



METSÄTALOUDEN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET JA NIIDEN ARVIOINTI

Metsäntutkimuspäivä Perhossa 1996

Jyrki Kangas & Esa Heino (toim.)

Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 611

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
Kirjasto

Metsäntutkimuslaitos
Kannuksen tutkimusasema
PL 44
69101 Kannus
Puh. 06-871 161

Kansikuvat: Esa Heino/Metla

METSÄTALOUDEN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET JA NIIDEN ARVIOINTI

Metsäntutkimuspäivä Perhossa 1996

Toimittaneet

Jyrki Kangas ja Esa Heino

Metsäntutkimuslaitos, Kannuksen tutkimusasema
Kannus 1996

Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 611

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
Kangasto

Kangas, J. & Heino, E. (toim.). 1996. Metsätalouden ympäristövaikutukset ja niiden arviointi. Metsäntutkimuspäivä Perhossa 1996. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 611. 75 s. ISBN 951-40-1529-0, ISSN 0358-4283.

Julkaisun artikkelit perustuvat Kannuksen tutkimusaseman järjestämän metsäntutkimuspäivän esitelmiin. Julkaisun - joka on valmistunut jo ennen tutkimuspäivää siellä osanottajille jaettavaksi - alkuosan muodostavat metsätalouden ympäristövaikutukset ja niiden arviointi -teemaan liittyvät artikkelit ja loppuosan muita aiheita käsittelevät kirjoitukset. Valitettavasti johtaja Hannu Valtasen esitelmä aiheesta "Ympäristövaikutusten arvioinnista ekosertifointiin" puuttuu julkaisusta.

Julkaisija: Metsäntutkimuslaitoksen Kannuksen tutkimusasema

Hyväksynyt: Aarne Reunala 18.10.1996

Myynti: Metsäntutkimuslaitos, Kannuksen tutkimusasema, PL 44, 69101 Kannus
Puh. 06 - 871 161

SISÄLLYS

Jyrki Kangas: Alkusanat.....	4
Mikael Hildén: Metsätalouden ympäristövaikutusten arviointi: mitä, miksi, milloin?.....	5
Leena Finer: Mitä tiedämme metsätalouden ympäristökuormituksesta?.....	8
Jyrki Kangas: Tutkimuksen tuottamia työkaluja ympäristövaikutusten arviointiin metsäsunnittelun laskelmissa.....	13
Ron Store: Paikkatietoanalyysien mahdollisuudet ympäristökuormituksen arvioinnissa.....	18
Rauno Väisänen: Monimuotoisuuden huomioonottaminen talousmetsien hoidossa ja käytössä.....	23
Antti Wall: Pellonmetsitysalojen biologinen monimuotoisuus.....	28
Anssi Niskanen: Metsänuudistamisen ympäristövaikutukset kivennäismailla...	35
Risto Lauhanen, Reetta Kolppanen & Markku Lehtinen: Metsätalou- dessa käytettävien öljyjen ympäristö- ja terveysvaikutukset - katsaus ja ennakkotuloksia.....	45
Jyrki Hytönen: Haavasta kuitupuuta lyhyin kierroin?.....	52
Juha Nurmi: Hakkuutähteestä saatavan puupolttoaineen laatu ja sen hallinta....	62
Kristian Karlsson: Metsätalouden kestävä kehitys Pohjanlahden rannikolla - uusi tutkimushanke.....	67
Sauli Takalo: Jätteet rakeistamalla hyötykäyttöön.....	73

ALKUSANAT

Metsäntutkimuslaitoksen Kannuksen tutkimusaseman tutkimuspäivälle valittiin tälläkin kertaa varsin ajankohtainen pääteema: metsätalouden ympäristövaikutukset ja niiden arviointi. Teemaa tarkastellaan esitelmissä monipuolisesti sekä tutkimuksen että käytännön metsä- ja ympäristötalouden näkökulmista.

Metsien hoidon ja käytön ympäristövaikutusten tarkasteluun on akuutti tarve. Kansainväliset sopimukset edellyttävät metsäluonnon monimuotoisuuden huomioon ottamista metsien käsittelyssä myös Suomessa. Kansalaismielipide ja kansallinen metsäpolitiikka painottavat metsien moniarvoisuutta sekä metsien terveyden ja elinvoiman turvaamista. Myös metsänomistajat antavat yhä suuremman painoarvon metsiensä muille kuin puuntuotannollisille käytöille ja ominaisuuksille.

Metsätalouden ympäristövaikutusten ja niiden arvioinnin tutkimus on Metsäntutkimuslaitoksessa nähty tärkeäksi. Tämän vuoden alussa aloitti uusi metsätalouden ympäristökuormituksen tutkimusohjelma. Ympäristövaikutuksia ja niiden arviointia selvitetään myös erityisesti metsän eri käyttömuotojen yhteensovittamisen sekä metsäluonnon monimuotoisuuden tutkimusohjelmiin kuuluvissa, mutta myös useissa muissa tutkimushankkeissa.

Kannuksen tutkimusasemalla on monia aihepiiriin liittyviä tutkimuksia. Useat näistä tutkimuksista ovat hyvin ongelmalähtöisiä ja käytännön metsä- ja ympäristötaloutta suoraan hyödyttäviin tuloksiin tähtääviä. Samalla kun korostetaan tutkimusten käytännönläheisyyttä on kuitenkin muistettava, että soveltavankin tutkimuksen uskottavuus on tieteellisen pohjan pitävyyden varassa. Metsätalouden ympäristövaikutusten arviointi voikin olla enintään niin luotettavaa kuin ovat siinä käytettävät arviointimenetelmät sekä tietämys, johon arviointilaskelmat perustuvat. Toivon - ja uskon, että tutkimuspäivän esitelmät antavat osallistujille ja lukijoille lisävalaisua sekä metsätalouden ympäristövaikutuksista että niiden arvioinnista.

Jyrki Kangas
Tutkimusaseman johtaja

Mikael Hildén

Suomen ympäristökeskus
Ohjauskeinoyksikkö

METSÄTALouden YMPÄRISTÖVAIKUTUSTEN ARVIOINTI : MITÄ, MIKSI, MILLOIN?

Mitä ympäristövaikutusten arviointi tarkoittaa metsätaloudessa?

