätilä, A. 1994. Puuston kasvu ja ravinteiden saatavuus turvemaiden vanhoilla kalkituskokeilla. Suo 45(4-5): 97-108.

Oikarinen, M. & Pyykkönen, J. 1981. Harvennuksen ja lannoituksen vaikutus turvekankaan hieskoivikon kehitykseen Pohjois-Pohjanmaalla. Folia Forestalia 486. 15 s.

Paarlahti, K. 1967. Lannoitusajankohdan vaikutus rämemännikön kasvureaktioihin. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 63(4): 1-20.

Paarlahti, K. & Paavilainen, E. 1985. Turvemaan varttuneiden kuusikoiden ja koivikoiden lannoitus. Ennakkotuloksia. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 206: 4-18.

Paarlahti, K., Reinikainen, A. & Veijalainen, H. 1971. Nutritional diagnosis of Scots pine stands by needle and peat analysis. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 74(5): 1-58.

Paavilainen, E. 1966. Istutettujen männyn taimien juuriston ensi kehityksestä tupasvillarämeellä. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 61(6). 17 s.

Paavilainen, E. 1969. Tutkimuksia levitysajankohdan vaikutuksesta nopealiukoisten lannoitteiden aiheuttamiin kasvureaktioihin suometsissä. Folia Forestalia 75. 24 s.

Paavilainen, E. 1970. Astiakokeita pintalannoituksen vaikutuksesta koivun, kuusen ja männyn kylvön onnistumiseen muokkaamattomalla kasvualustalla. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 72(1): 1-37.

Paavilainen, E. 1972. Reaction of Scots pine on various nitrogen fertilizers on drained peatlands. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 77(3): 1-46.

Paavilainen, E. 1973. Studies on the uptake of fertilizer nitrogen by Scots pine using 15N labelled ures. Influence of peat thickness and application time. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 79(2): 1-47.

Paavilainen, E. 1975. Koetuloksia lannoituksen vaikutuksesta korpikuusikoissa. Folia Forestalia 239. 10 s.

Paavilainen, E. 1977a. Jatkolannoitus vähäravinteisilla rämeillä. Ennakkotuloksia. Folia Forestalia 327. 32 s.

Paavilainen, E. 1977b. Helppoliukoisten lannoitteiden vaikutuksen riippuvuus levitysajankohdasta turvemaalla. Folia Forestalia 300. 16 s.

Paavilainen, E. 1978. PK-lannoitus Lapin ojitetuilla rämeillä. Ennakkotuloksia. Folia Forestalia 343. 17 s.

Paavilainen, E. 1979a. Jatkolannoitus runsastyppisillä rämeillä. Ennakkotuloksia. Folia Forestalia 414. 23 s.

Paavilainen, E. 1979b. Metsänlannoitusopas. Yhteiskirjapaino Oy, Helsinki 1979. 112 s. ISBN 951-26-1764-1.

Paavilainen, E. 1980. Effect of fertilization on plant biomass and nutrient cycle on a drained dwarf shrub pine swamp. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 98(5): 1-71.

Paavilainen, E. 1984. Typpi ja hivenravinteet ojitettujen rämeiden jatkolannoituksessa. Folia Forestalia 589. 28 s.

Paavilainen, E. 1986. Turpeen paksuus ja ojituksen ajankohta typpilannoituksen tarpeeseen vaikuttavina tekijöinä karuilla rämeillä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 235: 4-14.

Paavilainen, E. 1987. Effect of fertilization on the litter fall of Pinus sylvestris and Betula pubescens on drained peatlands. Scandinavian Journal of Forest Research 2: 59-75.

Paavilainen, E. 1990. Effect of refertilization of pine and birch stands on a drained fertile mire. Silva Fennica 24(1): 83-92.

Paavilainen, E. & Penttilä, T. 1983. Alustavia tuloksia turvemaiden jatkolannoituksesta Lapissa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 105: 47-56.

Paavilainen, E. & Pietiläinen, P. 1983. Foliar responses caused by different nitrogen rates at the refertilization of fertile pine swamps. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 116: 91-104.

Paavilainen, E. & Simpanen, J. 1975. Tutkimuksia typpilannoituksen tarpeesta Pohjois-Suomen ojitetuilla rämeillä. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 86(4): 1-70.

Penttilä, T. 1984. Jatkolannoitus Lapin viljavilla rämeillä. Suo 35: 106-110.

Penttilä, T. 1987a. Koivikon lannoituskoe. Metla, suontutkimusosasto. Moniste, Rovaniemen tutkimusasema. 4 s.

Penttilä, T. 1987b. Sarkaleveyden vaikutus ojitetun suon puuntuotokseen – tuloksia Rovaniemen Imarin koekentältä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 253: 122-133.

Penttilä, T. & Moilanen, M. 1987. Fosforilannoitteet suometsien lannoituksessa Pohjois-Suomessa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 278: 136-148.

Penttilä, T. & Moilanen, M. 1997. Lannoituksen vaikutus hieskoivikoiden kasvuun ja ravinnetilaan ojitetuilla turvemailla Pohjois-Suomessa. Suo 48(4): 127-137.

Perkiömäki, J., Kiikkilä, O., Moilanen, M., Issakainen, J., Tervahauta, A. & Fritze, H. 2003. Cadmium-containing wood ash in a pine forest: effects on humus microflora and cadmium concentrations in mushrooms, berries and needles. Canadian Journal of Forest Research 33: 2443-2451.

Piirainen, S. & Domisch, T. 2004. Tuhkalannoituksen vaikutus pohja- ja valumavesien laatuun ja ainehuuhtoutumiin ojitetuilla soilla. Metsätehon raportti 168. 42 s.+liitteet.

Pietiläinen, P. & Kaunisto, S. 2003. The effect of peat nitrogen concentration and fertilization on the foliar nitrogen concentration of Scots pine (Pinus sylvestris L.) in three temperature sum regions. Suo 54(1): 1-13.

Pietiläinen, P. & Moilanen, M. 2003. Effect of drainage intensity and fertilization on Scots pine stands growing on an oligotrophic tall sedge fen. Baltic Forestry 9(1): 22-32.

Pietiläinen, P., Moilanen, M. & Lähdesmäki, P. 1996. Peat inorganic nutrients and the concentration of soluble arginine in Scots pine needles. Humus 3(1): 4-13.

Pätilä, A. 1984. Versosyövän (Gremmeniella abietina) esiintyminen lannoitetuilla metsäojitusalueilla. Suometsätieteen laudatur-työ yleistä metsätutkintoa varten. Helsingin Yliopisto. 48 s.

Pätilä, A. & Uotila, A. 1990. Scleroderris cancer and frost damage in fertilized pine stands on an ombrotrophic mire. Scandinavian Journal of Forest Research 5: 41-48.

Päivinen, L. 1999. Metsänlannoituksen tuloksia kivennäis- ja turvemailla. Kemira Agro Oy. 61 s.

Päivänen, J. 1970. Hajalannoituksen vaikutus lyhytkortisen nevan pintakasvillisuuden kenttäkerrokseen. Suo 21(1): 18-24.

Päivänen, J. 1972. The effect of fertilization on throughfall and ground water table in peatlands drained for forestry. Proc. 4th Int. Peat Congr. 3: 469-477.

Päivänen, J. 1983. Mustakuusen istutustaimikon alkukehitys ojitetulla karulla avosuolla. Suo 34(4): 111-118.

Päivänen, J. & Seppälä, K. 1968. Hajalannoituksen vaikutus lyhytkortisen nevan pintakasvillisuuteen. Suo 19(3-4): 51-56.

Raitio, H. 1981. Pääravinnelannoituksen vaikutus männyn neulasten rakenteeseen ja ravinnepitoisuuksiin ojitetulla lyhytkorsinevalla. Folia Forestalia 456. 9 s.

Raitio, H. & Rantala, E-M. 1977. Männyn kasvuhäiriön makro- ja mikroskooppisia oireita. Oireiden kuvaus ja tulkinta. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 91(1): 1-29.

Rantala, T. & Moilanen, M. 1993. Nuorten suomänniköiden lannoituksen kannattavuus Pohjois-Pohjanmaalla. Folia Forestalia 821. 20 s.

Rautjärvi, H., Kaunisto, S. & Tolonen, T. 2004. The effect of repeated fertilizations on volume growth and needle nutrient concentrations of Scots pine (Pinus sylvestris L.) on a drained pine mire. Suo 55(2): 21-32.

Reinikainen, A. 1965. Vegetationuntersuchungen auf dem Waldüengungs-Versuchsfeld des Moores Kivisuo, Kirchsp. Leivonmäki, Mittelfinnland. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 59: 1-62.

Reinikainen, A. & Veijalainen, H. 1983. Diagnostic use of needle analysis in growth disturbed Scots pine stands. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 116: 44-48.

Reinikainen, A., Veijalainen, H. & Nousiainen, H. 1998. Puiden ravinnepuutokset - Metsänkasvattajan ravinneopas. Metsäntutkimuslaitoksen tiedoantoja 688. 44 s.

Saarela, I. 1991. Wood, bark, peat and coal ashes as liming agents and sources of calcium, magnesium, potassium and phosphorus. Annales Agriculturae Fenniae 30: 375-388.

Saarinen, M. & Sarjala, T. 1999. Effects of fertilization and removal of overstorey on foliar nutrient status and chlorophyll fluorescence of Norway spruce (Picea abies (L.) Karst.) underwood on drained peatlands. International Peat Journal 9: 83-93.

Salo, K. 1979. Mushrooms and mushroom yield on transitional peatlands in central Finland. Annales Botanici Fennici 16: 181-192.

Sarjala, T. & Kaunisto, S. 1996. Effect of different potassium sources on the seasonal variation of potassium and free polyamines in Scots pine needles. Silva Fennica 30(4): 387-398.

Sarjala, T., Taulavuori, K., Savonen, E.-M. & Edfast, A.-B. 1997. Does availabilty of potassium affect cold hardening of Scots pine through polyamine metabolism? Physiol. Plant 99: 56-62.

Saura, M. 2001. Apatiittilannoituksen vaikutus valumaveden laatuun Parkanon Liesinevalla. Teoksessa: Hiltunen, A. & Kaunisto, S. (toim.). Suometsien kasvatuksen ja käytön teemapäivät 26.-27.9.2001 Joensuu. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 832: 43-47.

Seppälä, K. 1968. Välituloksia ojitettujen soiden viljelykokeista. Suo 19(2): 30 – 38.

Seppälä. K. & Westman, C.J. 1976. Results of some fertilization experiments in drained peatlan forests in North-Eastern Finland. Proceedings of 5th International Peat Congress, Poznan, Poland 1976. Vol. III: 199-210.

Silfverberg, K. 1995. Forest regeneration on nutrient-poor peatlands: Effects of fertilization, mounding and sowing. Silva Fennica 29(3): 205-215.

Silfverberg, K. 1996. Nutrient status and development of tree stands and vegetation on ash-fertilized, drained peatlands in Finland. Väitöskirja. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 588. 27 s + 5 liitejulkaisua.

Silfverberg, K. 1998. The leaching of nutrients from ash- and PK-fertilised peat. Suo 49(4): 115-123.

Silfverberg, K. & Hartman, M. 1999. Effects of different phosphorus fertilisers on the nutrient status and growth of Scots pine stands on drained peatlands. Silva Fennica 33(3): 187-206.

Silfverberg, K. & Hotanen, J-P. 1989. Puuntuhkan pitkäaikaisvaikutukset ojitetulla mesotrofisella kalvakkanevalla Pohjois-Pohjanmaalla. Folia Forestalia 742. 23 s.

Silfverbrg, K. & Huikari, O. 1985. Tuhkalannoitus metsäojitetuilla turvemailla. Folia Forestalia 633. 25 s.

Silfverberg, K. & Issakainen, J. 1991. Tuhkalannoituksen vaikutukset metsämarjoihin. Folia Forestalia 769. 23 s.

Silfverberg, K. & Issakainen, J. 2001. Puuntuhka ja

kauppalannoitteet suomänniköiden ravinnetalouden hoidossa. Metsätieteen aikakauskirja 1/2001: 29-44.
Silvola, J., Välijoki, J. & Aaltonen, H 1985. Effect of draining and fertilization at three ameliorated peatland sites. Acta Forestalia Fennica 191. 32 s.
Starr, M. & Westman, C.J. 1978. Easily extractable nutrients in the surface peat layer of virgin sedge-pine swamps. Silva Fennica 12: 65-78.
Sundström, E. 1995. The impact of climate, drainage and fertilization on the survival and growth of Pinus sylvestris L. in afforestation of open, low-production peatlands. Scandinavian Journal of Forest Research 10: 190-203.
Sundström, E., Magnusson, T. & Hånell, B. 2000. Nutrient conditions in drained peatlands along a north-south climatic gradient in Sweden. Forest Ecology and Management 126: 149-161.
Tamm, C. O. 1954. Some observations on the nutrient turn-over in a bog community dominated by Eriophorum vaginatum L. Oikos 5: 189-194.
Tamm, C. O. 1956. Studier över skogens näringsförhållanden IV. Effekten av kalium- och fosfortillförsel till ett oväxtligt bestånd på dikad myr. Meddelanden från Statens Skogsforskningsinstitut 46(7): 1-27.
Vasander, H. 1981. Luonnontilaisen keidasrämeen sekä lannoitetun ojikon ja muuttuman ravinnevarat. Suo 32(4-5): 137-141.
Vasander, H. 1982. Plant biomass and production in virgin, drained and fertilized sites in a raised bog in southern Finland. Annales Botanici Fennici 19: 103-125.
Vasander, H. & Lindholm, T. 1992. Effect of readily and slowly soluble fertilizers on the growth and needle nutrient contents of Scots pine in Southern Finland. Proceedings of the 9th International Peat Congress June 22-26, 1992. Vol. 2: 342-351.
Vasander, H., Kuusipalo, J. & Lindholm, T. 1993. Vegetation changes after drainage and fertilization in pine mires. Suo 44(1): 1-9.
Vasander, H., Kuusipalo, J. & Lindholm, T. 1994. Vegetation changes after drainage and fertilization in different types of pine mires. Teoksessa: Effect of fertilization on forest ecosystem. Biological Research Reports from the University of Jyväskylä 38: 112-123.
Veijalainen, H. 1974. Metsäojitusalueiden sienisadoista. Suo 25: 31-33.
Veijalainen, H. 1977. Use of needle analysis for diagnosing micronutrient deficiencies in Scots pine on drained peatlands. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 92(4). 32 s.
Veijalainen, H. 1981. Hivenlannoituksen vaikutus istutusmännikön kehitykseen turvemaalla. Folia Forestalia 477. 15 s.
Veijalainen, H. 1983. Geographical distribution of growth disturbances in Finland. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 116: 13-16.
Veijalainen, H. 1984. Hivenlannoituksen vaikutus erään istutusmännikön ravinnetalouteen turvemaalla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 126. 19 s.
Veijalainen, H. 1998. The applicability of peat and needle analysis in heavy metal deposition surveys. Water, Air and Pollution 105: 367-391.
Veijalainen, H. (toim.). 1999. Kaakkosuon koeojitusalueen lannoituskokeita. Moniste, Metla, Vantaan tutkimuskeskus 1999. 18 s.
Veijalainen, H. 2000. Metsänparannuskokeiden tuloksia Kettulan tilan ojitetuilta soilta. Kettulan retkeily 8.9.2000. Moniste, Metla, Vantaan tutkimuskeskus 2000. 62 s.
Veijalainen, H., Reinikainen, A. & Kolari, K.K. 1984. Metsäpuiden ravinneperäinen kasvuhäiriö Suomessa. Folia Forestalia 601. 41 s.
Weber, A., Karsisto, M., Leppänen, R., Sundman, V. & Skujins, J. 1985. Microbial activities in ahistosol: effects of wood ash and NPK fertilizers. Soil Biology and Biochemistry 17: 291-296.
Westman, C.J. 1979. Climate dependent variation in nutrient content of the surface peat layer from sedge pine swamps. Teoksessa: Classification of Peat and Peatlands. Proceedings of International Symposium on IPS. Hyytiälä, Finland, 17-21 September 1979: 160-170.
Westman, C. J. 1987. Site classification in estimation of fertilization effects on drained mires. Acta Forestalia Fennica 198. 55 s.
Vose, J. M. & Allen, H. L. 1991. Quantity and timing of needlefall in N and P fertilized loblolly pine stands. Forest Ecology and Management 41: 205-219.

4.4 Suopellot ja suonpohjat puiden kasvualustoina

Jyrki Hytönen ja Lasse Aro

4.4.1 Suopellot puuston kasvualustoina

Laajamittainen peltojen metsitys maatalouden tuotannon rajoittamisen keinona alkoi 1960-luvun lopulla. Metsitys on painottunut heikkotuottoisiin peltoihin, joita on metsitetty kaksi kertaa enemmän kuin hyvätuottoisia. Siten suopeltojen osuus on ollut merkittävä. Suomen yli 240 000 metsitetystä peltohehtaarista noin 80 000 arvioidaan olevan suopeltoja.

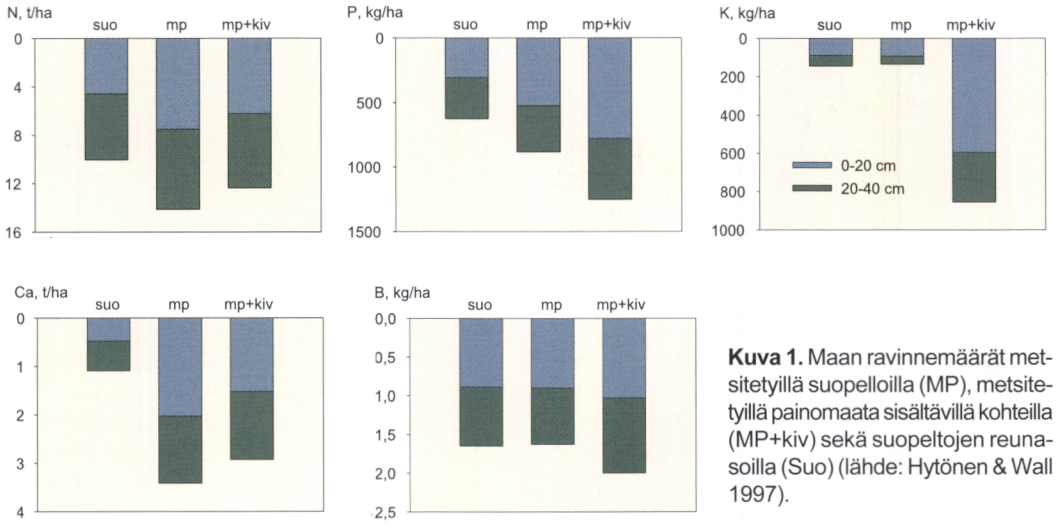
Peltojen metsitystulos vaihtelee Suomen nopeakasvuisimmista metsiköistä aina toistuviin epäonnistumisiin asti. Suopeltojen metsitys on osoittautunut monin tavoin vaikeammaksi ja ongelmallisemmaksi kuin kivennäismaapeltojen metsitys. Metsänkasvatuksen kannalta pellot poikkeavat metsämaista erityisesti pintakasvillisuuden, maan kemiallisten ja fysikaalisten ominaisuuksien ja näistä tekijöistä johtuvien suurten tuhoriskien vuoksi oleellisesti. Pelloilla perinteiset puulajivalinnan keinot (esim. metsätyypin määritys) eivät toimi. Kaikki pellot eivät ole metsänkasvatuskelpoisia, vaan osa pelloista voi olla teknisesti, taloudellisesti, ravinteisuudeltaan tai maiseman kannalta metsitykseen sopimattomia.

Ravinnetalous

Peltojen maalajit vaihtelevat hyvin paljon maan eri osissa. Siksi metsitysmenetelmät, käytettävät puulajit ja onnistumisen todennäköisyys myös vaihtelevat alueittain. Suomen noin 2,2 milj. peltohehtaarista 14 % on eloperäisiä maita (Myllys & Sinkkonen 2004). Niiden (turpeet 4 %, multamaat 10 %) osuus Suomen peltoalasta on vuosien mittaan vähentynyt humuksen hajoamisen johdosta. Suuri osa multamaista on syntynyt ohutturpeisista suopelloista turvekerroksen sekoittuessa kivennäismaan kanssa tai kun turvepelloille on ajettu kivennäismaata (painomaata) maanparannusaineeksi. Metsittäjälle ongelmallisista suo- ja multapelloista yli puolet sijaitsee Pohjanmaalla ja Lapissa

Peltoviljelyssä muokkaus, lannoitus, kalkitus ja muut maanparannustoimenpiteet sekä koneiden käyttö ovat muuttaneet entisen suon pintakerroksen (0-20 cm) fysikaalisia ja kemiallisia ominaisuuksia. Maanviljelyn vaikutuksesta mm. muokkauskerroksen tuhkapitoisuus ja tiheys ovat kohonneet (Kaunisto 1991, Wall & Hytönen 1996, Hytönen & Wall 1997). Tämä johtuu peltoviljelyn aiheuttamasta eriasteisesta maan tiivistymisestä, turpeen hajoamisesta ja kivennäismaan käytöstä maanparannusaineena tai pohjamaan kivennäismaan sekoittumisesta turpeeseen maanmuokkauksen yhteydessä. Metsitettyjen suopeltojen maan pintakerroksen (0-20 cm, entinen pellon muokkauskerros) monien ravinteiden kuten typen, fosforin, kaliumin, kalsiumin ja magnesiumin määrät ovat huomattavasti suurempia kuin ojitettujen suometsien vastaavien kerrosten ravinnemäärät (Kaunisto 1991, Hytönen & Ekola 1993, Wall & Hytönen 1996, Hytönen & Wall 1997, Hynönen & Makkonen 1999). Maanviljelyn vaikutus on nähtävissä maan ominaisuuksissa metsityksen jälkeen vuosikymmeniä tai kivennäismaan lisäyksen kyseessä ollessa vaikutus voi olla lähes pysyvä.

Metsitetyillä suopelloilla, jolla ei oltu käytetty painomaata maanparannusaineena oli erään tutkimuksen mukaan kokonaistyppeä ja -fosforia 40 % ja -kalsiumia 210 % enemmän kuin viereisissä suometsissä oli (0-40 cm kerros). Kaliumia ja booria tällaisilla suopelloilla oli yhtä paljon kuin reunametsissä (Wall & Hytönen 1996, Hytönen & Wall 1997). Suopelloilla



Kuva 1. Maan ravinnemäärät metsitetyillä suopelloilla (MP), metsitetyillä painomaata sisältävillä kohteilla (MP+kiv) sekä suopeltojen reunasoilla (Suo) (lähde: Hytönen & Wall 1997).

yleinen kivennäismaan käyttö maanparannusaineena jopa viisinkertaistaa suopellon pintakerroksen kaliumin määrän. Painomaa lisää myös jonkin verran fosforin määrää, mutta sen käytön vaikutus maan boorimääriin on pieni ja puiden boorin puutos onkin yleinen painomaatakin saaneilla suopelloilla. Kivennäismaalisäyksen vaikutus maan ravinnetalouteen on hyvin pitkäaikainen.

Suopelloista osa on raivattu vähäpuustoisista ja jopa puuttomista avosoista. Peltojen välinen vaihtelu ravinnetaloudessa onkin suuri johtuen sekä alkuperäisten suotyyppien ravinnetaloudellisista eroista että mm. erilaisista viljelymenetelmistä, viljelytehokkuudesta ja viljelyn kestosta. Pitkään jatkunut maanviljely on muuttanut maan ominaisuuksia niin, että alkuperäisen suotyypin tai reunametsienkään avulla ei voida hyvin arvioida suopellon ravinteisuutta. Maan kemiallisella ja fysikaalisella analyysillä saadaan verrattain hyvä kuva pellon soveltuvuudesta metsän kasvatukseen. Jo turpeen paksuuden, maatuneisuuden ja tuhkapitoisuuden selvittäminen auttaa arvioimaan kohteen ominaisuuksia puiden kasvualustana.

Vesitalous

Suopelloilla turve on usein hyvin maatunutta ja turpeen tiheys sekä tuhkapitoisuus on siihen lisätyn kivennäismaan johdosta monikertainen suometsiin verrattuna. Suopelloilla maan huokostila on pienempi, mutta vedenpidätyskyky suurempi kuin luonnontilaisilla ja ojitetuilla rämeillä (Wall & Heiskanen 1998). Siksi maan alhainen ilmatila voi heikentää maan ilmanvaihtoa ja puuston kasvua suopelloilla, mitä voi pahentaa mahdollinen alava sijainti ja korkea pohjavesitaso. Tämä korostaa suopeltojen tehokkaan kuivatuksen ja maanmuokkauksen merkitystä metsänkasvatusta varten.

Pintakasvillisuus

Metsitettävien peltojen pintakasvillisuus on täysin erilaista kuin metsäojitetuilla soilla. Peltokasvit, erityisesti heinät ja ruohot ovat vallitsevia vielä pitkään metsityksen jälkeen. Avoimen muokatun pellon valtaavat aluksi siemenpankin yksi- ja kaksivuotiaat rikkakasvit (esim. pillikkeet, saunakukka), mutta heinämäiset kasvit ovat vuorossa vuoden parin kuluttua (esim. nurmirölli, nurmilauha, punanata). Rikkakasvit kilpailevat taimien kanssa





Kuva 3. Muokatun pellon valtaavat usein yksivuotiaat rikkakasvit. Heinät säilyvät vallitsevina vielä vuosia metsityksen jälkeen. Kuva: J. Hytönen/Metla.

Kuva 2. Kivennäismaalisäys voi näkyä selvästi paksuturpeisen pellon muokkauskerroksessa. Kuva: A. Ferm/Metla.

valosta, vedestä ja ravinteista. Peltokasvit ovat vallitsevia vielä pitkään metsityksen jälkeen ja ne lisäävät myös taimituhoriskiä (esim. myyrätuhot). Pintakasvillisuuden tehokas torjunta parantaa taimien elossaola, lisää niiden kasvua ja vähentää tuhoriskejä.

4.4.2 Suopeltojen männyntaimikoiden lannoitus

Suopeltojen metsitys on lukuisten tutkimusten mukaan monin tavoin vaikeampaa ja ongelmallisempaa kuin kivennäismaapeltojen metsitys. Metsitettyjen suopeltojen ravinnetila vaihtelee mm. alkuperäisen suotyypin ja maanviljelyssä käytettyjen viljelymenetelminen (esim. lannoitus, kivennäismaalisäys, kalkitus) mukaan laajasti. Peltomaan viljelyn yhteydessä käytetyt lannoitteet ja kalkitus ovat kohottaneet maan ravinteiden määriä erityisesti typen, fosforin, kaliumin, kalsiumin ja magnesiumin osalta ja maan pH:ta (Wall & Hytönen 1996, Hytönen & Wall 1997). Maanviljelyn aiheuttama ravinnelisäys on hyvin pitkäaikainen, vähintäänkin vuosikymmeniä kestävä. Suopeltojen metsitysaloilla kasvavien mäntyjen, kuusten ja koivujen normaalia kehitystä saattaa vaarantaa ravinteiden epätasapaino, sekä kaliumin ja boorin puutokset, jotka ilmenevät ns. ravinneperäisinä kasvuhäiriöinä (Kuva 4, Hytönen & Ekola 1993, Hytönen 1999, Hynönen 2000).

Metsitettyjen suopeltojen lannoituksessa ensisijaisena tavoitteena on tasapainoisen ravinnetalouden ylläpitäminen ja häiriöttömän kasvun turvaaminen eikä kasvun lisääminen. Peltojen typpi- ja fosforimäärät ovat yleensä melko korkeita. Myös männyn neulasten typpipitoisuudet ovat yleensä varsin korkeita. Typpilannoitus saattaa vaikuttaa haitallisesti kärjistäessään typen ja muiden ravinteiden suhteita ja jopa pienentää taimien kasvua suopelloilla (Paavilainen 1977). Peltojen maanvil-



Kuva 4. Boorin puutoksen aiheuttamia kasvuhäiriöitä suopelloilla rauduskoivulla, kuusella ja männyllä. Kuvat vasemmalta oikealle: E. Heino, A. Wall ja J. Hytönen/Metla.

jelynaikaisten fosforilannoitusten ja pellonraivauksen yhteydessä monesti levitetyn painomaan vuoksi suopeltojen metsitysalueilla ei yleensä ole todettu fosforin puutosta. Fosforilannoitus (PK, NPK, tuhkat; Kaunisto 1991, Ferm ym. 1992, Hytönen 2003, Hytönen & Pietiläinen 1995) ei olekaan lisännyt neulasten fosforipitoisuutta. Sen paremmin typpikuin fosforilannoitustakaan ei metsitetyillä suopelloilla yleensä tarvita.

Maan ravinnemäärien ja neulasanalyysitulosten perusteella arvioituna puiden ravinnetalouden kannalta ongelmallisia ravinteita suopelloilla ovat kalium ja boori sekä tilanteesta riippuen boorin lisäksi mahdollisesti myös muut hivenravinteet (Hytönen & Ekola 1993, Hynönen & Makkonen 1999, Hytönen 2003). Kaliumin määrä riippuu suopellolle levitetyn painomaan määrästä, mutta boorin määrä ei (Kaunisto 1991, Wall & Hytönen 1996, Hytönen & Wall 1997). Boorinpuutokset olivat tavallisia maataloudessa ennen kuin kaikkiin seoslannoitteisiin lisättiin booria 1972. Kasvuhäiriöisiä puita on esiintynyt metsitysalueilla yleensä laikuittain (Hytönen & Ekola 1993).

Kasvien boorin ottoon vaikuttavat monet tekijät, mm. maan pH sekä kalsiumin ja magnesiumin määrä. Kalkituksen aiheuttama pH:n nousu voi vaikuttaa puiden boorin ottoon haitallisesti (Lehto & Mälkönen 1994) ja lisätä boorin sitoutumista maahan ja humukseen (Lehto 1995). Lannoituskokeissa sekä turveettä kivennäismailla kalkitus on alentanut männyn neulasten booripitoisuuksia (Kaunisto 1987a, Lehto & Mälkönen 1994). Kaliumin ja boorin puutosoireiden lisäksi on ennen lannoitusta syytä tarkastaa turpeen paksuus ja painomaan käyttö (silmänvarainen tarkastelu, turpeen tuhkapitoisuuden määritys).

Kaupallisten kaliumia ja booria sisältävien lannoitteiden lisäksi voidaan käyttää myös puutuhkaa, joka voi olla varsin heikkolaatuistakin (vähän fosforia sisältävää). Sen sijaan turpeentuhka ei ole hyvä lannoite suopelloille, sillä se sisältää yleensä vain vähän kaliumia ja booria. Osalla metsitysalueista on pelkkä hivenravinnepuutos, jolloin lähinnä boorilannoitus tulee kyseeseen. Metsityslannoituksen tarpeellisuutta taimikon perustamisen yhteydessä on varsin vaikea arvioida. Laikkulannoituksena (esim. noin 10-30 cm säteelle taimesta)

tehdystä kalium- ja boorilannoituksesta tuskin on haittaa. Typpeä ei metsityksen yhteydessä pidä antaa. Taimikon ollessa 5-10 v. ikäistä voidaan ravinnetilannetta tarkastella silmänvaraisten havaintojen (kasvuhäiriöoireet, kaliuminpuutos) avulla, varmistaa ravinnetila neulasanalyysillä ja ryhtyä tämän jälkeen korjaamaan ravinnetilaa lannoituksella.

4.4.3 Suonpohjien ominaisuudet

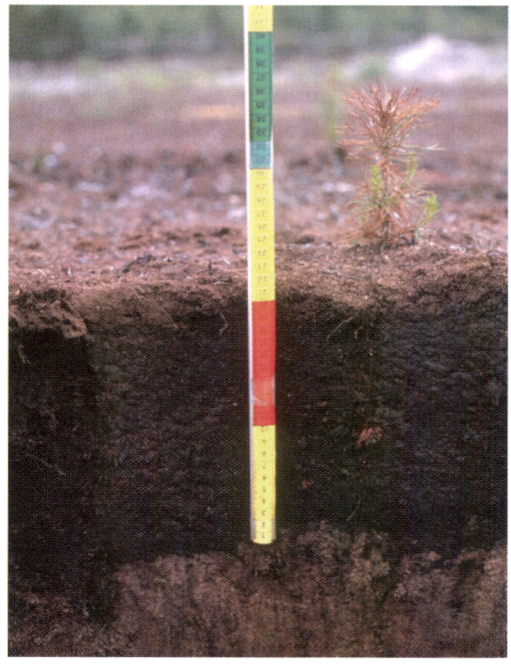
Taustaa

Suonpohjat ovat turpeennostosta vapautuneita suoalueita. Suomen turpeennostoon soveltuvasta 622 000-1 200 000 ha:n (Lappalainen & Hänninen 1993, Virtanen & Hänninen 2004) kokoisesta suoalasta on viimeisen kymmenen vuoden aikana nostettu turvetta vuosittain 42 000-59 000 ha:lta. Suonpohjia on tällä hetkellä yli 20 000 ha ja vuonna 2010 jo arviolta 40 000-45 000 ha.

Metsätaloutta pidetään suonpohjien yleisimpänä maankäyttömuotona (Selin 1999). Metsänkasvatuksen kannalta tärkeimmät seikat ovat suonpohja-alueen yleistopografia, nostamatta jääneen turvekerroksen paksuus ja ominaisuudet sekä sen alla olevan pohjamaan ominaisuudet (kuva 5). Nämä määrittelevät sekä suonpohjien metsänkasvatuskelpoisuuden että metsityksessä ja metsänkasvatuksessa tarvittavat toimenpiteet.

Suonpohjan topografia

Turpeennostosta vapautuvat yleensä ensin suoalueiden reunaosat, joissa turveteollisuuden käyttöön soveltuvaa turvetta on alunperinkin ollut vähemmän kuin keskiosissa. Sellaiset tuotantoalueiden osat, joita on turpeennoston loppuvaiheissa kuivatettu pumppaamalla, eivät sovellu metsänkasvatukseen. Uudelleen soistaminen on näille kohteille luonteva vaihtoehto. Tuotannosta vapautuneiden alueiden reunaosiin metsänkasvatus sopii useimmiten ainakin vesitalouden puolesta.



Kuva 5. Suonpohjaprofiili Pohjois-Pohjanmaalta. Turvetta on jäänyt metsänkasvatuksen kannalta sopivasti ja pohjamaa on hienolajitteinen (karkea hiesu/hieno hieta). Kuva: M. Saarinen/Metla.

Turvekerroksen ominaisuudet

Turpeennoston päätyttyä suonpohjalle jää turvekerros, jonka paksuus saattaa vaihdella suuresti tuotantoalueen pohjan topografian, kivisyyden ja käytettyjen turpeennostomenetelmien mukaan. Turvetalouden alkuaikoina turpeennostokentälle saattoi jäädä paksujakin turvekerroksia pohjamaan päälle. Nykyisin käytettävillä massansiirtomenetelmillä lähellä kivennäismaata oleva pohjaturvekerroskin voidaan nostaa melko tarkoin. Sarkojen keskiosiin saattaa kuitenkin edelleenkin jäädä varsin paksuja turvekerroksia, koska pintavesien valunnan nopeuttamiseksi turpeennoston aikana sarat muotoillaan ojiin päin viettäviksi. Lisäksi sarkojen päihin, nostokoneiden kääntymisalueille, ja varastoaumojen alle saattaa jäädä jopa yli metrin paksuisia turvekerroksia.

Turve on yleensä hyvin maatunutta, tiivistä ja siten runsastyppistä mutta varsinkin kaliumvaroiltaan niukkaa (Kaunisto 1979, Ferm & Kaunisto 1983, Kaunisto & Viinamäki 1991, Aro ym. 1997, Aro & Kaunisto 2003). Myös fosforia on niukasti suhteessa typpeen. Suonpohjaturpeelle onkin tyypillistä puiden kehitykselle epäedullinen, epätasapainoinen ravinnetalous. Tämän seurauksena pelkällä turvepinnalla taimet kuolevat nopeasti kivennäisravinteiden puutteeseen ja paljastetulla kivennäismaapinnalla taimet puolestaan kasvavat kituen typen puutteen vuoksi.

Tiivis ja hyvin maatunut, märkä turve kuivuu hitaasti. Tämä voi aiheuttaa ongelmia puille keväällä kasvukauden alussa, mutta myös sateisten kesien aikana. Sateisina kesinä myös turvehiukkasten takertuma haittaa pienten sirkkataimien kehitystä. Kuivunut turve puolestaan hylkii vettä tehokkaasti ja kostuu siten hitaasti, jolloin veden puute saattaa aiheuttaa ongelmia puun taimille kuivina kasvukausina. Ongelmallista on myös ohuiden turvekerrosten turpeen nopea hajoaminen, kun pohjamaa on karkealajitteista ja kuivatusolot ovat hyvät (kuva 6). Tämä merkitsee haitallisen kasvihuonekaasun, hiilidioksidin, vapautumista ilmaan ja myös puiden kasvattamisessa arvokkaan typpivaraston vähenemistä.

Pohjamaan ominaisuudet

Jäljelle jääneen turvekerroksen paksuuden ohella kestävän metsänkasvatuksen mahdollisuudet suonpohjilla riippuvat pohjamaan koostumuksesta. Puiden menestymisen kannalta erittäin tärkeitä tekijöitä ovat kivennäismaan läheisyys tai kivennäismaan sekoittuminen turpeeseen sekä kivennäismaan fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet (Kaunisto 1987b, Aro ym. 1997). Mitä enemmän pohjamaa sisältää hienoja lajitteita (savi, hiesu ja hieno hieta) sitä enemmän siinä on myös kivennäisravinteita. Pohjamaan kivennäisravinnepitoisuudet ovat olleet kuitenkin selvästi pienempiä suonpohjilla kuin kangasmailla lajitekoostumuksesta riippumatta (Aro ym. 1997).

Pohjamaan lajitekoostumus vaikuttaa myös peruskuivatustarpeeseen. Hiekkaisilta mailta vesi poistuu nopeasti, jos ojitus on kunnossa. Hienojakoisilla savi- ja hiesumailla vesien liikkuminen on paljon hitaampaa. Hiesumailla ojat myös tukkeutuvat helposti.

Eroosio

Laajoina ja tasaisina alueina suonpohjat ovat myös alttiina eroosiolle (kuva 6). Tämä yhdessä äärevien lämpö- ja vesitalousolojen ja epätasapainoisen ravinnetalouden kanssa tekee suonpohjista ankaran kasvupaikan kasvillisuudelle. Suonpohjien kasvittuminen onkin paikoitellen hyvin hidasta (mm. Salonen 1992).

Suonpohjien kasvupaikkaluokitus

Suonpohjille ei toistaiseksi ole kasvupaikkaluokitusta. Turvekerrosten poistaminen on muuttanut kasvupaikkatyypin täydellisesti. Pintakasvillisuuteen perustuva kasvupaikan puuntuotoskyvyn arviointi puolestaan ei suonpohjilla yleensä onnistu pintakasvillisuuden hitaan kehittymisen takia. Sen sijaan puuston myöhemmissä kehitysvaiheissa on mahdollista käyttää pituusbonitointia.

Metsänkasvatuskelpoisuutta voi arvioida turpeen paksuuden ja pohjamaalajin perus-



Kuva 6. Eroosion ja turpeen hajoamisen seurauksena paljastunutta rauduskoivun juuristoa karkeajakoisella suonpohja-alueella Pohjois-Satakunnassa. Kuva: L. Aro/Metla.

teella: karkeasti ottaen kasvupaikka on sitä parempi mitä ohuempi on jäljelle jäänyt turvekerros (10-40 cm) ja mitä hienojakoisempi on turpeen alla oleva pohjamaalaji. Jo kymmenen senttimetrin turvekerros saattaa estää pienten taimien ja 40-50 senttimetrin kerros kasvatuspuustojen kivennäisravinteiden saannin pohjamaasta (Aro & Kaunisto 2003). Turvekerroksen puuttuminen taas heikentää kasvupaikan puuntuotoskykyä selvästi, sillä turvekerroksen alla olevassa kivennäismaassa on vähän typpeä. Tarkempi luokittelu puuntuotoskyvyn ja puiden ravinnetarpeiden arvioimiseksi ennen metsitystä vaatiikin jo turpeen ja pohjamaan ominaisuuksia selvittävän maa-analyysin tekemistä.

4.4.4 Metsänkasvatus suonpohjilla

Ojitus

Suonpohja-alueen kuivatus kohtuullisin kustannuksin on perusedellytys suonpohjien metsätalouskäytölle. Sarkaojitus suunnitellaan leikkaamaan painanteet ja ojamaat mätästetään mataliin mättäisiin niin, ettei pintavesien kulku esty. Turvekerroksen alla olevan kivennäismaan, pohjamaan, lajitekoostumus vaikuttaa peruskuivatustarpeeseen. Peruskuivatukseen riittää yleensä 40 metrin sarkaleveys, mutta savipohjaisilla mailla voi olla perusteltua käyttää 20-30 m sarkaleveyttä.

Puulaji

Suonpohjilla voidaan ensimmäisenä puusukupolvena kasvattaa mäntyä tai hies- ja rauduskoivua. Turpeen korkea typpipitoisuus tekee kuitenkin männystä helposti huonomuotoisen ja oksikkaan (Kaunisto & Tukeva 1986). Kasvatustiheydellä voidaan parantaa laatua, mutta tiheyden tulisi olla kaksin- tai kolminkertainen normaaliin viljelyyn verrattuna (Kaunisto & Tukeva 1986). Koivu on mäntyä vaateliaampi ja hyötyy turpeen typestä (Aro ym. 1997) ja myös typpilannoituksesta (Kaunisto 1987b). Koivua voidaan kasvattaa sekä kuitu- että tukkipuuksi. Koivulla saadaan myös korkeita biomassatuotoksia kasvattamalla sitä harventamattomina tiheikköinä (Ferm & Kaunisto 1983, Hytönen & Kaunisto 1999, Hytönen & Aro 2004). Rauduskoivu on sopiva puulaji, jos suonpohja on ohutturpeinen ja tehokkaasti kuivatettu. Tuotos vastaa vähintään kivennäismaiden mustikkatyyppiä (Kaunisto & Aro 1998). Kivennäismaan tavoin myös suonpohjilla rauduskoivu on hieskoivua nopeakasvuisempi (Hytönen & Kaunisto 1999). Suonpohjien hallaisuuden takia kuusta ei voida viljellä ensimmäisenä puulajina, mutta myöhemmin verhopuuston avulla se sopinee toisen kiertoajan puulajiksi, koska kasvualustassa on runsaasti typpeä.

Metsitys

Raudus- ja hieskoivu uudistuvat suonpohja-alueelle herkästi luontaisesti, jos ravinnetalous on kunnossa ja siementävää puustoa on riittävän lähellä (korkeintaan 150 metrin etäisyydellä, Kaunisto 1981). Tarvittaessa siementävän puuston annetaan kasvaa joidenkin kuivatusojien ja teiden varsille hyvissä ajoin ennen turpeennoston päättymistä. PK-hajalannoituksella saadaan aikaan koivutiheikköjä (Aro ym. 1997), jotka voidaan harventaa noin 10-15 vuoden ikäisinä. Koivun taimettumista edistää kevyt turpeen pinnan haraus, jossa syntyy matalia vakoja ja harjanteita.

Männyn ja koivun kylvö onnistuu varmimmin, jos se tehdään turvepinnalle ja ravinnetaloudesta huolehditaan lannoittamalla fosforilla, kaliumilla ja boorilla (Aro ym. 1997). Koivun kylvö voidaan tehdä hajakylvönä, jolloin se kylvetään lumettomaan maahan mahdollisimman varhain keväällä. Männyn kylvön yhteydessä käytetään hyväksi mättäiden luontaisia rakoja ja painanteita. Männyn laadun parantamiseksi hehtaarilla tulisi olla vähintään 5 000 kylvökohtaa. Männyn ja koivun istutuksessa kannattanee käyttää nuoria, yksivuotisia paakkutaimia (Aro ym. 1997).

Ravinnetalouden hoito

Lannoittamattomalla (Kaunisto & Viinamäki 1991) tai pelkästään laikkulannoitetulla (Aro ym. 1997, Kaunisto & Aro 1998) suonpohjalla taimien kasvu on sitä heikompaa mitä paksumpi turvekerros on. Myös taimien kuolleisuus lisääntyy turvekerroksen paksuuden kasvaessa (Aro ym. 1997). Jo kymmenen senttimetrin turvekerros saattaa estää pienten taimien (Aro ym. 1997) ja 40-50 senttimetrin kerros kasvatuspuustojen kivennäisravinteiden saannin pohjamaasta (Aro & Kaunisto 2003).

Taimien kivennäisravinteiden saatavuutta voidaan edistää muokkaamalla. Mätästyksessä kivennäismaata nostetaan taimien juurten ulottuville. Turve ja kivennäismaa voidaan myös sekoittaa jyrsimällä tai kyntämällä. Karkeajakoisilla mailla kivennäismaasekoituskaan ei kuitenkaan täysin turvaa taimien kali-, fosfori- ja booriravitsemusta viljelyn jälkeen (Aro ym. 1997, Aro & Kaunisto 1998).

Suonpohjien vaihtelevissa oloissa metsityslannoitus onkin usein tarpeen taimikoiden alkukehityksen turvaamiseksi (Kaunisto 1987b, Aro ym. 1997). Taimien kehityksen alkuvaiheen pienen ravinnetarpeen ja toisaalta taimien alkukehitystä haittaavan pintakasvillisuuden välttämiseksi lannoitus suositetaan tehtäväksi pienin ravinnemäärin laikkulannoituksena (P ja K 3-5 g/taimi). Suuret määrät vesiliukoisia suoloja sisältäviä lannoitteita lisäävät myös taimikuolleisuutta (Kaunisto & Tukeva 1986), minkä vuoksi esim. kalisuolaa sisältävää lannoitetta ei pidä levittää aivan taimen tuntumaan. Typpilannoitus ei lisää männyntaimien pituuskasvua (Kaunisto 1987b), vaan saattaa jopa heikentää sitä (Aro ym. 1997).

Taimien fosfori- ja kaliumlannoituksessa voidaan käyttää myös hidasliukoisia lannoitteita kuten biotiittia. Alustavien tulosten mukaan biotiitin vaikutus männyntaimien elossaoloon, ravinnetilaan ja pituuskehitykseen vastaa Metsän PK-lannoitteen vaikutusta, kun lannoitteiden ravinnemäärät ovat samat. Suuret biotiittiannokset eivät lisää taimien pituuskehitystä tai turvaa kivennäisravinteiden riittävyyttä. Sen sijaan taimien kuolleisuus lisääntyy samoin kuin suurilla PK-lannoitteen annoksillakin (P 5,4 ja K 9,6 g/taimi).

Karkeajakoisilla pohjamailla viljelyn yhteydessä tehty laikkulannoitus on uusittava 4-5 vuoden kuluttua viljelystä kasvun taantumisen välttämiseksi. Jatkolannoitus kannattanee tehdä hajalevityksenä (P 45, K 80-85, B 1-1,5 kg ha^{-1}), jonka vaikutusaika paksuturpeisilla (yli 40 cm) kasvupaikoilla saattaa olla vain 15 vuotta (Aro ym. 1997, Aro & Kaunisto 2003). Myös koivun luontaisessa uudistamisessa ja energiapuun kasvatuksessa käytetään hajalevitystä (P 45 ja K 80-85, B 1-1,5 kg ha^{-1}), joka tarvittaessa uusitaan. Lannoitus puuntuhkalla on käyttökelpoinen vaihtoehto (Kaunisto 1987b, Aro ym. 1997). Sopiva määrä on 4000-5000 kg ha^{-1} hyvälaatuista puuntuhkaa. Vähäisilläkin puuntuhkan määrillä (2 000 kg ha^{-1}) on yleensä saatu aikaan suurempi puiden kasvun lisäys kuin turvetuhkalla moninkertaisinakaan annoksina (3 000, 6 000, 12 000 kg ha^{-1}, Kaunisto 1987b). Syynä lienee lähinnä kaliumin vähäisyys ja fosforin hidasliukoisuus turvetuhkassa. Turvetuhkassa on erittäin niukasti myös booria.

Vaikka puiden kivennäisravitsemus hoidettaisiinkin aluksi maanmuokkauksella tai lannoituksella, myöhemmässä kehitysvaiheessa puiden tulisi saada tarvitsemansa kivennäisravinteet pohjamaasta. Turvekerroksen tulisikin olla riittävän ohut, jotta puiden juuret pystyisivät tavoittamaan pohjamaan ravinnevarastot. Tämän hetken käsityksen mukaan 15-30 cm turvekerros turvaa pitkäaikaisen typen saatavuuden ja varmistaa, että puiden juuristo tavoittaa kivennäismaan ravinteet (Kaunisto & Viinamäki 1991, Aro ym. 1997, Aro & Kaunisto 2003).

Tuotos

Aikaisempien kasvutulosten perusteella koivutiheiköiden kiertoajan tulisi olla selvästi yli 14-16 vuotta (Ferm & Kaunisto 1983, Hytönen & Kaunisto 1999). Uusimpien, alustavien tulosten mukaan koivutiheiköiden kiertoajan pitäisi olla jopa yli 20 vuotta, jotta bio-

massan tuotos olisi mahdollisimman suuri (Hytönen & Aro 2004). Suonpohjilla kasvaneiden 14-21 vuoden ikäisten koivutiheiköiden keskimääräinen vuotuinen biomassan tuotos on vaihdellut 2,7 ja 4,4 Mg ha^{-1} välillä (Ferm & Kaunisto 1983, Hytönen & Kaunisto 1999, Hytönen & Aro 2004).

Luontaisesti syntyneissä ja säännöllisesti hoidetuissa, 31 vuoden ikäisissä koivikoissa runkotilavuus oli 119-211 m^3 ha^{-1}, mikä merkitsee suurimmillaan lähes 7 m^3 ha^{-1} vuotuisena keskimääräisenä tilavuuskasvuna ja viiden viimeisimmän vuoden keskikasvuna 16,2 m^3 ha^{-1} (Aro & Kaunisto 1998). Samoista koivikoista kuusi vuotta myöhemmin mitattu maanpäällinen lehdetön biomassa oli 160-164 Mg ha^{-1}, mikä merkitsee vuotuisena biomassan kasvuna 4,3-4,4 Mg ha^{-1} (Hytönen & Aro 2004, kuva 7). Parhaimmillaan tuotosluvut ovat suuremmat kuin lehtomaisten kankaiden rauduskoivikoissa (Kaunisto & Aro 1998). Ilman ohutturpeisuutta tai kivennäismaan ja turpeen sekoittumista tuotoslukuihin pääseminen vaatii säännöllisen lannoituksen.

Myös paksuturpeisilla suonpohjilla päästään korkeisiin tuotoslukuihin, jos puiden ravinnetaloutta hoidetaan säännöllisesti lannoittamalla. Esimerkiksi Kihniön Aitonevalla on mitattu 35-vuotiaissa männiköissä keskimäärin 132,2:n m^3 ha^{-1} runkotilavuuksia (Aro & Kaunisto 2003). Nämä olivat keskimäärin samalla tasolla kuin vastaavanikäisten, luontaisesti syntyneiden ja harvennuksin käsiteltyjen ja suurin piirtein samassa tiheydessä kasvaneiden mustikkatyypin männiköiden runkotilavuudet Koiviston (1959) aineistossa.



Kuva 7. Hyvin kasvavaa, luontaisesti syntynyttä koivikkoa Kihniön Aitonevalla. Kuva: L. Aro/Metla.

Kirjallisuus

Aro, L. & Kaunisto, S. 1998. Forestry use of peat cutaway areas in Finland. Teoksessa: Sopo, R. (toim.). The Spirit of Peatlands – 30 years of the International Peat Society. Proceedings of the Int. Peat Symp., Jyväskylä, Finland, 7-9 September, 1998. s. 185-186

Aro, L. & Kaunisto, S. 2003. Jatkolannoituksen ja kasvatustiheyden vaikutus nuorten mäntymetsiköiden ravinnetilaan sekä puuston ja juuriston kehitykseen paksuturpeisella suonpohjalla. Suo 54(2): 49-68.

Aro, L., Kaunisto, S. & Saarinen, M. 1997. Suopohjien metsitys. Hankeraportti 1986-1995. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 634. 51 s.

Ferm, A., Hokkanen, T., Moilanen, M & Issakainen, J. 1992. Effects of wood bark ash on the growth and nutrition of a Scots pine afforestation in central Finland. Plant and Soil 147: 305-316.

Ferm, A. & Kaunisto, S. 1983. Luontaisesti syntyneiden koivumetsiköiden maanpäällinen lehdetön biomassatuotos entisellä turpeennostoalueella Kihniön Aitonevalla. Folia Forestalia 558. 32 s.

Hynönen, T. 2000. Pellonmetsityksen onnistuminen Itä-Suomessa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 765. 90 s.

Hynönen, T. & Makkonen, T. 1999. Turvepeltojen maan ominaisuudet ja niiden vaikutus hieskoivujen alkukehitykseen Pohjois-Savossa. Suo 50(1): 17-34.

Hytönen, J. 1999. Pellonmetsityksen onnistuminen Keski-Pohjanmaalla. Metsätieteen aikakauskirja 4/1999: 697-710.

Hytönen, J. 2003. Effects of wood, peat and coal ash fertilization on Scots pine foliar nutrient concentrations and growth on afforested former agricultural peat soils. Silva Fennica. 37(2): 219-234.

Hytönen, J. & Aro, L. 2004. Management of naturally regenerated birch on cut-away peatlands: pulp, veneer or energy wood? Teoksessa: Päivänen, J. (toim.). Wise Use of Peatlands. Proceedings of the 12th International Peat Congress, Tampere, Finland. 6-11 Jun 2004. Vol 2. Poster Presentations: 1219-1224.

Hytönen, J. & Ekola, E. 1993. Maan ja puuston ravinnetila Keski-Pohjanmaan metsitetyillä pelloilla. Folia Forestalia 822. 32 s.

Hytönen, J. & Kaunisto, S. 1999. Effect of fertilization on the biomass production of coppiced mixed birch and willow stands on a cut-away peatland. Biomass & Bioenergy 17: 455-469.

Hytönen, J. & Pietiläinen, P. 1995. Turvepeltojen lannoitus ravinne-epätasapainon korjaamiseksi. Teoksessa: Hytönen, J. & Polet, K. (toim.). Peltojen metsitysmenetelmät. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 581:149-164.

Hytönen, J. & Wall, A. 1997. Metsitettyjen turvepeltojen ja viereisten suometsien ravinnemäärät. Suo 48(2): 33-42.

Kaunisto, S. 1979. Alustavia tuloksia palaturpeen kuivatuskentän ja suonpohjan metsityksestä. Folia Forestalia 404. 14 s.

Kaunisto, S. 1981. Rauduskoivun (Betula pendula) ja hieskoivun (Betula pubescens) luontainen uudistuminen turpeennoston jälkeisellä suonpohjan turpeella Kihniön Aitonevalla. Suo 32(3): 53-60.

Kaunisto, S. 1987a. Effect of refertilization on the development and foliar nutrient contents of young Scots pine stands on drained mires of different nitrogen status. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 140. 58 s.

Kaunisto, S. 1987b. Lannoituksen ja muokkauksen vaikutus männyn ja rauduskoivun istutustaimien kasvuun suonpohjilla. Folia Forestalia 681. 23 s.

Kaunisto, S. 1991. Maa-analyysin käyttö kasvupaikan ravinnetilan arvioimiseksi eräillä Alkkian metsitetyillä suopelloilla. Folia Forestalia 778. 32 s.

Kaunisto, S. & Aro, L. 1998. Suopohjat metsätaloudessa. Teoksessa: Vasander, H. (toim.). Suomen suot. Suoseura ry., Helsinki. s. 130-134.

Kaunisto, S. & Tukeva, J. 1986. Kasvatustiheyden vaikutus männyn istutustaimikoiden kehitykseen turvemailla. Folia Forestalia 646. 36 s.

Kaunisto, S. & Viinamäki, T. 1991. Lannoituksen ja leppäsekoituksen vaikutus mäntytaimikon kehitykseen ja suonpohjaturpeen ominaisuuksiin Aitonevalla. Suo 42(1): 1-12.

Koivisto, P. 1959. Kasvu- ja tuottotaulukoita. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 51(8): 1-49.

Lappalainen, E. & Hänninen, P. 1993. Suomen turvevarat. Geologian tutkimuskeskus, Tutkimusraportti 117. 118 s., 31 kuvaa, 43 taulukkoa ja 8 liitettä.

Lehto, T. 1995. Boron retention in limed forest mor. Forest Ecology and Management 78: 11-20.

Lehto, T. & Mälkönen, E. 1994. Effects of timing and boron fertilization on boron uptake of Picea abies. Plant and Soil 163: 55-64.

Myllys, M. & Sinkkonen, M. 2004. Viljeltyjen turve- ja multamaiden pinta-ala ja alueellinen jakauma Suomessa. Suo 55(3-4): 53-60.

Paavilainen, E. 1977. Männyn istutus suopeltojen metsityksessä. Folia Forestalia 261. 27 s

Salonen, V. 1992. Plant Colonization of Harvested Peat Surfaces. Biological Research Reports from the University of Jyväskylä 29. 29 s.

Selin, P. 1999. Turvevarojen teollinen käyttö ja suopohjien hyödyntäminen Suomessa. Studies in Biological and Environmental Science 79. 239 s.

Virtanen, K. & Hänninen, P. 2004. Peat resources of Finland. Teoksessa: Päivänen, J. (toim.) Wise Use of Peatlands. Proceedings of the 12th International Peat Congress, Tampere, Finland, 6-11 June 2004. Vol 2. Poster Presentations: 940-944.

Wall, A. & Heiskanen, J. 1998. Physical properties of afforested former agricultural peat soils in western Finland. Suo 49(1): 1-12.

Wall, A. & Hytönen, J. 1996. Painomaan vaikutus metsitetyn turvepellon ravinnemääriin. Suo 47(3): 73-83.

4.5 Metsänuudistaminen turvemailla

Markku Saarinen

4.5.1 Uudistettavaa on pian sadoilla tuhansilla hehtaareilla

Valtakunnan metsien kahdeksannen inventoinnin mukaan uudistettavia puustoja on ojitusalueilla n. 180 000 ha ja varttuneita kasvatusmetsiä n. 740 000 ha. Ojitusaluemetsien uudistaminen tulee lähitulevaisuudessa nopeasti lisääntymään kasvatusmetsien siirtyessä uudistuskypsään ikään. Erityisesti 1930-luvun lapio-ojitusalueiden puustot ovat nyt lähellä kiertoaikansa loppua ja niiden uudistamisen tarve lisääntyy nopeasti kuluvan vuosikymmenen aikana. Myös myöhemmin tehtyjen ojitusten runsaspuustoisimmat metsät ovat järeytensä puolesta osin uudistuskypsiä jopa Pohjois-Suomessa.

Metsäntutkimuslaitoksessa turvemaiden uudistamista on viimeksi tutkittu juuri päättyneessä Etelä-Suomen metsänuudistamisen tutkimusohjelmassa. Siihen sisältyi luontaisen taimettumisen ekologiaa käsittelevä hanke, jonka yhtenä osahankkeena tutkittiin sellaisia luontaiseen taimettumiseen vaikuttavia kasvupaikan erityispiirteitä, jotka erottavat turvemaat kangasmaiden uudistamiskohteista. Tutkimusten aineistona on ollut osin jo 1980-luvulta alkaen perustettuja kokeita, mutta tutkimustoiminnan pienimuotoisuuden vuoksi läheskään kaikkien seurantaa ei ole järjestelmällisesti pystytty toteuttamaan. Myös metsänviljelyn eri menetelmävaihtoehtojen testaamiseksi on perustettu runsaasti kenttäkokeita ja moni koekenttä on suunniteltu tämän lisäksi metsänviljelyn ja luontaisen uudistamisen vertailua ajatellen. Valtaosa vanhojenkin viljelykokeiden inventoinneista on kuitenkin alle viiden vuoden ajalta kokeen perustamisen jälkeen, eikä kattavaa ja yleistämiskelpoista tietoa lukuisten koekenttien tuloksista pidemmältä aikajaksolta ole vieläkään koottuna.

Metsäalan käytännön ammattilaisilta on tullut runsaasti tiedusteluja suometsien uudistamiseen liittyvien ongelmien ratkaisuista ja uusista tutkimustuloksista. Tällä hetkellä ollaankin tilanteessa, jossa pienimuotoinen ja vuosien varrella irrallisiin osa-aiheisiin pirstoutunut turvemaiden uudistamisen tutkimus pitäisi koota metsänuudistamisen kaikki aihealueet huomioivaksi yhtenäiseksi kokonaisuudeksi. Yhtenäinen kokonaisuus tässä yhteydessä tarkoittaa turvemaiden erityisoloihin soveltuvien eri uudistamismenetelmien vertailun ja uudistamiseen vaikuttavien ekologisten tekijöiden tutkimuksen lisäksi tietoa turvemaiden ravinnevarojen riittävyydestä, ravinteiden huuhtoutumisesta ja vesien suojelun vaatimuksista sekä metsäluonnon monimuotoisuuden erityispiirteistä ojitusalueilla. Kaikki mainitut näkökulmat pitäisi vielä kyetä huomioimaan eri uudistamismenetelmien kannattavuusvertailuissa.

Seuraavassa käsitellään turvemaametsien uudistamistutkimuksen vaiheita ja pohditaan niihin liittyviä kysymyksiä olemassa olevan tiedon valossa. Samalla arvioidaan lisätutkimusten tarvetta ja hahmotellaan niitä osa-aiheita, joihin tulevaa tutkimustyötä pitäisi suunnata.

4.5.2 Turvemaiden metsänuudistamistutkimuksen historiaa

Suometsien luontaista metsittymistä ja uudistamista sekä viljelyä on tutkittu lähes yhtä kauan kuin ojitustoimintaakin on harrastettu. Eräs vanhimpia tutkimuksia on Cannelinin

(1898) selvitys kohosoiden metsänviljelystä. Laajemmin soiden metsäntutkimus alkoi vuoden 1908 jälkeen, kun maassamme oli aloitettu järjestelmällinen metsäojitustoiminta. Aina 1960-luvulle asti soiden uudistamiseen liittyvät tutkimukset koskivat muutamaa poikkeusta lukuunottamatta yksinomaan luonnontilaisia ja vasta ojitettuja soita. Puustoisten soiden uudistamiskokeet kohdistuivat aluksi etupäässä korpiin (Multamäki 1937, 1939, 1942, Lukkala 1946) ja myöhemmin myös rämeille (Kalela 1946, Heikurainen 1954). Avosoiden metsitystutkimusten "valtakausi" alkoi vasta ojitustöiden koneellistuttua 1950-luvulla. Mainituista vuosisadan alkupuoliskon uudistamistutkimuksista on vakiintunut käsitys turvemaiden herkästä luontaisesta uudistumisesta. Tämä johtuu vielä nuorilla ojitusalueilla rahkasammalien vallassa olevan kasvualustan kosteudesta ja itämiselle suotuisista olosuhteista. Ojitusalueiden ikääntyessä nämä olosuhteet muuttuvat kangasmaille ominaisten kasvilajien vallatessa alaa ja turvekerroksen pintaosien ominaisuuksien muuttuessa.

Vaikka vasta 1980-luvun alusta on laajemmalti tuotu julkisuuteen turvekankaiden uudistamiseen liittyviä ongelmia (Kaunisto 1982, 1984, 1988, Kaunisto ja Päivänen 1985) on kyseisten kasvupaikkojen uudistamisesta tehty havaintoja jo 1940-luvulla mm. Vilppulan koeojitusalueella (Lukkala 1946, 1951). Ojituksen jälkeisen ja turvekankaaksi johtavan kasvillisuussukkession vaikutuksista taimettumiseen kiinnostuttiin 60-luvun alussa (Sarasto 1963, 1964a 1964b, Sarasto ja Seppälä 1964). Sitä ennen Yli-Vakkuri (1958) oli tehnyt toistaiseksi ainoaksi jääneen tutkimuksen samasta aiheesta kulotetuilla ojitusalueilla. Sarasto (1964b) totesi 60-luvun tutkimuksissaan myös suovarpujen haittaavan voimakkaasti taimettumista. Tätä työtä on Hytönen (1992) myöhemmin jatkanut selvittämällä kasvihuonekoejärjestelyissä eräiden suokasvien vesiuutoksien potentiaalista allelopaattista vaikutusta männyn, hies- ja rauduskoivun siementen itämiseen ja taimien alkukehitykseen.

Vuonna 1979 tehtiin kuuden eteläisimmän metsälautakunnan alueella turvemaiden uudistamiskohteiden inventointitutkimus (Peltonen 1986). Aineisto koostui eri viljavuustasojen turvemaakohteista, joista valtaosa oli joko luonnontilaisia soita tai ojikko- ja muuttumavaiheen ojitusalueita. Kyseessä olivat siis etupäässä herkästi uudistuvat rahkasammalpintaiset suot. Ensimmäisiä raportoituja havaintoja varsinaisten turvekankaiden huonosta luontaisesta taimettumisesta oli Mannerkosken (1975) mätästyskoe, joka avohakkuun jälkeen perustettiin huonosti taimettuneelle varputurvekankaan siemenpuualalle. Vastaavat havainnot karujen turvekankaiden luontaisen uudistamisen ongelmista olivat lähtökohtana myös aloitettaessa laajempia ja systemaattisempia koejärjestelyjä kyseisille kasvupaikoille. Metsäntutkimuslaitoksen Parkanon tutkimusaseman toimesta on vuodesta 1980 alkaen perustettu kokeita, joissa vertaillaan luontaista uudistamista ja metsänviljelyä käyttäen kylvöä ja istutusta eri muokkauspinnoilla. Tässä yhteydessä kokeiltiin siemenpuukoealojen muokkausta jyrsinmenetelmällä sekä jyrsintää, äestystä ja mätästystä avohakkuualoilla (Kaunisto 1984). Samoihin aikoihin tehtiin Muhoksen asemalla karujen rämeiden lannoituskokeiden yhteydessä tutkimuksia lannoituksen ja muokkauksen vaikutuksista luontaiseen uudistumiseen osittain turvekankaaksi kehittyneillä ojitusalueilla (Moilanen & Issakainen 1984). Vuonna 1985 aloitettiin myös Ruotsissa vanhojen ojitusalueiden metsänuudistamiseen liittyvä projekti, jossa tutkitaan kuusen luontaisen uudistamisen ja viljelyn menetelmiä viljavilla korpisoilla (Hånell 1991, 1992). Osalla koekentistä tutkittiin myös pintakasvillisuuden muutoksia hakkuukäsittelyiden jälkeen (Hannerz & Hånell 1993). Etelä-, Keski- ja Pohjois-Ruotsiin perustettiin kaikkiaan yhdeksän koekenttää.

Ojitusalueiden uudistamistutkimuksia on jatkettu 1990-luvulla lähinnä luontaisen taimettumisen seurantakokeilla. Tähän liittyen on tutkittu ojitusalueiden kasvupaikkojen pintakasvillisuuden kehitysvaiheita ja raakahu-

muskerrostumien esiintymistä suhteessa puustoon ja ojitusalueen kuivatustilaan (Saarinen 1993, 1997). Samalla on myös mitattu useita 1980-luvulla perustettuja luontaisen uudistamisen kenttäkokeita (Saarinen 2002). Uusiakin kenttäkokeita on perustettu painottuen erityisesti korpiturvekankaiden kohteisiin. Turvemaiden metsänviljelyyn liittyen on julkaistu tuloksia taimettumisesta ja pintakasvillisuuden kehityksestä Pohjois- ja Itä-Suomen viljavien korpikuusikoiden avohakkuualoilla (Moilanen ym. 1994). Kaunisto ja Päivänen julkaisivat 1980-luvun puoliväliin mennessä kertyneistä tutkimustuloksista kirjallisuuskatsauksen koskien ojitettujen turvemaiden metsänuudistamista ja puuttomien turvemaiden metsittämistä (Kaunisto & Päivänen 1985).

4.5.3 Ojitusalueen pintakasvillisuus ja taimettuminen

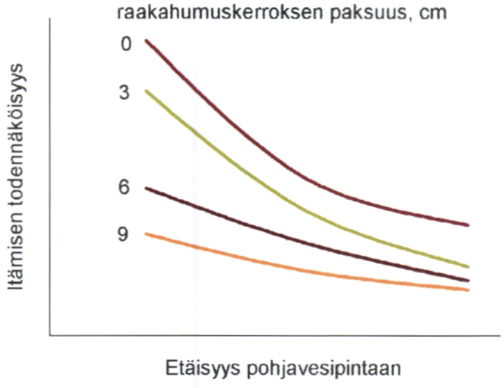
Soiden kuivatuksen jälkeen tapahtuva kasvillisuuden kehitys tunnetaan melko hyvin. Riittävän tehokkaan kuivatuksen vaikutuksesta korkealla olleeseen pohjaveteen sopeutunut ja turvetta tuottanut suokasvillisuus vaihtuu vähitellen kangasmaille ominaiseksi kasvilajistoksi (Sarasto 1957, 1961a, 1961b, Kuusipalo & Vuorinen 1981, Pienimäki 1982, Reinikainen 1984, Laine ym. 1995). Kuivatuksen myötä ojitusalueiden pohjakerroksen kasvillisuus monipuolistuu tilapäisesti lajiston vaihdellessa luonnontilaisen suon relikteistä kangasmaille tyypilliseen kasvillisuuteen (Vasander 1987, Vasander ym. 1993). Ojaverkoston rappeutuessa kasvillisuussukkessio kuitenkin osittain pysähtyy tai kääntyy takaisin kohti luonnontilaisten soiden kasvillisuutta. Vanhoille ojitusalueille onkin tyypillistä erisuuntaisten sukkessiovaiheiden luoma pintakasvillisuuden monimuotoisuus, joka voi aiheuttaa runsaasti vaihtelua eri uudistamiskohteiden taimettumisherkkyydessä (Saarinen 1997, Saarinen & Hotanen 2000). Luontaisessa uudistamisessa onkin tärkeää huomioida ojitusalueiden kasvillisuussukkessio erilaisten "taimettumispintojen" luojana.

Paksut seinä-, kerros- ja karhunsammalkasvustot on jo vanhastaan tunnettu ojitusalueiden ongelmallisimpina taimettumispintoina. Haitan on katsottu liittyvän sammalten kasvutapaan ja -voimakkuuteen, ei niinkään sammallajiin sinällään. Ainoastaan kerrossammal ja korven karhunsammal lienevät lajeja, joilla on itse lajina taimettumista haittaava ominaisuus (Sarasto & Seppälä 1964). Rahkasammalet puolestaan tarjoavat useimmissa tapauksissa otollisen itämisalustan puiden siemenille (Place 1955, Heinselman 1957, Sarasto & Seppälä 1964, Johnston 1977, Wood & Jeglum 1984, Groot & Adams 1994). Rahkasammalkasvustojen välillä esiintyy kuitenkin runsaasti vaihtelua, eikä rahkasammalen esiintyminen aina takaa riittävää taimettumista. Osittain tämä voi johtua liiasta kosteudesta, mutta myös rahkasammalkasvustojen erilainen syntyhistoria vaikuttanee asiaan. Ojien tukkeutuessa alkava "uudelleen soistuminen" synnyttää turvekangasvaiheen aikana kehittyneen raakahumuskerroksen päälle uutta rahkasammalpintaa. Kapillaarisen pohjavesikontaktin ja kosteusolojen suhteen se ei ole enää rinnastettavissa turvekangasastetta edeltäneeseen "alkuperäiseen" rahkasammalkasvustoon (Saarinen 2002).

Ojitusalueilla esiintyy myös taimettumista haittaavaa kenttäkerroksen lajistoa. Tällaisia ovat mm. karuimpien kasvupaikkojen tupasvilla ja pallosara (Sarasto 1963, Sarasto & Seppälä 1964, Saarinen 1997, Saarinen 2002). Kenttäkerroksen kasvillisuus voi vaikuttaa taimien syntyyn ja kasvuun myös allelopaattisesti eli erittämällä kasvuympäristöön taimien syntymisen ehkäiseviä kemiallisia yhdisteitä (Zackrisson & Nilsson 1989). Saraston (1964b) tekemät kokeet rämemuuttumilla ja varputurvekankaalla osoittivat männyn kylvötaimia syntyvän varvuttomille kylvöpinnoille yli kaksinkertaisesti verrattuna vaivaiskoivua, juolukkaa ja suopursua kasvaviin pintoihin. Hytönen (1992) on kasvihuonekokeissaan todennut juolukan, suopursun ja variksenmarjan vesiuutosten ehkäisevän koivun ja

männyn taimettumista ainakin voimakkaimmilla uutoksilla.

Viljavien korpiojitusalueiden voimakkaat kasvillisuusmuutokset hakkuiden jälkeen on tunnettu jo 1940-luvulla. Lukkala (1946) laati tuolloin tarkan kuvauksen korpikuusikoiden luontaisen uudistamisen menetelmästä, jossa puuston vähittäisen väljennyksen avulla ehkäistiin kenttäkerroksen kasvillisuuden runsastumisesta aiheutuva haitta taimettumiselle. Viljavien korpikuusikoiden avohakkuun jälkeen nopeasti kehittyvät vadelma-, maitohorsma-, pelto-ohdake- ja mesiangervokasvustot peittävät uudistusalan täysin viiden ensimmäisen kasvukauden aikana. Sen sijaan suojuspuuston alla näiden lajien osuus kenttäkerroksen kokonaispeittävyydestä jää alle puoleen (Hannerz & Hånell 1993). Jo kahden vuoden kuluttua hakkuista voi valtaosa muokkausjäljistä peittyä karhunsammalkasvustoihin (Moilanen ym. 1995).



Kuva 1. Kasvihuonekokeeseen perustuva teoreettinen kuvaus raakahumuskerroksen paksuuden (0, 3, 6 ja 9 cm) ja pohjavesipinnan etäisyyden yhdysvaikutuksesta männyn siementen itämistodennäköisyyteen (Saarinen 1997).

4.5.4 Pohjaveden ja raakahumuksen vaikutus taimettumispinnan kosteuteen

Luonnontilaisilla soilla puiden ja aluskasvillisuuden karikkeet hautautuvat nopeasti kasvavaan rahkasammalkasvustoon ja pintaturvekerrokseen. Tilanne muuttuu, kun suo ojitetaan, suokasvillisuus häviää ja turvekerrostuman kasvu loppuu. Biomassatuotoksen painopiste siirtyy sammal- ja varpukasvillisuudesta puustoon (ks. luku 2.2.2), joka tuottaa yhä runsaammin kariketta. Lisääntyvä maanpäällinen karikesato kerrostuu kasvunsa lopettaneen turvekerroksen pinnalle (Kaunisto 1984, Vasander 1987, Saarinen & Hotanen 2000). Näin syntyvän löyhän raakahumuskerroksen esiintyminen riippuu erityisesti rahkasammal- ja turvekangaspintojen vaihtelusta, ts. kasvillisuuskehityksen aiheuttamasta vaihtelusta. Paksuimmat raakahumuskerrokset esiintyvät seinäsammalpintaisilla puolukkaturvekankailla. Raakahumus katkaisee kapillaarisen kontaktin pohjaveteen aiheuttaen karikekerrostuman pintaosan kuivumisen. Pohjavesipinnan etäisyyden vaikutus itämispinnan kosteuteen on sitä heikompi mitä paksumpi on raakahumuskerros (kuva 1).

Pohjavesipinnan etäisyyden ja taimettumisen välinen riippuvuus heikkenee, mikäli itämisalusta saa riittävästi sadetta. Sateettomien sääjaksojen aikana kasvualustan kosteus on pohjaveden varassa. Tällöin pohjaveden kohoaminen lisää siementen itämistä voimakkaasti (Saarinen 1993, 1997). Liian korkealla oleva pohjavesi (alle 10 cm) on puolestaan sirkkataimien juurtumisen ja varhaiskehityksen kannalta epäedullinen (Kaunisto 1971, Mannerkoski 1971). Hieskoivun taimettuminen riippuu mäntyä ja kuusta vähemmän pohjavesitason syvyydestä (Paavilainen 1970). Maanpintaa lähellä olevan pohjavesipinnan epäedullinen vaikutus ilmenee erityisesti paljastetulla mutta muokkaamattomalla turpeella (esim. kaivurilaikku), johon on suora pohjaveden kapillaarinen yhteys (Kaunisto 1971). Turpeen muokkaus vastaavasti vähentää itämisalustan kapillaarista kosteutta vähäsateisten ja kuivien sääjaksojen aikana (Groot & Adams 1994). Lahoamattomasta karikkeesta muodostuneen sammalpeitteettömän raakahumuskerroksen taimettuminen

riippuu kerroksen paksuuden ja kosteuden lisäksi myös karikemassan ominaisuuksista. Runsas lehtikarikkeen määrä tukahduttaa sirkkataimia, mutta toisaalta estää myös sammalien kasvua ja siten parantaa maan taimettumisherkkyyttä (Hertz 1932).

4.5.5 Mätästys luontaisen uudistumisen edistäjänä

Ensimmäisenä varsinaisesti vanhoille ojitusalueille tarkoitettuna maanparannus- ja uudistamismenetelmänä voitaneen pitää Huikarin ns. H-kulttuuria (Huikari 1972). Sen perusajatuksena oli vesi- ja ravinnetalouden optimointi ja hyvät kulkuyhteydet ojitusalueella. Tiheä ojitus (sarkaleveys 6-10 m), pintakasvillisuuden ja kantojen poisto, mätästys sekä sarkojen keskelle jätettävät kulku-urat olivat menetelmiä, joilla pyrittiin mainittuihin tavoitteisiin. Luonnontaimia syntyi kaikissa kokeissa erittäin runsaasti ja koealat olisivat metsittyneet yhtä nopeasti ilman viljelyäkin (Kaunisto 1985). Kokeet osoittavat näiden turvekankaiden avohakkuualueiden taimettuvan herkästi kun maa muokataan tehokkaasti. Käytännössäkin mätästystä on sovellettu turvemaiden uudistusaloilla laajalti 1970-luvulta alkaen. Varsinkin istutukset ovat yleensä onnistuneet hyvin ja samalla on saatu runsaasti luontaisesti syntyneitä taimia (Mannerkoski 1975, Moilanen & Issakainen 1984).

Mätästetyillä ojitusalueilla suurin itämisalustan laadun vaihtelu aiheutuu turpeen paksuudesta. Mitä ohuempi turvekerros, sitä enemmän mättäät muodostuvat kivennäismaasta. Ohutturpeisen (alle 30 cm) ojitusalueen mättäät ovat useimmiten lähes pelkästään kivennäismaata. Paksuturpeisimmilla ojitusalueilla turpeen osuus lisääntyy mutta turve ja kivennäismaa sekoittuvat harvoin tehokkaasti toisiinsa. Mättäissä on puhtaita turvepaakkuja kivennäismaan joukossa. Kosteutta sitovat turvemättäät taimettuvat kuivina kesinä kivennäismaamättäitä paremmin (ks. myös luku 4.5.4). Turve- ja kivennäismättäiden ero riippuu kuitenkin myös kuivien ja kosteiden sääjaksojen vuorottelusta. Riittävän pitkän kuivan jakson tuloksena myös turvemättäiden pintaosat kuivuvat. Sateiden alkaessa kuiva turve kostuu kivennäismaata hitaammin edellyttäen runsaampia ja pitkäaikaisempia sateita. Turvemättäiden pintakerrosten kosteusvaihtelu lienee tärkein syy siihen, että luontaisesti tai kylväen uudistetuilla koealoilla taimettumistulokset vaihtelevat suuresti. Varsinkin saraturvemättäiden taimettuminen on ollut hyvin heikkoa (Saarinen, julkaisematon aineisto).

4.5.6 Mätästyksen vaihtoehdot

Mätästyksen vaihtoehtona on tutkittu kangasmaiden lautasaurajälkeä muistuttavaa jyrsinmuokkausta. Sen on todettu lisänneen merkittävästi luonnontaimien määrää (Kaunisto 1984, Saarinen 2002). Jyrsinnän kaltaisen kevyen pintamuokkauksen vaikutus on kuitenkin mätästystä voimakkaammin yhteydessä pintakasvillisuuteen ja sen muutoksiin. Tästä voi mainita esimerkkeinä mm. rahka- ja karhunsammalen, tupasvillan, harmaasaran ja pallosaran, jotka voivat paljastetun turpeen ominaisuuksista ja pohjavesipinnasta riippuen peittää hyvin nopeasti muokkausjäljen. Rahkasammalpinnat taimettuvat hyvin muokkaamattakin, jolloin pintamuokkauksen vaikutus näkyy selvimmin kuivilla turvekangaspinnoilla. Tosin rahkasammalkasvuston muokkaus saattaa joskus tuottaa kaikkein herkimmin taimettuvan pinnan varsinkin kuivina kesinä. Nämä pinnat ovat erityisen otollisia hieskoivun taimettumiselle, mikä saattaa muodostua ongelmaksi männyn taimien syntymiselle ja jatkokehitykselle varsinkin puolukkaturvekankailla. Ongelma kärjistyy, jos koivun osuus on suuri hakkuuta edeltäneessä puustossa (nevojen ja nevarämeiden ojitusalueet). Kyseisessä tapauksessa uudistusalalle kehittyy lisäksi tiheä ja nopeakasvuinen vesaikko.

Jyrsinnällä voidaan kuitenkin saavuttaa täystiheä mäntytaimikko, mikä rohkaisee muidenkin pintamuokkausmenetelmien käyt-

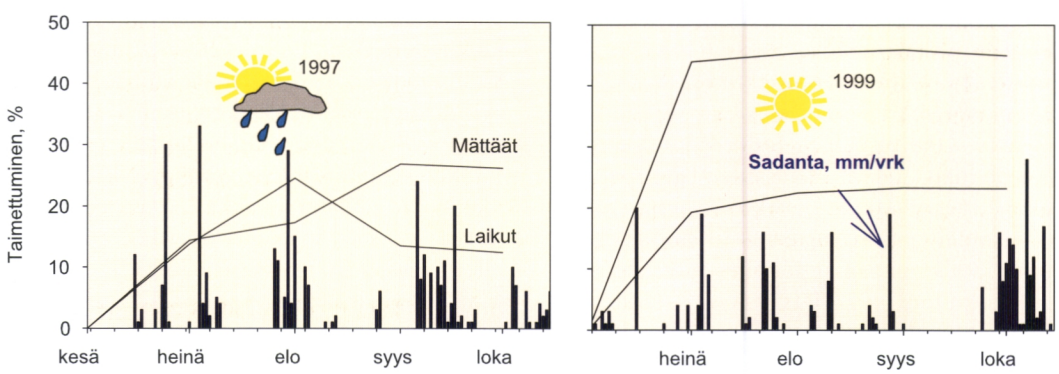
töön mätästyksen vaihtoehtona. Taimet keskittyvät jyrsintäjäljissä vakopintoihin eli kasvillisuuden ja raakahumuksen alta paljastettuun turvepintaan. Näin ollen hyvin kuivatetun uudistusalan mahdollisimman pinnanmyötäisellä kaivurilaikutuksella voitaneen päästä samaan lopputulokseen. Samalla voidaan hyödyntää ojitusalueilla muutoinkin toimivaa ja saatavissa olevaa konekantaa (Saarinen 2002).

Kaivurilaikutuksen soveltuvuudesta on toistaiseksi vain alustavia tuloksia. Niiden mukaan hyvin kuivatetun ojitusalueen pinnalle tehdyt laikut ovat teoriassa hyvin toimiva ratkaisu, mikäli poistetaan vain pintakasvillisuus ja turvekankailla enintään pintakasvillisuuden alla oleva raakahumuskerros. Laikun ominaisuudet itämisen ja sirkkataimien alkukehityksen kannalta riippuvat olennaisesti siitä, minkälaiseen kasvillisuuspintaan se tehdään. Rahka- ja karhunsammalkasvustoihin tehdyt laikut ovat kuohkeita ja kosteita tarjoten kuivana kesänä hyvän itämisalustan. Turvekankaiden seinäsammalpintaisen raakahumuksen alla on usein maatunut turvekerros, joka on edellisiä heikompi taimettumisalustana. Kosteutta on siinäkin riittävästi, mutta siemenet ovat alttiita erilaisille siemensyöjille ja toisaalta kovat sadekuurot sekoittavat ja liettävät hienojakoista turvemassaa. Kovien sateiden jälkeen vesi jää helposti lammikoksi huonosti vettä läpäisevälle maatuneelle turvepinnalle. Myös rouste on ajoittain ongelma. Mikäli laikutuksessa turvepinnan päälle jätetään osa raakahumuskerroksesta, voidaan edelliset ongelmat osin välttää. Tällöin itämisalustan kuivumisriski kuitenkin lisääntyy.

Laikutuksen etu on merkittävä verrattuna muokkaamattomaan pintaan turvekankailla mutta erityisesti myös karhunsammalmuuttumilla. Kummassakin tapauksessa taimettumistulos ilman muokkausta on huono. Laikutuksen hyöty on suhteellisesti vähäisempi rahkasammalpinnoilla, sillä ne taimettuvat muokkaamattominakin melko hyvin. Laikutus voi kuitenkin moninkertaistaa taimimäärän (Saarinen, julkaisematon aineisto).

4.5.7 Pintamuokkauksen ja mätästyksen vertailun ongelmia

Pintamuokkauksessa syntyvien laikku- ja jyrsinpintojen vertailu mätäspintoihin on hankalaa, koska sirkkataimien syntyajankohdan säätila vaikuttaa ratkaisevasti taimettumistulokseen. Taimettumistulokset voivat siis vaihdella vuosittain. Kuivana kesänä laikkuihin voi syntyä kaksinkertaisesti sirkkataimia turvemättäisiin verrattuna, mutta sateiset jaksot kääntävät asetelman helposti päinvastai-



Kuva 2. Turvemättäiden ja turvepintaisten laikkujen taimettuminen kahden sääoloiltaan erilaisen kasvukauden aikana. Taimettuminen (%) on laskettu elävien sirkkataimien osuutena kylvetyistä 50 siemenestä (Saarinen, julkaisematon aineisto).

seksi (kuva 2). Lisäksi erot luonnollisesti riippuvat verrattavien mätäs- ja laikkupintojen ominaisuuksista sekä pohjavesipinnan etäisyydestä. Kuivan alkukesän jäljiltä äärevimmät erot löytyvät todennäköisesti rahkasammalpintaan tehdyn laikun ja maatuneesta saraturpeesta tai turpeen alaisesta hiekasta tehdyn korkean mättään väliltä (Saarinen, Metla, julkaisematon aineisto).

Edellä esitetyt sirkkataimien syntyä kuvaavat tulokset koskevat taimettumisvaiheen ensimmäisiä vuosia ja vasta pitempi seurantajakso antaa luotettavan kuvan lopullisesta taimettumisesta. Muokkaamattomien kasvillisuuspintojen ja jyrsinjälkien vertailusta on aineistoa 4-16 vuoden ikäisiltä männyn siemenpuualoilta varpu- ja puolukkaturvekankailla (Saarinen 2002). Valitettavasti mätästys on sisältynyt maanmuokkausvertailuun vain muutamalla uudistusalalla. Männyn taimitiheys ei ole ollut mättäillä sen suurempi kuin jyrsinjäljissäkään, vaikka pituuskasvu on ollut nopeampaa. Hieskoivu sen sijaan hyötyy kosteammasta pintamuokkausjäljestä. Koivun taimitiheys oli yleensä mäntyä suurempi. Muokkaustavan ja taimitiheyden välinen riippuvuus oli koivulla kuitenkin heikompi kuin männyllä. Tämä johtui osittain koivun kyvystä uudistua myös muokkaamattomille kasvillisuuspinnoille. Erilaisilla taimettumispinnoilla koivun taimitiheyteen vaikuttaa myös vesasyntyisten taimien runsaus, mikä riippuu enemmän koivun määrästä metsikön uudistamista edeltäneessä puustossa kuin pintakasvillisuudesta ja muokkauksesta. Huomattava osuus koivun kokonaistaimimäärästä voi olla hakkuussa ja hakkuualan raivauksessa poistetun koivupuuston kantovesoja varsinkin seinäsammaleisella muokkaamattomalla turvekankaalla, missä siemensyntyinen taimettuminen on vähäistä.

4.5.8 Voiko turvemaita kulottaa?

Turvemaiden kulotuksesta on aiemmin tehty vain yksi tutkimus (Yli-Vakkuri 1958), johtuen kaiketi turvepalon aiheuttamisen pelosta. Yli-Vakkurin lähinnä isovarpuisille rämemuuttumille perustamilla kokeilla hieskoivujen vesominen lisääntyi kulotuksen vaikutuksesta. Itse kulotuksen vaikutuksesta männyn taimettumiseen ei mainita mitään, mutta rahkasammalkasvustojen taimitiheydet olivat lähes kolminkertaiset seinäsammalkasvustoihin verrattuina. Kulotuksen vaikutusta männyn ja koivun taimettumiseen on varputurvekankaan siemenpuualalla tutkittu pienimuotoisesti myös 1990-luvulla (Saarinen, julkaisematon aineisto). Kulotuksen vaikutuksesta pintakasvillisuus muuttui seinäsammalvaltaisesta harvaa kytökarhunsammalta kasvavaksi, mutta männyn taimettuminen oli siitä huolimatta yllättävän heikkoa. Koivun kohdalla vaikutus oli päinvastainen kuin Yli-Vakkurin kokeessa. Koivuntaimia oli eniten palamatta jääneillä pinnoilla. Kangasmailla Yli-Vakkuri (1962) totesi palaneen pinnan olevan hyvin epäedullinen niin männyn, koivun kuin kuusenkin siementen itämiselle ja sirkkataimien syntymiselle ja taimettumisolojen paranevan vasta 3-5 vuotta kulotuksen jälkeen. Palaneen pinnan taimettumisherkkyys riippuu myös kulon voimakkuudesta (Schimmel 1993). Mikäli tuli polttaa vain osan hakkuutähteistä ja pintakasvillisuudesta, jää raakahumuskerrostuma sekä valtaosa kuolleesta ja mustuneesta seinäsammalkasvustosta jäljelle. Auringossa nopeasti kuivuva tumma karike- ja sammalpinta lieneekin suurin syy heikkoon taimettumistulokseen edellä kuvatulla hyvin ”pinnallisesti” palaneella kulotuskokeella.

4.5.9 Edistääkö lannoitus taimettumista?

Turvemailla puiden käytettävissä olevien kivennäisravinteiden ja kasvualustan typpimäärän suhde on huomattavasti pienempi kuin kangasmailla. Turpeen ravinnesuhteiden epä-

edullinen vaikutus taimettumiseen näyttäisi korostuvan koivun uudistumisessa, sillä fosfori- ja kaliumlannoitus (suometsien PK-lannos) edistää koivun taimettumista erityisesti kosteilla jyrsinvakopinnoilla. Useimmissa tutkimuksissa lannoituksella ei ole ollut vaikutusta havupuiden taimettumiseen tai sitten vaikutus on ollut haitallinen (Koskela 1970, Paavilainen 1970, Kaunisto 1971, 1972, 1975, Mannerkoski 1971, Heikurainen & Laine 1976, Moilanen & Issakainen 1981, 1984, Saarinen 1993, 2002). Haitta on sitä suurempi mitä kuivemmalle kasvualustalle lannoitteita lisätään. Männyn taimettumisen on tosin havaittu myös lisääntyneen erityisesti tuhkalannoitetuilla kylvömättäillä (Silfverberg 1995). Näin siitäkin huolimatta, että siementen kastelu tuhkaliuoksessa heikentää voimakkaasti itävyyttä. Erilaisten lannoitusten ja taimettumisen väliseen riippuvuuteen vaikuttaa olennaisesti kasvualustaan lisättyjen ravinteiden konsentraatio maavesiliuoksessa (Moilanen & Issakainen 1984). Tuhkan on todettu muuttavan myös turpeen fysikaalisia ominaisuuksia ja lisäävän sitä kautta taimettumisen mahdollisuuksia (Huikari 1951).

4.5.10 Alikasvokset luontaisen uudistamisen mahdollisuutena

Kuusen sopeutumisesta ylispuuhakkuun jälkeiseen valaistusolojen muutokseen on julkaistu toisistaan poikkeavia tutkimustuloksia etupäässä kangasmaiden alikasvostaimikoista. Kuusten on todettu kärsineen vakavista neulasvaurioista ja monet ovat myös kuolleet (Andersson 1984, Stålfelt 1935). Toisaalta on havaittu kuusen kasvun 2-5 vuoden taantuman jälkeen menestyneen hyvin valaistusolojen nopeankin muutoksen jälkeen (Andersson 1988, Bergan 1971, Cajander 1934, Katrusenko 1965, Koistinen & Valkonen 1993, Skoklefald 1976). Tuloksia vertailtaessa on huomattava, että kuusen menestymiseen vaikuttavat myös hakkuun aiheuttamat vesitalouden muutokset (Heikurainen & Päivänen 1970, Orlov 1983, Päivänen 1974, 1980, 1982), ilman suhteellisen kosteuden lasku, lämpöolojen äärevöityminen ja hallariskin lisääntyminen (Leikola 1975, Leikola & Rikala 1983, Multamäki 1942, Perttu 1974). On mahdollista, että taimien kuolemiseen ja voimakkaaseen neulaskatoon liittyvät havainnot ovatkin selitettävissä etupäässä em. muiden ympäristötekijöiden kuin valo-olojen muutoksen perustella (esim. Katrusenko 1965, Seryakov 1994, Robertsdotter-Gnojek 1992). Myös erot alikasvoskuusten koossa, kunnossa ja aikaisemmassa kasvussa selittävät niiden sopeutumista uusiin ympäristöoloihin (Cajander 1934, Koistinen & Valkonen 1993). Pitkään "kitunut" huonokuntoinen alikasvos tuhoutuu kertahakkuulla tapahtuvan vapauttamisen jälkeen helposti ja on siitä syystä vapautettava kahdessa vaiheessa (Vuokila 1980).

Auringon säteilyn äkillinen ja voimakas lisääntyminen aiheuttaa joka tapauksessa muutoksia alikasvoskuusten fysiologiassa. Ruotsalaisissa tutkimuksissa yhteyttämistehokkuuden ja osittain myös klorofyllin eli viherhiukkaspigmenttien pitoisuuden on todettu laskevan ylispuuhakkuun seurauksena (Robertsdotter-Gnojek 1992). Lisäksi tiettyjen kivennäisravinteiden puute voi vaikuttaa sopeutumiseen uusiin valo-oloihin, sillä viherhiukkasten tuhoutuminen valaistuksen lisääntyessä on voimakkaampaa kaliumin, magnesiumin ja sinkin puutteesta kärsivillä kasveilla (Marschner & Cakmak 1989, kts. myös Laatsch & Zech 1967).

Venäläisissä tutkimuksissa on todettu kuusten neulasten typpi- ja fosforipitoisuuksien nousseen heti ylispuuston poistamisen jälkeisen kasvukauden aikana (Katrusenko 1967, Koshelkov 1982, Vomperskaja 1980). Samalla kuitenkin kaliumpitoisuudet laskivat (Koshelkov 1982). Kuusten pääravinnetasapaino siis horjui ylispuuhakkuun jälkeen. Toisen ja kolmannen kasvukauden jälkeen typen pitoisuudet laskivat entiselle tasolle, mutta fosforipitoisuudet puolestaan alemmas kuin hakkuuta edeltäneessä vaiheessa. Kaliumpitoisuudet jatkoivat laskuaan aina puutosrajalle asti. Vastaava havainto on tehty myös etelä-suomalaisella ojitusalueella. Siinä hakkuun jälkei-

sen voimakkaan neulasten typpipitoisuuden nousun arvioitiin johtuvan turpeen lisääntyneestä mikrobitoiminnasta ja päällyspuuston aiemmin käyttämän liukoisen typen vapautumisesta alikasvoksen käyttöön. Turpeen liukoisen typen pitoisuudet nousivatkin hakkuun jälkeen n. 60 %. Kaliumpitoisuuksien lasku yhdessä kasvaneiden typpipitoisuuksien kanssa saattoi liittyä mineraaliravinteiden ns. ohentumisilmiöön (vrt. Veijalainen 1979). Tämä edellyttää kuitenkin samanaikaista neulasten kuiva-ainepainon lisääntymistä, mitä kyseisessä tutkimuksessa ei havaittu. Todennäköisesti alikasvoksen käytettävissä ollut vapaa juuristotila oli huomattavasti lisääntynyt ylispuuston juuristokilpailun poistuttua ja ojituksen laskettua pohjaveden korkeutta. On siis mahdollista, että kuusten juuriston kasvu lisääntyi voimakkaasti. Kaliumin käytön keskittyminen juuriston kasvupisteisiin saattoikin olla tärkein syy neulasten kaliumpitoisuuksien laskuun. Pääravinnesuhteet kuitenkin muuttuvat hakkuun jälkeen nopeasti puiden kannalta epäedulliseen suuntaan huolimatta hakkuutähteisiin sitoutuneiden ja ylispuuston aiemmin käyttämien ravinteiden vapautumisesta. Syntyvän ravinne-epätasapainon seuraukset riippunevat ennen hakkuuta vallinneesta tilasta. Hakkuun jälkeen yhä kärjistyneemmän typen ja kaliumin epätasapainon vuoksi kuuset eivät ehkä kestäkkään aiheutettua ympäristöolojen muutosta. Hakkuun yhteydessä annettava PK-lannoitus kuitenkin parantaa nopeasti ravinnetilan jo ensimmäisen hakkuun jälkeisen kasvukauden aikana. Lisääntyneen valaistuksen aiheuttamaan fotosynteesitehon taantumaan se ei kuitenkaan vaikuta (Saarinen & Sarjala 1999).

4.5.11 Männyn ja kuusen viljelytuloksia

Kuusen istutus on ollut turvemaiden metsänviljelyn kokeellisesti testatuista viljelyvaihtoehdoista menestyksekkäin. Suojuspuuston alle tai hallan ulottumattomissa olevan vaaranrinteen avoalalle mättäisiin istutetut kuusen taimet ovat menestyneet parhaiten, kuten Pohjois-Karjalan, Kainuun ja Lapin koekentillä (Moilanen ym. 1994). Viimeksi mainituissa oli kuusen istutustaimista vain alle 10 % kuollut kuuden kasvukauden jälkeen. Taimilla oli aluksi vain vähän ongelmia. Rouste nosti muutaman prosentin paakkutaimista. Hallavaurioita esiintyi vain topografialtaan alavien paikkojen koekentillä kuten Kolilla ja Kivalossa. Kesäkuun 1984 voimakas halla palellutti taimet myös Kolarin kokeella. Paljakan vaaranrinnekoe säästyi hallavaurioilta. Kuusen istutustaimien pituus oli Kolilla metrin ja muilla koekentillä puoli metriä kuuden kasvukauden jälkeen istutuksesta.

Keski- ja Pohjois-Ruotsin viljavien korpikuusikoiden kokeissa kuolleisuus oli neljän kasvukauden jälkeen 50 % muokkaamattomilla avo-aloilla ja 30 % mätästetyillä (Hånell 1992). Mätästetyillä suojuspuualoilla kuolleisuus oli 20 %. Suurin osa kuolemista ajoittui neljännelle kasvukaudelle tai viidennen alkuun. Kuolleisuus oli suurinta Keski-Ruotsin koekentillä Tukholman pohjoispuolella. Kuolleisuuden ja hallavaurioiden suhteen ero avoalan mätästaimien ja suojuspuuston mätästaimien välillä oli merkitsevä. Suojuspuustoa mätästyksen ohella pidettiin suotavana pahojen hallojen lisäksi myös tukkimiehentäituhojen varalta.

Kauniston (1984) perustamassa karun korven uudistamiskokeessa istutustaimet inventoitiin samana kesänä ilmenneiden pahojen hallatuhojen jälkeen. Pääversossa esiintyneiden hallavaurioiden esiintymistodennäköisyys oli kaksinkertainen avoalojen muokkaamattomilla pinnoilla verrattuna koivuverhopuuston mätäspintataimiin. Sen sijaan ero avoalojen mätästaimien ja verhopuustotaimien välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevä. Kivennäismaamättäät vaikuttivat ilmeisesti taimien ravinnetalouteen ja sitä myötä hallankestävyyteen. Istutustaimista oli hallavaurioistaan huolimatta lähes kaikki elossa kymmenen kasvukauden kuluttua tehdyssä uusintainventoinnissa (Saarinen, julkaisematon aineisto).

Kuusen kylvön ongelmina ovat olleet mm. maatuneen saraturpeen rouste, kuivuminen ja halkeilu. Myös viljavan kasvupaikan runsas pintakasvillisuus haittaa hidaskasvuisia kylvö-

taimia, vaikka kuusen on toisaalta todettu selviävän hyvinkin tiheästä kastikkakasvustosta (Moilanen, julkaisematon aineisto). Kuokalla tehtyjen laikkupintojen kuusen kylvöt ovat pääosin epäonnistuneet. Ainoana poikkeuksena kuusen kylvöjen huonoon tulokseen on pohjoisten korpien kuusen hajakylvö, jonka tulokset Pohjois-Karjalan, Kainuun ja Lapin koekentillä ovat olleet erittäin hyvät (Moilanen ym. 1995). Näillä kokeilla siementä käytettiin kokeesta riippuen puolesta kilosta vajaaseen neljään kiloon hehtaarilla. Kylvö- ja luonnontaimet eivät olleet kylvöaloilla erotettavissa, mutta kylvökäsittely lisäsi merkitsevästi taimimäärää, joka vaihteli välillä 10 000-40 000 kpl/ha. Luontaisten taimien ja kylvötaimien pituus kuuden vuoden kuluttua viljelystä oli Kolilla 40 cm ja muissa kokeissa 20-35 cm.

Männyn istutustaimien kohdalla elossaolo vaihtelee kuusen taimia enemmän. Mannerkosken (1975) Ruovedelle perustama ensimmäinen karun mäntyturvekankaan mätästyskoekenttä istutettiin kolmevuotiailla männyn taimilla. Neljän kasvukauden jälkeen mätästaimista oli elossa 94 %, muokkaamattomalla pinnalla 72 %. Taimien pituudet olivat vastaavasti 80 cm ja 56 cm. Roustevaurioita ei esiintynyt. Tupasvilla rehevöityi avohakkuun jälkeen. Koealalle oli tullut niin paljon koivun ja männyn luonnontaimia, että ne olisivat riittäneet täysitiheän taimikon lähtökohdaksi.

Kaunisto on julkaissut (1985) Huikarin hkulttuurikokeiden tuloksia Jaakkoinsuolta ja Vesijaolta 1909-1932 ojitetuilta ja nykyisin puolukka- ja mustikkaturvekankaiksi kehittyneiltä soilta. Kokeet oli perustettu 70 luvun alussa ja inventoitu runsaan kymmenen vuoden ikäisinä. Männyn elossaoloprosentit vaihtelivat välillä 57-86 %. Mäntytaimikoissa oli runsaasti kasvuhäiriöitä varsinkin Vilppulassa. Männyn pituuskasvu vastasi parhaimmillaan kangasmaiden OMT-tasoa.

Männyn istutustaimikoille on ominaista myös oksikkuus, hirvi- ja myyrätuhot, sekä 1980-luvulla perustetuilla viljelyksillä versosurman aiheuttamat ranganvaihdokset. Lisäksi luontaisen hieskoivun runsaus on ollut ongelmana jopa karuja varputurvekankaita myöten (Saarinen 2002). Ojitusalueiden viljelytutkimusten yhtenä tavoitteena olisikin etsiä ratkaisuja männyn laatukehityksen ja hieskoivun runsauden luomaan ongelmaan siten, että hieskoivua voitaisiin mahdollisimman paljon hyödyntää istutetun taimikon tiheyden lisääjänä ja samalla männyn laadun parantajana.

Kaikki tähänastiset metsänviljelyn tutkimustulokset ovat osoittaneet, että männyn kylvötulokset vaihtelevat suuresti muokkauksesta riippumatta. Mikä tahansa maanpinnan rikkominen kuitenkin lisää selvästi kylvötaimien määrää, eniten mätästys. Mättäillä itämisalustan laatu kuitenkin vaihtelee suuresti etenkin turvepaksuuden vaihtelusta johtuen. Mitä ohuempi turvekerros, sitä enemmän mättäät muodostuvat kivennäismaasta. Kosteutta sitovat turvemättäät taimettuvat kuivina kesinä kivennäismaamättäitä paremmin. Turve- ja kivennäismättäiden ero riippuu kuitenkin myös kuivien ja kosteiden sääjaksojen vuorottelusta. Riittävän pitkän kuivan jakson tuloksena myös turvemättäiden pintaosat kuivuvat. Sateiden alkaessa kuiva turve kostuu kuitenkin kivennäismaata hitaammin edellyttäen runsaampia ja pitkäaikaisempia sateita. Turvemättäiden pintakerrosten kosteusvaihtelut lienevät tärkein syy sekä luontaisesti että kylväen uudistetuilla koekentillä havaitulle taimettumistuloksen suurelle vaihtelulle. Varsinkin saraturvemättäiden taimettuminen on kasvukauden sääoloista riippuen ollut hyvin heikkoa (Saarinen, julkaisematon aineisto).

4.5.12 Kokemuksia rauduskoivun viljelystä

Jo 1930-luvulla METLA perustanut muutamia rauduskoivun viljelykokeita soille esim. Vilppulaan (Lukkala 1951). Systemaattinen koivun viljelyn tutkimustoiminta alkoi vasta 1960-luvulla, jolloin perustettiin laajahkoja kokeita avosoille. Tulokset ovat olleet vaihtelevia mutta enimmäkseen rauduskoivu on sienitautiherkkyytensä vuoksi nähty liian epävarmana puulajina ainakin koekenttien

edustamilla paksuturpeisilla kasvupaikoilla. Lehtiniemi ja Sarasto (1973) perustivat vanhojen ojituskohteiden turvekankaille koivun istutuskokeita jatkona aiemmin kuvailluille Saraston kylvökokeille (Sarasto 1963 ja 1964a). Kokeissa taimet istutettiin kourukuokalla käsittelemättömään pintaan. Osa ruuduista lannoitettiin suomaiden Y-lannoksella, jolla ei kuitenkaan ollut vaikutusta taimettumiseen ja pituuskasvuun. Kolmen kasvukauden jälkeen elossa oli 67-68 %. Taimissa oli runsaasti versolaikkuja (Lehtiniemi & Sarasto 1973).

Rauduskoivun taimet ovat menestyneet kuitenkin melko hyvin aiemmin mainittujen Pohjois-Karjalan, Kainuun ja Lapin koekenttien ohutturpeisilla mätästysaloilla (Moilanen ym. 1995). Taimista oli kuuden kasvukauden jälkeen elossa vähintään 85 %. Sen sijaan paksuturpeisen Kivalon kokeen rauduksista oli elossa vain viidennes. Taimien pituus vaihteli Kolilla ja Paljakassa kahden ja kolmen metrin välillä, kun taas Kolarin koivut olivat puolta lyhyempiä.

Osalla Huikarin h-kulttuurikokeista raudus on menestynyt yllättävän hyvin paksuturpeisellakin ojitusalueella. Kymmenen vuoden ikäisissä rauduskoivikoissa elossaoloprosentit vaihtelivat välillä 64-83 %. Eri puulajeista rauduksen pituuskasvu oli ylivoimaisesti paras, kuusen hitain. Kaikkien puulajien taimet kärsivät tyvilenkoudesta (Kaunisto 1985).

4.5.13 Ojitusalueiden taimikkotuhoriskit huonosti tunnettuja

Kangasmaiden metsänviljelyn yhteydessä on tehty kartoituksia erilaisista tuhoriskeistä mutta ojitusalueilla mahdollisesti vaikuttavat erilaiset tuhonaiheuttajat ja niihin vaikuttavat tekijät tunnetaan huonosti. Toistaiseksi ei tiedetä, voiko esim. vesimyyrästä muodostua samanlainen vakava ongelma kuin suopeltojen metsitysalueilla. Turvemaiden erilaisesta ravinnetaloudesta johtuen hirvituhojen esiintyminen voi poiketa olennaisesti kangasmaataimikoissa ilmenevästä tuhoriskistä. Juurikääpä ja versosurma ovat myös esimerkkejä, joiden voidaan olettaa esiintyvän eri tasoisina ongelmina ojitusalueilla kangasmaihin verrattuna.