Sanapari "ympäristövaikutusten arviointi" synnyttää usein kaksi toisistaan poikkeavaa mielleyhtymää. Toinen liittyy yksittäisten ympäristömuutosten vaikutusten tutkimiseen: arvioidaan esimerkiksi happaman laskeuman vaikutusta metsän kasvuun tai ilmastonmuutoksen vaikutuksia metsien rakenteeseen. Toinen on ajatus lakisääteisestä ympäristövaikutusten arviointimenettelystä, jota YVAL (468/94) ja sen perusteella annetun asetuksen mukaisesti sovelletaan yksittäisiin hankkeisiin. Tässä esityksessä en syvenny kumpaankaan, mutta viitataan molempiin. Lähtökohtani on sen sijaan YVAL 23 ja 24 pykälät. Edellinen edellyttää, että jokainen hankkeesta vastaava on riittävästi selvillä toimintansa ympäristövaikutuksista ja jälkimmäinen vaatii, että viranomaisen on suunnitelmia ja ohjelmia valmistellessaan myös tarkasteltava niiden ympäristövaikutuksia. Luonnos metsäasetukseksi (syyskuu 1996) edellyttää sopusuunnassa näiden vaatimusten kanssa metsäkeskukselta arvioita metsätaloudellisen alueellisen tavoiteohjelman ympäristövaikutuksista.

YVAL määrittelee ympäristövaikutuksen varsin laajasti (taulukko 1). Velvoite ei siten ole vähäpätöinen eikä ongelmaton. Ongelmallisuus liittyy mm. siihen, että käsitykset merkittävistä vaikutuksista voivat olla hyvin erilaisia. Mökinomistajan näkökulmasta hakkuun maisemalliset vaikutukset ovat kriittiset, luonnonsuojelija näkee pötkelöt ja kolopuut, vesiviranomaiset ravinnekuormituksen ja metsänomistaja puuvarastot. Jos kaikkien osapuolten näkemät kaikki vaikutukset selvitetään, ei muuta tehdäkään.

Oikean tiedon ongelmaa ei voida ratkaista tietäjien avulla, jotka suuressa viisaudessaan ilmoittaisivat mitä pitää selvittää ja arvioida. Kukaan ei näytä nauttivan niin laajaa ja varauksetonta luottamusta, että tietäjämalli toimisi. Metsätaloudessa ei myöskään ole järkevää pyrkiä ratkaisemaan kiistoja oikeusasteissa. Metsätaloudellista lupajärjestelmää, joka keskittyisi intressiristiriitojen selvittämiseen, ei ole. Ainoastaan erikoistapauksissa, kuten ojitusten vesioikeudellisissa menettelyissä, voidaan ajatella tuomarinvälisen ratkaisun kiistat. Jäljelle jää neuvottelu ja sopiminen. Tämä tarkoittaa siis sitä, että metsätalouden ympäristövaikutusten arviointiin liittyy paitsi monisäikeisten ympäristövaikutusten tarkastelu myös osapuolten välinen keskustelu. Keskustelu ei kuitenkaan täyty tehtävänsä, jos se liikkuu minkä tahansa jutustelun tasolla. Yhteistyö ja osallistuminen vaatii järjestelmällistä suunnittelua ja yhteisesti sovittuja pelisääntöjä.

Toinen mahdollinen ongelma metsätalouden ympäristövaikutusten arvioinnissa on saatavan tiedon epävarmuus. Epävarmuus on väistämätöntä, sillä arviointi tähtää aina tulevaisuuteen eikä kaikki vaikutuksia tai syy-yhteyksiä voida ennakoita. Ongelman merkitystä voidaan kuitenkin monella tavalla pienentää. Ehkä tärkein tapa on tarkastella vaihtoehtoisia toimintatapoja. Kun

arvioinnissa otetaan lähtökohdaksi useiden vaihtoehtojen tarkastelu, suhteellisten erojen selvittäminen on usein riittävää. Vaihtoehdot voidaan asettaa tarkasteltavien muuttujien suhteen järjestysasteikoille, jotka ovat vähemmän vaativia kuin intervalli- tai suhteasteikot, mutta usein riittävät päätöksenteossa. On kuitenkin huomattava, että "absoluuttista" paremmuus järjestystä ei yleensä löydy - vaihtoehdot ovat eri tavalla hyviä ja huonoja. Viime kädessä päätöksentekijä joutuu valitsemaan vaihtoehtojen välillä. Vaikutusten arvioinnin tehtävänä on tukea tietoisia valintoja.

Taulukko 1. Ympäristövaikutusten eri tyypit YVAL:n ympäristövaikutuksen määritelmän mukaan. Kunkin päätyypin alla on esitetty esimerkkejä metsätalouden vaikutuksista.

-
- a) Ihmisen terveys, elinolot ja viihtyvyys
 - * vaikutus virkistysmahdollisuuksiin

 - b) Maaperä, vedet, ilma
 - * vesistöjen veden laadun heikkeneminen

 - c) Ilmasto
 - * vaikutus pienilmastoon ja tuuliolosuhteisiin

 - d) Eliöt ja niiden vuorovaikutukset sekä luonnon monimuotoisuus
 - * luonnon monimuotoisuuden väheneminen
 - * elinympäristöjen vaurioituminen tai häviäminen
 - * uhanalaisten lajien väheneminen tai häviäminen

 - e) Yhdyskuntarakenne, rakennukset, maisema, kaupunkikuva tai kulttuuriperintö
 - * maisemamuutokset

 - f) Luonnonvarojen hyödyntäminen
 - * vaikutus perinteiseen maankäyttöön tai luonnonvarojen kuten marjojen, sienten ja jäkälien hyödyntämiseen
-

Miksi arvioida?

Ympäristövaikutusten arviointi on eräs keinoista lähestyä kestävä metsätaloutta mm. uuden metsähoitolain tavoitteiden mukaisesti. Arviointi tarjoaa myös perustan ristiriitojen välttämiseksi ja sopimiseksi. Nimenomaan metsätaloudessa on kokemusta siitä, kuinka repiviksi ja kauaskantoisiksi kiistat voivat kehittyä, jos niitä ei ajoissa ryhdytä ratkaisemaan. Ympäristövaikutuksia ei siis arvioida pelkästään ympäristöä koskevan tiedon hankkimiseksi vaan myös vuoropuhelun tukemiseksi.

Milloin arvioidaan?