Ojitusalueilla vallitsevat usein melko äärevät lämpöolot erityisesti aukeaksi tai harvaan siemenpuuasentoon hakatuilla uudistusaloilla. Kuusen viljelyyn liittyvät hallatuhot ovat tuttu ilmiö mutta kasvukauden aikaisilla alhaisilla lämpötiloilla saattaa olla merkitsevä vaikutus myös männyn sirkkataimien kuolleisuuteen sekä erilaisten sirkkavaiheen kasvuhäiriöiden esiintymiseen (vrt. Rikala & Repo 1987). Pahin tunnettu esimerkki on kesäkuun 1984 hallat, joiden seurauksena eräiden suonpohjien istutuskokeiden jo yli metriset männytaimet vaurioituivat pahoin. Tällöin myös useat Parkanon tutkimusaseman toimesta perustetut turvekankaiden männynviljelykokeet vaurioituivat käyttökelvottomilksi. Jatkossa olisi kenties tarpeen tutkia sirkkataimien kylmänkestävyyttä ojitusalueiden uudistamisaloilla erilaisten vesi- ja ravinnestressien vallitessa.

4.5.14 Riittävätkö ravinteet myös toiselle puusukupolvelle?

Alunperin märkiä nevapintaisia soita on metsätaloutta varten kuivatetusta suo-alasta runsas miljoona hehtaaria. Näillä ojitusalueilla esiintyy muita ojitusalueita yleisemmin kivennäisravinteiden, erityisesti kaliumin, puutosta osittain jo ensimmäisen ojituksenjälkeisen puusukupolven aikana. Niilläkin ojitusalueilla, joilla ravinnevarat riittävät ensimmäisen puusukupolven tarpeisiin, voi uuden puusukupolven kasvatus jo varhaisessa vaiheessa edellyttää lannoitteita ravinne-epätasapainon korjaamiseksi. Uudistamiseen liittyvän päätöksenteon tueksi tarvittaisiinkin tarkennettua tietoa uudistusalan kasvualustan ravinnemäärien ja -suhteiden ennustearvosta seuraavan puusukupolven käytettävissä olevien ravinteiden riittävyyttä arvioitaessa. Tällä on olennainen merkitys paitsi uudistamistuloksen ennustamisessa eri puulajeilla ja menetelmillä, myös uudistamisen kannattavuuteen liittyvissä laskelmissa.

4.5.15 Metsänuudistamisen taloudellisuus ojitusalueilla askarruttaa

Metsien uudistamisen kannattavuutta on tutkittu kangasmailla mutta ojitusalueiden uudistamisen edellyttämien erityistoimenpiteiden ja turvemaiden olosuhteista aiheutuvien lisäkustannusten vaikutuksista ei ole laskelmia. Käytännössä kyse on lähinnä voimakkaamman maanmuokkauksen, mahdollisten lannoitusten, kunnostusojitusten ja vesiensuojelun järjestelyiden aiheuttamista lisäkustannuksista verrattuna kangasmaametsien uudistamiseen. Näin ollen taloudellisuuslaskelmien merkitys ojitusalueilla korostuu, sillä edellisten lisäksi uudistettavien puustojen arvo suhteutettuna korjuukustannuksiin saattaa olla huomattavasti pienempi kuin kivennäismailla. Tällöin voidaan joutua punnitsemaan sitä, kannattaako metsää uudistaa aktiivisesti suurin kustannuksin päätehakkuun jälkeen.

4.5.16 Onko turvemaametsien uudistaminen uhka vesistöille?

Turvemaan hakkuut, muokkaus ja ojaverkoston kunnostus voivat kasvupaikasta riippuen lisätä sekä orgaanisen- että epäorgaanisen aineen määrää ojitusalueilta purkautuvissa vesissä (ks. luku 6.2). Rehevien korpivaltaisten soiden hakkuissa on huuhtoutunut etupäässä typpeä, kun taas karujen soiden uudistaminen voi johtaa fosforikuormituksen kasvuun. Reheviltäkin soilta fosforia kuitenkin saattaa huuhtoutua, mikäli pohjavesipinta uudistusalueella huomattavasti nousee. Viime aikoina on tullut esille myös tutkimustuloksia siitä, että metsien hakkuut lisäävät elohopean ja myrkyllisen metyylielohopean huuhtoutumista.

Ojaverkoston kunnostukseen ja sen myötä myös ojitusmätästykseen liittyvä eroosioongelma tunnetaan varsin hyvin ja suurimmat riskit liittyvät ohutturpeisten ojitusalueiden kunnostukseen ja muokkaukseen (Nieminen 1999, Joensuu 2002). Eniten tarvitaan tietoa ojitusalueen hydrologian ja fosforihuuhtoutuman välisistä riippuvuuksista. Turpeeseen sitoutuneen fosforin tiedetään huuhtoutuvan herkästi, mikäli pohjavesipinta nousee riittävän korkealle (Nieminen 2002). Tästä syystä mm. pohjavesipinnan nousua hakkuun jälkeen tai sen kohottamista taimettumisen edistämiseksi pitää tarkastella paitsi uudistamistuloksen myös ympäristövaikutusten näkökulmasta.

4.5.17 Löytyykö ojitusalueiltakin monimuotoisuusarvoja?

Ojitusalueiden luonnon monimuotoisuutta ei uudistamiseen liittyen ole toistaiseksi millään tavoin tutkittu. Ei siis tiedetä minkälaisia monimuotoisuuden erityisarvoja ojitusalueemetsiin mahdollisesti sisältyy. Vaikka ojitusaluepuustojen kehityksen alkuvaiheet ovatkin vahvasti ihmisen manipuloimia, on ojitusalueiden vajaakäytön vuoksi monen hakkuukypsän metsikön kehitys edennyt vuosikymmeniä luontaisen kasvun ja kuolemisen ohjailemana. Ensi vaiheessa tulisikin alustavasti selvittää kuinka paljon ojitusalueilla esiintyy sellaisia puustorakenteita, jotka ovat olleet luonnontilaiselle metsämaisemalle ominaisia, mutta jotka pääosin puuttuvat kangasmaiden talousmetsistä. Esimerkkinä voisi mainita korpikuusikot, joille luonnontilaisissa metsissä on ollut ominaista pitkään palolta säästyneet kliimaksivaiheet erirakenteisine puustoineen. Pienialaiset ojitetut korvet voisivat tarjota mahdollisuuden näiden metsikkörakenteiden jäljittelyyn talousmetsissä. Tässä tarkoituksessa olisi syytä selvittää mm. ryhmittäiseen erirakenteisuuteen tähtäävien uudistamishakkuumenetelmien (mm. pienaukkohakkuut) mahdollisuuksia vanhoilla korpiojitusalueilla

4.5.18 Miten tästä eteenpäin?

Edellä esitetystä voidaan yhteenvetona todeta, että käytännön toimenpideohjeiden luomi-

seksi tutkimukselta edellytetään tarkennettua ja maantieteellisesti edustavampaa tietoa siementen itävyydestä ja taimien varhaiskehityksestä turvemaan vaihtelevilla kasvualustoilla. Suurimmat tiedon puutteet liittyvät erilaisten muokkauspintojen fysikaalisten ominaisuuksien ja taimettumisen välisiin riippuvuuksiin erityisesti kylvön yhteydessä. Samoin muokkausjälkien kasvillisuuden kehitys ja taimettumisherkkyyden säilyminen ovat tutkimisen arvoisia aiheita, mikäli luontaisen uudistamisen ja kylvön ongelmiin odotetaan vastauksia. Näitä kysymyksiä tulisi selvittää myös turvemaiden metsien varhaiskehityksen mallintamiseksi. Nykyisissä metsikkösimulaattoreissa metsiköiden uudistuminen ja alkukehitys on varsinkin turvemailla kuvattu vain kaikkein karkeimmilla malleilla. On tarpeen kuvata tarkemmin se puupopulaatio, jota rinnakorkeuden saavuttamisen jälkeen kasvatetaan puutason kasvumalleilla.

Tähän mennessä saavutettu tietämys turvemaiden uudistamisesta painottuu liiaksi luontaisen taimettumisen tarkasteluun. Viljelyn ja luontaisen uudistamisen valintaperusteet ovat yhä hataralla pohjalla. Tähän liittyen tulisi perusteellisesti hyödyntää jo olemassa oleva koekenttämateriaali kattavien menetelmävertailujen laatimiseksi. Tähän valintaperusteiden analysointiin olisi liitettävä ojitusalueilla yleisten alikasvosten hyödyntämismahdollisuudet, mäntytaimikoiden laatutekijät ja luonnollisesti myös eri menetelmävaihtoehtojen kannattavuusvertailut.

Turvemaiden ravinnetalouden erityispiirteet ovat erottamaton osa myös metsänuudistamisen tutkimusta. Toisen puusukupolven kasvun jatkuvuus riippuu useilla kasvupaikoilla kivennäisravinteiden riittävyydestä. Metsänuudistamisen päätöksenteossa on kyettävä erottamaan metsänkasvatukseen soveltumattomat ja liian ravinneköyhät kasvupaikat sellaisista korkean puutuotoskyvyn omaavista kasvupaikoista, joilla seuraavan sukupolven kasvattaminen on kannattavaa sellaisenaan tai ravinnetasapainon korjaamisen jälkeen.

Ojitusalueiden kunnostusojituksen vesistövaikutuksista on jo paljon tietoa mutta niiden metsänuudistamiseen ja siihen liittyvään muokkaukseen yhdistettynä vesistövaikutuksia on tutkittu vain alustavasti. Turvemaametsän uudistaminen koetaan yleisesti merkittävänä uhkana vesistöille, joten tämän aiheen liittäminen uudistamista käsittelevään tutkimuskokonaisuuteen on pidettävä erityisen tärkeänä. Metsätalouden ympäristönsuojelun ja luonnonhoidon periaatteisiin kuuluu myös luonnon monimuotoisuuden ylläpitäminen ja edistäminen sekä lajiston, puustorakenteiden että metsämaisemien tasoilla. Tähän liittyen ojitusalueilla voi ajatella olevan merkitystä erityisesti metsiköiden erilaisten puustorakenteiden monipuolistajina.

Kirjallisuus

Andersson, O. 1984. Removal of broadleaves in cleanings and precommercial thinnigs (in Swedish). Sver Skogsvårdsfoerb Tidskr 82: 69-95.

Andersson, O. 1988. Severely suppressed trees of Picea abies as complement at forest regeneration (in Swedish) Swed. Univ. Agric. Sci Dept. for Yield Res Rep No. 24, Garpenberg.

Bergan, J. 1971. Skjermforyngelse av gran samenligner med plantning i Grane i Nodland. Meddelser fra det Norske skogforsöksvesen 28(104): 194-211.

Cajander, E.K. 1934. Kuusen taimistojen vapauttamisen jälkeisestä pituuskasvusta. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 19(5): 1-59.

Cannelin, T. 1898. Metsänviljelys suomailla. – Suomen suoviljelysyhdistyksen vuosikirja: 65-76.

Groot, A. & Adams, M. 1994. Direct seeding black spruce on peatlands: fifth-year results. The Forestry Chronicle vol. 70, no. 5: 585-592.

Hannerz, M. & Hånell, B. 1993. Changes in the vascular plant vegetation after different cutting regimes on a productive peatland site

in Central Sweden. Scandinavian Journal of Forest Research 8: 193-203.
Heikurainen, L. 1954. Rämemänniköiden uudistamisesta paljaaksihakkausta käyttäen. Acta Forestalia Fennica 61(27): 1-21.
Heikurainen, L. & Laine, J. 1976. Lannoituksen, kuivatuksen ja lämpöolojen vaikutus istutus- ja luonnontaimistojen kehitykseen rämeillä. Acta Forestalia Fennica 150: 1-38.
Heikurainen, L. & Päivänen, J. 1970. The effect of thinning, clear-cutting, and fertilization on the hydrology of peatland drained for forestry. Acta Forestalia Fennica 104. 23 s.
Heinselman, M. L. 1957. Living Sphagnum found most favorable seedbed for swamp black spruce in Minnesota study. USDA Forest Service, Lake States Forest, Experiment Station. Technical Note. No. 504. 2 s.
Hertz, M. 1932. Tutkimuksia aluskasvillisuuden merkityksestä kuusen uudistumiselle Etelä-Suomen kangasmailla. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 17: 1-189.
Huikari, O. 1951. Havaintoja ojitettujen rimpinevojen taimettumista ehkäisevistä tekijöistä. Suo 2 (1): 1-4.
Huikari, O. 1972. H-kulttuuri. Metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosaston tiedonantoja 2/1972: 1-19.
Hytönen, J. 1992. Allelopathic potential of peatland plant species on germination and early seedling growth of Scots pine, silver birch and downy birch. Silva Fennica 26(2): 63-67.
Hånell, B. 1991. Förnyelse ar gransumpskog på bördiga torvmarker genom näturlig föryngrig under högskärm. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Silviculture. Report 32. 35 s.
Hånell, B. 1992. Skogskörnyelse på högproduktiva torvmarker – plantering av gran på kalhygge och under skärmträd. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Silviculture. Report 34. 71 s.
Joensuu, S. 2002. Effects of ditch network maintenance and sedimentation ponds on export loads of suspended solids and nutrients from peatland forests. Väitöskirja. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 868. 83 s. + 4 liitejulkaisua.
Johnston, W. F. 1977. Manager's handbook for black spruce in the North Central States. USDA Forest Service, North Central Forest Experiment Station, General Technical Report. NC-34. 18 s.
Kalela, E. K. 1946. Rämemänniköiden uudistamisen perusteista. Metsätal. Aikak.l. 1/1946: 5-11.
Katrusenko, I.V. 1965. The phososynthetic adaptation to light of old needles of Picea abies underwood. Botanicheskii Zhurnal 50(8): 1119-1121.
Katrusenko, I.V. 1967. The effect of a Birch stand on the C metabolism and P nutrition of Spruce underwood. Lesovedenie 1: 73-75.
Kaunisto, S. 1971. Lannoituksen, muokkauksen ja vesipinnan etäisyyden vaikutus kylvötaimien ensi kehitykseen turvealustalla. Kasvihuoneessa suoritettu tutkimus. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 75.2. 64 s.
Kaunisto, S. 1972. Lannoituksen vaikutus istutuksen onnistumiseen ja luonnontaimien määrään rahkanevalla. Tuloksia Kivisuon koekentältä. Folia Forestalia 139. 11 s.
Kaunisto, S. 1975. Suometsien luontaisen uudistamisen edistäminen. Metsäntutkimuslaitos. Pyhäkosken tutkimusaseman tiedonantoja 14: 37-41.
Kaunisto, S. 1982. Suometsien uudistamisen perusteita. AKH, Pohjois-Savon metsäkoulu, Toivala. Metsänuudistamisketjut -kurssi, elokuu 1982. 10 s.
Kaunisto, S. 1984. Suometsien uudistaminen turvekangasvaiheessa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 137: 7-21.
Kaunisto, S. 1985. Alustavia tuloksia metsän tehoviljelykokeista turvemailla. Folia For. 619: 1-16.
Kaunisto, S. 1988. Suometsien uudistaminen. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 308: 125-132.
Kaunisto, S. & Päivänen, J. 1985. Metsänuudistaminen ja metsittäminen ojitetuilla turvemailla. Kirjallisuuteen perustuva tarkastelu. Folia For. 625: 75 s.
Koistinen, E. & Valkonen, S. 1993. Models for height development of Norway spruce and Scots pine advance growth after release in southern Finland. Silva Fennica 27(3): 179-194.

Koshelkov, S. P. 1982. The nutrient regime of spruce regeneration in birch forests and felled areas in the southern taiga. Lesovedenie 6: 26-34.

Koskela, V. 1970. Havaintoja kuusen, männyn, rauduskoivun ja siperialaisen lehtikuusen halla- ja pakkasvaurioista Kivisuon metsänlannoituskoekentällä. Folia Forestalia. 78. 25 s.

Kuusipalo, J. & Vuorinen, J. 1981. Pintakasvillisuuden sukkessio vanhalla ojitusalueella Itä-Suomessa. Suo 32(3): 61-66.

Laatsch, W. & Zech, W. 1967. The importance of shade for conifers suffering from nutritional deficiencies. An Edafol. Agro-biol. 26(1/4): 691-702.

Laine, J., Vasander, H. & Laiho, R. 1995. Long-term effects of water level drawdown on the vegetation of drained pine mires in southern Finland. Journal of Applied Ecology 32: 785-802.

Lehtiniemi, T. & Sarasto, J. 1973. Kokemuksia rauduksen istutuksesta ojitetuille soille. Silva Fenn. 7(1): 24-44.

Leikola, M. 1975. Verhopuuston vaikutus metsikön lämpöoloihin Pohjois-Suomessa. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 85(7): 1-33.

Leikola, M. & Rikala, R. 1983. Verhopuuston vaikutus metsikön lämpöoloihin ja kuusen taimien menestymiseen. Folia Forestalia 559. 33 s.

Lukkala, O. J. 1946. Korpimetsien luontainen uudistaminen. Commun. Inst. For. Fenn. 34(3): 1-150.

Lukkala, O. J. 1951. Kokemuksia Jaakkoinsuon koeojitusalueelta. Commun. Inst. For. Fenn. 39(6): 1-53.

Mannerkoski, H. 1971. Lannoituksen vaikutus kylvösten ensi kehitykseen turvealustalla. Silva Fennica 5(2): 105-128.

Mannerkoski, H. 1975. Vanhan ojitusalueen uudistaminen mätästysmenetelmällä. Suo 26(3-4): 65-68.

Marschner, H. & Cakmak, I. 1989. High light intensity enhances chlorosis and necrosis in leaves of zinc, potassium, and magnesium deficient bean (Phaseolus vulgaris) plants. Journal of Plant Physiology. Vol 134: 308-315.

Moilanen, M. & Issakainen, J. 1981. Lannoituksen ja muokkauksen vaikutus kuusen ja koivun uudistumiseen eräillä Kainuun soilla. Folia Forestalia 481. 16 s.

Moilanen, M. & Issakainen, J. 1984. Ojituksen, lannoituksen ja muokkauksen vaikutuksesta luontaiseen uudistumiseen piensararämeellä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 133. 23 s.

Moilanen, M., Ferm, A. & Issakainen, J. 1995. Kuusen- ja koivuntaimien alkukehitys korven uudistamisaloilla. Folia Forestalia 1995(2): 115-130.

Multamäki, S. E. 1937. Kuusen uudistamisesta vesiperäisillä mailla. Yksityismetsänhoitajayhdistyksen vuosikirja 10/1937: 147-171.

Multamäki, S. E. 1939. Kuusen kylvöstä ja sen istutuksesta metsitettävillä soilla. Acta For. Fenn. 47(3): 1-132.

Multamäki, S. E. 1942. Kuusen taimien paleltuminen ja sen vaikutus ojitettujen soiden metsittymiseen. Acta Forestalia Fennica 51(1): 1-353.

Nieminen, M. 1999. Päätehakkuun ja maanmuokkauksen vaikutus valumaveden laatuun vanhoilla ojitusalueilla. Teoksessa: Ahti, E., Granlund, H. & Puranen, E. (toim.). Metsätalouden ympäristökuormitus. Seminaari Nurmeksessa 23.-24.9.1998. Tutkimusohjelman väliraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 745: 109-113.

Nieminen, M. 2002. Miksi soilta huuhtoutuu lannoitefosforia? Voidaanko huuhtoutumista estää? Teoksessa: Hiltunen, A. & Kaunisto, S. (toim.). Suometsien kasvatuksen ja käytön teemapäivät, 26.-27.9.2001 Joensuu. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 832: 37-42.

Orlov, A. 1983. Effects of soil overmoistering on spruce regrwoth in clear felled areas. Lesovedenie 1983: 11-20.

Paavilainen, E. 1970. Astiakokeita pintalannoituksen vaikutuksesta koivun, kuusen ja männyn kylvön onnistumiseen muokkaamattomalla kasvualustalla. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 72(1): 1–37.

Peltonen, A. 1986. Metsien uudistaminen turvemailla kuuden eteläisimmän piirimetsälautakunnan alueella. Vuosien 1978-1979 inventointitulokset. Folia Forestalia 679. 26 s.

Perttu, K. 1974. The radiation balance before and after clear cutting (in Swedish) Sver Skogsvårdsfoerb Tidskr 72: 53-59.

Pienimäki, T. 1982. Kasvillisuuden ojituksenjälkeinen kehitys eräillä suotyypeillä Pohjois-Pohjanmaalla. Suo 33: 113–123.

Place, I. C. M. 1955. The influence of seedbed conditions on the regeneration of spruce and balsam fir. Canada Department of Northern Affairs and Natural Resources. Forestry Branch, Bulletin 117. 87 s.

Päivänen, J. 1974. Hydrological effects of clear cutting in peatland forest. Proceedings of the International Symposium Forest Drainage, 2nd-6th Sept. 1974, Jyväskylä-Oulu, Finland: 219-228.

Päivänen, J. 1980. Metsänhoidollisten toimenpiteiden vaikutus vanhojen metsäojitusalueiden vesitalouteen. Silva Fennica 14(2): 214-217.

Päivänen, J. 1982. Hakkuun ja lannoituksen vaikutus vanhan metsänojitusalueen vesitalouteen. Folia Forestalia 516. 19 s.

Rikala, R. & Repo, T. 1987. Frost resistance and frost damage in Pinus sylvestris seedlings during shoot elongation. Scandinavian Journal of Forest Research 2: 433–440.

Reinikainen, A. 1984. Suotyypit ja ojituksen vaikutus pintakasvillisuuteen. Teoksessa: Jaakkoinsuon koeojitusalue 75 vuotta. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 156: 7–21.

Robertsdotter-Gnojek, A. 1992. Changes in chlorophyll fluorescence and chlorophyll content in suppressed Norway spruce (Picea abies (L.) Karst.) in response to release cutting. Trees 6: 41-47.

Saarinen, M. 1993. Miten käsitellä uudistamiskypsiä ojitusaluemetsiä. Teoksessa: Laiho, O. & Luoto, T. (toim.). Metsäntutkimuspäivä Porissa 1992. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 470: 6-12.

Saarinen, M. 1997. Kasvupaikkatekijöiden vaikutus vanhojen ojitusalueiden taimettumiseen. Kirjallisuuteen perustuva tarkastelu. Suo 48(3): 61-70.

Saarinen, M. 2002. Kasvillisuuden ja maanmuokkauksen vaikutus männyn ja koivun taimettumiseen varpu- ja puolukkaturvekankailla. Suo53(2): 41-60.

Saarinen, M. & Hotanen, J.-P. 2000. Raakahumuksen ja kasvillisuuden yhteisvaihtelu Pohjois-Hämeen vanhoilla ojitusalueilla. Suo 51(4): 227-242.

Saarinen, M. & Sarjala, T. 1999. Effects of fertilization and removal of overstorey on foliar nutrient status and chlorophyll fluorescence pf Norway spruce (Picea abies (L.) Karst.) underwood on drained peatlands. International Peat Journal 9: 83-93.

Sarasto, J. 1957. Metsän kasvattamiseksi ojitettujen soiden aluskasvillisuuden rakenteesta ja kehityksestä Suomen eteläpuoliskossa. Acta Forestalia Fennica 65(7): 1–108.

Sarasto, J. 1963. Tutkimuksia koivun kylvöstä ojitetuilla soilla. Suo 14(4): 47-56.

Sarasto, J. 1964a. Koivun kylvöjen talvehtimisesta ojitetuilla soilla. Suo 15(3): 51-153.

Sarasto, J. 1964b. Tutkimuksia ojitettujen soiden varvustosta ja sen vaikutuksesta männyn kylvöihin. Suo 15(4): 61-68.

Sarasto, J. & Seppälä, K. 1964. Männyn kylvöistä ojitettujen soiden sammal- ja jäkäläkasvustoihin. Suo 15(3): 54-58.

Sarasto, J. 1961a. Über die Klassifizierung der für Walderziehung entwässerten Moore. Acta For. Fenn. 74(5): 1–47.

Sarasto, J. 1961b. Ojitettujen soiden luokittelusta. Suo 12: 75–77.

Schimmel, J. 1993. On fire. Fire behavior, fuel succession, and vegetation response to fire in the Swedish boreal forest. Dissertations in Forest vegetation Ecology 5. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Forest Vegetation Ecology. Umeå, Sweden.

Silfverberg, K. 1995. Forest regeneration on nutrientpoor peatlands: Effects of fertilization, mounding and sowing. Silva Fennica 29: 205-215.

Seryakov, A. D. 1994. Survival and adaptation of thin spruce trees after cutting of small-leaved tree layer. Lesovedenie 4: 11-18.

Skoklefald, S. 1976. Release of natural Norway spruce regeneration (in Norwegian). Medd Nor Skogforsoksves 23: 381-409.

Stålfelt, M. G. 1935. Der Einfluss der Durchforstung auf die Funktion der Nadeln und auf die Ausbildung der Baumkrone bei der Fichte. Sver Skogsvårdfoerb Tidskr 33: 149-176.

Vasander, H. 1987. Diversity of understorey biomass in virgin and in drained and fertilized southern boreal mires in eastern Fennoscandia. Annales Botanici Fennici 24: 137-153.

Vasander, H., Kuusipalo, J. & Lindholm, T. 1993. Vegetation changes after drainage and fertilization in pine mires. Suo 44: 1-9.

Veijalainen, H. 1979. Use of needle analysis for diagnosing micronutrient deficiencies of Scots pine on drained peatlands. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 92 (4): 1-32.

Vomperskaja, M. I. 1980. Influence of shallow drainage network on nutrient regime and growth of Norway spruce on paludified soils. Lesovedenie 5: 52-61.

Wood, J. E. & Jeglum, J. K. 1984. Black spruce regeneration trials near Nipigon, Ontario: Planting versus seeding, lowlands versus upland, clearcut versus stripcut. Canadian Forestry Service, Sault Ste. Marie, Ontario, Information Report O-X-361. 19 s.

Vuokila, Y. 1980. Metsänkasvatuksen perusteet ja menetelmät. Werner Söderström Osakeyhtiö. Porvoo.

Yli-Vakkuri, P. 1958. Tutkimuksia ojitettujen turvemaiden kulotuksesta. Acta For. Fenn. 67(4): 1-33.

Yli-Vakkuri, P. 1962. Emergence and initial development of tree seedlings on burntover forest land. Acta Forestalia Fennica 74.1: 1-51.

Zackrisson, O. & Nilsson, M.-C. 1989. Allelopati och dess betydelse på svårföryngrade skogsmarker. Skogsfakta, Biologi och skogsskötsel 59. 6 s.

4.6 Suometsätalouden kannattavuus yksityismetsissä

Jukka Aarnio

Artikkeli on pääosin julkaistu aiemmin teoksessa Aarnio 2004.

4.6.1 Uudisojitus

Metsäojituksella voidaan etenkin pitkällä aikavälillä vaikuttaa huomattavasti puuston kasvuun ja metsänkasvatuksen kannattavuuteen. Siitä huolimatta yksittäisen metsänomistajan näkökulmasta ei ole kovinkaan paljon tehty metsäojitusta käsitteleviä kannattavuustutkimuksia. Joidenkin metsälöiden kohdalla ojituksissa on kuitenkin ollut kyse todella suurista taloudellisista uhrauksista ja tulonodotuksista tulevaisuudessa.

Soiden ojitustoiminta oli yksityismetsissä tärkein julkisen tuen rahoituskohde metsänparannustoiminnan alkuajoista eli 1920-luvun lopulta aina 1970-luvulle asti. Pääpaino 1980-luvun loppupuolelle saakka oli uudisojituksissa, mutta 1990-luvun alussa painopiste siirtyi kunnostusojituksiin. Uudisojitukset toteutettiin aikoinaan pääosin useiden tilojen yhteishankkeina. Sen vuoksi myös ojitusalueilla toteutetut peruslannoitukset tehtiin ja nykyiset kunnostusojitukset tehdään useimmiten yhteishankkeina. Yksituumaisuutta yksityismetsänomistajilta on vaadittu erityisesti Pohjanmaalla, jossa kymmenien osakastilojen yhteishankkeina toteutettiin laaja-alaisia uudisojituksia.

Yksityiselle metsänomistajalle ojitusinvestointi ei välttämättä ole ollut itsestäänselvyys ilman julkisen vallan tukitoimenpiteitä. Monille metsänomistajille ojitushanke olisikin tuonut mukanaan ylipääsemättömän rahoitusongelman. Tämän vuoksi valtion tuella on maksettu kokonaan suunnittelukustannukset, mikä on parantanut edellytyksiä saada metsänomistajat suostumaan yhteishankkeisiin. Varsinaisiin ojituskustannuksiin yksityismetsänomistajille on myönnetty valtion varoista avustuksia ja halpakorkoisia lainoja. Yksityismetsien ojituksista kaikkiaan 80-90 % on toteutettu julkisen rahoitustuen turvin. Lainavarat on tosin maksettu valtiolle takaisin pitkällä takaisinmaksuajalla, mutta niiden reaalinen kustannusvaikutus on jäänyt metsänomistajalle melko pieneksi. Lisäksi aina 1990-luvulle asti myös hankkeen työnjohtokustannukset maksettiin kokonaan valtion varoista.

Metsäojituksen painoarvo metsänparannustoiminnan alkuvaiheessa näkyi myös tutkimustoiminnassa. Saari (1942) tutki 1940-luvulla metsäojituksen yksityistaloudellisen kannattavuuden määritysmenetelmiä ja Kaitera (1947) määritti ojitettavan suon liiketaloudellisen metsäojitusarvon. Ojitustoiminnan ollessa vilkkaimmillaan 1960- ja 1970-luvuilla Numminen (1970) selvitti silloisen avustusjärjestelmän merkitystä ojituksen yksityistaloudellisen kannattavuuden alueittaisen vaihtelun kannalta. Samoihin aikoihin myös Keltikangas ja Seppälä (1966, 1973a) tutkivat metsäojituksen kansantaloudellista edullisuutta hyötykertoimien avulla. Aarnio (1985) selvitti 1980-luvulla ojituksen yksityistaloudellista edullisuutta kolmen eri metsänomistajaryhmän näkökulmasta ottamalla huomioon metsänparannusrahoituksen ja verotuksen alueellisen porrastuksen.

Ojituksen tuoma kasvunlisä merkittävää

Uudisojitus on metsätalouden pitkävaikutteisimpia investointeja. Samalla se on puuston lisäkasvun kannalta yksi merkittävimmistä työlajeista. Parhaimmissa uudisojituskohteissa voidaan tuotos jopa kaksin- tai kolminkertaistaa ojituksenjälkeisellä ensimmäisellä kier-

toajalla verrattuna ojittamattomaan vaihtoehtoon. Suurella osalla nykyisistä ojitusalueista kasvaa vielä ensimmäinen ojituksenjälkeinen puusukupolvi. Riittävillä hoitotoimenpiteillä myös monien ojitusalueiden seuraajapuustojen lisäkasvu voidaan pitää samansuuruisena.

Suurimmat kasvunlisäykset saadaan odotetusti Etelä-Suomen rehevimmissä korvissa, pienimmät taas Pohjois-Suomen ojituskohteissa ja Etelä-Suomen karuilla rämeillä. Parhaimmillaan koko ojituksenjälkeisenä kiertoaikana keskimääräinen vuotuinen kasvunlisäys voi olla jopa 6-7 kuutiometriä hehtaarilla. Sen sijaan huonoimmissa ojituskelpoisissa kohteissa vastaava kasvunlisäys jää jopa alle 2 kuutiometrin onnistuneissakin ojitushankkeissa.

Ojituksen huippuvuodet kannattavuuden kannalta

Määrällisesti yksityismetsien ojitustoiminnan huippuvuodet ajoittuivat 1960-luvun loppu- ja 1970-luvun alkupuoliskolle. Jäljempänä esitettävät kannattavuuslaskelmat perustuvatkin uudisojituskustannusten sekä rahoituksen osalta vuoden 1970 tilanteeseen, jolloin yksityismetsissä tehtiin eniten uudisojituksia kautta aikojen. Ojitusalueen vaatimat jälkihoitotyöt – kunnostusojitus ja taimikonhoito – hinnoitettiin vuonna 1995 toteutuneilla kustannuksilla ja rahoitettiin senhetkisillä julkisen tuen ehdoilla. Aiempien tutkimustulosten perusteella saadut tuotosluvut hinnoitettiin vastaavasti yksityismetsien puutavaralajeittaisilla kantohinnoilla myös vuonna 1995 toteutuneessa tasossa.

Miltä investoinnin kannattavuus näyttää 25 vuotta uudisojituksen jälkeen metsänomistajan näkökulmasta? Vastaus siihen saadaan vertaamalla keskenään lähtötilanteeltaan (suotyyppi, alkupuusto jne.) samanlaisten soiden ojitetun ja ojittamattoman kasvatusvaihtoehdon nettotuottojen nykyarvoja edellä esitetyillä kantohinta- ja kustannusoletuksilla. Vertailut tehdään ojituksen kannalta tärkeimmille suotyyppiryhmille sekä Etelä- että Pohjois-Suomessa. Perusvaihtoehdossa kannattavuutta tarkastellaan metsänomistajan omalla rahoituksella. Toisessa vaihtoehdossa metsänomistaja saa alueellisten rahoitusehtojen mukaisen maksimiavustuksen ja loppuosa kustannuksista rahoitetaan halpakorkoisella lainalla. Laskennan perusvuosi on 1970 eli uudisojitusajankohta. Tarkasteltavana on koko uudisojituksen käynnistämä puuntuotantoketju.

Rämeet

Reilusti yli puolet uudisojituspinta-alasta on ollut rämeitä. Sitä mukaa kun ojitusmäärät vähenivät 1970-luvulla, karumpien rämeiden suhteellinen osuus lisääntyi etenkin Etelä-Suomessa, jossa niiden pinta-ala edusti melko suurta osuutta kaikista uudisojituksista. Ojitettuna karut rämeet vastaavat puuntuotoskyvyltään kangasmaiden kuivia kankaita (CT). Karuja rämeitä onkin pidetty ojituskelpoisina ainoastaan Etelä-Suomessa, johon myös kannattavuustarkastelut rajoittuvat.

CT:tä vastaavan rämeen ojitus näytti kolmen prosentin laskentakorkokannalla kannattavalta vielä metsänomistajan omarahoituksellakin. Tosin taloudellista tulosta (ojitetun ja ojittamattoman kasvatusvaihtoehdon nykyarvojen erotus) ojitusinvestointi tuotti ainoastaan runsaat 100 euroa hehtaarilta. Julkisella rahoitustuella vastaava erotus (kate) oli jo noin 200 euroa (Mikkola ym. 2002). Investointi ei täyttänyt kuitenkaan viiden prosentin tuottovaatimusta, ts. ojittamaton vaihtoehto tuotti paremman lopputuloksen kuin ojitettu. Edes metsänparannusrahoitus ei tehnyt karujen rämeiden ojitusta kannattavaksi, vaan metsänomistajan oli kannattavampaa kasvattaa rämemännikköä ojittamattomana.

Etelä-Suomessa tehtiin runsaasti ojituksia myös hieman rehevimmillä rämeillä. Ne vastasivat ojitettuna kasvultaan kivennäismaiden kuivahkoja kankaita (VT). Tällaisilla kasvupaikoilla ojitusvaihtoehdon nykyarvot kohosivat runsaaseen 1 300 euroon ja voittoa (katetta) investointi tuotti metsänomistajalle omarahoituksellakin lähes 800 euroa kolmen prosentin korolla. Vielä viiden prosentin korollakin VT:tä vastaavilla kasvupaikoilla ojituksesta oli odotettavissa hieman positiivista nykyarvoa omarahoituksellakin. Julkinen rahoitustuki paransi kannattavuutta vielä runsaalla 100 eurolla.

Pohjois-Suomessa ojitukset kohdistettiin pääasiassa parhaille rämetyypeille, koska kasvuolosuhteet ovat olennaisesti heikommat kuin Etelä-Suomessa. Kannattavuustarkastelut tehtiinkin Pohjois-Suomen osalta pelkästään tuoreen kankaan (MT) kasvupaikkaa vastaaville rämeille. Ne tuottivat ojitettunakin parhaimmassa vaihtoehdossa ainoastaan runsaan 300 euron nettonykyarvon kolmen prosentin korolla. Tällöin kasvatusvaihtoehtojen väliseksi erotukseksi (katteeksi) jäi omarahoituksella runsaat 100 ja tukirahoituksella lähes 250 euroa. Viiden prosentin tuottovaatimus oli jo liian korkea tavoite omarahoituksella ja julkisella tuellakin saatiin ojitusinvestoinnit vain niukasti kannattaviksi.

Korvet

Etelä-Suomessa korpien ojitus kohdistui pääasiassa varsinaisiin korpiin, jotka rinnastetaan kasvukyvyltään kivennäismaiden tuoreisiin kankaisiin (MT). Tällaisissa ojituskohteissa aikaansaatu huomattava kasvunlisäys näkyy selvästi myös investoinnin taloudellisessa tuloksessa. Ojitettuna MT:tä vastaavat korvet tuottivat noin 3 000 euron nettonykyarvon kolmen prosentin korolla. Ojittamattoman vaihtoehdon vähentämisen jälkeen investoinnin erilliskannattavuudeksi saatiin vielä vajaan 2 000 euron hehtaarikohtainen kate. Vielä viiden prosentin korollakin investointi tuotti noin 800 euron nettonykyarvon. Tämänkaltaisilla parempituottoisilla kasvupaikoilla rahoitustavalla ei enää ole suurtakaan vaikutusta kannattavuuteen, koska alkuinvestoinnin suuruus verrattuna saataviin lisätuloihin jäi melko pieneksi laskelmissa käytetyillä laskentakorkokannoilla.

Pohjois-Suomen MT:tä vastaavissa korpikuusikoissa kasvunlisäys jää selvästi pienemmäksi kuin Etelä-Suomessa. Tämä näkyy myös ojitetun vaihtoehdon nykyarvoissa, jotka jäivät noin 1 000 euron tuntumaan kolmen prosentin korolla. Metsänparannusrahoituksellakin investoinnin katteeksi jäi ainoastaan vajaat 300 euroa. Viiden prosentin tuottovaatimuksella investointi oli jo kannattamaton eli metsänomistajan oli tarkoituksenmukaista luopua ojitushankkeesta rahoituslähteestä riippumatta.

Johtopäätökset

Ojitusinvestointien vaikutukset on selvästi nähtävissä jo valtakunnan tason kasvuluvuissa. Tila- ja metsikkötasolla on tähän mennessä saattanut kuitenkin realisoitua vasta pieniä harvennushakkuutuloja ja ojituksen varsinainen "pääsato" on korjattavissa vasta lähivuosikymmeninä. Edellä esitetyillä kannattavuuslaskelmilla on kuitenkin pyritty ikään kuin väliaikatietona arvioimaan, miltä vuonna 1970 tehtyjen ojitusinvestointien kannattavuusnäkymät näyttävät vuoden 1995 hinta- ja kustannustason pohjalta.

Tulosten perusteella kolmen prosentin tuottovaatimus täyttyy lähes kaikissa ojitushankkeissa sekä rämeillä että korvissa niin Etelä- kuin Pohjois-Suomessakin jopa omarahoituksella. Metsänomistaja ei kuitenkaan aina välttämättä tyydy näin alhaiseen tuottoon. Mikäli laskentakorkona käytetään viittä prosenttia, niin Etelä-Suomessa ainoastaan karummilla rämeillä tuottovaatimus jää tukirahoituksellakin toteutumatta. Pohjois-Suomessa viiden prosentin tuottovaatimus on jo liian korkea varsinkin omarahoituksella. Sen sijaan julkinen rahoitustuki nostaa rämeiden tuoton jo yli viiden prosentin vaatimuksen, ja korpisoillakin tavoitetaso likimain toteutuu. Nykyarvojen perusteella ylivoimaisesti parhaimpia uudisojituskohteita olivat Etelä-Suomen korvet, joissa ojitusinvestoinnin erilliskannattavuutta osoittavat reaaliset sisäiset korot kohosivat jopa 13-14 prosenttiin ilman metsänparannusrahoitusta ja verotusta (Aarnio 1985).

Esitetyt kannattavuusarviot perustuvat onnistuneisiin ojitushankkeisiin. Epäonnistumisten takia osa hankkeista ei ole tuonut toivottua kasvunlisää, jolloin kolmen prosentin tuottovaatimuskaan ei täyty. Eniten epäonnistuneita hankkeita on tehty Pohjois-Suomessa, joka on muutenkin kriittisintä aluetta ojitusinvestointien kannattavuuden kannalta. Toisaalta metsänomistajan kannalta myönteinen ojituspäätös oli joissakin tapauksissa perusteltua tehdä jo senkin vuoksi, että verovapaudesta (metsämaaksi luokitellut suot) saatava hyöty

saattoi olla suurempi kuin metsänparannuslainan vuotuismaksu. Ojitusalueellehan myönnettiin alueittain porrastetusti 15-25 vuoden verovapaus. Pohjois-Suomessa vuonna 1970 ojitetun suon verovapaus päättyi siten vasta vuonna 1994.

Yhteenvetona laskelmista voidaan todeta, että julkisella rahoitustuella on pystytty jonkin verran tasoittamaan alueellisia kannattavuuseroja. Etelästä pohjoiseen edettäessä kasvuolosuhteet kuitenkin heikkenevät niin paljon, että kannattavuuseroja ei pystytä kompensoimaan millään julkisen tuen määrällä. Yksityistaloudellisen kannattavuuden edellytyksenä on tietenkin se, että metsäteollisuus tarvitsee tulevaisuudessa myös ojitusalueille kertyneen puuraaka-aineen, ja on siitä valmis myös maksamaan.

4.6.2 Kunnostusojitus

Uudisojituksen jälkeen ojien kuivatusteho heikkenee vähitellen, jolloin suon vesitalous saattaa palautua kohti uudisojitusta edeltänyttä tilaa. Useiden tutkimusten mukaan kunnostusojituksen tulisikin ajoittua 15-25 vuotta uudisojituksen jälkeen. Tämän perusteella 1960- ja 1970-lukujen mittavat ojitukset ovat jo hyvinkin kunnostusojitusten tarpeessa. Puuston kasvun turvaamiseksi on erityisen tärkeää tehdä kunnostusojitus riittävän ajoissa.

Kunnostusojitusta voidaan pitää alkuperäisen uudisojituksen ylläpitoinvestointina. Kummankin tavoitteena on tuottaa lisäkasvua suopuustossa. Uudisojituksilla aikaansaadusta lisäkasvusta on olemassa runsaasti tutkimustuloksia. Sen sijaan kunnostusojituksella aikaansaatavasta kasvunlisästä on niukasti tutkimustietoa, vaikka tiedontarve on tällä hetkellä suuri. Tämä johtunee siitä, että kunnostusojitusten tarve lisääntyi merkittävästi vasta 1980-luvulla, jolloin myös ojitusalueiden kunnostus tuli julkisen rahoitustuen piiriin.

Tässä esitettävät tulokset pohjautuvat Metsäntutkimuslaitoksen toimesta 1980-luvun alkupuolella perustettuihin kunnostusojituskokeisiin, joiden mittaustietojen avulla on arvioitu toimenpiteellä saatavaa lisäkasvua (Hökkä 1997, Lauhanen & Ahti 2001) sekä sen yksityistaloudellista kannattavuutta (Hytönen ja Aarnio 1998).

Käsittely ratkaisee kasvunlisän

Laskelmien perustana olevat tutkimuskoealat edustavat karuhkoja rämeitä, jotka ovat useinkin sekä uudisojituksen että myös kunnostusojituksen kannalta rajatapauksia. Tarkastellussa koeala-aineistossa kunnostusojituskohteiden puuston tilavuus oli vain 20-63 kuutiometriä hehtaarille, vaikka uudisojituksista oli kulunut jo 20-50 vuotta.

Koeala-aineistolla oli mahdollista arvioida kunnostusojituksen jälkeistä kasvua ainoastaan seuraaville 20 vuodelle. Eri käsittelyille saatiin tarkastelujakson aikana keskimäärin seuraavat kasvunlisäykset:

Kasvunlisäys, m³/ha	
Perkaus	5,2
Täydennysojitus	16,7
Perkaus + täydennysojitus	17,8

Pelkällä perkauksella kasvunlisäys jäi melko pieneksi. Sen sijaan muilla käsittelyillä vuotuinen hehtaarikohtainen kasvunlisäys lähenteli jo yhtä kuutiometriä. Perkauksen heikko reaktio saattoi joissakin kohteissa johtua ojitusalueen melko suuresta sarkaleveydestä (yli 60 metriä).

Kannattavuus

Erisuuruiset kasvunlisät antavat jo viitteitä eri käsittelyjen kannattavuusjärjestyksestä. Investoinnin kannattavuuden määrittämiseksi arvioitiin kullekin käsittelylle metsäkeskuksittaisten keskiarvolukujen perusteella kustannukset ja puutavaralajeittaiset kantohinnat. Laskelmat tehtiin sekä pelkästään metsänomistajan omalla rahoituksella että kestävän metsätalouden rahoituslain (kemera) mukaisella julkisella rahoitustuella.

Investoinnin kannattavuus määritettiin sisäisinä korkokantoina. Eri käsittelyjen sisäiset korkokannat olivat seuraavat:

	Sisäinen korkokanta, %	
	Omarahoitus	Kemera-tuki
Perkaus	2,5	7,2
Täydennysojitus	6,8	12,9
Perkaus + täydennysojitus	5,5	10,7

Molemmilla rahoitusvaihtoehdoilla täydennysojitus antoi parhaan taloudellisen tuloksen. Perkauksen ja täydennysojituksen yhdistelmällä saatiin suurin kasvunlisäys, mutta kohonneiden lisäkustannusten takia kannattavuus jäi kuitenkin selvästi heikommaksi kuin pelkällä täydennysojituksella. Perkaus näytti olevan selvästi kannattamattomin käsittelyvaihtoehto.

Jo omarahoituksellakin voimaperäisimpiä käsittelyvaihtoehtoja voidaan pitää järkevinä puuntuotannon investointikohteina metsänomistajalle. Julkinen rahoitustuki nostaa vielä sisäisiä korkokantoja 5-6 prosenttiyksiköllä. Tällöin kunnostusojitusta voidaan pitää jo hyvin varteenotettavana kohteena myös moniin metsätalouden ulkopuolisiin sijoitusvaihtoehtoihin verrattuna. Riskiä lisää kuitenkin aina metsätalouden investointeihin liittyvä pitkä aikajänne, mikä korostuu etenkin uudisojituksesta alkavassa puuntuotantoketjussa.

Missä kannattaa kunnostusojittaa?

Karuhkoilla rämeillä kannattavuudeltaan parhaaseen tulokseen metsänomistaja pääsee, jos metsänojitusboniteetti (suon potentiaalinen puunkasvukyky) on suurempi kuin 2 ja uudisojituksella aikaansaatu puusto on vähintään 30-50 m³/ha. Käytännössä kunnostusojitukseen ei kannata ryhtyä, mikäli onnistunut uudisojitus ei ole selvästi elvyttänyt puuston kasvua. Myöskään runsaspuustoisilla (yli 100 m³/ha) ja hyväkasvuisilla ojitusalueilla ei kannata ryhtyä kunnostusojituksiin, jos puusto mahdollisen harvennushakkuun jälkeenkin pitää huolen vesitaloudesta. Sekä rämemänniköissä että korpikuusikoissa kannattavimmat kunnostusojituskohteet löytyvätkin ilmeisesti sellaisilta uudisojitusalueilta, joissa puustoa on 50-100 m³/ha.

4.6.3 Lannoitus

Yksityismetsissä metsänlannoitukset aloitettiin "tosimielessä" vasta 1960-luvun puolivälissä. MERA-kaudella eli vuosina 1965-1975 lannoituspinta-alat kasvoivat yhtäjaksoisesti koko ohjelmakauden ajan. Vuonna 1965 yksityismetsissä lannoitettiin runsaat 3 000 hehtaaria ja vuonna 1975 jo yli 160 000 hehtaaria (Metsätilastollinen vuosikirja 2002). Pääsyynä lannoitusalojen kasvuun oli lannoituksen hyväksyminen metsänparannusvaroin rahoitettaviin työlajeihin vuodesta 1968 alkaen. Lisäksi kyseisinä vuosina kohdennettiin runsaasti varoja lannoituksiin MERA-ohjelmissa asetettujen tavoitteiden mukaisesti. Sen jälkeen lannoituspinta-alat pienenivät pääsääntöisesti aina vuoteen 1992 asti, jolloin yksityismetsissä lannoitettiin enää noin 1 500 hehtaaria. Sittemmin vuotuiset lannoituspinta-alat ovat nousseet yksityismetsissä yli 15 000 hehtaariin.

Lannoitusinvestoinnit toteutettiin yksityismailla suurelta osin metsänparannuslainoilla. Etenkin varttuneiden metsien kasvatuslannoitukset olivat metsänomistajille houkuttelevia investointikohteita, koska lannoitustuotot olivat realisoitavissa usein jo lainan takaisinmaksuajan päätyttyä. Monissa muissa metsätalouden investointikohteissa tilanne oli selvästi huonompi, kuten esimerkiksi ojitusalueiden peruslannoituksissa. Etenkin 1960- ja 1970-luvuilla metsänomistajien lannoituspäätökset saatiin hyvin yhteensopiviksi puuntuotantoohjelmissa asetettujen tavoitteiden kanssa.

Lannoituskokeita jo hyvissä ajoin ennen laajamittaista lannoitustoimintaa

Suometsien ojitus lisäsi tutkijoiden kiinnostusta myös uudisojitusalueiden lannoituksiin. Jo

1950-luvun alkupuolella perustettiinkin laajat suometsien lannoituskokeet, joissa selvitettiin monien muiden vaikutusten ohella lannoitusten aikaansaamaa kasvureaktiota. Myös kivennäismailla käynnistettiin 1950-luvun lopulla mittava lannoituskoetoiminta. Kun 1960-luvun lopulla lannoitustoiminta laajeni merkittävästi, oli tutkittua tietoa jo käytettävissä esim. eri lannoitelajien ja -määrien vaikutuksista odotettavissa olevaan kasvunlisään.

Ensimmäiset kannattavuustutkimukset metsänlannoituksista tehtiin 1960-luvun lopulla ja 1970-luvun alkupuolella (Keltikangas ja Seppälä 1968, 1973a ja 1973b, Keipi ja Kekkonen 1970). Laajamittaista lannoituskoetoimintaa ei kuitenkaan hyödynnetty vielä kovinkaan paljon näissä tutkimuksissa. Lannoitusten kannattavuutta käsittelevää tutkimustietoa olikin hyvin niukasti käytettävissä vielä silloin, kun lannoitustoiminta oli vilkkaimmillaan 1970-luvun alkupuolella.

Lannoitustutkimukset keskittyivät 1980-luvulle

Yksityismetsien kokonaislannoituspinta-ala jäi jo 1980-luvulla alle puoleen edellisen vuosikymmenen huippusaavutuksesta. Vuonna 1989 lannoitettiin enää runsaat 20 000 hehtaaria, joka oli ainoastaan runsaat 10 prosenttia huippuvuoden 1975 tasosta. Lannoitustoiminnan hiipumiseen vaikutti osaltaan metsänparannusvarojen kohdentaminen muihin työlajeihin sekä toisaalta lannoituksiin liittyneet eitoivotut ympäristövaikutukset.

1980-luvulla tehtiin lähes 10 tieteellistä julkaisua lannoitusten kannattavuudesta sekä kivennäis- että turvemailla. Lähes kaikissa julkaisuissa kannattavuutta tarkasteltiin sekä metsänomistajan omalla rahoituksella että metsänparannusrahoituksella. Huolimatta rohkaisevista kannattavuustuloksista metsänomistajat eivät olleet halukkaita tekemään lannoituksia omin varoin.

Turvemaiden lannoitusten kannattavuustutkimukset keskittyivät yleensä Etelä-Suomeen ja melko varttuneisiin puustoihin. Metsikkökohtaiset tarkastelut kohdistuivat useimmiten myös pelkästään korpikuusikoihin tai rämemänniköihin tietyllä maantieteellisesti rajatulla alueella. Kannattavuusvertailut tehtiin yleensä PK- ja NPK-lannoitusten välillä joko omarahoituksella tai metsänparannusrahoituksella (Hämäläinen ja Laakkonen 1983, Salminen 1984, Hämäläinen ym. 1985, Rantala & Moilanen 1993).

Yhteisenä piirteenä edellä esitetyille tutkimuksille oli NPK-lannoituksilla saatu suurempi kasvunlisä verrattuna PK-lannoituksiin. Sen sijaan PK-lannoitus oli yleensä aina kannattavampi vaihtoehto kuin NPK-lannoitus. Sopivalla lannoitusmäärällä ja puustoltaan soveliaassa kohteessa saatiin omarahoituksellakin lähes 20 prosentin sisäisiä korkoja. Parhaaseen taloudelliseen tulokseen päästiin rahoittamalla lannoitusinvestointi metsänparannuslainalla. Tällöin saatiin jopa yli 40 prosentin sisäisiä korkoja.

Lannoituksen kannattavuuden päätulos vasta 1990-luvulla

Yksityismetsien lannoituspinta-ala hiipui vuonna 1992 jo noin 1 500 hehtaariin (pienin määrä vuoden 1964 jälkeen). Kaksi vuotta sen jälkeen ilmestyivät kivennäismaiden lannoitusta koskevat varteenotettavimmat kannattavuustulokset, joilla voitiin verrata eri boniteeteilla lannoitelajien ja -määrien sekä toistuvien lannoitusten lukumäärän vaikutusta optimitoimenpidevalintaan (Laakkonen 1994). Malleilla oli mahdollista verrata myös kertalannoitusten kannattavuutta.

Tutkimuksen päätulokset tukivat ja toisaalta myös tarkensivat aiemmin tehtyjen osittaisselvitysten kannattavuuslukuja. Parhaimpia lannoituskohteita olivat 45-65-vuotiaat männiköt, joiden sisäinen korko kohosi 20-40 prosenttiin omalla rahoituksella kasvupaikasta riippuen. Metsänparannusrahoitus nosti sisäisiä korkoja vielä 5-10 prosenttia. Huimista kannattavuusluvuista huolimatta lannoituspinta-alat pysyivät kuitenkin koko 1990-luvun melko vaatimattomina.

Vain tuki ylläpitää lannoitusintoa

Yksittäisenä työlajina metsänlannoitus on ollut tutkijoiden mielenkiinnon kohteena ehkä suhteettomankin paljon. Yhtenä syynä tähän on ollut varmaankin lannoitusinvestoinnin melko lyhyt vaikutusaika verrattuna moniin muihin metsätalouden investointeihin. Lisäksi kannattavuusvertailujen kannalta toimenpiteellä saadut kasvunlisät on tuotostutkimusten pohjalta voitu arvioida melko luotettavasti tai ainakin selkeässä muodossa riittävän lyhyellä aikajänteellä. Kivennäismaiden kertalannoituksissa tarkasteluperiodi oli aina alle 10 vuotta ja toistuvissa sekä turvemaiden lannoituksissakin alle 20 vuotta.

Kivennäismaiden metsänparannusrahoitus kohdennettiin pääasiassa jo omarahoituksellakin yksityistaloudellisesti kannattavien puustoisten metsiköiden kasvatuslannoituksiin. Turvemailla julkista rahoitusta kohdennettiin runsaasti myös vastikään ojitettujen turvemaiden peruslannoituksiin. Sen sijaan kannattavuuslaskelmia tehtiin vain varttuneille tai korkeintaan puustoisille nuorille suopuustoille. Avosoiden istutusalojen ja nuorten suopuustojen peruslannoituksissa kannattavuusarviot eivät varmastikaan olisi olleet läheskään yhtä houkuttelevia kuin varttuneiden puustojen kasvatuslannoituksissa.

Lähes kaikki lannoitustutkimukset osoittivat investoinnin yksityistaloudellisen kannattavuuden jo omarahoituksellakin. Kun laskelmiin otettiin mukaan myös julkinen rahoitus, niin kannattavuusarviot kohosivat jopa käsittämättömän korkeiksi verrattuna esimerkiksi yksittäisen metsänomistajan vaihtoehtoisiin sijoituskohteisiin. Etenkin lainarahoitus antoi parhaimmat tuotot, koska halpakorkoinen laina veroetuineen oli selvästi edullisempi inflaatiotaloudessa (usein käytetty inflaatiovauhti 7 %) kuin metsänparannusavustus. Myös 1990-luvun loppupuolella tehdyt laskelmat osoittivat lannoitukset erittäin kannattaviksi omarahoituksella; sisäinen korko oli kivennäismailla 10-25 ja turvemailla 8-15 prosenttia Etelä-Suomessa (Aarnio ym. 1997a, Aarnio ym. 1997b). Rantalan ja Moilasen (1993) selvityksessä PK-lannoitus osoittautui kannattavaksi (sisäinen korko 6-7 %) myös Pohjois-Pohjanmaan runsastyppisillä nevarämeillä.

Nykyisin kestävän metsätalouden mukaista rahoitustukea myönnetään kuitenkin vain ns. terveyslannoituksiin, joilla pyritään turvaamaan taantuvien tai jopa kuolevien puustojen normaali kehitys. Tällaiset kohteet ovat parhaimmissa tapauksissa erittäin kannattavia investointikohteita, mikäli puuston kasvun taantuminen ravinnepuutosten tai muiden syiden takia pystytään ennakoimaan riittävän ajoissa.

Vaikka lannoitustutkimuksilla on osoitettu investoinnin hyvä yksityistaloudellinen kannattavuus, se ei ole kuitenkaan vakuuttanut yksityismetsänomistajia toimenpiteen taloudellisesta tarkoituksenmukaisuudesta. Lannoituspinta-alojen ja investoinnin kannattavuuden välillä näyttäisi hieman kärjistettynä olevan jopa negatiivinen korrelaatio: mitä kannattavammalta lannoitus näytti tutkimusten mukaan, sitä pienempiä olivat yksityismetsien lannoituspinta-alat. Omarahoituksellakaan lasketut korkeat tuottoluvut eivät ole houkutelleet lannoittamaan parin viimeisen vuosikymmenen aikana, vaan into löytyi laajamittaisella julkisella metsänparannusrahoituksella etenkin 1970-luvulla.

Kirjallisuus

Aarnio, J. 1985. Suometsiköiden kasvatuksen yksityistaloudellinen edullisuus. Folia Forestalia 630. 39 s.

Aarnio, J. (toim.) 2004. Julkinen tuki yksityismetsätaloudessa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 923. 111 s.

Aarnio, J., Kaunisto, S., Moilanen, M. & Veijalainen, H. 1997a. Suometsien lannoitus. Teoksessa: Mielikäinen, K. & Riikilä, M. (toim.). Kannattava puuntuotanto. Metsälehti Kustannus. s. 116-126.

Aarnio, J., Kukkola, M. & Mälkönen, E. 1997b. Kangasmetsien lannoitus. Teoksessa: Mielikäinen, K. & Riikilä, M. (toim.). Kannattava puuntuotanto. Metsälehti Kustannus: 109-116.

Hytönen, L. A. & Aarnio, J. 1998. Kunnostusojituksen erilliskannattavuus muutamilla karuhkoilla rämeillä. Suo 49(3): 87-99.

Hämäläinen, J. & Laakkonen, O. 1983. Turvemaan varttuneiden männiköiden lannoituksen edullisuus. Folia Forestalia 570. 32 s.

Hämäläinen, J., Paavilainen, E., Salminen, O. & Heinonen, R. 1985. Tuloksia ojitettujen korpikuusikoiden lannoituksesta. Folia Forestalia 623. 26 s.

Hökkä, H. 1997. Models for predicting growth and yield in drained peatland stands in Finland. Väitöskirja. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 651. 45 s + liitteet.

Kaitera, P. 1947. Hyödyn arvioinnista yhteisissä maankuivatusyrityksissä. Suomen Maanmittariyhdistyksen Aikakauskirja.

Keipi, K. & Kekkonen, O. 1970. Calculations concerning the profitability of forest fertilization. Folia Forestalia 84. 23 s.

Keltikangas, M. & Seppälä, K. 1966. Laskelmia metsäojituksen alueittaisesta edullisuudesta. Suo 1: 1-21.

Keltikangas, M. & Seppälä, K. 1968. Arvioita turvemaiden lannoituksen taloudellisesta edullisuudesta. Suo 19(1): 1-11.

Keltikangas, M. & Seppälä, K. 1973a. Metsäojituksen, metsänlannoituksen ja metsityksen edullisuuden alueittainen vaihtelu. Helsingin Yliopiston metsätalouden liiketieteen laitoksen julkaisuja 11.

Keltikangas, M. & Seppälä, K. 1973b. Metsänlannoituksen edullisuuden vaihtelu. Silva Fennica 7(3): 192-235.

Laakkonen, O. 1994. Toistuvan lannoituksen kannattavuus Etelä-Suomen kivennäismailla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 498. 112 s.

Lauhanen, R. & Ahti, E. 2001. Effects of maintaining ditch networks on the development of Scots pine stands. Suo 52(1): 29-38.

Metsätilastollinen vuosikirja. 2002. Suomen virallinen tilasto. Metsäntutkimuslaitos.

Mikkola, K., Pajuoja, H. & Aarnio, J. 2002. Effect of public financing on the profitability of drainage investments in private forest holdings. Financial Instruments of Forest Policy. Proceedings of the International Conference. EFI proceedings 42: 87-93.

Numminen, E. 1970. Metsäojituksen kannattavuuden alueittainen vaihtelu. Silva Fennica 4(4): 262-275.

Rantala, T. & Moilanen, M. 1993. Nuorten suomänniköiden lannoituksen kannattavuus Pohjois-Pohjanmaalla. Folia Forestalia 821. 20 s.

Saari, E. 1942. Metsäojituksen yksityistaloudellisen edullisuuden määrääminen. Acta Forestalia Fennica 50. 40 s.

Salminen, O. 1984. Ojitetun korpikuusikon kertalannoituksen kannattavuus. Suo 35 (4-5): 127-131.

KORJUUOLOT JA PUUNKORJUU



Vesa Tanttu

5 Korjuuolot ja puunkorjuu

Matti Sirén

Turvemailla kuten kivennäismaillakin puunkorjuun ongelmat keskittyvät ensiharvennuksiin. Metsähallituksen kehittämisjaoston panos turvemaiden puunkorjuun kehittämisessä on ollut mittava. Kehittämistoimintaa johtanut Tore Högnäs (Högnäs 1997) kiteyttääkin ongelman seuraavaan lauseeseen: "Konekehittelyn osalta on syytä muistaa, että turvemaiden puunkorjuun ongelma on taloudellinen eikä tekninen. Kalustoa, jolla voidaan vähin jäljin korjata puuta suolta löytyi kymmenen vuotta sitten ja sitä löytyy tänä päivänäkin. On telamaastureita, moottorikelkkoja jne. Kehittämistyössä tulisi näin ollen painottaa innovaatioita, joilla korjuun talous pysyy kurissa".

Suometsiin soveltuu pääsääntöisesti sama korjuukalusto kuin kivennäismaillekin järeintä päätehakkuukalustoa lukuun ottamatta. Turvemailla on myös erityispiirteensä, jotka tuovat lisänsä korjuun toteutukseen ja suunnitteluun. Seuraavassa esitellään turvemaiden puunkorjuuta koskevaa tutkimustietoa sekä koostetaan tutkimusohjelmaan kuuluneen hankkeen "Turvemaiden puunkorjuun kehittäminen" ja sen kahden Tekesin osarahoittaman rinnakkaishankkeen (Kärhä 2001, Sirén 2002) keskeisiä tuloksia. Myös erityisesti Pohjois-Karjalassa toteutetun suometsien yhteiskehityshankkeen (Niemi ym. 2002a) tuloksia referoidaan.

5.1 Harvennuskertymä ja sen rakenne

Turvemaiden korjuuolot koostuvat kahdesta päätekijästä. Nämä ovat leimikoiden rakenne ja toisaalta turvemaa kulkualustana. Leimikkorakenne sisältää leimikoiden kokojakauman sekä puuston rakenteen, joka on jaettavissa hakkuissa poistettavan ja jäävän puuston runkolukusarjoihin. Turvemaata kulkualustana käsitellään omassa luvussaan, joten siihen ei tässä yhteydessä puututa.

Poistettavien runkojen koko ja hehtaarikohtainen kertymä vaikuttavat keskeisesti puunkorjuun tuottavuuteen ja kustannuksiin. Ensiharvennuksissa pieni runkokoko ja alhainen hehtaarikertymä ovat ongelma. Eeronheimon (1991) mukaan keskimääräinen kertymä turvemaiden harvennuksissa yksityismetsissä oli ainoastaan 29 m^3/ha. Ensiharvennusten korjuuolo-ongelmat eivät koske pelkästään turvemaita. Lilleberg ja Raitanen (1989) selvittivät VMI-tietojen pohjalta Etelä-Suomen harvennusmetsien rakennetta. Ensiharvennusten hehtaarikertymä oli 40,1 m^3 ja poistettavien runkojen keskikoko 51 dm^3. Mäntyvaltaisissa metsiköissä keskimääräinen kertymä oli vain 34,6 m^3.

Sirén ym. (2002) selvittivät ensiharvennusten korjuuoloja kivennäis- ja turvemailla ja vertailivat eri tietolähteiden antamia tuloksia. Pohjois-Pohjanmaan ja Keski-Suomen metsäkeskusten aluesuunnitelmatiedoista selvitettiin ensiharvennusleimikoiden puuston tilavuudet, kertymät ja kuvioiden koot. Häme-Uusimaan, Etelä-Pohjanmaan ja Keski-Suomen metsäkeskusten alueilla ensiharvennusmänniköiden runkolukusarjoja ja kertymän rakennetta mitattiin koealoilta. Koealojen run-

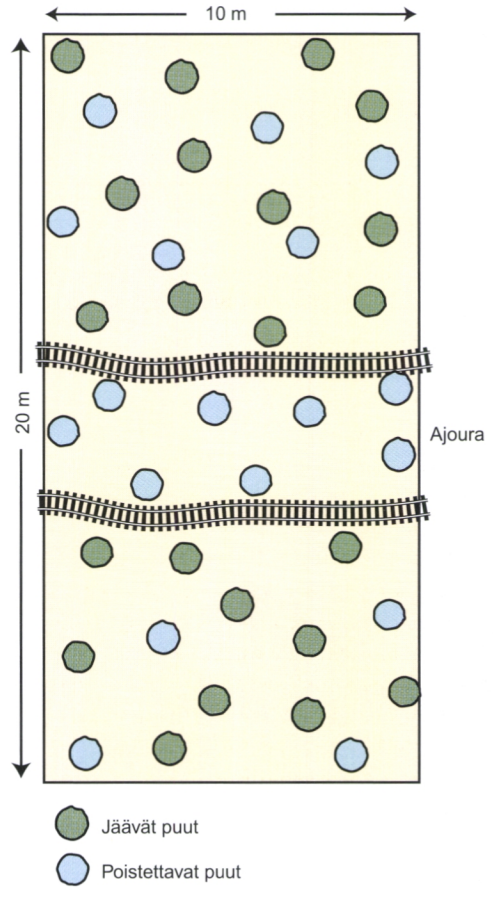
kolukusarjojen vertailuksi laskettiin samojen alueiden VMI-tietoihin perustuvat runkolukusarjat.

Ensiharvennusmänniköiden koealamittausten yhteensä 66 mitatun metsikön otantakehikko muodostui metsäsuunnitelmatiedoissa kiireellisesti ensiharvennettaviksi merkityistä, pääpuulajiltaan mäntyä olevista kivennäismaa- ja rämekuvioista, joissa ei oltu tehty hakkuun ennakkoraivausta. Turvemailta mitattiin yhteensä 15 koealaa, joista 14 sijaitsi Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen ja yksi Häme-Uusimaan metsäkeskuksen alueella. Mitatut turvemaakohteet vastasivat ravinteisuudeltaan kivennäismaiden VT-tyyppiä.

Kultakin kohteelta mitattiin yksi 10 metriä pitkä ja 20 metriä leveä koeala (kuva 1). Turvemailla koealat sijoitettiin siten, että suorakaiteen muotoisen koealan kapea pää oli ojan laidassa, josta koeala lähti saralle päin. Puiden etäisyys lähimmästä ojasta mitattiin. Koealan keskelle rajattiin ohjeleveydeltään neljän metrin ajoura. Ajouraleveys mitattiin SLU-menetelmällä (Björheden & Fröding 1986). Turvemailla tarkka ajouraleveyden määrittäminen on puuston aukkoisuudesta johtuen vaikeaa.

Ajouran ulkopuoliselle alueelle tehtiin kasvatettavien puiden lukumäärään ja rinnankorkeusläpimittaan perustuva laatuharvennuksen mallileimaus, jonka pohjana käytettiin Metsäliitto Osuuskunnan harvennusohjetta (Kasvatusmetsien käsittely… 1999). Taulukossa 1 esitetään tehdyn laatuharvennuksen ja Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion harvennusmallien (Hyvän... 2001) vertailu. Palstalla olevat puut jaettiin poistettaviin ja kasvatettaviin. Ajourapuut puolestaan luokiteltiin poistettaviin puihin ja puihin, jotka ilman ajouraa olisivat kuuluneet kasvatettavaan puustoon.

Aluesuunnitelmissa tulevalle viisivuotiskaudelle ehdotettujen ensiharvennusten jakautumista puuston tilavuusluokkiin (m^3/ha) pinta-alan, puuston ja hakkuukertymän suhteen sekä hehtaarikohtaisia kertymiä tilavuusluokittain turve- ja kivennäismailla esittää kuva 2 (Sirén ym. 2002).



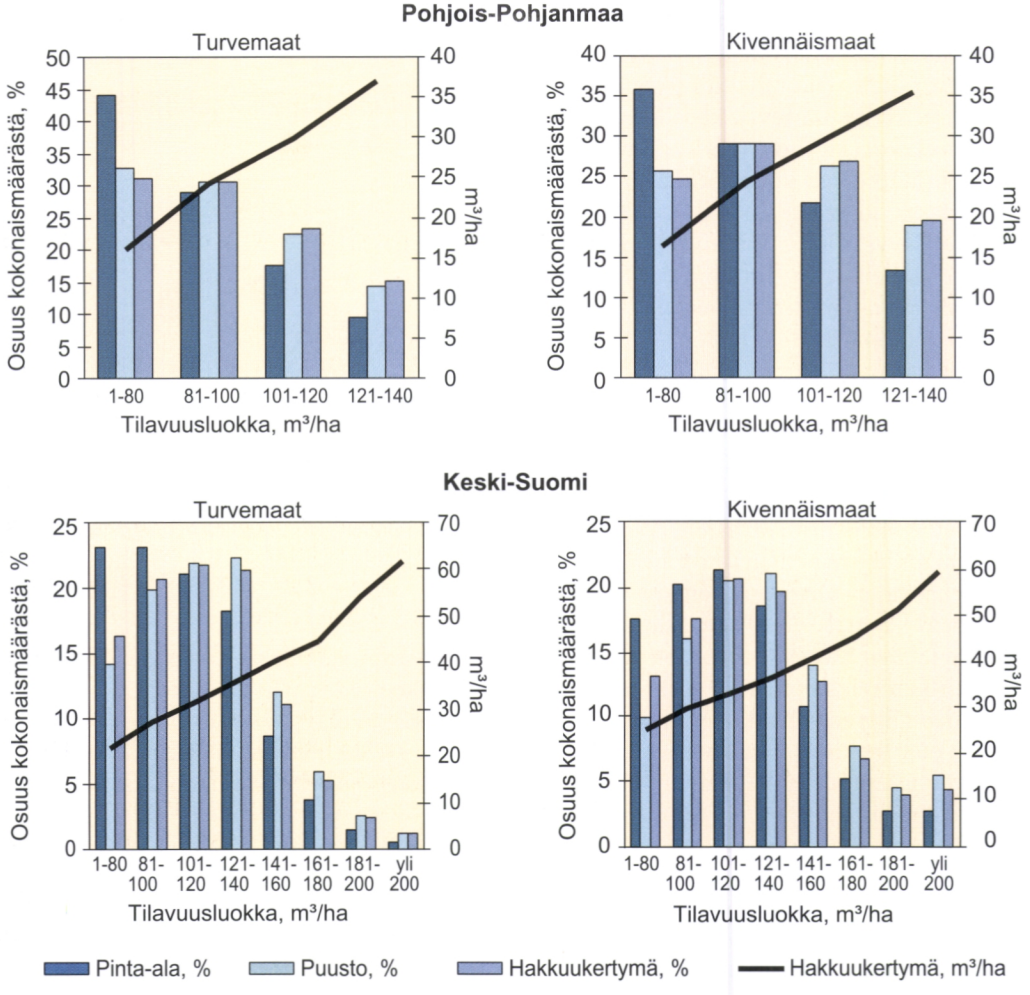
Kuva 1. Sirénin ym. (2002) käyttämä mittauskoeala.

Puulajin vaikutusta kertymään ja puuston tilavuuteen kuvaavat taulukossa 2 esitettävät kertymän ja tilavuuden keskiarvot (Sirén ym. 2002). TASO-metsäsuunnittelujärjestelmässä pääpuulaji määritetään puulajiksi, jonka hyväksi toimenpiteet tehdään tai jonka osuus metsikön puuntuotoksesta ja runkotilavuudesta on suurin (Kinnunen & Ärölä 1993)

Turvemailla kertymät olivat hieman pienemmät kuin kivennäismailla. Pohjois-Pohjanmaan turvemailla lähes 45 % pinta-alasta ja lähes kolmannes hakkuukertymästä kuului tilavuusluokkaan alle 80 m^3/ha, jossa keskimääräinen hehtaarikertymä oli vain hieman yli 20 m^3.

Taulukko 1. Laatuharvennuksen (Kasvatusmetsien käsittely... 1999) ja Tapion harvennusmallien (Hyvän... 2001) männikön runkolukuohjeiden vertailu (Sirén ym. 2002).

Rinnankorkeus lpm, cm		13	15	17	19
Valtapituus, m		13	14	15	16
		Kasvamaan jätettäviä puita/ha			
Mallileimaus	MT, VT	950	850	750	650
Tapion malli	MT	1150-1370	900-1100	730-860	600-720
	VT	1070-1300	850-1010	690-810	560-670



Kuva 2. Tulevalle viisivuotiskaudelle ehdotettujen ensiharvennusten jakautuminen tilavuusluokkiin (m³/ha) pinta-alan, puuston ja hakkuukertymän suhteen sekä hehtaarikohtaiset kertymäarviot tilavuusluokittain Pohjois-Pohjanmaan ja Keski-Suomen metsäkeskusten alueilla (Sirén ym. 2002).

Taulukko 2. Tulevan viisivuotiskauden ensiharvennusten kertymäarviot ja puuston tilavuudet Pohjois-Pohjanmaalla ja Keski-Suomessa.

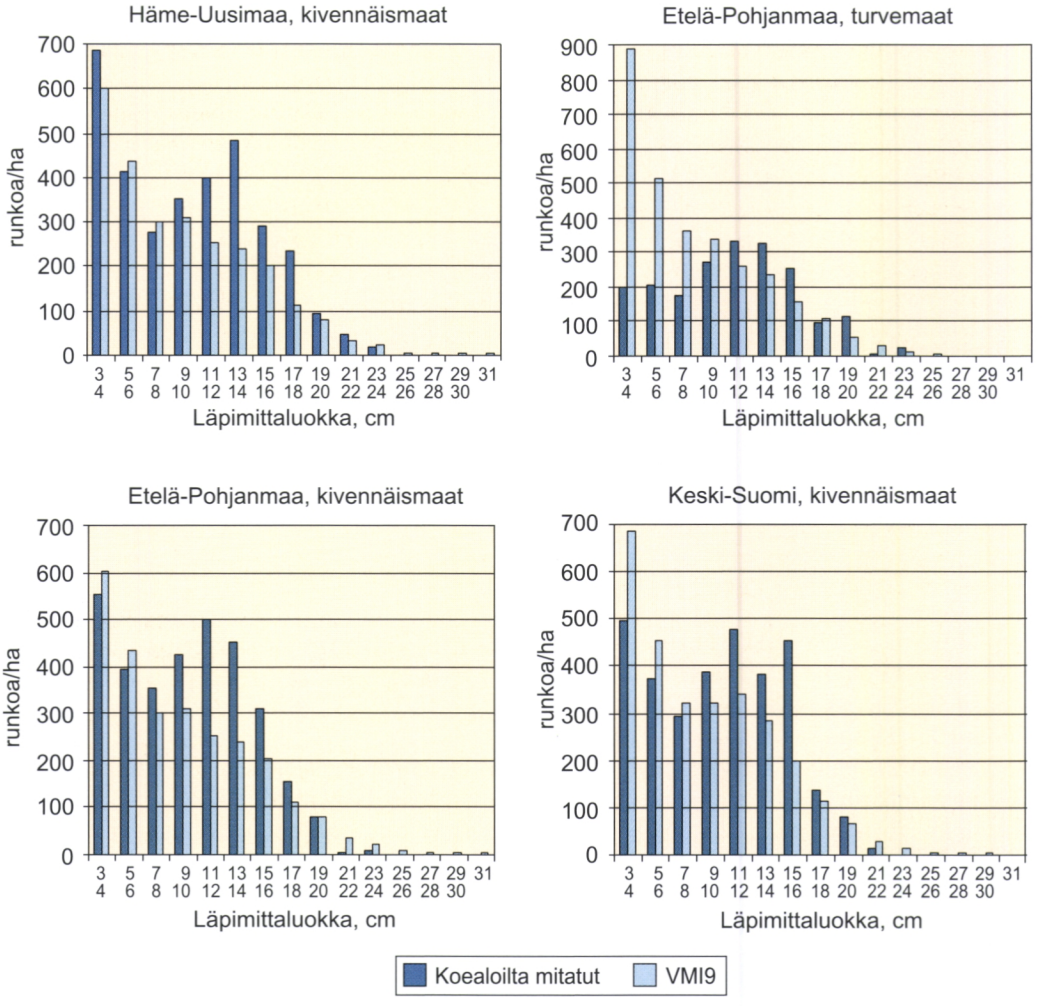
	Pohjois-Pohjanmaa		Keski-Suomi	
	Kertymä m³/ha	Tilavuus m³/ha	Kertymä m³/ha	Tilavuus m³/ha
Turvemaat				
Mänty	22,5	84,6	29,3	105,7
Kuusi	25,6	91,7	31,9	117,7
Lehtipuu	22,3	84,6	34,0	109,6
Kaikki puulajit	22,6	85,9	31,1	108,7
Kivennäismaat				
Mänty	24,1	91,4	33,8	112,8
Kuusi	24,9	96,3	36,5	130,0
Lehtipuu	23,3	91,7	35,5	110,5
Kaikki puulajit	24,0	91,9	34,7	116,7
Metsämaa				
Kaikki puulajit	23,3	88,9	33,9	114,8

Korpilahti ym. (1998) laskivat tilavuus- ja kertymätietoja Pohjois-Karjalan ja Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusten yksityismetsistä. Pohjois-Karjalassa tilavuusluokassa alle 80 m³/ha hehtaarikohtainen kertymä männiköissä oli keskimäärin 23 m³ ja tilavuusluokan osuus männiköiden pinta-alasta oli lähes 20 %. Pohjois-Karjalan mäntyvaltaiset ensiharvennusleimikot jakautuivat tilavuusluokkiin samansuuntaisesti kuin Keski-Suomen kivennäismaiden ensiharvennusleimikot. Etelä-Pohjanmaalla pienten tilavuusluokkien osuudet olivat suuremmat kuin Pohjois-Karjalassa. Hehtaarikertymät Etelä-Pohjanmaalla olivat pienimpiä tilavuusluokkia lukuun ottamatta noin 20 % alemmat kuin Pohjois-Karjalassa. Etelä-Pohjanmaan kertymät olivat kuitenkin hieman suuremmat kuin Sirénin ym. (2002) tutkimuksessa todetut kertymät Pohjois-Pohjanmaalla.

5.2 Ensiharvennusmänniköiden runkolukusarjat

Valtakunnan metsien 9. inventoinnin (VMI9) aineistosta laskettiin runkolukusarjat männiköistä, joihin oli ehdotettu ensiharvennusta tulevan viisivuotiskauden aikana (Sirén ym. 2002). VMI-tulokset laskettiin samoille alueille, joilla koealamittaukset tehtiin. VMI-aineisto käsitti Häme-Uusimaalta 115, Etelä-Pohjanmaalta 260 ja Keski-Suomesta 232 koealaa. Kuvassa 3 esitetään ensiharvennusmänniköiden keskimääräiset runkoluvut ja runkolukusarjat koealamittausten ja VMI-tietojen perusteella (Sirén ym. 2002). Turvemaiden runkolukusarjat laskettiin ainoastaan Etelä-Pohjanmaan alueelle.

Koealoilta mitatut ja VMI-tiedoista lasketut runkolukusarjat erosivat selvästi toisistaan erityisesti runkolukusarjan keskimmäisissä läpimittaluokissa, joissa koealoilta mitatut runkoluvut olivat suuremmat kuin VMI:stä lasketut. Tietolähteiden erot voivat Sirénin ym. (2002) mukaan johtua useista syistä. VMI-tulos perustuu relaskooppimittaukseen. Relaskooppi antaa tarkan tuloksen suurilla puilla, mutta pienten puiden lukumää-



Kuva 3. Koealoilta mitatut ja VMI-aineistoista lasketut ensiharvennusmänniköiden runkolukusarjat (Sirén ym. 2002).

rän arviointi VMI-tiedoista on epätarkkaa. Relaskoopin käyttö ei kuitenkaan selitä VMI-runkolukusarjan keskellä olevaa eroa koealamittauksiin. Korhosen (2001, suull.) mukaan yksi syy eroihin saattaa olla VMI:n luokituksissa. VMI:ssä kaikkia ensimmäisiä harvennuksia ei luokitella ensiharvennuksiksi. Ensiharvennuksiksi luokitellaan ainoastaan kohteet, joiden puusto katsotaan ensiharvennuspuustoksi. Toisaalta koealamittauksessa mitattiin korjuuta odottavia kiireellisiä ensiharvennusleimikoita, jotka saattoivat olla hieman keskimääräistä parempia (Sirén ym. 2002).

Vastaavia eroja tietolähteiden välillä totesivat Korpilahti ym. (1998) verratessaan aluesuunnitelmista ja ympyräkoealoilta mitattuja kertymiä Pohjois-Karjalassa. Kun aluesuunnitelmissa tilavuusluokittaiset kertymäarviot vaihtelivat välillä 23-74 m^3/ha ollen koivulla suuremmat kuin männyllä, männiköiden koealoilta leimatut kertymät olivat 40-70 m^3/ha.

Koeala-aineistosta (Sirén ym. 2002) mitattiin myös aines- ja energiapuuksi kelpaamattoman alikasvoksen määrä. Alikasvos heikentää näkyvyyttä ja vaikeuttaa hakkuuta. Koealoilla rinnankorkeusläpimitaltaan alle 3 cm:n puita oli keskimäärin 3 601 puuta/ha. Pituudeltaan alle puolen metrin puut eivät ole lukumäärässä mukana. Istuttamalla perustettaessa metsiköissä alikasvospuita oli keskimäärin 6 893 kpl/ha, kylvämällä perustetuissa 1 616 puuta/ha ja luontaisesti uudistetuissa 2 055 puuta/ha. Kohteilla, joilla oli tehty taimikonhoito, alikasvosta oli enemmän kuin kohteilla, joilla taimikonhoito oli jäänyt tekemättä. Ero johtui lehtipuiden määrästä, joka hoidetuissa kohteissa oli 1 118 puuta/ha hoitamattomia kohteita suurempi. Kivennäismaiden MT-männiköissä alikasvospuita oli keskimäärin 5 446 puuta hehtaarilla, kivennäismaiden VT-männiköissä 2 812 puuta ja turvemailla keskimäärin 3 475 puuta hehtaarilla.

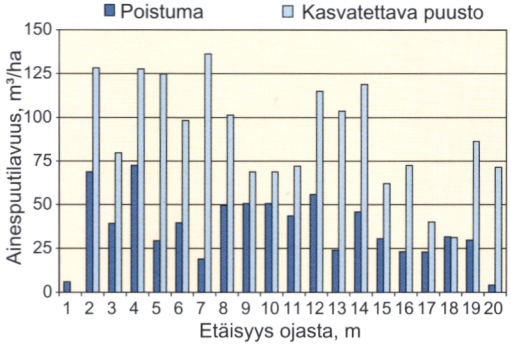
5.3 Puuston jakautuminen

Ojitetuilla turvemailla puusto keskittyy usein ojien varsille. Viiden metrin vyöhykkeellä ojan keskeltä harvennuskertymä pinta-alayksikköä kohden saattaa olla kaksinkertainen saran keskiosiin verrattuna. Turvemaiden puustoissa esiintyy systemaattista vaihtelua, mutta laajoilla suoalueilla esiintyy myös vähemmän säännönmukaista puuston epätasaisuutta (Pohjola 1983). Vähäpuustoiset alueet tulisikin rajata käsittelyn ulkopuolelle (Högnäs 1985b).

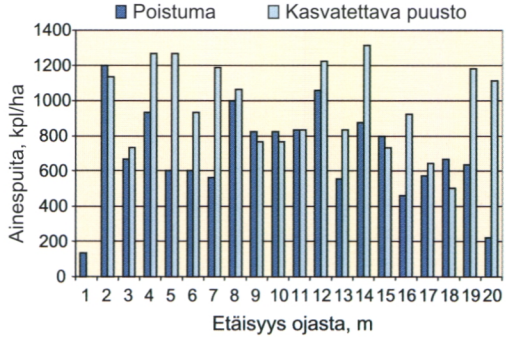
Ensiharvennusten korjuuolojen koealamittausaineistosta selvitettiin myös puuston jakautumista (Sirén ym. 2002). Mittauskohteilla sarkaleveys vaihteli välillä 27-53 metriä ollen keskimäärin 40 metriä. Kuvissa 4 ja 5 esitetään jäävä puusto ja poistuma (m^3/ha ja runkoa/ha) eri etäisyyksillä lähimmästä ojasta ilman ajouria tehdyssä laatuharvennuksen mallileimauksessa.

5.4 Leimikoiden koko

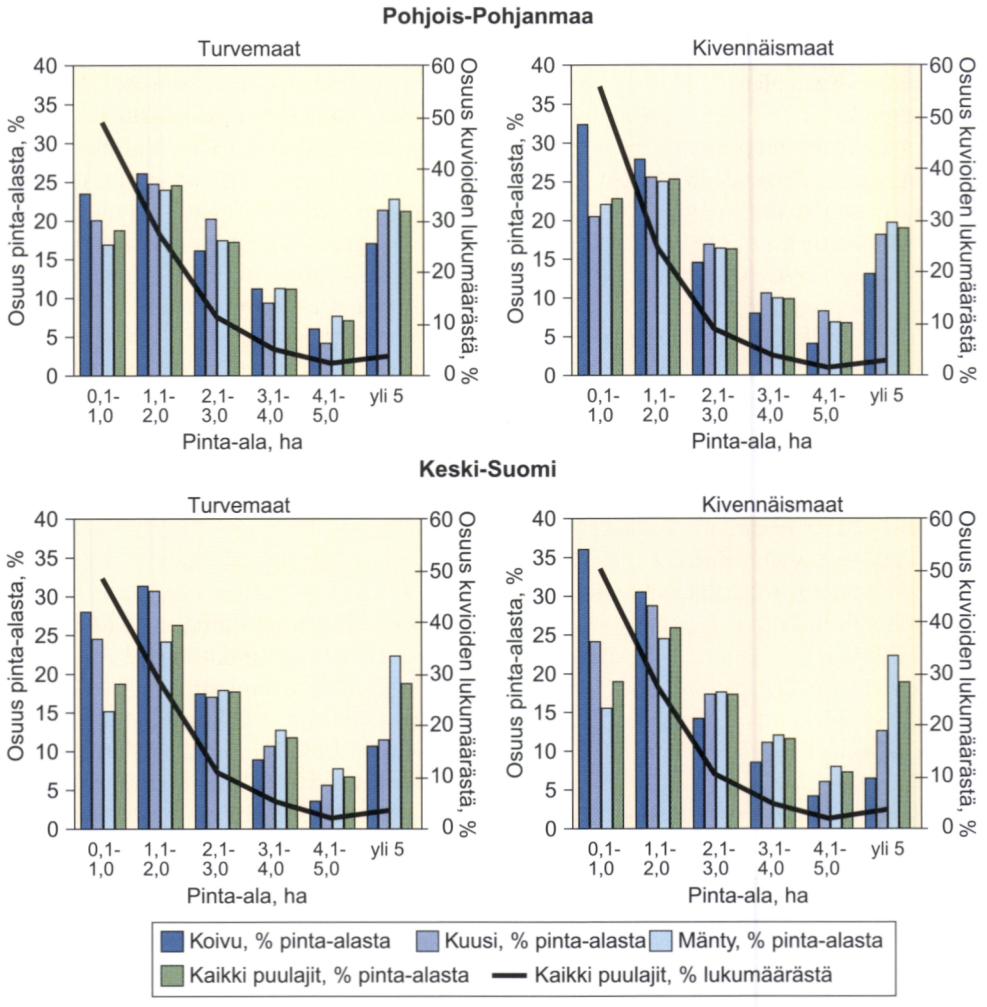
Aluesuunnitelmien perusteella Pohjois-Pohjanmaalla kuvioiden keskikoko oli turvemailla 1,6 ha ja kivennäismailla 1,4 ha. Keski-Suomen turve- ja kivennäismailla kuvioiden keskikoko oli 1,6 ha. Keskimääräisen ensiharvennuskuvion kokonaiskertymä Pohjois-Pohjanmaalla oli 35,8 m^3 ja Keski-Suomessa 52,8 m^3. Näin pienillä kertymillä edellytykset kustannustehokkaaseen puunkorjuuseen ilman leimikkokeskityksiä ovat huonot (Sirén ym. 2002).



Kuva 4. Poistettavan ja kasvatettavan ainespuuston määrän (m^3/ha) jakautuminen metrin levyisille vyöhykkeille lähimmän ojan reunasta lukien laatuharvennuksessa ilman ajouraa.



Kuva 5. Poistettavan ja kasvatettavan ainespuuston määrän (kpl/ha) jakautuminen metrin levyisille vyöhykkeille lähimmän ojan reunasta lukien laatuharvennuksessa ilman ajouraa.



Kuva 6. Eri kokoisten kuvioiden suhteelliset osuudet ensiharvennuspinta-alasta sekä kuvioiden lukumäärästä. Pinta-alaosuudet esitettynä myös metsikön pääpuulajeittain (Sirén ym. 2002).

Alle hehtaarin kokoisten kuvioiden osuus ensiharvennusten kokonaispinta-alasta oli samaa suuruusluokkaa kuin yli 5 hehtaarin kuvioiden osuus. Kokoluokan osuus kuvioiden lukumäärästä kuvaa leimikoiden kokojakaumaa ehkä pinta-alaosuutta paremmin. Ensiharvennuskuvioiden kokoluokkien osuudet kokonaispinta-alasta ja kuvioiden lukumäärästä kivennäismailla ja turvemailla esitetään kuvassa 6.

5.5 Turvemaiden leimikoiden korjuukelpoisuus

Ylimartimon ym. (2001) mukaan suometsien hakkuumahdollisuuksista esitetyt arviot vaihtelevat laskentamenetelmistä riippuen. Suuralueen hakkuumahdollisuuksia on arvioitu joko valtakunnan metsien inventoinnin suunnitteen perusteella (esim. Kuusela ja Sal-

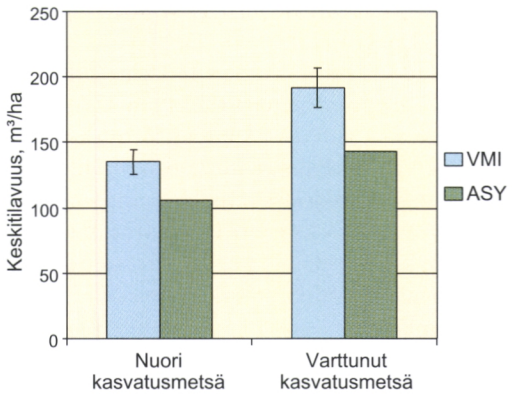
minen 1991), MELA-järjestelmällä valtakunnan metsien inventointiaineistoihin perustuvien laskelmien perusteella (esim. Nuutinen ym. 2000) tai yksityismetsien alueellisen suunnittelun (ASY-suunnite) hakkuumahdollisuusarvioina (esim. Metsä 2000 –ohjelman... 1985, Pesonen ja Soimasuo 1998). VMI-aineistoihin perustuva hakkuumahdollisuusarvio on yleensä ollut suurempi kuin samalle alueelle laskettu ASY:n mukainen hakkuumahdollisuusarvio. Ero on ollut jopa 20-30 % (Metsä 2000 –ohjelman... 1985). Osa käytännön puunhankinnasta vastaavista on epäillyt VMI:n perusteella arvioitua suometsien ensiharvennustarvetta ylimitoitetuksi, koska myytäväksi tarjotaan tavoitteita selvästi vähemmän ensiharvennuskohteita. Syyksi on arveltu mm. sitä, että VMI:n koealakuvioilla esitetään ensiharvennusta silloinkin, kun kohde ei käytännössä ole korjuukelpoinen (Ylimartimo ym. 2001).

Ylimartimo ym. (2001) selvittivät VMI:ssa ensiharvennuskohteiksi määritettyjen kohteiden korjuukelpoisuutta ojitetuilla turvemailla. Lisäksi verrattiin keskenään aluesuunnitelmissa esitettyjä ensiharvennustavoitteita ja VMI:ssa todettuja ensiharvennustarpeita metsikkökuvio- ja suuraluetasolla. Tutkimuksen aineisto koostui VMI-, aluesuunnitelma- ja maastomittaustiedoista Pohjois-Savossa.

Suuraluetasolla VMI:n mukainen ensiharvennustarve ojitetuilla turvemailla oli 14 100 ha ja ASY:n mukainen 15 900 ha. Eri menetelmien mukaiset arviot vastasivat hyvin toisiaan, kun otetaan huomioon VMI-estimaatin keskivirhe. Sen sijaan kehitysluokkien keskitilavuudet arvioitiin VMI:ssä huomattavasti suuremmiksi kuin ASY:ssa (kuva 7). Syyt keskitilavuusarvioiden eroihin löytyvät todennäköisesti mittaus- ja laskentamenetelmistä. VMI:n tilavuustiedot perustuvat yksittäisten puiden mittauksiin, aluesuunnitelmatiedot taas kuviotasolla silmävaraisesti arvioituihin puuston keskitunnuksiin. Eroja saattaa aiheuttaa myös metsäsuunnittelussa usein noudatettava varovaisuusperiaate, jolloin metsikön tilavuus tarkoituksella arvioidaan todellista pienemmäksi. Hakkuun kiireellisyyden osalta eri tietolähteet sen sijaan vastasivat hyvin toisiaan (Ylimartimo ym. 2001).

Korjuukelpoisuuden määrittämiseksi Ylimartimo ym. (2001) muodostivat aineistona olleista VMI-koealakuvioista leimikoita, joiden pinta-ala vakioitiin 5 hehtaariin ja metsäkuljetusmatkana käytettiin maastossa mitattua keskimääräistä metsäkuljetusmatkaa. Kohde määriteltiin korjuukelpoiseksi, mikäli laskennalliset puunkorjuun yksikkökustannukset koneellisessa hakkuussa olivat enintään 10 €/m³ ja miestyöhakkuussa vastaavasti 15 €/m³. Metsäkuljetuksessa kustannusrajana oli 4,2 €/m³. Rajat asetettiin metsäteollisuuden ja Metsähallituksen vuonna 1998 tekemien ensiharvennusten yksikkökustannusten perusteella. Toisena korjuukelpoisuusmittarina käytettiin ainespuun hehtaarikertymää, jonka vähimmäisvaatimukseksi asetettiin 35 m³. Korjuukustannukset laskettiin hakkuun ja metsäkuljetuksen tuotosfunktioiden ja koneiden tuntikustannusten perusteella. Metsurikorjuun kustannuslaskennassa käytettiin työmenetelmä-, puu-, ja puutavaralajikohtaisia tuotosfunktioita. Työmenetelmänä käytettiin tavaralajimenetelmää.

Kohteista ainoastaan 6 % alitti koneelliselle hakkuulle ja 21 % metsurikorjuulle asetetun kustannusrajan. Korjuun laskennalliset kustannukset ylittivät korjuukelpoisuusrajana olleen kustannustason koneellisella korjuuketjulla keskimäärin 7,6 €/m³ ja metsurikorjuussa 4,0 €/m³. Puunkorjuun keskimääräiset yksikkökustannukset olivat koneellista hakkuuta käytettäessä 19,5 €/m³ ja metsurikorjuussa 22,2 €/m³. Koneellinen hakkuu oli edullisempi vaihtoehto rungon koon ylittäessä 60 dm³. Kertymän ollessa alle 20 m³/ha metsurikorjuu oli koneellista korjuuta edullisempi. Kun korjuukelpoiseksi katsottiin kohde, jonka hakkuukertymä ylitti 35 m³/ha, ehdon täytti 38 % kohteista. Eniten kohteita oli kertymäluokassa 10-19 m³/ha, ja keskimääräisen hehtaarikertymän oli 31 m³ (Ylimartimo ym. 2001).



Kuva 7. Kehitysluokittaiset keskitilavuudet turvemaiden kasvatusmetsissä Pohjois-Savossa VMI- ja aluesuunnitelmatietojen mukaan. VMI:n estimaatin 68 %:n luottamusväli on esitetty pystyjanalla (Ylimartimo ym. 2001).

5.6 Korjuukelpoisuuden parantamismahdollisuudet

5.6.1 Metsänomistajien ja puunostajien yhteistyö

Suometsien uudisojitukset ja peruslannoitukset hoidettiin 1960- ja 1970-luvuilla yhteishankkeilla. Nykyisin metsänomistajien välinen yhteistoiminta on verraten vähäistä, vaikka suometsissä ojituksen ja puunkorjuun kannalta järkevän hankkeen aikaansaaminen edellyttää tavallisesti usean tilan yhteistoimintaa. Yhteistyön avulla suometsien taimikonhoidot, nuorten metsien harvennukset, harvennushakkuut, lannoitukset, kunnostusojitukset ja kulkuyhteyksien parantamiset voidaan toteuttaa samanaikaisesti yhdessä naapuritilojen tai saman tiesuunnan tilojen kanssa. Suometsät saadaan hoidettua kerralla kuntoon mahdollisimman järkevästi ja vähäisin kustannuksin yhteistoiminnan mahdollistaessa töiden ketjuttamisen. Yhteishankkeiden tavoitteena voidaan pitää sitä, että kunnostetuille alueille tarvitsee mennä suorittamaan metsänhoitotöitä tai hakkuita seuraavan kerran vasta 15-20 vuoden kuluttua (Laukkanen ym. 2002). Yhteishankkeiden edut eivät rajoitu ainoastaan suometsiin. Tanttu ym. (2002b) ovat todenneet metsänomistajien yhteistyön parantavan energiapuun talteenoton mahdollisuuksia, lisäävän korjuukelpoista energiapuukertymää ja alentavan talteenoton kustannuksia.

Laukkasen ym. (2002) mukaan yhteishankkeista hyötyvät kaikki osapuolet. Suometsät saadaan hyvään kasvukuntoon ja leimikot menevät hyvin kaupaksi suuremman leimikkokoon ansiosta. Kuitenkin vasta laajemmat yhteishankkeet kannustavat puunkorjuuorganisaatioita panostamaan suometsien korjuuseen. Puunkorjuu voidaan tällöin suorittaa tarkoitukseen parhaiten soveltuvalla kalustolla. Yhteishankkeet parantavat tätä kautta myös kevyellä korjuukalustolla toimivien koneyrittäjien toimintaedellytyksiä. Keskitetyt kunnostustoimenpiteet puolestaan alentavat lannoituksen ja kunnostusojituksen kustannuksia. Metsäkeskuksille, metsänhoitoyhdistyksille ja metsäpalveluyrittäjille suometsäyhteistyö puolestaan tarjoaa työtilaisuuksia. Yhteishankkeissa myös vesiensuojelu voidaan hoitaa tehokkaasti.

Teollisuuden puustamaksukyky turvemailla on usein alhaisempi kuin kivennäismailla. Puumarkkinatilanne on mäntykuitupuuvaltaisten suoharvennusten kannalta ajoittain niin epäedullinen, ettei leimikoille ole riittävästi kysyntää. Kun korjuukustannukset ovat usein korkeat, metsänomistajien ei tulisi asettaa suometsistä saatavalle puulle liian suuria hintaodotuksia. Hankkeiden yhteydessä toteutettavat yhteismyynnit voivat kariutua myös metsänomistajien keskinäisiin näkemyseroihin. Osakastilojen erilaiset tavoitteet puukaupan ajankohdan ja korjuumenetelmien osalta saattavat myös vaikeuttaa yhteismyyntien käytännön toteuttamista (Laukkanen ym. 2002).

Metsänomistajat ovat halukkaita yhteishankkeisiin. Jormanaisen (1999) haastattelemista pohjois-karjalaisista metsänomistajista noin 80 % oli halukkaita yhteismyynteihin ja lähes kaikki olisivat osallistuneet yhteisiin kunnostusojitushankkeisiin. Yhteistyöhaluk-

kuus ei ollut riippuvainen metsänomistajan tilakoosta. Metsänomistajien yhteistyöhalukkuuden ja samalla metsänhoitoyhdistysten keskeisen roolin nuorten metsien hoidon tietolähteenä totesivat myös Tanttu ym. (2003) selvittäessään metsänomistajien asenteita yhteistyöhön energiapuun talteenotossa.

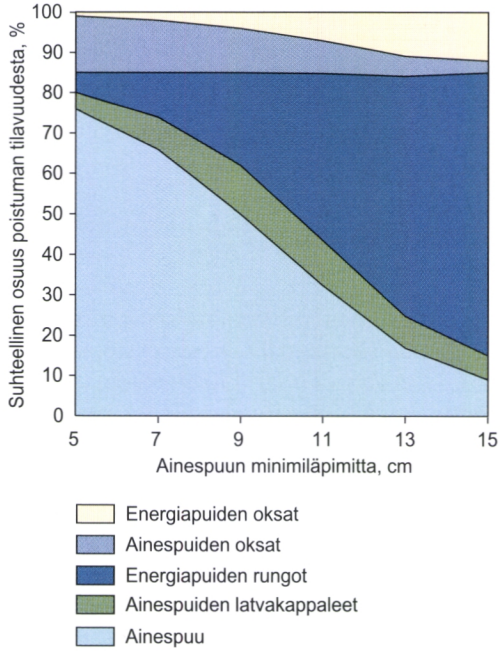
Vaikka metsäammattilaiset suhtautuvat yhteishankkeisiin pääosin myönteisesti, lähes viidennes metsänhoitoyhdistysten toimihenkilöistä piti yhteishankkeita käytännössä mahdottomina. Metsähallituksen toimihenkilöistä kolmasosa ei nähnyt mitään tarvetta yhteishankkeisiin. Metsäkeskuksen ja metsäteollisuuden edustajat näkivät poikkeuksetta tarvetta yhteishankkeisiin ja myös uskoivat hankkeiden käytännön mahdollisuuksiin (Jormanainen 1999).

Laukkasen ym. (2002) mukaan yhteishankkeita on Pohjois-Karjalassa perustettu tähän mennessä jo toistakymmentä kappaletta. Metsänomistajien mielestä yhteistyö on ollut hyvä tapa toimia, eikä negatiivista palautetta ei ole juuri tullut. Yhteishankkeiden hyvinä puolina on pidetty puunmyynnin ja kunnostustoimenpiteiden toteutusten helppoutta. Joillakin tiloilla suometsien kunnostamiseen ei olisi ryhdytty ilman yhteishankkeita. Metsäorganisaatioiden näkökulmasta kokemukset yhteishankkeista ovat tuoneet esille myös kehittämistarpeita, sillä metsäorganisaatioilla ei ole ollut tähän asti selkeätä toimintakulttuuria suometsien kunnostamiseksi. Yhteistyömallin toteuttaminen on hämmentänyt monia toimijoita, ja osa metsäammattilaisista on suhtautunut yhteishankkeisiin vastustavasti. Näkyvin tuki yhteishankkeille on tullut metsä- ja kaivinkoneyrittäjien taholta, jotka luultavasti myös hyötyvät eniten suometsien parantuneista työolosuhteista. Puunkorjaajat toivovat erityistä tarkkuutta suometsien leimikoiden rajaukseen. Korjuukelvottomia alueita ei saa olla mukana. Puunostajien näkökulmasta katsottuna yhteishankkeiden hakkuukertymän optimikoko on 500-2000 m^3. Ennakkoraivaus ja riittävät hehtaarikohtaiset hakkuukertymät (35-40 m^3/ha) mahdollistavat kustannustehokkaan puunkorjuun.

5.6.2 Kuitupuun minimiläpimitan alentaminen

Kuitupuun minimiläpimittta vaikuttaa merkittävästi kertymään. Kuva 8 (Tanttu ym. 2002a) esittää ainespuun minimiläpimitan vaikutusta poistuman jakautumiseen aines- ja energiapuuositteisiin ensiharvennusmänniköissä. Aineistossa on mukana sekä turveettä kivennäismaiden männiköitä.

Minimiläpimitan alentaminen lisää kertymää, mutta vaikuttaa samalla korjuukustannuksiin. Ylimartimo ym. (2001) tarkastelivat kuitupuun läpimitan alentamisen vaikutusta korjuukelpoisuuteen pohjois-savolaisilla turvemaiden ensiharvennuksilla. Läpimitan alentaminen 7 cm:stä 5 cm:iin nosti ainespuuna korjattavien runkojen lukumäärän keskimäärin 1,5-kertaiseksi ja ainespuukertymä kasvoi 6 m^3/ha (19 %). Korjattavan ainespuurungon keskikoko kuitenkin pieneni 31 %. Minimilä-



Kuva 8. Ainespuun minimiläpimitan vaikutus poistuman jakautumiseen aines- ja energiapuuositteisiin (Tanttu ym. 2002a).

pimitan alentaminen alensi koneellisen hakkuun laskennallista tuottavuutta 16 % ja nosti hakkuun kustannusta keskimäärin 7 %. Kun kuitenkin metsäkuljetuksen kustannukset laskivat suuremman kertymän myötä 3 %, läpimitan alentaminen lisäsi korjuuketjun yksikkökustannuksia 5 %. Minimiläpimitan alentaminen ei korjuukustannusten kannalta ole järkevää ainakaan tilanteessa, jossa kuitupuuta on teollisuuden tarpeisiin riittävästi saatavilla.

Korpilahden ym. (1995) mukaan läpimitan alentaminen nostaisi kustannuksia myös puun kuidutusprosessissa lisäämällä puunkulutusta ja hävikkiä. Ensisijaisesti tulisikin pyrkiä parantamaan massan laadun hallintaa, jolloin ensiharvennuspuun hyvät ominaisuudet saataisiin hyödynnettyä nykyistä tarkemmin ohjaamalla jokainen puuerä sille parhaiten sopivaan käyttötarkoitukseen. Kuitupuun laatulajittelu voisi olla keino ensiharvennuspuun ominaisuuksien tehokkaaseen hyödyntämiseen (Bjurulf & Spångberg 1994).

Ainespuun läpimitta vaikuttaa myös energiapuun korjuuseen ja energiapuupotentiaaliin. Kuitupuun minimiläpimitan alentaminen johtaisi metsähakkeen tuotantokustannusten kasvuun kertymän ja käsiteltävien puiden keskikoon pienentymisen myötä.

5.6.3 Aines- ja energiapuun integroitu korjuu

Ylimartimo ym. (2001) tutkivat aines- ja energiapuun korjuun integroinnin vaikutuksia turvemaakohteiden korjuukelpoisuuteen. Integroidussa korjuussa ainespuu korjattiin samalla menetelmällä kuin tavanomaisessa ainespuun korjuussa. Energiapuuna korjattiin rinnankorkeusläpimitaltaan yli 4 cm:n mutta alle ainespuukokoiset rungot latvuksineen. Työmenetelmänä käytettiin siirtelykaatoa. Aines- ja energiapuun integroidussa korjuussa energiapuuta korjattiin leimikolta keskimäärin 65 m^3, ja suurimmillaan energiapuun määrä oli yli nelinkertainen ainespuun määrään verrattuna. Energiapuulle ei laskettu kantohintaa eikä myöskään mahdollisia korjuuavustuksia. Kun energiapuun laskennallisiin korjuukustannuksiin lisättiin haketus- ja kaukokuljetuskustannukset, keskimääräinen käyttöpaikkakustannus oli 12,6 €/MWh. Puupolttoaineen hankinta aineistona olleilta turvemaakohteilta ei ollut kilpailukykyistä, kun kannattavuusrajana pidettiin käyttöpaikkakustannusta 7,6 €/MWh. Metsänomistajien kantohintavaatimukset energiapuulle heikentäisivät energiapuun kilpailukykyä entisestään (Määttä & Pesonen 1998).