On myöhäistä arvioida vaikutuksia, kun monitoimikone on tilattu paikalle. Sen sijaan arvioinnin tavoitteena on osaltaan antaa monitoimikoneen ohjaajalle toimintamalleja, joiden avulla kestävä metsätalous toteutuu paikallisella tasolla. Tämä ei kuitenkaan ole ympäristövaikutusten arvioinnin ainoa tehtävä, sillä toimenpiteet metsässä ovat monentasoisten ja -tyyppisten päätösten tulos.

Valtakunnallisella tasolla lainsäädäntö ohjaa metsätaloutta mm. vero- ja tukipolitiikassa. Lakien ympäristövaikutusten arviointi on usein vaikeaa, jos uusi laki tai lain uudistus muuttaa metsätalouden toimintaympäristöä vain vähän. Karkeakin vaihtoehtojen ja mahdollisten kehityskulkujen tarkastelu ympäristön kannalta on kuitenkin tärkeää, koska lait ohjaavat muuta päätöksentekoa. Näin päätökset ja niissä tehdyt valinnat vahvistavat toisiaan ja vaikutukset metsissä voivat olla voimakkaita. Metsä- ja suo-ojitusten kehittyminen on esimerkki tämänkaltaisesta taantumaketjusta.

Yhteiskunta ohjaa metsätaloutta varsin yksityiskohtaisesti rahoituspäätöksensä avulla. Alueellisella tasolla esimerkiksi metsäparannusvarojen käyttö voi olla linjapäätös, jonka vaikutuksia tulisi arvioida esimerkiksi talous- ja toimintasuunnitelmissa. TTS:n yhteydessä ei kuitenkaan ole kyse täsmällisistä vaikutusarvioinneista, joissa tarkasteltaisiin esimerkiksi kuinka monta uhanalaisten lajien kantaa voidaan turvata eri päätösvaihtoehdoissa. Sen sijaan tulee harkittavaksi se, miten eri vaihtoehdot vaikuttavat tiettyntyyppisten elinympäristöjen kehitykseen. Tämän tiedon avulla voidaan yleisellä tasolla tehdä johtopäätöksiä päätösten vaikutuksista mm. luonnon monimuotoisuuteen.

Tulevat metsätalouden alueelliset tavoiteohjelmat voivat asettaa kehyksiä metsätalouden kehitymiselle. Tällä tasolla voidaan ratkaista linjakysymyksiä ja muodostaa alueelliset tulkinnot kestäväälle metsätaloudelle. Kokemuksia tämänkaltaisesta työstä on saatu esimerkiksi metsähallituksen alue-ekologisessa suunnittelussa. Parhaimmillaan tavoiteohjelma on yhteisesti sovittu linjapäätös, joka edeltää niitä lukuisia päätöksiä, joita metsätalouden yksittäiset toimijat tekevät päivittäisessä metsähoitotyössään. Tavoiteohjelmaan tulee näin sisältyä perusteltu näkemys siitä, miten alueellinen metsätalous ottaa ympäristövaikutuksia huomioon. Jos on voitu sopia etukäteen periaatteista, ei ole enää tarpeen käydä periaatteellista keskustelua ennen jokaista toimenpidettä. Toimenpiteissä ja toimenpiteiden seurannassa huolehditaan vain siitä, että sovitut periaatteet myös toteutuvat käytännössä.

Leena Finér

Metsätutkimuslaitos
Joensuun tutkimusasema

MITÄ TIEDÄMME METSÄTALouden YMPÄRISTÖKUORMITUKSESTA?

Mitä tarkoitamme metsätalouden ympäristökuormituksella?

On tarpeen aloittaa määrittelemällä, mitä metsätalouden ympäristökuormituksella tarkoitetaan. Metsätalouden toimenpiteet kuten hakkuut, metsäkuljetus, maanpinnan käsittely, kulotus, lannoitus, ojitukset, torjunta-aineiden käyttö sekä metsäteiden rakennus muuttavat metsäalueiden vesi- ja ravinnekiertoja ja voivat aiheuttaa ympäristökuormitusta. Vaikutuksia voidaan havaita maaperässä, pohjavesissä, vesistöissä ja ilmakehässä. Kuormitukseksi lasketaan metsätalouden aiheuttamat hydrologiset muutokset, maa-, pohja- ja valumavesien happamuuden muutokset sekä kiintoaineen, ravinteiden, metallien, humuksen, öljyjen ja torjunta-aineiden huuhtoutuminen pohjaveteen ja vesistöihin. Vesistökuormitus voi haitata pinta- ja pohjaveden käyttöä talousvetenä, vesistöjen käyttöä kalastukseen sekä ranta-alueiden käyttöä virkistykseen ja rakentamiseen. Ravinteiden huuhtoutuminen ja korjattavan puutavaran mukana poistuvat ravinteet heikentävät kasvupaikan viljavuutta. Tämä puolestaan vähentää kasvupaikan puuntuottoa sekä kykyä vastustaa ilmansaasteiden haittavaikutuksia. Ilmakehää metsätalous on kuormittanut vain vähän, koska lisääntyvät metsävarat ovat toistaiseksi sitoneet enemmän hiiltä kuin mitä niistä on ilmakehään vapautunut. Soiden ojitustenkin on arvioitu valtakunnan tasolla vähentävän kasvihuonekaasujen päästöjä ilmakehään (Laine 1996).

Kuormituksen vaikutus

Metsätalouden maan alasta 1-3% on vuosittain erilaisten metsätaloustoimenpiteiden kohteena (taulukko 1). Hakkuu- ja maanmuokkauspinta-alojen on ennustettu lisääntyvän vuoteen 2000 mennessä. Metsälannoitus samoin kuin torjunta-aineiden käyttö on vähäistä. Turvemaiden uudisojitus on saatu päätökseen, mutta kunnostusojitukset ja niiden myötä turvemaiden hakkuut lisääntyvät. Metsätalouden aiheuttaman maaperä-, pohjavesi- ja vesistökuormituksen voidaan ennustaa tulevaisuudessa lisääntyvän erityisesti hakkuiden seurauksena mikäli torjuntatoimia ei tehdä.

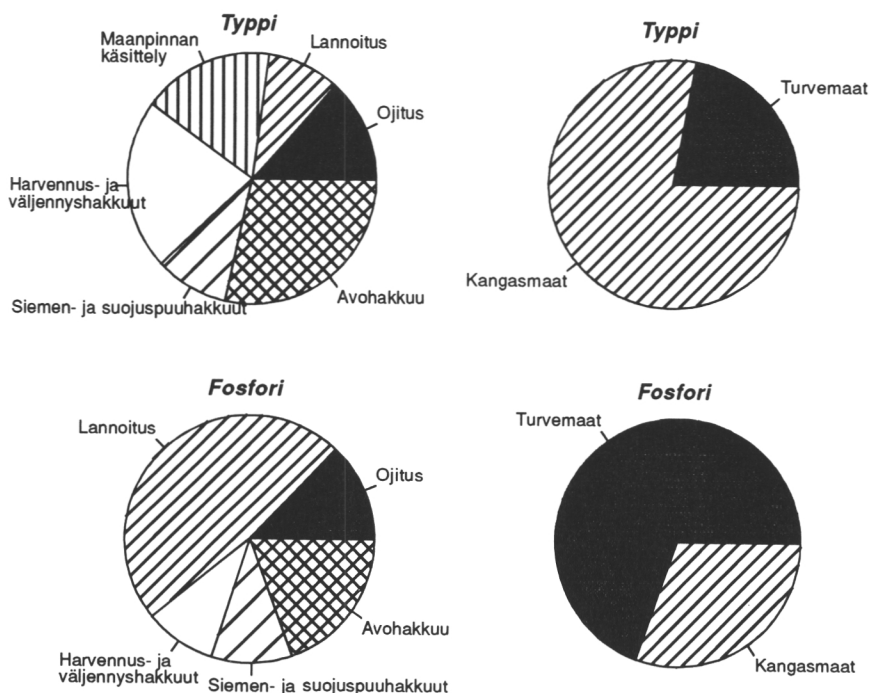
Metsätalouden aiheuttama kuormitus kohdistuu pääasiassa vesistöihin ja jossakin määrin myös maaperään ja pohjavesiin. Metsätalouden aiheuttama vesistökuormitus on luonteeltaan hajakkuormitusta toisin kuin teollisuuden pistemäinen kuormitus.

Taulukko 2. Metsätalouden vuotuiset suoritteet v. 1988, 1993 (Uusitalo 1989 ja Aarne 1994) ja oletettu kehitys v. 1991-2000 (Metsä 2000 -ohjelman tarkistus 1991, Ahti 1990). Suluissa olevat luvut ovat tässä yhteydessä tehtyjä arvioita.

Toimenpide	1000 ha/km		
	1988	1993	1991-2000
Avohakkuu	115	106	140
kivennäismaat	110	(104)	
turvemaat	5	(2)	
Siemen- ja suojuspuuhakkuut	55	46	45
kivennäismaat	50	(42)	
turvemaat	5	(4)	
Harvennus- ja väljennyshakkuut	250	141	300
kivennäismaat	220	(127)	
turvemaat	30	(11)	
Maanpinnan käsittely	122	120	165
raskas	46	44	
kevyt	76	76	
Lannoitus	80	5	30
kivennäismaat	60	4	
turvemaat	20	1	
Ojitus	100	106	165
uudisojitus	70	26	15
kunnostusojitus	30	80	150
Tienrakennus	3,8	4,2	3,0

Metsätaloustoimenpiteiden aiheuttama typen ja fosforin huutoutuminen aiheuttaa vesistöjen rehevöitymistä. Suomen ympäristökeskuksen vuonna 1995 tekemän arvion mukaan metsätalouden osuus vesistöjen typikuormituksesta on 1,6% ja fosforikuormituksesta 4% (Ehdotus vesiensuojelun...1995). Maatalous, asutus ja teollisuus ovat metsätaloutta suurempia vesistöjen rehevöittäjiä. Valtakunnalliset tilastot kuvaavat kuitenkin parhaiten vain suurten vesistöjen tilannetta. Latvavesistöissä, joihin liittyy lukuisia pieniä järviä ja puroja, metsätalous on tärkein kuormituksen aiheuttaja.

Metsätalouden aiheuttama fosforikuormitus on suurimmalta osin lähtöisin turvemailta ja typpi-kuormitus kangasmailta (kuva 1). Typeä huuhtoutuu vesistöihin erityisesti kangasmaiden hakkuiden yhteydessä ja fosfori on peräisin turvemaiden vanhoilta lannoitusalueilta.



Kuva 1. Eri metsätaloustoimenpiteiden (vasemmalla) ja turvemaiden ja kangasmaiden (oikealla) suhteellinen osuus vesistöjen typpi- ja fosforikuormituksesta vuonna 1988 (Ahti 1990).

Typen ja fosforin ohella metsätalous on lisännyt valunnan määrää ja sitä kautta aiheuttanut suuria kiintoainehuuhtoumia. Kiintoaine on muuttanut vesistöjen veden kulkua, madaltanut vesistöjä ja haitannut kalojen ja rapujen lisääntymistä ja ravinnsaantia. Useimmissa tapauksissa metsätaloustoimenpiteet lisäävät myös emäskationien huuhtoutumista vesistöihin, mikä vähentää niiden happamuutta. Pohjanlahden rannikon nk. alunamailla pohjaveden pinnan tason laskeminen on kuitenkin johtanut valumavesien happamuuden lisääntymiseen. Edellisten vesistövaikutusten lisäksi metsätaloustoimenpiteet ovat joissakin tapauksissa lisänneet vesieliöstölle myrkyllisen raudan huuhtoutumista vesistöihin.

Metsänuudistamistoimenpiteet ovat kohottaneet pohjaveden nitraattipitoisuuksia (Kubin 1995). Pitoisuudet eivät ole kohonneet yli talousvedelle asetettujen raja-arvojen, mutta yhdessä lisääntyvän typpilaskeuman kanssa voivat nitraattipitoisuudet kohota pienillä pohjavesialueilla huolestuttavassa määrin. Pohjavesialueilla tapahtuva lannoitus ja torjunta-aineiden käyttö voivat myös huonontaa pohjaveden laatua.

Metsätalouden aiheuttamien runsaiden ravinne- ja kiintoainehuuhtoumien vaikutukset vesistöissä ovat haitallista. Huuhtoutuvat kiintoaine- ja ravinne määrät ovat kuitenkin olleet merkityksettömiä kasvupaikan puuntuottokyvyn kannalta. Puunkorjuussa poistuvat ravinne määrät ovat sen sijaan suurempia ja voivat selvästi vähentää kasvupaikan puuntuottokykyä. Erityisen ongelmalliseksi ravinne menetykset voivat koitua turvemilla.