Energiapuun korjuuta turvemailta rajoittavat myös ravinnetalouteen ja korjuujälkeen liittyvät kysymykset. Biomassan talteenottoasteen vaikutuksista suopuustojen kasvuun ei ole kokeellista tutkimustietoa. Ravinnetasetarkastelujen avulla on kuitenkin arvioitu puunkorjuun vaikutuksia turvemaiden puuntuotokseen pitkällä aikavälillä. Harvennuksissa ainespuun korjuussa poistuvat typpi- ja fosforimäärät ovat suhteellisen pieniä pintaturpeen ravinnevarastoihin verrattuna, eikä ainespuun korjuu vaaranna näiden ravinteiden saatavuutta. Kaliumin ja boorin osalta tilanne on toinen. Kokopuun korjuussa kasvupaikalta poistuu jopa puolet kaliumin ja boorin kokonaismäärästä (Kaunisto & Paavilainen 1988). Turvemaiden päätehakkuissa jo ainespuunkin korjuussa poistuu huomattava osa pintakerroksen kaliumista ja boorista. Hakkuutähteiden talteenotto turvemaiden päätehakkuilta ja kokopuuna korjuu harvennuksissa eivät turvemailla ole perusteltuja ravinnesyistä (Mälkönen ym. 2001). Turvemailla energiapuun korjuu kokopuuna saattaa vaikuttaa myös korjuujälkeen, sillä ajourille ei tällöin saada kantavuutta parantavaa havutusta.

5.6.4 Leimaus- ja ajouravaihtoehdot

Poistettavien runkojen koko ja hehtaarikohtainen harvennuskertymä vaikuttavat korjuukustannuksiin. Lillebergin (1991) mukaan korjuutyön tuottavuutta voidaan parantaa muuttamalla ensiharvennusmetsien käsittelyä. Harvennustavan vaikutusten selvittämi-

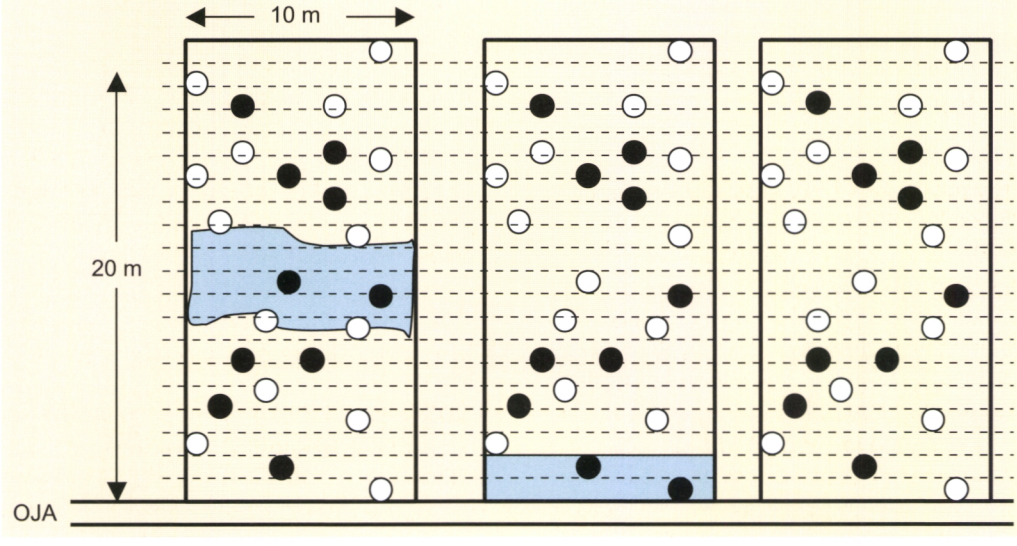
seksi Lilleberg (1991) vertaili ensiharvennusmänniköissä seuraavia vaihtoehtoja:

1. Lievä alaharvennus, jossa poistettiin noin 25 % runkoluvusta.
2. Voimakas alaharvennus, jossa poistettiin noin 45 % runkoluvusta.
3. Laatupainotteinen harvennus, jossa noin 35 % runkoluvusta poistettiin. Poistumasta 75 % oli alaharvennusta ja 25 % yläharvennusta.

Hakkuuvaihtoehtoina tutkittiin sekä yksinpuinettä joukkokäsittelyä. Harvennusvoimakkuus (vaihtoehdot 1 ja 2) vaikutti selvästi koneellisen hakkuun ajanmenekkiin sekä yksinpuinettä joukkokäsittelyssä. Harvennusvoimakkuuden lisääminen 25 %:sta 45 %:iin runkoluvusta pienensi hakkuun ajanmenekkiä yksinpuinkäsittelyssä 15 % ja joukkokäsittelyssä 17 %. Laatupainotteinen harvennus vaikutti hakkuutyön ajanmenekkiin harvennusvoimakkuuden lisäämistäkin enemmän, sillä ajanmenekki lievään alaharvennukseen verrattuna oli yksinpuinkäsittelyssä 35 % ja joukkokäsittelyssä 25 % pienempi.

Huomattava osa harvennuskertymästä saadaan ajourilta. Ajourien vuoksi optimaalisesta puuvalinnasta poiketaan koneiden vaatiman työtilan vuoksi. Ajouraleveys ja -väli vaikuttavat ajourilta saatavaan kertymään ja myös ajourien takia menetettyjen laatupuiden määrään. Turvemailla puusto jakautuu usein epätasaisesti, ja ajourien sijoittelu saattaa vaikuttaa ajourilta saatavaan kertymään ja kasvatettavaan puustoon enemmän kuin kivennäismailla.

Ajourien sijoittelun vaikutusta selvitettiin ensiharvennusten korjuuolojen koeala-aineiston turvemaakohteilla (Sirén ym. 2002). Laatuharvennusleimauksessa puut luokiteltiin seuraaviin luokkiin: (1) poistettava puu palstalta, (2) kasvatettava puu palstalta, (3) ajourapuu, joka ilman uraa kasvatettava, (4) ajourapuu, joka ilman ajouraakin olisi poistettava. Kustakin puusta mitattiin etäisyys ojan reunaa yhden metrin levyisissä vyöhykkeissä. Puiden leimaus- ja ojaetäisyystietojen perusteella kustakin koealasta tehtiin kolme erilaista leimausvaihtoehtoa (kuva 9).



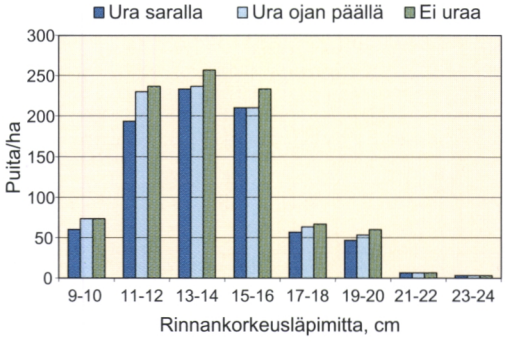
Kuva 9. Sirénin ym. (2002) aineistosta lasketut leimausvaihtoehdot: ajoura saralla (vasemmalla), ajoura ojalinjalla (keskellä) ja ei ajouraa (oikealla).

Taulukko 3. Ainespuukertymä ja kasvatettava ainespuusto eri leimausvaihtoehdoilla.

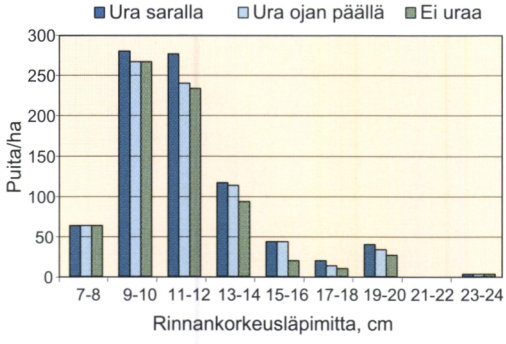
	Kertymä			Kasvatettava puusto		
	puuta/ha	m^3/ha	dm^3/puu	puuta/ha	m^3/ha	dm^3/puu
Ura saralla	843	49,0	58	809	76,4	94
Ura ojan päällä	776	43,7	56	876	81,6	93
Ei uraa	716	37,2	52	936	88,2	94

Vaihtoehdossa 1 koealalle leimattiin keskikokoiselle metsäkoneelle kulkukelpoinen ajoura 10 metrin päähän ojan reunasta. Ajouraleveys oli keskimäärin 430 cm. Vaihtoehdossa 2 ajoura sijoitettiin ojan päälle, jolloin ajouraleveys oli sama kuin kunnostusojituksessa avattavan ojalinjan leveys eli noin 480 cm. Sarkaleveys oli keskimäärin 40 metriä, joten ajouraväli vaihtoehdossa 1 oli tällöin 20 metriä ja vaihtoehdossa 2 vastaavasti 40 metriä. Vaihtoehdossa 2 hakkuussa käytetään hakkuu-uramenetelmää, jossa pieni hakkuukone työskentelee kahdella hakkuu-uralla metsäkuljetusurien välissä. Kapeiden hakkuu-urien ei oleteta vaikuttavan puuston tilajärjestykseen. Kolmantena vaihtoehtona (vaihtoehto 3) on ajouraton vaihtoehto, mikä sekin on teoriassa mahdollinen kaikkein pienimpiä koneita käytettäessä.

Taulukossa 3 esitetään ainespuukertymän ja jäävän puuston määrät eri vaihtoehdoilla. Ajouran sijaitessa saralla harvennuskertymä oli 39 % leimikon ainespuutilavuudesta, uran sijaitessa ojan päällä 35 % ja ajourattomassa vaihtoehdossa vastaavasti 30 %. Ajourien alta joudutaan poistamaan myös sellaisia puita, jotka selvästi kuuluisivat kasvatettavaan puustoon. Ajourien vuoksi poistettuja selvästi kasvatettaviksi arvioituja puita oli uran sijaitessa saralla 126 puuta hehtaarilla (11,8 m^3/ha) ja uran sijaitessa ojan päällä vastaavasti 60 puuta hehtaarilla (6,6 m^3/ha). Jäävän puuston ja poistuman runkolukusarjat eri ajouravaihtoehdoissa esitetään kuvissa 10 ja 11.



Kuva 10. Harvennuksessa kasvamaan jätettävän puuston runkolukujakauma eri leimausvaihtoehdoissa.



Kuva 11. Harvennuksessa poistettavan puuston runkolukujakauma eri leimausvaihtoehdoissa.

5.6.5 Taimikonhoito ja ennakkoraivaus

Perussyynä huonoihin korjuuoloihin on usein taimikonhoidon laiminlyönti. UPM-Kymmenen entinen metsänhoitopäällikkö Fred Kalland antaakin seuraavan reseptin suometsien kasvatukseen. Taimikonhoito tehdään verraten myöhään, taimikon pituuden ollessa 5-7 metriä. Kasvamaan jätetään noin 1600 runkoa hehtaarille. Ensiharvennus saa odottaa 16 metrin valtapituuteen saakka. Ensiharvennus tehdään voimakkaana, jolloin saadaan riittävä kertymä. Ensiharvennus jää myös ainoaksi toimenpiteeksi ennen päätehakkuuta (Kalland 2000).

Samantyyppisen ohjeen antoi Harvennushakkuiden taloudellinen… (1992), jonka mukaan ensiharvennuksen korjuuoloja voidaan parantaa suorittamalla voimakas taimikonhoito 4-6 metrin valtapituudessa. Tällöin ensiharvennus on mahdollista siirtää noin 13 metrin valtapituuteen. Hynysen ja Saramäen (1995) mukaan männikön ensiharvennus on mahdollista siirtää 17,5 metrin valtapituuteen saakka ilman, että puuston kasvu kärsii tai latvukset supistuvat liiaksi. Ensiharvennuksen siirto merkitsee kasvavaa hehtaarikertymää ja järeyttä sekä alenevia korjuukustannuksia.

Myös Ylimartimon ym. (2001) tutkimuksessa todettiin metsänhoitotöiden myönteinen vaikutus korjuukelpoisuuteen. Kohteilla, joilla taimikonhoito oli tehty, rungon koko oli 17 dm^3 ja ainespuukertymä 6 m^3/ha suurempi kuin hoitamattomilla kohteilla. Hoidetuilla kohteilla korjuukustannukset olivat koneellisessa korjuussa 0,85 €/m^3 ja miestyönä tehdyssä korjuussa 0,34 €/m^3 alemmat kuin hoitamattomilla. Vaikka oli taimikonhoitotyöt oli tehty 70 %:lla kohteista, niin keskimääräiset korjuukustannukset jäivät silti korkeiksi.

Ylimartimo ym. (2002) selvittivät korjuukelpoisuusaineistosta myös ennakkoraivauksen vaikutuksia. Ennakkoraivauskustannus laskettiin metsäalan työehtosopimuksen uudistusalan raivauksen urakkahinnoittelun mukaan (Metsäalan palkkaus 1999). Raivauskustannus laskettiin kohteille, joilla alikasvospuuston määrä ylitti 500 kpl/ha. Ennakkoraivaus lisäsi korjuukustannuksia keskimäärin 1,35 €/m^3.

Lilleberg (1991) tutki alikasvoksen raivauksen ja rinnankorkeusläpimitaltaan alle 7 cm puiden kaadon vaikutusta hakkuukoneen ajanmenekkiin ensiharvennusmänniköissä, joissa alikasvosta oli keskimäärin 1700 runkoa hehtaarilla. Ennakkoraivaus paransi hakkuun tuottavuutta 11 %, mutta hakkuutyön tuottavuuden nousu ei kuitenkaan kattanut raivauskustannuksia. Alikasvoksen määrä tutkimuskohteissa oli kuitenkin verraten pieni.

5.6.6 Muita parannuskeinoja

Niemi ym. (2002b) kysyivät koneyrittäjien mielipiteitä suometsien korjuuolojen parantamiskeinoista. Jo edellä käsiteltyjen lisäksi seuraavia keinoja ehdotettiin:

- kovina pakkastalvina korjuu kohdistetaan normaalia enemmän suometsiin
- kuljetusmatkoja lyhennetään talviteiden avulla
- puunkorjuun tarpeet otetaan huomioon ojaverkoston suunnittelussa (ojien luiskaukset, piennartiet)
- käytetään useita kokoojauria ja varastopaikkoja
- tehdään vähän puutavaralajeja, ei erikoispuita
- kuorma haetaan tarkoituksenmukaisina lenkkeinä
- ura ajetaan tyhjäksi yhtäjaksoisesti vettymisen välttämiseksi
- ajetaan eri raiteita aina kun se on mahdollista
- ajetaan sekakuormia ajokertojen minimoimiseksi
- valitaan kuorman koko maaperän kantavuuden mukaan
- parannetaan talvella kantavuutta ajouria etukäteen polkemalla

5.7 Korjuuvaihtoehdot ja niiden soveltuvuus turvemaille

Suometsiin soveltuu pääsääntöisesti sama korjuukalusto kuin kivennäismaillekin. Turvemailla kantavuus määrää pitkälti puunkorjuun toteutusajan. Huono kantavuus sulan maan aikana vaikeuttaa puunkorjuuta yleiskalustolla tai estää sen kokonaan. Myös talvella huono kantavuus saattaa aiheuttaa ongelmia. Kantavuusongelmat keskittyvät metsäkuljetukseen. Kantavuuden arviointi kuuluu turvemailla korjuun suunnittelun keskeisiin tehtäviin. Kantavuus saattaa vaihdella paljon, ja muutamat huonosti kantavat kohdat saattavat estää korjuun muuten korjuukelpoisella työmaalla. Maaston kulkukelpoisuuden arviointi tapahtuu lähes aina silmämääräisesti, vaikka siihen soveltuvia laitteita ja menetelmiä onkin kehitetty. Sekä mekaanisilla että sähköisillä menetelmillä ongelmaksi muodostuu riittävän tiheän havaintoverkon mittaamisen kalleus (Sirén 2000).

Turvemaiden harvennuksiin soveltuvat useimmiten samat hakkuukoneet kuin kivennäismaillekin, ellei maaperän kantavuus ole erittäin huono. Turvemailla pienten hakkuukoneiden käyttö voi olla taloudellisesti perusteltua, sillä pienten ja suurten hakkuukoneiden väliset tuottavuuserot jäävät harvennuksissa verraten pieniksi, kun taas erot käyttötuntikustannuksissa ovat merkittäviä. Pienillä hakkuukoneilla tarkoitetaan tässä massaltaan 8-13 tonnin koneita.

Kiinnostava vaihtoehto turvemaiden puunkorjuuseen on sekä hakkuun että metsäkuljetuksen hoitava korjuri (yhdistelmäkone), joka konetyyppinä elää voimakasta kehitysvaihetta. Markkinoille on lyhyessä ajassa tullut erilaisia korjuriratkaisuja. Korjurin luontevinta käyttöaluetta ovat pienehköt korjuukohteet. Heikosti kantavilla turvemailla korjureiden etu on vähäisempi liikkumistarve leimikolla. Turvemaille tyypilliset pitkät metsäkuljetusmatkat heikentävät kuitenkin korjureiden kilpailukykyä. Korjurit ovat myös suhteellisen raskaita, ja tämä saattaa aiheuttaa kantavuusongelmia.

Metsäkuljetus on turvemaiden ongelma sekä korjuukustannusten että korjuujäljen osalta. Alhainen tuottavuus turvemailla aiheutuu ensisijaisesti puutavaran alhaisista uranvarsitiheyksistä ja pitkistä kuljetusmatkoista. Maaperän huonosta kantavuudesta, puuston pinnallisesta juuristosta ja vähäisestä hakkuutähdekertymästä johtuen turvemaaleimikot ovat myös herkkiä korjuuvaurioille. Korjuuteknisiin ongelmiin on haettu ratkaisua telamaasturialustaisesta korjuukalustosta, jolla lähikuljetus onkin alhaisten pintapaineiden ansiosta teknisesti mahdollista läpi vuoden (Lauhanen 1994). Eeronheimo ja Heikka (1987) sekä Mäkelä (1990) ovat todenneet telamaasturien aiheuttavan vähemmän urapainumia turvemailla kuin metsä- tai maataloustraktorit.

Telamaastureiden ongelmana ovat kuitenkin korjuukustannukset. Mäkelän (1990) tutkimuksessa telamaastureiden tuottavuus turvemailla oli 20-25 % alhaisempi ja korjuukustannukset 5-20 % korkeammat kuin keskikokoisilla kuormatraktoreilla. Telamaastureiden huonon kustannuskilpailukyvyn ovat todenneet myös Högnäs (1984, 1986) sekä Hänninen ja Kumpare (1986). Kevyt lähikuljetuskalusto ei, toisin kuin pienet hakkuukoneet, ole kustannuskilpailukykyistä raskaamman kaluston kanssa.

Keskikokoinen kuormatraktori onkin useimmiten taloudellisesti edullisin metsäkuljetusvaihtoehto turvemailla. Luonteva ratkaisu onkin parantaa yleiskoneiden kantavuusominaisuuksia telojen ja leveiden renkaiden avulla. Vaikka yleiskoneiden käyttö heikosti kantavilla kohteilla on sulan maan aikana rajoittunutta, koneet on helppo työllistää muilla kohteilla.

5.7.1 Kevyen korjuukaluston käyttökokemukset

Niemi ym. (2002b) tarkastelivat koneiden soveltuvuutta suometsien harvennuksiin ja selvittivät käyttökokemuksia ja asenteita kevyestä korjuukalustosta. Tarkastelun pohjana oli Niemen (2001) opinnäytetyö, jossa haastat-

Taulukko 4. Koneiden soveltuvuus suometsien harvennushakkuisiin sekä suoharvennusten keskimääräinen osuus koneiden käyttötunneista. Soveltuvuuden arvioinnissa käytetty asteikkoa: 1 = ei sovellu lainkaan ... 5 = soveltuu erinomaisesti (Niemi ym. 2002b).

Konetyyppi	Soveltuvuus talvella	Soveltuvuus sulanmaan aikaan	Suoharvennusten osuus käyttötunneista
Telamaasturialustaiset hakkuukoneet	4,9	4,3	36 %
Maataloustraktoripohjaiset hakkuukoneet	4,5	3	38 %
Muut kevyet hakkuukoneet, massa alle 7 tonnia	5	3,5	33 %
Keskikokoiset hakkuukoneet, massa 7–14 tonnia	3,7	2,2	18 %
Suuret hakkuukoneet, massa yli 14 tonnia	2,4	1,3	4 %
Korjurit	5	3	70 %
Telamaasturialustaiset ajokoneet	5	4	61%
Lähikuljetuksessa käytettävät maataloustraktorit	2,9	1,4	10%
Muut kevyet ajokoneet, kuormankantokyky alle 8 tonnia	4,5	3,5	40%
Keskikokoiset ajokoneet, kuormankantokyky 8-12 tonnia	3,6	2	15%
Suuret ajokoneet, kuormankantokyky yli12 tonnia	2,3	1,3	8%

teluaineiston muodostivat Etelä-Pohjanmaan ja Pohjois-Karjalan alueella toimivat metsäkone- ja metsäpalveluyrittäjät, joilla tiedettiin olevan omaa korjuukalustoa. Hakkuu- ja lähikuljetuskaluston soveltuvuutta suometsien harvennuksiin kuvaa taulukko 4 (Niemi ym. 2002b).

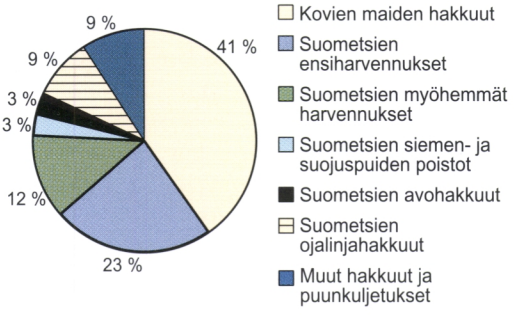
Kevyttä telamaasturialustaista hakkuu- tai kuljetuskalustoa käyttäneet pitivät kyseisen kaluston soveltuvuutta suometsien harvennuksiin erinomaisena läpi vuoden. Kevyttä kalustoa omistavien yrittäjien arvioissa saattavat painottua enemmän korjuutekniset kuin taloudelliset näkökulmat. Myös maataloustraktorialustaisten hakkuukoneiden ja muiden kevyiden hakkuukoneiden käyttökelpoisuutta talvella pidettiin erinomaisena, mutta kesällä telamaastureihin verrattuna heikompana. Keskikokoisten hakkuukoneiden käyttömahdollisuudet sulan maan aikaan ovat rajalliset. Suurten hakkuukoneiden soveltuvuus suometsien harvennuksiin arvioitiin huonoksi.

Kevyiden ajokoneiden käyttökelpoisuus suometsien harvennuksissa arvioitiin verraten hyväksi myös kesällä, kun taas maataloustraktorikaluston käyttö metsäkuljetuksessa onnistuu vain talvisin. Keskikokoisilla metsätraktoreilla talviaikaiset harvennukset eivät muodosta ylitsepääsemättömiä ongelmia. Keskikokoiset metsätraktorit ovat kustannustehokkaita ja niitä pitäisikin käyttää aina kantavuuden salliessa. Sen sijaan suuria metsätraktoreita ei suometsissä tulisi käyttää edes talvisin. Korjurista oli kokemusta vain yhdellä yrittäjällä, joka katsoi koneensa soveltuvan suometsien harvennuksiin hyvin läpi vuoden.

Kevyen korjuukaluston toiminta-alue ei Niemen ym. (2002b) mukaan ole maantieteellisesti laajempi kuin yleiskalustolla. Kevyellä kalustolla urakoivilla on kuitenkin enemmän urakanantajia kuin raskaammalla kalustolla urakoivilla. Yksityiset metsänomistajat ja metsänhoitoyhdistykset ovat tärkeitä kevyen kaluston urakanantajia ja lyhyet urakointisopimukset ovat tyypillisiä. Tärkeimmiksi syiksi suometsiin soveltuvan korjuukaluston hankintaan mainittiin metsänomistajien halukkuus kevyen kaluston hyödyntämiseen myös muilla kuin suometsien harvennuksilla. Suometsiin soveltuvasta korjuukalustosta koettiin yleisesti olevan puutetta.

Kevyen kaluston työmaiden jakaumaa esittää kuva 12 (Niemi ym. 2002b). Keskimäärin puolet työskentelystä kevyellä suometsiin soveltuvalla korjuukalustolla tapahtui suometsissä. Kevyttä korjuukalustoa olisikin mahdollista kohdistaa vielä nykyistä enemmän suometsien korjuukohteille.

Yrittäjien mielestä urakanantajat eivät kannusta kevyen korjuukaluston hankintaan. Urakoinnin taloudellisia edellytyksiä pidettiin heikompina kuin urakoitaessa yleiskalustolla tai kivennäismailla. Syiksi eroihin nähtiin puutteellinen työllistyminen, kausivaihtelut, kevyelle kalustolle ohjautuvien leimikoiden



Kuva 12. Erilaisten korjuukohteiden osuudet kevyen suometsiin soveltuvan korjuukaluston käyttötunneista (Niemi ym. 2002b).

huonous, pitkät leimikoiden väliset etäisyydet ja laaja toiminta-alue. Lähikuljetuksen taksapolitiikkaa pidettiin epäsuotuisana kevyelle kuljetuskalustolle. Kevyen kaluston korjuujälki arvioitiin yksimielisesti yleiskaluston korjuujälkeä paremmaksi. Keskiraskasta tai raskasta korjuukalustoa käyttävät suhtautuivat kevyeen kalustoon kielteisemmin kuin itse kevyttä kalustoa käyttävät (Niemi ym. 2002b).

Pienten hakkuukoneiden työskentelyä vaikeuttavat eniten maaston jyrkkyys ja kaltevuus. Suometsien maasto on kuitenkin ojien ylityksiä lukuun ottamatta tasaista, joten kyseiset ongelmat korostuvat ainoastaan kivennäismaiden korjuukohteilla. Myös suurehkojen puiden käsittely kevyillä hakkuukoneilla nähtiin ongelmalliseksi, mutta tämäkään ei juuri rajoita kaluston käyttöä suometsien harvennushakkuissa, joissa poistettava puusto on pienikokoista. Seuraavaksi eniten ongelmia katsottiin aiheutuvan kivistä ja kannoista. Kivet ja kannot haittaavat pienten koneiden kulkemista ja lyhentävät useissa telamaastureissa käytettyjen kumisten telojen käyttöikää. Pienille hakkuukoneille kulkukelpoisuus pehmeiköillä ei ole ongelma. Kevyen hakkuukaluston tekninen kestävyys kokonaisuutena arvioitiin kohtuullisen hyväksi, joskin huoltokustannukset arvioitiin suuremmiksi kuin yleiskalustolla (Niemi ym. 2002).

Kevyt lähikuljetuskalusto koettiin ongelmallisemmaksi kuin hakkuukoneet. Kevyiden lähikuljetuskoneiden ongelmiksi koettiin suurehkojen puiden käsittely, kivet ja kannot, jotka rasittavat erityisesti telamaastureissa käytettyjä kumisia telarakenteita. Ojien ylityskyvyssä, ulottuvuudessa ja vakaudessa on yrittäjien mielestä parantamisen varaa. Lähikuljetuskaluston kulkuominaisuudet lumessa ovat tyydyttävät ja kulkukelpoisuus pehmeiköllä on hyvä. Tekninen kestävyys arvioitiin suhteellisen heikoksi ja huoltokustannukset suuriksi. Koneiden kestävyys koettiin suuremmaksi ongelmaksi kevyillä ajokoneilla kuin hakkuukoneilla (Niemi ym. 2002b).

5.8 Korjuutyön tuottavuus ja kustannukset

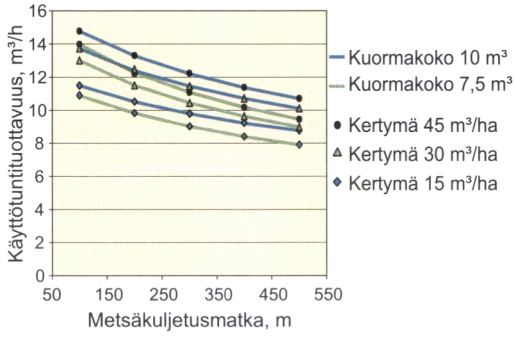
5.8.1 Metsäkuljetus

Suomessa on käytössä noin 1500 metsätraktoria. Yleisin metsäkuljetuskone on massaltaan 12-13 tonnin ja kantavuudeltaan 10-11 tonnin kuormatraktori. Syynä keskikokoisen metsätraktorin suosioon on käyttöalueen laajuus. Keskikokoiset koneet soveltuvat niin harvennuksiin kuin päätehakkuisiin. Korjuujälkeen ja erityisesti metsäkuljetuskoneiden raiteenmuodostukseen kiinnitettiin laajaa huomiota 1980-luvulla. Koneita pyrittiin keventämään mm. materiaalivalinnoilla ja massaltaan 11 tonnin koneiden kantavuus saattoi olla 10 tonnia. Viimeisten 15 vuoden aikana kuormatraktoreiden omapainot ovat nousseet 20-40 % kuormankantokyvyn pysyessä kuitenkin ennallaan. Pääsyitä omapainojen kasvuun ovat kestävyyden maksimointi ja ylikuormituksiin varautuminen. Hyvä mitta kuormankantokyvylle on kuorman ja omapainon suhde, kuormaindeksi. Puutavara-autojen kuormaindeksi saattaa olla 2,25, kun se metsätraktoreilla on jopa alle 1,0 (Rieppo 2001). Koneiden painon lisäykselle on kuitenkin selviä taloudellisia syitä. Metsäkuljetustaksat ovat alhaisia ja taloudellista kannattavuutta haetaan suurilla kuormilla. Koneiden vuotuiset käyttötuntimäärät ovat suuria ja kannattavuus vaatii koneilta toimivuutta. Metsätraktoreiden korkeisiin teknisiin käyttöasteisiin on päästy hyvällä suunnittelulla, materiaali- ja komponenttivalinnoilla ja koneita järeyttämällä.

Metsäkuljetuksen tuottavuuteen vaikuttavat erityisesti hakkuutapa (päätehakkuu vai harvennushakkuu), hakkuumenetelmä (miestyö vai kone), kuljetusmatka ja kuljetettavan puutavaran ajouranvarsitiheys, joka lasketaan puutavaralajiosuuksien, kokonaiskertymän, ajouravälin ja erikseen kuljetettavien puutavaralajien määrän perusteella (Kuitto ym. 1994). Metsäkuljetuksen tuottavuus on alhaisempi miestyöhakkuun kuin koneellisen hakkuun jäljiltä, sillä kuormaus koneellisen hakkuun jäljiltä on nopeampaa kuin miestyöhakkuun jäljiltä. Harvennuksilla kuormaaminen puolestaan on noin viidenneksen hitaampaa kuin päätehakkuussa. Samalta paikalta, työpisteestä, kuormattavissa oleva puutavaramäärä vaikuttaa kuormauksen tuottavuuteen. Työpisteen puumäärään vaikuttavat puolestaan hakkuutapa ja -menetelmä. Myös puutavaralajien määrä vaikuttaa metsäkuljetuksen tuottavuuteen. Lisäpuutavaralaji merkitsee vajaan 3 %:n lisäystä ajanmenekkiin (Brunberg & Arlinger 2001).

Metsäkuljetusmatkan, uranvarsitiheyden ja kuorman koon vaikutusta metsäkuljetuksen käyttötuntituottavuuteen esittää Kuiton ym. (1994) tuloksiin pohjautuva kuva 13. Tulokset on laskettu harvennushakkuussa koneellisen hakkuun jälkeiselle pitkän havukuitupuun metsäkuljetukselle maastoluokassa 1.

Mäkelän (1989a ja 1989b) mukaan pientraktoreiden tuottavuustaso ensiharvennuksissa on kivennäismailla noin 60 % keskikokoisten metsätraktoreiden tuottavuustasosta. Ero johtuu alhaisemmasta kuormaus- ja purkunopeudesta sekä pienemmästä kuormasta. Turvemailla pientraktoreiden tuottavuus on 75-80 % keskikokoisten metsätraktoreiden tuottavuudesta. Kun pientraktoreiden käyttö-



Kuva 13. Metsäkuljetusmatkan, puutavaralajikohtaisen hehtaarikertymän ja kuorman koon vaikutukset metsäkuljetuksen käyttötuntituottavuuteen harvennuksissa Kuiton ym. (1994) mukaan.

kustannukset ovat 10-15 % alhaisemmat kuin keskikokoisilla koneilla, yksikkökustannukset nousevat 5-20 % korkeammiksi kuin keskikokoisilla koneilla (Mäkelä 1990).

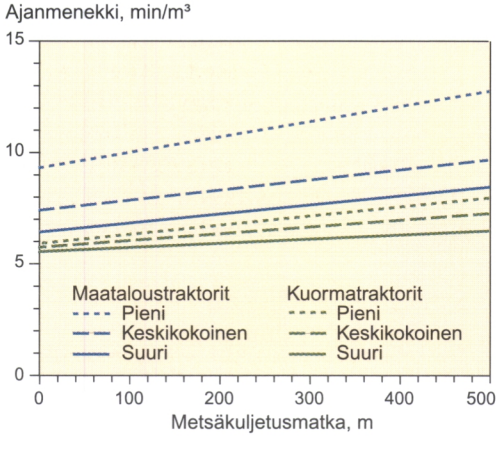
Ruotsalaisen Jönssonin (1990) vertaillessa kuormatraktoreiden kustannuksia 250 metrin kuljetusmatkalla laskennallinen kustannus/m³ massaltaan 8 tonnin koneella oli noin 1,09-kertainen ja 6 tonnin koneella 1,21-kertainen verrattuna 10 tonnin koneen kustannuksiin. Metsäkuljetusmatkan ollessa 500 metriä 8 tonnin koneen kustannus oli vastaavasti 1,1-kertainen ja 6 tonnin koneen 1,25-kertainen verrattuna 10 tonnin koneen kustannuksiin.

Ruotsalainen Gullberg (1997) on laatinut metsäkuljetuksen ajanmenekkimallin, jonka pohjana ovat pohjoismaiset tutkimustulokset. Tutkimuksessa vertaillaan kuutta erilaista metsäkuljetuskonetta ja erilaisten tekijöiden vaikutusta koneiden tuottavuuteen. Metsätraktoreista vertailtavina ovat kantavuudeltaan 12-15 tonnin suuri kuormatraktori, 10-11 tonnin keskikokoinen kuormatraktori ja pieni, kantavuudeltaan 8 tonnin kuormatraktori. Maataloustraktoreista vertailtavina ovat teholtaan noin 50 kW:n, 60 kW:n ja 70 kW:n koneet, jotka on varustettu metsäperävaunulla ja kuormaimella. Kuvissa 14 ja 15 (Gullberg 1997) esitetään konetyypin vaikutus ajanmenekkiin (min/m³) ja suhteelliseen ajanmenekkiin ensiharvennuksessa eri kuljetusmatkoilla.

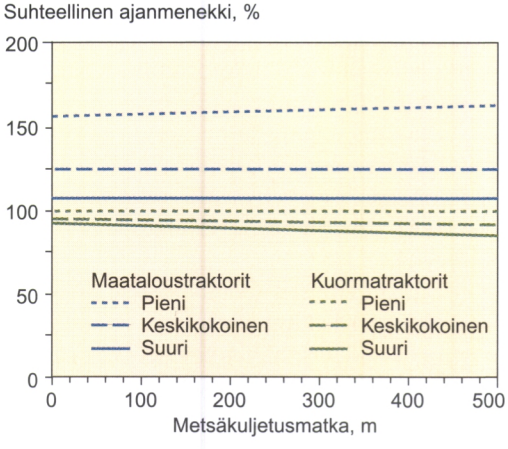
Pienten koneiden kustannusongelmat johtuvat erityisesti pienestä kuormankantokyvystä. Kuormatilan ollessa pieni varastolle ajettavien kuormien määrä nousee suureksi, ja tyhjänä ja kuormattuna ajon osuudet työajasta kasvavat. Myös puutavaran kuormaus on pienillä koneilla hitaampaa kuin keskikokoisilla koneilla.

5.8.2 Koneellinen hakkuu

Koneenkuljettaja, poistettavien runkojen koko ja lukumäärä hehtaarilla sekä hakkuutapa ovat keskeiset hakkuutyön tuottavuuteen vaikuttavat tekijät. Käytettävä kone vaikuttaa tuottavuuteen, mutta kuljettajan merkitys on usein suurempi kuin käytettävän koneen. Myös maasto, puulaji ja alikasvos vaikuttavat koneellisen hakkuun tuottavuuteen.



Kuva 14. Konetyypin ja kuljetusmatkan vaikutus metsäkuljetuksen ajanmenekkiin (min/m³) ensiharvennuksessa hehtaarikertymän ollessa 30 m³/ha (Gullberg 1997).

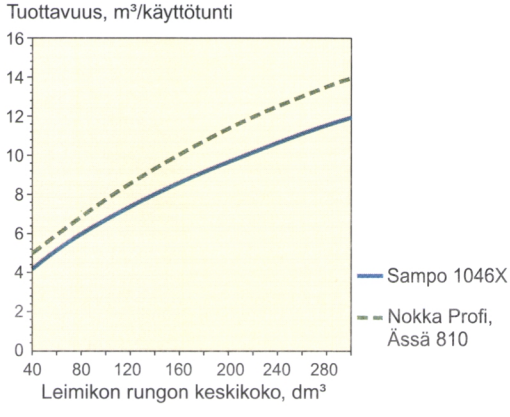


Kuva 15. Konetyyppien suhteellinen ajanmenekki ensiharvennuksessa eri kuljetusmatkoilla. Pieni kuormatraktori = 100 % (Gullberg 1997).

Kuljettajan ratkaisevan vaikutuksen sekä työn tuottavuuteen että korjuujälkeen ovat todenneet mm. Rajamäki (1997) ja Sirén (1998) ja Sirén ja Tanttu (2001a). Ryynäsen ja Rönkön (2001) tutkiessa pieniä hakkuukoneita tuottavuusero saman koneen eri kuljettajien välillä saattoi olla jopa 40 %.

Käsiteltävän rungon koko vaikuttaa oleellisesti hakkuutyön tuottavuuteen. Kuiton ym. (1994) mukaan ajanmenekki kuutiometriä kohden kasvaa viisinkertaiseksi, kun rungon tilavuus pienenee 500 dm^3:sta 45 dm^3:een. Brunbergin (1997) tutkimuksessa hakkuukoneen tuottavuus 200 dm^3 runkokoolla oli harvennuksessa 82 puuta ja 16,4 m^3 käyttötunnissa, 40 dm^3 runkokoolla vastaavasti 129 runkoa ja 5,2 m^3. Aikayksikköä kohti käsiteltyjen puiden määrä vähenee rungon koon kasvaessa, mutta työtulos kuutiometreinä kasvaa samalla voimakkaasti.

Osa keskikokoisten ja suurten hakkuukoneiden ominaisuuksista on harvennuksissa vajaakäytössä, mutta kustannukset säilyvät silti korkeina. Pienten hakkuukoneiden kilpailukyky onkin parhaimmillaan juuri harvennuksissa. Pienillä hakkuukoneilla tarkoitetaan tässä yhteydessä massaltaan 8-13 tonnin koneita. Tähän kokoluokkaan Suomessa kuuluvat mm. Sampo-Rosenlew 1046X, Prosilva Ässä 810 ja Nokka Profi. Näistä Sampo on puhtaasti harvennuskone Ässän ja Nokka Profin soveltuessa myös pienirunkoisiin päätehakkuisiin. Kuva 16 esittää pienten hakkuukoneiden tuottavuustasoa harvennuksissa (Sirén & Aaltio 2001).



Kuva 16. Pienten hakkuukoneiden käyttötuntituottavuus harvennuksissa (Sirén & Aaltio 2001).

Puulaji vaikuttaa harvennuksissa verraten vähän runkokohtaiseen ajanmenekkiin. Sirénin (1998) mukaan runkokohtaiset tehoajat koivulla ovat suuremmat kuin männyllä ja kuusella. Brunbergin (1997) mukaan koivikon hakkuussa tuottavuus on noin 5 % alempi kuin männikössä tai kuusikossa. Lillebergin (1990) mukaan ajanmenekki lehtipuiden hakkuussa on noin 15 % suurempi kuin havupuiden hakkuussa.

Leimikon tiheys eli poistettavien puiden lukumäärä/ha vaikuttaa tuottavuuteen. Poistettavien puiden lukumäärän vähentyessä suurempi osa hakkuukoneen työajasta kuluu siirtymisiin. Brunbergin (1997) mukaan siirtymisiin kuluu lähes 9 cmin/poistettava puu 500 rungon hehtaaripoistumalla ja vastaavasti hieman yli 6 cmin/puu hehtaaripoistuman ollessa 1200 runkoa. Lisääntyvä siirtymisten osuus heijastuu tuottavuuteen, joka on 8 % pienempi poistuman ollessa 500 runkoa verrattaessa 1000 rungon poistumaan. Turvemailla vähäinen kertymä ja toisaalta puuston epätasainen jakautuminen alentavat tuottavuutta. Myös puutavaralajien määrä vaikuttaa hakkuutyön tuottavuuteen. Brunbergin ja Arlingerin (2001) mukaan yksi lisäpuutavaralaji alentaa hakkuun tuottavuutta noin prosentin.

Työmenetelmän vaikutus

Harvennusten ajouraväliksi on vakiintunut 20 metriä. Aiemmin ohjeellisesta 30 metrin uravälistä siirryttiin 1990-luvun alussa koneellisen hakkuun vaatimaan lyhyempään uravälin. Muutoksen mahdollistivat Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion uudistetut metsänhoitosuositukset (Metsänhoitosuositukset 1989). Pienet, harvennuksiin suunnitellut

hakkuukoneet pystyvät työskentelemään myös kapeilla hakkuu-urilla, joilla metsätraktori ei kulje. Hakkuu-urilla työskentely poikkeaa työtilan ja puiden käsittelyn osalta ajourilla tapahtuvasta työskentelystä.

Sirénin ja Tantun (2001a) vertaillessa pienten hakkuukoneiden työmenetelmiä rämemännikössä tuottavuus hakkuu-urilla oli alempi kuin ajourilla (kuva 17). Hakkuu-urilla työskentely oli hitaampaa ja työskentely ojalinjoilla olevilla ajourilla nopeampaa kuin työskentely saralla olevilla ajourilla. Hakkuu-urilla yli uran vietyjen puiden runkokohtainen tehoajanmenekki oli lähes 15 cmin suurempi kuin saralla olevilla urapuilla.

Ryynäsen (1994) tutkiessa maataloustraktoriperustaista hakkuukonetta hakkuu-uramenetelmän käyttö lisäsi runkokohtaista tehoaikaa 8 %. Myös siirtymisiin kului hakkuu-uramenetelmällä enemmän aikaa, ja kokonaisajanmekki hakkuu-uramenetelmällä oli lähes kolmanneksen suurempi kuin ajourilta työskenneltäessä. Hakkuu-uratyöskentelyn ajouratyöskentelyä suuremman tehoajanmenekin on todennut myös Brunberg (1997).

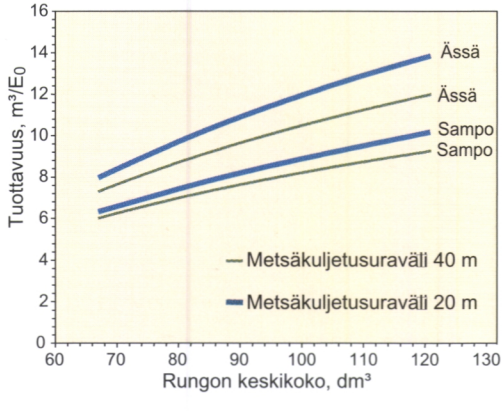
Ryynäsen ja Rönkön (2001) tulokset työmenetelmän vaikutuksista olivat osalla koneista päinvastaisia edellä esitettyjen kanssa. Työmenetelmien erot olivat kuitenkin keskimäärin varsin pieniä. Koneilla, joilla nosturin ulottuvuus oli riittävä, harvennus ajourilta oli tehokkaampaa kuin hakkuu-urilta. Pienillä koneilla, joilla ajouramenetelmässä tarvittiin pistouria, työn tuottavuus hakkuu-uramenetelmällä oli ensiharvennuksessa parempi kuin ajouramenetelmällä. Yhden hakkuu-uran käytön etu ajouramenetelmään oli keskimäärin 3-6 % ja kahden hakkuu-uran hieman pienempi.

Ajourallakin työskenneltäessä työtapa vaikuttaa työn tuottavuuteen ja toisaalta ajouralle saatavan havutuksen määrään. Keskikokoisella hakkuukoneella ajourapuiden runkokohtainen tehoaika oli keskimäärin 57,5 cmin, ottopuolella uraa käsiteltyjen 61,0 cmin ja uran yli tuotujen puiden 62,9 cmin (Sirén 1998). Käsiteltäessä uran sivulta otetut puut uran päällä työn tuottavuus hieman alenee, mutta uralle saadaan enemmän havutusta maaperää suojaamaan. Suometsissä havutuksen vaikutus saattaa olla kantavuuden kannalta merkittävä.

Työmenetelmä vaikuttaa paitsi hakkuutyön tuottavuuteen myös metsäkuljetuksen tuottavuuteen puutavaran ajouranvarsitiheyden kautta. Hakkuu-uramenetelmää käytettäessä puutavaran uranvarsitiheys metsäkuljetusurien varressa on suurempi, koska metsäkuljetusuraväli kasvaa hakkuukertymän pysyessä ennallaan.

Alikasvoksen vaikutus

Alikasvos haittaa hakkuukoneen työskentelyä. Kuiton ym. (1994) tutkimuksessa alikasvokseksi luettiin alle ainespuun kokoiset, mutta 10 cm:n korkeudelta läpimitaltaan yli 2 cm:n puut. Kun alikasvosta oli alle 2000 runkoa/ha, koneellisen hakkuun tehoajanmenekin kerroin oli 1,018. Kun alikasvosta oli yli 4000 runkoa hehtaarilla, kerroin oli vastaavasti 1,070. Lillebergin (1990) tutkimuksessa hakkuukoneen ajanmenekin lisäys oli 8-10 %, kun alikasvosta oli 3 000 runkoa hehtaarilla. Alle 1 500 rungon alikasvos hehtaarilla ei vaikuttanut ajanmenekkiin. Alikasvokseksi luettiin kaikki kantoläpimitaltaan 1-5 cm:n puut.



Kuva 17. Hakkuun tehotuntituottavuus rungon koon funktiona 20 metrin ja 40 metrin ajouravälillä (Sirén & Tanttu 2001a).

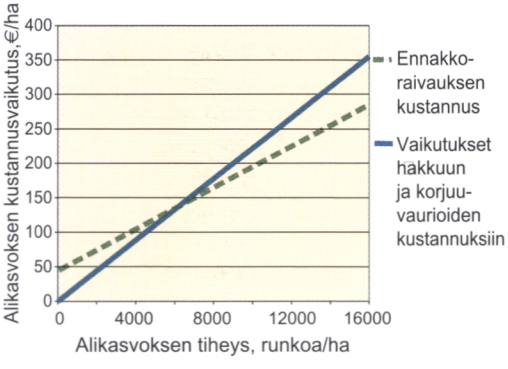
Tahvanainen (2001) selvitti alikasvoksen vaikutusta pienten hakkuukoneiden työskentelyyn ja raivauksen taloudellista kannattavuutta. Aineistoa kerättiin sekä talvella että kesällä. Alikasvoksen raivaukseen kului 5-25 % tehoajanmenekistä. Hakkuutyön käyttötuntituottavuus aleni 3-4 %, kun alikasvosta oli 2000 runkoa hehtaarilla. Vastaava tuotosalennus oli 10-12 %, kun alikasvosta oli 6 000 runkoa hehtaarilla ja 15-20 % alikasvoksen määrän ollessa 10 000 runkoa/ha. Eniten alikasvos vaikutti tuottavuuteen pieniä runkoja käsiteltäessä. Alikasvos alensi työn tuottavuutta ja lisäsi puustovaurioiden määrää.

Kuvissa 18 ja 19 on esitetty alikasvoksen hehtaarikohtaiset kustannusvaikutukset alikasvoksen tiheyden funktiona. Kun alikasvoksen kustannusvaikutusten kuvaaja (vaikutukset hakkuukustannuksiin ja korjuuvaurioiden seurauskustannuksiin) ylittää ennakkoraivauksen kustannukset, ennakkoraivaus on taloudellisesti kannattavaa. Kesäaikana tapahtuvassa hakkuussa lehtipuuvaltaisen alikasvoksen ennakkoraivaus kannatti kokonaistiheyden ylittäessä 6 000 runkoa/hehtaarilla, kun myös puustovaurioiden aiheuttamien kustannusten väheneminen otettiin huomioon. Talviaikana vain havupuualikasvos aiheutti huomattavaa haittaa. Tällöin havupuualikasvoksen raivaaminen kannatti alikasvoksen tiheyden ollessa yli 1 600 runkoa hehtaarilla.

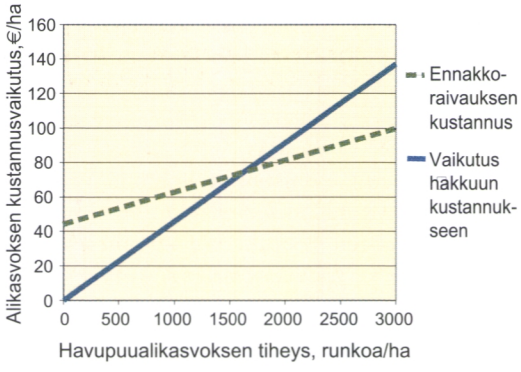
5.8.3 Korjurin käyttömahdollisuudet

Korjuri (yhdistelmäkone) on konetyyppi, jolla haetaan ratkaisua niin harvennusten kuin pinta-alaltaan pienten leimikoiden kustannusongelmiin. Korjuri tekee sekä hakkuun että metsäkuljetuksen. Korjureiden tekniset ratkaisut ja työmenetelmät hakevat muotoaan, joten korjurista esitettäviin arvioihin sisältyy epävarmuustekijöitä. Riepon ja Pekkolan (2001) harvennuspainotteisessa aineistossa korjurin työaika jakautui 250 metrin metsäkuljetusmatkalla kuvan 20 mukaisesti. Kokeessa olivat mukana kaksi pyöriväohjaamoista ja yksi kuormatraktorialustainen korjuri (Moipu), joka on hankintahinnaltaan pyöriväohjaamoista korjuria halvempi. Alustakoneena voi olla myös käytetty kuormatraktori. Kuvassa 21 (Rieppo & Pekkola 2001) esitetään konetyypin vaikutus korjurin tuottavuuteen aikatutkimuksessa.

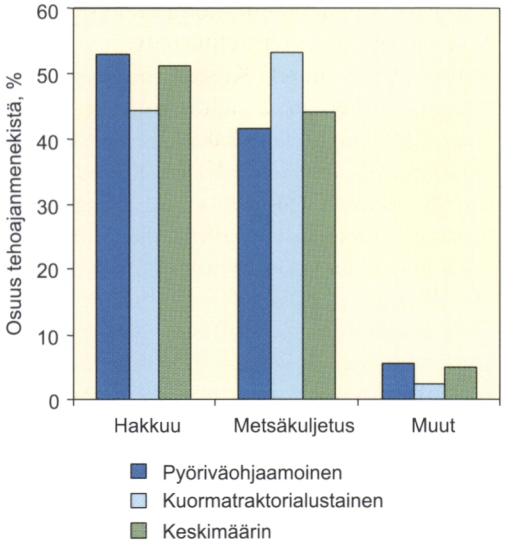
Sirén ja Aaltio (2001) selvittivät Pika 828 -korjurin tuottavuutta ja kustannuksia seurantatutkimuksella. Leimikon rungon keskikoko, hehtaarikohtainen hakkuukertymä, puutavaralajien määrä ja ajomatka vaikuttivat korjurin tuottavuuteen. Yhden puutavaralajin lisäys alensi korjurin käyttötuntituottavuutta harvennuksissa noin 0,15 m³ eli noin 3 %. Runkokoon ja kertymän vaikutusta korjurin tuottavuuteen esittää kuva 22 (Sirén & Aaltio 2001).



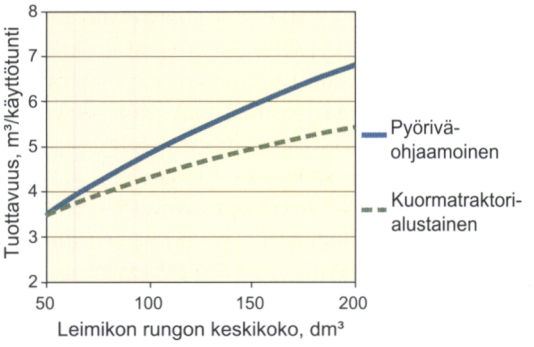
Kuva 18. Alikasvoksen raivauksen kannattavuus kesähakkuussa, kun myös vaikutukset korjuujälkeen otetaan huomioon (Tahvanainen 2001).



Kuva 19. Havupuualikasvoksen raivauksen kannattuvuus talvihakkuussa (Tahvanainen 2001).

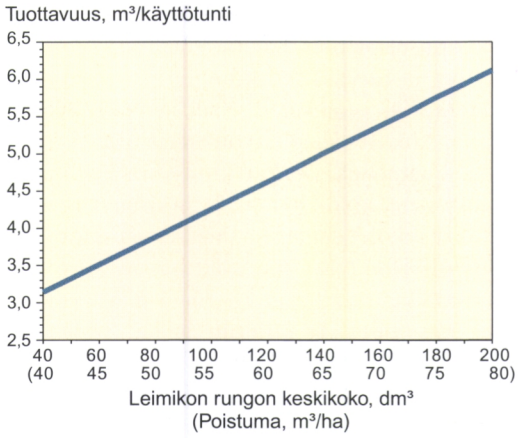


Kuva 20. Korjurin tehoajanmenekin jakautuminen (Rieppo & Pekkola 2001).



Kuva 21. Konetyypin vaikutus korjurin tuottavuuteen (Rieppo & Pekkola 2001)

Korjurille erityisen sopivia kohteita ovat siemenpuuhakkuut, tuulenkaatojen korjuu sekä saaristometsien hakkuut. Hakkuualueelle tarvitsee tällöin siirtää vain yksi kone. Suoranaista etua korjuri tuo puunhankintayhtiölle ja yrittäjälle siinä, että se vaatii vähemmän organisointia kuin hakkuukoneketju. Useampia korjuuketjuja omistava yrittäjä voi parantaa korjuuketjujen työoloja ja tuottavuutta tekemällä pinta-alaltaan pienimmät kohteet korju-



Kuva 22. Korjurin käyttötuntituottavuus harvennuksessa rungon koon funktiona. Metsäkuljetusmatka on 250 metriä ja puutavaralajeja on viisi. Hehtaarikertymä 40 dm³:n rungon koolla on 40 m³ ja 200 dm³:n rungon koolla 80 m³ (Sirén & Aaltio 2001).

rilla. Korjurin kapasiteetti on aina tasapainossa, kun taas korjuuketjun ongelmana on usein hakkuukoneen ja kuormatraktorin erilaisesta työtuloksesta johtuva epätasapaino. Metsäkuljetuskoneeksi korjuri on kallis ja se soveltuu parhaiten kohteille, joissa metsäkuljetusmatka on lyhyt.

5.8.4 Korjuuvaihtoehtojen kustannusvertailu

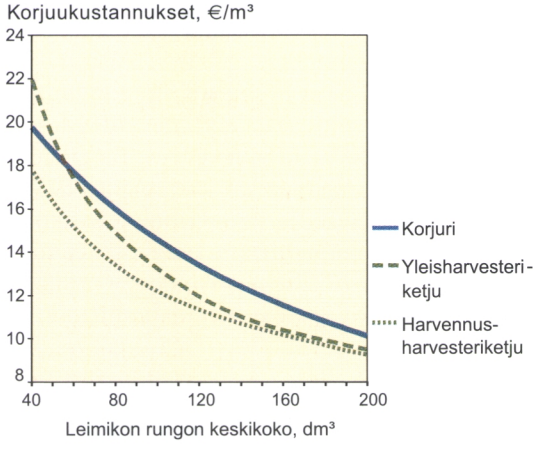
Korjuuratkaisujen kustannusvertailujen lähtökohtana ovat koneiden tuottavuus- ja kustannustiedot. Sekä tuottavuus että kustannukset lasketaan yleensä käyttötuntia (E_{15}) kohti. Käyttötunti sisältää alle 15 minuutin keskeytykset (Nordisk avtale... 1978). Käyttötuntikustannuslaskelma koostuu perustiedoista (hakkuumäärä, harvennusten osuus ja työajat, tuottavuus, koneen hinta ja pitoaika), aikariippuvista kustannuksista (mm. pääoman poistot, korot, palkat, vakuutukset ja hallinto) ja muuttuvista käyttökustannuksista (polttoaineet, korjaus, huollot, laipat, öljyt ja siirrot). Esimerkki käyttötuntilaskelmasta esitetään

Taulukko 5. Kustannusvertailuissa käytetyt koneiden verottomat hinnat ja käyttötuntikustannukset.

Kone	Hinta, €	Käyttötuntikustannus, €
Keskikoinen hakkuukone	274012	65,8
Pieni hakkuukone	223784	61,5
Korjuri	269215	62,1
Kuormatraktori	172465	51,2

Harko-ohjelman loppuraportissa Kärhä ym. (2001). Kyseisessä Metsätehon, Metsäntutkimuslaitoksen ja Työtehoseuran yhteishankkeessa lasketut käyttötuntikustannukset ovat myös pohjana esitettävälle korjuuvaihtoehtojen kustannusvertailulle harvennuksissa. Vertailussa käytetyt käyttötuntikustannukset ja koneiden verottomat hinnat olivat taulukon 5 mukaiset.

Kuvassa 23 esitettävän kustannusvertailun tuottavuuslukujen pohjana on seurantatutkimusaineisto (Sirén & Aaltio 2001). Yleisharvesteriketjun kustannukset samoin kuin keskikokoiselle kuormatraktorille lasketut metsäkuljetuskustannukset ovat peräisin Metsätehosta.



Kuva 23. Korjurin, harvennusharvesteriketjun ja yleisharvesteriketjun kustannukset harvennuksessa rungon koon funktiona (Sirén & Aaltio 2001). Hehtaarikohtainen kertymä 40 dm³:n rungon koolla on 40 m³ ja 200 dm³:n rungon koolla 80 m³. Puutavaralajien lukumäärä on viisi.

Vertailussa harvennusketju on kustannuksiltaan korjuria ja yleisketjua halvempi, mutta erot eivät ole suuret. Kustannuslaskelmissa puutavaralajien lukumääränä oli viisi. Jos puutavaralajeja on vain kaksi, ketjujen edullisuusjärjestys muuttuu. Harvennusketju on tällöin edelleen kustannuksiltaan edullisin, mutta korjuri on kustannuksiltaan yleisketjua halvempi leimikon rungon keskikoon ollessa alle 100 dm³.

5.9 Korjuujälki ja sen vaikutukset

Korjuujäljellä tarkoitetaan metsikön puuston ja maaperän tilaa puunkorjuun jälkeen. Käsitteeseen sisällytetään yleensä puustovauriot, ajourapainumat, ajouraväli ja -leveys, leimikon harvennusvoimakkuus ja puuvalinta. Puustovauriot jaetaan sijaintinsa perusteella runko- ja juurenniskavaurioihin. Runkovaurioihin luetaan puun rungossa oletetun kaatoleikkauskohdan yläpuolella sijaitsevat vauriot, juurenniskavaurioihin vastaavasti kaatoleikkauskohdan alapuolella juurenniskassa ja maanpäällisissä, vähintään 2 cm paksuissa juurissa korkeintaan 100 cm:n etäisyydellä juurenniskasta sijaitsevat vauriot.

Ajouria avattaessa optimaalisesta puuvalinnasta joudutaan poikkeamaan. Osa ajouraaukoista jää myös hyödyntämättä kasvutilana. Ajourapainumat aiheuttavat kasvutappioita juuristo- ja maaperävaurioiden seurauksena. Turvemailla urapainuminen riski on erityisen suuri. Huono kantavuus saattaa estää korjuukoneiden liikkumisen kokonaan tai johtaa niin suuriin maaperävaurioihin, ettei korjuuta ole järkevää toteuttaa. Koneet voivat myös upota. Saarilahden (1981) mukaan koneiden uppoamistapauksia vuonna 1978 oli 750-1 000. Turvemailta korjattua 1 000 m³ kohti kone upposi keskimäärin 0,42 kertaa. Yleisin syy uppoamiseen oli riittämätön kantavuuden määritys. Suon keskimääräinen kantavuus pystytään arvioimaan hyvin, mutta ongelmia aiheuttavat pienialaiset silmäkkeet, jotka aiheuttavat kolmasosan uppoamisista.

Harvennusvoimakkuus ja puuvalinta liittyvät korjuujälkeen. Harvennuksessa tulisi poistaa huonolaatuiset sekä metsikön kehityksessä jälkeen jääneet puut. Ajourilta poistettu puusto kuvaa osaltaan ajourien sijoittelun onnistumista, sillä ajourat olisi avattava kasvatettavaa puustoa säästäen mahdollisimman vähäpuustoisiin kohtiin. Harvennusvoimakkuus ja puuvalinta vaikuttavat keskeisesti metsikön tulevaan puuntuotantoon.

Huono korjuujälki johtaa kasvu- ja laatutappioihin sekä sekundäärituhoihin. Kasvutappioita aiheutuu ajourista, urapainumista ja puustovaurioista. Laatutappioita aiheuttavat puustovaurioista aiheutuva lahoutuminen ja koroutuminen. Kuusella vaurioituminen johtaa lähes aina lahon syntyyn. Korjuujäljen taloudellisten vaikutusten arviointi edellyttää mitatun korjuujälkitiedon kytkemistä biologisiin ja taloudellisiin seuraamuksiin. Korjuujäljen kustannusten arviointiin liittyykin paljon epävarmuustekijöitä.

Korjuujäljen osatekijöiden merkitystä kuvaa esimerkki, jossa MT-kuusikko harvennetaan kiertoaikana kahdesti käyttäen 20 metrin ajouraväliä ja neljän metrin uraleveyttä. Vauriopuiden osuus kummassakin harvennuksessa on koneelliselle korjuulle tyypillinen 3 % ja urapainumien syvyys keskimäärin 5 cm. Korjuujäljen seurauskustannusten nykyarvo on tällöin noin 155 €/ha. Ajourien osuus kustannuksista on hieman yli puolet ja urapainumien osuus vajaa kolmannes. Puustovaurioiden merkitys on verraten vähäinen, sillä puustovaurioiden aiheuttamien kasvutappioiden osuus kokonaiskustannuksista on vain 3 % ja lahon osuus noin 15 %. Laskelmissa on käytetty 3 % korkoa.

Korjuun sekundäärivaikutuksena voi syntyä myös hyönteis-, tuuli- ja lumituhoja. Tuhohyönteiset iskeytyvät vaurioiden heikentämiin puihin ja juurivauriot altistavat puut myrskytuhoille. Sekundäärivaikutuksiin kuuluu myös kesäaikaisen harvennuksen maannousemariski. Alttius tuuli- ja lumituhoille lisääntyy harvennusvoimakkuuden kasvaessa.

5.9.1 Korjuujäljen seuranta

Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio on tarkastanut harvennusten korjuujälkeä 1990-luvun alusta lähtien osana metsälakien valvontaa. Vuosittain on tarkastettu yli 200 harvennusleimikon korjuujälki. Mittauslinjoille sijoitettavat ympyräkoealat ovat vakiintuneet korjuujäljen mittausmenetelmäksi. Mittausmenetelmältä vaaditaan tulosten riippumattomuutta mittaajasta ja työmäärän pysymistä kohtuullisena. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion toteuttamassa Korjuujäljen seurannan yhtenäistäminen -projektissa (Arnkil ym. 2002) vertailtiin eri organisaatioiden käyttämiä korjuujäljen seurantamenetelmiä sekä yhtenäistettiin korjuujälkitunnusten määritelmiä. Tapion uudistetussa korjuujäljen seurantamenetelmässä ympyräkoealat sijoitetaan mitattavan alueen pisimmän halkaisijan muodostamalle keskilinjalle.

Usein halutaan tietoa vaurioiden, jäävän puuston ja poistuman jakautumisesta leimikolla. Tätä varten Metsäntutkimuslaitoksessa on käytetty ajouran ympärille levittäytyvää, mittausvyöhykkeisiin jakautuvaa koealaa (Sirén 1998). Korjuujäljen seurannassa palaute, niin hyvä kuin huonokin, on tärkeää. Metsäteho on kehittänyt mittausmenetelmän käynnissä olevan työmaan korjuujäljen seurantaan (Korjuujälki... 2003). Tämän menetelmän etuja ovat mittausten toteuttaminen normaalin työnjohtajakäynnin yhteydessä, välitön palaute ja rutiinin keveys. Tavoitteena ei ole yksittäisen työmaan korjuujäljen tarkka arvio, vaan vertailu koneyrittäjän aiempiin tuloksiin ja mahdollisten laatupoikkeamien syiden arviointi. Puunhankintayrityksillä on myös omia korjuujäljen seurantarutiineja.

5.9.2 Puustovauriot

Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion inventointitulokset vuosilta 1994-2002 antavat kuvan puustovaurioiden määrästä koneellisessa korjuussa (Ranta 2003). Keskimääräinen vauriopuiden osuus on vaihdellut välillä

2,2-4,1 %. Korjuujäljessä on selvä paraneva kehityssuunta. Vaikka korjuujälki keskimäärin täyttääkin vaatimukset, ongelmana on kuitenkin suuri leimikoiden välinen vaihtelu.

Kesällä puustovaurioiden syntyherkkyys on suurempi kuin muina vuodenaikoina, koska puun kuori irtoaa helposti. Wästerlundin (1986) mukaan männyn ja kuusen juuren kuoren irrottamiseen tarvittava voima kesällä on 40 N/cm² ja vastaavasti syksyllä 60-80 N/cm². Vaurioiden koko on myös sulan puun aikana suurempi kuin talvella puun ollessa jäässä. Erityisen herkästi puustovaurioita syntyy nila-aikana.

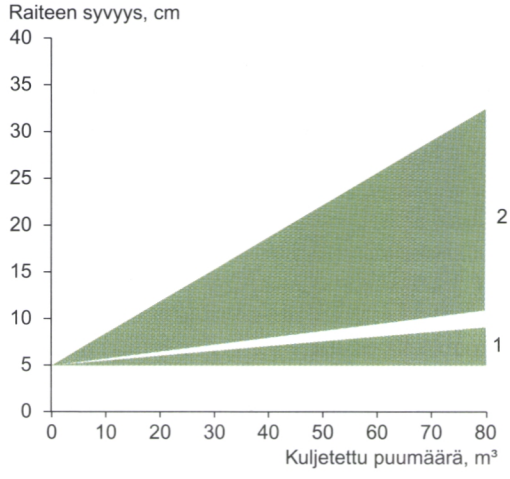
Koneen kuljettajalla on keskeinen vaikutus puustovaurioiden määrään (Sirén 1998). Koneellisessa korjuussa kaksi kolmannesta vaurioista syntyy hakkuuvaiheessa. Hakkuukoneen aiheuttamista vaurioista yli 90 % kohdistuu puun runkoon. Yli 80 % vaurioista on pintavaurioita, joissa kuori on irronnut, mutta puuaines ei ole rikkoutunut. Metsäkuljetuksessa syntyvistä vaurioista huomattava osa kohdistuu juurenniskaan tai juuristoon. Metsäkuljetusvauriot ovat laadultaan pahempia ja pinta-alaltaan suurempia kuin hakkuuvaiheen vauriot. Turvemailla huono kantavuus lisää juuristovaurioiden riskiä.

Hakkuun työmenetelmä vaikuttaa puustovaurioiden määrään. Pienillä hakkuukoneilla voidaan käyttää hakkuu-uramenetelmää ja pidentää metsäkuljetusurien väliä. Hakkuu-uramenetelmän käyttö lisää kuitenkin puustovaurioiden riskiä erityisesti hakkuu-urien läheisyydessä. Hakkuu-urilla työtila on pieni ja puiden siirtelytarve on suuri, koska puutavara on saatava metsätraktorin ulottuville (Sirén & Tanttu 2001a). Hakkuu-uramenetelmän vaurioherkkyyden ovat todenneet myös Brunberg ja Nilsson (1988) ja Ryynänen ym. (2001).

5.9.3 Raiteenmuodostus ja siihen vaikuttavat tekijät

Koneiden kulkuominaisuuksia ja raiteenmuodostusta turvemailla on tutkittu paljon. Metsähallituksen panos tässä tutkimus- ja kehitystyössä on ollut merkittävä. Laaja aihepiirin tutkimuskokonaisuus oli Metsähallituksen kehittämisjaoston ja Metsäntutkimuslaitoksen järjestämä vertaileva koe (Sirén ym. 1987), jossa tutkittiin metsäkuljetuskoneiden raiteenmuodostusta turvemaalla. Erot koneiden ja konetyyppien raiteenmuodostuksessa olivat suuret. Telakoneet soveltuivat turvemaalle pyöräkoneita paremmin. Telakoneessa suuri kosketuspinta saadaan aikaan helpommin kuin pyöräkoneessa ja kuormitus jakautuu kosketuspinnalla tasaisemmin. Pyöräkoneilla massan ja painojakauman vaikutus raiteenmuodostukseen oli ilmeinen. Kuusipyöräisillä koneilla kriittiseksi tekijäksi osoittautui etupään massa, jonka merkitys korostui ojia ylitettäessä. Eri konetyyppien raiteenmuodostusta kuvaa Sirénin ym. (1987) tulosten perusteella piirretty kuva 24, jossa esitetään eri konetyyppien raiteenmuodostus suhteessa ylikuljetettuun puumäärään turvepellolla.

Ajokertojen määrän ja raiteenmuodostuksen välillä on selkeä yhteys (Sirén ym. 1987, Karlsson & Myhrman 1990a, 1990b). Turvemailla kertymät ovat pääsääntöisesti alhaisia, jolloin ajokertojen määrä ajouralla jää usein pieneksi. Kuorman koko vaikuttaa rai-



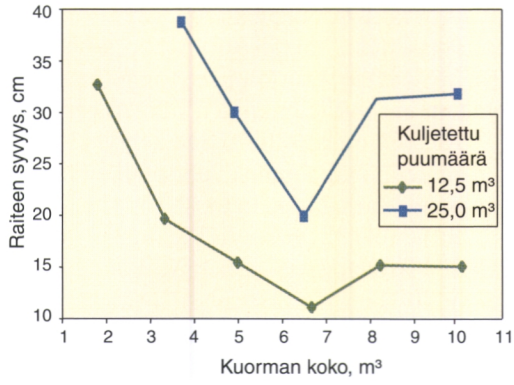
Kuva 24. Eri konetyyppien raiteenmuodostus suhteessa ylikuljetettuun puumäärään turvepellolla. Telamaasturit = 1, pyörätraktorit = 2 (Sirén ym. 1987).

teenmuodostukseen. Högnäs (1985a) selvitti kuorman koon vaikutusta raiteenmuodostukseen mittaamalla keskikokoisen 6-pyöräisen traktorin raiteenmuodostusta erikokoisilla kuormilla ajettaessa. Matalimmat raiteet saavutettiin 7 m³:n kuormalla (kuva 25).

Kantavuusongelmia voidaan vähentää korjuuajan valinnalla ja havutuksella. Hakkuukoneita käytettäessä ajourille saadaan ajourapainumia vähentävä havutus. Friesin (1974) mukaan painumien syvyys pienenee havutuksella puoleen havuttamattomaan uraan verrattuna. Vastaavanlaisia tuloksia havutuksen vaikutuksesta saivat Brunberg ja Nilsson (1988).

Hakkuukoneiden liikkuvuus turvemailla ei useinkaan ole este korjuun toteuttamiselle. Kuvan hakkuukoneiden ja kuormatraktoreiden raiteenmuodostuksesta antaa Skogforskin koesarja, jossa hakkuukoneiden ja kuormatraktoreiden raiteenmuodostusta verrattiin yhtenevissä olosuhteissa pellolla (Karlsson & Myhrman 1990a, 1990b). Pienellä, massaltaan noin viiden tonnin hakkuukoneella, kymmenen ajokertaa suoralla radalla synnytti ainoastaan 3,5 cm:n raiteet. Raskaammilla 12-14 tonnin hakkuukoneilla raiteiden syvyydet olivat 6-8 cm. Ympyrää ajettaessa kaksiakselisten koneiden raiteenmuodostus oli samaa tasoa kuin suoraan ajettaessa. Sen sijaan telillä varustetun, kolmiakselisen koneen raiteet olivat noin kolme kertaa syvemmät kuin suoralla ajettaessa (Karlsson & Myhrman 1990a).

Testatut kuormatraktorit olivat kahdeksanpyöräisiä koneita, jotka kuormattiin siten, että kuitupuukuorma oli 75 % koneenvalmistajan suosittelemasta maksimikuormasta. Tutkittujen koneiden omapainot olivat 9,1-15,5 tonnia. Teloja ei käytetty. Raiteenmuodostus suoraan ajettaessa pysyi kohtuullisena, sillä kymmenen ajokerran jälkeen raiteiden syvyydet olivat 5-15 cm. Ympyrää ajettaessa kuormatraktoreiden raiteenmuodostus oli selvästi suurempaa kuin suoralla. Yhtä konetta ajettiin sekä 600 mm:n että 800 mm:n renkailla. Leveämmillä renkailla raiteiden syvyys oli yli puolet pienempi kuin kapeammilla renkailla (Karlsson & Myhrman 1990b).

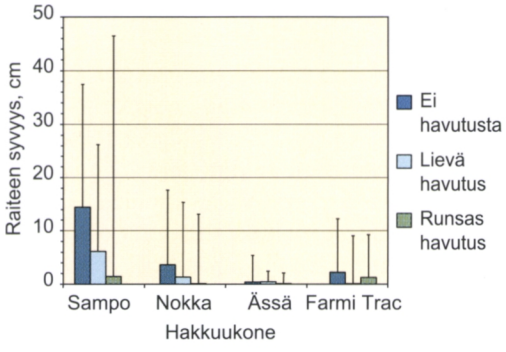


Kuva 25. Kuorman koon vaikutus raiteenmuodostukseen (Högnäs 1985a).

Kuusipyöräisillä koneilla painojakauman vaikutus raiteenmuodostukseen voi olla merkittävä (Ala-Ilomäki & Högnäs 1997). Kuusipyöräisessä traktorissa etuakselin pyörien kosketuspinta on taka-akselin vastaavaa pienempi, joten keulan pintapaine lisääntyy kuormituksen kasvaessa nopeammin. Etupainoisuuden lisääntyessä etuakseli saattaa murtaa ja muokata turvemaan pintamaata enemmän, jolloin myös taka-akselin pyörien raiteenmuodostus voi lisääntyä.

Pienten hakkuukoneiden raiteenmuodostusta erittäin vaikeissa kantavuusoloissa turvemaalla selvittivät Sirén ja Tanttu (2001b). Kokeeseen osallistui neljä hakkuukonetta. Sampo-Rosenlew 1046X, Nokka 6 WD, Ässä 810 ja Farmi Trac 775, joka on tela-alustainen kone. Hakkuukoneista Sampolla oli 500 mm:n ja Ässällä 700 mm:n renkaat, Nokalla 600 mm:n renkaat ja kantavat telat. Urapainumien syvyys mitattiin urille määrävälein sijoitetuista mittauspisteistä. Lisäksi kultakin mittausjaksolta mitattiin raiteen syvyys syvimmän painuman kohdalta. Koneiden raiteenmuodostusta ja havutuksen vaikutusta esittää kuva 26.

Kaksiakselisen Ässän raiteenmuodostus oli pienempi kuin telakoneella, ja Ässä myös rikkoi vähemmän turpeen pintaa kuin telako-



Kuva 26. Keskimääräinen painuman syvyys (pylväät) ja mittausjaksojen syvimpien painumien keskiarvo (pylväiden päällä olevat janat) pienillä hakkuukoneilla. Mittauskohdat jaoteltu havutuksen määrän perusteella (Sirén & Tanttu 2001b).

ne. Telamatto antaa kantavuutta, mutta telalappu rikkoo turpeen pinnan. Pinnan rikkoutuminen taas heikentää kantavuutta metsäkuljetuksessa. Ässän laskennallinen pintapaine (kosketuspaine) 700 mm:n renkailla on suuruusluokkaa 40 kPa ja 600 mm:n renkailla 15 % suurempi. Vertailun vuoksi Sampon laskennallinen pintapaine 500 mm:n renkailla on noin 60 kPa ja 600 mm:n renkailla noin 50 kPa.

Renkaan kosketuspinta-alasta ja rengaskuormasta laskettu pintapaine ei yksinään ratkaise raiteenmuodostusta, vaan myös kulkualustan ominaisuudet on otettava huomioon. Pintakasvillisuus, puiden juuret ja hakkuutähteet ovat ratkaisevia kantavuuden kannalta. Turvemaalla ratkaisevaa on kantavan pintamaan säilyminen ehjänä. Jos turpeen pinta rikkoutuu ja jokin pyöristä alkaa painua, vaikeudet ovat edessä. Vaikeuksia syntyy koneen painon siirtyessä jollekin pyörälle esimerkiksi kantojen päältä ajettaessa. Kantavuuden kannalta kriittinen tilanne syntyy myös käännyttäessä, kuten Skogforskin tulokset (Karlsson & Myhrman 1990a, 1990b) osoittavat.

Riepon (2001) mukaan rengaspaineiden ajoaikainen säätöjärjestelmä, koneiden rakenteellinen kehittäminen, jousitus ja koneen tai kuorman pitäminen suorassa vaaittamalla antavat mahdollisuuksia koneiden maastoystävällisyyden kehittämiseen. Lisävarustaminen aiheuttaa toisaalta paineita koneiden hintoihin. Metsähallituksen metsätalouden kehittämisyksikössä tutkittiin 1980-luvulla mahdollisuuksia parantaa metsätraktoreiden ominaisuuksia turvemaalla telojen avulla. Telamallien väliset erot olivat pieniä, ja ratkaiseva tekijä oli kantopinta. Myöskään telamaton tiheydellä ei ollut erityistä merkitystä raiteenmuodostukseen (Kumpuniemi 1985a, 1985b).

5.9.4 Jäävän puuston ja poistuman rakenne

Turvemailla puusto jakautuu usein epätasaisesti järeimmän puuston keskittyessä ojien varsille. Saran keskellä saattaa olla vain varsin vähän hakattavaa. Jos harvennuksen yhteydessä tehdään kunnostusojitus, ojalinjoille on avattava riittävä työtila kaivinkoneelle. Tällöin huomattava osa ojien varsilla sijaitsevasta puustosta poistetaan. Ojalinjojen avaaminen lisää kertymää ja parantaa hakkuutyön työoloja, mutta osa parhaasta puustosta menetetään jo harvennusvaiheessa.

Turvemailla kunnostus- ja täydennysojalinjat muodostavat ajouraverkoston rungon koneellisessa hakkuussa. Ojalinjalle tulevat ajourat voidaan sijoittaa joko ojien päälle tai viereen. Ajourien sijoittaminen ojien päälle edellyttää kunnostusojitusta hakkuun jälkeen. Ojat eivät myöskään saa haitata koneiden liikkumista. Sirén ja Tanttu (2001a) selvittivät korjuumenetelmän vaikutusta jäävän puuston rakenteeseen rämemännikössä, jossa sarkaleveys oli 40 metriä. Seuraavia korjuuvaihtoehtoja verrattiin:

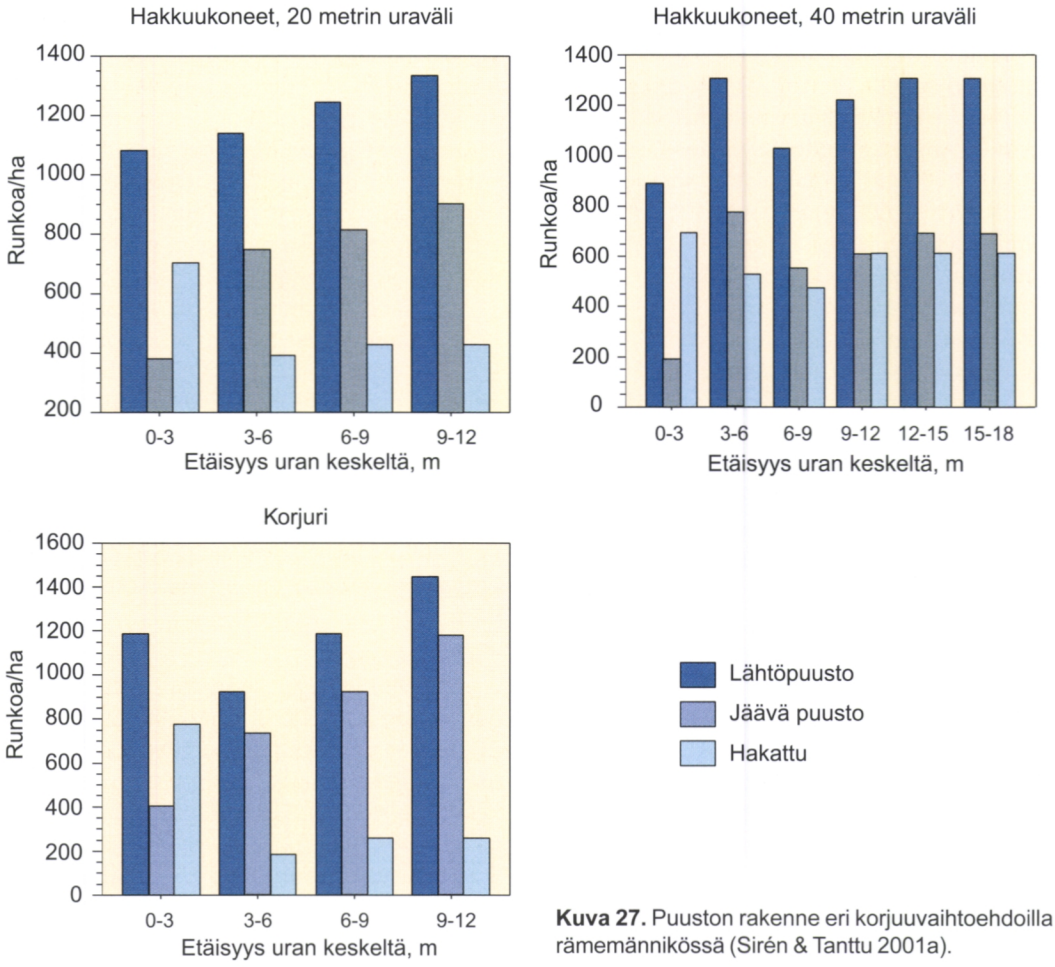
- Metsäkuljetusurat sijoitettiin ojien päälle ja ojalinjojen keskiväliin (metsäkuljetusuraväli 20 metriä). Hakkuukoneet työskentelivät metsäkuljetusurilla ja tarvittaessa niiltä poikkeavilla pistourilla. Korjuri työskenteli pelkästään metsäkuljetusurilla.
- Metsäkuljetusurat sijoitettiin ainoastaan ojien päälle (metsäkuljetusuraväli 40 metriä). Metsäkuljetusurien väliin sijoitettiin kaksi

hakkuu-uraa. Hakkuukoneet työskentelivät metsäkuljetusurilla ja hakkuu-urilla.

Korjuujälki mitattiin Sirénin (1998) esittämällä menetelmällä, jossa korjuujälki mitataan ajourien reunoille sijoitettavilta, vyöhykkeisiin jaetuilta suorakaiteen muotoisilta koealoilta. Hakkuu-uramenetelmällä metsäkuljetusurien väli oli 40 metriä. Puuston rakenteen ja puustovaurioiden määrän selvittämiseksi mitattiin kuusi kolmen metrin levyistä vyöhykettä, jolloin uloin vyöhyke ulottui 18 metrin etäisyydelle metsäkuljetusurasta. Kunkin vyöhykkeen keskeltä mitattiin etäisyys hakkuu-uran keskelle. Jäävän puuston rakenne hakkuukoneilla ja korjurilla eri menetelmävaihtoehdoilla esitetään kuvassa 27.

Käytettäessä 20 metrin uraväliä jäävän puuston määrä kasvoi uralta poispäin siirryttäessä sekä korjurilla että hakkuukoneilla. Hakkuu-uramenetelmällä jäävän puuston määrä oli tasaisempi. Vyöhykkeiden 1 alhainen jäävä puusto johtuu siitä, että osa urista oli kunnostettavien ojien päällä. Pyöriväalustaista kaivinkonetta varten oli ohjeena avata 4,5 metrin työtila kunnostusojitusta varten.

Puuston määrä alle kahden metrin etäisyydellä hakkuu-urista ei eronnut muusta metsäkuljetusurien ulkopuolisesta puustosta. Hak-



Kuva 27. Puuston rakenne eri korjuuvaihtoehdoilla rämemännikössä (Sirén & Tanttu 2001a).

kuu-urat olivat siis aiemman nimityksensä mukaisia "haamu-uria".

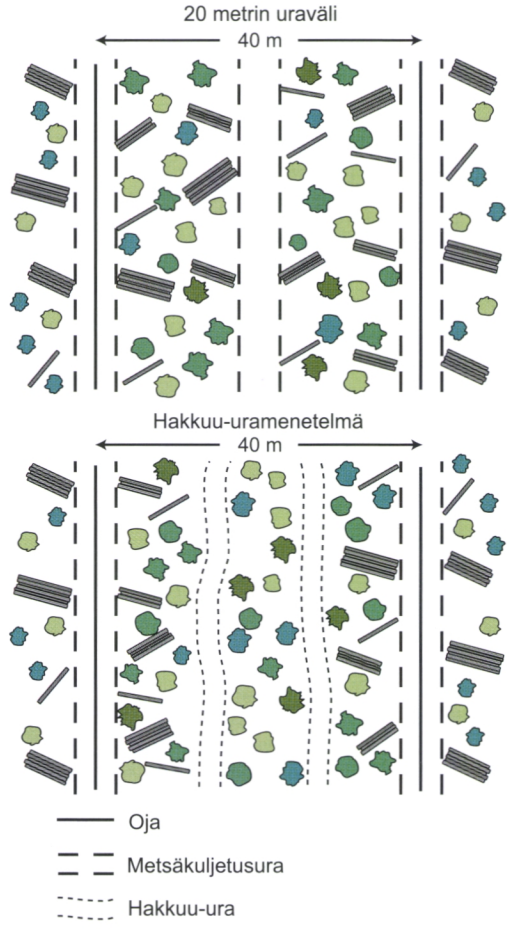
Myös Ryynäsen ym. (2000) tutkimuksessa jäävä puusto jakautui hakkuu-uramenetelmällä tasaisemmin kuin 20 metrin ajouraväliä käytettäessä. Tutkimuskohteet sijaitsivat tuolloin kivennäismailla.

5.9.5 Korjuujäljen taloudelliset vaikutukset ja puunkorjuun kokonaistalous

Korjuumenetelmiä arvioidaan pitkälti korjuukustannusten pohjalta. Korjuun vaatimukset vaikuttavat myös metsänhoito-ohjeisiin, sillä esimerkiksi Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion metsähoitosuosituksissa (Metsänhoitosuositukset 1989) ajouravälin vähimmäisvaatimus muuttui 20 metristä 30 metriin vastaamaan koneellisen korjuun tarpeita. Toisena esimerkkinä voidaan mainita erot metsäteollisuuden ja Tapion harvennusohjeissa (vrt. taulukko 1, sivu 206). Voimakkaammalla harvennuksella haetaan suurempaa kertymää ja alempia korjuukustannuksia.

Korjuumenetelmiä voidaan tarkastella myös laajemmin ottamalla huomioon korjuukustannukset, korjuujäljen seurausvaikutukset sekä tehdyn käsittelyn vaikutukset metsän kasvuun ja tuleviin tuottoihin. Seuraavassa esimerkissä tarkastellaan hakkuumenetelmän vaikutusta korjuukustannuksiin ja korjuujäljen seurauskustannuksiin rämemännikössä (Sirén & Tanttu 2001a). Hakkuumenetelmän vaikutuksia puuntuotantoon ei laskelmassa arvioida.

Harvennuksessa käytetään pientä hakkuukonetta, jolla voidaan käyttää hakkuu-uramenetelmää. Tällöin metsäkuljetusurat sijaitsevat ojien päällä, ja saralle tulee kaksi kapeaa hakkuu-uraa. Toisena vaihtoehtona on 20 metrin uraväli, jossa metsäkuljetusurat sijaitsevat ojien päällä ja keskellä sarkaa. Metsäkuljetus tehdään keskikokoisella kuormatrak-



Kuva 28. Rämemännikön ensiharvennuksessa verrattavat hakkuumenetelmät.

torilla. Kuvassa 28 esitetään ensiharvennuksessa käytettävät hakkuumenetelmät. Metsikön käsittelyn oletetaan tapahtuvan seuraavasti:

Käsittely	Ikä, a.	Lähtöpuusto, runkoa/ha	Jäävä-puusto, runkoa/ha	Kasvu, m³/a
1. harvennus	40	1193	676	5,5
2. harvennus	55	676	400	4,5
Päätehakkuu	80	400		

Kokon ja Sirénin (1996) laskentaohjelmalla voidaan arvioida ajourien, urapainumien ja puustovaurioiden aiheuttamia kasvu- ja laatutappioita. Seuraavia, Sirénin ja Tantun (2001a) tutkimuksen tuloksia vastaavia korjuujälkivaihtoehtoja verrataan:

1. Ajouraväli on 20 metriä, uraleveys 4,6 metriä ja urapainumia ei ole. Toisessa harvennuksessa käytetään ensiharvennuksen ajouria. Vauriopuiden osuus molemmissa harvennuksissa on 2,7 %.
2. Hakkuu-uramenetelmä, jossa ajouraväli on 40 metriä. Urapainumia ei ole. Myös toinen harvennus tehdään hakkuu-uramenetelmällä. Vauriopuiden osuus molemmissa harvennuksissa on 5,9 %.
3. Hakkuu-uramenetelmää käytetään ensiharvennuksessa. Toisessa harvennuksessa avataan metsäkuljetusurien väliin uusi 4,6 metriä leveä ura, jolloin uraväliksi tulee 20 metriä. Urapainumia ei ole. Vauriopuiden osuus on ensiharvennuksessa 5,9 % ja toisessa harvennuksessa 2,7 %.

Laskelmissa mäntykuitupuulle annettiin kantohinnaksi 15,1 €/m³ ja mäntytukille 46,3 €/m³. Seurauskustannusten nykyarvot laskettiin 3 %:n korolla. Seurauskustannukset eri vaihtoehdoilla esitetään taulukossa 6.

Taulukko 6. Korjuujäljen seurauskustannukset (€/ha) kiertoajan kuluessa.

Seurauskustannusten aiheuttaja	Menetelmä 1	2	3
Ajourat	45,8	22,9	31,4
Puustovauriot	0,9	2,0	1,5
Yhteensä	46,7	24,9	32,9

Nykyarvon laskentakorko vaikuttaa voimakkaasti seurauskustannusten arvoon. Jos korkoprosentti olisi 0, seurauskustannukset menetelmällä 1 olisivat 117,1 €/ha, 61,9 €/ha menetelmällä 2 ja 78,7 €/ha menetelmällä 3.

Hakkuumenetelmiä verrataan yhdistämällä korjuukustannukset ja korjuujäljen seurauskustannukset. Korjuukustannukset lasketaan pienelle hakkuukoneelle ja keskikokoiselle metsätraktorille seuraavin oletuksin:

- hakkuukoneen käyttötuntikustannus 50,5 €
- metsätraktorin käyttötuntikustannus 50,5 €
- metsäkuljetusmatka 250 m
- rungon koko 100 dm³, kertymä 50 m³/ha
- hakkuukoneen käyttötuntituottavuus 20 metrin uravälillä 5,8 m³ ja 40 metrin uravälillä 5,3 m³
- metsäkuljetuksen ajouranvarsitiheys 20 metrin uravälillä 10 m³/100 m ja 40 metrin uravälillä 20 m³/100 m
- metsäkuljetuksen käyttötuntituottavuus 20 metrin uravälillä 13,5 m³ ja 40 metrin uravälillä 14,6 m³

Korjuukustannukset 20 metrin uravälillä ovat 12,4 €/m³ ja hakkuu-uramenetelmällä 13,0 €/m³. Hehtaarikohtaiset korjuukustannukset ovat vastaavasti 619,8 € ja 648,4 €. Kun korjuujäljen seurauskustannukset lasketaan mukaan, hehtaarikohtaiseksi kustannukseksi 20 metrin uravälillä saadaan 666,6 € ja hakkuuuramenetelmällä (toisessa harvennuksessa käytetään 20 metrin ajouraväliä) 681,6 €. Hakkuumenetelmien kustannuserot ovat pienet, vaikka laskelmassa ei otetakaan huomioon puuntuotannollisia vaikutuksia. Hakkuuuramenetelmän käyttöä kannattaa harkita ainakin laadultaan epätasaisissa männiköissä. Tällöin ajourille joudutaan uhraamaan vähemmän hyvälaatuisia puita ja jäävä puusto myös jakautuu tasaisemmin.

Kirjallisuus

Ala-Ilomäki, J. & Högnäs, T. 1987. Painojakauman vaikutus kuusipyöräisen kuormatraktorin raiteenmuodostukseen turvemaalla. Metsähallitus, kehittämisjaosto. Koeselostus 246. 10 s.

Arnkil, R., Kotiharju, A., Poikela, A. & Äijälä, O. 2002. Korjuujäljen seurannan yhtenäistäminen -projekti. Loppuraportti. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. 20 s.

Bjurulf, A. & Spångberg. 1994. Nya massavedssortiment - en möjlighet till bättre råvaru utnyttjande. SkogsForsk Resultat 19. 3 s.

Björheden, R. & Fröding, A. 1986. Ny rutin för gallringsuppföljning. Teoksessa: Tänk till gallringsfrågan. Sveriges lantbruksuniversitet. Institutionen för skogsteknik. Uppsatser och Resultat 52: 71 - 76.

Brunberg, T. 1997. Underlag för produktionsnorm för engreppsskördare i gallring. Skogforsk, Redogörelse 8. 18 s.

Brunberg, T. & Arlinger, J. 2001. Vad kostar det att sortera virket i skogen? Skogforsk, Resultat 3. 4 s.

Brunberg, T. & Nilsson, N. 1988. FMG 0470 Lillebror, beståndsgående engreppsskördare för klena gallringar. Skogsarbeten, Resultat 13. 4 s.

Eeronheimo, O. 1991. Suometsien puunkorjuu. Folia Forestalia 779. 29 s.

Eeronheimo, O. & Heikka, T. 1987. Kokemuksia telamaastureiden käytöstä metsäkuljetuksessa. Teoksessa: Metsäntutkimuspäivä Kokkolassa 13.3.1987. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 250: 18-35.

Fries, J. 1974. Thinning - why and how? Thinning in the forestry of the future. Reprint of the papers from the international conference at Elmia 1973. Skoghögskolan, Institutionen för skogsteknik, Rapporter och Uppsatser 69: 1-19.

Gullberg, T. 1997. Tidsåtgångsmodell för skotning. Sveriges lantbruksuniversitet. Institutionen för skogsteknik. Uppsatser och resultat nr 297. 29 s.

Harvennushakkuiden taloudellinen merkitys ja toteuttamisvaihtoehdot. 1992. Maa-ja metsätalousministeriö. 121 s.

Högnäs, T. 1984. Jermu -telamaasturin käyttö 1984. Metsähallituksen kehittämisjaosto. PM 13/84. 5 s.

Högnäs, T 1985a. Kuorman koon vaikutus metsätraktorin raidesyvyyteen. Metsähallituksen kehittämisjaosto. Koeselostus 217. 19 s.

Högnäs, T. 1985b. Ojitusalueiden puunkorjuu. Metsähallituksen kehittämisjaosto, PM 13/85. 12 s.

Högnäs, T. 1986. Harvennuspuutavaran kuljetus Jermu -telamaasturilla. Metsähallituksen kehittämisjaosto. Koeselostus 230. 11 s.

Högnäs, T. 1997. Puunkorjuu turvemaalla. Metsähallituksen aikaisemman kokeilutoiminnan tuloksia. Metsähallitus. Metsätalouden kehittämisyksikkö. Tiedote 2/1997. 13 s.

Hynynen, J. & Saramäki, J. 1995. Ensiharvennuksen viivästymisen ja harvennusvoimakkuuden vaikutus nuoren männikön kehitykseen. Folia Forestalia - Metsätieteen aikakauskirja 1995(2): 99-113.

Hyvän metsänhoidon suositukset. 2001. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. 95 s.

Hänninen, T. & Kumpare, T. 1986. Farmi Trac -telamaasturi harvennuspuun kuljetukseen. Metsähallituksen kehittämisjaosto. Koeselostus 232. 7 s.

Jormanainen, P. 1999. Metsäammattilaisten ja metsänomistajien tietämys suometsistä Pohjois-Karjalassa. Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu, metsätalouden koulutusohjelman opinnäytetyö. 13 s.

Jönsson, Y. 1990. Kostnader för skotare och skotning. Påbyggnadskursen i Skogsteknik. Skogsvetenskapliga fakulteten. SLU, Umeå. 9 s.

Kalland, F. 2000. Suullinen tieto.

Karlsson, L. & Myhrman, D. 1990a. Spårdjupsprov, engreppsskördare. Skogsarbeten, Resultat 22. 4 s.

Karlsson, L. & Myhrman, D. 1990b. Spårdjupsprov, skotare. Skogsarbeten, Resultat 22. 4 s.

Kasvatusmetsien käsittely ja koneellinen korjuu. 1999. Metsäliitto Osuuskunta 4/99. 20 s.

Kaunisto, S. & Paavilainen, E. 1988. Nutrient stores in old drainage areas and growth of stands. Commun. Inst. For. Fenn. 145. 39 s.

Kinnunen, S. & Ärölä, E. (toim.). TASO-maastotyöopas. 1993. Metsäkeskus Tapio. 50 s.

Kokko, P. & Sirén, M. 1996. Harvennuspuun korjuujälki, korjuujäljen seurausvaikutukset ja niiden arviointi. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 592. 70 s.

Korhonen, K. T. 2001. Suullinen tieto.

Korjuujälki harvennushakkuissa. 2003. Metsätehon opas. 32 s.

Korpilahti, A., Varhimo, A., Keskinen, S. & Lemmetty, J. 1995. Mäntykuitupuun minimiläpimitan vaikutus puunhankintaan ja sellunvalmistukseen. Metsätehon katsaus 11. 6 s.

Korpilahti, A., Varhimo, A., Backman, M. & Rieppo, K. 1998. Karsimattoman puun korjuu ensiharvennuksilta. Bioenergian tutkimusohjelma – Puupolttoaineen tuotantotekniikka – Projekti 137. Loppuraportti 33 s.

Kuitto, P.-J., Keskinen, S., Lindroos, J., Oijala, T., Rajamäki, J., Räsänen, T. & Terävä, J. 1994. Puutavaran koneellinen hakkuu ja metsäkuljetus. Metsätehon tiedotus 410. 38 s.

Kumpuniemi, P. 1985a. Metsätraktorin telan vaikutus korjuuvaurioihin. Metsähallitus, kehittämisjaosto. Tutkimusselostus 143. 57 s.

Kumpuniemi, P. 1985b. Metsätraktorin telat vertailussa. Metsähallitus, kehittämisjaosto. PM 6/85. 11 s.

Kuusela, K. & Salminen, S. 1991. Suomen metsävarat 1977-1984 ja niiden kehittyminen 1952-1980. Acta Forestalia Fennica 220. 84 s.

Kärhä, K. (toim.) 2001. Harvennuspuun koneelliset vaihtoehdot. HARKO-projektin (1999-2001) loppuraportti. Työtehoseuran julkaisuja 382. 93 s.

Lauhanen, R. 1994. Puunkorjuu ojitusalueen kunnostuksen pullonkaula? Teoksessa: Hannelius, S. (toim.). Uusia vaihtoehtoja metsänkasvatukseen. Metsäntutkimuspäivä Järvenpäässä 16.11.1993. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 491: 68-74.

Laukkanen, H., Nousiainen, M., Jormanainen, P. & Niemi, S. 2002. Yhteistyö suometsien hakkuu- ja hoitotöissä. Teoksessa: Niemi, S., Finer, L., Laukkanen, H., Nousiainen, M., Sikanen, L. & Väätäinen, K. (toim.). Suometsät – tulevaisuuden tukkipuustot. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 830: 29-33.

Lilleberg, R. 1990. Kuormainharvesteri avo- ja harvennushakkuissa. Maksuperustetutkimus. Metsätehon moniste. 21 s.

Lilleberg, R. 1991. Harvennustapa ja puiden joukkokäsittely ensiharvennusmännikön koneellisessa hakkuussa. Metsätehon tiedotus 406. 11 s.

Lilleberg, R. & Raitanen, A. 1989. Etelä-Suomen harvennusmetsien määrä ja korjuuolosuhteet vuosina 1988-2000. Metsätehon tiedotus 401. 19 s.

Metsä 2000–ohjelman pääraportti. 1985. Talousneuvosto, Metsä 2000 –ohjelmajaosto. 189 s.

Metsäalan palkkaus. 1999. Koulutusaineisto. VIII painos. Metsäpalkkauksen kehittämisen projektiryhmä. 50 s.

Metsänhoitosuositukset 1989. Keskusmetsälautakunta Tapio. 55 s.

Mäkelä, M. 1989a. Koneellinen puunkorjuu männikön ensimmäisessä harvennuksessa. Metsätehon katsaus 2. 6 s.

Mäkelä, M. 1989b. Koneellinen puunkorjuu kuusikon ensimmäisessä harvennuksessa. Metsätehon katsaus 10. 6 s.

Mäkelä 1990. Turvemaiden koneellinen puunkorjuu kesäaikaisissa ensiharvennuksissa. Metsätehon katsaus 4. 6 s.

Mälkönen, E., Kukkola, M. & Finer, L. 2001. Energiapuun korjuu ja metsämaan ravinnetase. Teoksessa: Nurmi, J. & Kokko, A. (toim.). Biomassan tehostetun talteenoton seurannaisvaikutukset metsässä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 816: 31-52.

Määttä, T. & Pesonen, M. 1998. Potentiaaliset hakkuumahdollisuudet ja energiapuuvarat Etelä-Suomessa. Teoksessa: Nikku, P. (toim.). Bioenergian tutkimusohjelma. Projektikirja 1993-1998, osa I. Bioenergian tutkimusohjelman julkaisuja 21: 67-70.

Niemi, S. 2001. Suometsien harvennushakkuisiin soveltuva kevyt korjuukalusto ja sillä urakointi. Metsä- ja puuteknologian pro gradu -työ. Joensuun yliopisto, Metsätieteellinen tiedekunta. 75 s.

Niemi, S., Finer, L., Laukkanen, H., Nousiainen, M., Sikanen, L. & Väätäinen, K. (toim.) 2002a. Suometsät - tulevaisuuden tukkipuustot. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 830. 73 s.

Niemi, S., Pulkkanen, T., Väätäinen, K. & Sikanen, L. 2002b. Suometsien harvennushakkuiden korjuukalusto. Teoksessa: Niemi, S., Finer, L.,

Laukkanen, H., Nousiainen, M., Sikanen, L. ja Väätäinen, K. (toim.) 2002. Suometsät – tulevaisuuden tukkipuustot. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 830: 33-57.

Nordisk avtale om skoglig arbeidstudienomenklatur. The Nordic agreement on forest work study nomenclature. 1978. Nordiska skogsarbetsstudiernas råd. Ås. Norge. 130 s.

Nuutinen, T. Hirvelä, H., Hynynen, J., Härkönen, K., Hökkä, H., Korhonen, K.T. & Salminen, O. 2000. The role of peatlands in Finnish wood production – an analysis based on large-scale forest scenario modeling. Silva Fennica 34(2): 131-153.

Pesonen, M. & Soimasuo, J. 1998. Tilakohtaisen kestävyyden vaikutus suuralueen kestäviin hakkuumahdollisuuksiin – tapaustutkimus Satakunnan metsälautakunnan alueella. Metsätieteen aikakauskirja – Folia Forestalia 1/1998: 43-51.

Pohjola, T. 1983. Puuston vaihtelu ojitusalueiden nuorissa kasvatusmetsissä. Metsähallituksen kehittämisjaosto. Tutkimusselostus 137. 10 s.

Rajamäki, J. 1997. Kuljettaja ratkaisee harvennushakkuun tuottavuuden. Koneyrittäjä 2: 30-31.

Ranta, R. 2003. Harvennushakkuiden korjuujäljen tarkastukset vuonna 2002. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. Raportti. 6 s.

Rieppo, K. 2001. Konekehityksellä yhä parempaan korjuujälkeen. Metsätieteen aikakauskirja. Tieteen tori. 4/2001: 635-639.

Rieppo, K. & Pekkola, P. 2001. Korjurien käyttömahdollisuuksista. Metsätehon raportti 121. 43 s.

Ryynänen, S. 1994. Maataloustraktoriharvesteri männikön ensiharvennuksessa. Työtehoseuran julkaisuja 338. 68 s.

Ryynänen, S. Rönkkö, E. & Sirén, M. 2000. Harvennusharvestereiden tuottavuus ja korjuujälki. Työtehoseuran metsätiedote 15/2000 (628). 6 s.

Ryynänen, S. & Rönkkö, E. 2001. Harvennusharvestereiden tuottavuus ja kustannukset. Työtehoseuran julkaisuja 381. 67 s.

Saarilahti, M. 1981. Koneiden uppoaminen suometsien puunkorjuussa. Silva Fennica Vol.15, N:o 3: 323-331.

Sirén, M. 1998. Hakkuukonetyö, sen korjuujälki ja puustovaurioiden ennustaminen. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 694. 179 s.

Sirén, M. 2000. Turvemaiden puunkorjuun kehittäminen. Metsätieteen aikakauskirja - Folia Forestalia 2/2000: 301-307.

Sirén, M. 2002 (toim.) Ensiharvennusten korjuuolot ja niiden parantamismahdollisuudet. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 837. 56 s.

Sirén, M., Ala-Ilomäki, J. & Högnäs, T. 1987. Harvennuksiin soveltuvan metsäkuljetuskaluston maastokelpoisuus. Folia Forestalia 692. 60 s.

Sirén, M., Tanttu, V., Mäntynen, E., Aaltio, H. & Siipilehto, J. 2002. Ensiharvennusten korjuuolot. Teoksessa: Sirén, M. 2002 (toim.) Ensiharvennusten korjuuolot ja niiden parantamismahdollisuudet. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 837: 9-19.

Sirén, M. & Aaltio, H. 2001. Harvennusharvesterien ja korjurien pitkän aikavälin tuottavuus. Teoksessa: Kärhä, K. (toim.). Harvennuspuun koneelliset korjuuvaihtoehdot. Harko-projektin (1999-2001) loppuraportti. Työtehoseuran julkaisuja 382: 29-31, 43-46, 49-52, 66-68.

Sirén, M. & Tanttu, V. 2001a. Pienet hakkuukoneet ja korjuri rämemännikön talvikorjuussa. Metsätieteen aikakauskirja 4/2001: 599-614.

Sirén, M. & Tanttu, V. 2001b. Suosavotta odottaa tekijäänsä. Koneyrittäjä 4: 14-16.

Tahvanainen, M. 2001. Ennakkoraivaus. Teoksessa: Kärhä, K (toim.) 2001. Harvennuspuun koneelliset vaihtoehdot. HARKO-projektin (1999-2001) loppuraportti. Työtehoseuran julkaisuja 382: 24-25, 41-43, 62-64.

Tanttu, V., Sirén, M. & Aaltio, H. 2002a. Harvennuskertymän rakenne ja energiapuun määrä ensiharvennusmänniköissä. Teoksessa: Sirén, M. (toim.). Ensiharvennusten korjuuolot ja niiden parantamismahdollisuudet. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 837: 27-36.

Tanttu, V., Sirén, M., Aaltio, H. & Kärhä, K. 2002b. Energiapuun korjuuolojen parantamismahdollisuudet. Teoksessa: Sirén, M. (toim.). Ensiharvennusten korjuuolot ja niiden parantamismahdollisuudet. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 837: 37-56.

Tanttu, V., Sirén, M. & Ahtikoski, A. 2003. Metsänomistajien arviot energiapuun talteenoton lisäämisestä. Työtehoseuran metsätiedote 11/2003 (669). 4 s.

Wästerlund, I. 1986. The strength of bark on Scots pine and Norway spruce trees. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogsteknik. Rapport 167. 100 s.
Ylimartimo, M., Harstela, P., Korhonen, K.T. & Sirén, M. 2001. Ensiharvennuskohteiden korjuukelpoisuus ojitetuilla turvemailla. Metsätieteen aikakauskirja 2/2001: 253-263.