Metsätalouden aiheuttaman ympäristökuormituksen vähentäminen

Metsäteollisuustuotteiden käyttäjien ympäristötietoisuus on lisääntynyt sekä koti- että ulkomailla. Tämä on lisännyt metsätalouden ja metsäteollisuuden halua vähentää ympäristökuormitusta. Maassamme on lisäksi allekirjoitettu joukko säädöksiä sekä kansainvälisiä ja kansallisia sopimuksia, jotka velvoittavat toimenpiteisiin metsätalouden ympäristökuormituksen vähentämiseksi.

Meillä on käytettävissämme joukko keinoja, jotka vähentävät metsätalouden ympäristökuormitusta. Useimmat näistä keinoista tähtäävät haitallisten vesistövaikutusten torjuntaan. Seuraavassa luetellaan niistä joitakin keskeisimpiä, ja ne on suurelta osin jo otettu käytäntöön:

- Päätehakkuiden, maanmuokkausten, lannoitusten ja kunnostusojitusten yhteydessä vältetään suurien toimenpidekokonaisuuksien syntymistä samalle valuma-alueelle.
- Ehkäistään maanpinnan turhaa painumista ja rikkoutumista puunkorjuun yhteydessä.
- Maanpinnan käsittelyssä vältetään tarpeettoman voimakkaita menetelmiä.
- Metsänuudistamis-, -lannoitus- ja kunnostusojitusalueilla jätetään suojavyöhyke lähteiden, purojen, lampien ja myös suurempien vesistöjen varsille.
- Kunnostusojitustoimenpiteet jaksotetaan siten, että valuma-alueen yläpuoliset ojat kaivetaan ensin ja vältetään kaivua runsaan valuman aikana. Kunnostusojituksessa käytetään myös ojakatkoja, laskeutusaltaita ja pinta-valutuskenttiä.
- Pohjavesialueilla pidättydytään lannoituksista ja torjunta-aineiden käytöstä sekä voimakkaista maanmuokkauksista.
- Vaikealiukoisia lannoitteita suositaan helppoliukoisten kustannuksella ja, jos päädytään helppoliukoiseen lannoitteeseen, sen talvilevitystä vältetään.
- Kokopuukorjuuta ei tehdä etenkin turvemaidella.
- Metsänkäsittelytoimenpiteet suunnitellaan huolella etukäteen toimenpidekokonaisuuksittain ja mahdollisuuksien mukaan myös valuma-aluekohtaisesti siten, että niistä aiheutuva ympäristökuormitus minimoidaan kohtuullisessa määrin.

Edellä luetellut toimenpiteet vähentävät merkittävästi metsätalouden ympäristökuormitusta. Merkittäviä haitallisia vesistömuutoksia on kuitenkin jo aiheutettu. Vesistöjen kunnostaminen esim. ruoppauksin ja suojavyöhykkeiden rakentaminen vesistöjen varteen sekä puuntuotto-kyvyttömiksi osoittautuneiden soiden entisöinti voivat olla keinoja, joilla jälkikäteen korjataan tehtyjä vahinkoja. Puunkorjuussa syntyneitä ravinnemenetyksiä voidaan kompensoida lannoituksin. Puun tuhkan palauttaminen turvemaiden metsiin on yksi mahdollinen vaihtoehto.

Tutkimus metsätalouden ympäristökuormitusta koskevan tiedon tuottajana

Metsätalouden vesistövaikutuksia ja niiden torjuntaa tutkittiin laajasti vuonna 1995 päättyneessä viisivuotisessa METVE -projektissa (Saukkonen ja Kenttämies 1995). Metsätalouden aiheuttamalle kuormitukselle on ominaista, että suurimmat muutokset esim. valumaveden ja pohjaveden määrässä ja laadussa havaitaan toimenpidettä seuraavina vuosina ja että muutokset pysyvät havaittavina jopa vuosikymmeniä toimenpiteiden jälkeen. Tämä aiheuttaa suuren haasteen tutkimukselle. Toimenpiteiden aikaansaamia muutoksia tulee seurata kauan lopullisten johtopäätösten tekemiseksi ja samanaikaisesti tutkimustietoa tulee saada pikaisesti käytäntöön.

Vuoden 1996 alusta käynnistyi Metsäntutkimuslaitoksen koordinoimana viisivuotinen Metsätalouden ympäristökuormituksen yhteistutkimusohjelma. Siinä lisätään, täsmennetään ja kootaan yhteen olemassa olevaa tietoa metsätalouden aiheuttamasta kuormituksesta maaperään, pohjavesiin ja vesistöihin sekä selvitetään ympäristökuormitukseen vaikuttavia tekijöitä. Ohjelmassa selvitetään myös kuormituksen vaikutuksia sekä keinoja kuormituksen vähentämiseksi ja haitallisten vaikutusten ehkäisemiseksi. Tarkastelu ulotetaan metsä- ja vesiekosysteemien ainevirtojen ohella myös taloudellisiin tekijöihin ja tulokset pyritään kytkemään osaksi metsätalouden suunnittelua.

Kirjallisuus

Aarne, M. (toim.) 1994. Metsätalostollinen vuosikirja 1993-1994. SVT Maa- ja metsätalous 1994: 7. Metsäntutkimuslaitos. 348 s.

Ahti, E. 1990. Metsätalouden ympäristövaikutukset. Metsä 2000 -ohjelman tarkistukseen liittyvä asiantuntija-selvitys. 55 s.

Ehdotus vesiensuojelun tavoitteiksi vuoteen 2005. Suomen ympäristökeskus 28.12. 1995.

Kubin, E. 1995. Avohakkuun, hakkuutähteiden talteenoton ja maanmuokkauksen vaikutus ravinteiden huuhtoutumiseen. Julkaisussa: Saukkonen, S. & Kenttämies, K. (toim) Metsätalouden vesistöhaitat ja niiden torjunta - METVE-projektin loppuraportti. Suomen ympäristö 2. Suomen ympäristökeskus. Helsinki. s. 65-71.