SUOMETSIEN KÄYTÖN VESISTÖKUORMITUS



6 Suometsien käytön vesistökuormitus

Erkki Ahti, Samuli Joensuu, Mika Nieminen ja Martti Vuollekoski

Maa- ja metsätalouden ympäristövaikutusten seurannan ja hallinnan merkitys on jatkuvasti kasvamassa (Vesien suojelun toimenpideohjelma 2005 1999, Suomen Itämeren suojeluohjelma... 2001, Kauppila & Bäck 2001). Todennäköisesti käytännön metsätaloudessakin joudutaan jatkossa yhä tarkemmin arvioimaan ja mittaamaan eri toimenpiteiden vaikutuksia (ks. esim. Ruokanen 1993, 1995, Marttila 2001).

Metsätalouden toimenpiteet vaikuttavat pohjaveteen, vesistöihin ja maaperään. Keskeisimpiä ovat erilaiset vesistövaikutukset ja vaikutukset pohjavesiin. Kysymys on tällöin ainevirroista, jotka kuormittavat vesistöjä ja pohjavesiä. Vesistöjä kuormittava toimenpide suurentaa usein sekä valumaveden ainepitoisuuksia että valunnan määrää. Kuormittavista aineista ravinteet, erityisesti fosfori ja typpi, aiheuttavat vesistöjen rehevöitymistä.

Lähes kaikki metsätalouden toimenpiteet, ts. erilaiset hakkuut (erityisesti päätehakkuut), hakkuisiin liittyvä puutavaran korjuu, metsän uudistamisen yhteydessä tehtävät maanpinnan käsittelyt, uudisojitus, kunnostusojitus, kulotus ja lannoitus aiheuttavat vesistöjen ravinnekuormitusta. Nämä toimenpiteet kuormittavat myös pohjavesiä. Vesistöjä kuormittavat metsätalouden toimenpiteet aiheuttavat lannoitusta lukuunottamatta myös joko metsämaan tai koko metsäekosysteemin köyhtymistä. Tällaisena toimenpiteenä on mainittava lisäksi kokopuunkorjuu.

Metsätalouden merkitystä vesien kuormittajana on pidetty maatalouteen verrattuna pienenä. Metsätalouden ominaiskuormituksen, ts. kuormituksen metsätalousmaan hehtaaria kohti, on monissa tutkimuksissa laskettu olevan vain 1/10 esimerkiksi maatalouden vastaavista kuormitusluvuista. Metsätalouden pieni hehtaarikohtainen kuormitus maatalouteen nähden johtuu osittain siitä, että metsätalouden toimenpiteiden, esim. päätehakkuiden ja ojitusten, toteuttamisväli on kymmeniä vuosia, kun toiminta maataloudessa on jatkuvaa. Kun yksittäisen metsätalouden toimenpiteen, esimerkiksi avohakkuun, kuormitus lasketaan toimenpidepinta-alaa kohden ja esim. 5 vuoden jaksolle, metsätalouden merkitys vesistöjen kuormittajana korostuu. Sillä on suuri merkitys erityisesti latvavesissä, joiden muu kuormitus on vähäistä.

On huomattava, että vaikka metsätalouden hehtaarikohtainen kuormitus olisikin vain kymmenesosa maatalouden kuormituksesta, metsätalouden maan pinta-ala on maatalousmaan pinta-alaan verrattuna kymmenkertainen, joten metsätalouden valtakunnallinen kuormitus saattaa olla samaa suuruusluokkaa kuin maatalouden.

Maa- ja metsätalousministeriö ja ympäristöministeriö käynnistivät vuonna 1990 METVE-projektin (Metsätalouden vesistövaikutukset ja niiden torjunta), jonka tuloksista on raportoitu suomenkielisessä loppuraportissa (Saukkonen & Kenttämies 1995) sekä sen jälkeen kansainvälisissä julkaisusarjoissa. Monet METVE-projektin tutkimuksista ovat jatkuneet Metsäntutkimuslaitoksen koordinoimassa yhteistutkimusohjelmassa "Metsätalouden ympäristökuormitus" (YMP), jonka tutkimushankkeet päättyivät v. 2000, ja jonka tuloksia raportoitiin 23.-24.9.1998 Nurmeksessa pidetyssä tutkijaseminaarissa ja v. 1999 julkaistussa raportissa (Ahti ym. 1999).

Ojitettujen turvemaiden metsätaloudella, ns. suometsätaloudella, on Suomessa suurempi osuus koko metsätalouden ympäristökuormituksessa kuin useimmissa muissa maissa. Aikaisemmin metsäojitusalueiden lan-

noitus ja nykyään kunnostusojitus ovat metsänuudistamisen yhteydessä tehtävän maanmuokkauksen ohella merkittäviä vesistöjen fosforikuormittajia. Nämä toimenpiteet aiheuttavat suurimman osan metsätalouden kiintoainekuormituksesta, ja niiden aiheuttamat fosforikuormat kytkeytyvät kiintoaineksen sisältämään fosforiin. Kuten maatalouden, myöskään metsätalouden kiintoainekuorman sisältämän fosforin merkityksestä ei ole täysin selkeää kuvaa.

6.1 Kunnostusojituksen vaikutus valumaveden laatuun

6.1.1 Vanhojen ojitusalueiden vedet

Vaikka tutkimuksellista näyttöä ei ole, ojituksen uskotaan yleisesti happamoittavan vesistöjä ja lisäävän niiden humuskuormitusta. Käsitys johtunee siitä, että suovedet ovat humuspitoisempia ja happamampia kuin mineraalimaiden valumavedet, ja on sikäli oikea, että vaikka ojitus ei lisäisikään suoveden happamuutta tai humuspitoisuutta, vesistöjen happo- ja humuskuormat voivat silti kasvaa ojituksen aiheuttamien hydrologisten muutosten, viime kädessä valunnan lisääntymisen kautta.

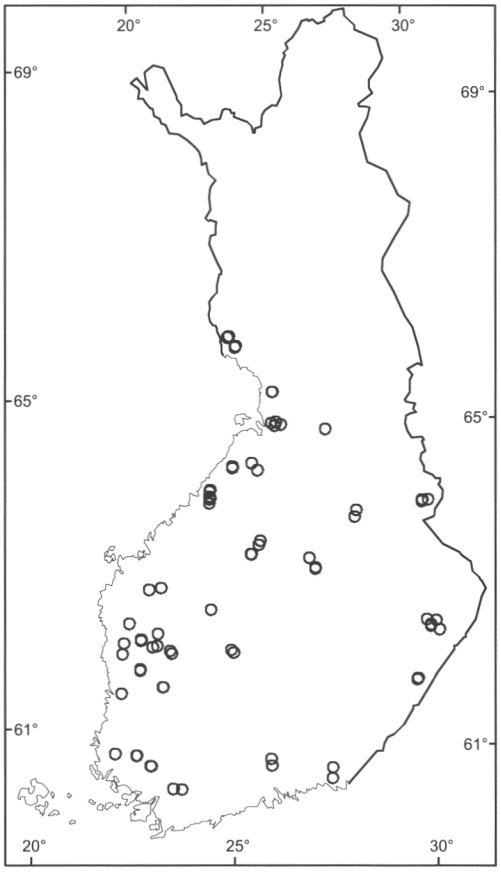
Vanhoilla ojitusalueilla, ts. suometsissä, joiden ojituksesta on kulunut niin kauan, että kaivun välittömät vaikutukset kuten ojaeroosion vaikutus eivät enää näy valumavesissä, on tutkittu valumavesien kemiallisia ominaisuuksia jo 1970-luvulla (Heikurainen ym. 1978). Tällöin metsäojituksella ei todettu olevan pitkäaikaisia vaikutuksia. Vanhojen, jo sammaloituneiden ojastojen valumavesien kiintoaineen, orgaanisen hiilen ja kokonaistypen pitoisuudet ovat Kenttämiehen (1987) mukaan lähellä luonnontilaisilta soilta tulevien vesien pitoisuuksia.

Metsäojitus vaikuttaa valuntaan suurentamalla valuntahuippuja (Ahti 1987) ja alivalumakausien valuntaa, mutta sillä ei liene puuston koko kiertoajan kestävää vaikutusta vuosivaluntaan. Tämän tutkimuksen koejärjestelyissä pääpaino on asetettu suometsien valumaveden kemiallisten ominaisuuksien ajalliseen ja alueelliseen vaihteluun. Raportti perustuu Metsätalouden vesistöhaitat ja niiden torjunta –projektin (METVE) yhteydessä Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion, Metsäntutkimuslaitoksen ja metsäkeskusten yhteistyönä kerättyyn kunnostusojituksen vaikutuksia käsittelevän tutkimuksen aineistoon (Joensuu 2002, Joensuu ym. 1999, 2001, 2002a, 2002b). Tutkimusaineisto käsittää 75 eri puolilla Suomea sijaitsevaa ojitusaluetta. Seuraavassa tarkastellaan diagrammien ja taulukoiden avulla, minkälaista vettä sellaisilta suomalaisilta ojitusalueilta valuu, joiden ojastot ja hydrologia on ehtinyt ojien kaivun jälkeen vakiintua ja joilla ojaeroosio on kaivusta kuluneen pitkän ajan johdosta vähäistä.

Valuma-alueet

Tutkimusalueet (kuva 1) valittiin siten, että muut kuin metsätaloustoimenpiteet vaikuttaisivat mahdollisimman vähän alueelta virtaavan veden laatuun. Kaikilla alueilla valuntaa mitattiin ja vesinäytteitä otettiin metsäojitusalueen laskuojasta, ts. kun seuraavassa käytetään termiä valuma-alue, tarkoitetaan aluetta, jonka vedet purkautuvat ojitusalueen laskuojan kautta. Valuma-alueilla ei ollut maatalous- tai rakennusmaata. Sen sijaan muutamilla valuma-alueilla oli teitä ja sähkölinjoja. Valuma-alueet sisälsivät myös jonkin verran jouto- ja kitumaita, joihin sisältyi vähäisessä määrin luonnontilaisia soita tai kunnostamatta jääviä heikkotuottoisia ojitusalueita.

Valuma-alueiden koko vaihteli 13-222 ha:iin eli ne olivat huomattavasti pienempiä kuin Suomen Ympäristökeskuksen ns. pienet valuma-alueet (esim. Saukkonen & Kortelainen 1995), mutta samaa suuruusluokkaa kuin useat ns. Nurmes-alueista (esim. Ahtiainen 1990). Valuma-alueen keskikoko oli 76 ha. Valuma-alueiden pinta-alasta keskimäärin runsaat 43 prosenttia oli kivennäismaata tai eri asteisia kivennäismaasoistumia, runsaat 10



Kuva 1. Tutkimusalueiden sijainti.

prosenttia oli alkuperältään korpia, 42 prosenttia rämeitä ja vajaa kaksi prosenttia nevoja. Ojitusalan osuus valuma-alueen pinta-alasta oli keskimäärin runsaat puolet. Vain vajaalla neljänneksellä valuma-alueista ojitusalan osuus oli suurempi kuin 75 prosenttia valuma-alueen pinta-alasta.

Valuma-alueiden turvemaapinta-ala oli 57 % valuma-alueen koko pinta-alasta. Valuma-alueiden suopinta-alasta oli ojitettu keskimäärin vajaa 95 prosenttia. Yhdellätoista alueella luonnontilaisen suon osuus oli yli viidennes valuma-alueen pinta-alasta. Ojitusalueista vajaa viidennes oli ojikkoasteella, noin kaksi kolmannesta muuttuma-asteella ja vajaa kymmenen prosenttia turvekankaita.

Valuma-alueiden puuston keskitilavuus oli 72,3 m^3 ha^{-1}. Alueittain keskitilavuus vaihteli välillä 9-190 m^3 ha^{-1}. Valuma-alueiden pinta-alasta oli keskimäärin neljä prosenttia avointa tai vähäpuustoista, taimikoita 28,3 prosenttia, nuoria kasvatusmetsiä noin 40 prosenttia, varttuneita kasvatusmetsiä runsaat 17 prosenttia ja uudistuskypsiä metsiä keskimäärin kymmenen prosenttia.

Havaintoalueiden ojat oli kaivettu keskimäärin 25 vuotta ennen vedenlaadun seurannan aloittamista. Nuorin ojitus oli kahdeksan vuotta vanha ja vanhimmasta ojituksesta oli kulunut 54 vuotta. Vanhimmasta lannoituksesta oli kulunut 24 vuotta ja nuorin lannoitus oli tehty viisi vuotta ennen seurantajakson alkua.

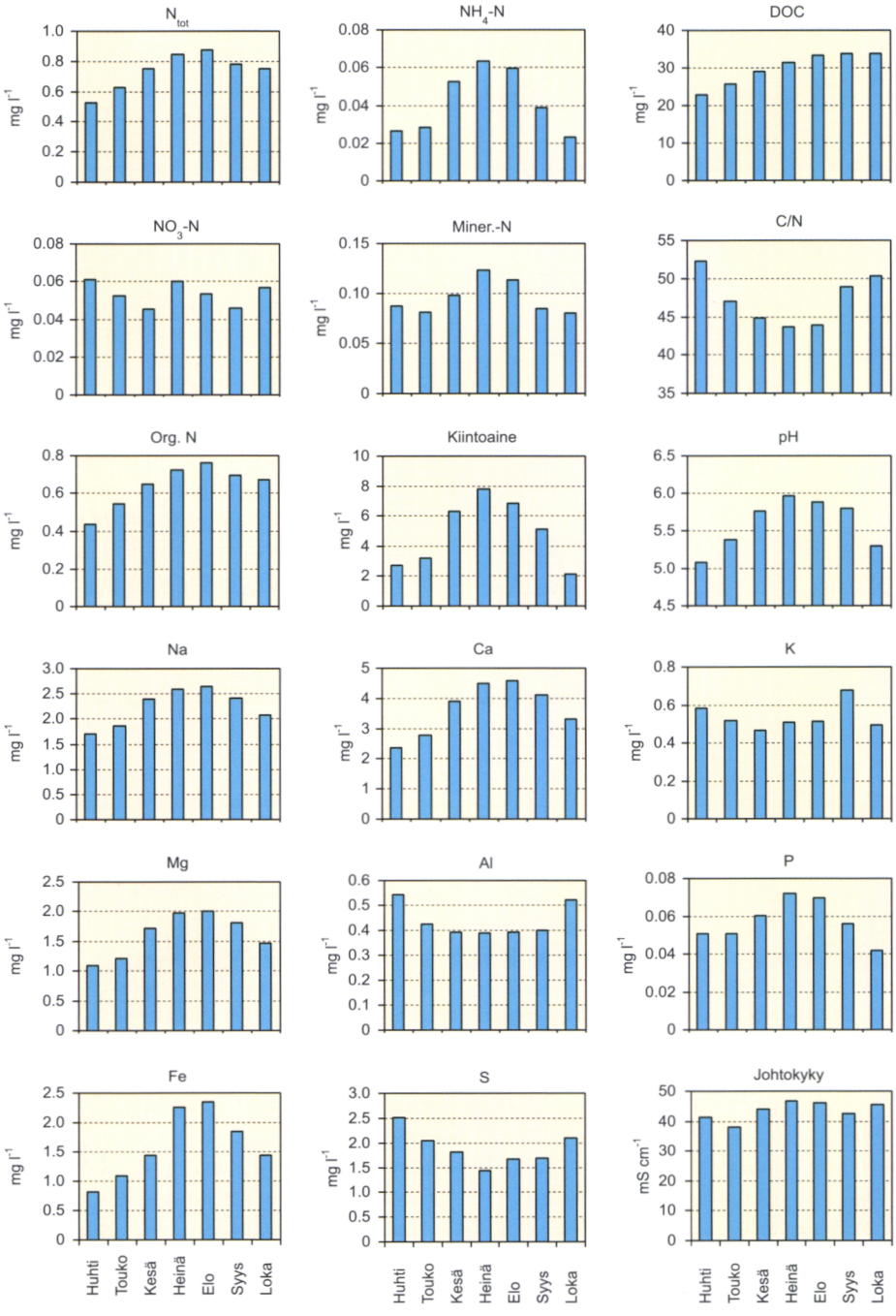
Ojastojen kunto kartoitettiin maastossa systemaattisella otannalla. Ojissa arvioitiin olevan yleisesti perkaustarvetta seuraavan kymmenen vuoden kuluessa. Kasvillisuus oli yleisin ojien huonokuntoisuuden ja tukkeumien syy.

Valumaveden ominaisuudet

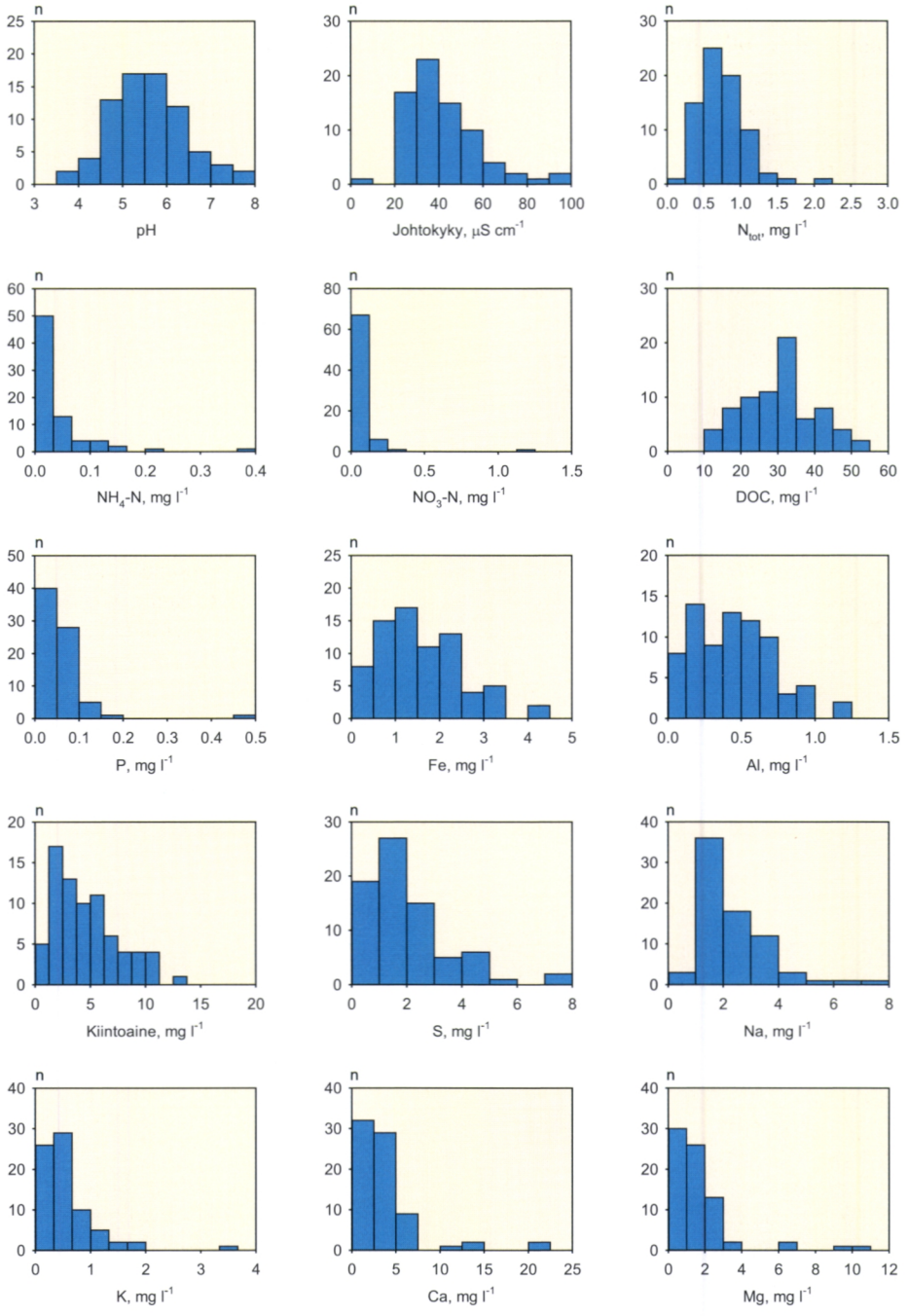
Vesinäytteet otettiin yleensä viikoittain. Näytteenotto pyrittiin aloittamaan keväällä mahdollisimman varhain. Kevättulvien aikana näytteitä otettiin kaksi kertaa viikossa, tulvakauden jälkeen kerran viikossa. Viikoittainen näytteenotto kesti lumen tuloon ja ojien jäätymiseen saakka. Talvella näytteitä ei otettu. Vesinäytteiden analyysit tehtiin Metsäntutkimuslaitoksen keskuslaboratoriossa.

Kokonaistypen pitoisuuksien keskiarvo vaihteli alueittain välillä 0,220-2,022 mg l^{-1} ja mediaani välillä 0,210-1,790 mg l^{-1} (kuva 2). Pääosa huuhtoutu-vasta typestä oli orgaanista typpeä. Tyypillinen kokonaistypen pitoisuus valumavedessä oli 0,5-1,0 mg/l^{-1}. Ammonium- ja nitraattityppeä huuhtoutui vähän.

Ammoniumtypen alueittaiset keskiarvot vaihtelivat välillä 0,0-0,385 mg l^{-1}. Ammoniumtypen samoin kuin kokonaistypen suurimmat pitoisuusarvot esiintyivät heinä-elokuussa (kuva 2). Nitraattitypen alueittaisten keskiarvojen vaihtelu oli huomattavasti laa-



Kuva 2. Vanhoilta ojitusalueilta valuvan veden ravinnepitoisuuksien, kiintoainepitoisuuden ja liuenneen orgaanisen hiilen (DOC) pitoisuuden sekä pH:n, johtokyvyn ja hiili-typpisuhteen huhti-lokakuun kuukausikeskiarvot.



Kuva 3. Vanhoilta ojitusalueilta valuvan veden ravinnepitoisuuksien, kiintoainepitoisuuden ja liuenneen orgaanisen hiilen (DOC) pitoisuuden sekä pH:n, johtokyvyn ja hiili-typpisuhteen alueittaisten keskiarvojen jakaumat.

jempaa, 0,0-1,207 mg l^{-1}. Nitraattitypen pitoisuuden vaihtelulla ei ollut selvää vuodenaikaista trendiä. Sekä ammonium-, että nitraattitypen pitoisuuksien jakauma oli vino, jolloin pieniä, lähellä nollaa olevia aluekeskiarvoja oli runsaasti ja suuria vain vähän (kuva 3). Kokonaistypen ja orgaanisen typen osalta alueet jakautuivat lähes normaalisti.

Fosforipitoisuuden keskiarvo oli 0,056 mg l^{-1} ja mediaani 0,049 mg l^{-1}. Alueelliset keskiarvot vaihtelivat välillä 0,026-0,458 mg l^{-1} ja mediaanit välillä 0,024-0,486 mg l^{-1}, kuitenkin niin, että toiseksi suurin aluekeskiarvo oli 0,152 mg l^{-1}. Aluekeskiarvoissa arvo 0,1 mg l^{-1} ylittyi seitsemällä alueella 75:stä. Valumaveden fosforipitoisuus oli korkein keskikesän vähävetisenä kautena heinä-elokuussa.

Liuenneen orgaanisen hiilen (DOC) pitoisuuden alueittaiset keskiarvot vaihtelivat välillä 6,88-49,07 mg l^{-1}. Orgaanisen hiilen pitoisuus oli pienin kevään tulvakaudella ja kasvoi asteittain koko sulan maan kauden ajan. Orgaanisen hiilen pitoisuus korreloi positiivisesti orgaanisen typen pitoisuuden kanssa ($p<0,01$).

Kiintoainepitoisuuden keskiarvo oli 4,90 mg l^{-1} ja alueittaiset keskiarvot vaihtelivat välillä 0,91-13,14 mg l^{-1}. Koko aineiston mediaani oli 2,40 mg l^{-1}, ja kiintoainepitoisuuden alueittaisten keskiarvojen jakauma vino. Kiintoainepitoisuus oli suurin heinäkuussa (7,77 mg l^{-1}). Pienimmät kiintoainepitoisuuden keskiarvot esiintyivät lokakuussa (2,13 mg l^{-1}) ja huhtikuussa (2,68 mg l^{-1}), eli aikoina, jolloin valunta oli suhteellisen voimakasta.

Valumaveden keskimääräinen pH oli 5,61. Alueittaiset keskiarvot vaihtelivat välillä 3,89-7,63 ja jakautuivat lähes normaalisti. Valumaveden pH oli alhaisimmillaan huhtikuussa (5,08) ja korkeimmillaan heinäkuussa (5,95).

Alumiinipitoisuuden keskiarvo oli 0,45 mg l^{-1} ja alueittaiset keskiarvot vaihtelivat välillä 0,04-1,19 mg l^{-1}. Vastaavat rautapitoisuuden arvot olivat 1,6 mg l^{-1} ja 0,14-4,49 mg l^{-1}. Suurimmat alumiinipitoisuudet esiintyivät huhtikuussa ja lokakuussa voimakkaan valunnan aikana, suurimmat rautapitoisuudet sen sijaan heinä-elokuussa.

Yhteenvetona voidaan sanoa, että kun ojituksesta on kulunut 20-30 vuotta, ojitusalueiden valumavesien laatu ei oleellisesti poikkea luonnontilaisten soiden valumavesistä.

6.1.2 Kunnostusojituksen vaikutus metsäojitusalueiden valumaveden kemiallisiin ominaisuuksiin

Uudisojituksen päätyttyä kunnostusojituksesta on tullut metsäojituksen päätoimintamuoto. Vuosina 1994-2003 vuotuinen kunnostusojituspinta-ala on ollut 70-80 000 hehtaaria (Metsätilastollinen vuosikirja 2004).

Kunnostusojituksen on arvioitu vaikuttavan vesistöihin kohdistuvaan kuormitukseen samansuuntaisesti kuin uudisojituksen, jonka tiedetään lisäävän erityisesti kiintoaineen huuhtoutumista (Heikurainen ym. 1978, Kenttämies 1980, Kenttämies & Laine 1984). Kunnostusojituksen tiedetään lisänneen kiintoaineen lisäksi valumaveden kiintoaineeseen sitoutuneen fosforin, ammoniumtypen ja nitraattitypen pitoisuuksia, kohottaneen pH-arvoa ja alentaneen selvästi valumaveteen liuenneen orgaanisen aineen pitoisuutta (Ahti ym. 1995a). Mannisen (1995) mukaan liuenneen orgaanisen aineen pitoisuus ei kunnostusojituksen vaikutuksesta oleellisesti muuttunut, sen sijaan kiintoaineen, kokonaisfosforin, kokonaistypen, ammoniumtypen ja nitraattitypen kuormitus kasvoivat selvästi. Mannisen (1995) toimenpidealueella Ruununsuolla totaalifosforin ja myös totaalitypen huuhtoutuminen kytkeytyivät kiintoaineen huuhtoutumiseen.

Kunnostusojituksen aiheuttamat hydrologiset muutokset eivät ole olleet samaa suuruusluokkaa kuin uudisojituksen (Ahti ym. 1995a, Ahti ym. 1995b, Manninen 1995). Kunnostusojituksen vaikutuksesta karuhkojen rämeiden pohjavesipinta laskee n. 10 cm (Ahti ja Päivänen 1997), puustoisemmilla ojitusalueilla todennäköisesti vähemmän. Tyhjenemisvalunnan (15-30 mm) loputtua vesitase lienee kohdealueen puuston määrästä riippuen lähes

samanlainen kuin ennen kunnostusojitusta: haihdunta tapahtuu edelleen lähes kokonaan latvuskerroksesta, ja ylivirtaamat ovat erityisesti ojanperkausten jälkeen ennallaan. Suurimmat hydrologiset muutokset olisivat näin alivirtaamien kasvu ja vesivaraston suurentunut vaihtelu. Suuripuustoisilla turvemailla hydrologinen muutos on todennäköisesti pienempi kuin pienipuustoisilla.

Seuraavassa tarkastellaan, minkälaisia muutoksia kunnostusojitus aiheutti valumaveden kemiallisiin ominaisuuksiin, kun 40:llä edellä kuvatuista 75 valuma-alueesta tehtiin kunnostusojitus; loppuosalla valuma-alueista kunnostusojitusta ei tehty, vaan ne jätettiin tutkimuksessa vertailualueiksi (Joensuu 2002).

Ojitushanketta kohti kaivettiin keskimäärin 8,6 kilometriä ojaa. Kunnostusojitus oli pääasiassa vanhojen ojien perkausta. Perkausojan määrä vaihteli alueittain alle puolesta kilometristä noin 18 kilometriin. Perkausojaa oli hankkeilla keskimäärin 5,3 kilometriä ja täydennysojaa 3,3 km. Täydennysojien määrä vaihteli 0:sta 10 km:iin.

Kullekin valumaveden ominaisuudelle esitetään a) kuukausikeskiarvot koko aineistolle ennen ja jälkeen kunnostusojituksen (kuva 4) ja b) jaksokeskiarvot toimenpiteitä edeltäneelle jaksolle ja vuosittain kunnostusojituksen jälkeen (taulukko 1).

Välittömät pitoisuusmuutokset

Ennen kunnostusojitusta ja vertailualueilla totaalitypen keskimääräisen pitoisuuden kuukausikeskiarvo vaihteli välillä 0,5-0,9 mg/l siten, että suurimmat arvot esiintyvät heinäelokuussa. Kunnostusojitus näyttäisi lievästi pienentäneen valumaveden totaalityppipitoisuuksia (taulukko 1, kuva 4). Tulos on ristiriidassa mm. Ahtiaisen ja Huttusen (1995) raportissa mainitun Suopuron uudisojituksen kanssa, joka suurensi totaalitypen pitoisuuksia. Tässä aineistossa totaalityppi-pitoisuus näytti kasvaneen 9 alueella yli 0,1 mg l^{-1}, pienentyneen 18 alueella yli 0,1 mg l^{-1}, ja pysyneen ±± 0,1 mg l^{-1} rajoissa muuttumattomana 13 alueella.

Ammoniumtypen pitoisuuden kuukausikeskiarvot (kaikki alueet) vaihtelivat ennen kunnostusojitusta välillä 0,02-0,07 mg l^{-1} siten, että suurimmat arvot esiintyivät kesäelokuussa ja pienimmät keväällä ja syksyllä (kuva 4). Vuositasolla kunnostusojitus yli kaksinkertaisti laskuojien valumaveden NH_4-N-pitoisuuden (taulukko 1). Kuukausikeskiarvot vaihtelivat kunnostusojituksen jälkeen välillä 0,04-0,16 mg l^{-1}.

Ennen kunnostusojitusta ja vertailualueilla valumaveden nitraattityppipitoisuuden kuukausikeskiarvo vaihteli välillä 0,06-0,08 mg/l^{-1} (kuva 4). Nitraattityppipitoisuus kasvoi lievästi kunnostusojituksen jälkeen, kuitenkin niin, että keskikesän näytteissä pitoisuudet olivat alempia kuin ennen kunnostusojitusta. Keväisin ja syksyisin pitoisuudet olivat korkeampia kuin ennen kunnostusojitusta.

Totaalitypen pitoisuuden pieneneminen samanaikaisesti kuin nitraatti- ja ammoniumtypen pitoisuudet kasvavat merkitsee, että orgaanisesti sitoutuneen typen määrä valumavedessä on kunnostusojituksen jälkeen keskimäärin selvästi pienentynyt.

Fosfori

Suodatetuista näytteistä ICP:llä määritetyt totaalifosforipitoisuudet eivät kunnostusojituksen vaikutuksesta oleellisesti muuttuneet (kuva 4). Kalibrointijaksolta ja toimenpidejaksolle siirryttäessä P_{tot} on kuitenkin vertailualueilla kasvanut tilastollisesti merkitsevästi (0,053 ÞÞ 0,061; taulukko 1), kun se toimenpidealueilla on kasvanut vähemmän, joten kunnostusojituksen muutostrendi on pikemminkin laskeva kuin nouseva.

Kalibrointijakson pitoisuudet olivat korkeampia kuin aiemmissa tutkimuksissa (esim. Saukkonen ja Kortelainen 1995). Kun soiden luontaisena valumaveden fosforipitoisuutena on pidetty arvoa 0,020 mg l^{-1}, nyt havaittu ojitusalueiden valumavesien keskimääräinen fosforipitoisuus (0,060) on huomattavan korkea. Suurimmillaan (n. 0,080 mg l^{-1}) fosforipitoisuus oli keskikesällä.

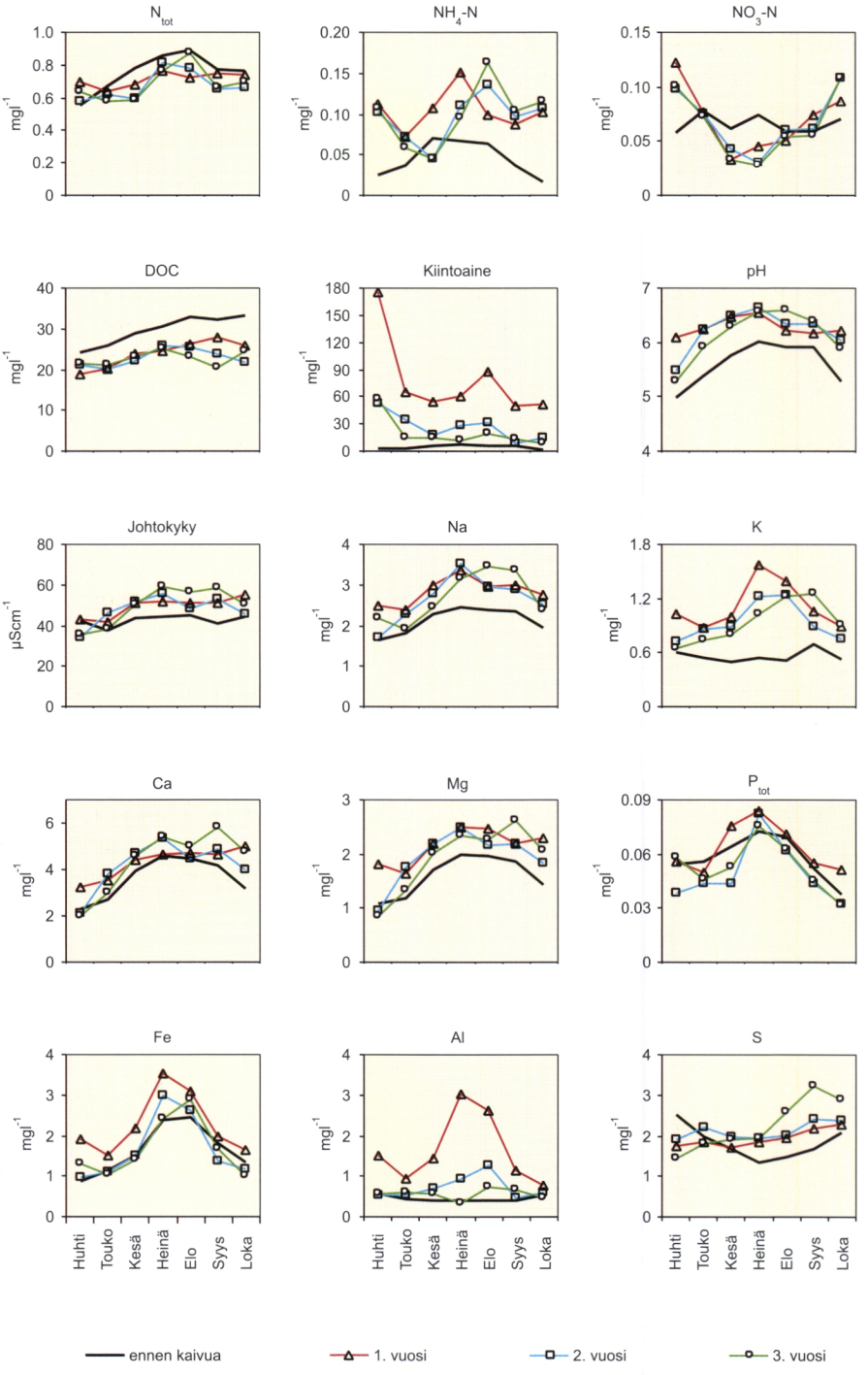
Taulukko 1. Valumaveden laatumuuttujien keskiarvot ennen kunnostusojitusta ja kolmena vuonna sen jälkeen huhti-lokakuussa. Pitoisuudet mg l^{-1}, johtokyky mg Pt mol^{-1}

Veden laadun muuttuja	Toimenpide/ vertailualueet	Ennen kunnostus-ojitusta	1. v. kunnostus-ojituksen jälkeen	2. v. kunnostus-ojituksen jälkeen	3. v. kunnostus-ojituksen jälkeen
N_{tot}	VRT	0,713	0,757	0,674	0,670
	TMP	0,762	0,712	0,674	0,679
NH_4^+-N	VRT	0,039	0,036	0,023	0,021
	TMP	0,047	0,103	0,093	0,094
NO_3^--N	VRT	0,040	0,038	0,027	0,027
	TMP	0,067	0,064	0,066	0,063
DOC	VRT	29,4	34,7	33,2	32,5
	TMP	29,7	24,3	22,9	22,9
Kiintoaine	VRT	4,78	4,68	4,18	4,52
	TMP	5,02	69,4	25,5	15,6
Johtokyky	VRT	45,1	44,8	43,3	43,6
	TMP	42,2	49,2	48,8	50,7
pH	VRT	5,60	5,60	5,59	5,64
	TMP	5,64	6,30	6,28	6,19
Na	VRT	2,36	2,19	2,15	2,21
	TMP	2,14	2,88	2,71	2,69
K	VRT	0,53	0,47	0,52	0,61
	TMP	0,56	1,13	0,95	0,95
Ca	VRT	3,86	3,69	3,37	3,36
	TMP	3,64	4,36	4,32	4,58
Mg	VRT	1,66	1,57	1,53	1,57
	TMP	1,61	2,17	2,01	2,02
Al	VRT	0,41	0,46	0,47	0,43
	TMP	0,44	1,68	0,73	0,57
Fe	VRT	1,48	1,81	1,68	1,52
	TMP	1,65	2,32	1,68	1,60
S	VRT	2,05	1,72	1,70	1,92
	TMP	1,79	1,93	2,14	2,37
Liuk. P_{tot}	VRT	0,053	0,061	0,059	0,049
	TMP	0,059	0,064	0,050	0,051

VRT = vertailualue, TMP= toimenpidealue

pH-arvo, kiintoaine ja humus

Valumavesien pH-arvo pysyi vertailualueilla lähes muuttumattomana ja nousi kunnostusojituksen vaikutuksesta (taulukko 1, kuva 4). Välittömästi kunnostusojituksen jälkeen valumaveden keskimääräinen pH-arvo nousi 0,7 yksikköä. Muutoksen merkitystä korosti vielä pH-arvojen samanaikainen aleneminen vertailualueilla.



Kuva 4. Vedenlaatumuuttujien kuukausikeskiarvot ennen kunnostusojitusta ja kolmena vuotena sen jälkeen.

Valumavesien ennen laskeutusallasta mitattu kiintoainepitoisuus kasvoi kunnostusojituksen vaikutuksesta heti yli kymmenkertaiseksi (Joensuu ym. 1999). Kiintoainekuormitus on selvästi kunnostusojituksen tärkein vesistöhaitta. Kiintoaineen keskimääräinen yhteenlaskettu kolmen vuoden kuormitus laskettuna kunnostusojitushehtaaria kohti, 920 kg ha^{-1}, on samaa suuruusluokkaa kuin Nurmes-hankkeen Suopurolla uudisojituksen jälkeen. Sitä voidaan pitää huomattavan suurena 40 alueen keskiarvona.

Veteen liuenneen orgaanisen hiilen (DOC) huuhtoutuminen noudatti aikaisemmissa tutkimuksissa havaittua (Kauppi 1978, Kortelainen 1993a, b) vuosirytmiä: pitoisuudet olivat pienimmillään keväällä (20-25 mg l^{-1}) ja suurimmillaan syksyllä (30-35 mg l^{-1}) (kuva 4). Pitoisuudet olivat kalibrointijakson aikana samaa suuruusluokkaa vertailualueilla ja toimenpidealueilla. Kunnostusojituksen jälkeen DOC-pitoisuudet olivat yli 10 mg l^{-1} pienempiä kuin vertailualueilla. Ero oli syksyllä selvästi suurempi kuin keväällä.

Kunnostusojitus lisäsi natriumin, kaliumin, kalsiumin ja magnesiumin huuhtoutumista (taulukko 1, kuva 4). Näillä alkuaineilla ei ole välitöntä vesistöjä rehevöittävää vaikutusta, mutta niillä on oma vaikutuksensa valumavesien ionitaseessa ja suuri merkitys suometsien puuston ravinnetaseen kannalta.

Suhteellisesti eniten kasvoi kaliumin huuhtoutuminen: sen pitoisuudet kasvoivat lähes kaksinkertaisiksi. Kunnostusojitus näyttää suurentaneen erityisesti keskikesän pitoisuuksia. Koska suurin osa aineiston kunnostusojituksista toteutettiin kesä-heinäkuussa, keskikesän korkeat keskimääräiset pitoisuudet indikoinevat voimakasta huuhtoutumista kaivun yhteydessä ja välittömästi sen jälkeen.

Raudan huuhtoutuminen ojitusalueilta noudattaa samanlaista vuosirytmiä kuin fosforin huuhtoutuminen: pitoisuudet ovat keskikesällä huomattavasti korkeampia kuin keväällä ja syksyllä. Valumavesissä havaittiin välittömästi kunnostusojituksen jälkeen korkeita rautapitoisuuksia, ja myös keskimääräinen rautapitoisuus kasvoi selvästi etenkin 1. vuonna toimenpiteen jälkeen (taulukko 1, kuva 4).

Kunnostusojitus lisäsi voimakkaasti alumiinin huuhtoutumista (taulukko 1, kuva 4). Kunnostusojituksen jälkeen korkeita pitoisuuksia (lähes 2 mg l^{-1}) havaittiin erityisesti keskikesällä. Koska vastaavaa vuosirytmiä ei näy vertailualueilla eikä kalibrointijakson aikana, syy lienee sama kuin kaliumin osalta: alumiinia huuhtoutuu erityisesti kaivun yhteydessä ja välittömästi sitä seuraavien kuukausien aikana. Tämä näkyy myös kuvassa 4, jossa erityisen korkeita Al-pitoisuuksia esiintyy keskikesällä vain ensimmäisen kaivua seuraavan vuoden aikana.

Myös rikin huuhtoutuminen kasvaa merkitsevästi kunnostusojituksen jälkeen. Rikin huuhtoutuminen ojitusalueilta näyttää noudattavan erilaista vuosirytmiä kuin useimpien muiden alkuaineiden: pitoisuudet ovat pienimmillään keskikesällä.

Kunnostusojitus suurentaa useimpien alkuaineiden kuormitusvaikutusta. Poikkeuksen muodostavat totaalifosfori, jonka kohdalla muutos oli pieni ja pikemminkin negatiivinen, sekä orgaaninen typpi, jonka kohdalla kuormitus näyttäisi selvästi pienenevän. Orgaanisen typen pienenemisen syynä on todennäköisesti liuenneen orgaanisen aineksen vuosikuorman voimakas pieneneminen, jolloin myös orgaaniseen ainekseen sisältyvän typen (ja fosforin) huuhtoutuminen vähenee.

Vaikka orgaanisen typen huuhtoutuminen näyttäisi huomattavasti vähentyneen kunnostusojituksen vaikutuksesta, mineraalitypen (ammonium ja nitraatti) kuormat ovat samaan aikaan selvästi kasvaneet.

Pitkäaikaisvaikutukset

Vuoden 1995 keväällä alkuperäisestä 40 tutkimusalueparin joukosta valittiin 23 eri puolilla Suomea sijaitsevaa alueparia jatkoseurantaan. Jatkoseurannan valintakriteereinä olivat alueen maantieteellinen sijainti, kasvupaikkatekijät, sekä maaperän ominaisuudet, kuten turpeen paksuus ja pohjamaalaji. Valittujen tutkimusalueparien seuranta jatkui vuoden

1998 loppuun saakka. Näin kunnostusojituksen vaikutuksia seurattiin näillä alueilla kaikkiaan kuusi vuotta.

Kunnostusojituksen kokonaistyppipitoisuutta ja kokonaisfosforipitoisuutta alentava vaikutus näkyi vielä kuudentena vuotena kunnostusojituksen jälkeen. Toisaalta myös ammoniumtyppipitoisuuden nousu oli vielä nähtävissä. pH-luku oli 0,3 yksikköä korkeammalla tasolla kuin kalibrointijaksolla. Myös kohonnut kiintoainepitoisuus oli useilla alueilla selvästi nähtävissä (Joensuu 2002).

Kuuden vuoden seuranta-aineistossa kunnostusojitusta edeltävän jakson DOC-keskiarvo oli 31,0 mg l^{-1} ja kuuden vuoden jaksolla kunnostusojituksen jälkeen keskimäärin 23,3 mg l^{-1}.

Yhteenveto kunnostusojituksen vaikutuksista

Ennen kunnostusojitusta vertailualueiden valumavedet eivät merkitsevästi poikenneet toimenpidealueiden valumavesistä yhdenkään vedenlaatumuuttujan osalta. Kunnostusojitusta edeltävän jakson aikana orgaanisen typen ja orgaanisen hiilen pitoisuuksien aluekeskiarvojen välinen korrelaatio oli voimakas ($r=0.83^{***}$). Totaalitypen vuosikuorman pieneneminen kytkeytyy veteen liuenneen orgaanisen aineen (DOC) huuhtoutumiseen, joka selvästi pieneni kunnostusojituksen vaikutuksesta. Vaikka nitraatti- ja ammoniumtypen huuhtoutuminen hieman kasvoi, suodatetuista näytteistä mitatun totaalitypen ja vielä selvemmin orgaanisen typen huuhtoutuminen pienenivät kunnostusojituksen vaikutuksesta. Jos otetaan huomioon myös kiintoaineksen sisältämä typpi, kunnostusojitus on saattanut lisätä sellaisten alueiden lukumäärää, joilla totaalityppikuormitus kasvoi kunnostusojituksen vaikutuksesta (vrt. Ahtiainen ja Huttunen 1995).

Fosforin kuormitusarviot perustuvat suodatetuista näytteistä määritettyyn kokonaisfosforiin, joka koostuu veteen liuenneeseen orgaaniseen ainekseen sitoutuneesta ja veteen liuenneesta fosforista. Aikaisemmissa tutkimuksissa (Ahtiainen 1990, Ahtiainen ja Huttunen 1995) on korostettu fosforikuormituksen kasvua kiintoaineen sisältämän fosforin kautta. On epäselvää, missä määrin kiintoaineksen fosforilla on vesistöissä merkitystä, ja missä määrin suodattamattomista näytteistä määritetty kokonaisfosfori on parempi fosforikuormituksen indikaattori vesistöjen kuormittumisen kannalta. Kun pitkäaikaisen fosforilannoituksen kyllästämältä maatalousmaalta huuhtoutuvan kiintoaineen fosforista vain pieni osa voi vesistössä muuttua leville käyttökelpoiseen muotoon (Rekolainen 1993, Ekholm 1998), ojitusalueilta huuhtoutuvan kiintoaineksen fosforista lienee käyttökelpoista vielä sitäkin pienempi osa.

Koska toimenpidealueiden kunnostusojitukset toteutettiin usean vuoden aikana, pääosin vuosina 1991-1993, myös koko aineiston kuukausikeskiarvot ajoittuvat pitoisuuksien osalta usealle vuodelle. Näin esimerkiksi ensimmäisen kunnostusojitusta seuraavan vuoden toukokuun pitoisuuskeskiarvo on laskettu kaikista niistä yksittäisistä havainnoista, jotka on tehty kaivuja seuraavan ensimmäisen toukokuun aikana, osalla alueista samana vuonna kuin kaivu, osalla alueista vasta seuraavan kalenterivuoden aikana, ja eri alueilla eri vuosina. Tulokset ovat siis varsin keskimääräisiä: kuukausi- ja vuosikeskiarvojen pohjana olevissa havaintoperusjoukoissa on alueellisen vaihtelun lisäksi myös laskentatavasta johtuvaa sisäistä vuosivaihtelua ja kaivuajankohdan vaihtelun aiheuttamaa hajontaa. Havaintojen lukumäärä on kuitenkin niin suuri, että useat kunnostusojituksen aiheuttamat muutokset ovat tilastomatemaattisesti merkitseviä (Joensuu 2002). Tulokset soveltuvat valtakunnallisten kuormitusarvioiden tekemiseen.

Kiintoaineen huuhtoutumisen voimakas lisääntyminen on kunnostusojituksen keskeinen kuormitusvaikutus. Kunnostusojitushankkeissa pitäisi entistä paremmin olla selvillä turpeen paksuudesta ja turpeen alla olevan kivennäismaan laadusta. Hienoaineksen määrän selvittämisestä on hyötyä arvioitaessa kunnostusojituksesta mahdollisesti aiheu-

tuvia ravinnehuuhtoutumariskejä. Tuntemalla ojitusalueen maalajijakauma ja tämän lisäksi analysoimalla muutama vesinäyte ennen kunnostusojitusta voidaan jopa karkeasti ennustaa kiintoaineksen ja joidenkin ravinteiden pitoisuuksien kehitys välittömästi kunnostusojituksen jälkeen.

Kiintoainekseen sitoutuneena vesiin huuhtoutuu myös ravinteita, mutta suodatetuista näytteistä tehdyt kemialliset analyysit osoittavat, että keskimäärin sekä fosfori- että typpikuormitus kyetään pääosin eliminoimaan, mikäli kunnostusojituksen aiheuttama kiintoainekuormitus kyetään estämään laskeutusaltailla ja erilaisilla pintavalutus- ja suodatusvyöhykkeillä. Mineraalitypen, alumiinin ja emäskationien huuhtoutumista ei kyetä kokonaan estämään laskeutukseen ja kasvillisuuden mekaaniseen suodatukseen perustuvilla ratkaisuilla.

Suuri osa nykyisin kunnostettavista ojastoista on kaivettu ohutturpeisille soille, ja kivennäismaahan ulottuvissa ojissa kiintoaineksen huuhtoutuminen on yleisesti voimakkaampaa ja pitkäkestoisempaa kuin yksinomaan turpeeseen kaivetuissa ojissa (esim. Heikurainen et al. 1978, Konstantinov ja Suhorukova 1980). Jos ohutturpeisen kunnostusojitusalueen pohjamaa sisältää paljon hienoja aineksia, valumaveden kiintoainespitoisuus säilyy korkealla tasolla pitkään, jopa yli kuusi vuotta, kun taas ohutturpeisen ojitusalueen pohjamaan koostuessa pääasiassa karkeista lajitteista ja paksuturpeisilla ojitusalueilla palautuminen lähelle alkuperäistä tasoa kestää korkeintaan 3-4 vuotta kunnostusojituksen jälkeen.

Valumaveden pH-arvon nousu kunnostusojituksen jälkeen näyttää pitkäkestoiselta. Myös aikaisemmissa tutkimuksissa (esim Kenttämies 1987, Ahtiainen 1990) on ollut viitteitä ojituksen jälkeisestä valumaveden pH-arvon noususta, mutta aikaisemmat havainnot koskevat yleensä yksittäisiä tapauksia. Metlan ja Tapion yhteistutkimuksessa ei maaperäkartoituksessa selvitetty, sisältyikö esimerkiksi Pohjanmaan rannikolla sijainneiden seurantakohteiden joukkoon ohutturpeisia ja happamia sulfaatti- eli alunamaita, jotka ovat yleisiä Litorina-merivaiheen aikana kerrostuneissa savikerrostumissa (Palko 1994). Palkon mukaan maa- ja metsätaloustoimenpiteillä olisi vaikutuksia alunamailta valuvien vesien happamuuteen. Hänen mukaansa happamat sulfaattimaakerrostumat sijoittuvat 40 metrin korkeusvyöhykkeen alapuolelle, pääosan sijaitessa Pohjanmaan rannikolla (ks. myös Ruokanen 1993, 1995)

Kirjallisuus

Ahti, E. 1987. Water balance of drained peatlands on the basis of water table simulation during the snowless period. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 141: 1-64.

Ahti, E., Alasaarela, E. & Ylitolonen, A. 1995a. Kunnostusojituksen vaikutus suon hydrologiaan ja valumavesien ainepitoisuuksiin. Teoksessa: Saukkonen, S. & Kenttämies, K. (toim.). Metsätalouden vesistövaikutukset ja niiden torjunta. METVE-projektin loppuraportti. Suomen ympäristö 2. Suomen ympäristökeskus, 157-168.

Ahti, E., Joensuu, S. & Vuollekoski, M. 1995b. Laskeutusaltaiden vaikutus kunnostusojitusalueiden kiintoainehuuhtoutumaan. Teoksessa: Saukkonen, S. & Kenttämies, K. (toim.). Metsätalouden vesistövaikutukset ja niiden torjunta. METVE-projektin loppuraportti. Suomen ympäristö 2. Suomen ympäristökeskus, 139-156.

Ahti, E., Granlund, H. & Puranen, E. (toim.). 1999. Metsätalouden ympäristökuormitus. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 745. 172 s.

Ahti, E. & Päivänen, J. 1997. Response of stand growth and water table level to maintenance of ditch networks within forest drainage areas. Teoksessa: Trettin, C.C., Jurgensen, M.F., Grigal, D.F., Gale, M.R. & Jeglum, J.K. Northern Forested Wetlands: Ecology and Management. CRC Press Inc.; Lewis Publishers, USA. s. 449-457.

Ahtiainen, M. 1990. Avohakkuun ja metsäojituksen vaikutukset purovesien laatuun. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja -sarja A 45: 1-122.

Ahtiainen, M. & Huttunen, P. 1995. Metsätaloustoimenpiteiden pitkäaikaisvaikutukset purovesien laatuun ja kuormaan. Teoksessa: Saukkonen, S. & Kenttämies, K. (toim.). Metsätalouden vesistövaikutukset ja niiden torjunta., METVE-projektin loppuraportti. Suomen ympäristö 2. Suomen ympäristökeskus. s. 33-50.

Ekholm, P. 1998. Algal-available phosphorus originating from agriculture and municipalities. Monographs of Boreal Environmeint Research 11: 1-60.

Heikurainen, L., Kenttämies, K. & Laine, J. 1978. The environmental effects of forest drainage. Suo 29: 49-58.

Joensuu, S. 2002. Effects of ditch network maintenance and sedimentation ponds on export loads of suspended solids and nutrients from peatland forests. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 868. 83 s.

Joensuu, S., Ahti, E. & Vuollekoski, M. 1999. The effects of peatland forest ditch maintenance on suspended solids in runoff. Boreal Environmental Reseaerch 4: 343-355.

Joensuu, S., Ahti, E. & Vuollekoski, M. 2001. Discharge water quality from old ditch networks in Finnish peatland forests. Suo 52(1):1-15.

Joensuu, S., Ahti, E. & Vuollekoski, M. 2002a. Effects of Ditch Network Maintenance on the Chemistry of Run-off Water from Peatland Forests. Scandinavian Journal of Forest Research 17: 238-247.

Joensuu, S., Ahti, E. & Vuollekoski, M. 2002b. Long-term effects of maintaining ditch networks on runoff water quality. Suo 52(1): 17-28.

Kauppila, P. & Bäck, S. (toim.) 2001. The state of Finnish coastal waters in the 1990s. The Finnish Environment 472: 1-134.

Kauppi, L. 1978. Effect of drainage basin characteristics on the diffuse load of phosphorus and nitrogen. Publ. Water Res. Inst., Nat. Board of Waters, Finland, 30: 21-41.

Kenttämies, K. 1980. The effects on water quality of forest drainage and fertilization in peatlands. Teoksessa: The influence of man on the hydrological regime with special reference to representative and experimental basins. Proceedings of the Helsinki Symposium, June 1980. IAHS - AISH Publication 130: 277-284.

Kenttämies, K. 1987. Metsäojituksen ja metsänlannoituksen vaikutus valumavesien ominaisuuksiin. Helsingin yliopisto, Limnologian laitos. 36 s.

Kenttämies, K. & Laine, J. 1984. The effects on water quality of forest drainage and phosphate fertilization in a peatland area in central Finland. Teoksessa: Proceedings of the 7 th International Peat Congress, Dublin, Ireland 18-23 June 1984: 342-354.

Konstantinov, V. K. & Suhorukova, L. J. 1980. Metsäojituksen vaikutus jokien ja vesistöjen likaantumiseen. Silva Fennica 14(2): 177-181.

Kortelainen, P. 1993a. Content of total organic carbon in Finnish lakes and its relationship to catchment characteristics. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 50: 1477-1483.

Kortelainen, P. 1993b. Contribution of organic acids to the acidity of Finnish lakes. Publication of the Water and Environment Research Institute. National Board of Waters and the Environment, Finland 13: 1-48.

Manninen, P. 1995. Kunnostusojituksen vesiensuojelututkimus; veden laadun, kuormituksen ja biologiset muutokset kahden ensimmäisen ojituksen jälkeisen vuoden aikana. Teoksessa: Saukkonen, S. & Kenttämies, K. (toim.). Metsätalouden vesistövaikutukset ja niiden torjunta. METVE-projektin loppuraportti. Suomen ympäristö 2. Suomen ympäristökeskus. s. 169-181.

Metsätilastollinen vuosikirja 2004. Suomen virallinen tilasto. Maa-, metsä- ja kalatalous 2004: 45. Metsäntutkimuslaitos.

Marttila, P. 2001. Ojituksen ympäristövaikutukset Siikajoen-Pattijoen uusjako-ojitusalueella. 68 s. Pohjois-Pohjanmaan metsäkeskus.

Palko, J. 1994. Acid sulfate soils and their agricultural and environmental problems in Finland. Acta Universitatis Ouluensis C 75: 1-58.

Rekolainen, S. 1993. Assesment and mitigation of agricultural water pollution. Publications of the Water and Environment Research Institute, National Board of Waters and the Environment, Finland 12: 1-34.

Ruokanen, I. 1993. Ympäristövaikutusten arviointiohjelma Siikajoen-Pattijoen uusjako-ojitushankkeesta. 15 s. Pohjois-Pohjanmaan metsäkeskus.

Ruokanen, I. 1995. Arvio Siikajoen-Pattijoen uusjako-ojituksen ympäristövaikutuksista. Unpublished report. 51 s. Pohjois-Pohjanmaan metsäkeskus.

Saukkonen, S. & Kortelainen, P. 1995. Metsätaloustoimenpiteiden vaikutus ravinteiden ja orgaanisen hiilen huuhtoutumiseen. Teoksessa: Saukkonen, S. & Kenttämies, K. (toim.). Metsätalouden vesistövaikutukset ja niiden torjunta. METVE-projektin loppuraportti. Suomen ympäristö 2 – ympäristönsuojelu. 15-32 s.

Suomen Itämeren suojeluohjelma. Työryhmän mietintö 19.6.2001. 105 s. Ympäristöministeriö.

Vesiensuojelun toimenpideohjelma vuoteen 2005. 1999. Suomen ympäristö 402, ympäristönsuojelu, 98 s.

6.2 Hakkuun ja maanmuokkauksen vaikutus huuhtoutumiin

Mika Nieminen ja Erkki Ahti

6.2.1 Johdanto

Soiden metsätalouskäyttö on aiheuttanut eräitä haitallisia vesistövaikutuksia. Näistä ojituksen vesistövaikutukset tunnetaan verraten hyvin. Uudistushakkuut ojitusalueilla lisääntyvät merkittävästi lähitulevaisuudessa, kun 1960- ja 1970-luvuilla intensiivisimmän uudisojitusvaiheen aikana ojitetut metsiköt saavuttavat uudistuskypsyyden. Uudistamistoimenpiteiden vaikutuksia ravinnehuuhtoumiin kivennäismaan metsistä on selvitetty laajasti jo 1960-luvulta lähtien. Sen sijaan ojitusalueiden metsänuudistamisen vesistövaikutuksista tiedetään hyvin vähän (Nieminen 1998a, b). Kasvatushakkuiden huuhtoutumisvaikutuksia ei ole tutkittu lainkaan. Seuraavassa tarkastellaan avohakkuun ja erilaisten maanmuokkaustoimenpiteiden vaikutusta kiintoaineen, liuenneen orgaanisen aineen, typen, fosforin ja kaliumin huuhtoutumiseen ravinteisuudeltaan erilaisilla vanhoilla ojitusalueilla.

6.2.2 Aineisto ja menetelmät

Päätehakkuun ja maanmuokkauksen vaikutusta ainehuuhtoumiin tutkittiin kuudella 1900-luvun alkuvuosikymmeninä ojitetulla alueella Etelä-Suomessa. Kaksi alueista oli kuusivaltaisia ja pintaturpeen ravinnepitoisuuksien perusteella runsasravinteisia ojitusalueita (N_{tot} 1,7-1,9 %, P_{tot} 800-940 mg kg^{-1}, Ca_{tot} 4300-7900 mg kg^{-1}). Puuston määrä ennen uudistamista oli näillä alueilla n. 250 m^3 ha^{-1}. Muut alueet olivat mäntyvaltaisia ja turpeen ravinnepitoisuuksien perusteella vähä- tai keskiravinteisia (N_{tot} 1,1-1,5 %, P_{tot} 670-860 mg kg^{-1}, Ca_{tot} 3100-3500 mg kg^{-1}). Näillä alueilla puuston määrä ennen uudistamista oli 100-190 m^3 ha^{-1}.

Uudistamismenetelminä olivat pelkkä avohakkuu, avohakkuu+mätästys ja avohakkuu+ojitusmätästys. Avohakkuut tehtiin ainespuun korjuuna (ts. hakkuutähteet jätettiin kasvupaikalle) monitoimikoneilla roudan aikaan talvella, ja hakkuussa varottiin hakkuutähteiden joutumista ojiin. Maanmuokkaukset tehtiin hakkuuta seuraavana keväänä. Vanhoja ojia ei perattu yhdelläkään uudistamisalueella.

Valumavesinäytteitä otettiin 1-2 vuotta ennen ja 2-3 vuotta jälkeen metsänuudistamisen 1-2 viikon välein V-aukkoisista ylisyöksymittapadoista, ja näytteet analysoitiin Metsäntutkimuslaitoksessa.

6.2.3 Tulokset

Kiintoaineen huuhtoutuminen eli eroosio lisääntyi ainoastaan alueelta, jossa mätästysojat ulottuivat turpeen alaiseen kivennäismaahan (Alue IV, taulukko 2). Suuria kiintoainehuuhtoumia kivennäismaahan yltävistä ojista on havaittu myös uudis- ja kunnostusojitusten yhteydessä (Joensuu ym. 1999). Ohutturpeisilla uudistamisaloilla pitäisikin ojitusmätästyksen sijasta harkita muita maanmuokkaustoimenpiteitä suurten kiintoainehuuhtoumien välttämiseksi.

Liuenneen orgaanisen aineen (DOC) ja orgaanisen typen huuhtoutumat lisääntyivät vain kuusivaltaisilta, runsasravinteisilta ojitusalueilta (taulukko 1). Liuennut orgaaninen aine ja orgaaninen typpi ovat kasviaineksen epätäydellisiä hajoamistuotteita, joiden huuhtoutuminen on huomattavaa hapettomissa oloissa (esim. luonnontilaisilta soilta). Koska avohakkuu nostaa ojitusalueiden pohjaveden tasoa, orgaanisen aineen ja orgaanisen typen huuhtoutumisen voisi pääsääntöisesti olettaa lisään-

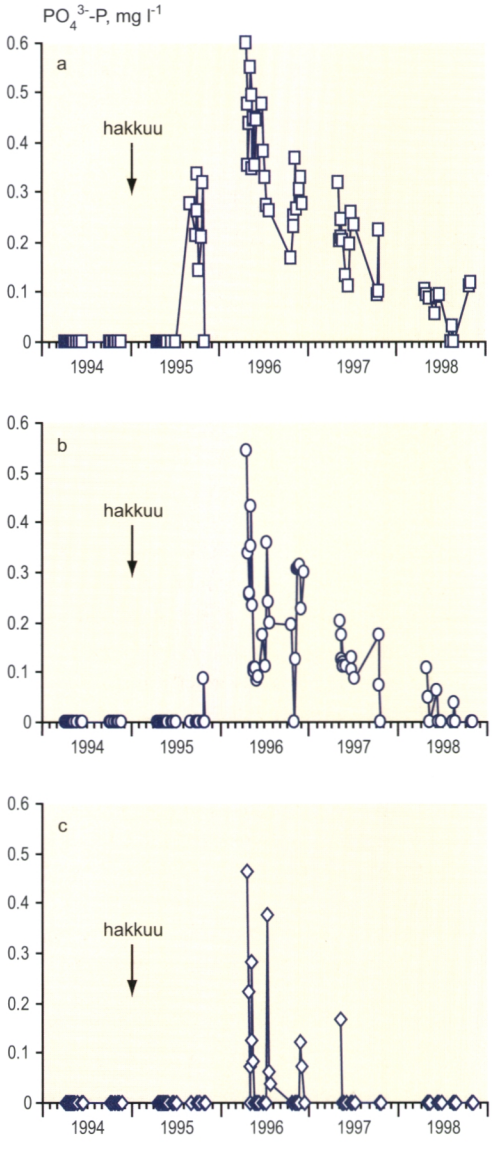
Taulukko 3. Keskimääräiset valumaveden fosfaattipitoisuudet (mg l^{-1}) ennen (E) ja jälkeen (J) metsänuudistamisen kuudella ojitusalueella sekä alueiden pintaturpeen rauta (Fe)- ja alumiini (Al)- pitoisuudet. Fosforin huuhtoutuminen on lisääntynyt vain niiltä alueilta (Vilppula I, II III), joiden pintaturpeessa on vähän rautaa ja alumiinia.

Alue/Suotyyppi	$PO_4^{3-}P$		Fe	Al
	E	J	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}
Ruotsinkylä / Rhtkg	0,01	0,00	4841	2460
Vesijako/Mtkg	0,00	0,00	4330	1880
Vilppula I/Vatkg	0,00	0,23	996	629
Vilppula II/Vatkg	0,00	0,12	945	847
Vilppula III/Vatkg	0,00	0,04	1101	861
Vilppula IV/Ptkg	0,00	0,00	3285	1307

Kaliumin huuhtoutuminen lisääntyi kaikilta ojitusalueilta. Lisääntynyt kaliumin huuhtoutuminen ei ole ongelmallista vesiensuojelun kannalta. Ojitusalueilla kaliumista on kuitenkin usein puutetta (Laiho 1997), joten metsänuudistamisessa tapahtuva huuhtoutumishävikki saattaa lisätä kalilannoituksen tarvetta toisen puusukupolven ojitusaluemetsissä. Sen sijaan vesiensuojelun näkökulmasta haitallisimmat tässä työssä havaitut muutokset olivat huomattava kiintoaineen huuhtoutumalisäys ohutturpeiselta ojitusmätästysalueelta ja suuret fosfaattifosforin huuhtoutumat alumiini- ja rautaköyhiltä ojitusalueilta.

6.2.4 Tulosten tarkastelu

Erityisesti liuenneen orgaanisen aineen (DOC), orgaanisen typen sekä ammonium- ja nitraattitypentypen huuhtoumat kasvavat rehevien, kuusivaltaisten suometsien uudistamishakkuiden jälkeen. Kuusikoiden uudistaminen ei edellä esitetyssä aineistossa kuitenkaan lisännyt fosforin pitoisuuksia valumavesissä ja Ruotsissa tehdyissä tutkimuksissakin (Lundin 1998, 2000) pitoisuuksien nousu korpiojitusalueilta oli vähäistä (3-12 mg P l^{-1}). Mikäli kuitenkin ojaverkosto on teknisesti huonossa kunnossa, ja pohjavesipinnan syvyys on pääosin puuston



Kuva 1. Hakkuun vaikutus valumaveden fosfaattipitoisuuksiin kolmella viljavuudeltaan karulla rämeojitusalueella Vilppulan Jaakkoinsuolla.

vedenoton varassa, puuston poisto hakkuussa saattaa aiheuttaa voimakkaan pohjavesipinnan nousun, jolloin suuret fosforihuuhtoumat ovat mahdollisia. Tämä johtuu siitä, että rautayhdisteinä oleva fosfori saattaa uusissa vähähappi-

Taulukko 1. Avohakkuun vaikutus valumaveden keskimääräisiin ainepitoisuuksiin (mg l^{-1}) Ruotsinkylän ja Vesijaon kuusivaltaisilla kohteilla. E = ennen avohakkuuta, vuodet 1992-93, J = avohakkuun jälkeen, vuodet 1994-96 (Nieminen 1998a, b, 1999, 2004).

		Ruotsinkylä	Vesijako
Kiintoaine	E	1,91	2,23
	J	1,97	1,93
DOC	E	11,3	29,0
	J	24,5	53,8
N_{org}	E	0,23	0,62
	J	0,55	1,14
NH_4^+-N	E	0,02	0,02
	J	0,11	0,33
NO_3^--N	E	0,01	0,02
	J	0,09	0,12

tyvän hakkuun jälkeen. Tutkituilla mäntyvaltaisilla valuma-alueilla (taulukko 2) pohjavesipinta ei tehokkaasta kuivatuksesta johtuen merkittävästi noussut avohakkuun vaikutuksesta, mikä voisi selittää sen, että liuenneen orgaanisen aineen ja orgaanisen typen huuhtoutumat eivät näillä alueilla lisääntyneet.

Myös ammonium- ja nitraattitypen huuhtoutumat lisääntyivät selvästi kuusivaltaisilta, runsasravinteisilta ojitusalueilta. Keski- ja vähäravinteisilta, mäntyvaltaisilta alueilta ammonium- ja nitraattihuuhtoumat lisääntyivät vain, jos alueet oli uudistamisen yhteydessä ojitusmätästetty. Tässä työssä mitatut ammonium- ja nitraattitypen huuhtoutumat eivät kuitenkaan olleet suurempia kuin on aiemmin havaittu kivennäismaiden uudistamisalueilta.

Fosforin huuhtoutuminen lisääntyi metsänuudistamisen jälkeen huomattavasti kolmelta kaikkein vähäravinteisimmalta uudistamisalueelta (kuva 1). Lisääntynyt fosforihuuhtouma oli lähes yksinomaan leville välittömästi käyttökelpoista fosfaattifosforia. Maassa liukoisena oleva fosfaattifosfori muodostaa vaikealiukoisia yhdisteitä alumiini- ja rautaoksidien tai -hydroksidien kanssa. Siksi fosforia ei huuhtoudu merkittävästi turpeista, joissa on paljon alumiinia tai rautaa (Nieminen & Jarva 1996, Nieminen 2000). Alhaiset pintaturpeen alumiini- ja rautapitoisuudet kolmella vähäravinteisimmalla ojitusalueella (taulukko 3) olivat siten todennäköinen syy huomattavasti lisääntyneisiin fosforihuuhtoumiin. Tulokset vahvistavat aiemmin lannoitefosforin huuhtoutumistutkimuksissa saatua käsitystä, että vähäravinteisilta, alumiini- ja rautaköyhiltä mailta fosforia voi huuhtoutua hyvinkin paljon.

Taulukko 2. Avohakkuun ja maanmuokkauksen vaikutus valumaveden ainepitoisuuksiin (mg l^{-1}) Vilppulan ojitetuilla rämeillä. E= 1994 ennen toimenpidettä, J = 1995-96 toimenpiteen jälkeen. AH = avohakkuu, M = mätästys, OM = ojitusmätästys. NS = muutos ei tilastollisesti merkitsevä. Alueella II mätästysojat ovat kokonaan turpeessa, alueella IV oja ulottuvat turpeen alaiseen kivennäismaahan. Alueet ovat mäntyvaltaisia ja viljavuudeltaan karuja (Nieminen 1998 b, 1999, 2003).

	Alue	I AH	II AH+OM	III AH+M	IV AH+OM
Kiintoaine	E	5,62	3,03	3,75	3,56
	J	1,46 ^{NS}	1,31 ^{NS}	0,91 ^{NS}	15,95
DOC	E	65,6	60,2	39,9	37,2
	J	63,4 ^{NS}	62,9 ^{NS}	40,5 ^{NS}	42,3 ^{NS}
N_{org}	E	0,99	0,94	0,64	0,68
	J	0,93 ^{NS}	0,98 ^{NS}	0,62 ^{NS}	0,86 ^{NS}
NH_4^+-N	E	0,009	0,011	0,001	0,004
	J	0,013 ^{NS}	0,090	0,002 ^{NS}	0,126
NO_3^--N	E	0,002	0,000	0,000	0,000
	J	0,009 ^{SN}	0,016	0,002 ^{NS}	0,118

sissa oloissa vapautua maanveteen ja huuhtoutua ojastoon.

Karuilla, mäntyä kasvavilla uudistamisalueilla muutokset liuenneen orgaanisen aineen (DOC) ja orgaanisen typen huuhtoumissa jäivät avohakkuun jälkeen selvästi pienemmiksi kuin rehevissä korpimetsissä. Ammonium- ja nitraattityppeäkin näytti huuhtoutuvan viljavuudeltaan karuilta soilta vain siinä tapauksessa, että alueet on avohakkuun yhteydessä ojitusmätästetty. Sen sijaan fosforin huuhtoutuminen karuilta, mäntyä kasvavilta soilta lisääntyi huomattavasti. Tähän on todennäköisenä syynä se, että näillä alueilla fosforia sitovien alumiini- ja rautayhdisteiden määrä turpeessa oli hyvin vähäinen (Nieminen 2003). Siten hakkuutähteistä vapautuva fosfori ei sitoudu maahan, kuten todennäköisesti tapahtuu paljon alumiinia ja rautaa sisältävillä kasvupaikoilla.

Mikäli ojitusalueet hakataan talvella maan ollessa roudassa, eroosio ja kiintoaineen huuhtoutuminen eivät yleensä lisäänny. Maanmuokkauksena tehtävä ojitusmätästys saattaa kuitenkin huomattavasti lisätä kiintoainekuormitusta. Näin on etenkin silloin, kun mätästysojat kaivetaan niin syviksi, että ne ulottuvat turpeen alla olevaan kivennäismaahan.

Edellä on tarkasteltu hakkuun ja maanmuokkauksen vaikutuksia valumaveden ainepitoisuuksiin. Pitoisuuksien lisäksi on otettava huomioon, että uudistamishakkuut lisäävät valuntaa. Vuosivalunnan lisäys on yleensä 5-10 mm hehtaarilta poistettua kymmentä puukuutiometriä kohden, jolloin hakkuualueelta valuvan veden määrä saattaa jopa kaksinkertaistua. Kun vesistöön kohdistuva kuormitusvaikutus lasketaan kertomalla pitoisuusmuutos valumaveden määrällä, 10 %:n pitoisuusmuutos merkitsee 20 %:n kuormitusmuutosta.

Hakkuutähteiden kerääminen energiakäyttöön päätehakkuualueilta on voimakkaasti lisääntynyt viime vuosina. Harvennushakkuumetsissäkin kokopuukorjuuta ollaan hiljalleen lisäämässä ja myös kantojen nostoa avohakkuuleimikoilta on aloitettu. Suometsistä energiapuuta on kuitenkin korjattu toistaiseksi hyvin vähän. Suometsissä kuitenkin voisi olla runsaasti energiapuukorjuuseen soveltuvia alueita. Tällaisia voisivat olla esimerkiksi epätasaiset, niukasti ainespuuta tuottavat nuoren metsän kunnostuskohteet. Koska suometsien uudistusaloilla tarvitaan aina kaivinkoneita ojien kunnostukseen ja maanmuokkaukseen, kantojen nosto energiatarkoituksessa voisi soveltua suometsiin jopa paremmin kuin kivennäismaille. Kantojen nostoa nimenomaan suometsistä voisi puoltaa sekin, että kantopaakun mukana ei nouse kiviä ja kivennäismaata, vaan erinomaisesti polttokäyttöön soveltuvaa pitkälle maatunutta turvetta. Parhaissa hakkuutähteiden korjuukohteissa (rehevät kuusikot) typpi ei ole suometsissä niin kriittinen kasvun minimitekijä kuin kivennäismaan metsissä. Kivennäismailla havaittua puuston kasvun heikkenemistä typen puutteen vuoksi ei kokopuukorjuu suometsissä siksi välttämättä aiheuttaisi.

Hakkuutähteiden keruuta ja kokopuukorjuuta ei ole suositeltu suometsiin lähinnä siksi, että joidenkin ravinteiden kohdalla suuri osa koko ravinnevarastosta voi tietyillä kasvupaikoilla olla sitoutuneena oksiin ja neulasiin. Erityisesti kaliumin pelätään loppuvan etenkin nevasyntyisillä ja paksuturpeisilla soilla, jos runkopuun lisäksi korjataan hakkuutähteet (Laiho 1997). Ongelma on kaksitahoinen, kun toisaalta kaliumia ja myös vesistöjen kannalta haitallista fosforia todennäköisesti huuhtoutuu juuri hakkuutähteistä, jotka kokopuun korjuun yhteydessä poistettaisiin hakkuualueelta. Energiapuun korjuun vaikutus ravinteiden riittävyyteen ja ravinnehuuhtoumiin suometsissä on keskeinen tulevaisuuden tutkimusaihe.

Kirjallisuus

Joensuu, S., Ahti, E. & Vuollekoski, M. 1999. The effect of peatland forest ditch maintenance on suspended solids in runoff. Boreal Environment Research 4: 343-355.

Laiho, R. 1997. Plant biomass dynamics in drained pine mires in southern Finland. Implications for carbon and nutrient balance. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 631: 54 + 52 s.

Lundin, L. 1988. Alternative peatland forestry; impacts on hydrology and surface water chemistry. Teoksessa: Sopo, R. (toim.). Proceedings of the International Peat Symposium, The Spirit of Peatlands, Jyväskylä, Finland 7-9 September, 1998. s. 76-78.

Lundin, L. 2000. Water environment care at peatland forestry practices. Teoksessa: Rochefort, L. & Daigle, J-Y. (toim.). Sustaining our peatlands. Proceedings of the 11th International Peat Congress, Quebec City, Canada, August 6-12, 2000. Volume II. s. 952-961.

Nieminen, M. 1998a. Changes in nitrogen cycling following the clearcutting of drained peatland forests in southern Finland. Boreal Env. Res. 3: 9-21.

Nieminen, M. 1998b. Effect of clearcutting and site preparation on leaching from drained peatland forests. Teoksessa: Sopo, R. (toim.). Proceedings of the International Peat Symposium, The Spirit of Peatlands, Jyväskylä, Finland 7-9 September, 1998. s. 84-86.

Nieminen, M. 1999. Päätehakkuun ja maanmuokkauksen vaikutus valumaveden laatuun vanhoilla ojitusalueilla. Teoksessa: Ahti, E., Granlund, H. & Puranen, E. (toim.). Metsätalouden ympäristökuormitus. Seminaari Nurmeksessa 23.-24.9.1998. Tutkimusohjelman väliraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 745: 103-107.

Nieminen, M. 2000. Phosphorus fertilizer leaching from drained peatland forests: empirical studies and modelling. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 756: 50 s. + liitteet.

Nieminen, M. 2003. Effects of clear-cutting and site preparation on water quality from a drained Scots pine mire in southern Finland. Boreal Environment Research 8: 53-59.

Nieminen, M. 2004. Export of dissolved organic carbon, nitrogen and phosphorus following clear-cutting of three Norway spruce forests growing on drained peatlands in southern Finland. Silva Fenn. 38(2): 123-132.

Nieminen, M. & Jarva, M. 1996. Phosphorus adsorption by peat from drained mires in southern Finland. Scand. J. For. Res. 11: 321-326.

6.3 Suometsien lannoituksen vaikutus fosforin huuhtoutumiseen

Mika Nieminen

6.3.1 Tausta

Neulasanalyysiin perustuvissa ravinnetaloustutkimuksissa (Moilanen 1992, Veijalainen 1992) on osoitettu, että fosforin puute on yleisin ravinnepuute suometsissä. Kaliumin puutteen rajoittaessa suometsien kasvua noin neljänneksellä ojitusalueista fosforin puutteesta kärsii noin 60 % suometsistä. Toisaalta fosforin puutoksen hoitaminen on helppoa sikäli, että kertalannoituksella suopuuston fosforiravitsemus voidaan korjata ainakin seuraavan 30-40 vuoden ajaksi (Silfverberg & Hartman 1999). Käytännön metsätaloudessa lannoituksia tehdään tarpeeseen nähden kuitenkin hyvin vähän. Ehkä tärkein syy lannoitusten vähäisyyteen on huoli lannoitefosforin huuhtoutumisesta ja vesistöjen rehevöitymisestä.

Fosforilannoitteet on perinteisesti valmistettu erilaisista kalsiumfosfaatteja sisältävistä mineraaleista, ja tutkimukset ovat osoittaneet, että kaikista kalsiumfosfaattia sisältävistä fosforilannoitteista voi huuhtoutua fosforia suometsien lannoituksissa. Nopealiukoisista lannoitteista (esim. Rakeinen Suometsien PK) fosforia alkaa usein huuhtoutua jo välittömästi lannoituksen jälkeen (Nieminen & Ahti 1993, Saura 1990) ja hidasliukoisista lannoitteista (Marokon raakafosfaatti, Siilinjärven apatiitti) muutaman kuukauden tai 1-2 vuoden viiveellä (Ahti 1983, Saura 2002). On arvioitu, että jopa yli 20 % annetusta fosforista huuhtoutuisi vesistöihin (Kenttämies & Saukkonen 1996). Fosforihuuhtoumien vähentämiseksi Metsäntutkimuslaitos ja Kemira GrowHow aloittivat 1990-luvulla yhteistutkimuksen, jossa ensimmäisessä vaiheessa oli tarkoitus selvittää syitä siihen, miksi fosforin huuhtoutumisriski turvemailta on niin merkittävä kuin tutkimustulokset osoittavat. Ensimmäisessä vaiheessa saatujen tulosten perusteella alettiin yhteistutkimuksen toisessa vaiheessa kehittää ympäristön kannalta suometsiin paremmin soveltuvia lannoitteita.

6.3.2 Fosforin huuhtoutumiseen vaikuttavat tekijät

Tärkeimmät lannoitefosforin huuhtoutumista kontrolloivat tekijät turvemailla ovat:

(1) fosforin liukeneminen lannoitteista vesiliukoiseen muotoon,

(2) puuston ja pintakasvillisuuden fosforinotto ja

(3) fosforin sitoutuminen turpeeseen. Huuhtoutumisaltista on periaatteessa kaikki lannoitteista vesiliukoiseen muotoon liukeneva fosfori, joka ei joko sitoudu puustoon ja pintakasvillisuuteen tai pidäty turpeeseen.

Fosforin liukeneminen apatiittia sisältävistä lannoitteista tapahtuu oheisen kaavan mukaan:

$$Ca_{10}(PO_4)_6F_2 + 12H^+ \rightarrow 10Ca^{2+} + 6H_2PO_4^- + 2F^-$$

Kaavasta nähdään, että fosforin liukeneminen apatiitista ($Ca_{10}(PO_4)_6F_2$) on sitä nopeampaa, mitä suurempi on maanesteen happamuus (H^+-konsentraatio), ja mitä nopeammin liukenemisen lopputuotteet (Ca^{2+} ja $H_2PO_4^-$) poistuvat maanesteestä. Koska soilla maanesteen happamuus on suuri, hidasliukoisista lannoitteistakin liukeneminen voi olla hyvin nopeaa. Koska puusto ja muu kasvillisuus vaikuttavat itse liukenemistapahtumaan vain

hyvin vähän, fosforia voi liueta lannoitteista enemmän kuin kasvillisuus pystyy käyttämään. Niemisen ja Jarvan (2000) tutkimuksessa n. 40 % raakafosfaatin fosforista liukeni vesiliukoiseen muotoon kahden vuoden aikana viljavuudeltaan karulla rämeellä. Puusto ja pintakasvillisuus käyttivät karulla rämeellä kuitenkin vain 25-33 % raakafosfaatista kolmen vuoden aikana (Finér & Nieminen 1997). Näin ollen osa vesiliukoiseen muotoon liuenneesta lannoitefosforista siis jää kasvillisuudelta ja puustolta käyttämättä ja saattaa siksi huuhtoutua kasvupaikalta vesistöön.

Kasvillisuuden fosforinottoa suurempi fosforin liukenemisnopeus lannoitteista ei kuitenkaan aiheuta huuhtoutumisongelmaa silloin, kun kasvillisuudelta käyttämättä jäävä fosfori sitoutuu maahan. Turpeeseen fosforia pidättyy kuitenkin usein hyvin vähän. Monilla etenkin viljavuudeltaan karuilla soilla turpeeseen näyttäisi pidättyvän niin vähän fosforia, että kasvillisuudelta käyttämättä jäävä lannoitefosfori vääjäämättä huuhtoutuu (taulukko 1). Syynä alhaiseen fosforinpidätykseen on fosforia sitovien alumiini- ja etenkin rautayhdisteiden vähäinen määrä turpeessa (Nieminen & Jarva 1996). Erityisesti ombrotrofisilla soilla alumiinia ja rautaa on turpeessa yleensä vähän.

Taulukko 1. Pintaturpeen (0-15 cm) maksimaalinen fosforinpidätyskyky 20 ojitusalueella.

Alue	Suotyyppi	Fosforinpidätys, kg ha^{-1}
1	Lettoräme	184
2	Ruoho- ja heinäkorpi	15
3	Ruohoinen sararäme	17
4	Ruohoinen sarakorpi	29
5	Ruohoinen saraneva	43
6	Ruohoinen sarakorpi	104
7	Mustikkakorpi	21
8	Mustikkakorpi	16
9	Varsinainen sararäme	0
10	Varsinainen sararäme	200
11	Varsinainen saraneva	161
12	Pallosararäme	2
13	Korpiräme	0
14	Isovarpuräme	3
15	Isovarpuräme	27
16	Tupasvillaräme	1
17	Tupasvillaräme	8
18	Lyhytkorsiräme	24
19	Lyhytkorsineva	32
20	Rahkaneva –Tupasvillaräme	3

6.3.3 Fosforihuuhtoutumien vähentäminen

Raudan tärkeä merkitys fosforin pidättymisessä on nostanut esiin ajatuksen fosforihuuhtoumien vähentämisestä lisäämällä lannoitteisiin fosforin ohella rautaa (Nieminen 2000). Useat tutkimukset ovatkin osoittaneet, että fosforin huuhtoutumista turpeesta voidaan vähentää lisäämällä fosforin ohella rautaa tai alumiinia (Fox & Kamprath 1971, Scheffer & Kuntze 1989). Tämä ei sinänsä ole yllättävää – käytetäänhän rautaa yleisesti fosforin saostamiseen mm. vesienpuhdistuksessa (Puska & Ylinen 2002).

On kuitenkin epäselvää, miten rauta- tai alumiinipitoiset lannoitteet vaikuttavat puuston ja muun kasvillisuuden kasvuun ja fosforin saantiin. Kasvillisuuden tiedetään kykenevän hajottamaan Fe-P- ja Al-P-mineraaleja erittämällä juuriston ja sienijuuriyhteyksien kautta orgaanisia happoja ja uuteaineita (Griffiths ym. 1994). Näin ollen Fe-P-yhdisteet voisivat olla kasveille käyttökelpoinen fosforin lähde. Tähän viittaa myös se, että puuston kasvun kannalta parhailla soilla raudan sitomaa fosforia on paljon, huonoilla kasvupaikoilla sen sijaan vähän (Nieminen & Penttilä 2004). Huomattavia määriä alumiinia ja rautaa sisältävät turpeen ja etenkin puun tuhka ovat osoittautuneet tehokkaiksi ja pitkävaikutteisiksi fosforilannoitteiksi suometsissä. Tämäkin on osoituksena siitä, että Fe- tai Al-pitoiset lannoitteet voivat olla hyvä kasvien fosforin lähde. Fe- tai Al-pitoisten lannoitteiden tuotosvaikutuksia perinteisiin kalsiumfosfaattia sisältäviin lannoitteisiin verrattuna ei kuitenkaan tiedetä. Metsäntutkimuslaitoksen ja Kemiran yhteistyönä tehtiin 1999-2002 ensin useita kasvihuonekokeita rautapitoisilla fosforilannoitteilla (Nieminen ym. 2003) ja

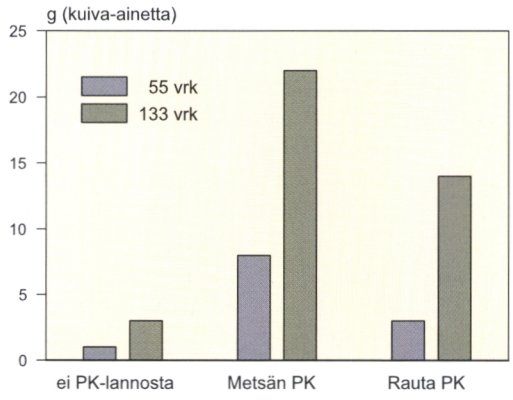
vuosina 2001-2004 alettiin perustaa kenttäkokeita puustoltaan ja kasvupaikkaominaisuuksiltaan vaihteleviin suometsiin.

6.3.4 Tutkimukset raudan lisäämisestä fosforilannoitteisiin

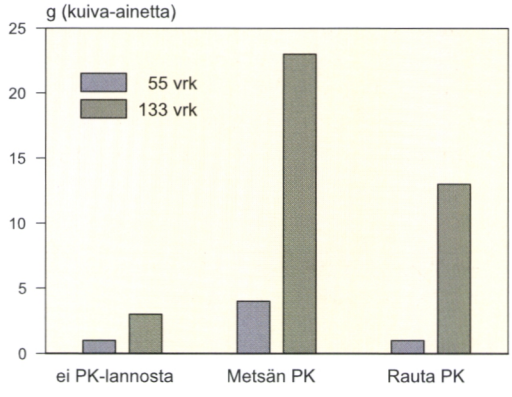
Kasvihuonekokeet

Kaikki rautapitoisilla lannoitteilla tehdyt kasvihuonekokeet noudattivat samaa kaavaa. Koivun taimia kasvatettiin happamalla (pH 3,5) rahkaturpeella täytetyissä astioissa, joihin oli pintalevityksenä lisätty erilaisia Rauta PK -lannoitteita. Vertailuna kokeissa oli mukana astioita, joihin ei ollut lisätty fosforia sekä astioita, joihin oli lisätty perinteistä Metsän PK -lannoitetta. Koeastioita kasteltiin säännöllisesti siten, että veden puute ei ollut kasvua rajoittava tekijä missään kokeen vaiheessa. Koska tutkitut lannoitteet eivät sisältäneet typpeä, taimille annettiin lisäksi typpeä sisältävää kastelulannoitetta. Kokeet erosivat toisistaan vain siinä, että osa kokeista tehtiin siemenistä idätetyillä taimilla, toiset kokeet mikrolisätyillä koivun taimilla (pituus kokeen alussa 5-10 cm). Kokeiden aikana seurattiin mittauksin taimien pituuskehitystä, otettiin lehtinäytteitä ravinnetilan selvittämiseksi ja tehtiin mittauksia juuriston ja maanpäällisen biomassan kehityksestä. Fosforin huuhtoutumisherkkyyttä mitattiin joko analysoimalla kasvatusastioiden läpi valuneen veden fosforipitoisuuksia tai selvittämällä vesiliukoisen (huuhtoutumisalttiin) fosforin pitoisuuksia astioista otetuista turvenäytteistä.

Kaikkien kasvihuonekokeiden tulokset olivat samansuuntaisia. Rauta PK -lannoitteet lisäsivät koivun taimien kasvua, maanpäällistä biomassaa ja juuristobiomassaa selvästi lannoittamattomiin taimiin verrattuna, mutta eivät olleet yhtä tehokkaita kuin perinteinen Metsän PK -lannoite (kuvat 1 ja 2). Rauta PK- lannoitteen heikompi vaikutus Metsän PK -lannoitteeseen verrattuna ei ollut yllättävä tulos, sillä Rauta PK -tuotteen mukana lisätty rauta odotusten mukaisesti selvästi vä-

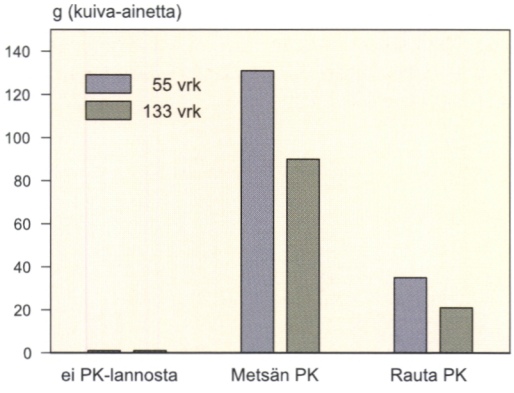


Kuva 1. PK-lannoituksen vaikutus rauduskoivun maanpäällisen biomassan tuotokseen. Sadonkorjuu 55 ja 133 vrk lannoituksesta. Kasvihuonekoe, Kemira GrowHow.

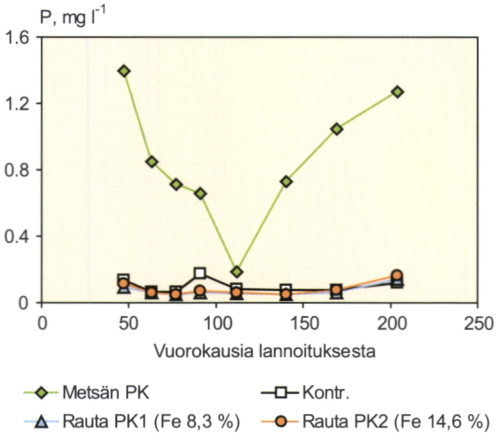


Kuva 2. PK-lannoituksen vaikutus rauduskoivun juuristobiomassan tuotokseen. Sadonkorjuu 55 ja 133 vrk lannoituksesta. Kasvihuonekoe, Kemira GrowHow.

hensi kasveille käyttökelpoisen, mutta toisaalta myös huuhtoutumisalttiin, vesiliukoisen fosforin määriä turpeessa (kuva 3). Erilaisilla Rauta PK -tuotteilla käsiteltyjen kasvatuspurkkien läpi ei siten huuhtoutunutkaan fosforia yhtään enempää kuin lannoittamattomista kontrolliastioista, kun taas Metsän -PK lannoitteesta fosforia huuhtoutui huomattavasti (kuva 4). Rauta PK:n hitaampi liukeneminen ja taimien heikompi fosforin saatavuus



Kuva 3. Huuhtoutumisalttiin, vesiliukoisen fosforin määrä turpeessa 55 ja 133 vrk PK-lannoituksen jälkeen. Kasvihuonekoe, Kemira GrowHow.



Kuva 4. Kasvatuspurkkien läpi valuneen kasteluveden fosforipitoisuudet eri aikoina lannoituksen jälkeen. Kasvihuonekoe, Metsäntutkimuslaitos.

Metsän PK -lannoitteeseen verrattuna ilmeni myös siinä, että Rauta PK -taimiin oli muodostunut sienijuuriyhteyksiä (mykorritsoja) selvästi enemmän kuin Metsän PK:lla lannoitettuihin taimiin. Mykorritsat ovat tunnetusti avainasemassa vaikealiukoisten ravinteiden saatavuuden kannalta, ja Rauta PK -taimissa mykorritsallisten juurenkärkien osuus kaikista juurenkärjistä olikin selvästi suurempi (70 %) kuin Metsän PK -taimissa (50 %).

Kasvihuonekokeiden tuloksista johtopäätöksenä oli, että Rauta PK -lannoitteista fosforia vapautuu puuston ja muun kasvillisuuden käyttöön todennäköisesti hitaammin kuin perinteisestä Metsän PK -lannoitteesta, ja että fosforin huuhtoutumishävikki vesistöihin on rautaa sisältävistä lannoitteista myös selvästi pienempi. Koivun taimien heikommasta kasvusta huolimatta lyhytaikaisista kasvatuskokeista ei tehty sitä johtopäätöstä, että rautaa sisältävät lannoitteet olisivat metsänlannoitteina heikommin vaikuttavia kuin perinteinen Metsän PK -lannoite. Kun metsänlannoituksessa pyritään 30-40 vuoden vaikutusaikaan, fosforin hitaampi vapautuminen ja pienemmät huuhtoutumistappiot voivat hyvinkin johtaa siihen, että rautaa sisältävät lannoitteet ovat pitkällä tähtäimellä perinteisiä lannoitteita tehokkaampia. Rautapitoisten lannoitteiden positiivinen vaikutus sienijuuriyhteyksien muodostumiseen voi ajan kuluessa myös johtaa siihen, että Rauta PK:lla lannoitetut puut kasvavat paremmin pystyessään tehokkaammin hyödyntämään ympäristönsä niukkoja ravinneresursseja. Ensimmäinen pitkäaikaiseksi tarkoitettu kenttäkoe rautapitoisten fosforilannoitteiden vaikutuksista puuston kasvuun ja fosforihuuhtoumiin perustettiin Leivonmäen Kivisuolle vuonna 2001. Sen jälkeen on perustettu huuhtoutumis- ja puustokokeet Parkanon Rihkusennevalle (2003-2004) ja Pyhännälle (2004) sekä puustokokeita Vilppulan Jaakkoinsuolle (2002), Lapinjärvelle (2003) sekä Vesijaolle (2004).

Kenttäkokeet

Suurin osa perustetuista kenttäkokeista on vielä niin nuoria, että mittaustuloksia Rauta PK -lannoitteen huuhtoutumis- ja kasvuvaikutuksista ei ole vielä paljonkaan kertynyt. Siksi tässä yhteydessä esitetäänkin huuhtoutumis- ja kasvutuloksia pääasiassa vain ensimmäiseltä, vuonna 2001 Leivonmäen Kivisuolle perustetulta kenttäkokeelta.

Kivisuon koe perustettiin sellaiselle viljavuudeltaan karulle rämeelle, jolla fosforin huuhtoutumisriskin tiedetään olevan erityisen

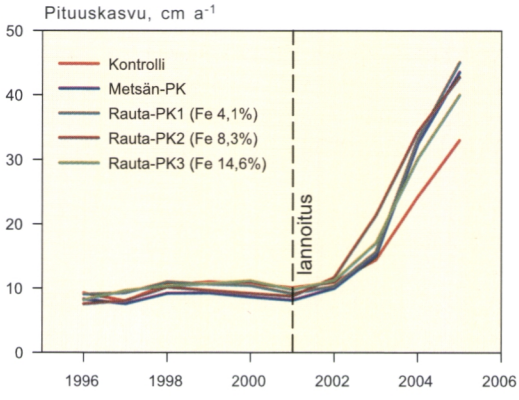
suuri (Nieminen & Jarva 1996). Käsittelyinä oli kolme rautapitoisuudeltaan erilaista Rauta PK -lannoitetta, Metsän PK ja kaliumilla lannoitettu kontrollikäsittely. Lisäksi kaikki 15 koealaa (5 lannoituskäsittelyä x kolme toistoa) saivat saman määrän ureatyppeä. Ojitusaluetutkimuksille tyypillisten (esim. Ahti 1983, Nieminen & Ahti 1993) muutaman hehtaarin suuruisten valuma-alueiden sijaan Kivisuolla huuhtoumia seurattiin vain noin yhden aarin kokoisilta "pienoisvaluma-alueilta". Näiltä alueilta vedet kerättiin keräysputkien avulla 5 m^3:n keräystankkeihin. Näytteenoton yhteydessä mitattiin tankkeihin kertynyt vesimäärä, otettiin näyte ravinneanalyysiä varten ja tankit tyhjennettiin seuraavaa näytteenottoa varten. Vesiseurannan lisäksi Kivisuolla mitattiin vuonna 2005 puuston pituuskasvun kehittyminen lannoituksen (vuonna 2001) jälkeen.

Tulokset huuhtoumien osalta olivat yhteneviä kasvihuonekokeiden kanssa siinä, että Rauta PK -lannoitteet eivät lisänneet fosforihuuhtoumia (taulukko 2). Eniten rautaa sisältänyt Rauta PK3 -lannoite näytti jopa hieman vähentävän fosforin huuhtoumia lannoittamattomaan kontrolliin verrattuna. Tulokset kuitenkin erosivat kasvihuonekokeista ja aiemmista huuhtoutumistutkimuksista (Saura 2002) sikäli, että myöskään Metsän PK -lannoite ei merkittävästi lisännyt fosforin huuhtoutumista. Valumaveden fosforipitoisuudet kylläkin olivat jatkuvasti hieman korkeammat Metsän PK -lannoitetuilta valuma-alueilta kuin kontrolli- tai Rauta PK -alueilta, mutta luonnonvesille tyypillisiin pitoisuuksiin (yleensä alle 20 µg P l^{-1}) verrattuna lannoituksen vaikutuksen fosforihuuhtoumiin voitiin todeta jääneen hyvin vähäiseksi. Alustavat tulokset Parkanon Rihkusennevalta 1-2 vuotta lannoituksen jälkeen tukevat Leivonmäen Kivisuon mittaustuloksia sikäli, että sielläkin Metsän PK- lannoite näyttäisi lisäävän fosforihuuhtoumia vain hyvin vähän Rauta PK -alueisiin tai lannoittamattomiin kontrollialueisiin verrattuna.

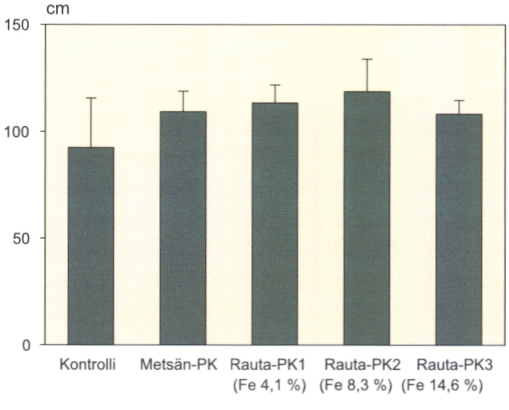
Tulokset puuston kasvusta Leivonmäen Kivisuolla osoittivat Rauta PK -lannoitteet

Taulukko 2. Valumavesien fosforipitoisuudet (µg l^{-1})vuosikeskiarvoina Leivonmäen Kivisuolla 1-3 vuotta lannoituksen jälkeen. Rauta PK-koelannoitteiden rautapitoisuudet suluissa.

	2002	2003	2004
Kontrolli	13	27	22
Metsän PK	22	36	26
Rauta PK1 (Fe 4,1 %)	16	26	21
Rauta PK2 (Fe 8,3 %)	21	28	24
Rauta PK3 (Fe 14,6 %)	9	22	14



Kuva 5. Puuston pituuskasvun kehittyminen Leivonmäen Kivisuolla.



Kuva 6. Yhteenlaskettu puuston pituuskasvu Leivonmäen Kivisuolla vuosina 2001-2005. Lannoitus vuonna 2001.

kontrollikäsittelyjä paremmiksi ja kilpailukykyisiksi Metsän PK -lannoitteeseen verrattuna (kuvat 5 ja 6). Koska lannoituksesta on kulunut vasta muutamia vuosia, kovin pitkälle meneviä päätelmiä kasvutuloksista ei voi tehdä. Tulokset kuitenkin viittaavat siihen, että kohtuullisen pienillä raudan osuuksilla lannoitteessa (Rauta PK1 ja Rauta PK2) päästäisiin parempaan tulokseen kuin lannoitteilla (Rauta PK3), joissa raudan osuus selvästi ylittää lannoitteen fosforipitoisuuden (Fe/P suhde Rauta PK3:ssa oli n. 2/1, Rauta PK2:ssa 1/1 ja Rauta PK1:ssa 0,5/1). Siten tulokset ovat yhteneviä niiden maatalousmailla jätevesilietteiden hyötykäyttöä selvittäneiden tutkimusten kanssa, joissa käyttökelpoiseksi lannoitteeksi suositeltiin vain sellaisia lietteitä, joissa rautapitoisuus on korkeintaan sama kuin fosforipitoisuus (Römer ym. 2003).

6.3.5 Johtopäätökset

Turpeen heikko fosforinpidätyskyky aiheuttaa sen, että lannoitefosforin huuhtoutumisriski turvemailla on suuri. Turpeen fosforinpidätystä voidaan kuitenkin parantaa lisäämällä fosforilannoitteisiin rautaa. Tulokset fosforihuuhtoumista viittaavat siihen, että rautaa sisältävät PK-lannoitteet ovat vesistöjen kannalta turvallisempia kuin perinteiset pelkästään kalsiumfosfaattia sisältävät tuotteet. Toisaalta tulokset viittasivat myös siihen, että perinteiselläkin lannoitteella fosforin huuhtoumat voivat jäädä verraten vähäisiksi. Nyt havaitut aiempia tutkimuksia (Saura 2002) pienemmät huuhtoumat voivat osin selittyä sillä, että Metsän PK on viime vuosina valmistettu Kuola-apatiitista eikä Siilinjärven apatiitista kuten aiemmin. Puuston kasvatuksen kannalta Rauta PK -lannoitteet näyttäisivät olevan kilpailukykyisiä perinteisiin lannoitteisiin verrattuna, kunhan raudan osuutta lannoitteessa ei nosteta huomattavasti yli fosforipitoisuuden. Tutkimustuloksia Rauta PK -lannoitteista erityisesti kenttäoloista on vielä verraten niukasti. Tulevaisuus vasta näyttää sen, voivatko Rauta PK:n positiiviset vaikutukset sienijuuriyhteyksien muodostumiseen ja jonkin verran pienemmät huuhtoutumistappiot johtaa siihen, että rautaa sisältävillä lannoitteilla päästään pitkällä tähtäimellä parempiin kasvutuloksiin kuin Metsän PK:lla. Alustavat tulokset Leivonmäen Kivisuolta viittaavat vahvasti siihen, että ainakaan heikompia kasvutuloksia kuin perinteisillä lannoitteilla ei olisi odotettavissa.

Kirjallisuus

Ahti, E. 1983. Fertilizer-induced leaching of phosphorus and potassium from peatlands drained for forestry. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 111: 1-20.

Fox, R. L. & Kamprath, E. J. 1971. Adsorption and leaching of P in acid organic soils and high organic matter sand. Soil Science Society of American Proceedings 35: 154-156.

Finér, L. & Nieminen, M. 1997. Dry mass and the amounts of nutrients in understorey vegetation before and after fertilization on a drained pine bog. Silva Fennica 31(4): 391-400.

Griffiths, R. P., Baham, J. E. & Caldwell, B. A. 1994. Soil solution chemistry of ectomycorrhizal mats in forest soil. Soil Biology and Biochemistry 26(3): 331-337.

Kenttämies, K. & Saukkonen, S. 1996. Metsätalous ja vesistöt. Yhteistutkimusprojektin "Metsätalouden vesistöhaitat ja niiden torjunta" (METVE) yhteenveto. MMM:n julkaisuja 4/1996. 102 s.

Moilanen, M. 1992. Suopuustojen ravinnetila Pohjois-Suomen vanhoilla ojitusalueilla. Teoksessa: Valtanen, J., Murtovaara, I. & Moilanen, M. (toim.). Metsäntutkimuspäivä Taivalkoskella 1991. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 419: 58-65.

Nieminen, M. 2000. Phosphorus fertilizer leaching from drained ombrotrophic peatland forests: empirical studies and modelling. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 756. 50 s. + 4 liitejulkaisua.

Nieminen, M. & Ahti, E. 1993. Talvilannoituksen vaikutus ravinteiden huuhtoutumiseen karulta suolta. Folia Forestalia 814: 1-22.

Nieminen, M. & Jarva, M. 1996. Phosphorus adsorption by peat from drained mires in southern Finland. Scandinavian Journal of Forest Research 11: 321-326.

Nieminen, M. & Jarva, M. 2000. Dissolution of phosphorus fertilizers of differing solubility in peat soil: A field experiment on a drained pine bog. Scandinavian Journal of Forest Research 15: 267-273.

Nieminen, M. & Penttilä, T. 2004. Inorganic and organic phosphorus fractions in peat from drained mires in northern Finland. Silva Fennica 38(3): 243-251.

Nieminen, M., Poukari, J., Puska, R. & Ylinen, P. 2003. Is iron phosphate a better alternative than calcium phosphate as fertilizer for tree stands on drained boreal peatlands? Proceedings of the 2nd International Symposium on Phosphorus Dynamics in the Soil-Plant Continuum, Perth, Australia, 21-26 Sept 2003. s. 200-201.

Puska, R. & Ylinen, P. 2002. Recycled iron phosphates in fertilizer industry. Teoksessa: Hahn, Hoffmann & Ödegaard (toim.). Chemical Water and Wastewater treatment. s. 363-367.