Metsätalous ja ympäristö. Metsätalouden ympäristöohjelmatyöryhmän mietintö 1994: 3. Maa -ja metsätalousministeriö. 101 s.

Laine, J. (toim) 1996. Suot. Julkaisussa: Kuusisto, E., Kauppi, L. & Heikinheimo, P. (toim.) Ilmaston muutos ja Suomi. Yliopistopaino. Helsinki. s. 107-126.

Saukkonen, S. & Kenttämies, K. 1995. Metsätalouden vesistöhaitat ja niiden torjunta - METVE-projektin loppuraportti. Suomen ympäristö 2. Suomen ympäristökeskus. Helsinki. 419 s.

Uusitalo, M. (toim.) 1989. Metsätalostollinen vuosikirja 1988. Folia Forestalia 730. 243 s.

Jyrki Kangas

**Metsäntutkimuslaitos
Kannuksen tutkimusasema**

TUTKIMUKSEN TUOTTAMIA TYÖKALUJA YMPÄRISTÖVAIKUTUSTEN ARVIOINTIIN METSÄSUUNNITTELUN LASKELMISSA

Johdanto

Hyvin toteutettu monitavoitteinen metsäsuunnittelu sisältää lähes aina ympäristövaikutusten arviointia. Aikaisemmin metsäsuunnittelussa tarkasteltiin lähinnä metsänkäsittelyn vaikutuksia puuntuotannon määrään, laatuun ja taloudellisuuteen sekä metsätalouden tuotantoedellytyksiin. Nykyään metsäsuunnittelussa pyritään yhä useammin tarkastelemaan toimenpiteiden ja myös käsittelemättömyyden vaikutuksia esimerkiksi maiseman kauneuteen ja luonnon monimuotoisuuteen.

Monitavoitteiseen metsäsuunnitteluun kehitetyt ja kehitettävät menetelmät ovat samalla usein metsätalouden ympäristövaikutusten arvioinnin välineitä. Metsäsuunnitteluun kehitetyillä menetelmillä voi olla sovellusmahdollisuuksia myös muussa ympäristövaikutusten arvioinnissa. Eräitä optimointiongelmien ratkaisuun ja osallistavaan metsäsuunnitteluun tuotettuja päätösanalyysimenetelmiä voi suhteellisen vähäisin muutoksin soveltaa esimerkiksi vesistösuunnittelussa tai maatalouden ympäristövaikutusten arvioinnissa.

Metsäsuunnittelussa pyritään etsimään metsäalueelle tuotanto-ohjelma, joka mahdollisimman hyvin vastaa päätöksentekijän määrittämiä tavoitteita. Koska muut kuin puuntuotannolliset näkökohdat korostuvat nykyään metsien hoidon ja käytön tavoitteissa, tarve arvioida vaihtoehtoisten metsäsuunnitelmien toteuttamisen seuraamuksia niiden kannalta on ilmeinen. Monitavoitteisessa metsäsuunnittelussa päätösvaihtoehdot tulisi pystyä arvioimaan kaikkien valintaan vaikuttavien seikkojen suhteen. Lisäksi siinä pitäisi kyetä arvioimaan vaihtoehtojen hyvyys kokonaisuutena tavoiteyhdistelmän kannalta. Viimeksi mainittu edellyttää arvioiden yhteismitallistamista tavalla tai toisella.

Metsätalouden ympäristövaikutusten arviointi metsäsuunnittelun yhteydessä ei ole pelkästään tekninen ja teoreettinen ongelma. Edistyneinkään laskennallinen apparaatti ei kykene ympäristövaikutusten analyysiin ilman pitävää perustietoa, johon arviot voidaan nojata. Erityisesti ekologisen perustiedon puutteet vaikeuttavat usein ympäristövaikutusten arviointia. Ekologisen perustiedon hankinta empiiristen tutkimusten kautta on pahaksi onneksi aikaa vievää ja vaivalloista. Asiantuntemuksen mallintaminen on eräs ratkaisu ekologisen tietämyksen akuuttiin tarpeeseen.

Joskus ympäristövaikutusten arviointi on luonteeltaan ainakin osittain subjektiivista, kuten ulkoiluarvojen ja maiseman kauneuden tarkastelu. Puhtaasti subjektiivista on tavoitteiden ja niiden tärkeyksien määrittäminen. Monitavoitteisessa päätösanalyysissä tarvitaan usein sekä objektiivista perustietoa, subjektiivisia arvioita että asiantuntemusta. Joissakin uusissa metsäsuunnittelun menetelmissä erityyppiset tiedot voidaan hyödyntää keskenään teknisesti rinnasteisella tavalla.

Tutkimuksen viime aikoina tuottamista välineistä ympäristövaikutusten arvioinnin integrointiin osaksi metsäsuunnittelun laskelmia voidaan mainita mm. AHP-menetelmän metsäsuunnitteluso-

vellukset, ekologisen asiantuntemuksen mallinnus, osallistavan metsäsuunnittelun päätösanalyysitekniikat, luonnon monimuotoisuuden arviointimenetelmät ja maisemavaikutusten tarkastelu paikkatietoanalysein. Vaikka välineet ovatkin vielä paljolti kokeiluasteella, osaa niistä on jo sovellettu käytännön suunnittelutehtävissä (Hiltunen 1995, Karvinen 1995, Heinonen 1996, Pykäläinen & Loikkanen 1996) ja lopuistakin osa on siirrettävissä käytännön tarpeisiin suhteellisen vähäisin muutoksin. Seuraavassa esitetään lähemmin kaksi ympäristövaikutusten arvioinnin välinettä: ekologisen asiantuntemuksen mallinnus sekä osallistava metsäsuunnittelu.

Esimerkki 1: Ekologisen asiantuntemuksen mallintaminen

Ekologista asiantuntemusta tarvitaan metsäsuunnittelussa paikkaamaan tutkimuksin tuotetun objektiivisen tietämyksen puute. Jotta asiantuntemus voitaisiin hyödyntää numeerisissa suunnittelu-systeemeissä, se on voitava pukea matemaattiseksi laskentakaavoiksi. Asiantuntemuksen mallintamisella voidaan tyydyttää ekologisen perustiedon akuutti tarve suhteellisen helposti, nopeasti ja halvalla.

Asiantuntemuksen mallintamisen ja laadittujen arviointimallien eräs heikkous on niihin sisältyvä epävarmuus. Esimerkiksi teeren elinympäristövaatimuksia mallinnettaessa havaittiin eri asiantuntijoiden tekemien elinympäristöjen hyvyysarvioiden poikkeavan toisistaan häiritsevän paljon (Kangas ym. 1993, Alho ym. 1996a). Lisäksi joidenkin asiantuntijoiden arvioissa oli selviä ristiriitaisuuksia. Suomessa kehitetyllä tekniikalla (Alho ym. 1996a, Alho ym. 1996b) voidaan asiantuntijoiden lausunnoissa olevia epävarmuuksia ja ristiriitaisuuksia analysoida monipuolisesti tilastotieteen keinoin.

Visainen ongelma on, kenen arvioihin luotetaan eniten silloin, kun arvioissa on eroja. Mahdollista on keskusteluihin ja tietyn neuvottelutekniikoin pyrkä yhteiseen näkemykseen, kompromissiin, asiantuntijoiden kesken (Alho ym. 1996b, Kangas ym. 1996a). Kunnostusojituksen vesistövaikutuksia määritettäessä ongelma ratkaistiin siten, että ennen asiantuntijoiden osallistumista prosessiin heidän pätevyytensä tehtävään arvioitiin. Arvioiduilla pätevyyksillä painotettu keskiarvo voitiin ottaa ympäristövaikutusten arviointilaskelman lähtökohdaksi. (Kangas ym. 1996a). Tällöin ongelma tietenkin on, kuka arvioi asiantuntijoiden pätevyydet. Ehkäpä perustelluinta on, että mukaan valitut asiantuntijat arvioivat toistensa pätevyydet, joita painottaen lopulliset arviot tehdään, jos yhteistä näkemystä ei saavuteta. Mallinnusprosessin aikana on lisäksi syytä arvioida kunkin asiantuntijan vastausten loogisuutta ja eroja muiden asiantuntijoiden vastauksiin sekä asiantuntijan motivoituneisuutta tehtävään.

Asiantuntemukseen perustuvia malleja voidaan käyttää metsäsuunnittelun laskelmissa samaan tapaan kuin empiirisen koeaineiston pohjalta laadittuja malleja. Siten niitä voidaan käyttää monitavoitteisen metsäsuunnittelun optimointilaskelmissa. Useammin kuin varsinaisissa optimoinneissa, asiantuntemusta on hyödynnetty AHP-menetelmällä toteutetuissa laskelmissa (esim. Kangas 1992, Kangas ym. 1996a, Kuusipalo ym. 1996). Siinä asiantuntijoiden lausunnoista ei muotoilla matemaattista yhtälöä vaan päätösvaihtoehtojen hyvyydet tarkasteltavana olevien seikkojen suhteen määritetään suoraan lausuntojen (pareittaisten vertailujen) perusteella. AHP-menetelmä mahdollistaa eri seikkojen (kuten vaikutukset maiseman kauneuteen, monimuotoisuuteen ja vesistön laatuun) suhteen määriteltyjen hyvyksien yhteismitallistamisen. Sen ehkä suurin heikkous talousmetsien suunnittelua ajatellen on tarkasteltavissa olevien vaihtoehtojen pieni enimmäismäärä. Matemaattiseksi malleiksi jalostettu asiantuntemus voidaan hyödyntää optimointilaskelmissa, joissa voidaan samanaikaisesti tarkastella suurta vaihtoehtojen joukkoa.



Kuva 1. Suunnittelussa tulisi turvata tiedonkulku myös luonnonhoidollisista näkökohdista aina metsänkäsittelyn käytännön toteuttajalle asti; muuten ekologisen mallinnuksenkin hyöty jää akateemiseksi (Kuva: Jyrki Kangas).

Esimerkki 2: Osallistava metsäsuunnittelu

Kansalaisten vaikutusmahdollisuuksien lisääminen heidän elin- ja harrastusympäristöönsä koskevaan päätöksentekoon on osa metsätalouden sosiaalisen kestävyuden edistämisyrittämyksiä. Osallistavassa metsäsuunnittelussa kansalaisten ja kansalaisryhmien mielipiteet udellaan ja pyritään ottamaan huomioon metsien hoidon ja käytön suunnittelussa sekä päätöksenteossa. Osallistava suunnittelu on keskeinen osa mitä tahansa ympäristövaikutusten arviointiprosessia. Osallistavan suunnittelun kautta saadaan mielipiteiden ja toiveiden ohella suunnitteluprosessiin käyttöön kansalaisilla olevaa asiantuntemusta ja paikallistuntemusta. Se on myös eräs konfliktinhallinnan keino.

Osallistava metsäsuunnittelu on tarkoitettu erityisesti valtion ja muiden julkisyhteisöjen omistamien metsiin. Samoja periaatteita voidaan toki soveltaa niin haluttaessa myös yksityismetsiin, ja esimerkiksi metsäyhtiöiden imagolle osallistava suunnittelu voisi olla eduksi. Yksityishenkilöiden omistamissa metsissä osallistavan suunnittelun periaatteita voidaan soveltaa siten, että osallistujina ovat metsänomistaja ja hänen perheensä tai esimerkiksi yhtymän omistaman metsän osalta yhtymän osakkaat.

Osallistavan metsäsuunnittelun ajatus ei ole uusi; sitä on harjoitettu Yhdysvalloissa jo 1960-luvulta lähtien. Suomessa se on saanut jalansijaa vasta viime vuosina (esim. Kangas & Matero 1993, Loikkanen 1995, Tikkanen 1996). Osallistavan suunnittelun ongelmana on usein ollut sen epämääräisyys ja tehottomuus. Yleisten kokousten, työryhmätyöskentelyn, postikyselyjen ja muiden perinteisten osallistumiskanavien keinoin ei ole aina kyetty uskottavaan suunnittelu-prosessiin. Eräs syy tähän on ollut se, ettei osallistujille ole pystytty konkreettisesti näyttämään, mitä heidän tai muiden osallistujien näkemysten huomioon ottaminen todella merkitsisi metsien hoidossa ja käytössä sekä metsäalueen tulevaisuudenkuvassa. Ei myöskään ole kyetty vakuuttavasti esittämään, miten osallistujien mielipiteet ja toiveet ovat lopulta vaikuttaneet

laadittuun suunnitelmaan. Toteamus, että osallistujien erilaiset mielipiteet on pyritty mahdollisimman hyvin ottamaan huomioon, ei riitä.