Römer, W., Samie, I., Neubert, M. & Merkel, D. 2003. Phosphate fertilizer effect of 13 sewage sludges from purification plants with P precipitation by iron salts. Proceedings of the 2nd International Symposium Phosphorus Dynamics in the Soil-Plant Continuum, Perth, Australia, 21-26 Sept 2003. Sivunumerot?

Saura, M. 1990. Metsänlannoitus vesistöjen rehevöittäjänä. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja nro 270. 60 s.

Saura, M. 2002. Apatiittilannoituksen vaikutus valumaveden laatuun Parkanon Liesinevalla. Teoksessa: Hiltunen, A. & Kaunisto, S. (toim.). Suometsien kasvatuksen ja käytön teemapäivät 26.-27.9.2001 Joensuussa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 832: 43-47.

Scheffer, B. & Kuntze, H. 1989. Phosphate leaching from high moor soils. International Peat Journal 3: 107-115.

Silfverberg, K. & Hartman, M. 1999. Effects of different phosphorus fertilizers on the nutrient status and growth of Scots pine stands on drained peatlands. Silva Fennica 33(3): 187-206.

Veijalainen, H. 1992. Neulasanalyysitutkimuksia suometsistä talvella 1987-1988. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 408. 28 s.

6.4 Huuhtoutuuko tuhkalannoitusaloilta ravinteita vesistöihin?

Sirpa Piirainen ja Timo Domisch

Energiantuotannossa puuta ja turvetta poltettaessa syntyy tuhkaa, jonka metsälannoituskäyttöä ovat tähän asti rajoittaneet tuhkan vaihteleva laatu ja pölyävyydestä aiheutuvat terveysriskit tuhkaa levitettäessä. Myös huoli ravinteiden (erityisesti fosforin) huuhtoutumisesta vesistöihin ja raskasmetallien kertymisestä ravintoketjuihin on rajoittanut tuhkan lannoituskäyttöä. Tiukennettujen jätelakien myötä 1990-luvun puolivälissä tuhkan hyötykäytön selvittäminen tuli taas ajankohtaiseksi, varsinkin kun tuhkan esikäsittely- ja levitystekniikka olivat kehittyneet 1970- ja 80-luvuilta. Nykyisin puutuhka voidaan suhteellisen edullisesti rakeistaa tai pelletöidä, mikä helpottaa tuhkan käsittelyä ja kuljetusta (kuva 1). Esikäsittelyllä tuhka saadaan helpommin levitettävään muotoon ja vähennetään ravinteiden ja muiden yhdisteiden liukoisuutta (Steenari ym. 1996). Typpeä lukuun ottamatta puutuhkassa ravinteet ovat optimaalisessa suhteessa puiden ravinnetarpeen kannalta. Turvetuhkassa ravinnepitoisuudet ovat puutuhkaa matalampia (erityisesti Ca, K ja B), mutta toisaalta metallipitoisuudet (esim. Fe ja Al) voivat olla huomattavasti korkeampia (Silfverberg & Issakainen 1987). Näin ollen se soveltuu huonommin lannoitukseen esim. maataloudessa. Myös metsälannoitteena turvetuhka on vähäisen kalium- ja booripitoisuutensa vuoksi selvästi huonompi vaihtoehto kuin puutuhka (Issakainen ym. 1994).

Ensimmäisiä tuhkalannoituskokeita Suomessa metsänkasvatusta varten tehtiin Metsäntutkimuslaitoksen Vilppulan Jaakkoinsuon ja Kaakkosuon koeojitusalueilla (Lukkala 1955). Puutuhkan suotuisa vaikutus suopuuston kasvuun perustuu sen monipuoliseen ja tasapainoiseen ravinnekoostumukseen. Tuhkalannoituksen jälkeen myös turpeen mikrobitoiminta vilkastuu (Huikari 1953, Karsisto 1979, Weber ym. 1985) ja typen vapautuminen turpeesta nopeutuu. Tuhkalannoituksen vaikutukset näkyvät pH:ssa ja ravinnepitoisuuksissa jopa 40-50 vuotta lannoituksen jälkeen (Silfverberg & Huikari 1985, Moilanen ym. 2002). Tuhkaa on esitetty käytettäväksi myös kasvuhäiriöiden torjuntaan turvemailla (Veijalainen 1980).

Tuhkalannoitus lisää selvästi puiden kasvua turvemailla (Silfverberg & Huikari 1985, Moilanen ym. 2002). Kivennäismaalla tuhkalannoitus nostaa maaperän ravinnepitoisuuksia (Saarsalmi ym. 2001) ja lisää mikrobitoimintaa (Perkiömäki & Fritze 2002), mutta ei paranna puuston kasvua (Levula 1991). Tämä selittyy sillä, että tuhkassa ei ole typpeä, joka on kivennäismailla yleensä tärkein puiden kasvua rajoittava ravinne toisin kuin turvemailla. Puutuhkan lannoitusvaikutus on todettu hyväksi varsinkin runsastyppisillä suotyypeillä, joilla puiden kasvua rajoittaa useimmiten fosforin tai kaliumin niukkuus. Näiden ravinteiden saatavuutta voidaankin tuhkalannoituksella merkittävästi parantaa (Silfverberg ja Huikari 1985, Moilanen ym. 2002).

Tuhkan tiedetään nostavan valumavesien pH-arvoa, johtokykyä, kalium- (Rosén ym. 1993, Fransman & Nihlgård 1995, Ring ym. 1998, Tulonen ym. 2003, Piirainen ja Domisch 2004) ja rikkipitoisuuksia (Piirainen & Domisch 2004), mutta vaikutukset ovat olleet lyhytaikaisia. Myös suotyyppi vaikuttaa huuhtoutumisen voimakkuuteen esim. ravinteikkaalla sararämeellä valumavesien sulfaatti- ja emäskationipitoisuudet nousivat vähemmän kuin karulla rahkaturvevaltaisella suolla (Piirainen & Domisch 2004). Tuhkan rakeistaminen tai kovettaminen vähentää myös mm. kaliumin huuhtoutumista, kun taas tuh-



Kuva 1. Rakeistetun tuhkan levitystä helikopterilla. Kuva: Metsäteho.



Kuva 2. Suojavyöhykkeet ojien reunoilla vähentävät tuhkan joutumista suoraan vesistöihin. Kuva: J. Issakainen.

kan levitys lumelle (kuva 2) lisää sulfaatin ja emäskationien huuhtoumista (Piirainen & Domisch 2004). Karuilla soilla tuhkan mukana annetusta kaliumista voi ensimmäisen viiden vuoden aikana huuhtoutua 20 % ja rikistä lähes puolet (Piirainen & Domisch 2004). Tuhka sisältää myös raskasmetalleja (Cd, Cr, Ni), joiden huuhtoutuminen ensimmäisen viiden vuoden aikana tuhkalannoituksen jälkeen on ollut vähäistä (Tulonen ym. 2003, Piirainen & Domisch 2004). Raskasmetallit ovat tuhkassa hyvin vaikealiukoisessa muodossa korkean pH:n takia (Nieminen ym. 2005), mutta vanhoilla tuhkalannoitusaloilla, on havaittu mm. pajujen korkeita kadmium (Cd) pitoisuuksia (Moilanen & Issakainen 2003). Koska käynnissä olevat huuhtoutumistutkimukset eivät vielä ole jatkuneet kovin pitkään, niiden perusteella ei voida sanoa, aiheuttaako tällaisten Cd-rikkaiden kasvien karikkeen hajoaminen riskin raskasmetallien huuhtoutumiselle vai ottavatko kasvit ne maasta uudelleen biologiseen kiertoon. Raskasmetalliongelmaa voidaan osittain vähentää lajittelemalla tuhkaa jo tuotantolaitoksissa, kaikkein hienojakoisin lentotuhka sisältää mm. kadmiumia ja lyijyä moninkertaisesti pohjatuhkaan verrattuna (Sander 1997).

Vesistöjen tilan kannalta myös fosforin ja typen huuhtoutuminen on ratkaisevaa. Kaupallisilla lannoitteilla tehdyt tutkimukset ovat osoittaneet, että fosforia voi huuhtoutua turvemailta hyvin paljon. Myös puutuhka sisältää paljon fosforia (1-2 %), mutta se on vaikealiukoisempaa kuin kaupallisissa PK-lannoitteissa (Haveraaen 1986, Nieminen 2003). Myös tuhkan rakeistaminen hidastaa fosforin liukenemista (Österbacka 2001, Nieminen 2003). Toisaalta tiedetään, että hidasliukoinenkin lannoitefosfori voi huuhtoutua vesistöihin ja huuhtoutuminen voi jatkua useiden vuosien, jopa vuosikymmenien ajan (Nieminen 2000, Saura 2002). Turpeen fosforin pidätyskykyyn vaikuttavat sen sisältämät alumiini- ja rautayhdisteiden määrät (Kaila 1959, Rannikko & Hartikainen 1980, Nieminen &

Jarva 1996). Tuhkalannoituksen seurauksena turpeen alumiini- ja rautapitoisuudet yleensä kasvavat huomattavasti, millä saattaa olla vaikutusta tuhkan fosforin pidättymiseen ja huuhtoutumiseen. Myös turpeen vesitalous ja vedenjohtavuus voivat vaikuttaa huuhtoutumiseen. Hapettomissa oloissa rautayhdisteet pelkistyvät eivätkä pidätä fosforia (Armstrong 1975). Heikosti maatuneen turpeen vedenjohtavuus on suuri, jolloin vesi ja siihen liuenneet ionit viipyvät vain lyhyen aikaa turpeessa (Päivänen 1973) ja niiden kontakti pidättävien yhdisteiden kanssa jää lyhyemmäksi kuin maatuneessa turpeessa.

Tutkimustulosten perusteella näyttää siltä, että fosforin ja typen huuhtoutuminen tuhkalannoitusaloilta on vähäistä ainakin ensimmäisen viiden vuoden aikana (Tulonen ym. 2003, Piirainen & Domisch 2004), kun käytetään suositusten mukaisia lannoitusmääriä. Karuimmilla rahkaturvevaltaisilla soilla, joilla turpeen kyky pidättää ravinteita on huonompi kuin saraturvevaltaisilla soilla, puuston merkitys ravinteiden pidättäjänä korostuu. Karut rahkaturvevaltaiset ja vähäpuustoiset suot eivät sovellu tuhkalannoituskohteiksi lisääntyneen fosforihuuhtoutumisriskin takia. Viiden vuoden huuhtoutumistulosten perusteella ei voida kuitenkaan vielä varmasti sanoa, ettei tuhkalannoitus aiheuttaisi myöhemmin ravinnehuuhtoumia. Esimerkiksi metsikön myöhemmät käsittelyt, harvennukset tai päätehakkuu aiheuttavat häiriön ravinne- ja vesitaloudessa, jolloin tuhkan mukana annettujen ravinteiden ja metallien huuhtoumia voi esiintyä.

Kirjallisuus

Armstrong, W. 1975. Waterlogged soils. Julkaisussa: Etherington, J. R. (toim.). Environment and plant ecology. John Wiley, London. s. 184-216.

Fransman, B. & Nihlgård, B. 1995. Water chemistry in forested catchments after topsoil treatment with liming agents in southern Sweden. Water, Air and Soil Pollution 85: 859-900.

Haveraaen, O. 1986. Ash fertilizer and commercial fertilizers as nutrient sources for peatland Meddelelser Norsk institutt for skogsforskning 39(14): 251-263.

Huikari, O. 1953. Tutkimuksia ojituksen ja tuhkalannoituksen vaikutuksista eräiden soiden pieneliöstöön. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 42(2). 18 s.

Issakainen, J., Moilanen, M. & Silfverberg, K. 1994. Turvetuhkan vaikutus männyn kasvuun ja ravinnetilaan ojitetuilla rämeillä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 499. 22 s.

Kaila, A. 1959. Retention of phosphate by peat samples. Journal of the Scientific Agricultural Society of Finland 31: 215-225.

Karsisto, M. 1979. Maanparannustoimenpiteiden vaikutuksista orgaanista ainetta hajottavien mikrobien aktiivisuuteen suometsissä. Osa II. Tuhkalannoituksen vaikutus. Suo 30(4-5): 81-91.

Levula, T. 1991. Tuhkalannoitus kangasmailla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 394: 49-59.

Lukkala, O. J. 1955. Maanparannusaineet ja väkilannoitteet metsäojituksen tukena II. Metsätaloudellinen Aikakauslehti 6-8: 273-276.

Moilanen, M. & Issakainen, J. 2003. Puu- ja turvetuhkien vaikutus maaperän ja metsäkasvillisuuden alkuainepitoisuuksiin. Metsätehon raportti 162. 108 s.

Moilanen, M., Silfverberg, K. & Hokkanen, T. J. 2002. Effects of wood-ash on the tree growth, vegetation and substrate quality of a drained mire: a case study. Forest Ecology and Management 171: 321-338.

Nieminen, M. 2000. Phosphorus fertilizer leaching from drained ombrotrophic peatland forests: empirical studies and modelling. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 756. 50 s. + liitteet.

Nieminen, M. 2003. Ravinteiden ja raskasmetallien vapautuminen tuhkalannoitteista. Metsätehon raportti 155. 20 s.

Nieminen, M. & Jarva, M. 1996. Phosphorus adsporption by peat from drained mires in southern Finland. Scandinavian Journal of Forest Research 11: 321-326.

Nieminen, M., Piirainen, S. & Moilanen, M. 2005. Release of mineral nutrients and heavy metals from wood and peat ash fertlizers: Field studies in Finnish forest soils. Scandinavian Journal of Forest Research 20: 146-153.

Perkiömäki, J. & Fritze, H. 2002. Short and long-term effects of wood ash on the boreal forest humus microbial community. Soil Biology & Biochemistry 34: 1343-1353.

Piirainen, S. & Domisch, T. 2004. Tuhkalannoituksen vaikutus pohja- ja valumavesien laatuun ja ainehuuhtoumiin ojitetuilla soilla. Metsätehon raportti 168. 42 s.

Päivänen, J. 1973. Hydraulic conductivity and water retention in peat soil. Acta Forestalia Fennica 129. 70 s.

Rannikko, M. & Hartikainen, H. 1980. Retention of applied phosphorus in Sphagnum peat. Proceedings of the 6th International Peat Congress, Duluth, Minnesota, 1980. s. 666-669.

Ring, E., Jacobson, S. & Nohrstedt, H.-Ö. 1998. Självhärdad trädaska påverkade markvegetation och markvattenkemi. Skogforsk Resultat 15: 1-2.

Rosén, K., Eriksson, H., Clarholm, M., Lundkvist, H. & Rudebek, A. 1993. Granulerad vedaska till skog på fastmark – ekologiska effekter. NUTEK Rapport 26. 60 s.

Saarsalmi, A., Mälkönen, E. & Piirainen, S. 2001. Effects of wood ash fertilization on forest soil chemical properties. Silva Fennica 35: 355-368.

Sander, M. L. 1997. Biofuel ash use in Salix plantations: Biomass production, nutrient uptake and heavy metals circulation. Acta Universitatis Agriculturae Suecicae Agaria 83. 108 s.

Saura, M. 2002. Apatiittilannoituksen vaikutus valumaveden laatuun Parkanon Liesinevalla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 832: 43-47.

Silfverberg, K. & Huikari, O. 1985. Tuhkalannoitus metsäojitetuilla turvemailla. Folia Forestalia 633. 25 s.

Silfverberg, K. & Issakainen, J. 1987. Tuhkan määrän ja laadun vaikutus neulasten ravinnepitoisuuksiin ja painoon rämemännikössä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 271. 25 s.

Steenari, B.-M., Lindqvist, O. & Tomsic, A. 1996. Wood ash recycling to forest soil – chemical aspects. 9th European Bioenergy Conference 24-27 June 1996, Copenhagen, Denmark. 6 s.

Tulonen, T., Arvola, L., Pihlström, M., Mäkinen, A., Rummukainen, P. & Rask, M. 2003. Tuhkalannoituksen vaikutus metsäjärvissä. Metsätehon raportteja 146. 31 s.

Veijalainen, H. 1980. Tuhka kasvuhäiriöiden torjunnassa. Muhoksen tutkimusaseman tiedonantoja 20: 28-30.

Weber, A., Karsisto, M., Leppänen, R., Sundman, V. & Skujins, J. 1985. Microbial activities in a histosol: Effects of wood ash and NPK fertilizers. Soil Biology & Biochemistry 17: 291-296

Österbacka, J. 2001. Esikäsittelyn vaikutukset puu- ja turvetuhkien ominaisuuksiin ja ravinteiden liukenemiseen. Metsätehon raportti 109.

6.5 Vesiensuojelu suometsätaloudessa

Erkki Ahti, Samuli Joensuu, Mika Nieminen, Hannu Nousiainen ja Martti Vuollekoski

Suometsien vesiensuojelussa on kaksi keskeistä periaatetta: 1) toimenpiteet suunnitellaan toteutettaviksi siten, että kiintoainetta ja ravinteita lähtee mahdollisimman vähän liikkeelle, ja 2) estetään liikkeelle lähteneen aineen pääsy vesistöön.

6.5.1 Toimenpiteiden suunnittelu

Metsänhoitotoimenpiteet (hakkuut, kunnostusojitus, maanmuokkaus, lannoitus, kulotus) tulisi mahdollisuuksien mukaan ajoittaa kuivaan aikaan siten, että maan pinnassa vesiä liikkuu mahdollisimman vähän. Erityisen huonoja ajankohtia ovat kunnostusojituksen ja maanmuokkauksen osalta kevään tulvakausi ja syyssateiden aika. Lannoituksen osalta talvi on ongelmallinen siksi, että lumien sulamisen yhteydessä saattaa huuhtoutua suuria määriä lannoitteiden sisältämiä vesiliukoisia ravinteita (esim. typpeä, kaliumia, booria). Veteen liukenemattomat aineet (esim. tuhkan ja apatiitin fosfori) eivät kuitenkaan ole talvilannoituksessa oleellisesti alttiimpia huuhtoutumiselle kuin sulaan maahan tapahtuvassa levityksessä.

Ojituksessa turpeen alla olevan pohjamaan laatuun tulee kiinnittää huomiota. Mikäli pohjamaa on altista eroosiolle (esim. hiesua, hietaa, hiekkaa), ojien tarpeetonta kaivamista pohjamaahan asti tulisi yrittää välttää sekä ojituksessa että ojitusmätästyksessä (kuva 1). Ojaeroosion vuoksi voimakkaasti syöpyneisiin ojiin ei tule kunnostusojituksessa enää koskea. Ojaeroosio on aina yleensä suurinta ojitusalueiden vedet keräävissä valtaojissa, jotka on mahdollisuuksien mukaan syytä yrittää kunnostusojituksessa jättää perkaamatta.



Kuva 1. Kiintoainekuormitus on kunnostusojituksen pahin vesistöhaitta. Kuvassa vasta kaivetun kunnostusojitusalueen ohutturpeisen osan (vasemmalla) ja paksuturpeisen osan valumavedet kohtaavat. Kuva: M. Vuollekoski.

Suometsien lannoituksessa erityistä huolellisuutta on syytä noudattaa sellaisilla ojitusalueilla, joiden turve on heikosti fosforia pidättävää rahkaturvetta. Mikäli tällaisia karuja ojitusalueita lannoitetaan, tulisi käyttää sellaisia lannoitteita, joista fosforia ei ole tutkimuksissa huuhtoutunut. Tällaisia lannoitteita ovat puun ja turpeen tuhka sekä uusi Rauta PK-lannos.

Suometsien hakkuut tulisi eroosiohaittojen torjumiseksi tehdä talvella maan ollessa roudassa. Suometsien hakkuut tulisi lisäksi toteuttaa siten, että pohjavesipinta ei oleellisesti nouse eikä ravinnerikas pintaturve pääse hakkuualueilla vettymään. Näin menetellen voidaan välttää riski turpeen rautayhdisteisiin sitoutuneen fosforin vapautumisesta ja huuhtoutumisesta vesistöön. Pintamaan vettymisen välttäminen tarkoittaa, että ojaston ollessa teknisesti huonossa kunnossa tulee kunnostusojitus tehdä välittömästi hakkuun jälkeen.

Vaikka edellä esitettyjä vesiensuojelun periaatteita suometsätaloudessa noudatettaisiin, kiintoainetta ja ravinteita voi silti lähteä liikkeelle ojitusalueilta. Tästä johtuen hakkuiden, kunnostusojituksen, maanmuokkauksen ja lannoituksen yhteydessä on syytä käyttää myös teknisiä vesiensuojeluratkaisuja, joilla liikkeelle lähteneen kiintoaineen ja ravinteiden pääsy vesistöön pyritään estämään.

6.5.2 Laskeutusaltaat

Laskeutusaltaita (kuva 2) on käytetty metsäojituksen vesiensuojelumenetelmänä jo yli kahden vuosikymmenen ajan. Turpeenkorjuualueilla altaat ovat olleet yleisesti käytetty menetelmä jo pitempään (Selin & Koskinen 1985, Selin & Kaunismaa 1985, Sallantaus 1983, Ihme ym.1991). Laskeutusaltaissa valumaveden virtausnopeutta pyritään pienentämään niin, että veden mukana kulkeutuva kiintoaines laskeutuu altaan pohjalle. Maapartikkeleiden laskeutuminen laskeutusaltaan pohjalle riippuu kiintoaineshiukkasten ominaisuuksista sekä niiden laskeutumisnopeuden ja veden virtausnopeuden välisestä suhteesta. Hienojakoisimpien ainesten, esimerkiksi saven ja hienon hiesun, laskeutuminen on niin hidasta, että käytännössä nämä raekoot eivät jää laskeutusaltaisiin (Aho & Kantola 1985). Laskeutusaltaiden avulla ei myöskään voida vähentää valumavesissä liukoisessa muodossa olevien ravinteiden kulkeutumista vesistöihin.

Luvussa 6.1.2 mainituista 40 ojitusalueesta 37:lle kaivettiin kunnostusojituksen yhteydessä vesiensuojelua varten laskeutusallas (Joensuu ym. 1999). Valuma-aluehehtaaria kohti laskettu laskeutusallastilavuus vaihteli välillä 0,67-5,51 m^3. Mikäli altaat täyttyivät lietteellä tutkimuksen aikana, ne tyhjennettiin kaivurityönä.

Tämä Metsäntutkimuslaitoksen ja Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion yhteistutkimus (Joensuu ym. 1999) osoitti, että 1990-luvun alussa käytössä olleiden ohjeiden mukaisesti kaivetuista laskeutusaltaista vain noin puolet pidätti mainittavia määriä veden mukana kulkeutuvaa kiintoainesta. Osasta altaita jopa lähti alkuvaiheessa enemmän ainesta liikkeelle kuin niihin kertyi. Tämä johtui seinämien sortumista alueilla, joilla allas oli kaivettu syvälle hienojakoiseen pohjamaahan. Toisaalta laskeutusaltaat näyttivät olevan hyvä vesiensuojelumenetelmä aina silloin, kun kunnostusojitusalueelta huuhtoutuva kiintoaine oli karkeaa kivennäisainesta.

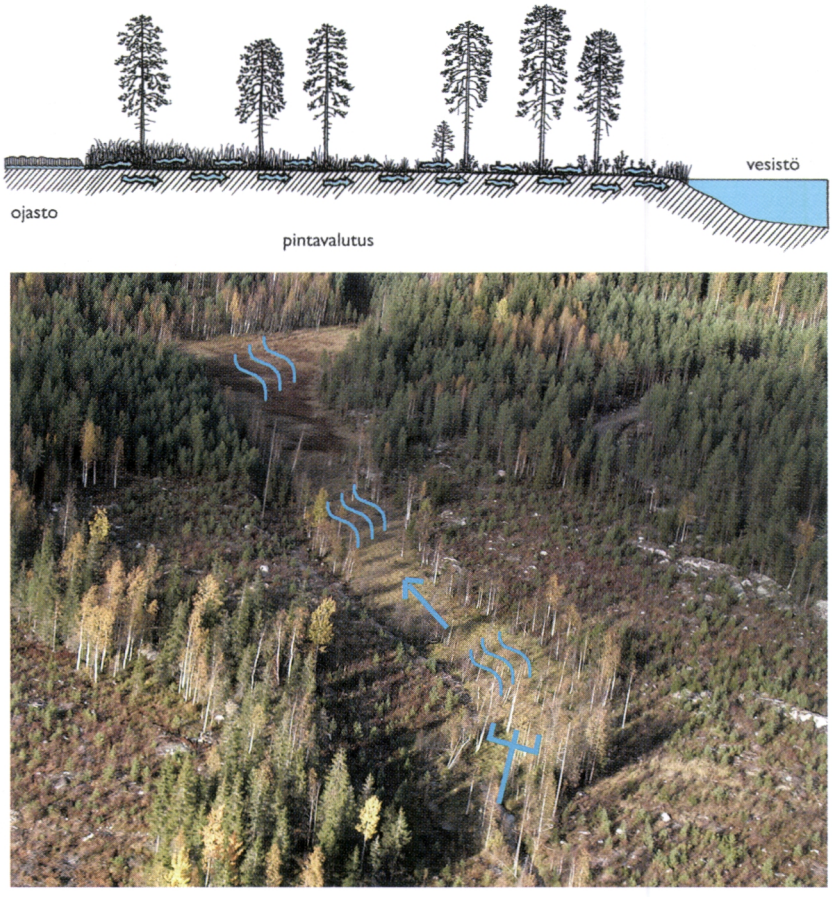


Kuva 2. Kuvan yläosassa laskeutusaltaan periaatepiirros, alaosassa valokuva Karvian Alkkiassa vuonna 1993 kaivetusta laskeutusaltaasta muutaman vuoden kuluttua kunnostusojituksesta. Altaan yläpäähän on laskeutunut hienoa hiekka ja karkeata hietaa. Piirros: H. Nousiainen, kuva: M. Vuollekoski.

Vesiensuojelun onnistumisen kannalta on tärkeää, paitsi laskeutusaltaan riittävän suuri koko, myös toteutuksen oikea ajoitus varsinaisen kunnostusojituksen toteutukseen nähden. Laskeutusaltaat tulisi kaivaa ennen kunnostusojitusta, jopa vuotta aikaisemmin, ennen kuin niihin johdetaan kunnostusojitusalueiden vesiä. Näin voidaan vähentää altaiden seinämistä veteen irtoavan aineksen määrää. Laskeutusaltaiden avulla ei kuitenkaan tule pyrkiä puhdistamaan runsaasti hienoa kivennäismaa-ainesta (esim. savea) tai liukoisia ravinteita sisältäviä valumavesiä. Tällaisten vesien puhdistamiseksi vesiensuojelussa on aina käytettävä ensisijaisesti vesien pintavalutusta.

6.5.3 Vesien pintavalutukseen perustuvat ratkaisut

Luontaiset kosteikot, joista tärkeimpiä ovat luonnontilaiset suot, ovat vuosituhansia suodattaneet yläpuolisilta maa-alueilta valuvia vesiä ja niillä on siksi ollut merkittävä vaikutus vesistöjemme veden laatuun. Ihmisen toiminnan johdosta kosteikoiden pinta-ala on pienentynyt. Tärkeimmät vesien puhdistumiseen vaikuttavat kosteikkoprosessit ovat kiintoaineen ja siihen sitoutuneiden ravinteiden sedimentoituminen, ravinteiden kerääntyminen kosteikon kasvibiomassaan, ravinteiden pidättyminen kemiallisesti pintamaahan, nitraattity-



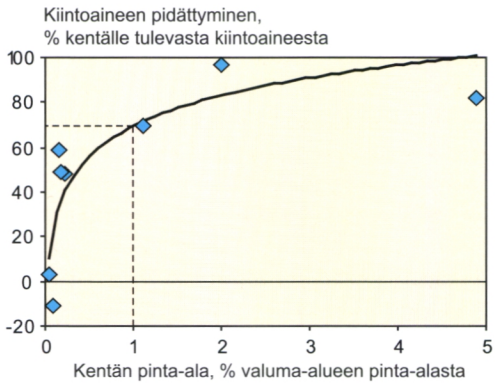
Kuva 3. Kuvan yläosassa pintavalutuskentän periaatepiirros, alaosassa Virtain Kallionevan pintavalutuskenttä ilmasta kuvattuna. Alhaalla keskellä on kunnostusojitusalueen laskuoja, ja sen jatkeena n. 300 m:n pituinen luonnontilainen neva, jota käytetään pintavalutuskenttänä. Kuva ilmentää myös luonnonkosteikkojen merkitystä. Piirros: H. Nousiainen, kuva: M. Vuollekoski.

pen pelkistyminen ilmakehään haihtuvaksi typpikaasuksi ja mikrobiologinen ravinteiden sidonta. Suometsätalouden vesiensuojelussa nämä prosessit pyritään käynnistämään uudelleen perustamalla vesistöjen läheisyyteen pintavalutuskenttiä ja suojakaistoja.

Pintavalutuksessa (kuva 3) valumavedet johdetaan mille hyvänsä tasaiselle alueelle, esim. luonnontilaiselle suolle, jossa veden virtausnopeus hidastuu ja vedet saadaan leviämään laajalle alueelle. Pintavalutuskentän toiminnan kannalta on tärkeää, että sen perustamisvaiheessa ei rikota maan pintaa eikä aiheuteta ajouria, sillä veden virtaaminen oikovirtauksena kentällä olevia uria ja painaumia pitkin heikentää puhdistustulosta. Pintavalutus on tehokkain menetelmä pysäyttämään veden mukana ojitusalueelta liikkeelle lähtenyttä kiintoainesta. Pintavalutuskentän pinta-alan tulisi kuitenkin olla vähintään 1 % valuma-alueen pinta-alasta (kuva 4, Nieminen ym. 2005). Hyvin toimiville pintavalutuskentille jää 70-100 % valumaveden kiintoaineksesta.

Pintavalutuksella voidaan vähentää myös valumavedessä liukoisessa muodossa kulkeutuvien ravinteiden huuhtoutumista vesistöön. Samoin kuin kiintoaineen osalta myös liukoisten ravinteiden pidättymisen kannalta on oleellista, että pintavalutuskenttä on riittävän iso. Vaikka kokemuksia ravinteiden pidättymisestä pintavalutuskentille on toistaiseksi vähän, alustavien tulosten perusteella näyttää siltä, että myös ravinteiden (kuten kiintoaineen) pidättymisen kannalta vähintään noin 1% valuma-alueen pinta-alasta kattava pintavalutuskenttä voisi olla riittävän kokoinen.

Pintavalutuskenttänä voidaan käyttää osaa vanhasta ojitusalueesta, kunnostusojituskelvotonta ojitusalueen osaa tai kunnostusojitusalueen välittömässä läheisyydessä olevaa soistunutta kivennäismaata tai luonnontilaista suota. Jos käytetään vanhaa ojitusaluetta, joka ennallistetaan täyttämällä tai tukkimalla ojat, pintaturpeen vettyminen voi vapauttaa turpeeseen sitoutunutta fosforia ja lisätä vesistöön kohdistuvaa liukoisen fosforin kuormitusta muutaman vuoden ajan (Sallantaus ym. 1998). Kun tämä kentän perustamisesta aiheutuva fosforivuoto tyrehtyy, pintavalutuskenttä voi kuitenkin myöhemmin alkaa pidättää valuma-alueelta huuhtoutuvaa fosforia. Siksi ajan myötä myös ojitusalueista ennallistamalla rakennetuille pintavalutuskentille todennäköisesti pidättyy liukoista fosforia enemmän kuin niiltä sitä perustamisvaiheessa huuhtoutuu. Ojitetun suon ennallistamisella luonnontilaisen suon kaltaiseksi pintavalutuskentäksi saadaan vesiensuojeluhyödyn ohella ajan myötä lisättyä myös alueellista monimuotoisuutta.



Kuva 4. Kiintoaineen pidättymisen ja pintavalutuskentän pinta-alan välinen yhteys.

Suojakaista on vesistön rantaan jätettävä kapea maakaistale, jolla ei rikota maanpintaa, mutta josta voidaan hakata puustoa. Kunnostusojituksessa suojakaista muodostetaan jättämällä vesistöön johtavat ojat perkaamatta muutaman kymmenen metrin matkalta ennen vesistöä tai tukkimalla ojia vesistön läheisyydessä. Suojakaistojen mitoituksesta ei ole tutkimustuloksia, mutta kapeat muutamien metrien levyiset suojakaistat ovat todennäköisesti huonompi ratkaisu esim. kunnostusojituksen vesiensuojeluun kuin kymmenien tai satojen metrien pituiset pintavalutuskentät. Lannoitteiden lentolevityksessä on kuitenkin tärkeää, että lannoitteiden joutuminen suoraan vesistöön pyritään estämään jättämällä vesistön varrelle lannoittamaton suojakaista. Myös maanmuokkausalueilla on tärkeää, ettei maa-

ta eroosiohaittojen torjumiseksi rikota aivan lähellä vesistöä.

Laajemmilla, 1000 hehtaarin suuruusluokkaa olevilla valuma-alueilla, joihin sisältyy muitakin maankäyttömuotoja kuin metsätalous (esim. maatalous), vesiä voidaan suojella ns. rakennetuilla kosteikoilla. Hyviä kosteikkojen paikkoja ovat esimerkiksi vanhat järvikuiviot, jolloin vältytään erityiseltä rakentamiselta, joka itsessään voi aiheuttaa kiintoaine- ja ravinnekuormitusta. Metsätaloudessa kosteikoista on toistaiseksi vähän kokemusta, eikä tutkimustietoa ole. Maataloudessa saatujen kokemusten perusteella kosteikkoalan tulee olla vähintään 1-2 % valuma-alueen pinta-alasta, jotta saavutetaan riittävä veden viipymä kosteikossa ja vesiensuojelullisesti hyvä tulos.

Kirjallisuus

Aho, M. & Kantola, K. 1985. Kiintoaineen sedimentoituminen turvetuotannon vesissä. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Tutkimuksia 345: 1-56.

Ihme, R., Heikkinen, K. & Lakso, E. 1991. Laskeutusaltaiden toimivuuden parantaminen turvetuotantoalueiden valumavesien käsittelyssä. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja -sarja A, 77: 115-210.

Joensuu, S., Ahti, E. & Vuollekoski, M. 1999. The effects of peatland forest ditch maintenance on suspended solids in runoff. Boreal Environmental Reseaerch 4: 343-355.

Nieminen, M., Ahti, E., Nousiainen, H., Joensuu, S. & Vuollekoski, M. 2005. Capacity of riparian buffer zones to reduce sediment concentrations in discharge from peatlands drained for forestry. Silva Fennica 39(3): 331-339.

Sallantaus, T. 1983. Turvetuotannon vesistökuormitus. Helsingin yliopisto, Limnologian laitos. Progradu-työ. Julkaissut: Kauppa- ja teollisuusministeriö, energiaosasto, Helsinki. Sarja D. 29. 1-122.

Sallantaus, T., Vasander, H. & Laine, J. 1998. Metsätalouden vesistöhaittojen torjuminen ojitetuista soista muodostettujen puskurivyöhykkeiden avulla. Suo (Mires and peat). Vol. 49(4): 125-133.

Selin, P. & Kaunismaa, P. 1985. Turvetuotantoalueen sarkaojaan rakennettavien laskeutusaltaiden toimivuus kiintoaineen pidättäjänä. Jyväskylä, Vapo Oy ja Jyväskylän yliopisto, ympäristötutkimuskeskus. 13 s.

Selin, P. & Koskinen, K. 1985. Laskeutusaltaiden vaikutus turvetuotantoalueiden vesistökuormitukseen. Summary: The effects of the sedimentation ponds on the load coming from the peat production areas to the watercourses. Vesihallitus, tiedotus 262. s. 1-112.

SUOMETSIEN PUURAAKA-AINEEN LAATU JA SOVELTUVUUS ERI KÄYTTÖTARKOITUKSIIN



7 Suometsien puuraaka-aineen laatu ja soveltuvuus eri käyttötarkoituksiin

Erkki Verkasalo, Reeta Stöd, Henrik Heräjärvi, Harri Kilpeläinen, Jari Lindblad ja Tapio Wall

7.1 Johdanto

7.1.1 Suopuun ja sen laadun merkitys puunkäytössä

Suopuun merkitys metsäteollisuuden raaka-ainelähteenä kasvaa olennaisesti seuraavan 30 vuoden aikana sekä hakkuumahdollisuuksien voimakkaan lisääntymisen että raakapuun tarjonnan odotettavissa olevien aukkojen täyttämisen tarpeen seurauksena. Tehtyjen ennustelaskelmien mukaan hakkuumahdollisuuksien kasvua on eniten sekä kuutiometreinä että tilavuusosuuksina puulajeista männyssä ja leimikkotyypeistä harvennuksissa, mutta myös nykyisin ja erityisesti keskipitkällä aikavälillä lisää tarjolle kaivatussa kuusessa (Nuutinen ym. 2000). Suopuun hakkuumahdollisuuksia on runsaasti erityisesti Pohjanmaalla, Lapissa ja Väli-Suomen pohjoisissa osissa. Nämä alueet tunnetaan puunkäytön piirissä ns. Kuitupuu-Suomena, jossa on runsaasti sellu- ja paperiteollisuutta ja pienpuuta käyttävää puutuoteteollisuutta. Täällä metsänkuva myös suosii pienikokoisen puun käyttäjiä.

Suopuuta on odotettavissa markkinoille laajassa mitassa ensimmäisenä massa- ja paperiteollisuuden ja energiapuukäytön mutta sen jälkeen myös saha- ja vaneriteollisuuden tarpeisiin. Tällä hetkellä kaikesta mäntypuustosta on sahatukkia metsä- ja kitumaiden turvemailla 19 % (ojitetut 20 %, ojittamattomat 18 %) ja kivennäismailla 43 %, kun sovelletaan tavanomaisia mäntytukin mitta- ja laatuvaatimuksia; kaikesta mäntytukista on turvemailla 11,1 % (Nuutinen ym. 2000). Kuusipuuston vastaavat sahatukkiosuudet ovat turvemailla 35 % (ojitetut 35 %, ojittamattomat 30 %) ja kivennäismailla 48 %; kaikesta kuusitukista on turvemailla 10,8 %. Koivun tukkiosuus, joka tarkoittaa vaneritukkia, on turvemailla vain 4 %, ja kaikesta koivutukista on turvemailla 13,8 %.

Huomattava on, että kaikki ojitusalueet eivät ole metsätilastoissa käytetyn luokituksen mukaan turvemaita. Jos näiltä soistuneilla kankailta ja muilta maapohjaltaan kivennäismaita olevilta ojitusalueiden yhdys- ja sisäalueilta saatava puutavara lasketaan mukaan ns. pehmeiden maiden puustoon, tulee em. varsinaisten turvemaiden kokonaispuustoon vielä 22 prosentin ja tukin määrään 36 prosentin lisäys (Nuutinen ym. 2000). Tukkiosuus on ojitetuilla kivennäismailla myös korkeampi kuin turvemailla, männyllä 35 %, kuusella 44 % ja koivulla 7 %.

Päätehakkuut ovat keskeisessä asemassa saha- ja vaneritukin hankinnassa. Suometsiköistä ensimmäisinä tulevat hakkuiden piiriin merkittävässä määrin maan eteläpuoliskon korpikuusikot. Suomänniköiden päätehakkuut ovat vielä vähäisiä ja merkittäviä tukkimääriä tuottaviin hakkuisiin päästään vasta tulevina vuosikymmeninä. Järeydeltään vaatimattomien päätehakkuiden männystä ja kuusesta soveltuu osa pikkutukiksi. Koivutukkia saadaan vain vähän suoleimikoiden hakkuista, mutta pientä kasvua lienee odotettavissa korpikuusikoiden sekapuukoivusta, ja myös koivua sisältävien suometsiköiden myöhemmistä harvennuksista.

Yli kolmasosa metsämaasta kuuluu kehitysluokaltaan nuoriin kasvatusmetsiköihin,

joista puolestaan 36 % sijaitsee turvemailla. Soiden ojittamisen lisäksi ensiharvennustarvetta on lisännyt 1950-luvulla aloitettu kangasmetsien laajamittainen uudistaminen. Useimpina vuosina on myös kertynyt huomattavat ensiharvennusrästit. Kymmenvuotiskaudella 1986-95 ensiharvennusten kokonaisala oli turvemailla 210 000 ha, mutta kauden 1996-2005 aikana niitä tulisi tehdä 730 000 hehtaarilla (Nuutinen ym. 2000). Ensiharvennuksista hakattavissa oleva puu on lähinnä kuitu- ja energiapuuta. Osa ensiharvennuspuusta on käytännön kokemusten mukaan kelvollista myös pikkutukiksi ja muiksi läpimitta- ja myös pituusvaatimuksiltaan tavallista vaatimattomammiksi puutuoteteollisuuden tavaralajeiksi.

Teollisuuden puuhuollon ja ojitetuilta soilta kertyvän puun menekin turvaamisen kannalta on oleellista parantaa ennusteita ojitusalueiden tuottaman puuraaka-aineen laadusta ja käyttökelpoisuudesta. Kemiallisen metsäteollisuuden voidaan odottaa lisäävän ojitusalueiden kuitupuun käyttöä edellyttäen, että puunkorjuun toteutukseen ja kannattavuuteen liittyvät kysymykset pystytään ratkaisemaan. Tämän rinnalla suopuun laatua kuitupuuna ei ole pidetty erityisenä ongelmana. Eikä se sitä ilmeisesti olekaan.

Puutuoteteollisuus, sahat etunenässä, joutuu tästä eteenpäin hankkimaan nykyistä suuremman osan raaka-aineestaan muualta kuin perinteisistä kivennäismaiden järeistä päätehakkuuleimikoista, mikäli tuotantokapasiteetti halutaan säilyttää nykyisellään. Tällöin on tiedettävä, missä määrin suoleimikoiden hakkuista on saatavissa täydennystä raaka-ainevalikoimaan, minkälaisiin mekaanisiin lopputuotteisiin täältä saatava raaka-aine soveltuu, mikä on sen teollinen arvo ja teollisuuden puustamaksukyky ja, tätä kautta, mikä merkitys soiden tukkipuulla tulee olemaan osana puuhuoltoa. Asia on vielä paljolti arvailujen varassa.

Puuntuottajan kannalta olennaisia kysymyksiä ovat suopuustojen puutavaran markkinointimahdollisuudet sekä hakkuukertymä- ja kantorahaodotukset. Metsätalouden suunnittelussa tarvitaan vastaavasti tarkennettuja tietoja suopuustojen puutavaralajijakaumista puuntuotos- ja arvomallien kehitystyötä varten. Talousmetsissä on päätettävä viimeistään ensiharvennusvaiheessa puuston kasvatuksen tavoitteet, ts. pyritäänkö järeään puuhun saha-, vaneri- ja jatkojalostusteollisuuden tarpeisiin vai tyydytäänkö massateollisuuden raaka-aineen tai ääritapauksissa jopa energiapuun tuotantoon. Harvennuksiin ja metsänparannustöihin käytettävissä olevien resurssien optimaaliseksi kohdentamiseksi on pystyttävä tunnistamaan suurimmat tuotot antavat työkohteet. Puunkorjuun, kaukokuljetuksen ja varastoinnin suunnittelussa on lisäksi pystyttävä tekemään ennakkoarvioita korjattavista leimikoista ja puutavaralajeista niiden optimaaliseksi katkomiseksi ja ohjaamiseksi oikeisiin käyttökohteisiin.

7.1.2 Suopuun laadun tutkimus

Vuosituhannen vaihteeseen saakka se vähäinenkin tutkittu tieto suometsiemme havupuusta koski etupäässä muutamia puuaineen ja runkojen perusominaisuuksia, kun taas soveltavaa tutkittua tietoa laadusta, arvosta ja puutavaralajeista oli tuskin lainkaan. Perusominaisuuksista oli tutkittu vain viitteellisesti vuosiluston leveyttä ja puuaineen tiheyttä ja niiden vaihtelua (Sirén 1952, Ollinmaa 1960, 1981, Hakkila 1966, Seppälä 1969; ks. myös Ollinmaan (1959) reaktiopuututkimus) ja pienessä määrin puuaineen lujuutta, jäykkyyttä ja kovuutta (Jalava 1933, 1945, Ollinmaa 1960, 1981; ks. myös Ollinmaa 1959). Hieskoivun osalta oli kuitenkin tehty laajahkoja tutkimuksia runkojen ja vaneritukin teknisestä laadusta ja puutavaralajijakaumasta sekä 1950- että 1980-90-luvuilla (mm. Heiskanen 1957, Verkasalo 1997a,b, 1998b, 2002a) ja koesorvaustutkimuksia vaneriviilun saannosta, laadusta ja arvosta (Verkasalo 1987, 1990, 1997a, 1998b, 2002a). Samoin oli tutkittu jossain määrin vuosiluston leveyttä ja puuaineen tiheyttä (Hakkila 1966, Verkasalo 1998a); ks. myös Ollinmaan (1955) vetopuututkimus.

Tässä artikkelissa esitetään yhteenveto vanhasta ja Metlassa vuodesta 1997 käynnistettyjen hankkeiden tuottamasta tutkimustiedosta ojitettujen turvemaiden puustojen teknisestä laadusta ja tulevaisuuden laatuodotuksista, puuaineen ominaisuuksista sekä puutavaran käyttömahdollisuuksista ja arvosta pääasiassa puutuoteteollisuuden, osin myös puumassa- ja paperiteollisuuden tarpeiden lähtökohdista. Nämä tutkimukset on toteutettu Suometsien ekologisesti ja taloudellisesti kestävä kasvatus ja käyttö -tutkimusohjelman (1999-2003) hankkeissa "Ojitettujen turvemaiden puutavaran laatu ja arvo tuotelähtöisessä metsäteollisuudessa" ja "Ensiharvennusten korjuuolot ja niiden parantamismahdollisuudet" sekä ohjelman ulkopuolisissa hankkeissa "Kuusen laatu- ja arvosuhteet erikoistuvassa lopputuotelähtöisessä ja perinteisessä massatuotantosahauksessa" (1994-2000) ja "Ojitettujen turvemaiden mänty raaka-aineena erikoistuvassa lopputuotelähtöisessä ja perinteisessä massatuotantosahauksessa (1997-2001). Rungon ja puutavaran tekninen laatu ja kelpoisuus puutuoteteollisuuden raaka-aineeksi määritettiin näissä tutkimuksissa tarkasti ja varsin tiukoin kriteerein.

Lisätietoja on kerätty Wood Wisdom-tutkimusohjelmasta (1998-2002) osarahoitettujen hankkeiden "Kotimaisen koivun ja harmaalepän ominaisuudet mekaanisessa puunjalostuksessa, niiden ennustaminen ja hallinta" (Suomen Akatemia) ja "Harvennusmännyn hankinnan ja sahauksen kehittäminen" (maa- ja metsätalousministeriö) tuloksista kuten myös Etelä-Savon TE-keskuksen ja maakunnan yritysten osarahoittaman hankkeen "Pieniläpimittaisen koivun hyödyntäminen huonekaluteollisuuden tarpeisiin" tuloksista. Lisäksi referoidaan muualla tehtyjen tutkimusten tuloksia, erityisesti Helsingin yliopiston hankkeesta "Suopuustojen puuraaka-aineen laatu ja soveltuvuus eri käyttökohteisiin".

Kirjoittajista Verkasalo kirjoitti tämän artikkelin luvut 7.1-7.2, 7.3.2, 7.4.4 ja luvun 7.5. Stöd kirjoitti luvun 7.3.1 ja Heräjärvi luvut 7.4.1-7.4.3. Kilpeläinen, Lindblad ja Wall luovuttivat laskentatuloksia ja avustivat kirjoitustyössä ja johtopäätösten muotoilussa.

7.2 Puun ja puuraaka-aineen laatu ja suometsien erityispiirteet

7.2.1 Laadun määrittely

Yleisesti käytetyn määritelmän mukaan puun laatu tarkoittaa rungon ja puuaineen sopivuutta tiettyyn käyttötarkoitukseen (Kärkkäinen 2003). Puun laatu on suppeassa merkityksessä vikojen puuttumista. Laajassa merkityksessä laadun arvioinnissa otetaan huomioon kaikki loppukäyttöön vaikuttavat ominaisuudet ja jopa tekijät, jotka vaikuttavat puun korjuun ja teollisen valmistuksen kustannuksiin.

Usein puun laadulla kuitenkin ilmaistaan vain jonkin yksittäisen ominaisuuden tasoa eikä niinkään puun sopivuutta tiettyyn käyttökohteeseen. Esimerkiksi oksikkuus kuvaa puun tilannetta yhdellä hetkellä, eikä siten välttämättä kerro puun sopivuudesta tiettyyn käyttötarkoitukseen. Tämä koskee erityisesti nuoria puita, joilla esim. tulevan tyvitukin oksikkuuslaatu ei vielä ole lopullisesti määräytynyt.

Puun vikoja ovat kaikki puun käyttökelpoisuuteen vaikuttavat poikkeamat normaalisuudesta (Knuchel 1947). Normaalisuus sisältää ajatuksen normaali- eli ideaalipuusta, joka on ominaisuuksiltaan kuhunkin käyttötarkoitukseen mahdollisimman hyvä, mutta kuitenkin luonnossa täysin mahdollinen (Kärkkäinen 2003). Normaalipuu on yksittäisiltä piirteiltään erilainen eri puulajeilla ja erilaisissa käyttötarkoituksissa. Ajatusta biologisten säännönmukaisuuksien rajoissa mahdollisesta normaalipuusta täsmennetään käytännössä siten, että ikä otetaan huomioon, mutta ei ympäristöolosuhteita. Vikaisuutena ei pidetä esim. nuorten mäntyjen oksikkuutta tyvestä latvaan mutta pidetään esim. vanhojen hakamaamäntyjen oksikkuutta, koska vanha mänty voi olla tyviosaltaan täysin oksaton. Vastaavasti kuusen yleistä pihkataskui-

suutta esim. merenranta- ja aukonreunametsissä pidetään vikana, vaikka tällaiset ympäristöolot aiheuttavat sitä lähes poikkeuksetta.

Vikaisuuteen suhtaudutaan myös eri tavoin eri rungon osissa. Esim. rungon oksattomuus latvaan saakka on biologinen mahdottomuus, mutta rungosta katkotun pölkyn oksikkuus voidaan tulkita vikaisuudeksi. Vikaisuuden käsite ei siis ole biologinen siinä mielessä, että se mahdollistaa puun elintoimintojen kannalta välttämättömien ominaisuuksien käsittämisen normaalista poikkeamiseksi, vaan käsite lähtee puun käyttäjien tarpeista (Kärkkäinen 2003).

Runkopuuta eri tarkoituksiin käytettäessä erotetaan tekniset runkoviat eli ulkoiset viat ja puuaineen viat eli sisäiset viat sen perusteella, voidaanko vika havaita vain kokonaisvaltaisesti rungossa tai sen suurehkossa osassa vai puuaineen sisällä (Kärkkäinen 2003). Runkovikoja ovat mm. oksikkuus, mutkat, lenkous, haaraisuus, korot ja pintahalkeamat ja puuaineen vikoja esim. oksa, laho, reaktiopuu, halkeama ja pihkatasku tai -kolo. Runkoviat merkitsevät paljon ns. massiivipuuta käyttävässä teollisuudessa (sahat, viilu- ja vaneritehtaat) ja vähän massa- ja paperiteollisuudessa, mutta puuaineen viat ovat merkityksellisiä kaikissa jalostusmuodoissa.

Viat ryhmitellään yleisesti myös määrä- ja laatuvikoihin, joista ensinmainitut vaikuttavat puusta saatavien tuotteiden määrään ja jälkimmäiset laatuun (Kärkkäinen 1984). Teollisuudessa viat luokitellaan yleisesti ryhmiin niiden käyttötarkoitukselle aiheuttaman haitta-asteen mukaan (Kärkkäinen 1984). Viat voidaan ryhmitellä myös syntytavan tai aiheuttajan perusteella, esim. perimä, sää, ihminen, muut eläimet ja kasvit (Knuchel 1947).

7.2.2 Hypoteeseja suometsien puun laadusta ja käyttöominaisuuksista

Kivennäismaista poikkeavat maaperä- ja ravinneolot sekä poikkeuksellinen puunkasvun ja metsänkäsittelyn historia johtavat turvemailla tavallisista poikkeaviin runkojen teknisiin ominaisuuksiin ja puuaineen ominaisuuksiin. Turvemailla voidaan odottaa poikkeuksellisen suurta metsiköiden välistä vaihtelua metsikön rakenteessa, runkojen dimensioissa sekä puutavaran ja puuaineen laadussa. Samoin myös runkojen välinen vaihtelu yhdessä metsikössä ja ilmeisesti vielä selvemmin runkojen sisäinen vaihtelu ovat todennäköisesti suuria kivennäismaihin verrattuna. Seurauksena turvemaaleimikoiden puutavaralajien käyttöarvosta johdettavien kantohintojen taso on poikkeuksellinen ja varsinkin niiden vaihtelut ovat ilmeisesti suuremmat ja kannattavien tuotteiden ja loppukäyttökohteiden potentiaali on erilainen kuin kivennäismaaleimikoissa.

Toisaalta perussyyt joko hyvän tai huonon laadun muodostumiseen ovat turvemailla kuitenkin samat kuin kivennäismailla. Oksikkuutta lisäävät harva synty- tai perustamistiheys ja harva kasvatustiheys, rehevä kasvupaikka ja taimikon liian varhainen harvennus. Männyllä kaikki kolme syytä ovat olennaisia, kun taas kuusella kasvupaikka vaikuttaa mm. oksien läpimittaan esimerkiksi puuston tiheyttä enemmän. Maan painuminen, routa ja maaperän liikkuminen aiheuttavat mutkia ja lenkoutta. Runkovikoja aiheuttavat lisäksi lumen tai hyönteisten aiheuttamat verson vaurioitumiset, istutusvirheet ja tuuli. Havupuilla haaraisuuden syntyyn vaikuttavat ilmasto-olosuhteet, latvasilmuun kohdistuvat tuhot ja puuston tiheys.

Kaikki tähänastiset suopuun laatututkimukset ovat koskeneet ennen ojitusta syntyneitä ns. ensimmäisen sukupolven puita. Niiden ja ojituksen jälkeen syntyneiden ns. toisen sukupolven suopuiden välillä on ilmeisiä laatueroja kasvurytmin, vesitalouden, maapohjan tukevuuden ja taimikon tiheyden erilaisuuden sekä ojastojen vaikutusten vuoksi. Nyt ja vielä lähivuosikymmeninä hakkuisiin tulevien ojitusalueiden puista suurin osa on syntynyt ennen ojitusta. Tällaisilla puilla voidaan olettaa olevan ainakin neljä laadullista erityispiirrettä:

1) Puut ovat kasvaneet ennen ojitusta hyvin hitaasti, minkä vuoksi tyvitukin sydäntavaraosan puuaine on hyvin ohutlustoista, tavallista tiheämpää (painavampaa), lujempaa ja sitkeämpää. Puut ovat biologisesti vanhoja niiden koko huomioon ottaen. Oksia on rungoissa ja täten myös puuaineessa tiheässä ja ne ovat yleensä kuolleita, mutta mahdollisesti pieniä. Sydänpuuta voi olla tavallista enemmän, mutta sen lahon- tai säänkestävyys ei ole välttämättä parempi kuin kivennäismaalla (vrt. uuteainepitoisuus ja -koostumus).

2) Puiden läpimitan kasvu kiihtyy selvästi ojituksen jälkeen, jolloin syntyy aiempaa selvästi leveämpiä vuosilustoja ja tiheydeltään keveämpää puuta (sydäntavaraosan ulkopuolella ja rungon ylemmissä osissa), joten puun säteensuunnassa puuaine on laadultaan normaalia epätasaisempaa. Kuolleiden ja karsiutuneiden oksien kyljestyminen tehostuu, joten vanhana puu voi olla ulkoisesti verraten vähäoksainen.

3) Puut ovat kasvaneet ennen ojitusta yleensä harvassa ja puuston rakenne on epätasainen, varsinkin alunperin märillä nevamaisilla soilla. Näillä tekijöillä on haitallisia vaikutuksia oksikkuuteen ja mahdollisesti runkomuotoon (tyvilenkous, tyvekkyys, kapeneminen, latvanvaihdot, poikaoksat).

4) Puut kasvavat mättäillä, varsinkin alunperin märillä nevamaisilla soilla, jolloin puut jäävät korkealle turvepinnan alentuessa kuivatuksen jälkeen. Hyväkasvuisimmat puut kasvavat lisäksi usein ojanvarsilla. Täten tyvilenkous ja tyvekkyys ovat yleisiä vikoja.

Laatukehityksen edellytykset ojituksen jälkeen ovat ilmeisesti lähellä vastaavan viljavuustason kivennäismaita – myös ennen ojitusta syntyneisiin puihin kasvaneissa ylemmissä rungon osissa. Kasvuolojen parannuttua alunperin harvat puustot täydentyvät ja pienpuut runsastuvat. Tukkipuun mittaiset puut lisääntyvät ilmeisesti eniten viljavilla nevamaisilla rämeillä. Runsas typpi suhteessa fosforiin/kaliumiin voi silti johtaa turvemailla suhteellisen paksuihin oksiin. Toisaalta ojituksen jälkeen on syntynyt usein tiheä taimikko, jolla on edellytykset tuottaa vähä- ja pienioksaista puuta, mikäli ensiharvennus tehdään ajoissa. Edelleen pehmeä alusta voi silti aiheuttaa runkomuoto-ongelmia.

7.3 Turvemaiden havupuun laatu- ja käyttötutkimukset

7.3.1 Harvennushakkuut

Taustatilanne

Suomen metsien ikärakenne on muuttunut viime vuosikymmeninä merkittävästi. Vielä 1960-luvulla painopiste oli varttuneissa ja uudistuskypsissä metsiköissä, mutta nykyisin valtaosa metsistä on taimikoita ja kasvatusmetsiä. Nuorten ja varttuneiden kasvatusmetsiköiden osuus koko metsämaan alasta on yhteensä 58 %. Turvemaiden metsiköistä 52 % kuuluu nuoriin ja 20 % varttuneisiin kasvatusmetsiköihin, joten merkittävä osa 1960- ja 1970-luvuilla ojitetuista soista on tulossa harvennusvaiheeseen lähivuosina. Mäntyvaltaisten, pienpuuta tuottavien metsiköiden onkin arvioitu muodostavan valtaosan turvemaiden hakkuupotentiaalista tulevaisuudessa (Nuutinen ym. 2000).

Ikärakenteen muutoksen lisäksi esimerkiksi metsien lisääntyneet käyttörajoitukset sekä metsäverotuksen muutos vaikuttanevat tulevaisuudessa harvennuspuun käyttöä lisäävästi. Tämä voi vaikuttaa myönteisesti myös suometsien harvennuspuun kysyntään. Harvennuksista saatava puu on ennen kaikkea kuiduttavan teollisuuden raaka-ainetta. Osa siitä voi soveltua myös sahateollisuuden raaka-aineeksi korvaamaan ja täydentämään etenkin päätehakkuiden latvatukkeja mutta myös pieniä tyvi- ja välitukkeja. Harvennuspuun soveltuvuutta varsinkin sahaukseen rajoittaa ennen kaikkea ensiharvennuksen metsänhoidollinen luonne, jonka vuoksi hakkuukertymän muodostavat pääasiassa metsikön pienimmät ja huonolaatuisimmat puut. Harvennustapa on ensiharvennuksissa useimmiten laatuharvennus, jossa kertymän suuruuteen ei juuri kiinnitetä huomiota, vaan tavoitteena on jättää kasvamaan tarvittava määrä mahdollisimman hyvälaatuisia puita (Vuokila 1982, Niemistö 1994, Lilleberg 1995). Poistettavien runkojen pienen koon vuoksi harven-

nuskertymä jää usein vaatimattomaksi. Pikku- ja lyhyttukkien hakkuulla voidaan ensiharvennuksesta saatavan sahauskelpoisen puun määrää kasvattaa, mutta samalla myös korjuukustannukset kasvavat (Wall ym. 2004).

Puuaineen ominaisuudet

Edellä kuvattujen ongelmien lisäksi nuoren puuaineen poikkeavat ominaisuudet aiheuttavat rajoituksia ja niistä saatavilla olevan tiedon vähyys epätietoisuutta harvennuspuun käyttömahdollisuuksista. Varttuneita puita ja päätehakkuumetsiköitä suurempi vuosiluston leveys ja kuoren osuus, pienempi puuaineen tiheys sekä nuorpuun suurempi ja sydänpuun pienempi osuus ovat nuoren puuaineen erityispiirteistä keskeisimpiä (esim. Zobel & van Buijtenen 1989, Forest Products...1999, Hakkila ym. 2002, Lindström 2002, Kärkkäinen 2003, ks. myös kuva 2).

Puulajeilla, joilla tiheys kasvaa ytimestä pintaan päin, keskimääräinen tiheys kasvaa puun vanhetessa (Kärkkäinen 2003). Myös iän myötä tapahtuva sydänpuun osuuden kasvu vaikuttaa tiheyttä lisäävästi. Pintapuu, joka koostuu sekä elävistä että kuolleista soluista, muuttuu sydänpuuksi solujen kuollessa ja uuteaineiden kerääntyessä siihen. Sydänpuun uuteaineiden vaikutuksesta puuaineen tiheys kasvaa ja permeabiliteetti huononee. Männyllä sydänpuu on värillinen ja kuusella väritön; molemmilla puulajeilla sydän- ja pintapuun välillä on selvä kosteusero. (Kärkkäinen 2003).

Nuorpuulla tarkoitetaan ytimen lähellä olevaa puuainetta, yleensä noin 5-25 ensimmäistä vuosilustoa (Zobel & van Buijtenen 1989). Pohjoismaisella männyllä nuorpuun määräksi on uusimmissa tutkimuksissa tarkentunut 10-15 ydintä lähinnä olevaa vuosilustoa (Wilhelmsson ym. 2002; ks. myös Sauter ym. 1999). Kuusella nuorpuun rajana on pidetty vuosilustoa, jossa tiheys saavuttaa pienimmän arvonsa, ja keskimääräisenä nuorpuulustojen lukumääränä on pohjoismaista kuusta koskeneissa tutkimuksissa ollut 12 tai 15 kpl (esim. Saranpää ym. 2002).

Nuorpuun määrän on todettu kasvavan tyvestä latvaan päin. Siirryttäessä nuorpuuvyöhykkeeltä aikuispuuhun tiheys, lujuus, trakeidien pituus, soluseinämän paksuus, säteen ja tangentin suuntainen kutistuminen sekä kesäpuun osuus kasvavat (Zobel & van Buijtenen 1989, Forest Products... 1999). Mikrofibrillikulma, pituuden suuntainen kutistuminen, kosteus ja vinosyisyys puolestaan pienenevät siirryttäessä nuorpuusta aikuispuuhun. Edellä mainittujen ominaisuuksien vuoksi voimakkaat kuivausmuodonmuutokset ovat nuorpuussa yleisempiä kuin aikuispuussa. Kuiduttavassa teollisuudessa nuorpuu puolestaan pienentää massan saantoa (Kärkkäinen 2003). Voidaan kuitenkin olettaa, että nuorpuun osuus rungon poikkileikkauspinta-alasta ja tilavuudesta on Suomen kasvuoloissa pieni verrattuna ilmastoltaan otollisempiin kasvualueisiin, joilla nuorpuun haitat on todettu suuriksi, esim. USA:n etelänmännyillä ja eteläisen pallonpuoliskon radiatamännyllä (Forest Products ... 1999). Samoin on saatu viitteitä pohjoisen männyn ja kuusen nuorpuuvyöhykkeen puuaineen paremmasta laadusta verrattuna eteläisempiin kasvualueisiin (Lindström 2002, Riekkinen 2004, ks. myös Sauter ym. 1999).

Hakkilan (1966) Etelä-Suomen eri metsiköiden kehitysluokkia edustaneessa aineistossa ojitettujen turvemaiden männyn ja kuusen puuaineen kuiva-tuoretiheys oli keskimäärin tukeissa 393 ja 385 kg/m^3 ja runkokuitupuussa 414 ja 393 kg/m^3. Männyllä tiheys oli tukeissa 25-40 kg/m^3 pienempi kuin kivennäismaiden kasvupaikoilla; runkokuitupuussa ero oli samansuuntainen kuivahkoihin kankaisiin verrattuna (13 kg/m^3) mutta päinvastainen tuoreisiin ja lehtomaisiin kankaisiin verrattuna (11 kg/m^3). Kuusella tiheys oli sekä tukeissa että kuitupuussa 15 kg/m^3 korkeampi kuin tuoreilla tai lehtomaisilla kankailla ja samalla tasolla kuin kuivahkoilla kankailla.

Turvemailla kuiva-tuoretiheys vaihtelee jopa poikkeuksellisen paljon, kuten Varhimon ym. (2003) ensiharvennusmänniköiden kui-

tupuuta koskeneessa tutkimuksessa välillä 387-443 kg/m^3, ja kuoren tilavuusosuus on korkea, 16,8-20,0 %. Hakkilan ym. (2002) laajassa kivennäismaiden kuitupuuta koskeneessa tutkimuksessa nämä arvot olivat männiköiden ensiharvennuksissa ja toisissa harvennuksissa 398 ja 415 kg/m^3 ja 15,1 ja 10,1 % (vrt. päätehakkuut 393 kg/m^3 ja 7,1 %). Kuusikoiden vastaavat tulokset olivat 374 ja 396 kg/m^3 ja 10,6 ja 10,4 % (vrt. päätehakkuut 401 kg/m^3 ja 12,5 %). Vuosiluston leveys oli männyllä 2,6 ja 2,0 mm ja kuusella 2,6 ja 2,2 mm (vrt. päätehakkuut 1,5 mm ja 1,7 mm). Sydänpuuosuus oli toisissa harvennuksissa männyllä 17 % ja kuusella 19 % (vrt. päätehakkuut 31 ja 33 %).

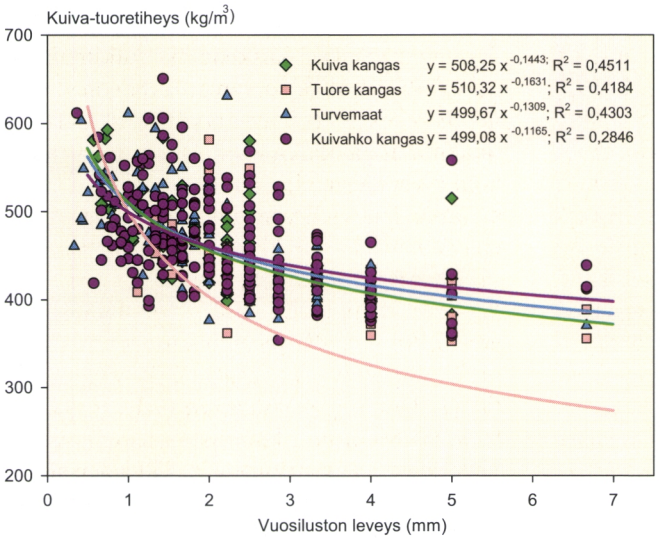
Hakkila (1968) osoitti aiemmassa tutkimuksessaan selviä eroja kuitupuun ominaisuuksissa Etelä- ja Pohjois-Suomen välillä, jotka pätevät sekä kivennäis- että turvemailla. Männyllä vuosiluston leveys aleni 1,4 mm:stä 0,8 mm:iin ja kesäpuun osuus 26,4 prosentista 21,9 prosenttiin eteläisimmästä neljänneksestä pohjoisimpaan, kuiva-tuoretiheys oli korkein toisessa neljänneksessä (410 kg/m^3) laskien sen jälkeen tasaisesti pohjoisimpaan neljännekseen (375 kg/m^3) mutta sydänpuun osuus kohosi 19 prosentista 39 prosenttiin. Kuusella vuosiluston leveys aleni 1,7 mm:stä 0,7 mm:iin eteläisimmästä neljänneksestä pohjoisimpaan, mutta kesäpuun osuus kohosi aina kolmanteen (23 % –> 31 %) ja kuiva-tuoretiheys toiseen neljännekseen (380 kg/m^3 –> 396 kg/m^3). Pohjoisimmassakin neljänneksessä arvot olivat korkeammat kuin eteläisessä.

Wallin ym. (2004) pikkutukkipuukokoisia harvennusmäntyjä koskeneessa tutkimuksessa vuosilustot olivat turvemailla rungon ytimen läheisyydessä (nuorpuuvyöhyke) selvästi ohuemmat ja kuiva-tuoretiheys korkeampi kuin kivennäismailla, mutta rungon pintaosissa (aikuispuuvyöhyke) tulokset olivat melko epäyhtenäisiä (taulukko 1). Rungon sisäosassa lustot olivat säännöllisesti paksummat ja tiheys alhaisempi kuin pintaosassa, mutta tämä ero oli turvemailla pienempi kuin kivennäismailla (pl. kuivat kankaat). Koko aineistossa tiheys aleni rungon sisäosassa 60 kg/m^3 ja pintaosassa 80 kg/m^3, kun luston leveys kasvoi yhdestä kolmeen millimetriin. Tiheyden aleneminen hidastui normaalilla tavalla luston leveyden kasvaessa (kuvat 1a ja 1b).

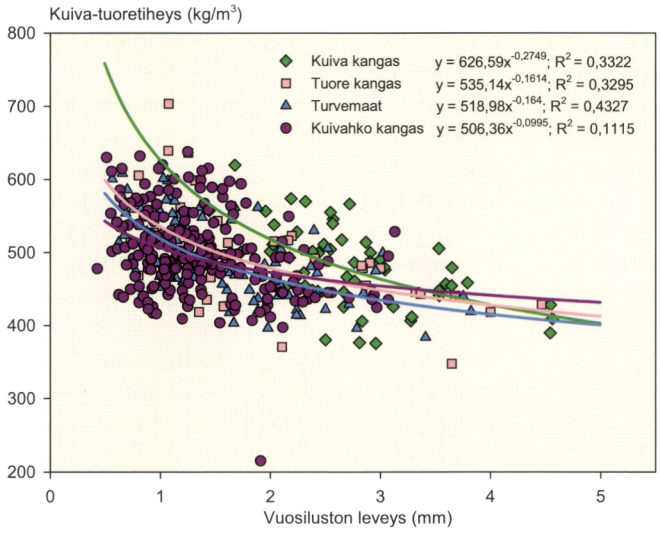
Turvemailla yleinen puuaineen vika on pehmeästä kasvualustasta ja puiden mättäillä kasvamisesta ja näistä tekijöistä suoruuteen aiheutuvista poikkeamista ja edelleen epäkeskisestä läpimitan kasvusta johtuva reaktiopuu (kuva 2). Männyllä ja kuusella reaktiopuuta (lylyä) muodostuu puristusjännityksen eli rungossa kallistuman puolelle, sekä oksien alapinnoille. Lyly on makroskooppisesti normaalipuuta tummempaa ja kiiltävää, painavampaa ja kovempaa puuta. Tumma väri johtuu jo sinänsä normaalipuuta paksumpien vuosilustojen selvästi suuremmasta kesäpuun osuudesta, ja lyly luokitellaan väriviaksi puutuoteteollisuudessa (Kärkkäinen 2003). Lylypuun trakeidit ovat poikkileikkaukseltaan ympyränmuotoisia ja epäsäännöllisesti järjestyneitä, lyhyitä, paksuseinämäisiä ja niiden seinämästä puuttuu S_3-kerros – lisäksi lylyssä

Taulukko 1. Harvennusmänniköiden pikkutukeista saatujen saheiden keskimääräinen vuosiluston leveys ja kuiva-tuoretiheys kasvupaikkatyypeittäin tukin sisäosassa (2,3 cm:n sydäntavarasahe) ja pintaosassa (2,3 cm:n pinta- tai sivulautasahe) (Wall ym. 2004).

Kasvupaikkatyyppi	Vuosiluston leveys, mm		Kuiva-tuoretiheys, kg/m^3	
	Sisäosa	Pintaosa	Sisäosa	Pintaosa
Tuore kangas	3,2	2,0	433	493
Kuivahko kangas	2,2	1,4	466	498
Kuiva kangas	2,2	1,8	466	481
Turvemaat	2,0	1,6	470	492



Kuva 1a. Harvennusmänniköiden pikkutukeista saatujen saheiden puuaineen kuiva-tuoretiheyden riippuvuus vuosiluston leveydestä tukin sisäosassa (2,3 cm:n sydäntavarasaheet) kasvupaikkatyypeittäin (Wall ym. 2004).



Kuva 1b. Harvennusmänniköiden pikkutukeista saatujen saheiden puuaineen kuiva-tuoretiheyden riippuvuus vuosiluston leveydestä tukin pintaosassa (2,3 cm:n pinta- tai sivulautasahe) kasvupaikkatyypeittäin (Wall ym. 2004).

on 20-25 prosenttiyksikköä vähemmän selluloosaa mutta 30-40 prosenttiyksikköä enemmän ligniiniä kuin normaalissa puussa (Timell 1986). Täten sellun saanto on alhainen ja laatu heikko useiden paperi- ja kartonkituotteiden kannalta.

Lyly aiheuttaa poikkeuksellisen suuren, jopa 5-7 prosentin syiden suuntaisen kutistumisen (vrt. normaalipuu 0,1 %) ja poikkeuksellisen suuren, 30-40 asteen mikrofibrillikulman (vrt. normaalipuu 24-27 °) vuoksi sahatavaran ja vanerin kieroutumista ja heikentää kovuutensa ja tiiviytensä vuoksi puun työstettävyyttä (Ollinmaa 1959, 1981; ks. esim. myös Saranpää 2002, Kärkkäinen 2003). Lylyn säteen ja etenkin tangentin suuntainen kutistuminen on kuitenkin tavallista pienempi.

Lyly on 20-30 % normaalipuuta tiheämpää (Ollinmaa 1959, Timell 1986). Tuoreena lylyn lujuus jopa ylittää normaalipuun lujuuden, mutta kuivauksen jälkeen lyly on haurasta ja sen vetolujuus ja iskutaivutuslujuus





Kuva 2. Tyvilenkous ja –mutkat sekä kuivaoksaisuus ovat yleisiä piirteitä ojitetuilla turvemailla kasvaneissa puissa (vas.). Seurauksena on mm. sahatavaran ja viilun saannon alenemista, vajaasärmäisyyttä sekä lylypuuta ja sen mukanaan tuomia ongelmia kuivauksessa, työstössä ja käytössä (oik.). Tässä puolukkaturvekankaan ensiharvennusmännikköä ja sen pikkutukeista saatuja saheita. Kuvat: T. Wall.

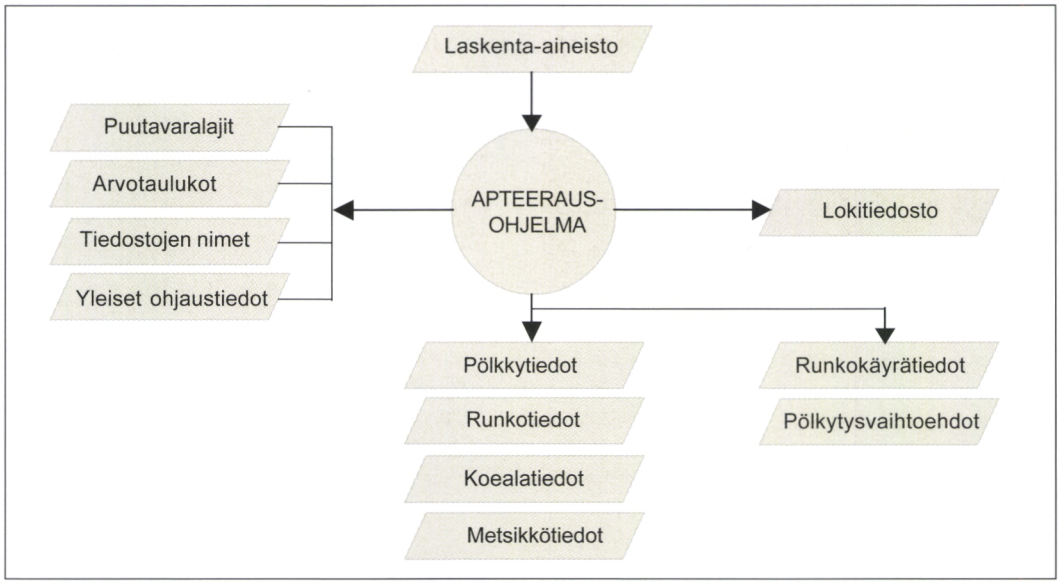
ovat huomattavasti huonommat (Kärkkäinen 2003). Monissa sovelluksissa tärkeisiin taivutus- ja puristuslujuuden arvoihin lyly ei sen sijaan vaikuta paljoa. Lylyn vaikutukset korostuvat pieniläpimittaisessa harvennuspuussa esiintyen usein yhdessä nuorpuun kanssa. Näiden yhteinen tilavuusosuus on tällöin suuri ja esiintyminen rungon sisällä lisäksi epäsäännöllistä ja vaikeasti ennustettavaa.

Runkojen tekninen laatu ja puutavaralajien kertymät

Metsäntutkimuslaitoksen tutkimushankkeessa *"Ojitettujen turvemaiden puutavaran laatu ja arvo tuotelähtöisessä metsäteollisuudessa"* määritettiin Reeta Stödin tutkimuksissa puutuoteteollisuuteen, erityisesti sahaukseen soveltuvan puutavaran kertymät ojitettujen turvemaiden ensiharvennuksissa ja toisissa harvennuksissa, sekä tutkittiin erilaisten puutavaralajien yhdistelmien vaikutusta kertymään. Lisäksi tarkasteltiin puiden teknistä (ulkoista) laatua. Tutkimuksessa käsiteltiin sekä mäntyä että kuusta, ja turvemailla saatuja tuloksia vertailtiin viljavuudeltaan vastaavilta kivennäismailta kerätystä aineistosta saatuihin tuloksiin. Osatuloksia on myös julkaisuissa Stöd ym. 2002, Stöd ym. 2004 ja Stöd ja Wall 2004.

Empiiriset aineistot kerättiin eri puolilta Suomen eteläosia, mukaan lukien Oulun läänin eteläosa ja pois lukien Lounais-Suomi, Pirkanmaa, Uusimaa, Kymenlaakso ja Etelä-Karjala. Vaatimuksina aineistoon hyväksytyille metsikkökuvioille olivat ensiharvennuksen tai toisen harvennuksen selvä metsänhoidollinen tarve seuraavalla viisivuotiskaudella sekä mänty- tai kuusivaltaisuus. Turvemailla kuvioiden tuli olla lannoittamattomia ja paksuturpeisia (turvekerros vähintään 30 cm) muuttumia tai turvekankaita. Seuraavassa kaikista turvemaiden kuvioista käytetään nimitystä turvekangas.

Puustomittaukset tehtiin kertakoealoilta, joiden vähimmäispinta-ala oli turvekankailla 80 m^2. Kivennäismaiden ensiharvennuksissa koealan pinta-ala oli 50 m^2 ja toisissa harvennuksissa 200 m^2. Koepuita olivat kaikki koealojen männyt ja kuuset, joiden rinnankorkeusläpimitta oli vähintään 7 cm. Koepuista mitattiin rinnankorkeusläpimitta yhden millimetrin tarkkuudella. Pituus, latvusraja, alimman kuivan oksan korkeus ja vikojen sijainnit mitattiin käytetyistä mittausvälineistä riippuen 10-50 cm:n tarkkuudella. Viat, joita ei hyväksytty sahapuuksi luokiteltuun rungonosaan, olivat monivääryys, mutkat, lenkous, ranganvaihdot, poikaoksat, laho, korot, ryhmäoksat ja ylipaksut oksat. Paksuimman tuoreen ja kuivan oksan läpimitat arvioitiin silmämääräi-



Kuva 3. Apteeraussimulaattori-ohjelmiston toimintaperiaate.

sesti 5 mm:n tarkkuudella. Ylipaksun oksan läpimittaraja oli 30 mm sekä tuoreilla että kuivilla oksilla. Ryhmäoksan muodostivat alle 15 cm:n välein sijainneet oksakiehkurat. Puuston tilajärjestys otettiin huomioon kirjaamalla ojitetuilla soilla erikseen ojan penkalla, alle viiden metrin etäisyydellä ojasta ja yli viiden metrin etäisyydellä ojasta sijainneet koepuut. Mittaus- ja arviointitietojen perusteella valittiin koealojen puista harvennuksessa poistettavat laatuharvennuksen periaatteella siten, että harvennusvoimakkuus määritettiin Niemistön (1992) harvennusmalleilla.

Harvennuksessa poistettaville rungoille muodostettiin apteerausta varten runkokäyrät Laasasenahon (1982) rinnankorkeusläpimittaan ja pituuteen perustuvilla runkokäyrämalleilla. Apteerauksessa käytettiin Fortran-pohjaista tietokoneohjelmaa, joka ottaa apteerauksessa huomioon rungon dimensioiden lisäksi viat, sahapuuosuuden rajakohdat ja puutavaralajien suhteelliset arvot (Kilpeläinen 2001, kuva 3). Ohjelma sisältää lähtöarvoina arvomatriisit, joissa määritellään puutavaralajit pituus- ja läpimittayhdistelmineen sekä yksikköhintoineen, ja jakaa jokaisen rungon erikseen tavaralajeiksi maksimoiden arvon annettujen lähtöarvojen puitteissa. Käyttäjä voi määritellä vapaasti enintään 30 puutavaralajia sallittuine ominaisuuksineen. Vikaiset rungonosat apteerataan kuitupuuksi tai tyvi- ja välileikoiksi ja latvasta minimiläpimitan alittava rungonosa hukkapuuksi.

Männiköiden aineistossa oli 280 metsikkökuviota Suomen eteläosasta, ml. Oulun läänin eteläosa (taulukot 2a ja 2b). Tulosten laskennassa yhdistettiin ruohoturvekankaiden toisen harvennuksen kuviot mustikkaturvekankaiden vastaaviin kuvioihin ja lehtomaisten kankaiden ensiharvennukset tuoreiden kankaiden ensiharvennuksiin näiden metsikkötyyppien kuvioiden vähyyden vuoksi. Koska metsikkövalinnassa painotettiin pikkutukin hankinnan mahdollisuutta, tutkittavat puustot olivat erityisesti ensiharvennuksissa jossain määrin järeämpiä ja pitempiä ja metsänhoidolliselta tilaltaan hieman parempia kuin keskimääräiset harvennusleimikot.

Taulukko 2a. Männikkökuvioiden ja niiltä tutkittujen mäntykoepuiden lukumäärät turvekankailla ja kivennäismailla viljavuusluokittain ensiharvennuksissa ja toisissa harvennuksissa.

Turvekangas- tai metsätyyppi	Kuvioita, kpl *(Koepuita, kpl)*	
	1. harvennus	2. harvennus
Rhtkg	-	1 *(45)*
Mtkg	18 *(591)*	1 *(44)*
Ptkg	37 *(1324)*	16 *(752)*
Vatkg	5 *193)*	1 *(40)*
Turvekankaat yhteensä	60 *(2108)*	19 *(881)*
OMT	2 *(59)*	-
MT	37 *(1460)*	5 *(246)*
VT	80 *(3163)*	42 *(1933)*
CT	24 *(982)*	11 *(494)*
Kivennäismaat yhteensä	143 *(5664)*	58 *(2673)*
Turvekankaat ja kivennäismaat yhteensä	203 *(7772)*	77 *(3554)*

Taulukko 2b. Männikkökuvioiden keskeisimpien puusto- ja kasvupaikkatunnusten keskiarvot ($\bar{x}$) ja keskihajonnat (s) turvekankailla ja kivennäismailla viljavuusluokittain ensiharvennuksissa ja toisissa harvennuksissa.

Puusto- tai kasvupaikkatunnus	Turvekangastyyppi ja harvennustapa											
	Rhtkg, Mtkg				Ptkg				Vatkg			
	1. harv.		2. harv.		1. harv.		2. harv.		1. harv.		2. harv.	
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
Pohjapinta-ala (m^2/ha)	19,6	6,2	29,0	4,2	21,1	7,2	26,1	4,7	19,5	8,7	30,0	0
Runkoluku (kpl/ha)	1819	469	1784	3,5	1833	591	1307	393	1814	334	1905	0
Tilavuus (m^3/ha)	162,5	50,1	224,9	108,9	149,3	40,5	193,8	47,4	141,5	49,9	251,0	0
Turvekerroksen paksuus (cm)	72,0	37,7	32,5	17,7	69,2	47,2	59,1	26,4	81,7	44,8	100,0	0
Ikä (a)	43	5	70	4,9	52	11	69	9	73	37	104	0
Rinnankorkeus-läpimitta (cm)	12,8	3,5	14,3	4,7	12,5	3,7	15,8	4,4	12,1	3,6	14,9	4,1
Pituus (m)	11,6	2,2	13,1	3,0	11,3	2,4	13,7	2,8	10,9	1,9	13,4	1,6

Puusto- tai kasvupaikkatunnus	Metsätyyppi ja harvennustapa											
	OMT, MT				VT				CT			
	1. harv.		2. harv.		1. harv.		2. harv.		1. harv.		2. harv.	
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
Pohjapinta-ala (m^2/ha)	21,7	7,7	25,6	4,7	21,8	4,5	24,0	4,6	20,8	3,2	22,1	2,2
Runkoluku (kpl/ha)	2018	652	1048	135	1950	467	1054	222	2100	382	1093	374
Tilavuus (m^3/ha)	178,7	35,0	195,1	71,1	174,8	34,4	182,5	44,2	167,7	32,2	160,6	42,4
Ikä (a)	30	9	71	44	41	13	73	13	52	18	78	23
Rinnankorkeus-läpimitta, (cm)	12,9	3,2	17,0	5,1	13,0	3,7	16,6	5,1	12,6	3,4	16,2	4,6
Pituus (m)	11,8	2,4	13,6	3,3	12,1	2,3	14,4	2,9	11,4	2,2	13,2	2,4

Silti mäntykoepuista vain keskimäärin 9 % oli tekniseltä laadultaan virheettömiä; osuus oli suurin varputurvekankailla ja kuivahkoilla kankailla (kuva 4a). Turvekankaiden ja vastaavien kivennäismaiden kasvupaikkojen välillä ei ollut juuri eroja ensiharvennuksissa, mutta toisissa harvennuksissa virheettömiä puita oli turvekankailla vähemmän kuin kivennäismailla (pl. varputurvekankaat vs. kuivat kankaat). Vastoin oletuksia virheettömien koepuiden osuuksissa ei ollut juuri eroja myöskään ensimmäisen ja toisen harvennuksen välillä. Yleisimpiä koepuissa havaittuja vikoja olivat tyvilenkous, ranganvaihdot ja monivääryys (ks. myös kuva 2).

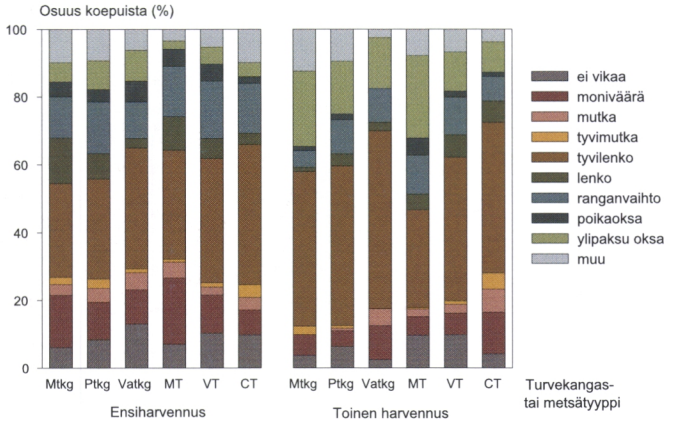
Runkojen vioista merkityksellisimmät liittyvät yleensä oksikkuuteen (kuva 2). Oleellisia oksikkuuslaadun tunnuksia ovat mm. oksikkuusvyöhykkeet rungon pituudesta sekä oksien läpimitta, kulma rungon pituusakseliin nähden ja lukumäärä rungon pituusyksikköä kohti. Oksikkuusrajoista on eniten merkitystä kuivaoksarajalla ja tämän jälkeen latvusrajalla. Hakkilan ym. (1972) mukaan männiköiden kuolleiden oksien alaraja on tämän tutkimuksen metsikkötyyppejä vastaavissa keskimääräisissä läpimittaluokissa Etelä-Suomessa 1,5-2,6 m ja Pohjois-Suomessa 1,0-2,2 m, elävien oksien alaraja vastaavasti 4,5-6,2 m ja 4,1-5,2 m. Rungon paksuimman oksan läpimitta oli 70 %:n korkeudella 22-27 mm sekä etelässä että pohjoisessa.

Jouhiahon ja Uusitalon (2001) Pohjois-Karjalan ensiharvennusmännyn oksaisuuslaatua koskeneessa tutkimuksessa kuivaoksaraja oli kaikilla kasvupaikoilla keskimäärin alle yhden metrin korkeudella. Metsiköiden kuivaoksaraja oli turvemailla keskimäärin 0,4 m korkeammalla kuin kivennäismailla; selitykseksi tulkittiin turvemaiden mäntyjen huomattavasti korkeampi ikä ja siten pitempi karsiutumisaika. Mäntyjen suurimman kuivan oksan läpimitta oli turvemailla hieman pienempi (16 mm) mutta rungon solakkuus huonompi (72 %) kuin muilla kasvupaikoilla, ml. pellonmetsityskohteet (17-21 mm ja 78-91 %).

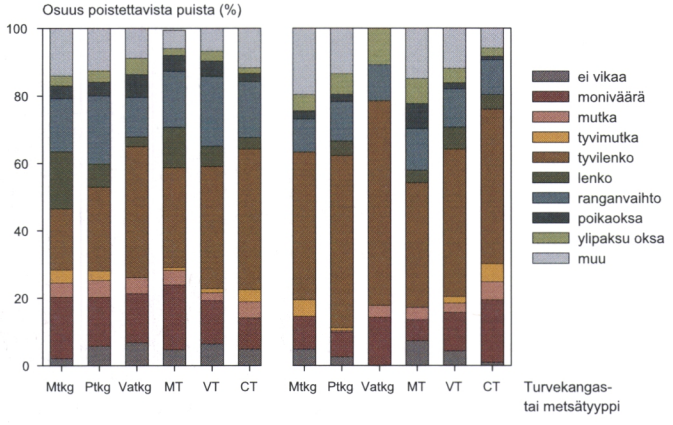
Tässä kuvatussa tutkimuksessa oli turvekankailla tekniseltä laadultaan virheettömiä ojapenkan koepuista 7 % ja alle viiden metrin etäisyydellä ojasta sijainneista koepuista 8 %. Yleisimmät viat olivat ojan lähellä kasvaneissa koepuissa (etäisyys alle 5 m) tyvilenkous, ranganvaihdot ja ylipaksut oksat. Tätä kauempana ojasta esiintyi edellä mainittujen vikojen lisäksi usein monivääryyttä. Saran keskiosan puut eivät olleet laadultaan ojan lähellä kasvaneita puita parempia. Tulos poikkesi Stödin ym. (2003) tutkimuksesta, jossa puiden ulkoinen laatu oli paras saran keskiosissa ja huonoin ojan penkalla. Runkojen laatuerot saran eri osien välillä olivat sinänsä selvät, mutta puun sijainnilla ojaan nähden ei ollut tilastollista merkitsevyyttä.

Poistuman mäntykoepuista oli tekniseltä laadultaan virheettömiä turvekankailla 5 % ja kivennäismailla 4 %, eli noin 5 prosenttiyksikköä vähemmän kuin harventamattomasta puustosta oli (kuva 4b). Poistettavat virheettömät koepuut olivat läpimitaltaan keskimäärin kaksi senttimetriä pienempiä kuin vikaiset poistettavat koepuut, joten ne oli valittu poistettaviksi nimenomaan pienuutensa vuoksi. Poistettavien puiden yleisimmät viat olivat monivääryys, tyvilenkous, ranganvaihdot ja lenkous. Virheettömien puiden osuudet olivat poistumassa suurimmat varputurvekankailla sekä tuoreilla kankailla. Turvekankaiden ja vastaavien kivennäismaiden kasvupaikkojen erot olivat ensiharvennuksissa pienet, ja yleensä hieman turvekankaiden eduksi (pl.mustikkaturvekankaat vs. tuoreet kankaat). Toisissa harvennuksissa virheettömiä puita oli turvekankailla kuitenkin säännöllisesti hieman vähemmän kuin kivennäismailla.

Keskimäärin 60 % kaikista mäntykoepuista täytti ainakin osittain sahapuun laatuvaatimukset (kuva 5). Laadun puutteita enemmän harvennusmäntyjen soveltuvuutta mekaaniseen jalostukseen rajoitti kuitenkin puiden pieni koko, sillä puutavaralajien mittavaatimusten huomioon ottaminen pienensi sahapuun osuutta selvästi. Sahauskelpoisten puiden osuus oli kivennäismailla ja kasvatushakkuissa suurempi kuin turvekankailla ja ensiharvennuksissa. Jäävät puut täyttivät oletusten mukaisesti sahapuun laatu- ja mittavaatimukset poistettavia puita paremmin.



Kuva 4a. Harvennusmänniköiden virheettömien ja vikaisten mäntykoepuiden osuudet harventamattomassa puustossa turvekankailla ja kivennäismailla viljavuusluokittain ensiharvennuksissa ja toisissa harvennuksissa.

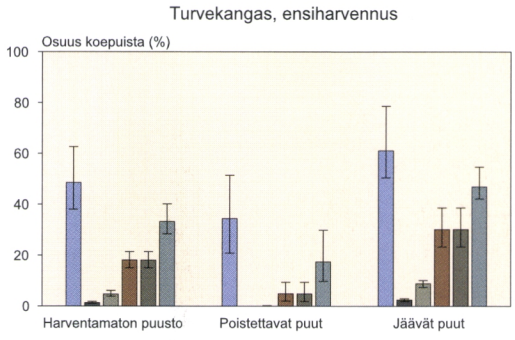


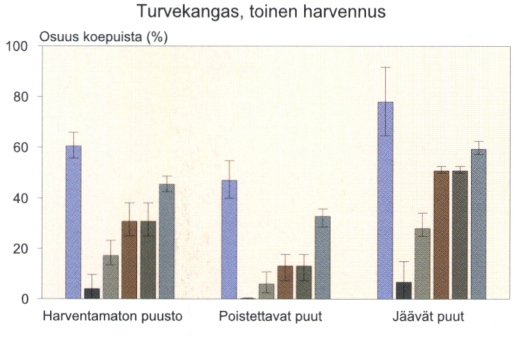
Kuva 4b. Harvennusmänniköiden virheettömien ja vikaisten mäntykoepuiden osuudet harvennuksessa poistettavassa puustossa turvekankailla ja kivennäismailla viljavuusluokittain ensiharvennuksissa ja toisissa harvennuksissa.

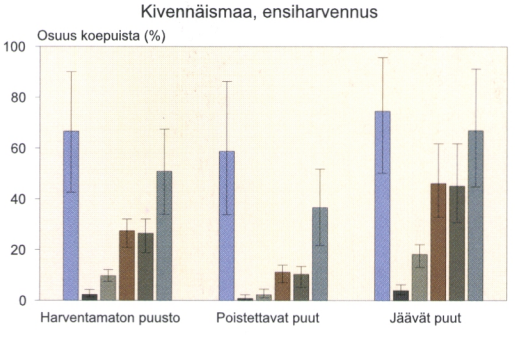
Hakkukertymiä laskettaessa männyt apteerattiin viittä puutavaralajiyhdistelmää käyttäen siten, että sahapuupölkyt olivat määräpituisia kolmen desimetrin välein ja kuitupuupölkyt vapaapituisia (ks. myös taulukko 3):

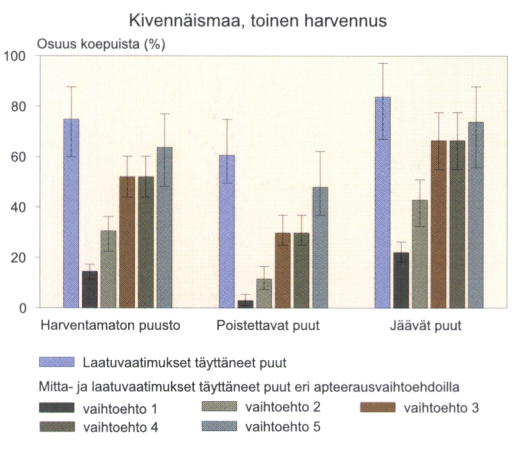
1) Tyvitukki, muu normaalitukki, kuitupuu, hukkapuu.
2) Tyvitukki, muu normaalitukki, pikkutukki, kuitupuu, hukkapuu
3) Tyvitukki, muu normaalitukki, lyhyttukki, kuitupuu, hukkapuu
4) Tyvitukki, muu normaalitukki, pikkutukki, lyhyttukki, kuitupuu, hukkapuu
5) Tyvitukki, muu normaalitukki, pyöreä rakennuspuu, kuitupuu, hukkapuu.

Runkojen apteerauksen simuloinnissa otettiin huomioon kaikki viat, jotka estivät rungon käytön sahapuuna tai pyöreänä rakennuspuuna. Koska tyvitukkia ei useimmissa tapauksissa saatu lainkaan, tyvitukin ja muun normaalitukin kertymät yhdistettiin yhdeksi puutavaralajiksi. Turvekankailla suurimman sahapuun kertymän tuotti vaihtoehto, jossa apteerattiin normaalien puutavaralajien lisäksi pieniläpimittaista pyöreää rakennuspuuta (taulukko 4a). Muissa apteerausvaihtoehdoissa kertymä muodostui lähes kokonaan kuitupuusta. Suurimmat sahapuun kertymät saatiin oletusten vastaisesti varputurvekankailta. Myös kivennäismailla sahapuun kertymä oli suurin vaihtoehdossa, jossa apteerattiin tukin lisäksi rakennuspuuta (taulukko 4b). Suurimmat sahapuun kertymät saatiin niin ikään ole-









Taulukko 3. Männyn puutavaralajien minimilatvaläpimitat sekä minimi- ja maksimipituudet (kolmen desimetrin moduulipituudet).

Puutavaralaji	Minimilatvaläpimitta (mm)	Pituus (dm)
Tyvitukki	180	31–40
Muu normaalitukki	150	37–61
Pikkutukki	120	37–46
Lyhyttukki	100	25–34
Pyöreä rakennuspuu	70	25–61
Kuitupuu	70	25–55

tusten vastaisesti kuivien kankaiden metsiköistä. Normaalitukin osuudet sahapuun kertymästä olivat pienet sekä turvekankailla että kivennäismailla, apteerausvaihtoehdosta riippumatta.

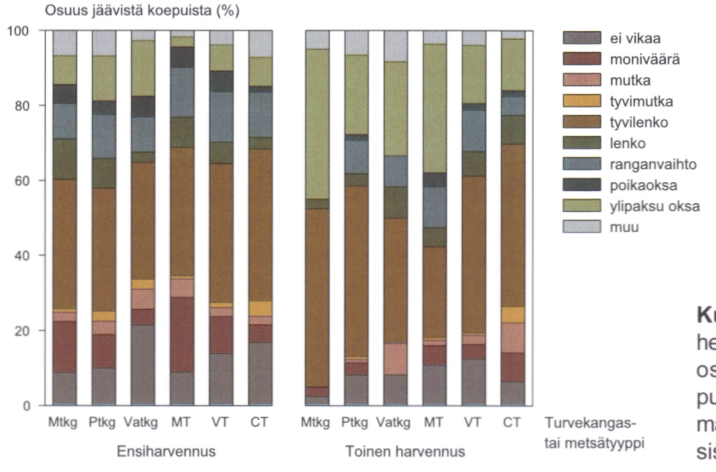
Harvennuksessa jäävistä mäntykoepuista oli tekniseltä laadultaan virheettömiä turvekankailla 10 % ja kivennäismailla 12 %, eli 5 prosenttiyksikköä ja 8 prosenttiyksikköä enemmän kuin poistettavista puista. Virheettömien puiden osuudet olivat suurimmat jäävässä puustossa varputurvekankailla ja kuivilla kankailla (kuva 6). Yleisimmät viat olivat tyvilenkous, ranganvaihdot ja ylipaksut oksat.

Vikaisten puiden osuudet olivat siis jäävässä puustossa pääosin pienemmät kuin harventamattomassa tai poistettavassa puustossa. Silti esimerkiksi ylipaksuja oksia esiintyi jäävissä puissa vertailuryhmiä enemmän. Tämän selittää ylipaksuja oksia sisältäneiden jäävien puiden keskimääräistä suurempi koko. Myös tyvilenkous oli jäävässä puustossa alkuperäistä ja poistettavaa puustoa yleisempää. Valtaosassa tyvilengoista koepuista lenkous oli kuitenkin varsin lievää, joten pois-

Kuva 5. Harvennusmänniköiden sahapuun vähimmäislaatuvaatimukset täyttäneiden sekä laatu- ja mittavaatimukset täyttäneiden mäntykoepuiden keskimääräiset osuudet ja osuuden keskihajonnat harventamattomassa puustossa, poistumassa ja jäävässä puustossa viittä eri apteerausvaihtoehtoa käytettäessä (ks. teksti).

Taulukko 4a. Harvennusmänniköiden mäntypuutavaralajien kertymät turvekankailla viljavuusluokittain ensiharvennuksissa ja toisissa harvennuksissa tutkituissa apteerausvaihtoehdoissa. Tyvitukki on sisällytetty satunnaisen kertymän vuoksi normaalitukkiin.

Apteerausvaihtoehdot ja puutavaralajit	Turvekangastyyppi ja harvennustapa					
	Rhtkg, Mtkg		Ptkg		Vatkg	
	1. harv.	2. harv.	1. harv.	2. harv.	1. harv.	2. harv.
	Kertymä, m^3/ha					
Vaihtoehto 1						
Normaalitukki	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0
Kuitupuu	46,1	52,0	38,1	51,3	54,2	47,6
Hukkapuu	9,4	8,9	9,1	4,5	9,8	5,5
Vaihtoehto 2						
Normaalitukki	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0
Pikkutukki	0,0	1,1	0,1	0,9	0,0	3,5
Kuitupuu	46,1	50,8	38,1	50,3	54,2	44,1
Hukkapuu	10,4	17,4	10,1	11,6	10,3	5,5
Vaihtoehto 3						
Normaalitukki	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0
Lyhyttukki	0,5	3,6	0,5	3,8	4,1	4,1
Kuitupuu	45,6	48,4	37,6	47,5	50,1	43,5
Hukkapuu	9,4	8,9	9,1	4,5	9,8	5,5
Vaihtoehto 4						
Normaalitukki	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0
Pikkutukki	0,0	1,1	0,1	0,9	0,0	3,5
Lyhyttukki	0,5	2,2	0,4	2,8	4,1	4,1
Kuitupuu	45,6	48,6	37,6	47,5	50,1	44,1
Hukkapuu	9,4	8,9	9,1	4,6	9,8	5,5
Vaihtoehto 5						
Normaalitukki	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0
Rakennuspuu	2,1	8,5	2,9	7,2	10,7	9,6
Kuitupuu	43,9	43,3	35,1	44,0	43,3	38,0
Hukkapuu	9,5	9,0	9,2	4,6	10,1	5,6



Kuva 6. Harvennusmänniköiden virheettömien ja vikaisten mäntykoepuiden osuudet harvennuksessa jäävässä puustossa turvekankailla ja kivennäismailla viljavuusluokittain ensiharvennuksissa ja toisissa harvennuksissa.

Taulukko 4b. Harvennusmänniköiden mäntypuutavaralajien kertymät kivennäismailla viljavuusluokittain ensiharvennuksissa ja toisissa harvennuksissa tutkituissa apteerausvaihtoehdoissa. Tyvitukki on sisällytetty satunnaisen kertymän vuoksi normaalitukkiin.

Apteerausvaihtoehdot ja puutavaralajit	Metsätyyppi ja harvennustapa					
	OMT, MT		VT		CT	
	1. harv.	2. harv.	1. harv.	2. harv.	1. harv.	2. harv.
	Kertymä, m^3/ha					
Vaihtoehto 1						
Normaalitukki	0,5	0,5	0,4	1,0	0,2	1,8
Kuitupuu	55,6	51,6	55,8	41,8	65,9	34,4
Hukkapuu	8,9	3,3	9,1	3,1	10,5	3,4
Vaihtoehto 2						
Normaalitukki	0,5	0,5	0,4	1,0	0,2	1,8
Pikkutukki	0,6	2,2	0,9	2,3	1,1	2,3
Kuitupuu	54,9	49,5	54,7	39,3	64,6	31,5
Hukkapuu	9,1	4,2	9,3	4,6	10,7	4,5
Vaihtoehto 3						
Normaalitukki	0,5	0,5	0,4	1,0	0,2	1,8
Lyhyttukki	2,2	7,3	4,4	5,7	5,8	6,0
Kuitupuu	53,4	44,3	51,3	36,0	59,9	28,3
Hukkapuu	9,0	3,3	9,2	3,1	10,8	3,5
Vaihtoehto 4						
Normaalitukki	0,5	0,5	0,4	1,0	0,2	1,8
Pikkutukki	0,6	2,2	0,8	2,3	0,9	1,7
Lyhyttukki	1,6	5,4	3,6	3,3	4,9	4,3
Kuitupuu	53,4	44,0	51,2	36,1	59,8	28,0
Hukkapuu	9,0	3,4	9,2	3,2	10,8	3,7
Vaihtoehto 5						
Normaalitukki	0,5	0,5	0,4	0,8	0,2	1,8
Rakennuspuu	6,8	10,5	11,5	9,5	20,9	10,7
Kuitupuu	48,7	40,9	43,9	32,1	44,3	23,4
Hukkapuu	9,1	3,4	9,4	3,2	11,2	3,7

tettavia puita valittaessa lenkous oli ilmeisesti todettu muita vikoja vähäisemmäksi haittatekijäksi.

Vaikka virheettömien koepuiden keskimääräinen osuus oli jäävien puiden joukossa vain noin 3 prosenttiyksikköä suurempi kuin harventamattomassa puustossa, voidaan simuloitua harvennusta pitää onnistuneena. Puuston laadun varsin vaatimaton parantuminen harvennuksen seurauksena johtunee alkuperäisen puuston huonosta laadusta. Eniten harvennus kasvatti virheettömien koepuiden osuutta toisen harvennuksen varputurvekankailla.

Sahapuun mitta- ja laatuvaatimukset täytti turvemailla parhaimmillaan 44 % ensiharvennuksessa ja 58 % toisessa harvennuksessa jäävistä puista. Kivennäismailla vastaavat osuudet olivat jopa 63 % ja 78 %. Jäävä puusto oli myös selvästi poistettavaa puustoa kookkaampaa. Näin ollen myöhemmistä hakkuista voidaan odottaa turvemaillakin kohtuullista sahapuun kertymää, ainakin silloin kun normaalien puutavaralajien lisäksi hakataan myös pikku- tai lyhyttukkia.

Metsäntutkimuslaitoksen tutkimushankkeessa *"Ensiharvennusten korjuuolot ja niiden parantamismahdollisuudet"* tutkittiin myös turve- ja kivennäismaiden ensiharvennusten puuston teknistä laatua 66 leimikolla Etelä-Pohjanmaalla, Keski-Suomessa ja Häme-

Uusimaalla. Tulokset ovat raportoineet Stöd ym. (2003). Harvennuksessa poistettavat puut valittiin metsässä tehdyn mallileimauksen perusteella. Tulokset olivat myönteisempiä sekä poistuman että jäävän puuston virheettömien runkojen osalta kuin tässä kuvatussa tutkimuksessa. Tämä johtui ilmeisen lievistä laatuvaatimuksista sahauskelpoisiksi luokitelluille puille, mikä osoittaa omalta osaltaan subjektiivisten arviointien suuren vaikutuksen lopputulokseen pystypuiden laatututkimuksissa. Leimikoiden koko mäntypuuston dimensiot olivat sinänsä hieman pienempiä kuin tässä tutkimuksessa: keskiläpimitta oli 12,9 cm ja keskipituus 12,5 m.

Stödin ym. (2003) tutkimuksessa luokiteltiin teknisesti virheettömiksi peräti 53 % harventamattoman puuston mäntykoepuista. Vioista oli tässä kuvatusta tutkimuksesta poiketen yleisin oksaisuus, vasta tämän jälkeen tulivat poikaoksaisuus, mutkaisuus ja näiden yhdistelmät. Vikaisten puiden osuuteen vaikuttivat erityisesti maantieteellinen alue ja puuluokka (latvuskerros). Rungon keskimääräiseen, subjektiivisesti määritettyyn laatuluokkaan vaikuttivat lisäksi syntytapa ja kasvupaikan viljavuustaso. Mallileimauksessa kasvatettaviksi jätetyistä puista 89 % oli tukkipuiksi kasvatuskelpoisia, joista huonon tukkiaihion sisälsi 40 %, normaalin tukkiaihion 32 %, hyvän tukkiaihion 14 % ja erinomaisen tukkiaihion 3 %. Turvemailla tukkiaihiollisten jäävien puiden osuus oli suurin neljän metrin kaistaleella ojien molemmin puolin, jossa myös huonon tukkiaihion sisältäneiden puiden osuus oli suurin. Poistettavistakin puista 80 % sisälsi sahapuun vähimmäislaatuvaatimukset täyttäneen tyvitukkiaihion, joiden laatujakauma oli vain hieman huonompi kuin jäävässä puustossa. Turvemailla poistuman tukkiaihiollisia puita oli eniten saran keskellä, jonne myös ajoura sijoitettiin. Huonon tukkiaihion sisältäneitä puita poistettiin suhteellisesti eniten ojan varresta.

Ajourapuiden osuus kaikista poistettavista puista oli 31 %, ja keskimäärin 42 % niistä olisi jäänyt kasvatettaviksi ilman ajouraa. Ajouran takia menetettävien kasvatuskelpoisten puiden määrä oli keskimäärin 135 kpl/ha, laadultaan parhaissa leimikoissa jopa 250-300 kpl/ha. Virheettömien puiden osuuksiin tai puiden laatuluokkajakaumiin ajoura ei kuitenkaan vaikuttanut.

Ajouran sijoittamisella on erityisen suuri vaikutus jäävän puuston laatuun turvemailla. Ojan penkalle sijoitettavan ajouran vuoksi poistetaan metsikön tekniset huonoimmat mutta kookkaimmat puut, joiden kasvua ojitus on eniten lisännyt. Ajoura voidaan sijoittaa myös kohtisuoraan ojastoa vastaan, jolloin poistetaan tasaisimmin kaikkien koko- ja laatuluokkien puita. Harvennuksiin suunniteltuja pieniä hakkuukoneita käytettäessä varsinaiset ajourat voidaan turvemailla jättää jopa kokonaan tekemättä.

Tämän tutkimuksen kuusiaineiston muodostivat 38 metsikkökuviota, jotka sijaitsivat kolmella turvekangastyypillä ja niitä viljavuudeltaan vastaavilla metsätyypeillä (taulukot 5a ja 5b). Koska ruohoturvekankaiden toisen harvennuksen ainoa metsikkö ei ollut aineistona riittävä kuvaamaan tätä leimikkotyyppiä, yhdistettiin se tulosten laskennassa ruohoturvekankaiden ensiharvennuskuvioihin.

Kuusikoepuista oli teknisesti virheettömiä turvekankailla 18 % ja kivennäismailla 12 %, osuus oli suurin puolukkaturvekankailla ja tuoreilla kankailla (kuva 7a). Turvekankailla oli säännöllisesti enemmän virheettömiä puita kuin vastaavan viljavuustason kivennäismailla. Yleisimpiä vikoja olivat tyvilenkous, moniväärryys ja tyvitukkiosaa ylempien rungon osien lenkous. Lenkojen puiden osuus oli sitä suurempi mitä karumpi oli kasvupaikka. Myös poikaoksaisia puita oli huomattavan paljon. Turvekankailla virheettömien kuusikoepuiden osuus oli suurin, 28 %, alle viiden metrin etäisyydellä ojasta sijainneilla puilla. Penkalla ja yli viiden metrin etäisyydellä ojasta virheettömien koepuiden osuus oli noin 22 %. Puun sijainnista riippumatta yleisimpiä vikoja olivat moniväärryys, tyvilenkous ja lenkous rungon muissa osissa. Oletusten mukaisesti tyvilenkous oli kuitenkin hieman yleisempää penkkapuilla kuin kauempana ojasta kasvaneilla puilla.

Taulukko 5a. Kuusikkokuvioiden ja niiltä tutkittujen kuusikoepuiden lukumäärät turvekankailla ja kivennäismailla viljavuusluokittain ensiharvennuksissa ja toisissa harvennuksissa.

Turvekangas- tai metsätyyppi	1. harvennus	2. harvennus
	Kuvioita, kpl *(Koepuita, kpl)*	
Rhtkg	4 *(123)*	1 *(23)*
Mtkg	6 *(129)*	-
Ptkg	1 *(24)*	-
Turvekankaat yhteensä	11 *(276)*	1 *(23)*
OMT	11 *(416)*	-
MT	13 *(351)*	-
VT	2 *(113)*	-
Kivennäismaat yhteensä	26 *(880)*	-
Turvekankaat ja kivennäismaat yhteensä	37 *(1156)*	1 *(23)*

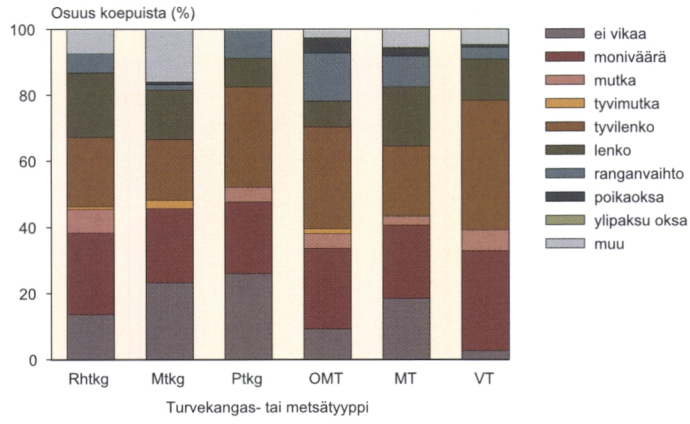
Taulukko 5b. Kuusikkokuvioiden keskeisimpien puusto- ja kasvupaikkatunnusten keskiarvot ($\bar{x}$) ja keskihajonnat (s) turvekankailla ja kivennäismailla viljavuusluokittain ensiharvennuksissa ja toisissa harvennuksissa.

Puusto- tai kasvupaikkatunnus	Turvekangastyyppi ja harvennustapa					
	Rhtkg 1. harv., 2. harv.		Mtkg 1. harv.		Ptkg 1. harv.	
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
Pohjapinta-ala, (m^2/ha)	21,5	3,1	19,2	4,3	15,0	0
Runkoluku (kpl/ha)	2114	653	1871	510	2222	0
Tilavuus (m^3/ha)	215,3	49,6	191,8	30,6	227,4	0
Turvekerroksen paksuus (cm)	127,5	33,0	86,3	48,2	150,0	0
Ikä (a)	48	5	62	17	69	0
Rinnankorkeusläpimitta (cm)	13,7	4,0	12,7	3,7	14,0	3,4
Pituus (m)	13,6	3,3	12,2	3,3	14,3	2,7

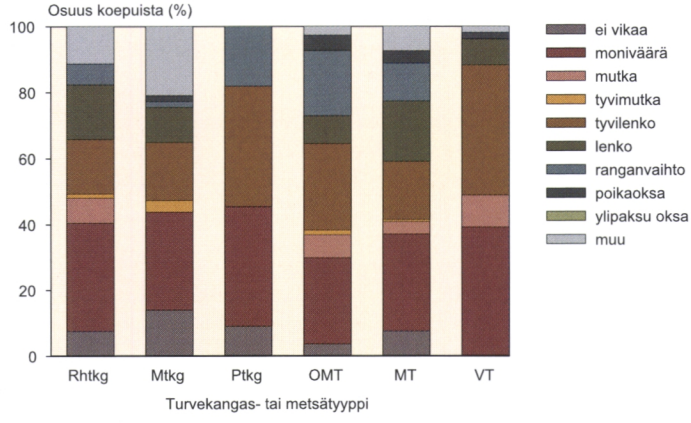
Puusto- tai kasvupaikkatunnus	Metsätyyppi ja harvennustapa					
	OMT 1. harv.		MT 1. harv.		VT 1. harv.	
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
Pohjapinta-ala (m^2/ha)	19,8	3,4	17,0	2,6	16,4	0,1
Runkoluku (kpl/ha)	2304	241	2047	545	1663	195
Tilavuus (m^3/ha)	173,6	13,9	172,0	43,8	169,7	5,3
Ikä (a)	34	8	38	9	41	7
Rinnankorkeusläpimitta (cm)	12,5	2,7	12,4	2,8	11,8	2,5
Pituus (m)	11,7	2,3	11,9	2,4	12,2	2,9

Hakkilan ym. (1972) mukaan kuusikoiden kuolleiden oksien alaraja on tämän tutkimuksen metsikkötyyppejä vastaavissa keskimääräisissä läpimittaluokissa Etelä-Suomessa 0,6-0,9 m ja Pohjois-Suomessa 0,8 m, elävien oksien alaraja vastaavasti 2,2-2,8 m ja 2,0 m. Rungon paksuimman oksan läpimitta oli 70 prosentin korkeudella 16-18 mm sekä etelässä että pohjoisessa.

Harvennuksessa poistettavista kuusikoepuista oli tekniseltä laadultaan virheettömiä turvekankailla 10 % ja kivennäismailla 5 %.



Kuva 7a. Harvennuskuusikoiden virheettömien ja vikaisten kuusikoepuiden osuudet harventamattomassa puustossa turvekankailla ja kivennäismailla viljavuusluokittain.



Kuva 7b. Harvennuskuusikoiden virheettömien ja vikaisten kuusikoepuiden osuudet harvennuksessa poistettavassa puustossa turvekankailla ja kivennäismailla viljavuusluokittain.

Tässäkin tarkastelussa vioista erottuvat yleisimpinä tyvilenkous ja poikaoksat. Laadultaan parhaita olivat keskimäärin mustikkaturvekankaiden ja tuoreiden kankaiden poistuman puut (kuva 7b).

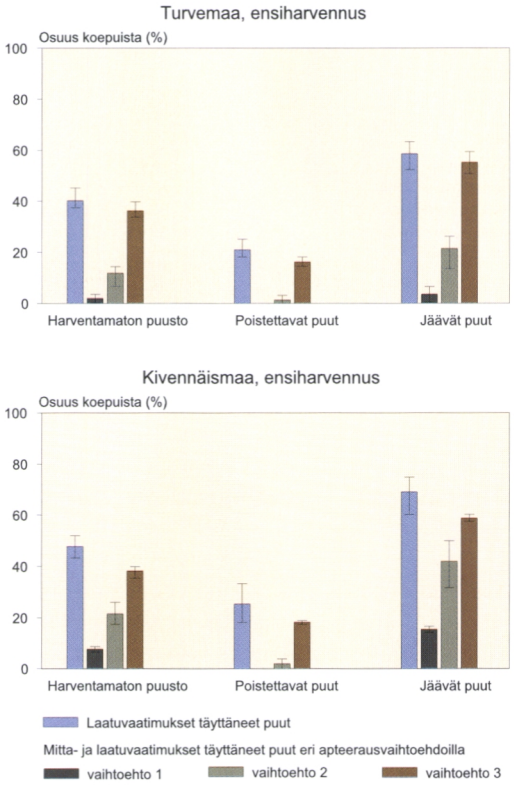
Keskimäärin 40 % kaikista kuusikoepuista sisälsi sahapuulaatuisen rungonosan. Turvemaiden kuusikot täyttivät sahapuun laatuvaatimukset hieman kivennäismaita paremmin (kuva 8). Mittavaatimusten huomioonottaminen pienensi hieman sahauskelpoisten puiden osuutta. Tulosten perusteella poistettavat puut olivat huomattavasti jääviä puita pienempiä ja huonolaatuisempia.

Hakkuukertymiä laskettaessa kuuset apteerattiin kolmea puutavaralajiyhdistelmää käyttäen siten, että sahapuupölkyt olivat määräpituisia kolmen desimetrin välein ja kuitupuupölkyt vapaapituisia (ks. myös taulukko 6):

1) Normaalitukki, kuitupuu, hukkapuu
2) Normaalitukki, pikkutukki, kuitupuu, hukkapuu
3) Normaalitukki, pyöreä rakennuspuu, kuitupuu, hukkapuu.

Taulukko 6. Kuusen puutavaralajien minimilatvaläpimitat sekä minimi- ja maksimipituudet (kolmen desimetrin moduulipituudet).

Puutavaralaji	Latvaläpimitta (mm)	Pituus (dm)
Normaalitukki	160	43–61
Pikkutukki	120	37–46
Rakennuspuu	80	31–46
Kuitupuu	80	25–55



Kuva 8. Harvennuskuusikoiden sahapuun vähimmäislaatuvaatimukset täyttäneiden sekä laatu- ja mittavaatimukset täyttäneiden kuusikoepuiden keskimääräiset osuudet ja osuuden keskihajonnat harventamattomassa puustossa, poistumassa ja jäävässä puustossa kolmea eri apteerausvaihtoehtoa käytettäessä (ks. teksti).

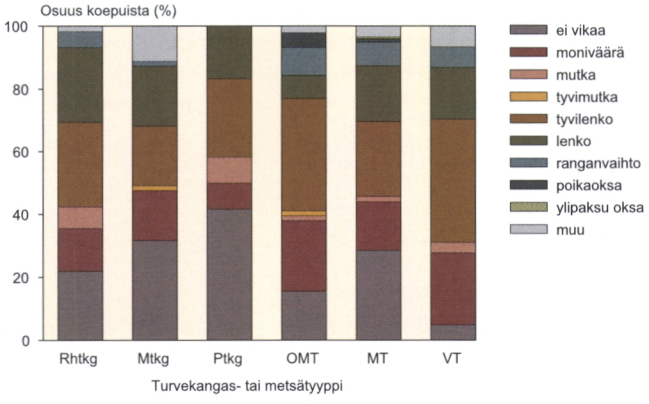
Kahdessa ensimmäisessä apteerausvaihtoehdossa ei saatu sahauskelpoista puuta käytännössä lainkaan (taulukot 7a ja 7b). Puutavaralajien yhdistelmä, jossa oli mukana pyöreä rakennuspuu, tuotti kuusella männyn tavoin eniten sahapuuta. Suurin sahapuun kertymä saatiin ruohoturvekankailta. Vastoin oletuksia sahauskelpoisen puun kertymä – samoin kuin harvennuskertymä kokonaisuudessaan – oli kivennäismailla pienempi kuin turvekankailla. Suurimman sahapuun kertymän tuottivat kivennäismailla tuoreiden kankaiden kuusikot.

Taulukko 7a. Harvennuskuusikoiden kuusipuutavaralajien kertymät turvekankailla viljavuusluokittain tutkituissa apteerausvaihtoehdoissa.

Apteerausvaihtoehdot ja puutavaralajit	Turvekangastyyppi ja harvennustapa		
	Rhtkg 1. ja 2. harv.	Mtkg 1. harv.	Ptkg 1. harv.
	Kertymä, m^3/ha		
Vaihtoehto 1			
Normaalitukki	0,0	0,0	0,0
Kuitupuu	62,0	56,3	97,6
Hukkapuu	13,9	13,2	15,6
Vaihtoehto 2			
Normaalitukki	0,0	0,0	0,0
Pikkutukki	2,3	0,5	0,0
Kuitupuu	59,7	55,8	97,6
Hukkapuu	13,9	13,2	15,6
Vaihtoehto 3			
Normaalitukki	0,0	0,0	0,0
Rakennuspuu	9,3	2,8	5,7
Kuitupuu	53,1	54,2	92,0
Hukkapuu	13,4	12,5	15,6

Taulukko 7b. Harvennuskuusikoiden kuusipuutavaralajien kertymät kivennäismailla viljavuusluokittain tutkituissa apteerausvaihtoehdoissa.

Apteerausvaihtoehdot ja puutavaralajit	Metsätyyppi ja harvennustapa		
	OMT 1. harv.	MT 1. harv.	VT 1. harv.
	Kertymä, m^3/ha		
Vaihtoehto 1			
Normaalitukki	0,0	0,0	0,0
Kuitupuu	54,1	48,1	38,6
Hukkapuu	16,0	13,6	11,6
Vaihtoehto 2			
Normaalitukki	0,0	0,0	0,0
Pikkutukki	0,4	2,3	0,0
Kuitupuu	53,7	45,9	38,6
Hukkapuu	16,0	13,6	11,6
Vaihtoehto 3			
Normaalitukki	0,0	0,0	0,0
Rakennuspuu	5,8	6,2	4,3
Kuitupuu	48,8	42,3	34,6
Hukkapuu	15,6	13,3	11,3



Kuva 9. Harvennuskuusikoiden virheettömien ja vikaisten kuusikoepuiden osuudet harvennuksessa jäävässä puustossa turvekankailla ja kivennäismailla viljavuusluokittain.

Harvennuksessa jäävistä kuusikoepuista oli tekniseltä laadultaan virheettömiä turvekankailla 31 % ja kivennäismailla 16 %, eli 21 prosenttiyksikköä ja 11 prosenttiyksikköä enemmän kuin poistettavista puista. Virheettömien puiden osuudet olivat suurimmat jäävässä puustossa puolukkaturvekankailla ja tuoreilla kankailla (kuva 9). Yleisimpiä vikoja olivat myös jäävässä puustossa tyvilenkous, moniväärys ja lenkous rungon muissa osissa.

Virheettömien koepuiden keskimääräinen osuus oli jäävässä puustossa selvästi, noin 8 prosenttiyksikköä suurempi kuin harventamattomassa puustossa, joten laatuharvennuksen periaatteiden voidaan katsoa toteutuneen hyvin. Laadun kohentuminen harvennuksen vaikutuksesta oli huomattavinta ruoho- ja puolukkaturvekankailla. Turvemailla enimmillään 59 % jäävistä kuusikoepuista täytti sahapuun mitta- ja laatuvaatimukset, kivennäismailla mainittu osuus oli hieman pienempi, noin 55 %. Sahapuukelpoiset jäävät kuuset olivat rinnankorkeusläpimitaltaan huomattavasti vastaavia poistettavia puita suurempia, joten ensiharvennusta mahdollisesti seuraavassa toisessa harvennuksessa voidaan sopivilla kasvupaikoilla ja puutavaralajien yhdistelmillä odottaa sahapuun kattavan noin puolet harvennuskertymästä.

Turvemaiden harvennusmänty sahauksessa

Wall ym. (2004) tutkivat harvennusmännystä saatavan sahatavaran laatua ja sahauksen kannattavuutta 40 leimikon koesahatun kaatokoepuuaineiston perusteella, yhteensä 200 kpl, joista neljännes oli ojitetuilta turvemailta. Saheista määritettiin oksaisuuslaatu kasvupaikkaluokittain. Oksat mitattiin ja laadutettiin pölkyistä sahattujen saheiden pinnoilta noin 23 mm:n välein ytimestä pintaa kohti rungon tyveltä aina 8 cm:n läpimittaan saakka.

Tuoreita oksia oli saheissa keskimäärin 3-7 kpl/m, eniten ytimen läheisyydessä ja noin kahden metrin korkeudella kannolta. Lukumäärä pieneni nopeasti tyveltä latvaa kohti erityisesti pienillä männyillä. Kasvupaikkaluokkien välillä ei ollut systemaattisia eroja lukumäärässä, esim. tyypillisessä sydäntavarasaheessa (44*100) niitä oli turvemailla hieman vähemmän runkojen tyviosissa mutta enemmän viiden metrin korkeudelta ylöspäin verrattuna kivennäismaihin. Suurimman tuoreen oksan läpimitta oli rungon tyviosien saheissa 6-17 mm ja latvaosien saheissa 12-37 mm kasvaen ytimestä pintaa kohti. Kasvupaikan viljavuustason heikentyminen pienensi hieman tuoreiden oksien läpimittaa. Vakioetäisyydellä ytimestä läpimitta oli sitä pienempi mitä paksumpi, ts. hyväkasvuisempi puu oli. Turvemailla tuoreet oksat olivat rungon alaosien saheissa yhtä suuria mutta yläosien

saheissa hieman paksumpia kuin kivennäismailla. Rungon kuorettomassa pinnassa suurimman tuoreen oksan läpimitta oli turvemailla erityisesti rungon keskiosissa suurempi kuin kuivahkoilla tai kuivilla kankailla, mutta neljästä metristä ylöspäin pienempi kuin tuoreilla kankailla. Oksan kokonaispituudesta rungon säteen suunnassa, joka oli korkeusasemasta riippuen keskimäärin 42-56 mm, oli tuoretta osaa sitä enemmän ja kuivaa oksaa sitä vähemmän mitä korkeammalla runkoa tarkasteltiin. Tuoreosa oli turvemailla keskimäärin 3 mm lyhyempi kuin kivennäismailla, ero oli suurin rungon tyviosissa.

Kuivia oksia oli saheissa keskimäärin 2-10 kpl/m. Lukumäärä väheni huomattavasti puun latvaa kohti ja oli lähes poikkeuksetta suurimmillaan 40-60 mm:n etäisyydellä ytimestä. Kuivia oksia oli rungon paksuudesta riippumatta vähiten ytimen läheisyydessä (terveoksaista puuta) ja pintaosissa (osaksi oksista karsiutunutta puuta). Kasvupaikkaluokkien välillä ei ollut systemaattisia eroja lukumäärässä. Suurimman kuivan oksan läpimitta oli rungon tyviosien saheissa 8-15 mm riippuen etäisyydestä ytimeen. Läpimitta kasvoi hyvin lievästi tyveltä latvaan vakioetäisyydellä ytimestä. Kivennäis- ja turvemaiden välillä ei ollut mainittavia eroja. Kasvupaikan viljavuustason heikentyminen pienensi hieman kuivien oksien läpimittaa, rungon latvaosissa enemmän kuin tyviosissa. Rungon kuorettomassa pinnassa suurimman kuivan oksan läpimitta oli turvemailla viiden metrin korkeudelle saakka suurempi kuin tuoreilla tai kuivilla kankailla, mutta tästä ylöspäin pienempi kuin kuivilla kankailla; jostain syystä tämä läpimitta oli turvemailla pienempi kuin kuivahkoilla kankailla. Yhtälösovitteen mukaan kuiva oksa oli rungossa suurimmillaan kuivilla kankailla 8 m:n korkeudella, jossa maksimiläpimitta oli keskimäärin 31 mm. Muilla kasvupaikoilla suurin kuiva oksa oli noin viiden metrin korkeudella, läpimitaltaan turvemailla ja tuoreilla kankailla 31 mm ja kuivilla kankailla 34 mm.

Mustia ja lahoja oksia oli rungon tyviosien saheissa 2-3 kpl/m. Lukumäärä laski hieman rungon latvaosaa ja pintaa kohti; latvaosan pintaosissa esiintyminen oli poikkeuksellista. Turvemailla mustia ja lahoja oksia esiintyi hieman enemmän kuin kivennäismailla, varsinkin metsikön runkoluvun ollessa korkea. Tämän oksatyypin suurimman oksan keskiläpimitta oli vain 8-11 mm korkeusasemasta ja rinnankorkeusläpimitasta riippumatta. Keskiläpimitta oli rungon tyviosissa sitä suurempi mitä heikompi oli kasvupaikka mutta kuitenkin turvemailla pienempi kuin kivennäismailla.

Jouhiahon ja Uusitalon (2001) tutkimuksessa oli ensiharvennusmänniköiden sahatavara huomattavasti vähäoksaisempaa kuin Wallilla ym. (2004); tuoreita oksia oli vain 2,3 kpl/m ja kuivia oksia 1,1 kpl/m. Tuoreita oksia oli ojitetuilla turvemailla hieman enemmän mutta kuivia oksia puolestaan, yhtä metsikköä lukuun ottamatta, vähemmän kuin kivennäismailla ja pellonmetsityskohteilla. Erityisen paljon pieniä, alle 8 mm:n kuivia oksia esiintyi turvemailla, joilla nämä olivat usein mustia oksia. Tuoreita oksia oli päätehakkuiden latvatukeista sahatussa tavarassa selvästi enemmän mutta kuivia oksia vähemmän kuin ensiharvennusten tukeista sahatussa. Sahatavaran suurimman tuoreen ja kuivan oksan läpimittojen keskiarvot olivat ensiharvennuskohteissa 16,4 mm ja 11,4 mm ja päätehakkuukohteissa 19,4 mm ja 7,8 mm. Turvemailla läpimitat olivat tuoreilla oksilla samalla tasolla kuin kivennäismailla mutta pienempiä kuin pellonmetsityksissä, ja kuivilla oksilla samalla tasolla kuin kuivahkoilla kankailla mutta pienempiä kuin pellonmetsityksissä tain tuoreilla kankailla. Huomion arvoista on, että suurimpien kuivien oksien läpimitta vaihteli runkojen välillä turvemailla selvästi enemmän kuin vertailukasvupaikoilla, tuoreiden oksien läpimitan hajonta oli sen sijaan tasaista.

VTT on tutkinut simuloimalla harvennusmännystä saatavan sahatavaran saantoa ja laatuluokkajakaumaa käyttäen aineistona Metsäntutkimuslaitoksen runkoaineistosta arvoapteerauksen periaatteilla optimoiden katkottuja virtuaalisia normaali- ja pikkutukkeja (Wall ym. 2004). Aineiston koko ei kuitenkaan mahdol-

listanut näiden tulosten laskentaa kasvupaikkaluokittain. Tutkimuksen muiden tulosten perusteella voidaan kuitenkin päätellä turvemaiden harvennusmännyn sahauksen määrä-, laatu- ja arvosaantojen olevan jossain määrin alhaisempia kuin kivennäismaiden harvennusmännyn sahauksessa.

Sahattaessa harvennusmännystä vain sydäntavaraa (sydäntavara-asete) oli tukin käyttösuhde 2,88, mutta sahattaessa myös sivu- ja pintalaudat (lauta-asete) käyttösuhde aleni tasolle 2,02. Sahojen nykyisen, pääasiassa päätehakkuista ja osaksi myöhemmistä harvennuksista peräisin olevan tukkisuman sahauksessa normaali käyttösuhde on 2,0-2,4. Sahatavarasta oli erikseen määriteltyä terveoksaista sahatavaraa sydäntavara-asetteilla 21 % ja lauta-asetteilla 13 %. Pohjoismaisen laatulajitteluohjeen (NT-lajittelu) mukaista A-laatua oli vastaavasti 34 % ja 16 %, tämä oli yksinomaan ao. luokan halvinta osaa (A4). Sahat myyvät yleensä laatuluokkia A ja B yhdessä terveoksaisena laatuna, josta on myyjän ja ostajan välisin sopimuksin lajiteltu erilleen osa mustaoksaisesta laadusta. Näin määritellyn terveoksaisen laadun osuus oli sydäntavara-asetteilla 55 % ja lauta-asetteilla 36 %. Vähemmän arvokkaita C- ja D-laatuja saatiin harvennusmäntyä sahattaessa selvästi enemmän kuin päätehakkuumäntyä sahattaessa, sydäntavara-asetteilla silti vain 20 % mutta lauta-asetteilla peräti 57 %. Valinta sydäntavara- ja lauta-asetteiden välillä riippuu käytännössä kunkin sahan tuotanto-, markkinointi- ja sivutuotestrategiasta. Ensimainitun houkuttavuus oli kuitenkin selvää sahatavaran laatujakauman ja keskihinnan kannalta katsottuna (156 €/m^3 vs. 129 €/m^3). Tässä esitettyjen tulosten arvioinnissa on huomattava, että tuotantoprosessien simulointi johtaa yleensä parempiin tuloksiin tuotoksen saannossa, laadussa ja arvossa kuin mitä saadaan puhdasoppisissa empiirisissä kokeissa tai käytännön tuotanto-oloissa.

Jouhiaho ja Uusitalo (2001) koesahasivat todellisia ensiharvennusten pikkutukkieriä, jotka oli katkottu kenttäpyörösahauksen teknisten minimivaatimusten mukaisesti. Sahattujen tukkien käyttösuhde oli 2,83 eli samaa luokkaa kuin Wallin ym. (2004) tutkimuksessa harvennusmäntyä sydäntavara-asetteilla sahattaessa. Tukkilajeittain käyttösuhde oli ensiharvennusten tyvitukeilla 2,88 ja välitukeilla 2,74, kun se oli päätehakkuiden latvatukeilla 2,61. Laatuluokan A osuus sahatavarasta oli leimikkotyypistä riippumatta yllättäen vähintään puolet, mutta se oli Wallin ym. (2004) tutkimuksen tavoin kokonaan alalaatua A4. Laatuluokan A osuus oli ensiharvennuksissa turvemailla 57 %, ja vastaavasti pellonmetsityksissä 61 %, kuivahkoilla kankailla 59 % ja tuoreilla kankailla 50 % (vrt. päätehakkuiden latvatukit, 53 %). Pölkyn järeydellä ja sahausasetteella oli suuri vaikutus sahatavaran laatuun. Ensiharvennuksissa saatiin A-laatua pienimmistä pölkyistä (100-125 mm) selvästi keskimääräistä enemmän eli 66 %, ja kohtuullisen paljon myös järeimmistä pölkyistä (150-169 mm) eli 50 %. Väljemmillä keskitavara-asetteilla olisi laatuluokan A osuutta ilmeisesti voitu vielä kohottaa, joskin käyttösuhteen kustannuksella (ellei pinnasta sahattaisi erikoisohuita pintalautoja).

Sahatavarasta halkaistiin ja höylättiin edelleen liimalevylamelleja, jotka ovat olleet tärkein terveoksaisen mäntysahatavaran käyttökohde. Lamelleista oli 20 % hylkylaatua, eniten niitä oli tuoreilta kankailta ja pellonmetsityksistä saaduista lamelleista (29 % ja 19 %) ja vähiten päätehakkuista ja kuivilta kankailta saaduista lamelleista (6 % ja 11 %). Turvemaiden sahatavarasta saadut lamellit olivat hylkylaatuosuuden (15 %) perusteella jopa keskitasoa parempia. Hylkylaadun syntyminen tuotantoprosessissa johtui eniten sahatavaran vajaasärmäisyydestä, joka onkin tyypillistä pienpuusta saataville saheille, erityisesti jouduttaessa sahaamaan lenkoja ja mutkaisia pölkkyjä.

Harvennuspuun sahausta ja jatkojalostusta on selvitelty varsin paljon myös yritysten ja maakuntaliittojen teettäminä konsulttitöinä. Näitä on kuitenkin raportoitu vain vähän julkisesti, eikä niissä ole otettu erikseen kantaa turvemaiden pienpuun käyttömahdollisuuksiin.

7.3.2 Päätehakkuut

Puuaineen ominaisuudet

Puuaineen suuri laatuvaihtelu yksittäisten runkojen sisällä (ks. luku 7.2.2) ilmenee turvemailla selvimmin vanhoissa, suurirunkoisissa metsiköissä. Verkasalon ja Maltamon (2002) ojitetuissa korpikuusikoissa vuosiluston leveys oli tyvitukeissa 1,83 mm, muissa tukeissa 2,12 mm ja pikkutukeissa 2,10 mm. Tyvitukeissa lustot olivat oletusten mukaisesti selvästi ohuemmat kuin kivennäismaiden kuusikoissa, ero oli keskimäärin 0,44 mm ja 1,22 mm verrattuna luontaisesti syntyneisiin ja istutettuihin kuusikoihin. Puuaineen kuiva-tuoretiheys oli tyvitukeissa 378 kg/m^3, muissa tukeissa 363 kg/m^3 ja latvapikkutukeissa 382 kg/m^3. Tyvitukeissa tiheys oli turvemailla oletusten vastaisesti keskimäärin 5 kg/m^3 alhaisempi kuin kivennäismaiden luontaisesti syntyneissä kuusikoissa mutta kuitenkin 12 kg/m^3 korkeampi kuin istutetuissa kuusikoissa. Turvemailla yksittäisen metsikön runkojen tiheysvaihtelu oli selvästi suurempi kuin koko aineiston kaikkien metsiköiden välinen, vaikka vuosiluston leveydessä lähes kaikki vaihtelu ilmeni metsiköiden välillä. Runkojen tiheysvaihtelun suuruus suhteessa metsiköiden väliseen oli selvintä tyvitukkiosassa pienentyen kohti latvakuitupuuosaa.

Rikalan (2003) turvemaiden päätehakkuumetsiköiden tutkimuksessa vuosiluston leveys oli rämemännyissä keskimäärin 1,58 mm ja korpikuusissa 2,36 mm. Tyypillistä oli luston leveyden hyvin suuri säteensuuntainen vaihtelu. Kannon korkeudella lustot olivat männyllä ennen ojitusta syntyneessä puuaineessa metsiköstä riippuen keskimäärin 0,3-1,2 mm ja ojituksen jälkeen syntyneessä puuaineessa 1,0-2,1 mm, kuusella vastaavasti 0,3-1,5 mm ja 1,5-2,7 mm. Ojituksen aiheuttama kasvureaktio vaihteli huomattavasti metsiköittäin, suurimmillaan vuotuinen sädekasvu oli kuusinkertaistunut (kuusikoissa). Suurin kasvunopeus ajoittui tyypillisesti 5-15 vuotta ojituksen jälkeen. Rungon koko pituudelta otetuissa kiekkonäytteissä keskimääräinen kesäpuuprosentti oli männyllä 20,7 % (9,8-40,3 %) ja kuusella 21,1 % (9,9-38,5 %). Männyllä kesäpuuprosentti aleni latvaa kohti mutta oli kuusella vakio korkeusasemasta riippumatta. Kesäpuuprosentti oli kuusella säännöllisesti pienempi ojituksen jälkeen syntyneessä puuaineessa, joten ojitus oli lisännyt läpimitan kasvua lähinnä kesäpuuta kevyemmän kevätpuun muodostuksen kautta. Männyllä ojituksen vaikutus kevät- ja kesäpuun suhteeseen oli samansuuntainen karuimmilla mutta päinvastainen keskiviljavilla kasvupaikoilla.

Edellä esitettyjen tulosten valossa voidaan päätehakkuuikäisiä rämemäntyjä pitää pohjoismaiseksi havupuuksi hidaskasvuisena, tiiviinä puumateriaalina erilaisiin teollisiin käyttötarkoituksiin, jos rajaksi määritellään 2,5 mm (esim. Pohjoismainen sahatavara 1994). Kuusen kohdalla johtopäätös ei ole yhtä selvä mm. suuren runkojen ja metsiköiden välisen vaihtelun vuoksi.

Merkille pantavaa on, että ainakin korpikuusikoissa ojituksen aiheuttama kasvureaktio näyttää olevan suurempi kuin harvennuksen aiheuttama. Sirénin (1952) ojitetuissa korpikuusikoissa luston leveys oli kannon korkeudella harvennuksen jälkeisessä mukautumisvaiheessa lähes kaksinkertainen ja lihomisvaiheessa nelinkertainen hakkuuta edeltäneeseen 10-vuotiskauteen verrattuna, mutta reaktio heikkeni nopeasti latvaa kohti. Ojituksen aiheuttamaan läpimitan kasvureaktioon on esitetty vaikuttavan ennen kaikkea puun ojitushetkisen biologisen iän ja koon mutta lisäksi etäisyyden ojasta (Heikurainen & Kuusela 1962, Seppälä 1969).

Rikalan (2003) tutkimuksessa puuaineen kuiva-tuoretiheys oli rämemännyissä keskimäärin 419 kg/m^3 ja korpikuusissa 375 kg/m^3. Yksittäisen metsikön runkojen tiheysvaihtelu oli tässäkin tutkimuksessa suurempi kuin metsiköiden välinen, männyllä yli ja kuusella lähes kaksinkertainen. Tiheys oli männyllä rungon alaosissa (alle 70 prosentin suhteellinen korkeus) korkeampi kuin kuusella, rungon yläosissa suhde oli päinvastainen. Keskimääräinen tiheys oli tyvitukeissa män-

nyllä 447 kg/m^3 ja kuusella 374 kg/m^3, välija latvatukeissa vastaavasti 407 kg/m^3 ja 371 kg/m^3 ja kuitupuuosassa 382 kg/m^3 ja 389 kg/m^3. Tiheys kasvoi molemmilla puulajeilla hidastuvalla nopeudella rungon ytimestä pintaan ja tyvestä latvaan. Tiheys oli ennen ojitusta syntyneessä puuaineessa 10-30 % korkeampi kuin ojituksen jälkeen syntyneessä.

Verkasalon ja Maltamon (2002) ojitetuissa korpikuusikoissa sydänpuun osuus kuorettomasta tilavuudesta oli tyvitukeissa 42 %, muissa tukeissa 33 % ja latvapikkutukeissa 14 %. Pintapuuta oli vastaavasti tyvitukeissa noin 3,5 cm, muissa tukeissa vajaa 4 cm ja latvapikkutukeissa noin 4,5 cm. Kasvupaikka ei kuitenkaan vaikuttanut sydänpuun osuuteen tai pintapuun paksuuteen. Rikalan (2003) tutkimuksessa keskimääräinen sydänpuun osuus oli männyissä 28 % ja kuusissa 39 %; metsiköiden välinen vaihtelu oli männyllä 23-34 % ja kuusella 30-49 %. Mäntytukeissa sydänpuuta oli keskimäärin 32 %, osuus aleni tyvitukin 32 prosentista neljännen tukin 22 prosenttiin. Pintapuuta oli vastaavasti 4-5 cm, tyvitukeissa keskimäärin hieman vähemmän kuin latvatukeissa maksimiarvojen esiintyessä 20-30 prosentin suhteellisella korkeudella. Kuusitukeissa sydänpuuta oli keskimäärin 41 %, osuus aleni tyvitukin 52 prosentista viidennen tukin 22 prosenttiin. Pintapuuta oli keskimäärin vajaa 4 cm, tyvitukeissa hieman vähemmän kuin latvatukeissa.

Pohjoismaisilla havupuilla on todettu mm. puun korkean iän, hitaan kasvunopeuden ja varjostetun kasvuaseman ilmentävän korkeaa sydänpuun osuutta. Vaikka turvemaiden päätehakkuuvaiheen mäntyjen ja kuusten biologinen ikä on yleensä korkea, tavallista suurempaa sydänpuuosuutta ei ole voitu osoittaa tähänastisissa tutkimuksissa. Myöskään ei ole selvitetty kiertoajan alkuvaiheen hitaan ja loppuvaiheen nopean kasvun kokonaisvaikutusta sydänpuun muodostukseen.

Verkasalon ja Maltamon (2002) ojitetuissa korpikuusikoissa silmämääräisesti kiekkonäytteistä tehtyyn määritykseen perustunut lylypuun osuus puuaineen tilavuudesta oli tyvitukeissa korkea, noin 11 %, mutta muissa tukeissa selvästi matalampi, alle 5 %. Turvemailla lylypuun osuus oli tyvitukeissa korkeampi mutta rungon ylemmissä osissa matalampi kuin kivennäismailla, varsinkin istutuskuusikoihin verrattuna. Lylypuun määritystapa saattoi kuitenkin johtaa osuuden yliarviointiin. Rikalan (2003) tutkimuksessa lylyä havaittiin noin 18 prosentissa männyn ja 13 prosentissa kuusen kiekkonäytteistä, jotka otettiin tasaisesti rungon eri korkeuksilta. Havainnot keskittyivät männyllä tyvitukin alueelle (80 %). Sama päti osittain kuuseen (noin 50 %), jolla lylypuuta esiintyi kuitenkin varsin paljon myös rungon ylemmissä osissa. Kokonaisuutena lylypuu ei olisi kuitenkaan Rikalan (2003) mukaan vakava laatuongelma turvemaiden hoidetuissa päätehakkuuvaiheen männiköissä tai kuusikoissa, joista mutkaiset ja lengot puut on poistettu jo harvennuksissa.

Päätehakkuumännyn mekaaniset ominaisuudet

Metsäntutkimuslaitoksen tutkimushankkeessa *"Ojitettujen turvemaiden mänty raaka-aineena erikoistuvassa lopputuotelähtöisessä ja perinteisessä massatuotantosahauksessa"* tutkittiin Erkki Verkasalon tutkimuksessa turvemaiden päätehakkuumännyn puuaineen fysikaalisia ja mekaanisia ominaisuuksia, vertaillen tuloksia kivennäismailta aikaisemmissa tutkimuksissa saatuihin tuloksiin. Tutkituista puumateriaaleista mitattiin mekaanisten ominaisuuksien muodostumisen kannalta ratkaiseva puuaineen tiheys, suureena ilmakuivatiheys (kosteussuhde 12 %), sekä rakenteellista jäykkyyttä kuvaava taivutuskimmomoduuli ja rakenteellista lujuutta kuvaava taivutusmurtolujuus käyttäen pieniä virheettömiä puunäytteitä (20*20*340 mm^3). Mittauksia varten näytteiden kosteus vakioitiin em. tasolle varastoimalla niitä ilmastoidussa tilassa, jossa lämpötila oli 20 °C ja ilman suhteellinen kosteus 65 %. Kokeet tehtiin ISO-standardien 3349/1975 ja 3133/1975 mukaisesti.

Turvemaiden aineisto kerättiin vanhoilta ojitusalueilta 25 päätehakkuuvaiheen männiköstä tai muuten selvästi mäntyvaltaisesta

metsiköstä (yli 65 % pohjapinta-alasta), joiden viljavuustaso vaihteli välillä varpuinen (TR) – ruohoinen (RhSR). Metsiköistä oli 10 kpl Etelä-Suomesta (Häme-Uusimaa ja Pirkanmaa, Metsäntutkimuslaitoksen ja Helsingin yliopiston hyvin hoidettuja kestokokeita), 9 kpl Pohjois-Karjalasta (Metsähallituksen talousmetsiä) ja 6 kpl Pohjois-Pohjanmaalta (vähintään tyydyttävästi hoidettuja yksityismetsiä). Joka metsiköstä sahattiin kolmesta tukkipuiden rinnankorkeusläpimittajakauma kattaen otetusta kaatokoepuusta pölkkynäytteet tyvi-, väli- ja latvatukkiosasta, joista tehtiin kokeissa tarvitut koekappaleet sekä ytimen läheisyydestä (sydäntavara) että läheltä pintaa (sivu- tai pintalauta). Vertailukohtana olivat mäntyä koskevat tulokset Etelä- ja Keski-Suomen VT-MT kivennäismailta samalla menetelmällä aiemmin tutkitusta aineistosta (Verkasalo & Leban 2002).

Turvemaiden aineistossa puuaineen ilmakuivatiheys oli keskimäärin 476,5 kg/m^3 (s=59,7), kimmomoduuli 10300 MPa (s=2500) ja murtolujuus 81,7 MPa (s=17,1). Tiheys oli korkea verrattuna aikaisempiin tuloksiin turvemailta (Hakkila 1966, Rikala 2003). Ominaisuuksien keskiarvot alenivat ja niiden vaihtelu pieneni rungon tyveltä latvaan; muutos oli erityisen jyrkkä tyvitukin ja välitukin välillä (taulukko 8).

Taulukoissa 9a ja 9b on esitetty ominaisuuksien keskiarvot osa-alueittain ja sydänsahatavaran ja sivu- ja pintalautojen lähteiden mukaan, erikseen kaikista tukeista ja pelkästään tyvitukeista peräisin olleille näytteille. Kaikki mitatut ominaisuudet olivat sydäntavaran alueella selvästi heikommat kuin sivu- ja pintalautojen alueilla, vaikka periaatteessa voitaisiin olettaa hitaan kasvun ennen ojitusta johtavan päinvastaiseen tulokseen. Rungon säteensuuntaiset erot olivat turvemailla kuitenkin pienemmät kuin kivennäismailla. Täten ytimen ympäristössä esiintyvä nuorpuu vaikuttaa ilmeisesti myös turvemailla puuaineen ominaisuuksia heikentävästi, mutta vähemmän kuin kivennäismailla. Samoin vaikuttaa ilmeisesti lylypuu, jota esiintyi silmämääräisten havaintojen mukaan yleisesti turvemaiden näytteiden aineistoissa. Sydäntavaran alueella tiheys ja murtolujuus olivat turvemailla varsinkin tyvitukeissa selvästi korkeammat kuin kivennäismailla, mutta sivu- ja pintalaudoissa vastaavasti alhaisemmat. Kimmomoduuli oli puolestaan turvemailla alhaisempi riippumatta näytteen säteensuuntaisesta sijainnista.

Kaikki tutkitut ominaisuudet olivat kaikkien näytteiden keskiarvoina turvemailla säännöllisesti heikommat kuin kivennäismailla. Tähän tulokseen vaikutti ratkaisevasti sydäntavaranäytteiden hallitseva asema turvemaiden aineistossa ja sivu- ja pintalautanäytteiden enemmistö kivennäismaiden aineistossa. Tämä on ilmeisesti myös todellinen suhde sahoilla tuotettavissa saheissa tarkasteltaessa suuria tuotantomääriä esim. vuositasolla. Kivennäismailta saatavat mäntytukit ovat yleisesti järeämpiä ja muodoltaan parempia kuin turvemailta saatavat, joten sivu- ja pintalautoja saadaan kivennäismaiden tukeista suhteessa selvästi enemmän kuin turvemaiden tukeista. Toisaalta hyvää lujuutta ja jäykkyyt-

Taulukko 8. Päätehakkuuvaiheen männyn tyvi-, väli- ja latvatukkien puuaineen fysikaalisia ja mekaanisia ominaisuuksia turvemailla. Pienet virheettömät puunäytteet.

Ominaisuus	Tyvitukit		Välitukit		Latvatukit	
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
Ilmakuivatiheys, kg/m^3	519	63	459	45	443	32
Kimmomoduuli, MPa	11412	2693	10064	2293	9183	1825
Murtolujuus, MPa	90,9	19	78,6	14	73,6	11

Taulukko 9a. Päätehakkuuvaiheen männyn fysikaalisia ja mekaanisia ominaisuuksia kaikkien tukkien sydäntavara- ja sivulautaosassa Etelä-Suomen, Pohjois-Karjalan ja Pohjois-Pohjanmaan ojitetuilla turvemailla verrattuna tyypillisiin Etelä- ja Keski-Suomen kivennäismaihin (Verkasalo & Leban 2002). Pienet virheettömät puunäytteet.

Ominaisuus	Turvemaa				Kivennäismaa
	Etelä-Suomi	Pohjois-Karjala	Pohjois-Pohjanmaa	Kaikki	Etelä-Suomi (VT-MT)
Puunäytteet, kpl					
Sydäntavara	181	69	54	304	72
Sivulaudat	11	14	27	52	109
Kaikki	192	83	81	356	181
Ilmakuivatiheys (kosteussuhde 12%), kg/m^3					
Sydäntavara	473,2	485,3	438,7	469,8	445,2
Sivulaudat	509,5	530,3	480,3	499,9	515,0
Kaikki	475,3	492,9	452,5	474,2	488,4
Taivutuskimmomoduuli, MPa					
Sydäntavara	9539	9490	8662	9372	9972
Sivulaudat	12710	11710	11403	11762	13097
Kaikki	9721	9870	9580	9724	11906
Taivutusmurtolujuus, MPa					
Sydäntavara	77,2	80,2	69,7	76,5	71,1
Sivulaudat	94,4	93,4	86,8	90,2	94,4
Kaikki	78,2	82,4	75,4	78,5	85,6

Taulukko 9b. Päätehakkuuvaiheen männyn fysikaalisia ja mekaanisia ominaisuuksia tyvitukkien sydäntavara- ja sivulautaosassa Etelä-Suomen, Pohjois-Karjalan ja Pohjois-Pohjanmaan ojitetuilla turvemailla verrattuna tyypillisiin Etelä- ja Keski-Suomen kivennäismaihin (Verkasalo & Leban 2002). Pienet virheettömät puunäytteet.

Ominaisuus	Turvemaa				Kivennäismaa
	Etelä-Suomi	Pohjois-Karjala	Pohjois-Pohjanmaa	Kaikki	Etelä-Suomi (VT-MT)
Puunäytteet, kpl					
Sydäntavara	57	29	15	98	18
Sivulaudat	11	10	14	35	43
Kaikki	65	39	29	133	61
Ilmakuivatiheys (kosteussuhde 12%), kg/m^3					
Sydäntavara	497,7	526,3	461,5	500,6	466,9
Sivulaudat	548,3	550,6	498,1	528,9	554,5
Kaikki	521,3	532,6	479,2	515,4	530,1
Taivutuskimmomoduuli, MPa					
Sydäntavara	10590	10500	9061	10329	10803
Sivulaudat	13480	12180	11862	12461	14628
Kaikki	11940	10930	10413	11310	13562
Taivutusmurtolujuus, MPa					
Sydäntavara	84,3	89,1	73,4	84,1	77,7
Sivulaudat	103,0	97,3	92,0	97,0	105,1
Kaikki	93,1	91,2	82,3	90,2	97,5

tä edellyttävä rakennesahatavara ja rakentamisessa käytettävät jatkojalosteet valmistetaan pääasiassa rungon sydänosista, joten tässä suhteessa fysikaalisten ja mekaanisten ominaisuuksien erot itse asiassa suosivat turvemaiden mäntyä.

Erityisesti tiheyden keskiarvot olivat osa-alueista korkeimmat Pohjois-Karjalan tyvitukeissa ja sydäntavarassa, joissa rungon osissa myös taivutusmurtolujuus oli täällä korkein. Kimmomoduulin ja sivulautojen murtolujuuden keskiarvot olivat puolestaan korkeimmat Etelä-Suomen aineistossa. Pohjois-Karjalan aineisto oli peräisin selvästi vanhimmasta puustosta, jossa voidaankin odottaa korkeita tiheys- ja lujuusarvoja, mutta jossa toisaalta alkavan biologisen rappeutumisen mukanaan tuomat sisähalkeamat ja muut erityisesti kimmomoduulia heikentävät sisäviat ovat yleisimpiä. Oma osuutensa suhteellisen alhaiseen kimmomoduuliin Pohjois-Karjalassa lienee ollut koepuiden huonolla runkomuodolla, joka viittasi enemmän kimmomoduulia kuin murtolujuutta heikentävän lylypuun runsauteen. Kaikkien tutkittujen ominaisuuksien keskiarvot olivat kiistatta heikoimmat Pohjois-Pohjanmaalla, jossa koepuut olivat selvästi nuorempia ja peräisin keskimäärin viljavammilta suotyypeiltä kuin muilla osa-alueilla.

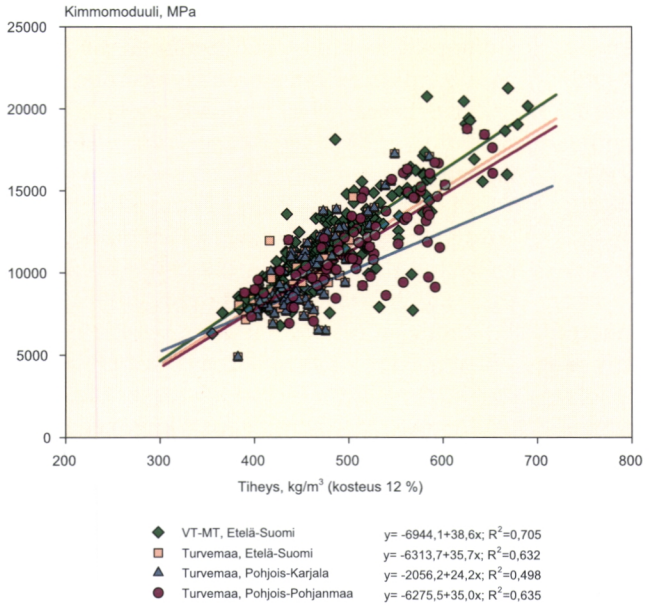
Vakioidulla tiheystasolla puunäytteiden kimmomoduuli oli turvemailla kaikilla osa-alueilla pienempi kuin Etelä- ja Keski-Suomen kivennäismailla (kuva 10a). Ero oli erityisen suuri Pohjois-Karjalan turvemailla ja kasvoi tiheyden kasvaessa. Murtolujuus oli turvemailla sen sijaan samalla tasolla kuin kivennäismailla tiheydestä riippumatta (kuva 10b). Poikkeuksena oli Pohjois-Karjala, jossa arvot olivat tässäkin turvemailla alhaisempia kuin kivennäismailla ja ero kasvoi tiheyden kasvaessa. Merkille pantavaa on kimmomoduulin ja murtolujuuden huomattavan suuri vaihtelu turvemailla vakioidullakin tiheystasolla verrattuna kivennäismaihin. Turve- ja kivennäismaiden välillä oli kimmomoduulissa ja murtolujuudessa eroja tässä tarkastelussa kuitenkin vain sydäntavarassa mutta ei sivulaudoissa (Verkasalo 2003, Verkasalo & Kilpeläinen 2004). Tulokset vahvistavat edellä esitettyjä johtopäätöksiä lylypuun esiintymisen yhteydestä erityisesti puuaineen jäykkyyden ja vähäisemmässä määrin lujuuden alhaisuuteen (ks. myös Ollinmaa 1959, 1960). Lisäksi ne ilmentävät ennen ja jälkeen ojituksen syntyneen puuaineen kasvunopeuden ja kesäpuun osuuden erojen aiheuttamaa vaihtelua fysikaalisissa ja mekaanisissa ominaisuuksissa (ks. myös Sirén 1952, Ollinmaa 1960).

Jalavan (1933) tutkimuksessa rämeillä kasvaneen mäntypuun kimmomoduuli ja murtolujuus näyttivät olevan taivutuskokeissa vakiotiheydessä samalla tasolla kuin kivennäismailla, kangasrämeillä jopa korkeampia. Keskiarvojen erot kasvupaikkojen välillä vaihtelivat eri osa-alueilla tiheyserojen mukaisesti. Jäykkyys- ja lujuusarvot olivat keskimäärin korkeimmat Keski-Suomessa erojen ollessa Etelä-Suomeen verrattuna jopa suuremmat kuin Pohjois-Suomeen verrattuna. Siimeksen ja Liirin (1952) vientisahatavaraerien otoksesta tehdyssä tutkimuksessa mäntypuun taivutuskimmomoduuli ja -murtolujuus ja lisäksi kovuus olivat Pohjois-Suomessa keskimäärin selvästi heikommat kuin Etelä-Suomessa. Erot olivat samansuuntaiset myös vakiotiheydessä, joskin pienemmät. Muiden mekaanisten ominaisuuksien suhteen mänty oli Pohjois-Suomessa keskimäärin yhtä hyvää, vakiotiheydessä jopa parempaa puuta kuin Etelä-Suomessa.

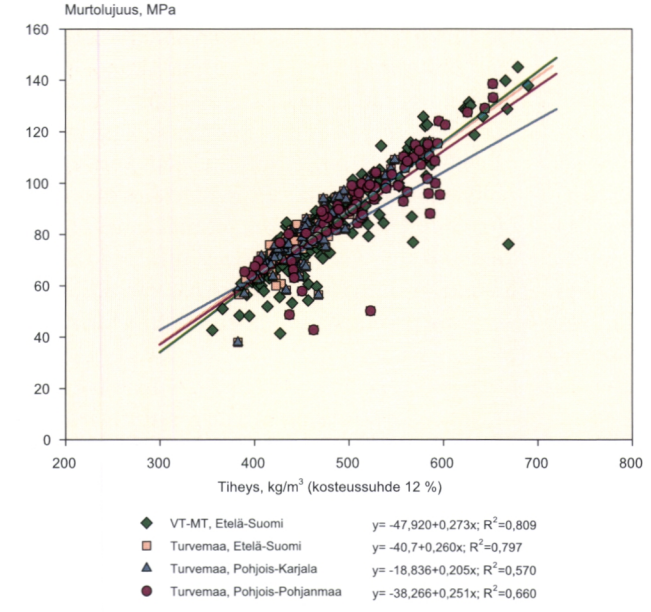
Runkojen tekninen laatu ja puutavaralajien kertymät

Mänty

Metsäntutkimuslaitoksen tutkimushankkeessa *"Ojitettujen turvemaiden mänty raaka-aineena erikoistuvassa lopputuotelähtöisessä ja perinteisessä massatuotantosahauksessa"* tutkittiin myös turvemaiden päätehakkuumännyn runkojen teknistä laatua ja puutavaralajien kertymiä. Yksityiskohtaisia tuloksia on julkaisuissa Verkasalo (2002b, 2003) ja Verkasalo & Kilpeläinen (2004). Tässä esitetään yhteenveto tähänastisista tuloksista.



Kuva 10a. Päätehakkuumännyn puuaineen taivutuskimmomoduuli eri ilmakuivatiheyden (kosteussuhde 12 %) tasoilla Etelä-Suomen, Pohjois-Karjalan ja Pohjois-Pohjanmaan ojitetuilla turvemailla verrattuna Etelä- ja Keski-Suomen kivennäismaihin. Pienet virheettömät puunäytteet.



Kuva 10b. Päätehakkuumännyn puuaineen taivutusmurtolujuus eri ilmakuivatiheyden (kosteussuhde 12 %) tasoilla Etelä-Suomen, Pohjois-Karjalan ja Pohjois-Pohjanmaan ojitetuilla turvemailla verrattuna Etelä- ja Keski-Suomen kivennäismaihin. Pienet virheettömät puunäytteet.

Metsikköaineisto oli sama kuin puuaineen fysikaalisten ja mekaanisten ominaisuuksien tutkimuksissa täydennettynä neljällä metsiköllä Pohjois-Pohjanmaalta, yhteensä siis 29 metsikköä (ks. kuva 13). Joka metsiköstä mitattiin ja arvioitiin suorakaiteen muotoiselta, ojitusalueen saran poikki ojasta ojaan rajatulta koealalta (30 * 40 m^2) pystykoepuina kaikki normaali- tai pikkutukkirungot (rinnankorkeusläpimitta $\geq$14 cm). Pystykoepuista mitattiin rinnankorkeusläpimitta ja pituus, ulkoiset oksarajat ja kaikki tekniset viat, jotka vaikuttavat rungon apteeraukseen eri puutavaralajeiksi. Tätä varten mitattiin sahapuuksi eri vikojen takia kelpaamattomien rungonosien alku- ja loppukorkeudet. Näiden perusteella rungot määriteltiin dimensioiden mahdollistaman puolesta kokonaan sahapuuksi kelvollisiksi, osittain sahapuuksi kelvollisiksi tai kokonaan sahapuina hylättäviksi. Dimensioiden mahdollistamaa sahapuuosaa vähennettiin joko metsään jäävinä tyveyksinä, välileikkoina tai latvatukkiosan vähennyksenä. Alle 90 cm:n tyveykset ja välileikot kirjattiin metsään jääväksi hylkypuuksi, tätä pitemmät samoin kuin kaikki latvavähennykset kirjattiin tehtäväksi kuitupuuksi.

Aineisto käsitti kaikkiaan 1000 männyn pystykoepuuta. Keskimäärin metsiköiden puuston ikä oli 115 vuotta (52-259 vuotta), rinnankorkeusläpimitta 21,7 cm (16,3-28,0 cm), pituus 17,1 m (11,1-25,2 m) ja rungon keskikoko 337 dm^3 (124-673 dm^3). Puustot olivat dimensioiltaan erityisesti ikäänsä nähden pienempiä kuin yleensä VT-MT-kivennäismaiden männiköissä (esim. Riekkinen 2004). Samoin oksaton tyviosa ja terveoksainen latvaosa olivat lyhyempiä mutta kuivaoksainen väliosa oli vastaavasti pitempi, sekä absoluuttisina arvoina että suhteellisina osuuksina rungon pituudesta määritellen. Myös tyvilenkous oli tavallista voimakkaampaa, keskiarvon lähennellessä kaikilla osa-alueilla sahatukkien yleisten mittavaatimusten mukaan suurinta sallittavaa (10 mm/m). Tosin tässä pystypuiden lenkouden mittauksessa käytetty menetelmä johti hieman korkeampiin arvoihin kuin tukkien lenkouden mittauksessa käytettävä. Runkojen tyviosan vikaisuuden seurauksena myös kaikista teknisistä vioista vapaa virheetön tyviosa oli tavallista lyhyempi. Runkojen ominaisuuksien keskiarvot on esitetty koko aineistolle ja osa-alueittain taulukossa 10.

Pystykoepuista voitiin luokitella edellä määritellyllä tavalla teknisesti virheettömiksi 31% (taulukko 11). Yhdeksän prosenttia jouduttiin hylkäämään kokonaan sahapuina erilaisten vikojen vuoksi; tärkein hylkäämisen syy oli monivääryys, tämän jälkeen lenkous ja ns. muut viat, mutta oksikkuus hyvin harvoin. Viat johtivat kuitenkin sahapuuosan vähentämiseen peräti 61 prosentissa koepuista. Latvatukkiosan vähennyksiä aiheutui 39 prosentissa, välileikkoja 24 prosentissa ja tyveyksiä 21 prosentissa koepuista. Yksinkertainen mutka oli selvästi yleisin vähennysten syy, mutta monivääryys ja oksikkuus (liian paksuja oksia, oksaryhmiä) olivat lähes yhtä yleisiä syitä latvatukkivähennykseen. Korot, pintahalkeamat ja lenkous olivat melko yleisiä syitä tyveyksiin, ja pystyoksat ja haarat latvatukkivähennykseen. Rikalan (2003) Etelä-Suomen turvemaiden mäntyä koskeneessa aineistossa latvatukkiosan vähennyksiä oli 35 prosentissa koepuista (mutkat 29 %, suuret oksat 3 %, muut viat 3 %).

Tämän tutkimuksen turvemaiden aineistoissa oli teknisesti virheettömien puiden osuus kuitenkin samalla tasolla kuin yleensä kivennäismaiden päätehakkuuvaiheen männiköissä. Esim. Riekkisen (2004) tutkimuksessa tämä osuus oli eri alueilla Suomessa 29-34 % ja Ruotsissa 9-24 %. Erilaiset runkomuotoviat olivat heidän tutkimuksensa kivennäismailla harvinaisempia mutta oksikkuus ja pintaviat paljon yleisempiä kuin tässä tutkimuksessa turvemailla.

Aineistoa käytettiin myös turvemaiden päätehakkuumänniköiden avohakkuissa saatavien hakkuukertymien ja puutavaralajirakenteen laskentaan käyttäen samaa simulointi- ja laskentamenettelyä kuin harvennusmänniköissä ja -kuusikoissa (luku 7.3.1). Tulokset laskettiin neljällä puutavaralajien yhdistelmällä:

1) Tyvitukki, muu normaalitukki, kuitupuu, hukkapuu
2) Tyvitukki, muu normaalitukki, pikkutukki, kuitupuu, hukkapuu
6) Tyvitukki, muu normaalitukki, lyhyttukki, kuitupuu, hukkapuu
7) Tyvitukki, muu normaalitukki, pikkutukki, lyhyttukki, kuitupuu, hukkapuu.

Puutavaralajit määriteltiin tässä seuraavasti:

1) Tyvitukki: teknisesti virheetön (laatuluokka 1), minimiläpimitta 18 cm, pituus 3,1-4,0 m
2) Muu normaalitukki: minimiläpimitta 15 cm, pituus 3,7-6,1 m
3) Pikkutukki: minimiläpimitta 12 cm, pituus 3,1-4,6 m
4) Lyhyttukki: minimiläpimitta 10 cm, pituus 2,5-3,4 m
5) Kuitupuu: minimiläpimitta 7 cm, pituus 2,5-5,5 m.

Metsiköiden normaalitukin (tyvitukit ja muut normaalitukit) kertymä oli keskimäärin 89 m^3/ha (s=63; vaihteluväli = 9-245) ja osuus kokonaiskertymästä 55% (s=68, vaihteluväli = 15-80) (kuva 11). Lievennettäessä tukin läpimitta- ja pituusvaatimuksia, ts. otettaessa huomioon myös pikku- ja lyhyttukit kasvoi tukkipuutavaralajien kokonaiskertymä tasolle 112 m^3/ha (s=78, vaihteluväli = 29-264) ja osuus kokonaiskertymästä tasolle 69% (s=74, vaihteluväli = 31-87).

Kivennäismaiden päätehakkuumänniköihin verrattuna tukkipuun kertymät olivat yleisesti pieniä, pääasiassa runkojen pienemmän koon vuoksi. Esim. Riekkinen (2004) osoitti tasoksi normaalitukilla kivennäismaiden päätehakkuumänniköissä 177-217 m^3/ha ja 74-80 % Suomen ja Ruotsin osa-alueilla, poikkeuksena Suomen Lappi 77 m^3/ha ja 62 %. Pikku- ja lyhyttukkien huomioon ottaminen lisäsi kertymää kuitenkin paljon vähemmän kuin tässä tutkimuksessa turvemailla, vain 5-10 m^3/ha.

Teknisesti virheettömien tyvitukkien kertymä oli turvemaiden päätehakkuumänniköissä keskimäärin vain 9 m^3/ha, ts. 10 % kaikkien normaalitukkien kertymästä (kuva 11). Tulos oli yhdenmukainen runkojen hyvin lyhyen virheettömän tyviosan pituuden kanssa (taulukko 10). Ahosen ja Mäkelän (1995) mukaan virheettömien tukkien osuus on Etelä-Suomen päätehakkuumänniköissä 17 %.

Merkille pantavaa on, että runkoviat aiheuttavat turvemailla suuren vähennyksen tukkipuun kertymässä ja osuudessa verrattuna dimensioiden puolesta mahdolliseen. Tämä vähennys oli tukkipuun kertymässä 27 m^3/ha ja tukkipuun osuudessa 17 prosenttiyksikköä

Taulukko 10. Ojitettujen turvemaiden päätehakkuuvaiheen männiköiden pystykoepuiden ulkoisten ominaisuuksien keskiarvot ja -hajonnat koko aineistossa ja keskiarvot osa-alueittain.

Keskitunnus	Kaikki metsiköt		Osa-alueet		
			Etelä-Suomi	Pohjois-Karjala	Pohjois-Pohjanmaa
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$
Havainnot: metsiköt kpl/mäntykoepuut kpl	29/1000		10/509	9/283	10/208
Ikä, vuotta	115	39	111	131	106
Rinnankorkeusläpimitta, cm	21,7	3,3	23,4	20,3	21,2
Puun pituus, m	17,1	3,5	19,9	15,5	15,9
Rungon keskitilavuus, dm^3	337	151	426	265	312
Alimman oksakyhmyn korkeus, m	2,3	1,2	3,1	2,0	1,8
Alimman kuivan oksan korkeus, m	2,5	1,4	3,3	2,2	1,8
Alimman elävän oksan korkeus, m	9,8	2,9	12,3	8,0	8,8
Latvusraja, m	10,0	3,0	12,5	8,2	9,1
Latvussuhde	0,43	0,07	0,37	0,48	0,44
Tyvilenkous (alle 4 m), mm	37	9,4	37	39	35
Virheettömän tyviosan pituus, m	1,5	0,8	1,8	1,3	1,2

tehtäessä normaalitukkeja ja vastaavasti 32 m^3/ha ja 20 prosenttiyksikköä tehtäessä myös pikku- ja lyhyttukkeja. Tukkivähennysarvot olivat turvemailla myös korkeampia kuin kivennäismailla (Mehtätalo 2002). Yleisesti, mitä pienemmät rungot ovat kysymyksessä sitä enemmän runkoviat pienentävät suhteellisesti tukkipuun kertymää.

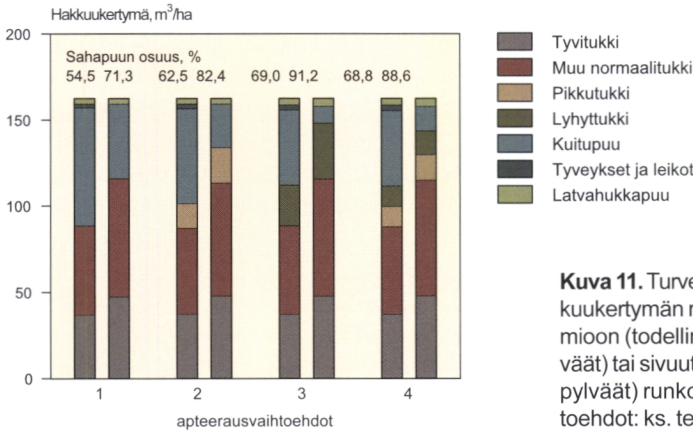
Alueittain tarkastellen turvemaiden päätehakkuumänniköiden tukkipuun kertymä oli normaalitukkeja tehtäessä Etelä-Suomessa yli 50 m^3/ha korkeampi kuin Pohjois-Karjalassa ja Pohjois-Pohjanmaalla; ero oli hieman pienempi tehtäessä myös pikku- ja lyhyttukkeja (kuva 12). Tulokset olivat yhdenmukaisia runkojen kokoerojen ja osaksi laatuerojen kanssa, samalla ilmentäen sekä parempaa metsänhoidollista tilaa että viljavampia maapohjia Etelä-Suomen aineistossa. Tukkipuun osuudessa kokonaiskertymästä alueelliset erot olivat kuitenkin paljon pienempiä; tehtäessä normaalitukkien ohessa pikku- ja lyhyttukkeja osuus oli Pohjois-Pohjanmaalla jopa suurempi ja Pohjois-Karjalassa samalla tasolla kuin Etelä-Suomessa. Tälläkin perusteella tukkien minimiläpimitan ja pituuden lieventämisestä on eniten hyötyä männiköissä, joissa rungot ovat suhteellisen pieniä mutta kohtuullisen laadukkaita.

Rikalan (2003) tutkimuksessa tarkasteltiin ojitettujen turvemaiden päätehakkuumäntyjen tukkipuuosuuksia runkotasolla lähtien normaalitukin saannosta. Tässä dimensioiden mahdollistama tukkipuun osuus rungon tilavuudesta kasvoi tasolta 45 % hidastuvalla nopeudella tasolle 95 %, kun rinnankorkeusläpimitta kasvoi 17 cm:stä 37 cm:iin; tukkipuiden pääasiallisissa läpimittaluokissa 20-30 cm tukkipuun osuus oli 80-90 %. Normaalitukin laatuvaatimukset pienensivät tässäkin tukkipuun osuutta olennaisesti ja lisäsivät hyvin paljon osuuden hajontaa rinnankorkeusläpimittaluokan sisällä. Heikoimmassa laaturyhmässä tukkipuun osuus oli runkotasolla 30-40 % ja parhaassa laaturyhmässä 80-95 %.

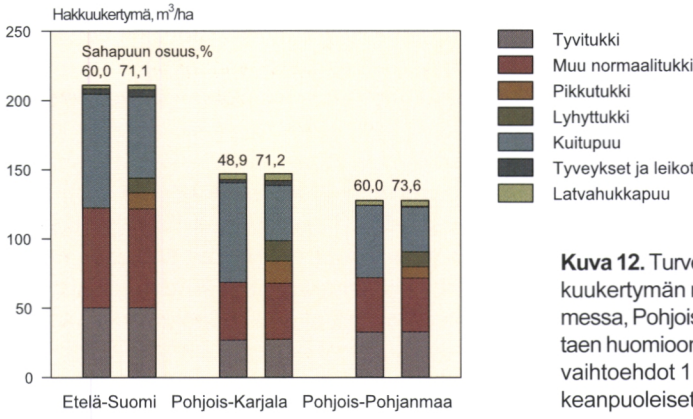
Tässä tutkimuksessa ei tukkeja laatuluokiteltu virheettömiä tyvitukkeja ja muita tukkeja tarkemmin. Rikalan (2003) aineistossa ojitettujen turvemaiden männyn normaalitukkien kokonaistilavuus jakautui seuraavasti eri luokkiin: A eli virheettömät tyvitukit 34 %, B eli terveoksaiset latvatukit 1 %, C1 eli muut kuin virheettömät tyvitukit 12 %, C2 eli kuivaoksaiset väli- ja latvatukit 53 %. Turvemaan viljavuus ei vaikuttanut A-laadun osuuteen. C1-luokan osuus oli varputurvekankailla selvästi suurempi ja C2-luokan osuus pie-

Taulukko 11. Ojitettujen turvemaiden päätehakkuuvaiheen männiköiden pystykoepuiden sahapuun osuuden vähentämiseen tai sahapuuna hylkäämiseen johtaneiden vikojen osuudet vikatyypeittäin tyvitukkien (4 m), välitukkien tai latvatukkien osalta.

Vikatyyppi	Vähennykset sahapuuosassa %				Hylkääminen sahapuuna %	Yhteensä %
	Tyveys	Välileikot	Latva	Kaikki		
Tyvilaho	0,6	0,0	0,0	0,6	0,1	0,7
Koro tai pintahalkeama	3,6	2,0	0,1	5,6	0,3	5,9
Lenkous	2,4	0,0	0,4	2,8	2,5	5,3
Mutka	10,6	14,5	11,1	29,7	1,2	30,9
Moniväärryys	3,0	3,7	9,7	14,8	6,7	21,5
Poikaoksa/haara	0,2	2,9	4,1	7,1	0,3	7,4
Oksaisuus	0,0	1,6	9,5	11,0	0,9	11,9
Tervasroso	0,0	0,5	0,2	0,7	0,0	0,7
Muu vika	0,3	0,0	0,2	0,5	0,0	0,5
Vikaiset	20,5	24,1	39,3	61,4	8,5	69,2
Virheettömät	79,5	75,9	60,7	38,6	91,5	30,8



Kuva 11. Turvemaiden päätehakkuumänniköiden hakkuukertymän rakenne puutavaralajeittain ottaen huomioon (todellinen kertymä, vasemmanpuoleiset pylväät) tai sivuuttaen (maksimikertymä, oikeapuoleiset pylväät) runkoviat apteerauksessa. Apteerausvaihtoehdot: ks. teksti.



Kuva 12. Turvemaiden päätehakkuumänniköiden hakkuukertymän rakenne puutavaralajeittain Etelä-Suomessa, Pohjois-Karjalassa ja Pohjois-Pohjanmaalla ottaen huomioon runkoviat apteerauksessa. Apteerausvaihtoehdot 1 (vasemmanpuoleiset pylväät) ja 4 (oikeanpuoleiset pylväät).





Kuva 13. Esimerkit karun ja viljavan suotyypin päätehakkuuvaiheen männiköistä vanhoilla ojitusalueilla Muhoksella. Vas.: varputurvekangas (alkup. kangasräme), männyn osuus pohjapinta-alasta 89 %, mäntyjen ikä 110 vuotta, $d_{1,3}$ = 19,3 cm ja h = 13,5 m. Oik: ruohoturvekangas (alkup. ruohoinen sarakorpi), mänty-hieskoivu sekametsikkö, jossa männyn osuus pohjapinta-alasta 54 %; mäntyjen ikä 101 vuotta, $d_{1,3}$ = 28,0 cm ja h = 21,8 m. Kuvat: E. Verkasalo.

nempi kuin puolukkaturvekankailla. Tämä johtui todellisten laatuerojen lisäksi tukkipuiden kokoerojen aiheuttamasta tyvi- ja muiden tukkien erilaisesta suhteesta. Verrattuna esim. Ahosen ja Mäkelän (1995) tuloksiin ja käytännön puunhankkijoiden pitkän aikavälin kokemuksiin oli laatuluokan A osuus poikkeuksellisen korkea suhteessa luokkaan C1, johtuen ilmeisesti aineiston rakenteesta. Luokan B alhainen ja luokan C2 korkea osuus olivat oletusten mukaisia tuloksia. Rikalan (2003) mäntytukkien luokittelussa kiinnitettiin huomio ilmeisesti lähinnä oksikkuuslaatuun, koska tukkimittarimittauksessa niistä vain 53 % täytti sahauksen tavalliset suoruusvaatimukset (lenkous alle yksi senttimetri alle 20 cm:n ja alle 2 cm vähintään 20 cm:n tukeilla).

Kuusi

Metsäntutkimuslaitoksen tutkimushankkeessa "*Kuusen laatu- ja arvosuhteet erikoistuvassa lopputuotelähtöisessä ja perinteisessä massatuotantosahauksessa*" (1994-2000) tutkittiin yhtenä asiana turvemaiden päätehakkuukuusen runkojen teknistä laatua ja arvoa suhteessa kivennäismaiden luontaisesti syntyneisiin ja istutettuihin kuusikoihin. Yksityiskohtaisia tuloksia on julkaisuissa Maltamo & Verkasalo (2002), Verkasalo ym. (2002) ja Malinen ym. (2005). Tässä esitetään valittuja otteita tähänastisista tuloksista.

Aineisto käsitti yhteensä 240 kuusen kaatokoepuuta 48 kuusivaltaisesta metsiköstä, joista oli kolmannes kutakin edellä mainittua maapohjan ja syntytavan yhdistelmää. Alueellisesti aineisto oli peräisin neljältä alueelta maan eteläosasta, joilla kasvuedellytykset ovat erilaisia lämpösumman, ilmaston mereisyyden/mantereisuuden ja maanpinnan korkeuden mukaan: 1) Etelä-Suomi, sisämaa, 2) Etelä-Suomi, rannikko, 3) Suomenselkä, 4) Savo. Aineisto koostui tavanomaisen säännöllisen metsänhoidon periaatteilla käsitellyistä metsiköistä Metsäntutkimuslaitoksen, Metsähallituksen, yhtiöiden ja yksityismetsänomistajien mailta (ks. kuva 15).

Korpimetsien kuusitukkitukkipuilla havaittiin ja voitiin tulosten pohjalta päätellä seuraavia keskimääräisiä eroja runkojen ja tukkien ominaisuuksissa verrattuna kivennäismaiden luontaisesti syntyneisiin ja istutettuihin puihin (ks. myös taulukko 12):

Plussia
- Pienemmät elävät oksat
- Poikaoksia tyvitukissa vähemmän ja pienempiä, muussa tukkiosassa kuitenkin selvästi enemmän ja suurempia
- Kohtuullisen hyvä solakkuus sekä vähäinen kapeneminen ja kartiokkuus
- Tyvilahoa varsin harvoin

Miinuksia
- Ikään nähden pienempi kokonaisjäreys ja varsinkin pienempi tukkipuun tilavuus – kuitenkin täysin riittävä sahaukseen ja sorvaukseen
- Enemmän oksakyhmyjä ja kuolleita oksia, vähemmän terveitä oksia
- Hieman suuremmat kuolleet oksat
- Tyvekkäämpää ja ilmeisesti myös tyvimutkaisempaa (pehmeä kasvualusta)

Samassa läpimitassa korpikuuset olivat lyhyempiä kuin kivennäismaakuuset, mutta solakkuudessa oli vain suuntaa antava ero ja kapenemisessa ei lainkaan. Rungon kokonaistilavuuteen ja sydän- ja pintapuun määriin ja osuuksiin maapohja ei vaikuttanut, mutta tyvitukin ja muun tukkiosan tilavuudet olivat turvemaiden kuusilla suuntaa antavasti pienemmät kuin kivennäismaakuusilla. Kaikkien tukkien keskikoko oli tässä tutkimuksessa ojitetuissa korvissa jopa Rikalan (2003) Etelä-Suomen viljavien korpimaiden hyvälaatuisia kuusikoita suurempi (249 dm^3), mutta tyvitukeilla kuitenkin pienempi (319 dm^3, yli 18 cm:n tukeilla 280 dm^3). Ero johtui osittain siitä, että Rikalan (2003) aineistossa tukin keskikokoa rajoittivat latvavähennykset, joita oli 25 prosentissa koepuista (mutkat 20 %, liian suuret oksat 2 %, muut viat 3 %); tässä aineistossa latvavähennyksiä ei ollut juuri lainkaan. Kokonaisuutena sekä tämän tutkimuksen että Rikalan (2003) tutkimuksen tukit olivat ojitetuissa korvissa pienempiä kuin hänen vertailutietonaan mainitsemalla eräällä eteläsuomalaisella suursahalla, päälinjalla (yli 18 cm:n tukit)

Taulukko 12. Tukkipuukokoisen kuusen keskimääräisiä ominaisuuksia sahapuuna käytön kannalta Suomen eteläosan ojitetuissa korpikuusikoissa ja kivennäismaiden luontaisesti syntyneissä ja istutuskuusikoissa.

	Ojitettu korpi, luontainen	MT-OMT, luontainen	MT-OMT, istutettu
Ikä, vuotta	115	94	64
$D_{1,3}$, cm	26,1	28,0	26,2
Pituus, m	22,0	23,2	23,4
Solakkuus	0,87	0,86	0,91
Puun kapeneminen, cm	3,3	3,4	3,3
Tilavuus, dm^3			
Koko runko	627	742	668
Tyvitukki (5 m)	272	317	277
Muu tukki	275	348	311
Kuitupuu	76	72	76
Ulkoiset oksarajat, m			
Alin oksakyhmy	2,4	2,2	2,1
Alin kuollut oksa	11,5	14,0	5,3
Latvusraja	8,3	7,3	9,0
Ylin kuollut oksa	14,8	16,0	14,9
Tukkiosan oksat, kpl/m			
Tyvitukin kyhmyt	5,4	5,1	2,4
Tyvitukin kuolleet oksat	10,5	10,0	11,0
Tyvitukin elävät oksat	0,1	0,3	0,2
Tyvitukin pystyoksat	0	0	0,003
Muun tukin kyhmyt	0,3	0,2	0,1
Muun tukin kuolleet oksat	8,8	5,9	6,1
Muun tukin elävät oksat	3,5	4,6	3,0
Muun tukin pystyoksat	0,01	0,01	0,02
Tukkiosan paksuin oksa, mm			
Tyvitukin kuollut oksa	19	19	19
Muun tukin kuollut oksa	26	25	24
Muun tukin elävä oksa	32	34	30

316 dm^3 ja pikkutukkilinjalla (10-21 cm:n tukkeja) 136 dm^3.

Ulkoisissa oksarajoissa korpikuusten ja luontaisesti syntyneiden kivennäismaakuusten välillä ei ollut eroja, mutta istutuskuusissa kuivaoksaraja oli alempana, latvusraja korkeammalla ja tyvitukkiosassa oli lisäksi vähemmän oksakyhmyjä. Korpikuusissa oli muussa tukkiosassa ja kuitupuuosassa selvästi enemmän kuivia oksia kuin kivennäismaakuusissa, mutta eläviä oksia enemmän kuin istutetuissa ja silti vähemmän kuin luontaisesti syntyneissä kivennäismaakuusissa. Maapohja ei vaikuttanut missään rungon osassa suurimman kuolleen oksan paksuuteen, muussa tukkiosassa suurin elävä oksa oli luontaisesti syntyneissä kivennäismaakuusissa paksumpi. Rikalan (2003) tutkimuksessa korpikuusten oksikkuus oli parempaa luokkaa kuin tässä tutkimuksessa, oksarajat muutaman desimetrin ylempänä mutta oksalajeittaiset suurimman oksan läpimitat tyvitukissa 3-5 mm ja ylemmässä tukkiosassa peräti 5-8 mm pienemmät.

Korpikuusikoiden on käytännön metsätalouden piirissä arvioitu olevan varsin vapaita tyvilahosta, myös niillä alueilla Etelä-Suomessa, jossa sitä esiintyy yleisesti kivennäismailla, vaikka korpikuusikoiden puustot ovat tyypillisesti vanhoja. Syyksi on arveltu turvemaiden maapohjan happamuutta, joka olisi haitallista lahottajasienten kasvulle puiden juuristoissa. Tässä kuten myös Rikalan (2003) tutkimuksessa sinänsä pienten otantojen pohjalta

Taulukko 13. Ojitettujen korpien päätehakkuukuusten hakkuukertymän puutavaralajirakenne verrattuna kivennäismaiden luontaisesti syntyneisiin ja istutettuihin kuusiin kahdessa apteerausvaihtoehdossa.

Apteeraus 1: normaalisahatukit (minimiläpimitta 16 cm, pituus 4,3-5,8 m), pikkutukit (minimiläpimitta 12 cm, pituus 4,3 m), kuitupuu (minimiläpimitta 7 cm, minimipituus 3 m)

Puutavaralaji	Ojitettu korpi, luontainen	MT-OMT, luontainen	MT-OMT, istutettu
Normaalisahatukit, %	87,5	89,3	88,2
Pikkutukit, %	2,1	1,2	0,9
Kuitupuu, %	10,4	9,8	10,9
Yhteensä, m^3	47,5	70,5	43,3

Apteeraus 2: vaneritukit (minimiläpimitta 20 cm, pituus 5,2 m), normaalisahatukit (minimiläpimitta 16 cm, pituus 4,3-5,8 m), pikkutukit (minimiläpimitta 12 cm, pituus 4,3 m), kuitupuu (minimiläpimitta 7 cm, minimipituus 3 m)

Puutavaralaji	Ojitettu korpi, luontainen	MT-OMT, luontainen	MT-OMT, istutettu
Vaneritukit, %	37,0	37,1	36,1
Normaalisahatukit, %	30,1	32,4	30,6
Pikkutukit, %	22,5	19,0	22,4
Kuitupuu, %	10,4	11,5	10,9
Yhteensä, m^3	47,3	70,5	43,3

tehdyt havainnot tukevat vallitsevaa käsitystä. Vahvempi vakuus on saatu Mattilan ja Nuutisen (2004) 9. Valtakunnan metsien inventoinnin aineiston perusteella tekemästä tutkimuksesta, jossa lahoisuus oli turvemaiden kuusikoissa selvästi vähäisempää kuin kivennäismaiden kuusikoissa, sekä kokonaisuutena että samassa ikäluokassa. Lahoisia runkoja sisältävien kuusikoiden osuus kasvaa ikäluokan mukana sekä kivennäis- että turvemailla, mutta ero pysyy samana, ainakin 150 vuoden ikäluokkaan saakka. Laho oli erityisen harvinaista kuuselle karuilla puolukkaturvekankailla, mutta esiintyminen yleistyi ja ero turve- ja kivennäismaiden välillä pieneni viljavuustason kohotessa.

Tässä tutkimuksessa saatiin selvästi pienemmät erot kuusirunkojen puutavaralajirakenteessa kuusileimikkotyyppien ja myös apteeraustapojen välille kuin voidaan olettaa, koska aineistosta jätettiin pois runkomuodoltaan huonot tai muuten vikaiset ja lahoiset rungot (taulukko 13). Normaali-, pikku- ja vaneritukkien osuus kertymästä oli kaikissa apteeraustavoissa korkea, lähes 90 %. Ojitetuissa korvissa normaalitukkien osuus oli kuitenkin jonkin verran pienempi ja pikkutukkien ja kuitupuun osuudet olivat vastaavasti suuremmat kuin kivennäismailla. Tehtäessä vaneritukkia sen osuus kertymästä oli ojitetuissa korvissa samalla tasolla kuin kivennäismailla.

Rikalan (2003) tutkimuksessa tarkasteltiin ojitettujen turvemaiden päätehakkuukuusten tukkipuuosuuksia runkotasolla lähtien normaalitukin saannosta. Tässä dimensioiden mahdollistama tukkipuun osuus rungon tilavuudesta kasvoi tasolta 55 % hidastuvalla nopeudella tasolle 95 %, kun rinnankorkeusläpimitta kasvoi 19 cm:stä 43 cm:iin. Normaalitukin laatuvaatimukset pienensivät tässäkin tukkipuun osuutta olennaisesti ja lisäsivät samalla osuuden hajontaa rinnankorkeusläpimittaluokan sisällä. Vaikutus tukkipuun osuuden tasoon ja hajontaan oli kuitenkin olennaisesti pienempi kuin männyllä. Heikoimmassa laaturyhmässä tukkipuun osuus oli runkotasolla 45-60 % ja parhaassa laaturyhmässä 80-95 %.

Tässä tutkimuksessa ei tukkeja laatuluokiteltu tyvitukkeja ja muita tukkeja tarkemmin. Rikalan (2003) aineistossa ojitettujen turvemaiden kuusitukkien kokonaistilavuus jakautui seuraavasti eri laatuluokkiin: A eli ns. oksattomat tyvitukit 24 %, B eli terveoksaiset latvatukit 18 %, C1 eli oksaiset tyvitukit 24 %, C2 eli kuivaoksaiset väli- ja latvatukit 41 %. A-laadun osuus oli mustikkaturvekankailla suurempi ja C2-laadun osuus pienempi kuin ruohoturvekankailla. Verrattuna esim. Ahosen ja Mäkelän (1995) tuloksiin ja käytännön puunhankkijoiden pitkän aikavälin kokemuksiin oli laatuluokan A osuus poikkeuksellisen korkea suhteessa luokkaan C1, johtuen ilmeisesti aineiston rakenteesta. Rikalan (2003) kuusitukkien luokittelussa kiinnitettiin huomio ilmeisesti lähinnä oksikkuuslaatuun, koska tukkimittarimittauksessa niistä vain 73 % täytti sahauksen tavalliset suoruusvaatimukset (lenkous alle yksi senttimetri alle 20 cm:n ja alle 2 cm vähintään 20 cm:n tukeilla).

Päätehakkuumänty ja –kuusi sahauksessa

Mänty

Ojitettujen turvemaiden päätehakkuumännyn sahausta on tutkinut empiirisesti vain Rikala (2003). Kuorellisten tukkien käyttösuhde oli tässä erittäin hyvä, 1,916, tukkien kuorellisella keskitilavuudella 154 dm^3. Teollisessa sahauksessa on mäntytukeilla totuttu käyttösuhteeseen 2,2-2,4. Tutkimuksen käytännön oloihin mitä ilmeisimmin yliarvioivan hyvä tulos johtui tutkimuksessa käytetyistä tiukoista sahausasetteista ja sahedimensioiden suurimmasta mahdollisesta valikoimasta, todennäköisesti myös tavallista korkealaatuisemmista tukeista (pl. lenkous).

Varsin korkealaatuiset tukit, erityisesti tyvitukit, näkyivät myös hyvänä sahatavaran laatuluokkajakaumana, pohjoismaisten havusahatavaran lajitteluohjeiden perusteella arvioituna (Pohjoismainen sahatavara 1994). Tukin sisäosista sahattavasta sydäntavarasta (lankuista ja soiroista) oli tuoreena A-laatua 32 % (parhaita eli A1-A2 laatuja 9 %), B-laatua 36 %, C-laatua 27 % ja D-laatua 5 %. Kuivaus 20 prosentin kosteussuhteeseen aiheutti hyvin vähän vikoja: A-laadun osuus laski ja B-laadun osuus kohosi noin kaksi prosenttiyksikköä. Kuivatussa sydäntavarassa laatuluokan aleneminen ko. dimension optimista johtui lähes aina oksikkuudesta eri muodoissaan (94 %), yleensä liian paksusta kuolleesta oksasta (36 %), terveestä oksasta (31 %) tai lahosta oksasta (17 %). Muita syitä olivat lähinnä kuivauksesta johtuneet muodonmuutosviat, joskus pihkainen puu tai vajaasärmäisyys. Kuivaus puusepänkosteuteen (kosteussuhde 10 %) aiheutti tutkitun A-laadun otoksen perusteella laadun alenemista kriittisessä määrin, 53 saheesta yhteensä 34 kappaleessa, jonka seurauksena A-laadun osuus laski 35 prosenttiin. Syynä olivat 16 tapauksessa halkeamat, 18 tapauksessa kuivausmuodonmuutokset. Halkaistaessa sydäntavaraa syntyy lisää vikoja, jotka johtuvat saheen sisäisten kasvujännitysten laukeamisesta. Puusepänkosteuteen kuivatussa ja halkaistussa A-laadun otoksessa oli lopulta virheettömiä saheita vain 16 %,

Sivu- ja pintalaudoista oli tuoreina A-laatua 15 % (parhaita eli A1-A2 laatuja 10 %), B-laatua 10 %, C-laatua 16 %, D-laatua 6 %, kolmen sivun oksatonta laatua 12 % sekä vajaasärmäisiä puolipuhtaita kotimaan ja vientilaatuja 41 %. Kuivaus aiheutti vielä vähemmän vikoja lautoihin kuin sydäntavaraan, mikä onkin normaalia teollisilla sahoilla; parhaiden laatuluokkien eli A- ja B-laadun osuus ei muuttunut, vain C-laadun osuus laski ja D-laadun osuus nousi noin kaksi prosenttiyksikköä. Kuivatuissa sivu- ja pintalaudoissa laatuluokan aleneminen ko. dimension optimista johtui useimmiten oksikkuudesta eri muodoissaan (84 %), joko liian paksusta kuolleesta oksasta (36 %), terveestä oksasta (16 %), lahosta oksasta (17 %), oksanreiästä (9 %) tai kuorioksasta (6 %). Muuten laadun alenemista aiheutti eniten tukkien lenkouteen yhteydessä oleva vajaasärmäisyys (12 %).

Tukkilaji vaikuttaa voimakkaasti mäntysahatavaran laatuluokkajakaumaan. Täten A-laatua oli 45 % tyvitukeista, 18 % välitukeista ja ei lainkaan latvatukeista saadussa kuiva-

tussa sydäntavarassa ja 64 % tyvitukeista, 9 % välitukeista ja ei lainkaan latvatukeista saaduissa kuivatuissa sivu- ja pintalaudoissa.

Sydäntavaran lujuusluokittelussa noin 85 % saheista saavutti rakennesahatavaran perusluokan T24 minimiarvot (kansallinen T-lajittelu, ks. Lipitsäinen 1994). Suuri osa saheista saavutti myös korkeampien luokkien minimiarvot, 48 % luokan T30 ja 18 % luokan T40. Pohjoismaisessa NS-INSTA 142 (1997) lujuusluokittelussa parhaiden luokkien T3 ja T2 osuudet olivat 47 % ja 36 % ja huonohkojen luokkien T1, T0 ja hylkyluokka osuudet vastaavasti 15 %, 1 % ja 3 %. Tyvitukkien sydäntavara oli korkeammissa lujuusluokissa kuin muiden tukkien sydäntavara, mutta ero oli pienempi kuin männyllä. T2- ja T3-luokkia oli tyvitukkien sydäntavarasta peräti 90 % ja välitukkien ja latvatukkien sydäntavarasta 80 % ja 67 %. Luokkaa T3 oli tyvitukkien sydäntavarasta 68 %, välitukkien sydäntavarasta 40 % ja latvatukkien sydäntavarasta 10 %.

Rikala (2003) totesi turvemaiden päätehakkuumänniköiden suuret arvoerot sahauksen kannalta. Tukkien suhteellinen yksikköarvo vaihteli metsiköittäin välillä 94-122, kun tarkasteltiin runkojen sahatukkien laatuvaatimukset täyttäneistä osia ja vertailuarvona 100 oli sahedimension 50 * 100 mm^2 laatuluokkaa A vastaava arvo. Metsiköiden tukkipuuprosentti vaihteli välillä 61-85.

Kuusi

Metsäntutkimuslaitoksen tutkimushankkeessa "*Kuusen laatu- ja arvosuhteet erikoistuvassa lopputuotelähtöisessä ja perinteisessä massatuotantosahauksessa*" päätehakkuukuusen teoreettinen, apteerauksen ja sahauksen simuloinnilla ja laskennallisella laatuluokituksella ja hinnoittelulla määritetty rungon arvo kuutiometriä kohti kohosi selvästi läpimitan ja vähemmän selvästi alimman elävän oksan korkeuden kohotessa. Nämä olivat ylivoimaisesti tärkeimmät arvon vaihtelun lähteet. Lisäksi Suomenselän alueen kuusten arvo oli alhaisempi kuin muiden alueiden kuusten, ja kuusen arvo kohosi tyvitukin puuaineen tiheyden kasvaessa. Rungon yksikköarvon vaihtelusta pystyttiin selittämään kuitenkin vain noin puolet, loppu jäännöshajonta oli noin 8 €/m^3. Tukkiosan yksikköarvo riippui samalla tavalla läpimitasta ja alimman elävän oksan korkeudesta kuin rungon arvo. Lisäksi tukkiosan arvo oli korpimailla alhaisempi kuin kivennäismailla, ja muita alueita korkeampi Savossa ja alhaisempi Suomenselällä. Tukkiosan arvon vaihtelusta pystyttiin selittämään vain kolmannes, loppu jäännöshajonta oli 7-9 €/m^3. Tyvitukin puuaineen tiheyden kasvu kuten myös vuosiluston leveyden aleneminen lylypuu sahatavaran laatuluokituksessa huomioon ottaen kohottivat tukkiosan arvoa.

Tutkimuksessa määritettiin rungon käyttöosan ja tukkipuuosan teoreettiset bruttoarvot pohjana sahan tuotteiden arvot: vientisahatavara FOB, hake ja kuitupuu paperitehtaalle toimitettuna, sahanpuru selluloosatehtaalle toimitettuna, kuori omaan energiatuotantoon, vaneritukit vaneritehtaalle toimitettuina (vaneritukkiapteerauksessa). Näin määriteltynä rungon käyttöosan yksikköarvo oli ojitettujen korpien kuusiaineistossa normaali- ja pikkutukkiin tähdänneessä apteerauksessa vain 0,2-2,2 % pienempi kuin kivennäismaiden kuusiaineistoissa (taulukko 14). Tuottojen ero oli suurempi istutettuihin kuin luontaisesti syntyneisiin kuusiin verrattuna.

Lylypuun esiintyminen sahatavarassa alensi tuottoja olennaisesti. Vaikutus oli korpikuusissa pienempi kuin kivennäismaiden luontaisissa mutta suurempi kuin istutetuissa kuusissa (taulukko 14). Järeiden tyvi- ja välitukkien hakkuu vaneritukeiksi pienensi luonnollisesti tuottoja sahan kannalta, mutta suhteellisesti vähiten korpikuusilla ja eniten kivennäismaiden luontaisesti syntyneillä kuusilla. Lylypuun esiintyminen sahatavarassa vähensi tässä apteerauksessa tuottoja suhteellisesti enemmän kuin vaneritukin sisältäneessä apteerauksessa, mutta muussa suhteessa (sahatavaran saanto ja oksikkuuslaatu) tuotot olisivat jopa kasvaneet. Tulokset osoittavat korpikuusten tyviosan sinänsä verraten alhaista laatua ja arvoa, mutta toisaalta lylypuun esiin-

Taulukko 14. Ojitettujen korpien päätehakkuukuusten käyttöosan ja normaali- ja pikkutukkiosan bruttoyksikkötuotot sahayrityksen kannalta verrattuna kivennäismaiden luontaisesti syntyneisiin ja istutettuihin kuusiin kahdessa apteerausvaihtoehdossa, kun lylypuu on sivuutettu tai otettu huomioon sahatavaran laatuluokittelussa ja hinnoittelussa.

Apteeraus 1: normaalisahatukit (minimiläpimitta 16 cm, pituus 4,3-5,8 m), pikkutukit (minimiläpimitta 12 cm, pituus 4,3 m), kuitupuu (minimiläpimitta 7 cm, minimipituus 3 m)

Puutavaralaji	Ojitettu korpi, luontainen	MT-OMT, luontainen	MT-OMT, istutettu
Rungon tuotot, €/m^3			
Lylypuu sivuutettu	96,4	97,1	98,1
Lylypuu otettu huomioon	88,6	88,8	90,6
Tukki- ja pikkutukkiosan tuotot, €/m^3			
Lylypuu sivuutettu	103,7	103,9	105,9
Lylypuu otettu huomioon	94,9	94,7	97,5

Apteeraus 2: vaneritukit (minimiläpimitta 20 cm, pituus 5,2 m, normaalisahatukit (minimiläpimitta 16 cm, pituus 4,3-5,8 m), pikkutukit (minimiläpimitta 12 cm, pituus 4,3 m), kuitupuu (minimiläpimitta 7 cm, minimipituus 3 m)

Puutavaralaji	Ojitettu korpi, luontainen	MT-OMT, luontainen	MT-OMT, istutettu
Rungon tuotot, €/m^3			
Lylypuu sivuutettu	74,6	72,2	74,6
Lylypuu otettu huomioon	67,6	68,2	70,6
Tukki- ja pikkutukkiosan tuotot, €/m^3			
Lylypuu sivuutettu	104,3	98,5	102,5
Lylypuu otettu huomioon	99,7	95,0	99,6

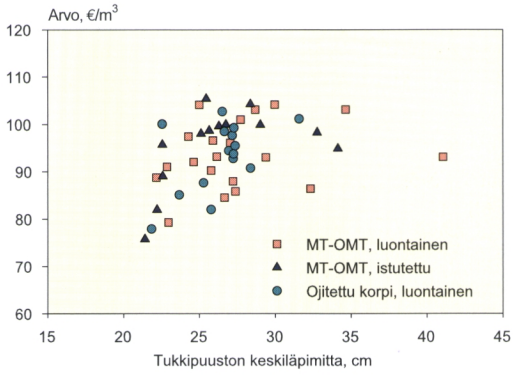
tymisen vaikuttavan korpikuusissa suhteellisesti enemmän rungon yläosista kuin tyviosista tehdyissä sahatukeissa. Kokonaisuutena lylypuu näyttäisi olevan laatuongelmana korpikuusikoissa jopa pienempi kuin kivennäismaiden luonnonsyntyisissä mutta joka tapauksessa suurempi kuin istutetuissa kuusikoissa.

Tukki- ja pikkutukkiosan yksikkötuotot olivat luonnollisesti suuremmat kuin rungon yksikkötuotot (taulukko 14). Lylypuu sahatavarassa vaikutti suunnilleen yhtä paljon tukki- ja pikkutukkiosan kuin rungon tuottoihin. Tukki- ja pikkutukkiosassa korpikuusten tuottojen suhteelliset erot kivennäismaiden luonnonsyntyisiin kuusiin olivat pienemmät ja istutettuihin kuusiin suuremmat. Kun lylypuu otettiin huomioon sahatavarassa, tukki- ja pikkutukkiosan yksikkötuotot olivat korpikuusissa jopa suuremmat kuin luonnonsyntyisissä kuusissa ja samalla tasolla kuin istutuskuusissa; pelkästään muiden tekijöiden perusteella tarkastellen korpikuusten asema olisi tarkasteluissa samanlainen.

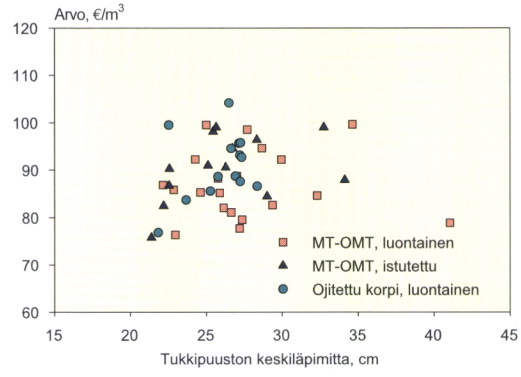
Korpikuusikoiden puutavaran arvo suhteessa kivennäismaiden kuusikoihin riippuu tuotteista saatavien tuottojen lisäksi niiden valmistuksen sekä puunhankinnan eri vaiheiden kustannuksista. Näiden tekijöiden huomioon ottaminen heikentää korpikuusikoiden käytön suhteellista kannattavuutta ainakin pienemmän rungon koon ja usein vaikeampien korjuuolosuhteiden vuoksi.

On syytä muistaa, että yksittäisten päätehakkuukuusikoiden arvoerot ovat joka tapauksessa huomattavasti suuremmat kuin edellä esitetyt keskimääräiset erot kasvupaikkojen välillä. Tätä seikkaa havainnollistavat tämän tutkimuksen aineiston perusteella laaditut kuvat 14 a ja 14 b.

Ojitettujen turvemaiden päätehakkuukuusen sahausta on tutkinut empiirisesti vain Ri-



Kuva 14a. Runkojen normaali- ja pikkutukkiosan bruttoyksikkötuotot sahayrityksen kannalta yksittäisissä korpikuusikoissa ja kivennäismaiden luontaisesti syntyneissä ja istutetuissa päätehakkuukuusikoissa. Apteeraus normaali- ja pikkutukeiksi ja kuitupuuksi, lylypuu otettu huomioon sahatavaran laatuluokittelussa ja hinnoittelussa.



Kuva 14b. Runkojen normaali- ja pikkutukkiosan bruttoyksikkötuotot sahayrityksen kannalta yksittäisissä korpikuusikoissa ja kivennäismaiden luontaisesti syntyneissä ja istutetuissa päätehakkuukuusikoissa. Apteeraus vaneritukeiksi, normaali- ja pikkutukeiksi ja kuitupuuksi, lylypuu otettu huomioon sahatavaran laatuluokittelussa ja hinnoittelussa.

kala (2003). Kuorellisten tukkien käyttösuhde oli tässä erittäin hyvä, 1,885, tukkien kuorellisella keskitilavuudella 249 dm^3. Teollisessa sahauksessa on kuusitukeilla totuttu käyttösuhteeseen 2,0-2,3. Tutkimuksen käytännön oloihin mitä ilmeisimmin yliarvioivan hyvä tulos johtui tutkimuksessa käytetyistä tiukoista sahausasetteista ja sahedimensioiden suurimmasta mahdollisesta valikoimasta, todennäköisesti myös ainakin turvemaille tavallista suuremmista ja korkealaatuisemmista tukeista (pl. mahdollisesti lenkous).

Hyvin korkealaatuiset tukit näkyivät myös hyvänä sahatavaran laatuluokkajakaumana. Tukin sisäosista sahattavasta sydäntavarasta (lankuista ja soiroista) oli tuoreena A-laatua 55 % (parhaita eli A1-A2 laatuja 6 %), B-laatua 22 %, C-laatua 18 % ja D-laatua 5 %. Kuivaus 20 prosentin kosteussuhteeseen aiheutti varsin vähän mutta kuitenkin enemmän vikoja kuin mäntysahatavaraan. Vikoja syntyi siinä määrin että em. laatuluokkia oli kuivasta sydäntavarasta 49 %, 24 %, 21 % ja 5 %, lisäksi hylkylaatua 1 %. Kuivatussa sydäntavarassa laatuluokan aleneminen ko. dimension optimista johtui lähes aina oksikkuudesta eri muodoissaan (92 %), useimmiten liian paksusta terveestä oksasta (51 %) tai kuolleesta oksasta (20 %). Muita syitä olivat lähinnä kuivauksesta johtuneet muodonmuutosviat, hyvin harvoin lylypuu tai vajaasärmäisyys. Kuivaus puusepänkosteuteen (kosteussuhde 10 %) aiheutti tutkitun A-laadun otoksen perusteella laadun alenemista männyn tavoin kriittisessä määrin, 94 saheesta yhteensä 46 kappaleessa, jonka seurauksena A-laadun osuus laski 45 prosenttiin. Syyt olivat puoliksi halkeamia, puoliksi kuivausmuodonmuutoksia. Rikalan (2003) erään eteläsuomalaisen suursahan tuotantoon vertailun mukaan A-laadun osuus oli sydäntavarassa hänen tutkimuksessaan peräti 12 %-yksikköä mutta myös C-laadun osuus 9 %-yksikköä suurempi ja vastaavasti B-laadun osuus 24 %-yksikköä pienempi.

Sivu- ja pintalaudoista oli tuoreina A-laatua 23 % (parhaita eli A1-A2 laatuja 1 %), B-laatua 19 %, C-laatua 11 %, D-laatua 2 %, vajaasärmäisiä puolipuhtaita kotimaan ja vientilaatuja 42 % ja hylkylaatua 1 %. Kuivaus aiheutti männyn tavoin vähemmän vikoja lautoihin kuin sydäntavaraan; A- ja B-laatujen sekä vajaasärmäisten puolipuhtaiden ja vien-





Kuva 15. Viljavat ojitetut korvet tuottavat osin jopa hyvää kuusta saha- ja vaneriteollisuuden tarpeisiin. Tyypillistä varttunutta kuusivaltaista tukkipuustoa mustikkaturvekankaalla Vihannissa (vas.), erinomaista ruohoturvekankaan kuusivaneritukkia Vesijaolta (oik.). Kuvat: E. Verkasalo.

tilaatujen osuudet laskivat kukin noin yhden prosenttiyksikön, C-laadun osuus kasvoi kolme prosenttiyksikköä ja vajaasärmäisen kotimaan laadun osuus yhden prosenttiyksikön. Myös kuivatuissa sivu- ja pintalaudoissa laatuluokan aleneminen ko. dimension optimista johtui lähes aina oksikkuudesta eri muodoissaan (94 %), joko liian paksusta kuolleesta oksasta (44 %), terveestä oksasta (34 %), kuorioksasta (7 %), oksanreiästä (6 %) tai lahosta oksasta (3 %). Muuten laadun alenemista aiheuttivat lähinnä kuivauksessa syntyneet muodonmuutosviat, hyvin harvoin lylypuu tai vajaasärmäisyys. Rikalan (2003) erään eteläsuomalaisen suursahan tuotantoon vertailun mukaan sivu- ja pintalautojen A-laadun kuten myös vajaasärmäisen puolipuhtaan laadun osuudet olivat hänen tutkimuksessaan 10 %-yksikköä suuremmat mutta B-laadun osuus 20 %-yksikköä ja C-laadun osuus 3 %-yksikköä pienemmät.

Sydäntavaran lujuusluokittelussa 72 % saheista saavutti visuaalisten T-lajitteluohjeiden mukaisen rakennesahatavaran perusluokan T24 minimiarvot. Suuri osa saheista saavutti myös korkeampien luokkien minimiarvot, 55 % luokan T30 ja 22 % luokan T40. Niinikään visuaalisessa NS-INSTA lujuusluokittelussa parhaiden luokkien T3 ja T2 osuudet olivat 39 % ja 34 % ja huonohkojen luokkien T1, T0 ja hylkyluokka osuudet vastaavasti 19 %, 7 % ja 1 %. Tyvitukkien sydäntavara oli olennaisesti korkeammissa lujuusluokissa kuin muiden tukkien sydäntavara; T2- ja T3-luokkia oli tyvitukkien sydäntavarasta peräti 93 %, välitukkien sydäntavarasta 48 % mutta latvatukkien sydäntavarasta ei lainkaan, luokkaa T3 saatiin vain tyvitukeista (70 %).

Myös Rikala (2003) totesi turvemaiden päätehakkuukuusikoiden melko suuret arvoerot sahauksen kannalta. Tukkien suhteellinen yksikköarvo vaihteli metsiköittäin välillä 84-102, kun tarkasteltiin runkojen sahatukkien laatuvaatimukset täyttäneistä osia ja vertailuarvona 100 oli sahedimension 50 * 100 mm^2 laatuluokkaa A vastaava arvo. Metsiköiden tukkipuuprosentti oli tässä korkea, ja vaihteli välillä 75-99.

7.4 Turvemaiden hieskoivun laatu- ja käyttötutkimukset

7.4.1 Taustatilanne

Turvemaiden koivusta puhuttaessa ajatellaan yleensä ensimmäisenä hieskoivua. Kuitenkin on syytä muistaa, että myös rauduskoivu kasvaa ja menestyy ohutturpeisilla soilla; esim. Heiskanen (1957) on todennut rauduskoivun myös turvemailla olevan kookkaam-

paa ja laadultaan parempaa niillä suotyypeillä missä se voi kasvaa.

Jos rajataan pois 1900-luvun alkupuoliskon sinänsä laajat ja monipuoliset koivututkimukset, nykymetsänhoitoon ja –puustorakenteeseen soveltuvia turvemaiden hieskoivikoiden ja hieskoivun puutavaran laatua ja puuaineen ominaisuuksia ja käyttömahdollisuuksia koskevia tutkimusraportteja on julkaistu vain muutamia (Ferm 1990, Verkasalo 1997a,b, 1998a,b, Heräjärvi 2001, 2002a,b, 2004a,b, Heräjärvi & Verkasalo 2002). Hieskoivikoiden harvennustapoihin, kasvuun, tuotokseen ja tuottoihin liittyvää tutkimusta on sen sijaan tehty verraten paljon (Niemistö 1991; 2000a,b; 2002a,b; ks. myös Moilanen & Murtovaara 1998). Varsinaisten laatututkimusten lisäksi on syytä muistaa valtakunnan metsien inventointitiedot, jotka antavat hyvän kuvan turvemaakoivikoiden piirteistä suuraluetasolla.

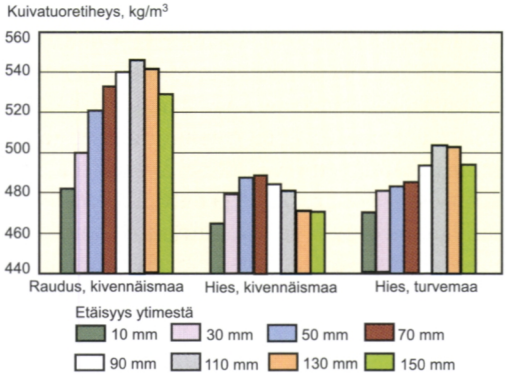
Verkasalo (1997b, s. 35-39) on esittänyt väitöskirjansa yhteydessä varsin perusteellisen kirjallisuustarkastelun hieskoivun ominaisuuksista ja niiden eroista rauduskoivuun nähden. Verkasalo (1997b) vahvisti myös Heiskasen (1957) jo aikanaan osoittaman hieskoivun kohtuullisen kelpoisuuden vanerin ja viilun raaka-aineeksi. Biologisesti johdonmukaisesti, viljavilla turvemailla hieskoivun järeys ja sitä myöten tukkilaatu ovat keskimäärin parempia kuin karuilla turvemailla, mutta kuitenkin hyvin selvästi heikompia kuin MT-OMT kivennäismailla. Heräjärvi (2002b) havaitsi väitöskirjassaan mustikka- ja ruohoturvekankaiden päätehakkuuikäisten hieskoivikoiden soveltuvan sahatukkien raaka-aineeksi, ainakin jos metsiköiden harvennuksista ja vesitaloudesta on huolehdittu laatupuun kasvatusperusteiden mukaisesti.

Kokonaisuutena hieskoivua on Etelä-Suomessa kaksinkertainen ja Pohjois-Suomessa kymmenkertainen tilavuus rauduskoivuun verrattuna. Verkasalon (1997b) laskelmien mukaan tukkipuukokoisen puuston osuus on vain 30 % hieskoivun tilavuudesta (rauduskoivu 80 %), josta yli 90 % on alle 30 cm:n läpimittaluokissa (rauduskoivu 65 %), ja tukkipuukokoisen puuston tukkiosuus on vain 38 % (rauduskoivu 54 %). Teollisuudessa koivun käyttöä ei ole tilastoitu koskaan koivulajeittain. Hieskoivun osuudeksi vaneriteollisuuden kotimaisesta koivusta voidaan koivuvarasuhteiden ja puunhankkijoiden käsitysten perusteella arvioida useita kymmeniä prosentteja.

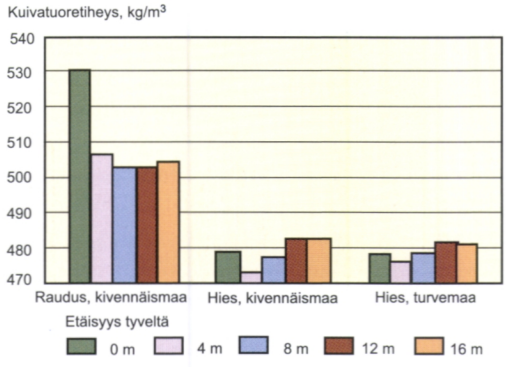
Turvemaiden hieskoivikoissa runkojen pieni järeys alentaa saha- ja erityisesti vaneritukin kertymiä. Tämä puutuoteteollisuuden näkökulmasta vähämerkityksinen raaka-ainereservi ei ole motivoinut turvemaakoivikoiden laatukysymyksiin keskittyvää laajamittaista tutkimusta. Sikäli tämä on ristiriitaista, että kivennäismailla hieskoivutukin määrien voidaan viime vuosikymmenten ja nykyisten metsänkäsittelytapojen seurauksena olettaa vähenevän, kun taas turvemailla varttuvissa hieskoivikoissa voisi olla mahdollista jossain määrin lisätä tukkikertymiä säännöllisellä metsänhoidolla. Muutamia vuosia sitten alkanut koivun pikkutukin (latvaläpimitta 10-18 cm, tukkipituudet 2-4 m) käyttö sahauksessa voi lisätä myös rungon suoruuden ja lahoja värivikojen esiintymisen suhteen kelvollisten turvemaahieskoivikoiden arvoa verrattuna aikaan, jolloin kaikki vaneripuukokoa pienemmät rungot korjattiin kuitupuuksi (Heräjärvi 2002a,b, Lindblad ym. 2003).

7.4.2 Hieskoivun puuaineen ominaisuudet ja niiden vaihtelu

Puuta käyttävän teollisuuden kannalta merkittävin puuaineen ominaisuus on tiheys. Tiheys korreloi niin selluloosan saannon kuin puuaineen työstettävyyden ja mekaanisten ominaisuuksien kanssa, ja sen merkitys puun laadun kuvaajana on kiistaton. Metsätaloudellista merkitystä omaavista puulajeistamme rauduskoivulla on korkein keskimääräinen tiheys; hieskoivu on noin 1-8 % rauduskoivua kevyempää (esim. Jalava 1945, Hakkila 1966, 1979, Verkasalo 1998a, Heräjärvi 2004a). Tukkiosan virheettömän puuaineen keskimääräinen kuivatuoretiheys on rauduskoivulla hieman yli ja hieskoivulla hieman alle 500 kg/m^3.



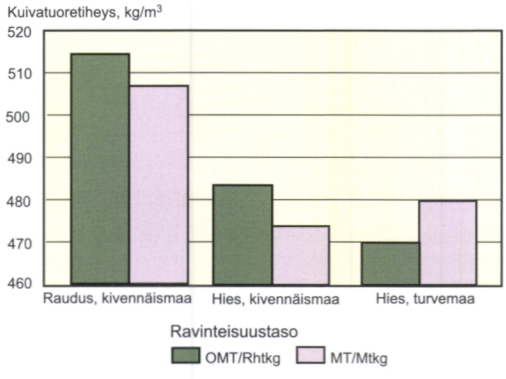
Kuva 16a. Kuivatuoretiheyden säteen suuntainen vaihtelu kivennäismaiden (OMT, MT) rauduskoivun (N=1423) ja hieskoivun (N=1292) sekä turvemaiden (Rhtkg, Mtkg) hieskoivun näytteissä (N=771). Lähde: Heräjärvi 2004a.



Kuva 16b. Kuivatuoretiheyden korkeussuuntainen vaihtelu kivennäismaiden (OMT, MT) rauduskoivun (N=1423) ja hieskoivun (N=1292) sekä turvemaiden (Rhtkg, Mtkg) hieskoivun näytteissä (N=771). Lähde: Heräjärvi 2004a.

Nuoremmalla iällä keskimääräinen tiheys on alempi (rauduskoivu, esim. Velling 1979, Verkasalo 1998a, Möttönen ym. 2004), koska koivun jällen ikä korreloi positiivisesti sen tuottaman puuaineen tiheyden kanssa (Bhat 1980). Verkasalon (1998a) mukaan hieskoivun kuitupuurunkojen käyttöosan keskimääräinen kuivatuoretiheys oli turvemailla 484 kg/m^3 ja kivennäismailla 489 kg/m^3 eli käytännössä ero on merkityksetön. Tukkipuurunkojen osalta turvemaiden hieskoivut (473 kg/m^3) sen sijaan olivat selvemmin kivennäismaiden hieskoivuja (505 kg/m^3) kevyempiä. Verkasalon (1998a) aineistossa kuitupuukokoiset turvemaiden hieskoivut olivat keskimäärin 11 kg/m^3 (2,3 %) tukkipuukokoisia hieskoivuja tiheämpiä; tämä johtui ilmeisesti yhtäältä tukkipuukokoisten koivujen alkuperästä keskimäärin viljavimmilta suotyypeiltä ja toisaalta kuitupuukokoisten koivujen usein alisteisesta asemasta metsikössä.

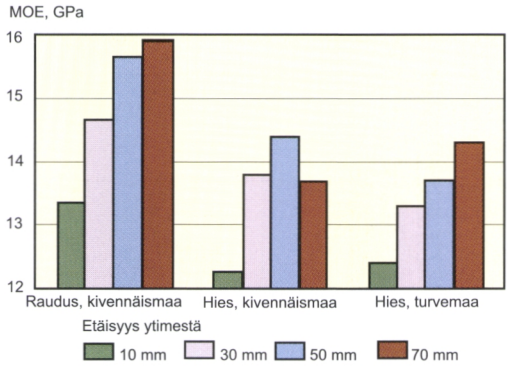
Heräjärven (2004a) 172 hieskoivurungon aineistossa kivennäis- ja turvemaiden hieskoivujen väliset kuivatuoretiheyserot olivat myös vähäisiä (kuvat 16a ja 16b). Rungon sisällä ilmeni kuitenkin merkittävää tiheysvaihtelua. Säteen suuntainen tiheysvaihtelu oli sekä hies- että rauduskoivuilla selvästi suurempaa



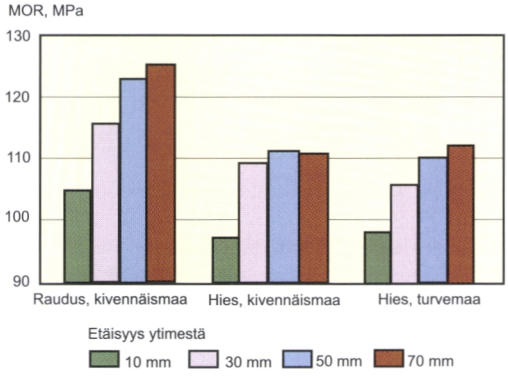
Kuva 17. Kuivatuoretiheyden ravinteisuustason mukainen vaihtelu kivennäismaiden (OMT, MT) rauduskoivun (N=1423) ja hieskoivun (N=1292) sekä turvemaiden (Rhtkg, Mtkg) hieskoivun näytteissä (N=771). Lähde: Heräjärvi 2004a.

kuin korkeussuuntainen vaihtelu (ks. myös Verkasalo 1998a).

Tarkasteltaessa järeiden raudus- ja hieskoivujen kuivatuoretiheyksiä kasvupaikan ravinteisuustason suhteen (aineisto: ks. Heräjärvi 2004a) havaitaan viljavilla kivennäismailla kasvavan keskimäärin hieman tiheämpää koivua kuin karuilla mailla, kun taas turvemailla tilanne näyttäisi olevan päinvastainen



Kuva 18. Taivutuskimmomoduulin säteen suuntainen vaihtelu kivennäismaiden (OMT, MT) rauduskoivun (N=249) ja hieskoivun (N=234) sekä turvemaiden (Rhtkg, Mtkg) hieskoivun näytteissä (N=127). Lähde: Heräjärvi 2004a.



Kuva 19. Taivutusmurtolujuuden säteen suuntainen vaihtelu kivennäismaiden (OMT, MT) rauduskoivun (N=249) ja hieskoivun (N=234) sekä turvemaiden (Rhtkg, Mtkg) hieskoivun näytteissä (N=127). Lähde: Heräjärvi 2004a.

(kuva 17). Erot ovat kuitenkin niin pieniä, ettei niillä liene suurta käytännön merkitystä.

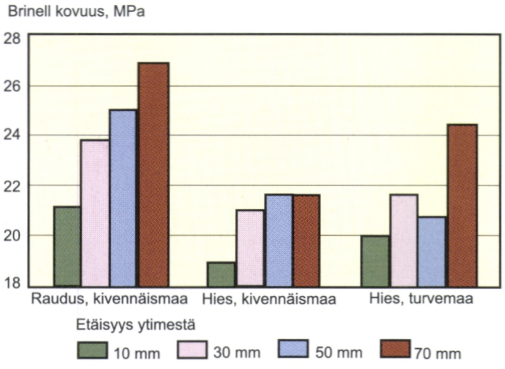
Huolimatta raudus- ja hieskoivun melko selvästä tiheyserosta koivulajeja ei käytännössä erotella toisistaan tehtailla; virheettömän puuaineen tiheyserot peittyvät lisäksi tavallisesti oksa-, reaktio- ja nuorpuun tai lahon aiheuttamiin poikkeamiin. Eräiden puusepänteollisuuden tuotteiden kohdalla koivulajien erottelu voisi olla perusteltuakin. Hieskoivu on erityisesti turvemailla kasvaneena keskimäärin raudusta hidaskasvuisempaa ja ohuempien vuosilustojensa puolesta periaatteessa soveltuvampaa tiettyihin työstömenetelmiin kuten sorvaukseen ja jyrsintään.

Puuaineen mekaaniset ominaisuudet vaihtelivat Heräjärven (2004a,b) aineistoissa samansuuntaisesti tiheyden kanssa; taivutuskimmomoduuli, taivutusmurtolujuus ja pinnan kovuus havaittiin korkeimmiksi lähellä rungon tyveä ja pintaosaa. Taulukossa 15 on kooste raudus- ja hieskoivun kuivatuoretiheyden ja eräiden mekaanisten ominaisuuksien keskiarvoista kivennäis- ja turvemailla.

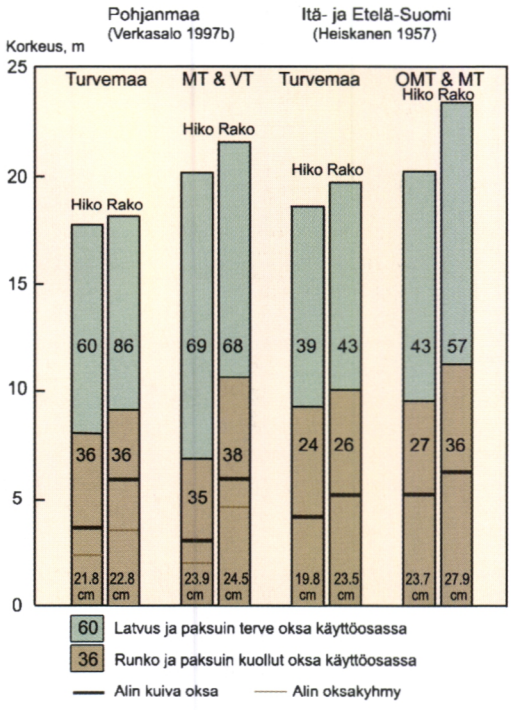
Taivutuskimmomoduulin (kuva 18) ja -murtolujuuden (kuva 19) arvot eivät eronneet kivennäis- ja turvemaiden hieskoivujen välillä merkittävästi. Merkittävää eroa ei ollut myöskään puuaineen pinnan Brinell-kovuudessa (kuva 20), joskin ytimestä 70 mm:n etäisyydellä turvemaiden hieskoivujen kovuus oli keskimäärin 2,5 MPa kivennäismaiden hieskoivuja suurempi. Eroon saattoi vaikuttaa turvemaiden hieskoivujen ytimestä kauimmaisten kovuusnäytteiden melko pieni lukumäärä.

Taulukko 15. Virheettömän runkopuun kuivatuoretiheyden ja eräiden mekaanisten ominaisuuksien keskiarvot ja -hajonnat järeissä kivennäismaiden (OMT, MT) raudus- ja hieskoivuissa sekä turvemaiden (Rhtkg, Mtkg) hieskoivuissa (Heräjärvi 2004a,b).

	Kuivatuoretiheys kg/m^3		Taivutuskimmomoduuli GPa		Taivutusmurtolujuus MPa		Brinell-kovuus MPa	
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
Raudus, kivennäismaat	511,9	(41,5)	14,5	(2,1)	113,9	(14,7)	23,4	(4,4)
Hies, kivennäismaat	478,0	(30,8)	13,3	(2,1)	104,7	(14,6)	20,3	(3,8)
Hies, turvemaat	491,9	(39,5)	13,0	(1,6)	103,0	(13,0)	21,7	(4,3)



Kuva 20. Puuaineen Brinell-kovuuden säteen suuntainen vaihtelu kivennäismaiden (OMT, MT) rauduskoivun (N=261) ja hieskoivun (N=199) sekä turvemaiden (Rhtkg, Mtkg) hieskoivun näytteissä (N=159). Lähde: Heräjärvi 2004b.



Kuva 21. Tukkipuukokoisten hies- ja rauduskoivujen keskimääräisiä koko- ja oksikkuustunnuksia turve- ja kivennäismailla Pohjanmaalla (Verkasalo 1997b) ja Itä- ja Etelä-Suomessa (Heiskanen 1957). Lähde: Verkasalo 1998b.

Kaikenkaikkiaan puuaineen tiheyden ja mekaanisten ominaisuuksien perusteella ei ole syytä tehdä eroa kivennäis- ja turvemaiden hieskoivujen välille. Molemmilta kasvupaikoilta saadaan tässä suhteessa tasavertaista raaka-ainetta. Puuaineen käytettävyyteen vaikuttavana tekijänä voidaan kuitenkin mainita, että turvemaiden päätehakkuuikäisissä hieskoivuissa esiintyy enemmän kovaa lahoa tai värivikaa kuin kivennäismaiden vastaavissa hieskoivuissa (Heräjärvi 2001; ks. myös Heiskanen 1957, Verkasalo 1997b). Pehmeän lahon esiintymisessä sen sijaan ei ole eroa kasvupaikkojen välillä.

7.4.3 Turvemaiden hieskoivun hakkuukertymät ja puutavaralajirakenne

Turvemaiden hieskoivujen kohdalla puuaineen ominaisuuksia suurempi puun käytettävyyteen vaikuttava tekijä on runkojen heikko ulkoinen laatu: pieni järeys, lenko, mutkainen tai moniväärä runkomuoto ja puutuotteiden kannalta epäedullinen oksikkuus alentavat tukkikelpoisen puutavaran kertymää enemmän kuin kivennäismaiden koivikoissa. Toisaalta myös turvemaiden puunkorjuu asettaa omat haasteensa ja rajoituksensa käytölle. Kuvassa 21 on havainnollistettu tukkipuukokoisten hies- ja rauduskoivujen keskimääräisiä koko- ja oksikkuustunnuksia turve- ja kivennäismailla Pohjanmaalla ja Itä- ja Etelä-Suomessa (Verkasalo 1998b, 2002a).

Turvemaiden hieskoivujen puutavarakertymiä päätehakkuissa ei ole tutkittu kestokokeilla. Verkasalo (1997b) arvioi erityyppisten turvemaiden hieskoivikoiden tukki- ja kuitupuukertymiä pystymittausaineistojen perusteella suhteessa VT+- ja MT-kivennäismaihin Pohjanmaalla. Tutkimuksen perusteella päätehakkuuvaiheen hieskoivikoista voidaan odottaa vaneripuun kokoisia ja laatuisia puita ruohoisilla ja mustikka-suursaraisilla turvemailla 80-120 kpl/ha ja puolukka-piensaraisilla turvemailla vain 35 kpl/ha, kun vastaava runkoluku on

Taulukko 16. Keskimääräiset puutavaralajien kertymät ja rungon keskikoko päätehakkuuvaiheen hieskoivikoissa eri kasvupaikoilla Pohjanmaalla, 600 rinnankorkeusläpimitaltaan paksuinta koivua hehtaarilla (Verkasalo 1997b).

Kasvupaikkaluokka	Vaneritukki		Kuitupuu		Yhteensä	Keskirunko
	m^3/ha	%	m^3/ha	%	m^3/ha	dm^3
Ruohoinen turvemaa	26	18	112	82	138	230
Mustikka-suursarainen turvemaa	15	11	113	89	128	210
Puolukka-piensarainen turvemaa	9	8	73	92	82	137
Tuore kangas (MT)	141	57	107	43	248	413
Kuivahko kangas (VT+)	22	16	98	84	120	200

Taulukko 17. Keskimääräiset puutavaralajien kertymät ja rungon keskikoko päätehakkuuvaiheen raudus- ja hieskoivuvaltaisissa metsiköissä eri maaluokissa Pohjanmaalla, 600 rinnankorkeusläpimitaltaan paksuinta koivua hehtaarilla (Verkasalo 1997b).

Kasvupaikkaluokka	Vaneritukki		Kuitupuu		Yhteensä	Keskirunko
	m^3/ha	%	m^3/ha	%	m^3/ha	dm^3
Kivennäismaa (MT, VT+), raudusvaltainen	99	38	122	62	221	368
Kivennäismaa (MT, VT+), hiesvaltainen	64	31	101	69	165	275
Turvemaa, hiesvaltainen	17	22	100	78	117	195

tuoreilla kankailla 380 kpl/ha. Tavoitelluimpia virheettömän tyvitukin puita voidaan vastaavasti odottaa ruohoisilta turvemailta vain 35 kpl/ha ja muilta turvemailta alle 10 kpl/ha. Koivuvaneritukkia ja -kuitupuuta saatiin eri kasvupaikkojen hieskoivikoista taulukon 16 mukaisesti, kun koivujen runkoluku vakioitiin tasolle 600 kpl/ha ja käytettiin nykyisiä puutavaralajien mitta- ja laatuvaatimuksia. Vaneritukkien kertymä oli turvemaista ruohoisilla kohtuullinen, mustikka-suursaraisillakin siedettävä mutta puolukka-piensaraisilla niukka – erityisesti tuoreisiin kankaisiin verrattuna. Keskimäärin vaneritukin kertymät olivat turvemaiden hieskoivikoissa pieniä verrattuna kivennäismaiden hies- ja varsinkin raudusvaltaisiin metsikköihin (taulukko 17).

Verkasalon (1997b) aineistossa kivennäis- ja turvemaiden hieskoivujen tukkivähennyksissä ei ollut merkittävää eroa. Turvemailla tukkivähennys oli puuston ikäluokasta riippuen 9-20 % ja kivennäismailla 12-19 %. Heiskanen (1957) raportoi selvästi suuremmista tukkivähennyksistä: 15-19 cm:n läpimittaisilla hieskoivuilla kivennäismailla keskimäärin 41 % ja turvemailla 49 %, ja yli 20 cm:n läpimittaisilla hieskoivuilla kivennäismailla 36 % ja turvemailla 59 %. Tuonaikaisen tulkinnan mukaan turvemaiden koivut olivat siis tukkivähennyksen valossa selvästi huonompilaatuisia kuin kivennäismaiden koivut.

Heräjärvi ja Verkasalo (2002) tutkivat neljän eri apteeraustavan vaikutuksia päätehakkuuikäisten raudus- ja hieskoivurunkojen puutavaralajijakaumaan ja arvoon. Saha- ja vaneritukkiapteerausten tuloksia normaaleilla tukkipituuksilla (apteeraustapa A) verrattiin rungon arvon maksimoivaan teoreettiseen saha- tai vaneritukkiapteerauksen optimiarvoon, jossa lyhin sallittu tukkipituus oli 0,5 metriä (apteeraustapa B). Aineisto koostui 89 kivennäismaiden (OMT, MT) rauduskoivurungosta, 93 kivennäismaiden (OMT, MT) hieskoivurungosta ja 79 turvemaiden (Rhtkg, Mtkg) hieskoivurungosta. Puut olivat n. 60-110-vuotiaita, rauduskoivut keskimäärin 10-

Taulukko 18. Koivurunkojen arvoindeksit eri apteeraustavoilla kasvupaikka- ja latvuskerrosluokittain ja osittain. Normaalisti apteeratun (apteeraustapa A) vaneritukkikuutiometrin indeksiarvo = 100. Latvuskerrokset: 1 = päävaltapuut, 2 = lisävaltapuut. Ositteet: ks. teksti. Lähde: Heräjärvi & Verkasalo 2002.

	Kasvupaikkaluokka							
	OMT / Rhtkg				MT / Mtkg			
	Latvuskerrosluokka							
	1		2		1		2	
	Apteeraustapa							
	A	B	A	B	A	B	A	B
Osite	Indeksiarvo/m^3							
	Sahatukkiapteeraus							
1	60,1	95,4	53,9	69,5	68,0	80,5	67,3	50,42
2	61,1	84,8	66,1	81,0	59,8	76,2	46,8	66,7
3	61,7	83,5	50,8	64,0	60,6	73,5	59,9	72,2
4	69,1	85,9	59,6	70,4	69,1	60,6	52,1	59,6
5	-	-	-	-	50,4	78,7	45,0	58,8
6	44,6	75,2	41,9	64,7	45,3	63,6	35,6	60,6
	Vaneritukkiapteeraus							
1	55,3	64,4	48,5	72,6	49,2	69,8	44,8	48,8
2	51,8	66,4	37,0	59,0	63,8	67,4	36,3	46,0
3	54,0	59,6	29,1	30,4	44,3	62,4	40,7	30,4
4	55,3	69,8	43,1	68,5	53,5	63,7	32,5	66,4
5	-	-	-	-	30,2	65,8	30,6	51,5
6	32,0	57,6	31,6	65,8	48,6	52,8	30,6	65,8

20 vuotta hieskoivuja vanhempia. Aineisto jaettiin kuuteen maaluokan ja puulajin mukaiseen ositteeseen:

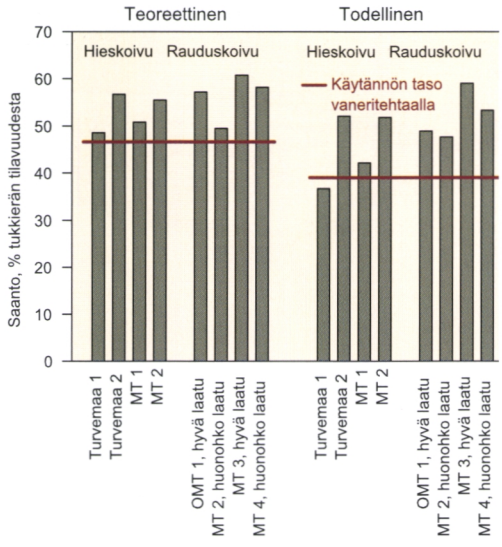
1. Kivennäismaiden puhtaat rauduskoivikot
2. Kivennäismaiden kuusi-rauduskoivu –sekametsiköt
3. Kivennäismaiden puhtaat hieskoivikot
4. Kivennäismaiden kuusi-hieskoivu –sekametsiköt
5. Turvemaiden puhtaat hieskoivikot
6. Turvemaiden mänty-hieskoivu –sekametsiköt.

Vaneritukkiapteerauksessa osite tai kasvupaikan viljavuustaso eivät vaikuttaneet kovarianssianalyysin mukaan merkitsevästi tukkilaatujen jakaumaan. Sen sijaan sahatukkiapteerauksessa molemmilla muuttujilla oli merkitsevä vaikutus. Sallittaessa lyhyet tukkipituudet kohosi runkojen laskennallinen arvo noin 10-40 prosenttiyksikköä (taulukko 18). Samalla runkojen tukkilaatujakauma siirtyi selvästi kohti parempia laatuja

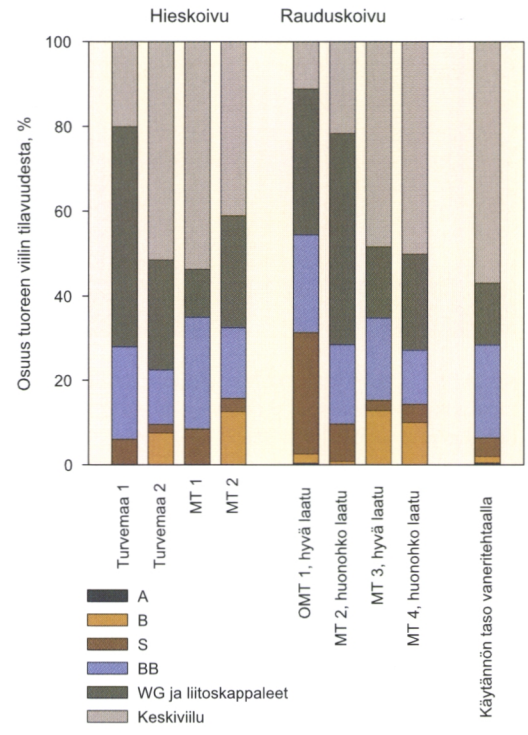
7.4.4 Turvemaiden hieskoivu vaneriteollisuudessa

Vaneriteollisuuden kannalta puuraaka-aineen oleellisimmat laatutekijät ovat tehtaille sorvaukseen saatavien pölkkyjen laatu ja laatujakauma. Nämä vaikuttavat sekä viilun saantoon ja laatujakaumaan että jatkojalostus- ja loppukäyttömahdollisuuksiin. Verkasalon (1997b) tutkimuksessa kivennäismaiden hieskoivuista saadut pölkyt olivat turvemaiden hieskoivuista saatuja laadukkaampia sekä suuremman läpimitan että paremman suoruuden suhteen, ja tyvitukkien pölkyt lisäksi oksattomuuden ja paremman kaupallisen laatuluokankin suhteen.

Verkasalon (1987, 1990) tehdasoloissa tehdyissä koesorvaustutkimuksissa tarkasteltiin Pohjanmaan ja Päijänteen seutujen hies- ja rauduskoivutukkien (8 leimikkoa, 487 tukkia) vaneriviilun saantoa (kuva 22) ja laatuluokkajakaumaa (kuva 23, ks. myös kuva 24). Pölkyt keskitettin sorville ns. kolmipis-



Kuva 22. Tuoreen viilun teoreettinen ja todellinen tilavuussaanto tukkien kuorellisesta tilavuudesta ruohoisten turvemaiden hieskoivuleimikoiden ja MT-OMT kivennäismaiden hies- ja rauduskoivuleimikoiden vaneritukkien koesorvaustutkimuksissa (Verkasalo 1987, 1990).



Kuva 23. Tuoreen viilun laatuluokkajakaumat turvemaiden hieskoivuleimikoiden ja MT-OMT kivennäismaiden hies- ja rauduskoivuleimikoiden vaneritukkien koesorvaustutkimuksissa (Verkasalo 1987, 1990).

temenetelmällä, jolloin viilun saanto on varsinkin järeillä mutta mutkaisilla pölkyillä pienempi kuin pölkyn geometrian mukaan optimoivilla automaattikeskittimillä. Saantoero voi olla 10-25 prosenttiyksikköä pölkyn ominaisuuksista riippuen.

Tuoreen viilun teoreettinen saanto eli sorvausta varten pyöristetyn pölkyn osan keskuspurilaalla (65 mm) vähennetty osuus pölkyn kuorellisesta tilavuudesta oli MT-OMT kivennäismaiden raudusleimikoissa keskimäärin 56,0 % ja hiesleimikoissa 53,2 % ja ruohoisten turvemaiden hiesleimikoissa 53,0 %. Erot noudattelivat varsin hyvin tukkien keskiläpimittaeroja; 22, 20 ja 21 cm. Todellinen viilun saanto on luonnollisesti teoreettista pienempi, koska osa sorvauskelpoisesta pölkystä joutuu jätteeksi pää- ja pintahalkeamien, repeämien, lahon, liian suurten oksien ym. vikojen vuoksi, ja osa viilusta repeilee sorvauksen jälkeen käyttökelvottomaksi. Todellinen viilun saanto oli kivennäismaiden raudusleimikoissa keskimäärin 52 % ja hiesleimikoissa 47 % ja ruohoisten turvemaiden hiesleimikoissa 45 %.

Parhaita pintaviilulaatuja (A, B, S) saatiin niin ikään eniten kivennäismaiden raudusleimikoista ja vähiten turvemaiden hiesleimikoista (taulukko 19). Suurten oksien ja oksanreikien paikkauksen jälkeen pintaviiluksi kelvollista BB-laatua saatiin selvästi eniten turvemaiden hiesleimikoista. Yksittäisten leimikoiden väliset erot olivat odotetusti suuria sekä viilun saannossa että laadussa. Parhaat hiestukkierät olivat ainakin viilun saannon suhteen jopa parempia kuin huonoimmat raudustukkierät, vaikka rauduskoivuista saatu viilu oli keskimäärin laadukkaampaa kuin hieskoivuista saatu.





Kuva 24. Viljavat ojitetut korvet tuottavat saha- ja vaneriteollisuuden kannalta hyvin vaihtelevan laatuista koivua: hakkuukypsää hieskoivikkoa järeydeltään ja laadultaan parhaasta päästä Tuusulasta (vas.) ja minimilaatuista hieskoivutukkia Heinolan mlk:sta (oik.). Kuvat: E. Oksanen ja E. Verkasalo.

Taulukko 19. Tuoreen viilun tilavuuden laatuluokkajakaumat turvemaiden ja MT-OMT kivennäismaiden hieskoivuleimikoiden ja MT-OMT kivennäismaiden rauduskoivuleimikoiden vaneritukkien koesorvaustutkimuksissa (Verkasalo 1987, 1990).

Viilun laatuluokka	Hieskoivuleimikot		Rauduskoivuleimikot
	Turvemaa	Kivennäismaa	Kivennäismaa
	Osuus tuoreen viilun tilavuudesta, %		
A	0,0	0,0	0,2
B	4,8	7,1	7,1
S	3,5	5,5	9,8
BB	30,9	21,0	18,0
WG	35,8	19,9	35,2
Keskiviilu	25,0	46,5	29,7

7.5 Suopuun käyttömahdollisuuksia ja muita johtopäätöksiä

Suopuuta ei ole erityisesti eroteltu kivennäismaiden puusta puunhankinnassa ja -käytössä, koska suopuun kokonaiskertymät ovat olleet vielä varsin vähäisiä. Kun erottelutarvetta on ilmennyt, se on ollut käytännössä epäsuoraa seurausta turvemaiden pehmeikköjen korjuu- ja kaukokuljetuskausille aiheuttamista rajoituksista. Useimmiten samaan leimikkoon on kuulunut sekä kivennäis- että turvemaata, joten erottelumahdollisuuksia ei ole käytännössä ollut paljoakaan, ellei maapohjaa ole otettu erityisesti huomioon leimikon palstoituksessa esim. korjuuvuodenajan tai korjuukaluston käytön vuoksi. Laajojen ojitusalueiden tullessa hakkuiden piiriin tilanne ilmeisesti muuttuu, ja voidaan ryhtyä puhumaan aidoista suopuuleimikoista. Tällöin suopuun erityispiirteitä voidaan ja tulee ottaa entistä paremmin huomioon puuraaka-aineen korjuun ja kuljetusten ohjausta ja puunkäyttöä koskevassa päätöksenteossa.

Metsänuudistamisessa ja -kasvatuksessa on sen sijaan ollut mahdollista ottaa turvemaat huomioon tähänkin asti mm. puuston laatuodotusten ja laatukasvatuksen kannalta. Ojitetuilla turvemailla on käytetty paljolti kivennäis-

maiden metsänhoitosuosituksia, mutta ne eivät ole olleet välttämättä optimaalisia laatupuun kasvatukseen tässä ympäristössä. Tietotarpeet turvemaiden puustojen optimaalisesta käsittelystä ja uudistamisesta luonnollisesti kasvavat päätöksentekotilanteiden tullessa vastaan entistä useammin. Tätä silmälläpitäen tarvitaan myös tutkimusta turvemailta saatavissa olevan puuraaka-aineen käytön kannattavuudesta, jalostusarvosta ja puustamaksukyvystä teollisissa käyttötarkoituksissa sekä optimaalisesta lajittelusta ja ohjauksesta eri käyttötarkoituksiin.

Mänty on tärkein suopuumme puuraaka-aineen lähteenä sekä nykyisin että tulevaisuudessa, erityisesti hakkuumahdollisuuksien voimakkaan kasvun seurauksena seuraavan 20 vuoden aikana. Tukin hakkuumahdollisuudet keskittyvät melko selvästi tietyille alueille, kuten Pohjanmaalle ja Satakuntaan lännessä, Keski-Suomeen, ja Pohjois-Karjalaan ja Pohjois-Savoon idässä. Kuitupuun osalta on mukaan laskettava myös Lapin ja Kainuun kasvavat puureservit. Myös puun laadussa ilmenee suurta alueellista vaihtelua.

Esitetyt hypoteesit turvemaiden maapohjan ominaisuuksien ja synty- ja kasvuhistorian vaikutuksista puun laatuun näyttävät pääosin pitävän paikkansa. Eri tutkimusten tulosten perusteella turvemaiden nykyisen päätehakkuumännyn laatupotentiaali näyttää melko vaatimattomalta puutuoteteollisuuden kannalta, erityisesti kivennäismaihin verrattuna. Varttumassa olevien harvennuspuustojen osalta tilanne on parempi, sillä tukkipuun laatuodotukset vaikuttavat ainakin kohtuullisilta. Kysymysmerkki ovat turvemaille ojituksen jälkeen syntyneet puustot, joiden tulevaa laatua voidaan vielä tässä vaiheessa vain arvailla. Todennäköisesti nämä eivät tule poikkeamaan kovinkaan paljoa vastaavan ravinteisuustason kivennäismaiden puustoista, maapohjan (edelleen) pehmeydestä johtuvia tyviosan suoruuteen liittyviä riskejä lukuun ottamatta. Edellytyksenä on tietysti hyvän laadun tuottamiseen tähtäävä taimikonhoito, jossa periaatteet lienevät samanlaiset kuin kivennäismailla. Tulevien laatukasvatukseen liittyvien tutkimusaiheiden tulisikin turvemailla kohdistua tällaisen syntyhistorian omaaviin sekä ensimmäisen päätehakkuun jälkeisen uudistamisen tuloksena syntyviin puustoihin.

Mäntytukkirunkojen arvosta muodostuu karkeasti 80 % teknisestä laadusta ja 20 % järeydestä. Valtaosa runkojen arvosta saadaan normaalisti tyvitukista, jonka laadussa nykyisellä männyllä on ilmeisiä puutteita turvemailla. Investoinnit laadun parantamiseen, esim. intensiivisillä harvennus-karsinta-lannoitusketjuilla eivät näytä perustelluilta kuin poikkeustapauksissa, jos perusteluna on kohtuullisen laadun nostaminen korkealle tasolle. Samoin kunnostusojitusten kohdentamisessa on tarkasteltava tulevaisuuden tukkipuuston laatuodotuksia. Monissa metsiköissä voitaneen jopa kyseenalaistaa tukkipuun kasvatus täyden kiertoajan periaatteella, ja ajatella sen sijaan tyytymistä joko yhden tukin runkojen tai kokonaan kuitupuun kasvatukseen. Kiertoajan pituuden ja tavoiteltavien tavaralajien optimointi metsänkasvatuksessa on myös tarpeellinen tutkimusteema jatkossa.

Suomännyn myönteisiä laadullisia piirteitä ovat hidaskasvuisuus ja sydäntavaran ohutlustoisuus, korkea tiheys ja tästä seuraavat hyvät mekaaniset ominaisuudet, yleensä pienet oksat ja vähäiset pintaviat, sekä nuorpuuongelmien ilmeinen vähyys. Puuaineen ominaisuuksien voidaan arvioida olevan muuten lähes suomalaisen männyn tavanomaisella tasolla. Erityispiirteitä ovat puuaineen tiivis tekstuuri ja sydänpuun voimakas väri. Sydänpuuta on paljon, ja sen mahdollisuutena mutta tutkimuksin varmistamatta on sään- ja lahonkestävyys.

Suomäntyjen kielteisiä piirteitä ovat varsinkin ikään nähden vaatimaton järeys, runsaat runkomuotoviat (tyvimutkat, moniväärryys, pystyoksat), lyhyt terveoksainen ja pitkä kuivaoksainen osuus rungossa ja yleensäkin suuri oksien lukumäärä (hidas pituuskasvu). Tukkien keskikoko on selvästi pienempi kuin kivennäismailla, ja kannattavan sahauksen rajoilla käytettäessä normaalitukkien sahaukseen suunniteltuja sahakoneita ja -laitteita. Siksi turvemaiden leimikoiden mäntytukkeja olisi syytä ohjata pikkutukkisahoille.

Puuaineessa on haitallista epätasainen vuosiluston leveys ja tiheys ja niistä seuraavat puuaineen poikkeuksellinen ulkonäkö ja mahdolliset ongelmat kuivauksessa, työstössä ja mekaanisten liitosten teossa (halkeilu, lohkeilu), sydäntavaran kuivaoksaisuus (oksat voivat silti olla pieniä) sekä runsaista runkomuotovioista aiheutuvat lyly, vino- ja poikkisyisyys, tältä osin alentunut lujuus ja kuivausviat (vääntyily, kieroutuminen). Lylypuun ei ole kuitenkaan arvioitu olevan suuri ongelma hakkuin käsiteltyjen turvemaamänniköiden päätehakkuissa, joissa jäljellä ovat metsiköiden parhaat puut. Sen sijaan tyypillisesti vanhojen mäntyjen puuaine on herkkää sydänhalkeiluun jo pystypuuna, joka pahenee puunjalostusprosesseissa.

Suomäntyjen tyvitukeissa sahatavaralaatu voi olla jopa erinomaista, tosin yleensä se on turvemailla huonompaa kuin kivennäismailla. Muissa rungonosissa laatu on lähinnä kuivaoksaisuuden ja mutkaisuuden vuoksi heikko. Huonolaatuiset tukit on ilmeisen perusteltua ohjata selluteollisuudelle. Havuvaneriteollisuus voi jatkossa olla huomattava keskilaatuisten tyvi- ja välitukkien käyttäjä, koska tyypillisesti 2,6 m:n pölkkyjen sorvauksessa muotoviat vaikuttavat suhteellisesti vähemmän haitallisesti viilun saantoon ja laatuun kuin mitä ne vaikuttavat yleensä vähintään 3,7 m:n tukkien sahauksessa sahatavaran saantoon ja laatuun. Harvennusten pikkutukkien koko ja laatu jäävät nekin jälkeen kivennäismaista, mutta samat tuotteet ovat ainakin periaatteessa mahdollisia kuin minkä tahansa samaa järeyttä olevien pölkkyjen sahauksessa tai pyöreän rakennuspuun valmistuksessa.

Tyvitukkien sahatavaraa voidaan käyttää monenlaisiin tarkoituksiin. Pieni osa tyvitukeista soveltuu vaativiin puusepän- ja sisustustuotteisiin (ikkunat, ovet, portaat, seinä- ja kattopaneelit, lattiamateriaalit). Näissä käyttötarkoituksissa tiheistä vuosirenkaista syntyvä tekstuuri ja sydänpuusta syntyvä ilmeikäs väri kuten myös hyvä mittapysyvyys ovat etuja. Sekä tyvi- että välitukeista saadaan ilmeisen korkean lujuuden omaavia rakennustuotteita ja pakkausmateriaaleja, joskin materiaalin jäykkyysominaisuuksissa voi olla puutteita. Suuri osa tyvi- ja erityisesti välitukeista tulisi ohjata rakennustuotteisiin, kuten lujuuslajitelluksi sahatavaraksi ja liimapuuksi ja aihioiksi hirsitalo- ja puutaloteollisuudelle, mahdollisesti myös rakennusvanereihin. Huomattakoon, että lujuuslajiteltujen tuotteiden laatu on korkea, varsinkin välitukkien pienten oksien ansiosta.

Latvatukkien laatu on lähinnä ongelmallinen. Normaalisti nämä ovat parasta terveoksaisten tuotteiden raaka-ainetta huonekalu- ja sisustustarkoituksiin. Terveoksaisen sahatavaran osuus on turvemaiden latvatukeissa kuitenkin hyvin pieni ja laatu heikohko. Turvemaiden mäntyjen kaikki pienemmät tukit ja tuotedimensiot soveltuvat parhaiten piha- ja ympäristörakentamiseen (esim. rakennus- ja koristetolpat, terassi- ja aitarakenteet, katokset, leikkikentät) sekä pakkaus- ja rakennustarkoituksiin. Lyhyet vuosikasvaimet johtavat sahatavarassa lyhyisiin oksattomiin osiin, mikä ei suosi sormijatkamiseen ja liimaamiseen perustuvaa jatkojalostusta.

Männyn apteeraus ja sisäisen laadun päätteleminen ulkoisten tekijöiden perusteella on soilla erilaista ja ilmeisesti epävarmempaa kuin kangasmailla: saadaanko aidosti oksatonta tyvitukkia (minimipituus) ja/tai terveoksaista latvatukkia? Tukin kokoisen mutta sen laatuvaatimukset alittavan rungon osan osuus eli ns. tukkivähennys on suomänniköissä korkeampi kuin normaalisti kivennäismänniköissä. Lieventämällä tukin pituusvaatimusta nykyisin yleisestä 3,7-4,3 metristä esim. 2,5 metriin, jolloin rungon muotovikojen vaikutus tukin suoruuteen pienenee ja saadaan talteen lyhyetkin oksikkuudeltaan tasalaatuiset rungonosat, on mahdollista lisätä huomattavasti oksattoman tyvitukin, jossain määrin myös terveoksaisen latvatukin kertymää. Edut ovat nähtävissä sekä pääte- että harvennushakkuissa, sekä normaali- että pikkutukkeja apteerattaessa. Turvemaiden harvennusmänniköissä sahapuun kertymä on kuitenkin tällöinkin pieni, vaikka minimiläpimittaa alennettaisiin tasolle 10 cm. Suuri merkitys olisi mahdollisuudella käyttää käyräsahausta, jol-

loin tasaisesti lenkojen pölkkyjen sahaaminen olisi mahdollista verraten hyvällä saannolla ja pienellä vajaasärmäisen laadun osuudella.

Kuusi Etelä- ja Väli-Suomen korpikuusikoista hankittuna voi muodostua jo lyhyellä tähtäimellä tärkeäksi raaka-aineeksi puutuoteteollisuudelle, jonka kotimaiset kuusireservit ovat tällä hetkellä jo lähestulkoon täyskäytössä. Tätä ennustetta tukee se, että viime vuosina on ollut nähtävissä sahauksen selvää siirtymistä männystä kuuseen vientimarkkinatilanteen kehityksen myötä.

Kuusitukkirunkojen arvosta muodostuu karkeasti 50 % järeydestä ja 50 % teknisestä laadusta. Suuri järeys on täten kuusella huomattavasti merkityksellisempää kuin männyllä. Kuusi voikin saavuttaa maan Etelä- ja Väli-Suomen viljavilla turvemailla lähes vastaavien kivennäismaiden järeyden. Runkomuotovioista ja kuivaoksaisuudesta huolimatta tekninen laatu näyttää jopa ennakoitua paremmalta kivennäismaihin verrattuna. Erityisesti tyvitukit kehittyvät viljavilla kasvupaikoilla säännöllisessä metsänhoidossa järeiksi ja usein laadukkaiksi. Merkittävin laadullinen epävarmuustekijä on lylypuun vaihteleva ja vaikeasti ennustettava esiintyminen rungoissa. Lyly heikentää huomattavassa määrin esiintyessään selvästi sahatavaran laatua ja arvoa, ja on syynä puuseppien perinteiseen käsitykseen korpikuusen soveltumattomuudesta vaativiin käyttötarkoituksiin. Puusepänkäytössä niinikään haitallisten pihkataskujen esiintymisestä ei ole myöskään varmuutta, joskin syyt niiden syntymiseen lienevät samat kuin kivennäismailla – tuulille alttiit kasvupaikat ja voimakkaat harvennukset. Myönteistä on lahon harvinaisuus korpikuusikoissa. Tämä voi johtua aiempien hakkuiden puuttumisesta ja/tai happaman kasvualustan sopimattomuudesta tai, epätodennäköisempänä syynä, suopuun vastustuskyvystä lahottajasienille.

Ojitettujen turvemaiden kuusi soveltuu yleisesti ottaen samoihin lopputuotteisiin kuin kivennäismaiden kuusi. Erityisen sopiva loppukäyttökohde on lujuuslajiteltu sahatavara ja sen jatkojalostuskohteet, kuten liimapuupalkit ja -pilarit, kattoristikot, mitallistetut runkotolpat, välipohjakannatteet sekä lattia- ja aluskattorakenteet. Vaikka varsinaisia sorvauskokeita ei liene tehtykään, voidaan käytön rakennusvanereissa ja kertopuussa (LVL) olevan myös täysin mahdollista. Tosin jotkut vanhojen korpikuusten ominaispiirteet, kuten tyvekkyys, kuivaoksaisuus ja suuri sydänpuuosuus saattavat heikentää käyttökelpoisuutta vanereissa. Tyvekkyys heikentää viilun saantoa ja aiheuttaa vinosyisyyttä viiluun (sahatavaran tavoin), kuivat oksat irtoilevat viiluista kuivauksen aikana ja aiheuttavat paikkaustarvetta ja kuiva sydänpuu aiheuttaa viilun halkeilua. Kuivaoksaisen viilun osuus tuotannosta voi myös olla tarpeettoman suuri terveoksaiseen verrattuna.

Hieskoivusta vaneri- ja sahapuuna on tehty kohtuullisen paljon tutkimusta sekä kivennäis- että turvemailla. Hieskoivu muodostaa ylivoimaisen enemmistön turvemailla kasvavasta koivusta, mutta myös rauduskoivua esiintyy ohutturpeisilla soilla. Koivulajien järeys- ja laatuerot heijastuvat melko suoraan myös turve- ja kivennäismaiden koivun välisiin eroihin. Ratkaisevia laatueroja rauduksen hyväksi on ennen kaikkea järeydessä, tukkiosuudessa, rungon suoruudessa, laho- ja pystyoksaisuudessa, lahoisuudessa yleensäkin ja oksattoman tyvitukin pituudessa. Raudus on hiestä hieno-oksaisempaa lehtomaisilla kankailla ja ohutturpeisilla soilla, mutta jostain syystä paksuoksaisempaa koivutukkipuiden tärkeimmillä kasvupaikoilla eli tuoreilla kankailla. Parhaat suokoivikot ovat kuitenkin lähes yhtä laadukkaita kuin parhaat kangaskoivikot. Samanpaksuisten hies- ja rauduskoivujen laatuerot ovat selvemmät kuin samanikäisten, koska hieskoivut ovat tällöin rauduskoivuja hidaskasvuisempina niitä vanhempia.

Pääasiallisilla turvemaiden kasvupaikoillaan, keskiviljavilla ja viljavilla soilla, hieskoivu soveltuvuu yleensä vähäisessä määrin vaneripuuksi, mutta paremmin sahapuuksi pienempien järeysvaatimusten ansiosta. Ruohoisilla turvemailla on yleensä jossain määrin myös laadukkaita, vaneri- ja varsinkin sahapuun mitat saavuttavia hieskoivuja. Vertailevat tulokset puhtaiden hieskoivikoiden ja hieskoivu-mänty sekametsien hieskoivurunkojen

laadusta turvemailla ovat ristiriitaisia, joten selvää vastausta ei ole saatavissa sekametsäkasvatuksen eduista tai haitoista laadun kehittymisen kannalta.

Tukkipuun laatuominaisuudet vaihtelevat huomattavasti koivikoiden välillä erityisesti turvemailla. Täten päätös tukkipuukasvatuksesta on tehtävä metsikkökohtaisesti erityisesti hieskoivikoissa ottaen huomioon olemassa olevien puiden runkomuoto, lahoisuus, elinvoimaisuus ja tyvitukkiosan oksikkuus. Metsikkötasolla voidaan tällöinkin odottaa vain osan tukkipuukelpoisilta näyttävistä puista saavuttavan tukkipuun vähimmäismitat ja varsinkaan vähimmäislaadun päätehakkuuvaiheeseen mennessä. Tietoista metsänuudistamista hieskoivulle ei voida perustella turvemailla sen paremmin puuntuotoksen kuin tukkipuun laatutekijöiden perusteella. Mahdollisen hieskoivulle uudistamisen on perustuttava muihin vaikuttimiin, kuten kasvupaikan sopimattomuuteen hieskoivua tuottavammille puulajeille, täystiheän taimikon saamiseen, maanhoitoon, maisemallisiin syihin, metsien monimuotoisuuteen yms. Takavuosien metsänhoitosuosituksissa hieskoivuvaltaisia metsiä pidettiin yleensä vajaatuottoisina, eikä hieskoivun kasvatukseen ja varsinkaan kasvatusmenetelmien kehittämiseen kiinnitetty juuri huomiota. Hyvällä metsänhoidolla voidaan hieskoivikoissa ilmeisesti päästä saavutettuja parempiin tuloksiin.

Yksittäisistä koivuleimikoista saatavien tukkien laatuerot ovat niinikään suuria sekä vanerin teossa että sahauksessa. Alueelliset erot hieskoivun laadussa ovat viimeisimpien tutkimustulosten perusteella otaksuttuja pienemmät. Pohjanmaan hieskoivut ovat järeydeltään ja osin myös oksikkuudeltaan suunnilleen samalla tasolla kuin vastaavilla kasvupaikoilla eteläisessä Suomessa. Runkojen lahoisuus ja poikkeamat suoruudesta ovat Pohjanmaalla sitä vastoin yleisempiä ja asteeltaan vaikeampia vikoja kuin maan etelä- ja itäosissa.

Turvemaiden hieskoivusta saatavan sahatavaran ja vaneriviilun saanto ja laatu ovat kaikkien tehtyjen tutkimusten mukaan keskimäärin heikommat kuin kivennäismailla, ja hieskoivulla yleisesti heikommat kuin rauduskoivulla. Oksatonta tai vähäoksaista pintaviilua ja oksatonta tai terveoksaista sahatavaraa saadaan jossain määrin myös turvemaiden hieskoivikoiden päätehakkuista ja myöhemmistä harvennuksista. Suuret oksat ja yleiset väri- ja lahoviat, jotka usein ovat vielä laajuudeltaan ja asteeltaan vakavia, rajoittavat kuitenkin parhaimpien laatujen saantoa. Vaneritehtailla paikattavien ja vain väliviiluiksi kelvollisten laatujen osuus on suuri. Sahoilla vastaavasti huomattavin osa tuotannosta soveltuu joko huonekaluihin ja sisustukseen lähinnä vain sokkopuuksi tai aihiotuotantoon paloiteltaviksi pieniin loppukäyttömittoihin. Puuaineen lujuus, jäykkyys tai kovuus eivät sen sijaan juuri rajoita hieskoivun käyttöä mekaanisissa lopputuotteissa.

Kuiduttavan teollisuuden kannalta suopuun ominaisuudet vaihtelevat ainakin joiltakin osin eri tavoin kuin kangasmetsissä, ja erilaisilla metsänhoitotoimenpiteillä voidaan ominaisuuksiin vaikuttaa turvemailla ilmeisesti kangasmaita voimakkaammin (Rissanen & Sipi 2002). Julkisia tutkimuksia suopuun ominaisuuksista ja käyttömahdollisuuksista puumassa- ja paperiteollisuudessa on tehty kuitenkin hyvin vähän, ja niitä tarvittaisiin nopeasti lisää.

Varhimon ym. (2003) mukaan suometsien männiköiden ensiharvennuksista saadaan parhaimmillaan massaominaisuuksiltaan lähes nykyisin käytettävän mäntykuitupuun veroista raaka-ainetta sulfaattisellun valmistuksessa, mutta vaihtelu on poikkeuksellisen suurta sekä leimikoiden, runkojen että rungonosien välillä. Huono sellun valmistustalous ja pieni kuidunpituus keskittyvät säännöllisesti samoihin leimikoihin.

Korkeisiin sellun valmistuskustannuksiin vaikuttavista tekijöistä merkittävimmät ovat puun korkea kuoripitoisuus, alhainen kuivatuoretiheys ja alhainen sellun saanto. Puun kulutukseksi muunnettuna leimikoiden vaihteluväli on noin 5,8-7,0 kuorellista kiintokuutiometriä sellutonnia kohti, mikä vastaa käyttöarvossa lähes 50 euroa/sellutonni. Alhainen sellun saanto on tyypillistä etenkin Pohjois-

Suomen turvemaiden männylle, mutta myös yksittäisten leimikoiden ominaisuuksilla on suuri merkitys. Eri leimikoiden puun prosessoitavuudessa on sinänsä vain pieniä eroja, mutta kuidunpituudessa ja pituusmassassa erot ovat suuria. Massojen valkaisun saannossa tai valkaisukemikaalien kulutuksessa ei ole juuri eroja.

Suomänniköiden harvennusten sellu on tyypillistä ensiharvennusmäntymassaa so. helposti jauhautuvaa, hyvin valoa siroavaa ja paperiksi sitoutumiskykyistä. Se muodostaa myös tiheän ja tiiviin mutta repäisylujuudeltaan ja kuidun lujuudeltaan huonon arkin. Yksittäisten, jopa saman läpimittaluokan puiden ominaisuudet vaihtelevat leimikoissa paljon. Ennen ojitusta muodostunut puu on lyhyempikuituista, hieman huonommin keittyvää sekä saannoltaan huonompaa kuin ojituksen jälkeen muodostunut puu, vaikka se on poikkeuksellisen tiheää.

Varhimon ym. (2003) mukaan turvemaiden harvennuksista saatava mäntykuitupuu ei ole kokonaisuutena huonompaa sellun raaka-ainetta kuin kivennäismaiden ensiharvennuspuu, eikä ennen ja jälkeen ojitusta syntyneen puun osuuden vaihtelu näytä aiheuttavan erityisongelmia massanvalmistukselle. Täten turvemailta saatavaa kuitupuuta voidaan hyvin käyttää yhdessä muista kohteista saatavan pyöreän kuitupuun, mutta ei sahanhankkeen kanssa. Otollisin käyttökohde ei ole siis sellaisen sellun valmistuksessa, jolta vaaditaan suurta lujitekykyä. Hyviä käyttökohteita ovat sen sijaan sellut, joilta vaaditaan suurta sitoutumiskykyä ja joita voidaan käyttää esim. monikerroskartongin tai hienopaperin pintakerroksessa tai pehmopapereissa. Korkea uuteainepitoisuus haittaa olennaisesti käyttöä mekaanisissa massoissa.

Turvemaiden kuusen ja koivun soveltuvuudesta puumassojen valmistukseen on saatavilla vain yrityskohtaisia tuloksia. Turvemaiden kuusen mekaaninen kuidutus tuottanee korkeahkon tiheyden ansiosta hyvän hiokkeen tai hierteen saannon tilavuusyksikköä kohti, mutta massan laadun voidaan olettaa jäävän jälkeen kivennäismaiden kuusesta ja energian kulutuksen olevan kuidutuksessa korkeamman suuren sydänpuuosuuden ja kuivien oksien vuoksi. Turvemaiden koivun alhaisempi puuaineen tiheys johtaa ainakin alhaisempaan sulfaattiselluloosan saantoon kuin kivennäismaiden koivulla, lukuun ottamatta ehkä tiheydeltään vielä alhaisempaa istutusrauduskoivua.

Kirjallisuus

Ahonen, O.-P. & Mäkelä, H. 1995. Etelä-Suomen raakapuuvarat laskennalliseen pölkytykseen perustuen. Metsätieteen aikakauskirja – Folia Forestalia 3/1995: 165-178.

Bhat, K.M. 1980. Variation in structure and selected properties in Finnish birch woods: 1. Interrelationships of some structural features, basic density and shrinkage. Silva Fennica 14(4): 384-396.

Ferm, A. 1990. Nuorten vesasyntyisten hieskoivikoiden kehitys ja lahoisuus turvemailla. Folia Forestalia 744. 17 s.

Forest Products Laboratory. 1999. Wood Handbook – Wood as Engineering Material. General Technical Report FPL-Gtr-113. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 463 s.

Hakkila, P. 1966. Investigations on the basic density of Finnish pine, spruce and birch wood. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 61(5): 1-98.

Hakkila, P. 1968. Geographical variation of some properties of pine and spruce pulpwood in Finland. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 66(8): 1-60.

Hakkila, P. 1979. Wood density survey and dry weight tables for pine, spruce and birch stems in Finland. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 96(3): 1-59.

Hakkila, P., Laasasenaho, J. & Oittinen, K. 1972. Korjuuteknisiä oksatietoja. Folia Forestalia 147. 15 s.

Hakkila, P., Saranpää, P., Kalaja, H. & Repola, J. 2002. Suomalainen havukuitupuu – Laadun hallinta ja vaihtelu. Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimuskeskus. Moniste. 92 s.

Heikurainen, L. & Kuusela, K. 1962. Revival of the tree growth after drainage and its dependence on the tree size and age. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 55(8): 1-15.

Heiskanen, V. 1957. Raudus- ja hieskoivun laatu eri kasvupaikoilla. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 48(6): 1-99.

Heräjärvi, H. 2001. Technical properties of mature birch (Betula pendula and B. pubescens) for saw milling in Finland. Silva Fennica 35(4): 469-485.

Heräjärvi, H. 2002a. Internal knottiness with respect to sawing patterns in Betula pendula and B. pubescens. Baltic Forestry 8(1): 42-50.

Heräjärvi, H. 2002b. Properties of birch (Betula pendula, B. pubescens) for sawmilling and further processing in Finland. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 871. 51 s. + liitteet.

Heräjärvi, H. 2004a. Static bending properties of Finnish birch wood. Wood Science and Technology 37(6): 523-530.

Heräjärvi, H. 2004b. Variation of basic density and Brinell hardness within mature Finnish Betula pendula and B. pubescens stems. Wood and Fiber Science 36(2): 216-227.

Heräjärvi, H. & Verkasalo, E. 2002. Timber grade distribution and relative stumpage value of mature Finnish Betula pendula and B. pubescens when applying different bucking principles. Forest Products Journal 52(7/8): 40-51.

Jalava, M. 1933. Suomalaisen männyn lujuusominaisuuksista. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 18(7):1-187.

Jalava, M. 1945. Suomalaisen männyn, kuusen, koivun ja haavan lujuusominaisuuksista. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 33(3): 1-66.

Jouhiaho, A. & Uusitalo, J. 2001. Ensiharvennusmännyn oksikkuuslaatu Pohjois-Karjalan alueella. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta. Tiedonantoja 130. 39 s.

Kilpeläinen, H. 2001. Runkojen apteeraussimulaattorin käyttöohjeet. Metsäntutkimuslaitos, Joensuun tutkimuskeskus. Moniste. 45 s.

Knuchel, B. 1947. Holzfehler. Verlag Classen. Zürich. 119 s.

Kärkkäinen, M. 1984. Puutavaran mittauksen perusteet. Helsingin yliopiston monistuspalvelu. 252 s.

Kärkkäinen, M. 2003. Puutieteen perusteet. Metsälehti Kustannus. 451 s.

Laasasenaho, J. 1982. Taper Curve and Volume Functions for Pine, Spruce and Birch. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 108. 74 s.

Lilleberg, R. 1995. Harvennustapa männikön ensiharvennuksessa. Metsäteho, katsaus 3/1995. 7 s.

Lindblad, J., Tammiruusu, V., Kilpeläinen, H., Lehtimäki, J., Heräjärvi, H. & Verkasalo, E. 2003. Pieniläpimittaisen koivun hyödyntäminen huonekaluteollisuuden tarpeisiin. Tutkimus- ja kehittämishankkeen loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 899. 68 s. + liitteet.

Lindström, H. 2002. Intra-Tree Models of Juvenile Wood in Norway Spruce as an Input to Simulation Software. Silva Fennica 36(2): 521-534.

Lipitsäinen, R. 1994. Lujuuslajitteluohjeet: T40, T30, T24, T18. Lujuuslajittelukurssit. VTT Rakennustekniikka, Puutekniikka. Julkaisu nro 2/94. 30 s.

Malinen, J., Maltamo, M. & Verkasalo, E. 2005. Stem and Wood Properties of Norway Spruce on Drained Peatlands and Mineral Forest Lands in Southern Finland. Baltic Forestry 11(1): 21-38.

Maltamo, M. & Verkasalo, E. 2002. Turvemaiden kuusi sahapuuna. Teoksessa: Nurmi, J., Verkasalo, E. & Kokko, A. (toim.). Pohjanmaan puunlaatu ja –käyttö. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 861: 129-148.

Mattila, U. & Nuutinen, T. 2004. Predicting quality losses caused by Heterobasidion in Norway spruce. Teoksessa: Claridge, J. & Randle, T. (toim.). The Forestry Woodchain – Quantifying and forecasting quality from forest to end product. Abstracts of Conference Presentations and Posters. Heriot-Watt University, Edinburgh, 28-30 September, 2004. Forest Research. s. 36-37 ja esitelmämateriaalit.

Mehtätalo, L. 2002. Valtakunnalliset puukohtaiset tukkivähennysmallit männylle, kuuselle, koivulle ja haavalle. Metsätieteen aikakauskirja – Folia Forestalia 4/2002: 575-591.

Moilanen, M. & Murtovaara, I. (toim.). 1998. Hieskoivun uudistamisvaihtoehdot ja alikasvosten hyödyntäminen. Metsäntutkimuspäivät Muhoksella 1997. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 717. 89 s.

Möttönen, V., Heräjärvi, H., Koivunen, H. & Lindblad, J. 2004. Influence of felling season, drying method and within-tree location on the Brinell hardness and equilibrium moisture content of wood from 27-35-year-old Betula pendula. Scandinavian Journal of Forest Research 19: 241-249.

Niemistö, P. 1991. Hieskoivikoiden kasvatustiheys ja harvennusmallit Pohjois-Suomen turvemailla. Folia Forestalia 782. 36 s.

Niemistö, P. 1992. Runkolukuun perustuvat harvennusmallit. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 432. 18 s.

Niemistö, P. 1994. Männikön ensiharvennus ala-, ylä- tai laatuharvennusta käyttäen. Folia Forestalia – Metsätieteen aikakauskirja 1994(1): 19–32.

Niemistö, P. 2000a. Hieskoivun kasvatus – paljon kuitupuuta vähin kustannuksin. Sorbifolia 31(3): 99-108.

Niemistö, P. 2000b. Hieskoivut ojitusalueilla - riukuja vai rahapuita? Metsätieteen aikakauskirja 2/2000: 286-291.

Niemistö, P. 2002a. Raudus- ja hieskoivun kasvatus puunkäytön kannalta. Teoksessa: Riekkinen, M. & Verkasalo, E. (toim.). Itä-Suomen puunlaatu ja käyttö. Tutkimuspäivä Kuopiossa 23.10.2001. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 855: 45-56.

Niemistö, P. 2002b. Hieskoivun kasvatuksen tavoitteet käytön kannalta. Teoksessa: Nurmi, J., Verkasalo, E. & Kokko, A. (toim.). Pohjanmaan puunlaatu ja -käyttö. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 861: 105-114.

NS INSTA 142. 1997. Nordiske regler for visuell styrkesortering av trelast. Nordic visual grading rules for timber. Oslo. Norges Standardiseringsforbund. 28 s.

Nuutinen, T., Hirvelä, H., Hynynen, J., Härkönen, K., Hökkä, H., Korhonen, K. T. & Salminen, O. 2000. The Role of Peatlands in Finnish Wood Production – an Analysis Based on Large-scale Forest Scenario Modelling. Silva Fennica 34(2): 131-153.

Ollinmaa, P.J. 1955. Koivun vetopuun anatomisesta rakenteesta ja ominaisuuksista. Acta Forestalia Fennica 64(3): 1-263.

Ollinmaa, P.J. 1959. Reaktiopuututkimuksia. Acta Forestalia Fennica 72(1): 1-54.

Ollinmaa, P.J. 1960. Eräistä ojitetuilla soilla kasvavan puun fysikaalisista ominaisuuksista. Acta Forestalia Fennica 72(2): 1-24.

Ollinmaa, P.J. 1981. Eräistä ojitetuilla soilla kasvaneen puun fysikaalisista ominaisuuksista. Silva Fennica 15(3): 347-358.

Pohjoismainen sahatavara. 1994. Mänty- ja kuusisahatavaran lajitteluohjeet. Suomen Sahateollisuusmiesten Yhdistys, Föreningen Svenska Sågverksmän, Treindustriens Tekniske Forening. Jyväskylä. 64 s.

Riekkinen, M. 2004. Preliminary results of the project 1 in the SPWT consortium. Metsäntutkimuslaitos, Joensuun tutkimuskeskus. 15.9. 2004. Moniste. 26 s.

Rikala, J. 2003. Spruce and pine on drained peatlands – wood quality and suitability for the sawmill industry. Helsingin yliopiston metsävarojen käytön laitoksen julkaisuja 35. 147 s.

Rissanen, A. & Sipi, M. 2002. Puuaineen ja -kuitujen ominaisuudet ojitettujen soiden männyissä. Metsätieteen aikakauskirja 4/2002: 617-619.

Saranpää, P. 2002. Kuusisahatavaran muodonmuutokset kuivauksessa. Teoksessa: Saranpää, P. & Verkasalo, E. (toim.). Kuusen laatu ja arvo. Vuosina 1994–2001 toteutettujen tutkimusten loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 841: 27-37.

Saranpää, P., Repola, J. & Ojansuu, R. 2002. Kuusen puuaineen ominaisuudet ja niiden vaihtelu. Teoksessa: Saranpää, P. & Verkasalo, E. (toim.). Kuusen laatu ja arvo. Vuosina 1994–2001 toteutettujen tutkimusten loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 841: 7-17.

Sauter, U.H., Mutz, R. & Munro, B.D. 1999. Determining juvenile-maturewood transition in Scots pine using latewood density. Wood and Fiber Science 31(4): 416-425.

Seppälä, K. 1969. Kuusen ja männyn kasvun kehitys ojitetuilla turvemailla. Acta Forestalia Fennica 93: 1-88.

Siimes, F.E. & Liiri, O. 1952. Puun lujuustutkimuksia I. Valtion teknillinen tutkimuslaitos. Otaniemi. Tiedoitus 103: 1-88.

Sirén, G. 1952. Hakkuun vaikutuksesta kuusipuun rakenteeseen korpimailla. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 40(32): 1-36.

Stöd, R., Kilpeläinen, H. & Wall, T. 2004. Yield of saw timber from thinnings on drained peatlands. Teoksessa: Claridge, J. & Randle, T. (toim.). The Forestry Woodchain - Quantifying and forecasting quality from forest to end product. Abstracts of Conference Presentations and Posters. Heriot-Watt University, Edinburgh, 28-30 September 2004. Forest Research. s. 170-171.

Stöd, R., Sirén, M., Tanttu, V. & Verkasalo, E. 2003. Jäävän puuston ja poistuman tekninen laatu ensiharvennusmänniköissä. Metsätieteen aikakauskirja – Folia Forestalia 4/2003: 439–464

Stöd, R. & Wall, T. 2004. Technical quality of young Scots pine (Pinus sylvestris) on drained peatlands. Teoksessa: Päivänen, J. (toim.). Proceedings of the 12th International Peat Congress "Wise Use of Peatlands". Volume 2. Poster presentations. Tampere, Finland. 6-11 June 2004, ss. 1276-1280. International Peat Society.

Stöd, R., Wall, T., Kilpeläinen, H. & Verkasalo, E. 2002. Mänty- ja kuusipuustojen teknillinen laatu turvemailla puutuoteteollisuuden kannalta – nykytila ja tulevaisuuden näkymiä. Metsätieteen aikakauskirja – Folia Forestalia 4/2002: 624-633.

Timell, T.E. 1986. Compression wood in gymnosperms. Vol 1-3. Springer-Verlag, Berlin – Heidelberg – New York – Tokyo. 2150 s.

Varhimo, A., Kojola, S., Penttilä, T. & Laiho, R. 2003. Quality and Yield of Pulpwood in Drained Peatland Forests: Pulpwood Properties of Scots Pine in Stands of First Commercial Thinnings. Silva Fennica 37(3): 343-357.

Velling, P. 1979. Puuaineen tiheys kahdessa rauduskoivun jälkeläiskokeessa. Folia Forestalia 416. 24 s.

Verkasalo, E. 1987. Hies- ja rauduskoivutukit vaneriteollisuuden raaka-aineena. Puumies 5: 36-39.

Verkasalo, E. 1990. Tuloksia hies- ja rauduskoivutukkien koesorvauksesta Metsä-Serla Oy:n Hämeen tehtailla. Metsäntutkimuslaitos, metsäteknologian tutkimusosasto. Moniste. 40 s.

Verkasalo, E. 1997a. Evaluating the potential of European white birch (Betula pubescens) for veneer and plywood by timber and wood quality. Teoksessa: Nepveu, G. (toim.). Proceedings of the Second Workshop "Connection between Silviculture and Wood Quality through Modelling and Simulation Software", Berg-en-Dal, Kruger National Park, South Africa, 26-31 August, 1996. IUFRO WPS5.01-04 Biological Improvement of Wood Quality. Publication Equipe de Recherches sur la Qualité des Bois 1997/7: 431-439. INRA-Nancy, France.

Verkasalo, E. 1997b. Hieskoivun laatu vaneripuuna. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 632. 483 s. + liitteet 59 s.

Verkasalo, E. 1998a. Raudus- ja hieskoivun laatu puuaineen tiheyden perusteella arvioituna. Teoksessa: Niemistö, P. & Väärä, T. (toim.). Rauduskoivu tänään – ja tulevaisuudessa, Tutkimuspäivä Tampereella 12.3.1997. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 668: 127-140.

Verkasalo, E. 1998b. Varttuneen hieskoivikon ulkoinen ja sisäinen laatu: käyttömahdollisuudet puuteollisuudessa. Teoksessa: Moilanen, M. & Murtovaara, I. (toim.). Hieskoivun uudistamisvaihtoehdot ja alikasvosten hyödyntäminen. Metsäntutkimuspäivät Muhoksella 1997. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 717: 17-38.

Verkasalo, E. 2002a. Hieskoivu vaneriteollisuudessa. Teoksessa: Nurmi, J., Verkasalo, E. & Kokko, A. (toim.). Pohjanmaan puunlaatu ja –käyttö. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 861: 69-94.

Verkasalo, E. 2002b. Turvemaiden mänty sahapuuna. Teoksessa: Nurmi, J., Verkasalo, E. & Kokko, A. (toim.). Pohjanmaan puunlaatu ja –käyttö. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 861: 115-128.

Verkasalo, E. 2003. Saw Timber Quality and Selected Physical and Mechanical Properties of Wood from Scots Pine on Drained Peatlands in Finland. Proceedings of IUFRO – All Divi-

sion 5 Conference "Forest Products Research – Providing for Sustainable Choices. Rotorua, New Zealand, 11-15 March 2003. s. 114 ja esitelmämateriaalit. Forest Research, Rotorua, New Zealand.

Verkasalo, E. & Kilpeläinen, H. 2004. Saw timber recovery and selected physical and mechanical properties of wood from Scots pine on drained peatlands in Finland. Teoksessa: Päivänen, J. (toim.). Proceedings of the 12th International Peat Congress "Wise Use of Peatlands". Volume 1. Oral presentations. Tampere, Finland. 6-11 June 2004, ss. 521-530. International Peat Society.

Verkasalo, E. & Leban, J.M. 2002. MOE and MOR in static bending of small clear specimens of Scots pine, Norway spruce and European fir from Finland and France and their prediction for the comparison of wood quality. Paperi ja Puu – Paper and Timber 84(5): 332-340.

Verkasalo, E. & Maltamo, M. 2002. Ojitettujen korpien ja kivennäismaiden kuusitukkirunkojen ja puuaineen laatu- ja arvoerot. Teoksessa: Saranpää, P. & Verkasalo, E. (toim.). Kuusen laatu ja arvo. Vuosina 1994-2001 toteutettujen tutkimusten loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 841: 71-90.

Verkasalo, E. , Sairanen, P., Ylikojola, H., Maltamo, M. & Melén, P. 2002. Kuusen laatu ja arvo sahauksessa. Teoksessa: Riekkinen, M. & Verkasalo, E. (toim.). Itä-Suomen puunlaatu ja -käyttö. Tutkimuspäivä Kuopiossa 23.10.2001. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 855: 87-109.

Vuokila, Y. 1982. Metsien teknisen laadun kehittäminen. Folia Forestalia 523. 55 s.

Wall, T., Fröblom, J., Heikkilä, A., Kilpeläinen, H., Lindblad, J., Song, T., Stöd, R. & Verkasalo, E. 2004. Harvennusmännyn hankinnan ja sahauksen kehittäminen. WOOD WISDOM –tutkimusohjelman hankekonsortion julkinen loppuraportti. Laaja versio. Metsäntutkimuslaitos, Joensuun tutkimuskeskus. Puun käytön mahdollisuudet ja puutuotteiden menekki –tutkimusohjelma. 23.11.2004. 146 s. + liitteet 34 s.

Wilhelmsson, L., Arlinger, J., Spånberg, K., Lundqvist, S.-O., Grahn, T., Hedenberg, Ö. & Olsson, L. 2002. Models for Predicting Wood Properties in Stems of Picea abies and Pinus sylvestris in Sweden. Scandinavian Journal. of Forest Research 17: 330-350.

Zobel, B.J. & van Buijtenen, J.P. 1989. Wood variation. Its causes and control. Springer-Verlag, Berlin, Germany. 363 s.

SUOMETSIEN KEHITYSENNUSTEET



8 Suometsien kehitysennusteet

8.1 Suometsien kehitysmallit

Hannu Hökkä

8.1.1 Yleistä kehitysmalleista

Metsäsuunnittelussa metsien kehitys ennustetaan tietokoneohjelmistoilla. Ennustamisen kannalta näissä ns. metsikkösimulaattoreissa keskeisintä ovat kehitysmallit, joilla puolestaan kuvataan metsien luonnonprosesseja – puiden syntymistä, kasvua ja kuolemista – siten kuin ne metsissä eri tilanteissa tapahtuvat. Tällaisia simulaattoreita ovat mm. MELA ja Motti (Siitonen ym. 1996, Salminen ym. 2005, Matala ym. 2004). MELAn ja Motin kasvumallit ovat ns. puutason malleja, joilla voidaan ennustaa yksittäisten puiden syntyminen, kasvun rytmi ja kuoleminen metsikön eri kehitysvaiheissa. Mallien oletuksena on 5 vuoden aika-askel. Puittaisia kehityksiä summaamalla saada metsikkötason kehitys. Lisäksi on tarpeen kuvata eri toimenpiteiden (harvennushakkuut, ojitukset) vaikutus em. prosesseihin.

Koska suopuiden kasvu noudattaa niille ominaista rytmiä ja kasvuun vaikuttavat tekijät ovat soilla osin erilaiset kuin kivennäismailla, on soillamme kasvaille puille, männylle, kuuselle ja hieskoivulle laadittu omat läpimitan ja pituuden kasvumallit (Hökkä ym. 1997, Hökkä 1997). Ne ovat olleet MELAssa käytössä jo vuodesta 1998. Uudistumisen ja kuolemisen kuvaukseen soilla on käytetty kivennäismaiden malleja, koska omia malleja ei ole ollut. Suo-ohjelman yhtenä tavoitteena oli laatia yksittäisten puiden kuolemista kuvaavat mallit soiden kehitysennusteiden tarkentamiseksi. Toinen tärkeä tavoite oli kuvata paremmin erityisesti kunnostusojituksen aikaansaama kasvureaktio suomänniköissä. Suo-ohjelmassa tehdyn kehitystyön jälkeen suopuiden kehitysmalleissa on tarpeen vielä panostaa uudistumisen kuvaukseen ja harvennusreaktion tarkempaan kuvaukseen.

8.1.2 Kuolemismallit männylle ja hieskoivulle

Tulevan viiden vuoden kasvujakson aikana tapahtuvan puiden satunnaisen kuolemistodennäköisyyden ennustamiseksi suokasvupaikoilla esiintyville männyille ja hieskoivulle laadittiin logistiset regressiomallit. Laadinta-aineistona käytettiin pysyviä kasvukoelaoja (SINKA, Penttilä & Honkanen 1986), joista puiden kuolleisuus saatiin kahden, 5 vuoden välein tehdyn mittauksen perusteella ja testiaineistona suometsien harvennuskokeita. Laadinta-aineistossa oli 22 900 mäntyä ja 13 250 koivua. Aineistossa männyn keskimääräinen kuolleisuus oli 2,73 % ja koivun 2,98 % runkoluvusta. Mallit laaditiin yleistettyinä lineaarisina sekamalleina, joissa erotettiin satunnainen metsikkötekijä mallin virhetermistä. Tämä tehtiin siksi, että voitiin mallien estimointivaiheessa ottaa huomioon aineiston rakenne ja saada mallin tekijöiden testit harhattomiksi.

Kummallakin puulajilla kuolemistodennäköisyyttä lisäsivät puun pieni koko, heikko kilpailuasema, metsikön korkea tiheys ja esiintyminen tietyllä kasvupaikalla. Lisäksi koivun kuolleisuus lisääntyi etelää kohden siirryttäessä. Puulajien väliset erot tulivat sekametsiköissä esiin mielenkiintoisella tavalla: männyn kuolleisuus lisääntyi koivun pohja-pinta-alaosuuden lisäntyessä ja koivun elossapysyminen parani kun sekapuuna oli enemmän män-

tyä. Kunnostusojitustarve tai kasvupaikan uudelleen soistuminen eivät vaikuttaneet kuolleisuuteen.

Riippumattomassa testiaineistossa virheettömin tulos saavutettiin malleilla, joissa kasvupaikkatekijä ei ollut mukana. Malleja testattiin myös simuloimalla esimerkkimetsiköitä (tiheä ja harva puusto, sekametsä) 100 vuotta MOTTI-simulaattorilla. Tulosten mukaan laadittujen mallien käyttö lisäsi männyllä 72 % ja koivulla 66 % kuolleisuutta runkoluvun suhteen verrattuna vanhojen mallien ennustamaan kuolleisuuteen ko. jaksolla. Yksityiskohtainen raportti mallitustyöstä on julkaisussa Jutras ym. (2003) sekä männyn mallin osalta myös Nuutinen ym. (2004). Uusien mallien oletetaan parantavan suometsiköiden simulointien luotettavuutta.

8.1.3 Kunnostusojituksen kasvureaktion ennustaminen männyllä

Kunnostusojitusta seuraava puiden kasvun lisääntynen on aiemmin kuvattu MELA- ja MOTTI-simulaattoreissa puukohtaisiin kasvumalleihin sisältyvän kaksiportaisen tasomuuttujan avulla (ks. Hynynen ym. 2002). Kasvun tasoa korjataan alaspäin, mikäli kasvupaikalla on kunnostusojitustarvetta. Tarve ennustetaan logistisella regressiomallilla, jossa pääasiallinen kunnostustarpeen selittäjä on alkuperäisestä ojituksesta kulunut aika (Hökkä ym. 2000). Jos myöhemmin tehdään kunnostusojitus, kasvun taso palautetaan vastaamaan kunnostustarvetta edeltävää tilannetta muuttamalla tasomuuttujan arvoa. Seuraavan kunnostusojituksen tarvetta aletaan ennustaa samalla todennäköisyysmallilla edellisestä kunnostuksesta kuluneen ajan perusteella. Tällä tavalla tehty kunnostusojituksen vaikutuksen kuvaus vaihtelee puulajeittain, mutta puun koko tai kasvupaikka eivät vaikuta kasvun tasokorjauksen suuruuteen.

Uuden mallin laadinnan tavoitteena oli kunnostusojituksen kasvureaktion parempi kuvaus ojitusaluemänniköille, jotka ovat tärkein kunnostusojituskohde. Mallin laadinnassa käytettiin useita aineistoja, joissa oli edustettuna eri aikoina kunnostusojitettuja sekä kunnostusojttamattomia metsiköitä. Aineisto koostui kunnostusojituskokeista eri puolilta Suomea, SINKA-koealoista maan pohjoisosasta, turvemaiden harvennuskokeiden harventamattomista ruuduista lähinnä Pohjois-Suomesta, nk. MESE-aineistosta 20 vuotta vanhoilta ojitusalueilta Keski-Suomesta sekä nk. kunnostusojitusinventointiaineistosta, joka käsitti kunnostusojitettuja kohteita koko maasta. Kaikkiaan aineistossa oli yli 900 viiden vuoden kasvuhavaintoa ja n. 300 metsikköä.

Metsikkötason 5 vuoden pohjapinta-alan logaritmoidulle kasvulle laadittiin lineaarinen sekamalli, jonka kiinteässä osassa kasvua selittivät metsikön pohjapinta-ala, runkoluku, kasvupaikka, perusojituksesta kulunut aika ja turpeen paksuus. Kunnostusojitusta seuraava kasvureaktio oletettiin yhteenlaskettavaksi kasvun perustason kanssa ja kuvattiin epälineaarisella funktiolla, joka oli eri muotoa nevamaisille ja aidoille rämeille. Koska kasvureaktion vaihtelun kuvaaminen eri tilanteissa (kasvupaikka, sijainti, puuston määrä jne.) ei tilastollisen mallin kautta eikä toisaalta aineistonkaan puolesta ollut mahdollista, oletettiin samansuuruinen kasvureaktio kaikissa tilanteissa, kuitenkin niin, että aidoilla rämeillä ja nevamaisilla rämeillä kasvureaktiot olivat erilaiset. Tämän jälkeen mallilla ennustettiin metsikön pohjapinta-alan kehitys ilman kunnostusojitusta ja kunnostusojituksen kanssa eri tilanteissa (vaihdellen kunnostushetken pohjapinta-alaa, metsikön lämpösummaa ja turpeen paksuutta). Simuloiduista kehityksistä laskettiin ja taulukoitiin suhteellinen lisäkasvu suhteessa kunnostamattomaan eri 5-vuotisjaksoittain eri tilanteissa (vaihdellen pohjapinta-alan, lämpösumman ja turpeen paksuuden arvoja).

Malli on taulukon muotoinen kerroinmalli, jossa suhteellinen lisäkasvu on taulukoitu kasvupaikan, lämpösumman, puuston tiheyden ja ajan suhteen 5-vuotisjaksoissa. Kasvureaktion suuruus riippuu kasvupaikasta ja puuston tiheydestä siten, että reaktio on voimakkain karuhkoilla kasvupaikoilla, pohjoi-

sessa ja vähäpuustoisissa metsiköissä. Nämä tulokset ovat aiemmissa tutkimuksissa saatujen tulosten kanssa yhdenmukaisia (esim. Lauhanen & Ahti 2001). Kasvureaktion kesto on kasvupaikasta riippuen 20-30 vuotta ja lisäkasvu on enimmillään Pohjois-Suomen karuhkolla nevamaisella rämeellä jaksolla 6-10 vuotta kunnostuksesta n. 30 % korkeampi kuin ilman kunnostusta. Keskimäärin malli ennustaa metsikkötasolla n. $1 m^3/ha/v$ korkeamman kasvun bruttona (simulaattorissa muut mallit voivat rajoittaa metsikkötason lisäkasvun realisoitumista, joten lisäys esim. elävän puuston tilavuudessa voi jäädä tätä alemmaksi) kunnostusojituksen tuloksena. Vertailutasona on kunnostamattoman metsikön kasvun taso. Koska aineistossa ei ollut riittävästi havaintoja metsiköistä, joissa kasvu olisi katastrofinomaisesti taantumassa kunnostuksen puuttuessa, näitä tilanteita ei eroteltu eikä niitä myöskään voida simuloida.

Metsikkötasolla ennustettu suhteellinen lisäkasvu jaetaan puille suoraan suhteessa niiden edeltävään kasvuun; mitä korkeampi on kunnostusta edeltävä kasvu, sitä voimakkaampi reaktio kunnostukseen. Tämä oletus perustuu riippumattoman nk. KuRaSuo-aineiston biomassakoepuiden kasvujen tarkasteluun, missä edeltävän kasvun ja kunnostusojituksen kasvureaktion riippuvuus oli hyvin selkeä (Hökkä & Kojola 2001).

Mallia sovelletaan yhdessä kunnostusojitustarvetta ennustavan todennäköisyysmallin kanssa samaan tapaan kuin edellä kuvattiin. Jos kunnostus tehdään ennen kuin metsikössä on todettu tarvetta, tai samanaikaisesti kun tarve todetaan, kasvua korjataan uuden taulukkomallin mukaisesti. Jos kunnostusojitusta ei tehdä tällöin, puukohtaisen kasvumallin (Hökkä ym. 1997) kunnostustarvetta kuvaavan tasomuuttujan vaikutus tulee voimaan ja puuston kasvu on tällöin alempi. Kun kunnostus sitten myöhemmin tehdään, sekä em. tasomuuttujaa että taulukkomallia sovelletaan samanaikaisesti. Tämä siksi, että taulukkomallin estimoinnissa kasvureaktio on laskettu suhteessa kaikkiin niihin metsiköihin, missä kunnostusojituksia ei oltu tehty, riippumatta siitä, oliko niissä tarvetta vai ei. Oletettavasti taulukkomallin ennuste yksin on siis lievä aliarvio, jos kunnostusojitus on myöhässä. Lisäksi seuraavaa kunnostusta ajatellen kasvu on oltava tasolla, josta se voidaan kunnostustarpeen ilmetessä pudottaa tasomuuttujalla alemmas. Mahdollinen toinen kunnostusojitus toteutetaan kasvumallin tasomuuttujalla, eikä taulukkomallia enää käytetä, koska mallin laadinta-aineistojen kunnostusojitukset olivat valtaosin ensikertaisia toimenpiteitä.

Koska laadinta-aineisto koostui mäntyvaltaisista ojitusaluemetsiköistä, mallia myös sovelletaan vain mäntyvaltaisille metsiköille, ts. männyn osuus koko pohjapinta-alasta on oltava yli 50 %. Jos koivun tai koivun ja kuusen yhteinen pohjapinta-ala on yli 50 %, käytetään taulukkomallin sijasta puukohtaisten kasvumallien tasokertoimia puulajeittain edellä kuvattuun tapaan.

Kirjallisuus

Hynynen, J., Ojansuu, R., Hökkä, H., Salminen, H., Siipilehto, J. & Haapala, P. 2002. Models for predicting stand development in MELA system. Finnish Forest Research Institute, Research Papers 835. 116 s.

Hökkä, H. 1997. Height-diameter curves with random intercepts and slopes for tres growing on drained peatlands. Foerst Ecology and Management 97: 63-72.

Hökkä, H., Alenius, V. & Penttilä, T. 1997. Individual-tree basal area growth models for Scots pine, Norway spruce and pubescent birch on drained peatlands in Finland. Silva Fennica 31(2): 161-178.

Hökkä, H. & Kojola, S. 2001. Kunnostusojituksen kasvureaktioon vaikuttavat tekijät. Suometsien kasvatuksen ja käytön teemapäivät 26.-27.9.2001 Joensuu. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 832: 30-36.

Hökkä, H., Alenius, V. & Salminen, H. 2000. Predicting the need for ditch network maintenance in drained peatland sites in Finland. Suo 51(1): 1-10.

Jutras, S., Hökkä, H., Alenius, V. & Salminen, H. 2003. Modeling mortality of individual trees in drained peatland sites in Finland. Silva Fennica 37(2): 235-251.

Lauhanen, R. & Ahti, E. 2001. Effects of maintaining ditch networks on the development of Scots pine stands. Suo 52(1): 29-38.

Matala, J., Hynynen, J., Miina, J., Ojansuu, R., Peltola, H., Sievänen, R., Väisänen, H. & Kellomäki S. 2004. Comparison of a physiological model and a statistical model for prediction of growth and yield in boreal forests. Ecological Modeling 161: 95-116.

Nuutinen, T., Hirvelä, H., Härkönen, K. & Hökkä, H. 2004. Valtakunnan metsien 9. inventointiin perustuvat hakkuumahdollisuusarviot vuosille 2002-20031 Pohjois-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueella. Metsätieteen aikakauskirja 3B/2004: 419-435.

Penttilä, T. & Honkanen, M. 1986. Suometsien pysyvien kasvujoealojen (SINKA) Maastotyöohjeet. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 226. 98 s.

Salminen, H., Lehtonen, M. & Hynynen, J. 2005. Reusing legacy FORTRAN in the MOTTI growth and yield simulator. Computers and Electronics in Agriculture 49: 103-113.

Siitonen, M., Härkönen, K., Hirvelä, H., Jämsä, J., Kilpeläinen, H., Salmonen, O. & Teuri, M. 1996. MELA Handbook 1996 Edition. Finnish Forest Research Institute, Research Papers 622. 424 s.

8.2 Valtakunnalliset hakkuumahdollisuudet

Tuula Nuutinen

Kirjoitus on aiemmin julkaistu Metsätieteen aikakauskirjassa (Nuutinen 2000).

8.2.1 Suometsät osana metsätalouden kestävyyttä

Suopuustot ja niiden erityispiirteet

Suomen nykyisestä lähes yhdeksästä miljoonasta suohehtaarista noin puolet on ojitettu. Suurin osa ojituksista on tehty 1960- ja 1970-luvuilla. Valtakunnan metsien 8. inventoinnin mukaan (Tomppo & Henttonen 1996) puuston vuotuinen kasvu soilla on 1950-luvun alusta lähtien noussut noin 10 miljoonasta kuutiometristä lähes 18 miljoonaan kuutiometriin. Suometsissä on arvioitu metsänhoidollisen tilan kannalta tarpeelliseksi tehdä inventointia seuraavan 10-vuotiskauden aikana harvennushakkuita yli miljoonan sekä täydennysojitusta ja ojien perkausta lähes puolentoista miljoonan hehtaarin alueella. Harvennuksia on inventointia edeltävänä 10-vuotiskautena tehty noin puolen miljoonan ja ojaverkoston kunnostusta noin kolmannes miljoonan hehtaarin alueella.

Suometsien hakkuumahdollisuuksien suureneminen seuraa puuston kasvun lisäystä viiveellä, sillä yli puolet turvemailla kasvavista metsistä on vielä nuoria kasvatusmetsiä, joissa puut – riippuen ojituksen ja metsänhoidon onnistumisesta – ovat vasta vähitellen saavuttamassa käyttöpuun koon. Suometsille on tyypillistä puuston ryhmittäisyys. Tiheät kohdat saattavat metsänhoidon näkökulmasta edellyttää harvennusta, mutta kuvion yhteenlaskettu harvennuskertymä jää alhaiseksi. Pieni kertymä ja rungon pieni koko sekä pitkät kuljetusmatkat nostavat harvennuskohteiden korjuukustannuksia. Turvemailla kasvavan puuston tienvarsihinnasta johdettu kantoarvo jääkin yleensä kivennäismaalla kasvavien puustojen kantoarvoa alhaisemmaksi.

Jos ojituksesta on kulunut kauan aikaa, ojien heikentyminen saattaa muuttaa vesitaloutta, minkä seurauksena kasvupaikan tuotoskyky heikkenee ja puiden kasvu pienenee. Harvennuksissa haihduttava puustopääoma pienenee, mikä saattaa edelleen heikentää vesitaloutta. Käytännössä ojien kunnossapito on usein kytketty harvennuksiin. Näin voidaan varmistua, että puuntuotantoon valittujen kohteiden vesitalous on kunnossa. Ojaverkoston kunnostus ja samanaikainen harvennus mahdollistavat lisäksi eri toimenpiteiden suunnittelun ja toteutuksen yhdistämisen ja siten kustannustehokkuuden.

Turvemaiden puuston kasvun ja edelleen hakkuumahdollisuuksien suurenemista saattavat hidastaa metsäojien kunnon heikkeneminen tai metsänhoidon ja hakkuiden laiminlyönti. Turvemaita on viime vuosina harvennettu ja ojia pidetty kunnossa vähemmän kuin valtakunnan metsien inventointi on arvioinut tarpeelliseksi. Syyksi on esitetty turvemaiden puunkorjuun kalleutta. Kuinka paljon suometsiä sitten voidaan ja pitäisi hyödyntää?

Hakkuulaskelmissa korjuukustannukset ja korkovaatimus vaikuttavat kannattavuuteen

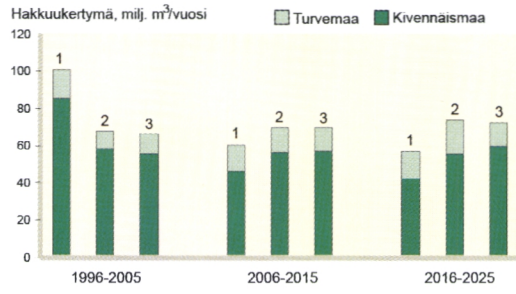
Metsäntutkimuslaitoksessa tehtiin MELA-ohjelmistolla (Siitonen ym. 1999) valtakunnan metsien 8. inventoinnin aineistoon perustuen hakkuulaskelmia suometsien roolin hahmottamiseksi (Nuutinen ym. 2000). Laskelmia varten MELA-ohjelmistossa käytössä olevat turvemaiden puuston kehitystä kuvaa-

vat mallit tarkistettiin vastaamaan uusimpia tutkimustuloksia (Hynynen ym. 2000). Ohjelmistossa otettiin käyttöön mm. malli, joka ennustaa kunnostusojitustarpeen (Hökkä ym. 2000). Metsienkäsittelyä ja taloutta kuvaavat mallit uudistettiin vastaamaan nykyistä metsätalouden käytäntöä. Rämeiden ja karuimpien korpien harvennusten yhteyteen määriteltiin ojien kunnossapito.

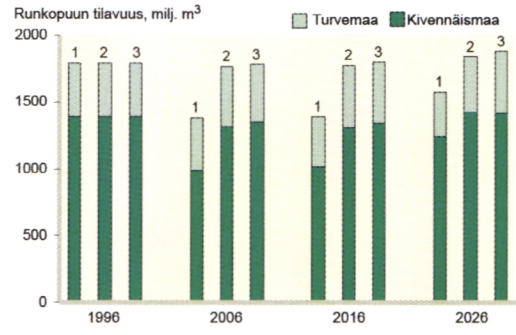
Kaikissa laskelmissa valittiin lineaarisen optimoinnin tavoitefunktioksi nettotulojen nykyarvon maksimointi, jolloin toiminnan kannattavuusvaatimus määräytyi nettotulojen nykyarvon laskennassa käytetyn laskentakoron ja optimoinnissa sovellettujen rajoitteiden yhteisvaikutuksena. Nettotulojen nykyarvon laskenta perustui tienvarsihintoihin, joiden estimaattina käytettiin toteutuneita hankintahintoja. Nettotulot saatiin vähentämällä tienvarsihintaisista hakkuutuloista korjuun ja metsänhoidon kustannukset. Näin otettiin huomioon mm. poistettavien runkojen koon ja hehtaarikohtaisen hakkuukertymän vaikutus nettotuloihin. Tarkastelualueen hakkuumäärät, puuston kehitys ja korjuukustannukset eri laskelmissa määräytyivät simuloitujen käsittely- ja kehitysvaihtoehtojen sekä koko alueen metsätaloudelle asetettujen laskentateknisten tavoitteiden ja rajoitteiden perusteella.

Metsänkäsittelysuositusten mukaan hakattavissa oleva puumäärä

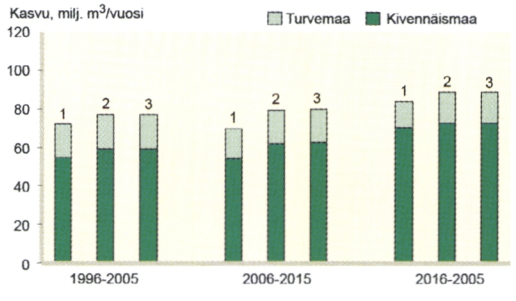
Laskelmassa 1 maksimoitiin viiden prosentin korkokannalla diskontattua nettotulojen nykyarvoa ilman toiminnan kestävyys- tai puuston lopputilarajoitteita. Laskelmassa hakattiin kaikki sovellettujen metsänkäsittelysuositusten mukaan hakattavissa olevat kohteet, jotka eivät täyttäneet kasvattamisen ehdoksi asetettua kannattavuusvaatimusta. Tässä laskelmassa hakkuukertymä vuosina 1996-2005 oli noin 100 miljoonaa kuutiometriä vuodessa, josta 15,2 miljoonaa kuutiometriä oli turvemailla (kuva 1). Hakkuiden seurauksena puuvaranto pieneni yli 20 prosentilla. Muutos oli suurin kivennäismailla (kuva 2), jossa pääosa hakkuukypsästä puustosta



Kuva 1. Hakkuukertymä alaryhmittäin puuntuotantoon käytettävissä olevalla metsä- ja kitumaalla vuosina 1996-2025 laskelmissa 1, 2 ja 3.



Kuva 2. Puuston tilavuus alaryhmittäin puuntuotantoon käytettävissä olevalla metsä-, kitu- ja joutomaalla vuosina 1996-2026 laskelmissa 1, 2 ja 3.



Kuva 3. Puuston kasvu alaryhmittäin puuntuotantoon käytettävissä olevalla metsä-, kitu- ja joutomaalla vuosina 1996-2025 laskelmissa 1, 2 ja 3.

kasvaa. Seuraaviksi vuosikymmeniksi kivennäismaiden hakkuumahdollisuudet putosivat puoleen. Kivennäismaiden hakkuumahdollisuudet olivat 55 prosenttia suuremmat kuin

vastaavan alueen kasvu (kuva 3). Turvemailla välittömät hakkuumahdollisuudet olivat vain 88 prosenttia kasvusta.

Suurimman kestävän hakkuumäärän arvio

Laskelma 2 oli ns. suurimman kestävän hakkuumäärän arvio, joka laskettiin metsäkeskusten alueille maksimoimalla neljän prosentin korkokannalla diskontattua nettotulojen nykyarvoa edellyttäen, että peräkkäisten kausien nettotulo ja kokonaishakkuukertymä eivät saaneet alentua, tukkikertymä säilyi vähintään ensimmäisen kymmenvuotiskauden tasolla ja puuston tuottoarvo neljän prosentin korkokannalla laskettuna oli laskelma-ajan lopussa vähintään laskelman alkuhetken tasolla. Tässä laskelmassa hakkuukertymä vuosina 1996-2005 oli 68 miljoonaa kuutiometriä vuodessa, josta 9,7 miljoonaa eli 14,3 prosenttia oli turvemailla. Kahden seuraavan vuosikymmenen aikana hakkuukertymä lähestyi 74 miljoonaa kuutiometriä vuodessa ja vuotuinen hakkuukertymä suureni turvemailla, mutta pieneni kivennäismailla. Kivennäismaiden hakkuumahdollisuuksien väheneminen oli kuitenkin vain tilapäinen ilmiö ja johtui lähinnä metsien ikärakenteesta. Vuosina 1996-2005 kivennäismaiden hakkuukertymä oli lähellä kasvua, mutta turvemaiden vain puolet kasvusta. Kahtena seuraavana vuosikymmenenä turvemaiden hakkuukertymä saavutti kasvun ja samanaikaisesti kivennäismailla kasvu ylitti hakkuukertymän.

Turvemaiden ns. suunnitevaikutus

Laskelmassa 3 kestävyysrajoitteet määriteltiin erikseen kivennäis- ja turvemaille. Tarkoituksena oli selvittää, oliko kivennäismaiden osuus suurimman kestävän hakkuumäärän arviosta suurempi kuin erikseen kivennäismaille laskettu suurin kestävä hakkuumäärä eli voitiinko turvemaille ennakoitujen hakkuumahdollisuuksien perusteella nostaa kivennäismaiden osuutta hakkuista. Tämä turvemaiden ns. suunnitevaikutus oli havaittavissa lähinnä hakkuiden ajoituksessa ja erityisesti Pohjois-Suomessa, jossa turvemailla on suurempi merkitys kuin Etelä-Suomessa.

Turvemaiden hakkuiden kannattavuus ja korjuukustannukset

Turvemaiden hakkuiden kannattavuus riippuu mm. korkovaatimuksesta. Mitä korkeampi on nettotulojen nykyarvon laskennassa käytetty korko esimerkiksi suurimman kestävän hakkuumäärän arviota laskettaessa, sitä vähemmän turvemaita harvennetaan, vaikka kokonaishakkuukertymä kasvaakin.

Koska MELA-ohjelmistossa hakkuukertymä ja korjuukustannukset lasketaan aina tapahtumahetken korjuuolosuhteiden mukaisesti, laskelmien tuloksena saadut 10-vuotiskausien keskimääräiset hakkuukertymät ja korjuukustannukset kuvaavat korjuuolosuhteita ao. tuotanto-ohjelman seurauksena. Esimerkiksi Pohjois-Savon metsäkeskuksen alueella vuosina 1996-2005 kivennäismaiden keskimääräinen hakkuukertymä Laskelmassa 1 oli 30 m^3/ha suurempi kuin Laskelmassa 2. Vuosina 2006-2015 kivennäismaiden keskimääräinen hakkuukertymä aleni melkein 70 m^3/ha ja kustannukset kuutiometriä kohti nousivat lähes neljänneksen. Laskelmassa 2 sen sijaan hakkuukertymä putosi vuosina 2006-2015 vain 10 m^3/ha ja korjuukustannukset pysyivät kolmen vuosikymmenen ajan noin 50 markassa kuutiometriltä. Turvemailla laskelmien välinen ero oli pienempi eivätkä korjuukustannukset juuri nousseet kolmen vuosikymmenen aikana. Pohjois-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueella turvemaiden korjuukustannukset olivat kolmen vuosikymmenen ajan keskimäärin 10 markkaa kuutiometriltä suuremmat kuin Pohjois-Savossa kummassakin laskelmassa. Laskelmassa 2 turvemaiden korjuukustannukset putosivat kolmen vuosikymmenen aikana noin 10 prosenttia.

Suometsien tulevaisuuteen liittyvä epävarmuus

Laskelmien käyttökelpoisuus ja niiden pohjalta tehtyjen päätösten osuvuus riippuu tehdyistä oletuksista ja laskelmissa käytetyistä malleista. Suometsien kehitystä koskevaa tietoa on vielä vähän eikä näissä laskelmissa voitu ottaa huomioon mm. suometsien ojittamatta tai metsien hoitamatta jättämistä. Suometsien vesi- ja ravinnetalouden kuvaamisessa on vielä paljon tehtävää ennen kuin ojituksen kannattavuus voidaan ratkaista endogeenisesti – ilman annettuja suosituksia – tai metsätalouden ympäristökuormitus sekä sen torjunta osana kestävää metsätaloutta voidaan ottaa mukaan laskelmiin.

Tutkimuksen keinoin voidaan tarkastella, paljonko suometsiä voidaan hakata, mutta tutkimuksen tehtävä ei ole esittää, paljonko suometsiä pitää hakata. Hakkuista päättävät puunhankkijat ja metsänomistajat raakapuumarkkinoilla. Jos metsänomistajien kantohintaodotusten ja teollisuuden puusta-maksukyvyn välillä on ristiriita, suometsät – tai ainakin osa niistä – saattavat jäädä puuntuotannon ulkopuolelle. Puunhankkijat voivat tietysti varautua korjuukustannusten nousuun teknologisilla innovaatiolla. Korjuuolosuhteisiin esimerkiksi metsiä hoitamalla tai leimikoita keskittämällä voivat vaikuttaa sekä puuntuottajat että puunhankkijat.

Metsien käyttöön kohdistuu lisäpaineita sekä puuraaka-aineen tuotannon että metsien muiden käyttömuotojen ja luonnonsuojelun turvaamiseksi. Metsä- ja ympäristöpolitiikan haasteena on tuki- ja ohjaustoimenpiteiden kohdentamiseksi selvittää, miten eri käyttömuodot sijoittuvat ja sijoitetaan kivennäis- ja turvemaille yhteiskunnan hyvinvoinnin turvaamiseksi. Päätöksiä varten tarvitaan tietoa, miten paljon puuntuotannon maata raakapuun saatavuuden turvaamiseksi tarvitaan eri suojelu- ja puuntuotanto-ohjelmissa, eri markkinatilanteissa ja teknologiavaihtoehdoissa.

Kirjallisuus

Hynynen, J., Ojansuu, R., Hökkä, H., Salminen, H., Haapala, P., Härkönen, K. & Repola, J. 2000. Models for predicting stand development – Version for description of biological processes in MELA System. Metsäntutkimuslaitos. Käsikirjoitus.

Hökkä, H., Alenius, V. & Salminen, H. 2000. Predicting the need for ditch network maintenance in drained peatland sites in Finland. Suo 51(1): 1-10.

Nuutinen, T. 2000. Suometsät osana metsätalouden kestävyyttä. Metsätieteen aikakauskirja 2/2000: 282-285.

Nuutinen, T., Hirvelä, H., Hynynen, J., Härkönen, K., Hökkä, H., Korhonen, K. & Salminen, O. 2000. The role of peatlands in Finnish wood production – an analysis based on large-scale forest scenario modelling. Metsäntutkimuslaitos. Silva Fennica 34(2): 131-153.

Siitonen, M., Härkönen, K., Kilpeläinen, H. & Salminen, O. (toim.) 1999. MELA Handbook, 1999 Edition. Metsäntutkimuslaitos. 492 s.

Tomppo, E. & Henttonen, H. 1996. Suomen metsävarat 1989-1994 ja niiden muutokset vuodesta 1951 lähtien. Metsätilastotiedote 354.

9 Yhteenveto

Erkki Ahti, Seppo Kaunisto, Mika Nieminen ja Timo Penttilä

9.1 Taustaa

Suomessa on VMI9:n mukaan metsätalouden maalla ojitettuja soita noin 4,9 miljoonaa hehtaaria ja ojitettuja kankaita 1,3 miljoonaa hehtaaria. Koko ojitusalasta 5,6 miljoonaa hehtaaria on metsämaata. Ojitetuista soista noin 0,6 miljoonaa hehtaaria on kitu- tai joutomaita, jotka pääosin jäävät tulevaisuudessa puuntuotannon ulkopuolelle. Metsätalouden tarpeisiin uudisojituksia ei enää tehdä, joten ojittamattomia soita jää runsaat 4 miljoonaa hehtaaria, joista pääosa on Pohjois-Suomessa.

Ojitusaluemetsien vuotuinen kasvu oli VMI9:n mukaan noin 24 miljoonaa m^3 ja vuotuiset hakkuut suometsistä noin 9 miljoonaa m^3. Metsänparannustoiminnalla aikaansaatu puuston kasvun lisäys on noin 15 miljoonaa kuutiometriä eli suopuustojen kasvu on lähes kolminkertaistunut luonnontilaan verrattuna. Ojitusalueiden pinta-alasta suurin osa on nyt kasvatusmetsiä, joten sekä metsien kasvu että erityisesti hakkuut tulevat edelleen selvästi lisääntymään. Parin vuosikymmenen kuluessa ojitusaluemetsien osuus Suomen metsien hakkuumahdollisuuksista tuleekin nousemaan noin neljännekseen. Suometsien suotuisa kehitys ja metsänparannusinvestoinneilla aikaansaadun puuntuotantopotentiaalin tarkoituksenmukainen hyödyntäminen edellyttävät kuitenkin, että käytännön metsätalouden toimijoilla on sekä metsänkasvatuksen biologisista perusteista että erilaisten metsänkäsittelyvaihtoehtojen tuotoksesta ja taloudesta riittävästi luotettavaa tutkimustietoa. Erinomaisen yhteistyöfoorumin tätä tietoa tuottaville ja välittäville suontutkijoille tarjosi vuosina 1999-2003 "Suometsien ekologisesti ja taloudellisesti kestävän kasvatuksen ja käytön" tutkimusohjelma (SUO), jonka tuloksista osa on tätä loppuraporttia kirjoitettaessa jo siirtynyt osaksi käytännön metsätalouden arkipäivää.

9.2 Metsänkasvatuksen perusteet turvemailla

Suopuuston kehitys riippuu olennaisesti kasvupaikan vesi- ja ravinnetaloudesta. Turvemailla nämä kasvutekijät ovat jatkuvassa muutostilassa ja niihin on sen vuoksi kiinnitettävä enemmän huomiota kuin kangasmetsien kasvatuksessa ja hoidossa. Metsänkasvatus turvemailla perustuu Suomessa siihen periaatteeseen, että kasvupaikan luontaiset ravinnevarat riittävät taloudellisesti kannattavaan metsänkasvatukseen, kun vesitalous on kunnossa. Sellaiset kasvupaikat, joilla ei luontaisen ravinteisuuden tai ilmastollisten olojen puolesta ole edellytyksiä kannattavaan puuntuotantoon, jätetään kustannuksia vaativien toimenpiteiden ulkopuolelle.

Ojankaivun helpottumisen myötä koneellisten ratkaisujen kehittyessä 1950-1970-luvuilla lisääntyivät kuitenkin myös nykyisin ojituskelvottomiksi luokiteltavien avosoiden, vähäpuustoisten nevaisten soiden ja karujen rämeiden ojitukset. Samalla ojitustoiminta laajentui ilmastoltaan epäedullisille alueille Pohjois-Suomeen. Ravinnetaloudeltaan ja maantieteelliseltä sijainniltaan metsänkasvatukseeen soveltumattomien ojitusalueiden kohdalla periaatteena on, että puuston kasvatusta voidaan jatkaa aina päätehakkuuvaiheeseen asti, mikäli puusto on selvästi elpynyt jo tehtyjen metsänparannustoimien seurauksena ja mikäli puuston kasvatus on vielä tarvittavat ojitus- ja lannoitusinvestoinnit huomioon

ottaen taloudellisesti järkevää. Epätasapainoisen ravinnetalouden ja sen edellyttämien toistuvien lannoitusten vuoksi toisen puusukupolven kasvattaminen tulee näillä soilla kyseeseen todennäköisesti vain harvoin.

Kasvupaikkojen ravinteisuuden ja tuottokyvyn arviointi on perinteisesti tehty pääasiassa tätä varten kehitetyn kasvupaikkaluokitusjärjestelmän avulla. Ojitettujen soiden kasvupaikkaluokitusta on viime aikoina kehitetty laajentamalla ns. turvekangastyyppiluokitus soveltuvaksi kaikille ojitetuille soille, toisin sanoen myös ojikko- ja muuttumavaiheen ojitusalueille. Metsäsuunnittelun ja muun metsien käytön ohjauksen päätöstukea varten kasvupaikan turvekangastyypin tunteminen ja tieto lämpösummasta yhdistettynä metsikkökuvion tavanomaisiin puustotunnuksiin riittää yleensä perusteeksi niin kunnostusojitukseen, ravinnetalouden hoitoon kuin metsänkäsittelytoimenpiteisiinkin liittyvissä kysymyksissä. Joissain tapauksissa kasvupaikkaluokituksen tueksi tarvitaan muitakin menetelmiä metsänkasvatuksen biologisten perusteiden tarkentamiseen – esimerkiksi lannoitusten ja kunnostusojitusten kohdentamiseksi tarkoituksenmukaisille kohteille turpeen typpipitoisuuden ja lämpösumman suhteen kriittisillä alueilla.

9.3 Ravinteiden saatavuus ja riittävyys

Typpi on puiden eniten tarvitsema pääravinne. Käyttökelpoisen typen määrä ratkaisee kasvupaikan puuntuotoksen potentiaalisen tason. Suotyyppi kuvaa paljolti juuri turpeen typpipitoisuutta. Ojitustoiminnan vilkkaimpina vuosina kohteiksi tuli kuitenkin myös verrattain karuja soita sekä soita varsin matalan lämpösumman alueilta Pohjois-Suomessa. SUO-ohjelman tutkimuksissa vahvistui mäntypuuston kasvun ja turpeen kokonaistyppipitoisuuden välinen sekä lisäksi turpeen typpipitoisuuden ja maatumisasteen välinen kiinteä riippuvuus. Tämä mahdollistaa halvan ja helposti maastossa määritettävän turpeen maatumisasteen käyttämisen kasvupaikan typpitalouden arvioimisessa. Tutkimuksissa saatiin lisätietoa myös turpeen typpipitoisuuden ja lämpösumman raja-arvoista, joita alhaisemmilla arvoilla lannoitus ei enää lisää puuston kasvua. Näitä tuloksia voidaan käyttää hyväksi myös valittaessa kunnostusojituskohteita varsinkin Pohjois-Suomessa.

Ravinteiden riittävyyden osalta tärkein pääravinne on kalium, mutta myös hivenravinteet, erityisesti boori, ovat olennaisia. SUO-ohjelman hankkeissa on tarkennettu sekä männyn, kuusen että koivun lehtien kaliumpitoisuuksien raja-arvoja ja voitu laajentaa neulasanalyysin käyttöä myös syksyllä otettuihin näytteisiin pelkkien talvinäytteiden sijasta. Samalla on kehitetty menetelmää pintakasvillisuuden lehtien kaliumpitoisuuden käyttämiseksi puuston ravinnetilan kuvaajana. Aikaisemmin kerättyjen aineistojen perusteella on todettu, että hakkuin käsittelemättömillä, alun perin puustoisilla soilla turpeen kaliumvarat eivät ole yleensä pienentyneet ojitusten ikääntyessä ja puuston kasvaessa. Toisaalta eräillä 60-70 vuoden aikana toistuvin kasvatushakkuin käsitellyillä vanhoilla rämeiden ojitusalueilla turpeen kaliumin määrät ovat olleet selvästi pienempiä kuin trofialtaan vastaavilla luonnontilaisilla rämeillä. Erityisesti Länsi-Suomessa on ojitusalueita, joilla on havaittu voimakkaitakin kaliuminpuutosoireita. On vaikea esittää yleispätevää totuutta kaliumin riittävyydestä niin kauan kuin kokeellisia tutkimustuloksia hakkuun vaikutuksesta ekosysteemin kaliumvarastoon ei ole käytettävissä.

SUO-tutkimusohjelman aikana kerättiin VMI8:n pysyviltä koealoilta laaja ja edustava turvenäyteaineisto, joka käsittää 351 ojittamatonta ja 657 ojitettua kohdetta. Puuston kasvatuksen kannalta tärkeimmät turpeen pintakerrosten ravinnemäärät ja pitoisuudet on analysoitu. Ravinnemääritysten tulokset on yhdistetty tietokannaksi VMI8:n puusto- ja kasvillisuustietoihin ja näytteenoton yhteydessä päivitettyihin maankäyttö- ja metsänkäsittelytietoihin. Aineisto on poikkileikkaus turvemaiden ravinnevarojen nykytilasta ja antaa mahdollisuuden vertailla erilaisten ojitet-

tujen ja ojittamattomien kasvupaikkojen ravinnetilan kehitystä myös tulevaisuudessa. Tämän aineiston hyödyntämistä jatketaan vuosina 2004-2008 Metlan resurssoimassa hankkeessa "Ojitettujen turvemaiden ravinnemäärät ja ravinnedynamiikka".

9.4 Suometsien lannoitus

Tutkimusohjelman aikana tehdyt lannoitustutkimukset ovat vahvistaneet käsitystä fosforilannoituksen pitkäaikaisesta, jopa 25-30 vuotta kestävästä vaikutuksesta ja toisaalta eri fosforilähteiden vähäisestä vaikutuserosta pitkällä aikavälillä. Samoin on vahvistunut käsitys nykysuositusten mukaisen kalisuolalla tehdyn lannoituksen vaikutuksen kestosta (noin 15 vuotta ± joitakin vuosia) sekä biotiitin kalisuolaa pitkäaikaisemmasta vaikutuksesta neulasten kaliumpitoisuuksiin. Apatiitti+ biotiitti -seoksella lannoitusväli voitaisiin ilmeisesti venyttää noin 25 vuoteen toistuvaa lannoitusta tarvitsevissa suopuustoissa. Puuntuhkalannoitus on lisännyt puuston kasvua pitkällä aikavälillä yllättävän karuillakin soilla. Runsastyppisillä soilla mäntypuustojen lannoitus puuntuhkalla on osoittautunut PK-lannoitusta pitkävaikutteisemmaksi samojakin ravinnemääriä käytettäessä. Typen lisäys on yhä selkeämmin osoitettu tarpeettomaksi tai jopa haitalliseksi suometsien lannoituksessa; karuilla soilla vaikutusaika jää lyhyeksi, runsastyppisillä soilla seurauksena voi olla kasvuhäiriöitä. Runsastyppisillä rämeillä on fosfori-kalilannoituksella saatu yleisesti yli 10 %:n sisäinen korko peruslannoituskohteissa jopa Pohjois-Pohjanmaan ilmastoolosuhteissa.

9.5 Kunnostusojituksen tarve

Kunnostusojitus alentaa pohjavesipinnan tasoa keskimäärin 5-10 cm. Puuston kasvu ei kuitenkaan kovin paljon lisäänny, jos pohjavesipinta jo ennen kunnostusojitusta on ollut suhteellisen syvällä, puuston tilavuus yli 100 m^3/ha ja vuosikasvu suuruusluokkaa 4-5 m^3/ha/v. Tämä johtuu siitä, että suurikokoinen ja hyvin kasvava puusto ottaa turpeesta niin paljon vettä, että pohjavesipinta pysyy normaalivuosina riittävän syvällä, vaikka ojat olisivat jo osittain kasvaneet umpeen. Runsaspuustoisissa suometsissä kunnostusojituspäätöksen tulisikin perustua ojaston kunnon lisäksi puuston tilavuuteen ja elinvoimaisuuteen. Sen sijaan karummilla kohteilla – joilla sekä kuutiomäärä että kasvu ovat pienemmät – kunnostusojituspäätös tulisi nykyiseen tapaan tehdä ojaston kunnon perusteella.

Mm. VMI8:n yhdeydessä arvioitiin, että Suomen suometsien vuotuinen kunnostusojitustarve olisi ojien teknisen kunnon perusteella ollut n. 115 000 hehtaaria vuodessa. 1990-luvulla ja sen jälkeen vuotuinen kunnostusojitusala on sekä metsätilaston että VMI9:n mukaan vaihdellut välillä 70 000-80 000 hehtaaria, joten tavoitteita ei ole saavutettu. VMI9:ssä kunnostusojitusta ehdotetaan seuraavalle 10-vuotisjaksolle jo keskimäärin n. 250 000 hehtaarille vuodessa. Koska myös VMI9:n ehdotus perustuu pääosin ojaston teknisen kunnon arviointiin, eikä puuston vaikutusta pohjavesipinnan syvyyteen ole otettu huomioon, todellinen vuotuinen kunnostusojitustarve jäänee huomattavasti alle 250 000 hehtaarin. Toisaalta suometsien uudistushakkuut, joissa puuston vaikutus eliminoituu, ovat nopeasti lisääntymässä ja kunnostusojituksen tarve tätä kautta kasvamassa.

9.6 Harvennushakkuut

Viime vuosien harvennushakkuutarve on ollut n. 100 000 hehtaaria vuodessa. Tästä tavoitteesta on kyetty toteuttamaan noin 50 %. VMI9:n mukaan seuraavien 10 vuoden harvennushakkuutarve on n. 153 000 hehtaaria vuodessa, josta suuri osa (63 %) vielä ensiharvennuksia ja loput (37 %) muin metsänhoidollisin perustein tehtäviä harvennuksia.

Suometsien ensiharvennuksissa poistettavien runkojen koko ja hehtaarikohtainen kertymä ovat useimmiten pieniä, jos harvennus tehdään varhaisessa kehitysvaiheessa. Kun metsäkuljetusmatkat ovat usein pitkiä, korjuukustannukset nousevat väistämättä suuriksi. Turvemaiden puunkorjuuongelmat eivät pääsääntöisesti olekaan teknisiä vaan taloudellisia.

Suometsien ensiharvennukset on usein kytketty kunnostusojitukseen, johon on saanut valtion metsänparannusrahoitusta 20 vuotta uudisojituksen jälkeen. Karuhkoilla rämeillä tai alunperin vähäpuustoisilla ojituskohteilla puusto ei vielä tässä ajassa ole kasvanut riittävästi, jotta ensiharvennus olisi kannattava. Jos puustopääomaa tällaisessa tilanteessa voimakkaasti pienennetään, syntyy myös kasvutappioita. Tällaiset kohteet tulisi mahdollisuuksien mukaan käsitellä nuoren metsän kunnostuskohteina. SUO-ohjelman tulosten mukaan kaupalliset ensiharvennukset tulisi suometsissä tehdä aiempaa käytäntöä myöhemmin, lähtöpuuston tilavuuden lähestyessä noin 150 m^3/ha. Tällöin pinoon saatava kertymä kasvaa, korjuun kannattavuus paranee ja kasvatettavan puuston kasvu säilyy hyvänä. Karuilla rämeillä ja Pohjois-Suomessa riittää yksi harvennus ennen päätehakkuuta. Paremmillakin kasvupaikoilla selvitään yleensä kahdella harvennuksella. Suometsissäkin harvennushakkuut parantavat selvästi metsänkasvatuksen kannattavuutta.

9.7 Suometsien uudistaminen

VMI8:n mukaan uudistettavia puustoja oli ojitusalueilla n.180 000 hehtaaria ja varttuneita kasvatusmetsiä n. 740 000 hehtaaria. VMI9:n (1996-2004) mukaan edellisen 10-vuotisjakson aikana uudistettiin n. 15 000 hehtaaria suometsiä vuodessa. Seuraavalle 10-vuotisjaksolle VMI9:ssä ehdotettiin uudistushakkuita tehtäväksi vuosittain lähes 50 000 hehtaaria, joten suometsien uudistaminen on nopeasti lisääntymässä kasvatusmetsien tullessa uudistuskypsään ikään.

Suometsien uudistaminen on laaja tutkimuskohde, jossa mielenkiinnon kohteena ovat mm.

- luontaisen uudistamisen mahdollisuudet ottaen huomioon pohjavesipinnan läheisyyden sekä pintakasvillisuuden ja turvemaalajin erityisominaisuudet
- metsänviljelyn menetelmät: verhopuuston käyttö, mätästys ja muut maanmuokkauksen muodot
- ravinteiden riittävyys toisen puusukupolven aikana, ojitusalueiden taimikkotuhoriskit
- turvemaametsien uudistamiseen liittyvät vesistövaikutukset
- suometsien uudistamisen taloudellisuus: voimakkaamman maanmuokkauksen, mahdollisten lannoituksen, kunnostusojituksen ja vesiensuojelun järjestelyiden aiheuttamat lisäkustannukset.

Suometsien uudistaminen ei kuulunut tutkimusohjelman aihepiiriin, mutta sitä selvittelevä hanke on käynnistynyt Metsäntutkimuslaitoksessa ohjelman päätyttyä.

9.8 Suopuustojen tekninen laatu ja käyttömahdollisuudet

Suopuustojen teknisen laadun tutkimus oli keskeinen osa SUO-ohjelmaa. Päähuomio tutkimuksissa oli suometsien harvennus- ja päätehakkuuleimikoiden puustojen ulkoisessa ja puuaineksen sisäisessä laadussa sekä leimikoista saatavissa olevissa puutavaralajeissa ja niiden tuotelähtöisten käyttömahdollisuuksien arvioinnissa erityisesti puutuoteteollisuuden tarpeisiin. Suunnilleen kaikki nyt hakattavissa oleva suopuustot ovat alun perin syntyneet ennen ojitusta, kasvun ja laatukehityksen kannalta epäedullisissa oloissa. Tässä suhteessa suometsien uudistushakkui-

den jälkeen synnytettävät ja paljaiden turvemaiden, esim. vanhojen turvetuotantoalueiden metsittämisessä syntyvät metsät lienevät lähellä vastaavan viljavuustason kangasmaiden metsiä. Avainasemassa tulevat tällöin olemaan kasvupaikalle sopiva puulaji ja uudistamistapa sekä nuoren metsän hoito. Suometsien nykykuvan perusteella keskeisiä ovat lyhyellä ja keskipitkällä aikavälillä mänty- ja koivuharvennuspuu ja päätehakkuiden kuusitukki, mutta pitkällä aikavälillä myös mäntytukki ja pienessä määrin koivutukki.

Sahapuun kuten myös pyöreän rakennuspuun kertymät ovat suometsien männiköiden ja kuusikoiden harvennuksissa lähes säännöllisesti pienemmät kuin kangasmailla, mutta jäävä puusto tarjoaa oikein toteutetun laatuharvennuksen ja ajourasuunnittelun jälkeen suunnilleen yhtä hyvän, osin jopa oletettua paremman lähtökohdan tulevaisuuden tukkipuuston laatukasvatukselle. Suometsien päätehakkuukuusikoiden puutavara ja puuaine on pääosin lähes yhtä laadukasta kuin kangasmailla, varsinkin tiheys, lujuus ja jäykkyys ovat hyvällä tasolla. Maannouseman aiheuttamia lahovikoja suokuusikoissa ei juuri esiinny. Hakkuukertymät, rungot ja tukit ovat kuitenkin pienempiä ja puuaine yleensä kuivaoksaisempaa. Soiden kuusitukki on parhaimmillaan korkealaatuisena rakennuspuuna, harvemmin sitä arvokkaampana rakennuspuusepän- tai huonekalupuuna. Järeiden tyvi- ja välitukkien ominaisuudet vaneripuuna vaikuttavat myös hyviltä. Suometsien päätehakkuumänniköissä tukkipuun kertymä on harvoin hyvä, ja tuotteiden saanto ja laatu ovat yleensä tavallista heikommat. Sopivia tavaralajeja ovat esim. lyhyet rakennus- ja puusepäntukit, hirsitukit ja vähemmän arvokas rakennus- ja pakkaustavara.

Yhteistä suomännylle ja -kuuselle ovat mutkat, lenkous, lylypuu ja kuivat oksat. Rungon sisäistä laatua on myös vaikeampi päätellä ulkoisten ominaisuuksien perusteella kuin kangasmailla. Puuaineen tyypillisin piirre on tasalaatuisuuden puute, koska runkoihin ennen ojitusta syntynyt puuaines eroaa merkittävästi ojituksen jälkeen syntyneestä. Ennen ojitusta syntynyt vanha puu on monessa suhteessa teknisesti hyvää eli tiivissyistä, tiheydeltään erinomaista, varsin lujaa ja sydänpuupitoista; kaikessa käytössä haitallista nuorpuuta siinä on tavallista vähemmän, mutta toisaalta se on runsasoksaista, usein lylyistä ja vaikeasti käsiteltävää. Mänty- ja kuusitukkirunkojen ylemmissä osissa esiintyy myös mutkia ja kuivaoksaisuutta enemmän kuin kangasmailla.

Hieskoivusta on tehty laajat vaneripuututkimukset sekä turve- että kangasmailla 1950- ja 1990-luvuilla, joiden perusteella voidaan tehdä pitkällekin meneviä johtopäätöksiä. Puutuoteteollisuuden monipuolistuessa alettiin 1990-luvun lopulla myös tutkia, millä edellytyksillä suokoivuakin voidaan sahata ja jatkojalostaa. Hieskoivun raudusta pienempi koko ja yleensä heikompi laatu näkyvät ratkaisevalla tavalla myös turvemaiden koivikoiden keskimäärin heikompana laatuna ja arvona. Parhaat suokoivikot ja niiden koivutukit ovat kuitenkin lähes yhtä laadukkaita kuin parhaat kangaskoivikot. Keskiviljavilla soilla hieskoivu soveltuu yleensä vähäisessä määrin vaneripuuksi, mutta paremmin sahapuuksi pienempien järeysvaatimusten ansiosta. Turvemaiden hieskoivusta saatavan vaneriviilun ja sahatavaran saanto ja laatu ovat keskimäärin heikommat kuin kangasmailla. Oksatonta tai vähäoksaista pintaviilua ja oksatonta tai terveoksaista sahatavaraa saadaan kuitenkin jossain määrin myös turvemaiden hieskoivikoiden päätehakkuista ja myöhemmistä harvennuksista. Suuret oksat ja yleiset laho- ja väriviat, jotka ovat usein vakavia, rajoittavat parhaimpien laatujen saantoa. Vaneritehtailla paikattavien ja vain väliviiluiksi soveltuvien laatujen osuus on suuri. Sahoilla suurin osa tuotannosta soveltuu huonekaluihin ja sisustukseen lähinnä vain sokkopuuksi tai aihiotuotantoon paloiteltaviksi pieniin lopputuotemittoihin. Puuaineen lujuus, jäykkyys tai kovuus eivät sen sijaan rajoita käyttöä. Päätös tukkipuukasvatuksesta on hieskoivikoista tehtävä metsikkökohtaisesti ottaen huomioon olemassa olevan puuston runkomuoto, lahoisuus, elinvoimaisuus ja tyvitukkiosan oksikkuus.

Kuiduttavan teollisuuden kannalta suopuun ominaisuudet vaihtelevat ainakin joiltakin osin eri tavoin kuin kangasmetsissä. Metsänhoitotoimenpiteillä kuitupuun ominaisuuksiin voidaan ilmeisesti vaikuttaa turvemailla enemmän kuin kangasmailla. Suometsien männiköiden ensiharvennuksista saadaan parhaimmillaan massaominaisuuksiltaan lähes nykyisin käytettävän mäntykuitupuun veroista raaka-ainetta, mutta toisaalta huono sellun valmistustalous ja pieni kuidunpituus keskittyvät samoihin leimikoihin. Korkeisiin sellun valmistuskustannuksiin vaikuttavista tekijöistä merkittävimmät ovat puutavaran korkea kuoripitoisuus, puuaineen alhainen tiheys ja pieni sellun saanto. Kuitupuu on kokonaisuutena samantasoista sellun raaka-ainetta kuin kangasmailla, eikä ennen ja jälkeen ojitusta syntyneen puun osuuden vaihtelu näytä aiheuttavan erityisongelmia massanvalmistukselle. Turvemailta saatavaa kuitupuuta voidaan hyvin käyttää yhdessä muista kohteista saatavan pyöreän kuitupuun, mutta ei sahanhankkeen kanssa. Otollisimmat sellun käyttökohteet lienevät esim. monikerroskartongin tai -hienopaperin pintakerroksissa tai pehmopapereissa. Korkea uuteainepitoisuus haittaa olennaisesti käyttöä mekaanisissa massoissa. Lisää tietoa kuitenkin kaivataan suopuusta erilaisten massojen raaka-aineena myös kuusen ja koivun osalta.

9.9 Turvemaiden puunkorjuu

Suometsien puunkorjuun ongelmat ovat ensisijaisesti taloudellisia, eivät niinkään teknisiä. Turvemaiden puunkorjuu sujuu monenlaisella kalustolla. Metsäkuljetuksen ongelmana on kantavuus ja kuormatraktoreiden käyttö kesällä onkin säiden armoilla. Keskikokoinen kuormatraktori on kuitenkin kustannuksiltaan järkevä ratkaisu metsäkuljetukseen. Pienemmällä telamaasturikalustolla metsäkuljetus on mahdollista ympärivuotisesti, mutta pieni kuormakoko ja pitkät kuljetusmatkat johtavat korkeisiin kustannuksiin.

Pienet, massaltaan 8-12 tonnin hakkuukoneet soveltuvat myös hyvin turvemaille. Pienten hakkuukoneiden käyttötuntikustannukset ovat pienemmät, mutta tuottavuustaso vain hieman alempi kuin suuremmilla hakkuukoneilla turvemaiden ensiharvennuksissa. Pienillä hakkuukoneilla voidaan käyttää myös hakkuu-uramenetelmää, jolla metsäkuljetusurien määrä saadaan minimoitua.

Turvemaiden kunnostusojituksen ja puunkorjuun yhteensovittaminen vaatii metsänomistajien ja eri organisaatioiden yhteistyötä. Yhteistyöstä saadut kokemukset ovat olleet pääsääntöisesti hyviä. Yhteistyöllä saadaan myös puunkorjuun kannalta järkeviä korjuukokonaisuuksia, joille korjuuta voidaan hyvinä korjuutalvina tehokkaasti keskittää.

9.10 Ravinteiden ja kiintoaineen huuhtoutuminen

Suometsissä vesiensuojelu vaatii metsäammattimieheltä enemmän ammattitaitoa kuin kivennäismaiden metsätalous. Suuri ongelma on kiintoaines, joka pyrkii huuhtoutumaan vesistöihin kunnostusojituksen yhteydessä. Kiintoaineksessa huuhtoutuu myös ravinteita, joiden pääsy vesistöihin pitää estää. SUO-tutkimusohjelman tulosten mukaan suuri osa kunnostusojituksen aiheuttamasta vesistöjen kiintoaine- ja ravinnekuormituksesta voidaan estää rakentamalla riittävän suuria laskeutusaltaita. Rinnakkainen tai vaihtoehtoinen, laskeutusaltaita tehokkaampi keino on suodattaa ojitusvedet pintavalutuskentän kasvillisuuden ja pintaturpeen läpi. Pintavalutuskenttien käyttöön tulisi pyrkiä aina, jos huuhtoutuva aines koostuu laskeutusaltaisiin heikosti pidättyvistä keveistä maa-aineksista (turvehiukkaset, hienojakoinen mineraaliaines).

Suopuustojen käsittelyssä tulisi toimia siten, että ravinteita, erityisesti liukoista fosforia, vapautuu suovesiin mahdollisimman vähän. Esimerkiksi hakkuiden yhteydessä tapahtuvaa liukoisen fosforin huuhtoutumista voidaan oleellisesti vähentää tekemällä kunnos-

tusojitus päätehakkuun yhteydessä, jolloin pohjavesipinnan taso ei pääse kohoamaan.

Lannoituksen vesistövaikutuksista tutkimusohjelma tuotti tärkeää tietoa sikäli, että tuhkalannoitus ei osoittautunut merkittäväksi fosforikuormittajaksi. Ohjelman päättymisen jälkeen on voitu osoittaa, että tuhkan fosforin tehokas pidättyminen lannoitusaloille johtuu siitä, että tuhkan mukana turpeeseen lisätään fosforia pidättäviä alumiini- ja rautayhdisteitä. Tätä samaa ominaisuutta on sovellettu uuteen Rauta PK-lannoitteeseen, joka sekin on alustavissa tutkimuksissa osoittautunut vesistöjen kannalta turvalliseksi fosforin lähteeksi.

9.11 Suometsien kehitysennusteet

Metsäsuunnittelussa metsien kehityksen ennustamisen kannalta keskeisiä ovat kehitysmallit, joilla kuvataan metsien luonnonprosesseja – puiden syntymistä, kasvua ja kuolemista – siten kuin ne metsissä eri tilanteissa tapahtuvat. Tällaisia metsikkösimulaattoreita ovat mm. MELA ja Motti, joilla voidaan ennustaa yksittäisten puiden syntyminen, kasvun rytmi ja kuoleminen metsikön eri kehitysvaiheissa. Puukohtaisia kehityksiä summaamalla saadaan koko metsikön kehitys. Kehitysennusteissa on otettava huomioon myös eri toimenpiteiden (harvennushakkuut, ojitukset) vaikutus suopuustojen kehitykseen.

Koska suopuiden kasvu noudattaa niille ominaista rytmiä ja kasvuun vaikuttavat tekijät ovat soilla osin erilaiset kuin kivennäismailla, on soillamme kasvaville puulajeille laadittu puulajikohtaiset läpimitan ja pituuden kasvumallit. SUO-tutkimusohjelman yhtenä tavoitteena oli laatia yksittäisten puiden kuolemisen huomioon ottavat mallit soiden kehitysennusteiden tarkentamiseksi. Toinen tärkeä tavoite oli kuvata paremmin erityisesti kunnostusojituksen aikaansaama kasvureaktio suomänniköissä. Tutkimusohjelmassa tehdyn kehitystyön jälkeen suopuiden kehityksen mallintamisessa on tarpeen panostaa harvennusreaktion ja metsikön uudistumisen vaikutuksen tarkempaan kuvaukseen.

Suometsien tarkoituksenmukainen hyödyntäminen ja taloudellisesti kestävä käyttö pidemmällä aikavälillä edellyttävät, että harvennusten ja kunnostusojitusten toteuttamisen, niiden toteuttamatta jättämisen sekä uudistamisajankohdan vaikutukset suopuustojen tuotokseen ja metsänkasvatuksen taloudelliseen tulokseen tunnetaan. Tämän selvittämiseksi Metsäntutkimuslaitoksessa jatketaan SUO-ohjelman päätyttyäkin tutkimusta, jossa simuloidaan kunnostusojitusvaiheessa olevien metsiköiden kehitystä eri kasvupaikoilla ja vaihtoehtoisilla käsittelyketjuilla eri osissa maata ja vertaillaan eri käsittelyvaihtoehtojen tuotos- ja talousvaikutuksia. Tulosten perusteella selvitetään myös erilaisten kunnostusojitustoteutumien vaikutus hakkuumahdollisuuksiin suometsissä.

Suometsien valtakunnallisten hakkuumahdollisuuksien arviointi perustuu edellä kuvattuihin puu- ja metsikkökohtaisiin kasvumalleihin. Valtakunnallisten arvioiden käyttökelpoisuus ja niiden pohjalta tehtyjen päätösten osuvuus riippuvat tehdyistä oletuksista ja laskelmissa käytetyistä malleista. Suometsien kehitystä koskevaa tietoa ei ole vielä tarpeeksi luotettavia valtakunnallisia ennusteita varten. Mm. suometsien vesi- ja ravinnetalouden pitkäaikaisen kehityksen kuvaamisessa on paljon tehtävää.

SUO-ohjelman päättymisen jälkeenkin siis vielä riittää selvitettävää monissa ”suometsien ekologisesti ja taloudellisesti kestävän kasvatuksen ja käytön” kannalta tärkeissä kysymyksissä. Yhteiskunnan tietotarpeiden alati muuttuessa uusia tutkimusaiheita ponnahtaa esiin aika ajoin. Tutkimusohjelman tuottaman tiedon ja ohjelman synnyttämän poikkitieteellisen tutkimusyhteistyön ansiosta suometsätalouden ongelmiin on kuitenkin helpompi vastata, oli sitten kyse tämän päivän ajankohtaisista kysymyksistä tai tulevaisuudessa syntyvistä uusista tutkimushaasteista.

Liitteet

Liite 1

Maaluokkien pinta-alat (milj. ha) valtakunnan metsien inventoinneissa vuosina 1951-2003 koko maassa. **Huom.** Merkintä . tarkoittaa, että suuretta on mahdoton laskea.

	Mittaus-vuodet	Metsä-maa	Kitu-maa	Jouto-maa	Muu metsä-talousmaa	Metsätalous-maa yhteensä	Kokonais-maa-ala
VMI3[1)]	(1951–1953)	17,352	4,522	4,441	.	26,315	30,54
VMI4[1)]	(1960–1963)	16,909	4,832	4,492	.	26,233	30,54
VMI5	(1964–1970)	18,697	3,674	4,226	0,070	26,667	30,55
VMI6	(1971–1976)	19,738	3,583	3,371	0,086	26,778	30,55
VMI7	(1977–1984)	20,065	3,157	3,049	0,103	26,374	30,47
VMI8	(1986–1994)	20,074	2,983	3,093	0,150	26,301	30,46
VMI9	(1996–2003)	20,337	2,670	3,156	0,154	26,317	30,45

[1)] VMI3:n ja VMI4:n kasvullinen metsämaa ei vastaa VMI5:stä lähtien käytössä ollutta metsämaan käsitettä.

Maaluokat ja metsätalousmaan jakautuminen soihin ja kivennäismaihin VMI9:n aikaisen ojitustilanteen mukaan.
Huom. Merkintä . tarkoittaa, että suuretta on mahdoton laskea.

	Metsätalousmaa					Muu maa	Kokonaismaa-ala
	Metsämaa	Kitumaa	Joutomaa	Tiet, varastot jne.	Yhteensä		
Etelä-Suomi							
Kivennäismaa km²	84971	1599	709	.	87279	.	
Ojittamaton km²	76546	1599	698	.	78843	.	
Ojitettu km²	8425	0	11	.	8436	.	
Suo km²	26696	2681	2817	.	32194	.	
Ojittamaton km²	3263	1310	2584	.	7157	.	
Ojitettu km²	23433	1371	233	.	25037	.	
Maaluokat yhteensä, km²	111667	4280	3526	858	120331	34285	154613
Maaluokan osuus maa-alasta, %	72,2	2,8	2,3	0,6	77,8	22,2	100,0
Pohjois-Suomi							
Kivennäismaa km²	66922	7353	9458	.	83733	.	
Ojittamaton km²	62065	7349	9458	.	78872	.	
Ojitettu km²	4857	4	0	.	4861	.	
Suo km²	24785	15069	18572	.	58426	.	
Ojittamaton km²	5197	11221	17850	.	34268	.	
Ojitettu km²	19588	3848	722	.	24158	.	
Maaluokat yhteensä, km²	91707	22422	28030	677	142836	7024	149861
Maaluokan osuus maa-alasta, %	61,2	15,0	18,7	0,5	95,3	4,7	100,0
Koko maa							
Kivennäismaa km²	151893	8952	10167	.	171012	.	
Ojittamaton km²	138611	8948	10156	.	157715	.	
Ojitettu km²	13282	4	11	.	13297	.	
Suo km²	51481	17750	21389	.	90620	.	
Ojittamaton km²	8460	12531	20434	.	41425	.	
Ojitettu km²	43021	5219	955	.	49195	.	
Maaluokat yhteensä, km²	203374	26702	31556	1536	263168	41309	304474
Maaluokan osuus maa-alasta, %	66,8	8,8	10,4	0,5	86,4	13,6	100,0

Soiden kuivatusvaiheiden osuudet suoalasta Etelä- ja Pohjois-Suomessa 1964-2003.

	VMI5 (1964–68)		VMI6 (1971–74)		VMI7 (1977–82) [2]		VMI8 (1986–92) [3]		VMI9 (1996–2000) [4]	
	km²	% ositteen alasta	km²	% ositteen alasta	km²	% ositteen alasta	km²	% ositteen alasta	km²	% ositteen alasta
Etelä-Suomi										
Ojittamaton	19061	52,4	12482	36,7	9650	30,2	8154	25,6	7159	22,2
Ojikko [1]	8105	22,3	8266	24,3	4904	15,4	3880	12,2	1422	4,4
Muuttuma	6298	17,3	9517	28,0	12424	38,9	13276	41,6	13151	40,9
Turvekangas	2897	8,0	3704	10,9	4947	15,5	6567	20,6	10459	32,5
Suot yhteensä	36362	100,0	33972	100,0	31923	100,0	31876	100,0	32189	100,0

[1] Aiemmissa inventoinneissa (VMI5–VMI7) ojitettu kitu- ja joutomaa on luokiteltu aina ojikoksi.
[2] Lisäksi ojitettua kangasta: VMI7 3215 km²
[3] Lisäksi ojitettua kangasta VMI8 5935 km²
[4] Lisäksi ojitettua kangasta VMI9 8436 km²

	VMI5 (1969–70)		VMI6 (1975–76)		VMI7 (1982–84) [2]		VMI8 (1992–94) [3]		VMI9 (2001–2003) [4]	
	km²	% ositteen alasta	km²	% ositteen alasta	km²	% ositteen alasta	km²	% ositteen alasta	km²	% ositteen alasta
Pohjois-Suomi										
Ojittamaton	47010	78,0	40249	67,4	35808	61,5	34143	59,7	34267	58,6
Ojikko [1]	9974	16,5	10025	16,8	7298	12,5	4815	8,4	1262	2,2
Muuttuma	2545	4,2	7650	12,8	13395	23,0	15735	27,5	17856	30,6
Turvekangas	743	1,2	1750	2,9	1691	2,9	2531	4,4	5040	8,6
Suot yhteensä	60273	100,0	59673	100,0	58192	100,0	57223	100,0	58427	100,0

[1] Aiemmissa inventoinneissa (VMI5–VMI7) ojitettu kitu- ja joutomaa on luokiteltu aina ojikoksi.
[2] Lisäksi ojitettua kangasta: VMI7 2825 km²
[3] Lisäksi ojitettua kangasta VMI8 4148 km²
[4] Lisäksi ojitettua kangasta VMI9 4860 km²

Soiden kuivatusvaiheiden osuudet suoalasta koko maassa 1951-2003.

	VMI3 (1951–53)		VMI5 (1964–70)		VMI6 (1971–76)		VMI7 (1977–84) [2]		VMI8 (1986–94) [3]		VMI9 (1996–2003) [4]	
	km²	% ositteen alasta	km²	% ositteen alasta	km²	% ositteen alasta	km²	% ositteen alasta	km²	% ositteen alasta	km²	% ositteen alasta
Koko maa												
Ojittamaton	88250	90,6	66071	68,4	52731	56,3	45458	50,4	42297	47,5	41426	45,7
Ojikko [1]	2730	2,8	18079	18,7	18291	19,5	12202	13,5	8695	9,8	2684	3,0
Muuttuma	5070	5,2	8843	9,2	17167	18,3	25819	28,7	29011	32,6	31007	34,2
Turvekangas	1380	1,4	3640	3,8	5454	5,8	6638	7,4	9098	10,2	15499	17,1
Suot yhteensä	97420	100,0	96635	100,0	93645	100,0	90115	100,0	89099	100,0	90616	100,0

[1] Aiemmissa inventoinneissa (VMI5–VMI7) ojitettu kitu- ja joutomaa on luokiteltu aina ojikoksi.

[2] Lisäksi ojitettua kangasta: VMI7 6040 km²

[3] Lisäksi ojitettua kangasta VMI8 10083 km²

[4] Lisäksi ojitettua kangasta VMI9 13296 km²

Ojittamattoman metsätalousmaan jakautuminen pää- ja kasvupaikkatyyppeihin VMI9:ssa.

	Kasvupaikkatyyppi							Yhteensä	
	1	2	3	4	5	6	7		% maaluokan
	Pinta-ala, km^2							km^2	alasta
Etelä-Suomi									
Metsämaa									
Kangas	2467	18441	37253	15556	1478	63	1286	76546	95,9
Korpi	80	486	1300	132	.	.	.	1998	2,5
Räme	9	11	138	774	328	6	.	1265	1,6
Suot yhteensä	89	498	1438	905	328	6	.	3263	4,1
Yhteensä	2555	18939	38691	16461	1806	69	1286	79809	100,0
Kitumaa									
Kangas	.	.	.	.	.	.	1599	1599	55,0
Korpi	11	65	17	3	.	.	.	96	3,3
Räme	17	20	93	167	677	240	.	1214	41,7
Suot yhteensä	28	85	110	170	677	240	.	1310	45,0
Yhteensä	28	85	110	170	677	240	1599	2909	100,0
Joutomaa									
Kangas	.	.	.	.	.	.	698	698	21,3
Korpi	3	27	8	0	.	.	.	38	1,2
Räme	6	17	34	40	198	258	.	552	16,8
Avosuo	45	377	270	263	662	377	.	1994	60,7
Suot yhteensä	54	420	312	303	860	635	.	2584	78,7
Yhteensä	54	420	312	302	860	635	698	3282	100,0
Metsä-, kitu- ja joutomaa yhteensä									
Kangas	2467	18441	37253	15556	1478	63	3584	78843	91,7
Korpi	94	578	1325	134	.	.	.	2132	2,5
Räme	31	48	265	980	1203	504	.	3031	3,5
Avosuo	45	377	270	263	662	377	.	1994	2,3
Suot yhteensä	171	1003	1860	1378	1864	881	.	7157	8,3
Yhteensä	2638	19444	39114	16934	3343	944	3584	86000	100,0

Kasvupaikkatyypit

1 Lehdot sekä lehtomaiset ja lettosuot (luonnontilaiset, ojikko- ja muuttumasuot) ja lehtoturvekankaat
2 Lehtomaiset kankaat ja ruohoiset suot sekä ruohoturvekankaat
3 Tuoreet kankaat ja suursaraiset sekä mustikkaiset suot ja turvekankaat
4 Kuivahkot kankaat ja piensaraiset sekä puolukkaiset suot ja turvekankaat
5 Kuivat kankaat ja tupasvillaiset sekä isovarpuiset suot ja turvekankaat
6 Karukkokankaat ja rahkaiset suot sekä rahkaturvekankaat
7 Kalliomaat ja hietikot sekä vesijättömaat
8 Lakimetsät ja tunturit

Ojittamattoman metsätalousmaan jakautuminen pää- ja kasvupaikkatyyppeihin VMI9:ssa.

	Kasvupaikkatyyppi								Yhteensä	
	1	2	3	4	5	6	7	8		% maaluokan
	Pinta-ala, km^2								km^2	alasta
Pohjois-Suomi										
Metsämaa										
Kangas	339	1314	32059	24813	3211	18	312	.	62065	92.3
Korpi	221	930	1422	170	.	.	.	.	2742	4,1
Räme	51	117	303	1862	123	0	.	.	2455	3,6
Suot yhteensä	271	1046	1724	2031	123	0	.	.	5197	7,7
Yhteensä	610	2360	33783	26844	3334	18	312	.	67262	100,0
Kitumaa										
Kangas	.	.	.	.	.	.	1865	5484	7349	39,6
Korpi	325	748	525	620	.	.	.	.	2218	11,9
Räme	457	635	1667	3753	2227	265	.	.	9004	48,5
Suot yhteensä	782	1382	2193	4373	2227	265	.	.	11221	60,4
Yhteensä	782	1382	2193	4373	2227	265	1865	5484	18570	100,0
Joutomaa										
Kangas	.	.	.	.	.	.	1114	8344	9458	34,6
Korpi	198	247	103	64	.	.	.	.	612	2,2
Räme	125	260	1261	1009	680	266	.	.	3601	13,2
Avosuo	716	2083	6472	2520	1579	267	.	.	13636	49,9
Suot yhteensä	1039	2590	7836	3593	2259	533	.	.	17850	65,3
Yhteensä	1039	2589	7836	3593	2259	533	1114	8344	27308	100,0
Metsä-, kitu- ja joutomaa yhteensä										
Kangas	339	1314	32059	24813	3211	18	3291	13828	78872	69,7
Korpi	744	1924	2050	854	.	.	.	.	5572	4,9
Räme	632	1011	3231	6623	3031	531	.	.	15059	13,3
Avosuo	716	2083	6472	2520	1579	267	.	.	13636	12,1
Suot yhteensä	2092	5018	11753	9997	4609	798	.	.	34268	30,3
Yhteensä	2431	6332	43812	34810	7820	816	3291	13828	113140	100,0

Kasvupaikkatyypit

1 Lehdot sekä lehtomaiset ja lettosuot (luonnontilaiset, ojikko- ja muuttumasuot) ja lehtoturvekankaat
2 Lehtomaiset kankaat ja ruohoiset suot sekä ruohoturvekankaat
3 Tuoreet kankaat ja suursaraiset sekä mustikkaiset suot ja turvekankaat
4 Kuivahkot kankaat ja piensaraiset sekä puolukkaiset suot ja turvekankaat
5 Kuivat kankaat ja tupasvillaiset sekä isovarpuiset suot ja turvekankaat
6 Karukkokankaat ja rahkaiset suot sekä rahkaturvekankaat
7 Kalliomaat ja hietikot sekä vesijättömaat
8 Lakimetsät ja tunturit

Ojittamattoman metsätalousmaan jakautuminen pää- ja kasvupaikkatyyppeihin VMI9:ssa.

	Kasvupaikkatyyppi								Yhteensä	
	1	2	3	4	5	6	7	8		% maaluokan
	Pinta-ala, km^2								km^2	alasta
Koko-Suomi										
Metsämaa										
Kangas	2806	19755	69312	40369	4689	81	1598	0	138611	94,2
Korpi	301	1416	2722	301	.	.	.	.	4740	3,2
Räme	59	128	441	2635	451	6	.	.	3720	2,5
Suot yhteensä	360	1544	3162	2937	451	6	.	.	8460	5,7
Yhteensä	3166	21300	72475	43305	5141	86	1598	0	147071	100,0
Kitumaa										
Kangas	.	.	.	.	.	.	3464	5484	8948	41,7
Korpi	336	812	542	623	.	.	.	.	2313	10,8
Räme	474	655	1760	3920	2904	505	.	.	10218	47,6
Suot yhteensä	810	1467	2303	4543	2904	505	.	.	12531	58,4
Yhteensä	810	1467	2303	4543	2904	505	3464	5484	21479	100,0
Joutomaa										
Kangas	.	.	.	.	.	.	1813	8344	10156	33,2
Korpi	201	274	111	64	.	.	.	.	650	2,1
Räme	130	277	1296	1048	878	524	.	.	4153	13,6
Avosuo	762	2460	6741	2783	2240	644	.	.	15630	51,1
Suot yhteensä	1093	3010	8148	3896	3119	1168	.	.	20433	66,8
Yhteensä	1093	3010	8148	3896	3119	1168	1813	8344	30590	100,0
Metsä-, kitu- ja joutomaa yhteensä										
Kangas	2806	19755	69312	40369	4689	81	6875	13828	157715	79,2
Korpi	838	2502	3375	988	.	.	.	.	7704	3,9
Räme	663	1059	3497	7603	4233	1035	.	.	18091	9,1
Avosuo	762	2460	6741	2783	2240	644	.	.	15630	7,8
Suot yhteensä	2263	6021	13613	11375	6474	1679	.	.	41424	20,8
Yhteensä	5069	25777	82925	51744	11163	1760	6875	13828	199139	100,0

Kasvupaikkatyypit

1 Lehdot sekä lehtomaiset ja lettosuot (luonnontilaiset, ojikko- ja muuttumasuot) ja lehtoturvekankaat
2 Lehtomaiset kankaat ja ruohoiset suot sekä ruohoturvekankaat
3 Tuoreet kankaat ja suursaraiset sekä mustikkaiset suot ja turvekankaat
4 Kuivahkot kankaat ja piensaraiset sekä puolukkaiset suot ja turvekankaat
5 Kuivat kankaat ja tupasvillaiset sekä isovarpuiset suot ja turvekankaat
6 Karukkokankaat ja rahkaiset suot sekä rahkaturvekankaat
7 Kalliomaat ja hietikot sekä vesijättömaat
8 Lakimetsät ja tunturit

Ojitetun metsätalousmaan jakautuminen pää- ja kasvupaikkatyyppeihin VMI9:ssa.

	Kasvupaikkatyyppi							Yhteensä	
	1	2	3	4	5	6	7		% maaluokan
	Pinta-ala, km^2							km^2	alasta
Etelä-Suomi									
Metsämaa									
Kangas	925	2623	3751	1068	59	0	0	8425	26,4
Korpi	503	2991	5684	622	.	.	.	9800	30,8
Räme	14	233	1581	7167	4559	79	.	13633	42,8
Suot yhteensä	517	3224	7265	7789	4559	79	.	23433	73,6
Yhteensä	1442	5847	11016	8856	4618	79	0	31858	100,0
Kitumaa									
Kangas	.	.	.	.	.	.	0	0	0.0
Korpi	6	34	9	3	.	.	.	51	3,7
Räme	3	12	31	77	857	340	.	1321	96,3
Suot yhteensä	8	45	40	80	857	340	.	1371	100,0
Yhteensä	8	45	40	80	857	340	0	1371	100,0
Joutomaa									
Kangas	.	.	.	.	.	.	11	11	4,6
Korpi	0	3	0	0	.	.	.	3	1,1
Räme	0	0	6	3	29	45	.	82	33,7
Avosuo	6	31	20	17	49	25	.	148	60,6
Suot yhteensä	6	34	26	20	77	71	.	233	95,4
Yhteensä	6	34	26	20	77	71	11	244	100,0
Metsä-, kitu- ja joutomaa yhteensä									
Kangas	925	2623	3751	1068	59	0	11	8436	25,2
Korpi	509	3028	5693	624	.	.	.	9854	29,4
Räme	17	244	1618	7247	5444	465	.	15036	44,9
Avosuo	6	31	20	17	49	25	.	148	0,4
Suot yhteensä	531	3303	7331	7889	5493	490	.	25038	74,7
Yhteensä	1456	5926	11082	8957	5552	490	11	33473	100,0

Kasvupaikkatyypit

1 Lehdot sekä lehtomaiset ja lettosuot (luonnontilaiset, ojikko- ja muuttumasuot) ja lehtoturvekankaat
2 Lehtomaiset kankaat ja ruohoiset suot sekä ruohoturvekankaat
3 Tuoreet kankaat ja suursaraiset sekä mustikkaiset suot ja turvekankaat
4 Kuivahkot kankaat ja piensaraiset sekä puolukkaiset suot ja turvekankaat
5 Kuivat kankaat ja tupasvillaiset sekä isovarpuiset suot ja turvekankaat
6 Karukkokankaat ja rahkaiset suot sekä rahkaturvekankaat
7 Kalliomaat ja hietikot sekä vesijättömaat
8 Lakimetsät ja tunturit

Ojitetun metsätalousmaan jakautuminen pää- ja kasvupaikkatyyppeihin VMI9:ssa.

	Kasvupaikkatyyppi								Yhteensä	
	1	2	3	4	5	6	7	8		% maaluokan
	Pinta-ala, km^2								km^2	alasta
Pohjois-Suomi										
Metsämaa										
Kangas	127	431	2961	1272	67	0	0	.	4857	19,9
Korpi	321	2129	3167	290	.	.	.	.	5907	24,2
Räme	181	627	2053	8624	2186	11	.	.	13681	56,0
Suot yhteensä	502	2756	5221	8913	2186	11	.	.	19588	80,2
Yhteensä	629	3187	8182	10185	2253	11	0	.	24445	100,0
Kitumaa										
Kangas	.	.	.	.	.	.	4	0	4	0,1
Korpi	18	89	64	57	.	.	.	.	228	5,9
Räme	107	135	355	1182	1669	173	.	.	3621	94,0
Suot yhteensä	125	224	419	1239	1669	173	.	.	3848	99,9
Yhteensä	125	224	419	1239	1669	173	4	0	3852	100,0
Joutomaa										
Kangas	.	.	.	.	.	.	0	0	0	0,0
Korpi	7	4	0	0	.	.	.	.	11	1,5
Räme	21	29	35	85	85	4	.	.	259	35,9
Avosuo	28	25	120	159	106	14	.	.	452	62,6
Suot yhteensä	57	57	156	245	191	18	.	.	722	100,0
Yhteensä	57	57	156	245	191	18	0	0	722	100,0
Metsä-, kitu- ja joutomaa yhteensä										
Kangas	127	431	2961	1272	67	0	4	0	4860	16,7
Korpi	346	2221	3231	347	.	.	.	.	6145	21,2
Räme	309	791	2444	9891	3940	187	.	.	17561	60,5
Avosuo	28	25	120	159	106	14	.	.	452	1,6
Suot yhteensä	684	3036	5796	10397	4046	201	.	.	24159	83,3
Yhteensä	810	3467	8757	11669	4112	201	4	0	29019	100,0

Kasvupaikkatyypit

1 Lehdot sekä lehtomaiset ja lettosuot (luonnontilaiset, ojikko- ja muuttumasuot) ja lehtoturvekankaat
2 Lehtomaiset kankaat ja ruohoiset suot sekä ruohoturvekankaat
3 Tuoreet kankaat ja suursaraiset sekä mustikkaiset suot ja turvekankaat
4 Kuivahkot kankaat ja piensaraiset sekä puolukkaiset suot ja turvekankaat
5 Kuivat kankaat ja tupasvillaiset sekä isovarpuiset suot ja turvekankaat
6 Karukkokankaat ja rahkaiset suot sekä rahkaturvekankaat
7 Kalliomaat ja hietikot sekä vesijättömaat
8 Lakimetsät ja tunturit

Ojitetun metsätalousmaan jakautuminen pää- ja kasvupaikkatyyppeihin VMI9:ssa.

	Kasvupaikkatyyppi							Yhteensä	
	1	2	3	4	5	6	7		% maaluokan
	Pinta-ala, km^2							km^2	alasta
Koko-Suomi									
Metsämaa									
Kangas	1051	3053	6712	2339	126	0	0	13281	23,6
Korpi	824	5121	8851	911	.	.	.	15707	27,9
Räme	195	859	3635	15791	6745	90	.	27315	48,5
Suot yhteensä	1019	5980	12486	16702	6745	90	.	43022	76,4
Yhteensä	2071	9033	19198	19041	6870	90	0	56303	100,0
Kitumaa									
Kangas	.	.	.	.	.	.	4	4	0,1
Korpi	23	122	73	60	.	.	.	278	5,3
Räme	110	147	387	1259	2526	513	.	4941	94,6
Suot yhteensä	133	269	459	1320	2526	513	.	5220	99,9
Yhteensä	133	269	459	1320	2526	513	4	5223	100,0
Joutomaa									
Kangas	.	.	.	.	.	.	11	11	1,2
Korpi	7	6	.	.	.	.	.	13	1,4
Räme	21	29	41	88	114	49	.	342	35,3
Avosuo	34	56	140	176	154	39	.	600	62,1
Suot yhteensä	62	91	182	265	268	88	.	955	98,8
Yhteensä	62	91	182	265	268	88	11	967	100,0
Metsä-, kitu- ja joutomaa yhteensä									
Kangas	1051	3053	6712	2339	126	0	15	13296	21,3
Korpi	854	5249	8924	971	.	.	.	15999	25,6
Räme	326	1035	4063	17138	9384	652	.	32597	52,2
Avosuo	34	56	140	176	154	39	.	600	1,0
Suot yhteensä	1215	6340	13127	18286	9538	691	.	49197	78,8
Yhteensä	2266	9393	19838	20625	9664	691	15	62493	100,0

Kasvupaikkatyypit

1 Lehdot sekä lehtomaiset ja lettosuot (luonnontilaiset, ojikko- ja muuttumasuot) ja lehtoturvekankaat
2 Lehtomaiset kankaat ja ruohoiset suot sekä ruohoturvekankaat
3 Tuoreet kankaat ja suursaraiset sekä mustikkaiset suot ja turvekankaat
4 Kuivahkot kankaat ja piensaraiset sekä puolukkaiset suot ja turvekankaat
5 Kuivat kankaat ja tupasvillaiset sekä isovarpuiset suot ja turvekankaat
6 Karukkokankaat ja rahkaiset suot sekä rahkaturvekankaat
7 Kalliomaat ja hietikot sekä vesijättömaat
8 Lakimetsät ja tunturit

Liite 5

Pinta-alajakauma metsikön vallitsevan puulajin ja pääryhmän mukaan Etelä- ja Pohjois-Suomen sekä koko maassa metsämaalla VMI9:ssa.

	Puuton		Mänty		Kuusi		Koivu		Muu lehtipuu		Yhteensä	
	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%	km²	%
Etelä-Suomi												
Korpi	162	1,4	2856	24,2	5549	47,0	3152	26,7	79	0,7	11798	100,0
Räme	57	0,4	14270	95,8	56	0,4	516	3,5	0	0,0	14899	100,0
Yhteensä	219	0,8	17126	64,2	5605	21,0	3668	0,3	79	0,3	26697	100,0
Pohjois-Suomi												
Korpi	84	1,0	2012	23,3	3450	39,9	3082	35,6	21	0,2	8649	100,0
Räme	92	0,6	15201	94,2	195	1,2	645	4,0	4	0,0	16136	100,0
Yhteensä	176	0,7	17213	69,4	3645	14,7	3727	15,0	25	0,1	247	100,0
Koko Suomi												
Korpi	247	1,2	4868	23,8	8999	44,0	6234	30,5	100	0,5	20447	100,0
Räme	148	0,5	29471	95,0	251	0,8	1160	3,7	4	0,0	31035	100,0
Yhteensä	395	0,8	34339	66,7	9250	18,0	7394	14,4	103	0,2	51482	100,0

Liite 6

Puuston runkotilavuus VMI9:n mukaan.

	Metsämaa			Kitumaa			Metsä- ja kitumaa		
	Keski-tilavuus m³/ha	Kokonais-tilavuus 1000 m³	Puulajin osuus %	Keski-tilavuus m³/ha	Kokonais-tilavuus 1000 m³	Puulajin osuus %	Keski-tilavuus m³/ha	Kokonais-tilavuus 1000 m³	Puulajin osuus %
Etelä-Suomi									
Kankaat									
Ojittamattomat									
Mänty	54,7	418333	40,9	32,0	5109	83,7	54,2	423442	41,2
Kuusi	56,5	432256	42,3	2,6	420	6,9	55,4	432676	42,1
Rauduskoivu	7,6	58183	5,7	1,2	189	3,1	7,5	58373	5,7
Hieskoivu	8,5	64762	6,3	0,9	149	2,4	8,3	64910	6,3
Muu lehtipuu	6,3	48240	4,7	1,5	237	3,9	6,2	48477	4,7
Koko puusto	133,5	1021774	100,0	38,2	6104	100,0	131,5	1027878	100,0
Ojitetut									
Mänty	32,1	27016	29,0	0,0	0	0,0	32,1	27016	29,0
Kuusi	49,5	41704	44,7	0,0	0	0,0	49,5	41704	44,7
Rauduskoivu	5,0	4207	4,5	0,0	0	0,0	5,0	4207	4,5
Hieskoivu	16,9	14206	15,2	0,0	0	0,0	16,9	14206	15,2
Muu lehtipuu	7,3	6156	6,6	0,0	0	0,0	7,3	6156	6,6
Koko puusto	110,7	93289	100,0	0,0	0	0,0	110,7	93289	100,0
Kankaat yhteensä									
Mänty	52,4	445349	39,9	32,0	5109	83,7	52,0	450458	40,2
Kuusi	55,8	473960	42,5	2,6	420	6,9	54,8	474380	42,3
Rauduskoivu	7,3	62390	5,6	1,2	189	3,1	7,2	62580	5,6
Hieskoivu	9,3	78968	7,1	0,9	149	2,4	9,1	79117	7,1
Muu lehtipuu	6,4	54396	4,9	1,5	237	3,9	6,3	54633	4,9
Koko puusto	131,2	1115063	100,0	38,2	6104	100,0	129,5	1121168	100,0
Suot									
Ojittamattomat									
Mänty	38,9	12686	35,8	16,1	2109	79,2	32,4	14795	38,8
Kuusi	43,4	14175	40,0	0,9	118	4,4	31,3	14293	37,5
Rauduskoivu	1,5	482	1,4	0,0	0	0,0	1,1	482	1,3
Hieskoivu	20,2	6591	18,6	2,2	291	10,9	15,0	6882	18,1
Muu lehtipuu	4,6	1488	4,2	1,1	145	5,4	3,6	1633	4,3
Koko puusto	108,5	35422	100,0	20,3	2663	100,0	83,3	38085	100,0
Ojitetut									
Mänty	49,7	116419	47,2	12,3	1689	90,1	47,6	118108	47,6
Kuusi	29,5	69089	28,0	0,1	15	0,8	27,9	69104	27,8
Rauduskoivu	1,9	4348	1,8	0,0	0	0,0	1,8	4348	1,8
Hieskoivu	22,6	52898	21,5	1,2	170	9,1	21,4	53068	21,4
Muu lehtipuu	1,6	3731	1,5	0,0	0	0,0	1,5	3731	1,5
Koko puusto	105,2	246485	100,0	13,7	1874	100,0	100,1	248359	100,0
Suot yhteensä									
Mänty	48,4	129105	45,8	14,2	3798	83,7	45,2	132903	46,4
Kuusi	31,2	83263	29,5	0,5	133	2,9	28,4	83397	29,1
Rauduskoivu	1,8	4830	1,7	0,0	0	0,0	1,6	4830	1,7
Hieskoivu	22,3	59489	21,1	1,7	461	10,2	20,4	59950	20,9
Muu lehtipuu	2,0	5219	1,9	0,5	145	3,2	1,8	5364	1,9
Koko puusto	105,6	281906	100,0	16,9	4537	100,0	97,5	286444	100,0
Kankaat ja suot yhteensä									
Mänty	51,4	574454	41,1	20,8	8907	83,7	50,3	583361	41,4
Kuusi	49,9	557223	39,9	1,3	553	5,2	48,1	557776	39,6
Rauduskoivu	6,0	67220	4,8	0,4	189	1,8	5,8	67410	4,8
Hieskoivu	12,4	138457	9,9	1,4	610	5,7	12	139067	9,9
Muu lehtipuu	5,3	59615	4,3	0,9	382	3,6	5,2	59997	4,3
Koko puusto	125,1	1396969	100,0	24,9	10641	100,0	121,4	1407611	100,0

Liite 6, jatkuu

Puuston runkotilavuus VMI9:n mukaan.

	Metsämaa			Kitumaa			Metsä- ja kitumaa		
	Keski-tilavuus m³/ha	Kokonais-tilavuus 1000 m³	Puulajin osuus %	Keski-tilavuus m³/ha	Kokonais-tilavuus 1000 m³	Puulajin osuus %	Keski-tilavuus m³/ha	Kokonais-tilavuus 1000 m³	Puulajin osuus %
Pohjois-Suomi									
Kankaat									
Ojittamattomat									
Mänty	46,4	288095	65,4	9,5	6961	40,7	42,5	295058	64,5
Kuusi	14,9	92188	20,9	3,2	2321	13,6	13,6	94510	20,6
Rauduskoivu	1,1	6890	1,6	0,1	96	0,6	1,0	6986	1,5
Hieskoivu	7,3	45610	10,4	10,3	7572	44,3	7,7	53182	11,6
Muu lehtipuu	1,3	7862	1,8	0,2	153	0,9	1,2	8017	1,8
Koko puusto	71,0	440645	100,0	23,3	17103	100,0	65,9	457753	100,0
Ojitetut									
Mänty	35,1	17028	51,2	0,0	0	0,0	35,0	17028	51,2
Kuusi	13,8	6687	20,1	0,0	0	0,0	13,8	6687	20,1
Rauduskoivu	0,8	390	1,2	0,0	0	0,0	0,8	390	1,2
Hieskoivu	16,2	7869	23,7	0,0	0	0,0	16,2	7869	23,7
Muu lehtipuu	2,7	1288	3,9	0,0	0	0,0	2,7	1288	3,9
Koko puusto	68,5	33262	100,0	0,0	0	0,0	68,4	33262	100,0
Kankaat yhteensä									
Mänty	45,6	305123	64,4	9,5	6961	40,7	42,0	312086	63,6
Kuusi	14,8	98875	20,9	3,2	2321	13,6	13,6	101197	20,6
Rauduskoivu	1,1	7280	1,5	0,1	96	0,6	1,0	7376	1,5
Hieskoivu	8,0	53479	11,3	10,3	7572	44,3	8,2	61051	12,4
Muu lehtipuu	1,4	9150	1,9	0,2	153	0,9	1,3	9305	1,9
Koko puusto	70,8	473907	100,0	23,3	17103	100,0	66,1	491015	100,0
Suot									
Ojittamattomat									
Mänty	22,0	11458	34,8	11,8	13233	63,1	15,0	24692	45,8
Kuusi	23,5	12209	37,1	3,9	4400	21,0	10,1	16609	30,8
Rauduskoivu	0,1	32	0,1	0,0	5	0,0	0,0	38	0,1
Hieskoivu	16,5	8568	26,0	2,8	3163	15,1	7,1	11733	21,8
Muu lehtipuu	1,3	664	2,0	0,2	176	0,8	0,5	842	1,6
Koko puusto	63,4	32931	100,0	18,7	20977	100,0	32,8	53914	100,0
Ojitetut									
Mänty	38,3	75066	56,4	11,6	4462	81,1	33,9	79529	57,3
Kuusi	9,6	18871	14,2	0,7	256	4,7	8,2	19127	13,8
Rauduskoivu	0,2	421	0,3	0,0	9	0,2	0,2	431	0,3
Hieskoivu	19,0	37291	28,0	2,0	758	13,8	16,2	38050	27,4
Muu lehtipuu	0,8	1524	1,1	0,0	14	0,3	0,7	1539	1,1
Koko puusto	68,0	133173	100,0	14,3	5499	100,0	59,2	138676	100,0
Suot yhteensä									
Mänty	34,9	86524	52,1	11,7	17695	66,8	26,2	104221	54,1
Kuusi	12,5	31080	18,7	3,1	4656	17,6	9,0	35736	18,6
Rauduskoivu	0,2	453	0,3	0,0	14	0,1	0,1	469	0,2
Hieskoivu	18,5	45859	27,6	2,6	3921	14,8	12,5	49783	25,8
Muu lehtipuu	0,9	2188	1,3	0,1	190	0,7	0,6	2381	1,2
Koko puusto	67,0	166104	100,0	17,6	26476	100,0	48,3	192590	100,0
Kankaat ja suot yhteensä									
Mänty	42,7	391647	61,2	11,0	24656	56,6	36,5	416307	60,9
Kuusi	14,2	129955	20,3	3,1	6977	16,0	12,0	136933	20,0
Rauduskoivu	0,8	7733	1,2	0,0	110	0,3	0,7	7845	1,1
Hieskoivu	10,8	99338	15,5	5,1	11493	26,4	9,7	110834	16,2
Muu lehtipuu	1,2	11338	1,8	0,2	343	0,8	1,0	11686	1,7
Koko puusto	69,8	640011	100,0	19,4	43579	100,0	59,9	683605	100,0

Puuston runkotilavuus VMI9:n mukaan.

	Metsämaa			Kitumaa			Metsä- ja kitumaa		
	Keski-tilavuus m³/ha	Kokonais-tilavuus 1000 m³	Puulajin osuus %	Keski-tilavuus m³/ha	Kokonais-tilavuus 1000 m³	Puulajin osuus %	Keski-tilavuus m³/ha	Kokonais-tilavuus 1000 m³	Puulajin osuus %
Koko Suomi									
Kankaat									
Ojittamattomat									
Mänty	51,0	706428	48,3	13,5	12070	52,0	48,7	718500	48,4
Kuusi	37,8	524444	35,9	3,1	2741	11,8	35,7	527186	35,5
Rauduskoivu	4,7	65073	4,4	0,3	285	1,2	4,4	65359	4,4
Hieskoivu	8,0	110372	7,5	8,6	7721	33,3	8,0	118092	7,9
Muu lehtipuu	4,0	56102	3,8	0,4	390	1,7	3,8	56494	3,8
Koko puusto	105,5	1462419	100,0	25,9	23207	100,0	100,7	1485631	100,0
Ojitetut									
Mänty	33,2	44044	34,8	0,0	0	0,0	33,2	44044	34,8
Kuusi	36,4	48391	38,2	0,0	0	0,0	36,4	48391	38,2
Rauduskoivu	3,5	4597	3,6	0,0	0	0,0	3,5	4597	3,6
Hieskoivu	16,6	22075	17,4	0,0	0	0,0	16,6	22075	17,4
Muu lehtipuu	5,6	7444	5,9	0,0	0	0,0	5,6	7444	5,9
Koko puusto	95,3	126551	100,0	0,0	0	0,0	95,3	126551	100,0
Kankaat yhteensä									
Mänty	49,4	750472	47,2	13,5	12070	52,0	47,4	762544	47,3
Kuusi	37,7	572835	36,1	3,1	2741	11,8	35,8	575577	35,7
Rauduskoivu	4,6	69670	4,4	0,3	285	1,2	4,3	69956	4,3
Hieskoivu	8,7	132447	8,3	8,6	7721	33,3	8,7	140168	8,7
Muu lehtipuu	4,2	63546	4,0	0,4	390	1,7	4,0	63938	4,0
Koko puusto	104,6	1588970	100,0	25,9	23207	100,0	100,2	1612183	100,0
Suot									
Ojittamattomat									
Mänty	28,5	24144	35,3	12,2	15342	64,9	18,8	39487	42,9
Kuusi	31,2	26384	38,6	3,6	4518	19,1	14,7	30902	33,6
Rauduskoivu	0,6	514	0,8	0,0	5	0,0	0,2	520	0,6
Hieskoivu	17,9	15159	22,2	2,8	3454	14,6	8,9	18615	20,2
Muu lehtipuu	2,5	2152	3,1	0,3	321	1,4	1,2	2475	2,7
Koko puusto	80,8	68353	100,0	18,9	23640	100,0	43,8	91999	100,0
Ojitetut									
Mänty	44,5	191485	50,4	11,8	6151	83,4	41,0	197637	51,1
Kuusi	20,4	87960	23,2	0,5	271	3,7	18,3	88231	22,8
Rauduskoivu	1,1	4769	1,3	0,0	9	0,1	1,0	4779	1,2
Hieskoivu	21,0	90189	23,8	1,8	928	12,6	18,9	91118	23,5
Muu lehtipuu	1,2	5255	1,4	0,0	14	0,2	1,1	5270	1,4
Koko puusto	88,2	379658	100,0	14,1	7373	100,0	80,2	387035	100,0
Suot yhteensä									
Mänty	41,9	215629	48,1	12,1	21493	69,3	34,3	237124	49,5
Kuusi	22,2	114343	25,5	2,7	4789	15,4	17,2	119133	24,9
Rauduskoivu	1,0	5283	1,2	0,0	14	0,0	0,8	5299	1,1
Hieskoivu	20,5	105348	23,5	2,5	4382	14,1	15,8	109733	22,9
Muu lehtipuu	1,4	7407	1,7	0,2	335	1,1	1,1	7745	1,6
Koko puusto	87,0	448010	100,0	17,5	31013	100,0	69,2	479034	100,0
Kankaat ja suot yhteensä									
Mänty	47,5	966101	47,4	12,6	33563	61,9	43,4	999668	47,8
Kuusi	33,8	687178	33,7	2,8	7530	13,9	30,2	694709	33,2
Rauduskoivu	3,7	74953	3,7	0,1	299	0,6	3,3	75255	3,6
Hieskoivu	11,7	237795	11,7	4,5	12103	22,3	10,9	249901	12,0
Muu lehtipuu	3,5	70953	3,5	0,3	725	1,3	3,1	71683	3,4
Koko puusto	100,2	2036980	100,0	20,3	54220	100,0	90,9	2091216	100,0

Liite 7

Puuston runkotilavuus (milj.m^3) kivennäismailla ja soilla 1951 - 2003 sekä arvioituna VMI3:n aikaisille soille VMI8:n ja VMI9:n ajankohdalla (sarake Suot 1951-53). Etelä- ja Pohjois-Suomen aluejako on muuttunut VMI8:n ja VMI9:n välillä.

	Etelä-Suomi			Pohjois-Suomi			Koko maa			
	Kivennäis-maat	Suot	Yh-teensä	Kiven-näismaat	Suot	Yh-teensä	Kiven-näismaat	Suot	Yh-teensä	Suot 1951-53
VMI3 (1951-53)	856	161	1017	422	91	513	1297	252	1549	252
VMI6 (1971-76)	911	154	1065	388	77	465	1299	231	1530	
VMI7 (1977-84)	977	194	1171	392	97	489	1369	291	1660	
VMI8 (1986-94)	1085	248	1333	429	128	557	1513	377	1890	430
VMI9 (1996-03)	1121	286	1408	491	193	684	1612	479	2091	525

Liite 8

Puuston runkotilavuuden keskimääräinen vuotuinen kasvu VMI9:n mukaan.

	Metsämaa			Kitumaa			Metsä- ja kitumaa		
	m³/ha/v	1000 m³/v	%	m³/ha/v	1000 m³/v	%	m³/ha/v	1000 m³/v	%
Etelä-Suomi									
Kankaat									
Ojittamattomat kankaat									
Mänty	2,2	16547	38,5	0,7	108	76,5	2,1	16655	38,7
Kuusi	2,3	17443	40,6	0,0	8	5,5	2,2	17451	40,5
Koivu	0,8	5866	13,7	0,1	18	12,8	0,8	5884	13,7
Muut lehtipuut	0,4	3073	7,2	0,0	8	5,7	0,4	3081	7,2
Koko puusto	5,6	42929	100,0	0,9	142	100,0	5,5	43071	100,0
Ojitetut kankaat									
Mänty	1,4	1163	25,8	0,0	.	0,0	1,4	1163	25,8
Kuusi	2,2	1874	41,5	0,0	.	0,0	2,2	1874	41,5
Koivu	1,3	1070	23,7	0,0	.	0,0	1,3	1070	23,7
Muut lehtipuut	0,5	408	9,0	0,0	.	0,0	0,5	408	9,0
Koko puusto	5,4	4516	100,0	0,0	.	0,0	5,4	4516	100,0
Kankaat yhteensä									
Mänty	2,1	17710	37,3	0,7	108	76,5	2,1	17819	37,4
Kuusi	2,3	19317	40,7	0,0	8	5,5	2,2	19325	40,6
Koivu	0,8	6936	14,6	0,1	18	12,8	0,8	6954	14,6
Muut lehtipuut	0,4	3482	7,3	0,0	8	5,7	0,4	3489	7,3
Koko puusto	5,6	47446	100,0	0,9	142	100,0	5,5	47587	100,0
Suot									
Ojittamattomat suot									
Mänty	1,4	451	32,4	0,5	66	67,8	1,1	517	34,7
Kuusi	1,6	531	38,2	0,0	2	2,3	1,2	533	35,8
Koivu	1,0	319	22,9	0,2	24	25,0	0,7	343	23,1
Muut lehtipuut	0,3	90	6,5	0,0	5	6,7	0,2	95	6,4
Koko puusto	4,3	1391	100,0	0,7	97	100,0	3,3	1487	100,0
Ojitetut suot									
Mänty	2,1	4880	44,5	0,5	68	81,1	2,0	4949	44,8
Kuusi	1,3	3037	27,7	0,0	0	0,7	1,2	3038	27,5
Koivu	1,2	2816	25,7	0,1	16	18,9	1,1	2832	25,6
Muut lehtipuut	0,1	239	2,2				0,1	239	2,2
Koko puusto	4,7	10973	100,0	0,6	84	100,0	4,5	11056	100,0
Suot yhteensä									
Mänty	2,0	5332	43,1	0,5	134	74,0	1,9	5465	43,6
Kuusi	1,3	3568	28,9	0,0	2	1,3	1,2	3570	28,5
Koivu	1,2	3135	25,4	0,1	40	22,0	1,1	3175	25,3
Muut lehtipuut	0,1	328	2,7	0,0	5	3,8	0,1	333	2,7
Koko puusto	4,6	12363	100,0	0,7	181	100,0	4,3	12544	100,0
Kankaat ja suot yhteensä									
Mänty	2,1	23042	38,5	0,6	242	75,1	2,0	23284	38,7
Kuusi	2,0	22886	38,3	0,0	10	3,1	2,0	22895	38,1
Koivu	0,9	10071	16,8	0,1	58	17,9	0,9	10129	16,8
Muut lehtipuut	0,3	3810	6,4	0,0	13	4,3	0,3	3823	6,4
Koko puusto	5,4	59809	100,0	0,8	322	100,0	5,2	60131	100,0
Puuntuotannon metsät yhteensä									
Mänty	2,4	22466	38,5	0,6	220	74,6	2,3	22686	38,6
Kuusi	2,4	22464	38,4	0,0	10	3,3	2,3	22473	38,3
Koivu	1,0	9834	16,8	0,2	53	18,1	1,0	9888	16,8
Muu lehtipuu	0,4	3664	6,3	0,0	12	4,5	0,4	3676	6,3
Koko puusto	6,2	58428	100,0	0,9	295	100,0	6,0	58723	100,0

Puuston runkotilavuuden keskimääräinen vuotuinen kasvu VMI9:n mukaan.

	Metsämaa			Kitumaa			Metsä- ja kitumaa		
	m³/ha/v	1000 m³/v	%	m³/ha/v	1000 m³/v	%	m³/ha/v	1000 m³/v	%
Pohjois-Suomi									
Kankaat									
Ojittamattomat kankaat									
Mänty	1,7	10503	66,5	0,2	151	38,4	1,5	10653	65,8
Kuusi	0,4	2673	16,9	0,1	42	10,6	0,4	2715	16,8
Koivu	0,4	2226	14,1	0,3	191	48,7	0,3	2417	14,9
Muut lehtipuut	0,1	383	2,4	0,0	9	2,4	0,1	393	2,4
Koko puusto	2,5	15786	100,0	0,5	393	100,0	2,3	16178	100,0
Ojitetut kankaat									
Mänty	1,8	868	49,8	0,0	.	0,0	1,8	868	49,8
Kuusi	0,6	298	17,1	0,0	.	0,0	0,6	298	17,1
Koivu	1,0	502	28,8	0,0	.	0,0	1,0	502	28,8
Muut lehtipuut	0,2	75	4,3	0,0	.	0,0	0,2	75	4,3
Koko puusto	3,6	1744	100,0	0,0	.	0,0	3,6	1744	100,0
Kankaat yhteensä									
Mänty	1,7	11371	64,9	0,2	151	38,4	1,6	11522	64,3
Kuusi	0,4	2972	17,0	0,1	42	10,6	0,4	3013	16,8
Koivu	0,4	2728	15,6	0,3	191	48,7	0,4	2919	16,3
Muut lehtipuut	0,1	458	2,6	0,0	9	2,4	0,1	468	2,6
Koko puusto	2,6	17529	100,0	0,5	393	100,0	2,4	17922	100,0
Suot									
Ojittamattomat suot									
Mänty	0,8	411	37,9	0,3	353	65,8	0,5	764	47,1
Kuusi	0,6	326	30,0	0,1	85	15,9	0,3	412	25,4
Koivu	0,6	313	28,8	0,1	92	17,1	0,2	405	25,0
Muut lehtipuut	0,1	36	3,3	0,0	6	1,1	0,0	42	2,6
Koko puusto	2,1	1087	100,0	0,5	536	100,0	1,0	1622	100,0
Ojitetut suot									
Mänty	1,9	3712	54,9	0,5	209	80,6	1,7	3922	55,9
Kuusi	0,5	988	14,6	0,0	9	3,4	0,4	997	14,2
Koivu	1,0	1960	29,0	0,1	41	15,8	0,9	2001	28,5
Muut lehtipuut	0,1	99	1,5	0,0	0	0,3	0,0	99	1,4
Koko puusto	3,5	6759	100,0	0,7	260	100,0	3,0	7019	100,0
Suot yhteensä									
Mänty	1,7	4124	52,6	0,4	562	70,6	1,2	4686	54,2
Kuusi	0,5	1314	16,8	0,1	94	11,9	0,4	1409	16,3
Koivu	0,9	2273	29,0	0,1	133	16,7	0,6	2406	27,8
Muut lehtipuut	0,1	135	1,7	0,0	6	0,8	0,0	141	1,6
Koko puusto	3,2	7846	100,0	0,5	796	100,0	2,2	8642	100,0
Kankaat ja suot yhteensä									
Mänty	1,7	15495	61,1	0,3	713	60,0	1,4	16207	61,0
Kuusi	0,5	4286	16,9	0,1	136	11,4	0,4	4422	16,6
Koivu	0,5	5002	19,7	0,1	324	27,2	0,5	5325	20,0
Muut lehtipuut	0,1	593	2,3	0,0	16	1,3	0,1	609	2,3
Koko puusto	2,8	25375	100,0	0,5	1188	100,0	2,3	26563	100,0
Puuntuotannon metsät yhteensä									
Mänty	2,1	14561	61,6	0,4	557	67,2	1,9	15118	61,8
Kuusi	0,5	3778	16,0	0,1	85	10,2	0,5	3863	15,8
Koivu	0,7	4736	20,0	0,1	176	21,3	0,6	4912	20,1
Muu lehtipuu	0,1	562	2,4	0,0	11	1,4	0,1	573	2,3
Koko puusto	3,4	23636	100,0	0,6	829	100,0	3,1	24466	100,0

Puuston runkotilavuuden keskimääräinen vuotuinen kasvu VMI9:n mukaan.

	Metsämaa			Kitumaa			Metsä- ja kitumaa		
	m³/ha/v	1000 m³/v	%	m³/ha/v	1000 m³/v	%	m³/ha/v	1000 m³/v	%
Koko Suomi									
Kankaat									
Ojittamattomat kankaat									
Mänty	2,0	27050	46,1	0,3	259	48,5	1,9	27308	46,1
Kuusi	1,5	20117	34,3	0,1	49	9,2	1,4	20166	34,0
Koivu	0,6	8092	13,8	0,2	209	39,1	0,6	8301	14,0
Muut lehtipuut	0,2	3457	5,9	0,0	17	3,2	0,2	3474	5,9
Koko puusto	4,2	58715	100,0	0,6	534	100,0	4,0	59249	100,0
Ojitetut kankaat									
Mänty	1,5	2032	32,5	0,0	.	0,0	1,5	2032	32,5
Kuusi	1,6	2173	34,7	0,0	.	0,0	1,6	2173	34,7
Koivu	1,2	1572	25,1	0,0	.	0,0	1,2	1572	25,1
Muut lehtipuut	0,4	483	7,7	0,0	.	0,0	0,4	483	7,7
Koko puusto	4,7	6260	100,0	0,0	.	0,0	4,7	6260	100,0
Kankaat yhteensä									
Mänty	1,9	29081	44,8	0,3	259	48,5	1,8	29340	44,8
Kuusi	1,5	22289	34,3	0,1	49	9,2	1,4	22338	34,1
Koivu	0,6	9665	14,9	0,2	209	39,1	0,6	9874	15,1
Muut lehtipuut	0,3	3940	6,1	0,0	17	3,2	0,2	3957	6,0
Koko puusto	4,3	64975	100,0	0,6	534	100,0	4,1	65509	100,0
Suot									
Ojittamattomat suot									
Mänty	1,0	862	34,8	0,3	418	66,1	0,6	1281	41,2
Kuusi	1,0	857	34,6	0,1	88	13,8	0,4	944	30,4
Koivu	0,7	632	25,5	0,1	116	18,3	0,4	748	24,0
Muut lehtipuut	0,1	126	5,1	0,0	11	1,8	0,1	137	4,4
Koko puusto	2,9	2477	100,0	0,5	632	100,0	1,5	3110	100,0
Ojitetut suot									
Mänty	2,0	8593	48,5	0,5	277	80,7	1,8	8870	49,1
Kuusi	0,9	4025	22,7	0,0	9	2,7	0,8	4035	22,3
Koivu	1,1	4776	26,9	0,1	57	16,5	1,0	4833	26,7
Muut lehtipuut	0,1	338	1,9	0,0	0	0,2	0,1	338	1,9
Koko puusto	4,1	17732	100,0	0,7	344	100,0	3,7	18076	100,0
Suot yhteensä									
Mänty	1,8	9455	46,8	0,4	696	71,3	1,5	10151	47,9
Kuusi	0,9	4882	24,2	0,1	97	9,9	0,7	4979	23,5
Koivu	1,1	5408	26,8	0,1	172	17,7	0,8	5581	26,3
Muut lehtipuut	0,1	463	2,3	0,0	12	1,2	0,1	475	2,2
Koko puusto	3,9	20209	100,0	0,5	976	100,0	3,1	21185	100,0
Kankaat ja suot yhteensä									
Mänty	1,9	38536	45,2	0,4	955	63,2	1,7	39491	45,6
Kuusi	1,3	27171	31,9	0,1	146	9,7	1,2	27317	31,5
Koivu	0,7	15073	17,7	0,1	381	25,2	0,7	15454	17,8
Muut lehtipuut	0,2	4403	5,2	0,0	29	1,9	0,2	4432	5,1
Koko puusto	4,2	85184	100,0	0,6	1510	100,0	3,8	86695	100,0
Puuntuotannon metsät yhteensä									
Mänty	2,2	37027	45,1	0,5	777	69,1	2,2	37804	45,4
Kuusi	1,6	26242	32,0	0,1	94	8,4	1,5	26336	31,7
Koivu	0,9	14570	17,8	0,1	230	20,4	0,8	14800	17,8
Muu lehtipuu	0,3	4226	5,1	0,0	23	2,1	0,2	4250	5,1
Koko puusto	5,0	82064	100,0	0,7	1124	100,0	4,7	83189	100,0

Suometsien puuston keski- ja kokonaiskasvut puulajiryhmittäin metsä- ja kitumaalla VMI7:ssä , VMI8:ssa ja VMI9:ssä. Etelä- ja Pohjois-Suomen raja on muuttunut VMI8:n ja VMI9:n välillä.

	VMI7 (1977-84)						VMI8 (1986-94)						VMI9 (1996-2003)					
	Etelä-Suomi 1977-82		Pohjois-Suomi 1982-84		Koko maa 1977-84		Etelä-Suomi 1986-92		Pohjois-Suomi 1992-94		Koko maa 1986-94		Etelä-Suomi 1996-2000		Pohjois-Suomi 2001-2003		Koko maa 1996-2003	
	m³/ha	1000 m³	m³/ha	1000 m³	m³/ha	1000 m³	m³/ha	1000 m³	m³/ha	1000 m³	m³/ha	1000 m³	m³/ha	1000 m³	m³/ha	1000 m³	m³/ha	1000 m³
Mänty	1,4	4390	0,5	2010	0,9	6400	1,7	5266	0,7	2703	1,2	7969	1,9	5467	1,2	4686	1,5	10153
Kuusi	1,0	3130	0,2	600	0,5	3730	1,0	3271	0,2	743	0,6	4014	1,2	3572	0,4	1409	0,7	4980
Koivu [1]	1,0	3130	0,4	1600	0,7	4730	1,1	3319	0,4	1599	0,7	4918	1,1	3176	0,6	2406	0,8	5582
Muu lehtipuu							0,1	365	0,0	124	0,1	490	0,1	334	0,0	141	0,1	475
Koko puusto	3,4	10650	1,1	4210	2,1	14860	3,9	12222	1,4	5168	2,6	17390	4,3	12549	2,2	8642	3,1	21191

[1] VMI7:ssä koivun kasvuluku sisältää myös muiden lehtipuiden kasvun

Liite 10

Kivennäismaiden ja soiden puuston vuotuinen kasvu (milj. m^3) metsä- ja kitumaalla 1951-53, 1986-94 ja 1996-2003. Sarakkeessa "Suot 1951-53" on kasvut arvioitu alueille, jotka VMI3:ssa olivat suota, mutta olivat VMI8:ssa ja VMI9:ssa vastaavasti joko suota tai ojitettua kangasta.

	Kivennäismaat	Suot	Suot 1951-53	Yhteensä
1951-53	45,3	9,9	9,9	55,2
1986-94	59,7	17,4	20,1	77,1
1996-2003	65,5	21,2	23,6	86,7
Muutos				
1951-53 – 1996-2003	44,6	114,1	138,4	57,1

Liite 11

Hakkuupinta-alat puutuotannon metsämaan soilla inventointia edeltäneellä 10-vuotiskaudella VMI9:n mukaan (ks. selitykset seuraavalla sivulla).

Hakkuun ajankohta hakkuuvuosina[1)]	Hakkuutapa									Yhteensä	
	1	2	3	4	6	7	8	9	10	km²	% metsämaan suoalasta
Etelä-Suomi											
Yksityiset											
Edellinen hakkuuvuosi	124	23	171	159	95	59	25	6	3	664	3,6
Edeltäneet hakkuuvuodet 2.–5.	664	131	753	839	251	255	197	17	14	3121	16,8
Edeltäneet hakkuuvuodet 6.–10.	779	58	435	640	99	166	96	28	6	2307	12,4
Edellinen 10-vuotiskausi yhteensä	1568	211	1358	1638	445	480	318	51	23	6092	32,7
Yhteisöt											
Edellinen hakkuuvuosi	11	0	6	20	6	6	0	0	0	48	3,5
Edeltäneet hakkuuvuodet 2.–5.	40	14	48	76	3	20	8	3	0	212	15,4
Edeltäneet hakkuuvuodet 6.–10.	65	6	31	37	6	14	3	0	0	161	11,7
Edellinen 10-vuotiskausi yhteensä	116	20	85	133	14	40	11	3	0	422	30,6
Yhtiöt											
Edellinen hakkuuvuosi	20	0	6	9	3	6	0	0	0	43	1,1
Edeltäneet hakkuuvuodet 2. –5.	91	3	94	63	29	29	6	0	0	314	8,4
Edeltäneet hakkuuvuodet 6.–10.	158	17	52	80	29	60	23	3	0	421	11,2
Edellinen 10-vuotiskausi yhteensä	269	20	152	152	60	94	28	3	0	777	20,7
Valtio											
Edellinen hakkuuvuosi	23	0	6	3	6	0	0	0	0	37	1,5
Edeltäneet hakkuuvuodet 2. –5.	87	3	46	40	12	20	3	0	0	210	8,6
Edeltäneet hakkuuvuodet 6.–10.	117	3	48	40	17	11	9	0	0	246	10,1
Edellinen 10-vuotiskausi yhteensä	227	6	100	83	35	31	11	0	0	493	20,2
Yhteensä											
Edellinen hakkuuvuosi	178	23	188	191	109	71	25	6	3	793	3,0
Edeltäneet hakkuuvuodet 2. –5.	882	150	941	1019	294	323	214	20	14	3857	14,7
Edeltäneet hakkuuvuodet 6.–10.	1119	83	566	797	151	251	130	31	6	3134	12,0
Edellinen 10-vuotiskausi yhteensä	2179	256	1695	2006	554	645	369	57	23	7784	29,7
Pohjois-Suomi											
Yksityiset											
Edellinen hakkuuvuosi	70	28	109	35	56	18	7	0	0	323	2,3
Edeltäneet hakkuuvuodet 2. –5.	233	35	462	208	250	119	28	11	7	1352	9,6
Edeltäneet hakkuuvuodet 6.–10.	388	46	394	144	151	144	18	14	18	1317	9,4
Edellinen 10-vuotiskausi yhteensä	691	109	965	387	457	281	53	25	25	2993	21,3
Yhteisöt											
Edellinen hakkuuvuosi	11	0	4	7	0	0	0	0	0	21	2,0
Edeltäneet hakkuuvuodet 2. –5.	46	4	21	4	7	14	7	0	0	102	9,6
Edeltäneet hakkuuvuodet 6.–10.	39	0	28	7	4	4	0	7	4	91	8,6
Edellinen 10-vuotiskausi yhteensä	95	4	53	18	11	18	7	7	4	215	20,2
Yhtiöt											
Edellinen hakkuuvuosi	25	4	0	4	0	4	0	0	0	35	2,1
Edeltäneet hakkuuvuodet 2. –5.	35	4	18	4	11	4	0	0	0	74	4,3
Edeltäneet hakkuuvuodet 6.–10.	67	7	39	11	7	7	0	0	0	137	8,0
Edellinen 10-vuotiskausi yhteensä	126	14	56	18	18	14	0	0	0	246	14,4
Valtio											
Edellinen hakkuuvuosi	11	0	11	4	4	4	0	0	0	32	0,5
Edeltäneet hakkuuvuodet 2. –5.	92	0	67	35	35	46	14	0	0	289	4,1
Edeltäneet hakkuuvuodet 6.–10.	247	4	49	32	11	50	7	0	0	399	5,7
Edellinen 10-vuotiskausi yhteensä	349	4	127	70	49	99	21	0	0	719	10,2
Yhteensä											
Edellinen hakkuuvuosi	116	32	123	49	60	25	7	0	0	412	1,7
Edeltäneet hakkuuvuodet 2. –5.	405	42	567	250	302	183	49	11	7	1816	7,6
Edeltäneet hakkuuvuodet 6.–10.	740	56	511	193	173	205	25	21	21	1945	8,2
Edellinen 10-vuotiskausi yhteensä	1262	130	1201	492	535	412	81	32	28	4173	17,5

Liite 11, jatkuu

Hakkuun ajankohta hakkuuvuosina[1)]	Hakkuutapa									Yhteensä	
	1	2	3	4	6	7	8	9	10	km²	% metsämaan suoalasta
Koko Suomi											
Yksityiset											
Edellinen hakkuuvuosi	195	51	280	194	151	77	32	6	3	988	3,0
Edeltäneet hakkuuvuodet 2. –5.	897	166	1214	1046	501	374	226	28	21	4473	13,7
Edeltäneet hakkuuvuodet 6.–10.	1167	103	829	784	251	310	113	43	23	3624	11,1
Edellinen 10-vuotiskausi yhteensä	2259	320	2323	2025	902	762	371	76	48	9085	27,8
Yhteisöt											
Edellinen hakkuuvuosi	22	0	9	27	6	6	0	0	0	70	2,9
Edeltäneet hakkuuvuodet 2. –5.	85	18	69	80	10	34	15	3	0	314	12,9
Edeltäneet hakkuuvuodet 6.–10.	104	6	59	44	9	18	3	7	4	253	10,3
Edellinen 10-vuotiskausi yhteensä	211	23	137	151	25	57	18	10	4	636	26,1
Yhtiöt											
Edellinen hakkuuvuosi	44	4	6	12	3	9	0	0	0	78	1,4
Edeltäneet hakkuuvuodet 2. –5.	126	6	112	66	39	32	6	0	0	388	7,1
Edeltäneet hakkuuvuodet 6.–10.	224	24	91	91	36	67	23	3	0	558	10,2
Edellinen 10-vuotiskausi yhteensä	395	34	208	169	78	108	28	3	0	1023	18,7
Valtio											
Edellinen hakkuuvuosi	33	0	16	6	9	4	0	0	0	69	0,7
Edeltäneet hakkuuvuodet 2. –5.	178	3	113	76	47	66	17	0	0	499	5,3
Edeltäneet hakkuuvuodet 6.–10.	365	6	98	72	28	61	16	0	0	645	6,8
Edellinen 10-vuotiskausi yhteensä	576	9	227	154	84	130	32	0	0	1212	12,8
Yhteensä											
Edellinen hakkuuvuosi	295	54	311	240	169	95	32	6	3	1204	2,4
Edeltäneet hakkuuvuodet 2. –5.	1287	192	1508	1268	597	506	263	30	21	5673	11,3
Edeltäneet hakkuuvuodet 6.–10.	1860	140	1077	990	323	456	155	52	27	5079	10,2
Edellinen 10-vuotiskausi yhteensä	3441	386	2895	2498	1089	1057	450	89	51	11957	23,9

[1)] Hakkuuvuosi vaihtuu touko-kesäkuun vaihteessa

Hakkuutavat
1 Taimikon perkaus ja/tai harvennus
2 Ylispuiden poisto
3 Ensiharvennus
4 Muu harvennus
5 –
6 Erikoishakkuu, esim. tuhojen korjaushakkuu, tie- ja ojalinjahakkuu tai lievä ylispuuluonteisten puiden poisto
7 Uudistushakkuu keinollista uudistamista varten
8 Uudistushakkuu luontaista uudistamista varten
9 Verhopuuhakkuu
10 Harsintahakkuu

Liite 12

Hakkuuehdotuspinta-alat metsämaan soilla VMI9:n mukaan.

Ehdotetun hakkuun ajankohta	Hakkuutapa								Yhteensä	
	1	2	3	4	6	7	8	9	km²	% metsämaan suoalasta
	km²									
Etelä-Suomi										
Yksityiset										
Lähin 5-vuotiskausi, myöhässä	660	150	756	597	9	159	29	59	2419	13,0
Lähin 5-vuotiskausi, muut	888	214	1201	1499	6	895	391	40	5133	27,6
Toinen 5-vuotiskausi	506	107	1516	981	0	287	133	3	3533	19,0
10-vuotiskausi yhteensä	2053	471	3473	3076	14	1340	554	102	11085	59,5
Yhteisöt										
Lähin 5-vuotiskausi, myöhässä	48	6	54	25	0	11	9	0	152	11,0
Lähin 5-vuotiskausi, muut	71	20	82	93	0	53	25	0	345	25,0
Toinen 5-vuotiskausi	57	3	105	73	0	37	3	0	277	20,1
10-vuotiskausi yhteensä	176	28	241	191	0	101	37	0	774	56,1
Yhtiöt										
Lähin 5-vuotiskausi, myöhässä	127	17	119	71	0	20	0	6	360	9,6
Lähin 5-vuotiskausi, muut	206	17	301	221	3	107	34	6	894	23,8
Toinen 5-vuotiskausi	97		432	165	0	34	20		749	19,9
10-vuotiskausi yhteensä	431	34	852	456	3	162	54	11	2002	53,3
Valtio										
Lähin 5-vuotiskausi, myöhässä	63	11	42	34	0	23	14	6	193	7,9
Lähin 5-vuotiskausi, muut	131	17	170	105	0	51	31	0	505	20,7
Toinen 5-vuotiskausi	54		276	74	0	29	8	0	442	18,1
10-vuotiskausi yhteensä	248	29	489	213	0	103	53	6	1141	46,7
Yhteensä										
Lähin 5-vuotiskausi, myöhässä	897	184	971	727	9	213	52	71	3123	11,9
Lähin 5-vuotiskausi, muut	1296	268	1754	1917	9	1107	481	45	6877	26,3
Toinen 5-vuotiskausi	714	110	2329	1293	0	387	165	3	5001	19,1
10-vuotiskausi yhteensä	2908	562	5054	3937	17	1706	697	119	15001	57,3
Pohjois-Suomi										
Yksityiset										
Lähin 5-vuotiskausi, myöhässä	1085	40	808	296	0	439	28	49	2745	19,6
Lähin 5-vuotiskausi, muut	555	28	1031	581	0	642	18	11	2865	20,4
Toinen 5-vuotiskausi	377	32	1076	398	0	169	32	0	2083	14,9
10-vuotiskausi yhteensä	2017	100	2915	1274	0	1250	78	60	7693	54,8
Yhteisöt										
Lähin 5-vuotiskausi, myöhässä	88		46	18	0	49	7	0	208	19,6
Lähin 5-vuotiskausi, muut	39	4	28	39	4	18	0	0	130	12,2
Toinen 5-vuotiskausi	42		81	35	0	4	0	0	162	15,2
10-vuotiskausi yhteensä	69	4	155	91	4	71	7	0	500	47,0
Yhtiöt										
Lähin 5-vuotiskausi, myöhässä	81	7	91	32	0	39	0	4	253	14,8
Lähin 5-vuotiskausi, muut	49		116	42	0	28	4	0	239	14,0
Toinen 5-vuotiskausi	18		183	28	0	21	4	0	253	14,8
10-vuotiskausi yhteensä	148	7	390	102	0	88	7	4	745	43,5
Valtio										
Lähin 5-vuotiskausi, myöhässä	368	39	162	35	0	379	32	11	1026	14,6
Lähin 5-vuotiskausi, muut	148	14	349	113	0	371	4	0	999	14,2
Toinen 5-vuotiskausi	170		595	127	0	71	14	0	976	13,9
10-vuotiskausi yhteensä	686	53	1106	275	0	821	50	11	3000	42,6
Yhteensä										
Lähin 5-vuotiskausi, myöhässä	1622	86	1107	380	0	906	67	63	4232	17,8
Lähin 5-vuotiskausi, muut	791	46	1524	774	4	1059	25	11	4233	17,8
Toinen 5-vuotiskausi	607	32	1934	588	0	264	49	0	3474	14,6
10-vuotiskausi yhteensä	3020	163	4565	1742	4	2229	141	74	11939	50,1

Liite 12, jatkuu

Ehdotetun hakkuun ajankohta	Hakkuutapa								Yhteensä	
	1	2	3	4	6 km²	7	8	9	km²	% metsämaan suoalasta
Koko Suomi										
Yksityiset										
Lähin 5-vuotiskausi, myöhässä	1745	189	1564	892	9	598	58	109	5163	15,8
Lähin 5-vuotiskausi, muut	1443	242	2233	2079	6	1537	409	50	7998	24,5
Toinen 5-vuotiskausi	883	139	2591	1378	0	456	165	3	5616	17,2
10-vuotiskausi yhteensä	4071	571	6388	4350	14	2590	632	162	18777	57,5
Yhteisöt										
Lähin 5-vuotiskausi, myöhässä	136	6	99	43	0	61	16	0	360	14,7
Lähin 5-vuotiskausi, muut	110	24	110	132	4	71	25	0	475	19,4
Toinen 5-vuotiskausi	99	3	186	108	0	40	3	0	439	18,0
10-vuotiskausi yhteensä	345	32	395	283	4	172	44	0	1274	52,1
Yhtiöt										
Lähin 5-vuotiskausi, myöhässä	209	24	210	102	0	58	0	9	613	11,2
Lähin 5-vuotiskausi, muut	255	17	416	263	3	136	37	6	1133	20,7
Toinen 5-vuotiskausi	115		615	193	0	55	23	0	1002	18,3
10-vuotiskausi yhteensä	579	41	1242	558	3	249	61	15	2748	50,3
Valtio										
Lähin 5-vuotiskausi, myöhässä	431	50	205	69	0	402	46	16	1219	12,9
Lähin 5-vuotiskausi, muut	279	31	519	218	0	422	34	0	1504	15,9
Toinen 5-vuotiskausi	224		871	201	0	100	23	0	1419	15,0
10-vuotiskausi yhteensä	934	82	1595	488	0	924	103	16	4141	43,7
Yhteensä										
Lähin 5-vuotiskausi, myöhässä	2520	269	2078	1107	9	1119	119	134	7355	14,7
Lähin 5-vuotiskausi, muut	2087	314	3278	2692	12	2165	505	56	11110	22,2
Toinen 5-vuotiskausi	1321	142	4263	1881	0	651	214	3	8475	16,9
10-vuotiskausi yhteensä	5928	725	9620	5679	21	3935	839	193	26940	53,8

Hakkuutavat:
1 Taimikon perkaus ja/tai harvennus
2 Ylispuiden poisto
3 Ensiharvennus
4 Muu harvennus
6 Erikoishakkuu, esim. tuhojen korjaushakkuu, tie- ja ojalinjahakkuu tai lievä ylispuuluonteisten puiden poisto
7 Uudistushakkuu keinollista uudistamista varten
8 Uudistushakkuu luontaista uudistamista varten
9 Verhopuuhakkuu

Liite 13

Tehdyt ojitukset metsämaan kankailla sekä metsä-, kitu- ja joutomaan soilla VMI9:n mukaan.

	Kangas		Suo			Yhteensä
	Metsämaa	Metsämaa	Kitumaa	Joutomaa	Yhteensä	
			1000 ha			
Etelä-Suomi						
Metsäojitukset						
Uudisojitus	124	91	11	3	104	228
Ojien perkaus	31	215	9	1	225	256
Täydennysojitus[1)]	19	132	3	0	136	154
Metsäojitukset yhteensä	173	439	23	4	465	638
Muut toimenpiteet						
Suon ennallistaminen	0	1	0	0	1	1
Muu kuin metsäojitus	5	3	0	1	4	9
11–30 vuotta vanhat ojitukset yhteensä	416	1239	80	11	1330	1746
Pohjois-Suomi						
Metsäojitukset						
Uudisojitus	40	49	16	2	67	107
Ojien perkaus	17	127	8	0	136	153
Täydennysojitus[1)]	10	93	5	0	98	108
Metsäojitukset yhteensä	67	268	30	2	301	368
Muut toimenpiteet						
Muu kuin metsäojitus	2	3	2	2	8	10
11–30 vuotta vanhat ojitukset yhteensä	248	1016	221	30	1267	1516
Koko Suomi						
Metsäojitukset						
Uudisojitus	164	140	27	5	171	335
Ojien perkaus	48	342	17	1	360	409
Täydennysojitus[1)]	29	225	8	0	234	263
Metsäojitukset yhteensä	241	707	53	6	766	1006
Muut toimenpiteet						
Suon ennallistaminen	0	1	0	0	1	1
Muu kuin metsäojitus	7	6	2	3	12	19
11–30 vuotta vanhat ojitukset	665	2255	301	42	2597	3262

[1)] Täydennysojituksen lisäksi näillä alueilla on voitu perata vanhoja ojia.

Liite 14

Ojitusehdotukset metsämaan kankailla sekä metsä-, kitu- ja joutomaan soilla VMI9:n mukaan.

	Kangas Metsämaa	Metsämaa	Suo Kitumaa 1000 ha	Yhteensä	Yhteensä
Etelä-Suomi					
Uudisojitus	140	264	19	283	422
Ojien perkaus	35	642	2	644	679
Täydennysojitus[1)]	20	277	5	283	302
Yhteensä	194	1183	26	1209	1404
Pohjois-Suomi					
Uudisojitus	184	321	80	401	586
Ojien perkaus	14	423	6	429	443
Täydennysojitus[1)]	30	299	14	313	343
Yhteensä	228	1043	100	1143	1372
Koko Suomi					
Uudisojitus	324	584	99	684	1008
Ojien perkaus	49	1065	7	1073	1122
Täydennysojitus[1)]	50	576	19	595	645
Yhteensä	423	2226	126	2352	2776

[1)] Täydennysojituksen lisäksi näillä alueilla saatetaan tarvita myös vanhojen ojien perkaus.

Vammalan Kirjapaino Oy 2006

ISBN 951-40-1987-3
ISSN 0358-4283