AHP-menetelmän soveltaminen osallistavassa suunnittelussa lievittää edellä mainittua uskottavuusongelmaa. Sen avulla voidaan näyttää, mikä päätösvaihtoehto tulisi valituksi kenenkin näkemykset huomioon otettaessa. Ja vastaavasti voidaan tarkastella, ketä mikäkin vaihtoehto parhaiten palvelisi. AHP tarjoaa keinot myös painottaa eri osallistujien näkemyksiä vaihtelevalla tavalla ja näyttää, minkälaiseen valintaan mikäkin painotus johtaisi. AHP tuo analyyttisyyttä osallistavaan metsäsuunnitteluun. Se voi parhaimmillaankin kuitenkin olla vain osallistavan suunnittelun laskentaydin ja sellaisena perinteisten menetelmien kanssa yhteiskäytössä täydentää osallistavan suunnittelun keinovalikoimaa.

AHP sopii heikkouksiensa takia lähinnä suunnitteluprosesseihin, joissa tarkasteltavana on vain muutamia vaihtoehtoisia suunnitelmia - siis etupäässä strategiseen suunnitteluun ja päätöksentekoon. HERO-nimiseen heuristiseen optimointimenetelmään yhdistetty osallistavan suunnittelun tekniikka sen sijaan mahdollistaa tehokkaan taktisen metsäsuunnittelun, missä päätösvaihtoehtoja on paljon (Kangas ym. 1996b). Sen tuottama päätöstuki on monipuolinen ja valaiseva mm. herkkyyssanalyysineen siitä, miten metsäalueelta saatavat nettotulot tai alueen maisema-arvot muuttuvat tietyn osallistujaryhmän näkemyksen painoarvoa muutettaessa. Niin osallistujien, suunnittelijoiden kuin lopullisten päätöksentekijöidenkin on valaisevaa nähdä eri näkemysten huomioon ottamisen ja painottamisen vaikutukset toimenpideohjelmaan. Laskelmien tulokset ovat myös oivallisia neuvottelujen ja kompromissinhaun taustainformaationa. HEROkin on omimmillaan kytkettyä yleisempään osallistavan suunnittelun prosessiin ja lähestymistapaan sekä toimiessaan suunnittelun numeerisena laskentaytimenä.

Analyttisiä laskentamenetelmiä hyödyntävä osallistava suunnittelu on jo käytössä Suomessa valtion metsissä (Heinonen 1996, Pykäläinen & Loikkanen 1996). Muualla maailmassa ei käytännön osallistavassa metsäsuunnittelussa tietävästi sovelleta yhtä monipuolisia päätösanalyysitekniikoita.

Lopuksi

Vaikka metsäsuunnittelun tutkijat osasivatkin ennakoida monitavoitteisen metsäsuunnittelun ja ympäristövaikutusten arvioinnin tarpeen jo ennen kuin edes termit 'monitavoitteinen metsäsuunnittelu' ja 'YVA' oli omaksuttu käytännön metsätalouteen, käytössä olevat menetelmät ovat suurelta osin prototyyppiasteella. Niiden työstäminen käytännön metsäsuunnittelussa käyttökelpoiksi työkaluiksi vaatii vielä jatkokehittelyä ja tutkimustyötä.

Ympäristövaikutusten arviointiin ja metsäsuunnitteluun kehitetyt menetelmät eivät tuota valmiita ratkaisuja ja lopullisia päätöksiä valintaongelmiin. Mikään analyysi ei voi olla aukoton ja täydellinen. Tulevaisuuden tutkimus, jota ympäristövaikutusten arviointi ja metsäsuunnittelu mitä suurimmassa määrin ovat, on aina enemmän tai vähemmän epävarmaa, vaikka laskelmat saattavat joskus näyttää ikäänkuin varmuuden vallitessa laadituilta. Arviointien ja analyysien tulokset tuleekin ottaa päätöstukena: valaisuna, havainnollistuksena, opetuksena ja valintaongelmaan tuntemusta ja ymmärrystä antavana lisäinformaationa.

Tutkimus on viime aikoina tuottanut runsaasti toistaan monipuolisempia ja tehokkaampia teknisiä apuneuvoja ja apparatteja metsäsuunnitteluun ja ympäristövaikutusten arviointiin suunnittelun laskelmissa. Tällä hetkellä metsätalouden ympäristövaikutusten luotettavan arvioinnin

ahtain pullonkaula lienee sellaisen pitävän perustiedon puute eri metsänkäsittelyohjelmien ympäristövaikutuksista erilaisissa olosuhteissa ja kohteissa, joka voitaisiin hyödyntää analyyttisissä päätöstukilaskelmissa. Asiantuntemuksen mallintamista on pidettävä väliaikaisratkaisuna akuuttiin tiedontarpeeseen, vaikka se saattaakin osoittautua monelta osin pitkäaikaiseksi menettelyksi. Toisaalta asiantuntemusta tullaan aina tarvitsemaan objektiiviseenkin tutkimustietoon pohjautuvien laskelmien tulkinnassa. Empiiriin koeaineistoon perustuvat arviointimallit eivät näet ole vailla epävarmuustekijöitä.

Viitteet

- Alho, J., Kangas, J. & Kolehmainen, O. 1996a. Uncertainty in the expert predictions of the ecological consequences of forest plans. *Applied Statistics* 45: 1-14.
- Alho, J., Kangas, J., Kolehmainen, O. & Mononen, A. 1996b. A note on improving coherence in judgments concerning forest biodiversity. *Käsikirjoitus*.
- Heinonen, P. 1996. Balancing forest uses at regional level: the case of State forests in Western Finland. Esitelmä Euroopan Metsäinstituutin järjestämässä konferenssissa 'Conflict Management and Public Participation in Land Management', 17.-19.6.1996, Joensuu. Julkaistaan EFI Proceedings -sarjassa.
- Hiltunen, V. 1995. Maisematason metsäsuunnittelu Metsähallituksessa. Julkaisussa: Korhonen, K. & Mäkkeli, P. (toim.) *Metsän eri käyttömuodot yhdistävä suunnittelu. Metsäntutkimuspäivä Joensuussa 1995. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 568: 36-40.
- Kangas, J. 1992. Multiple-use planning of forest resources by using the Analytic Hierarchy Process. *Scandinavian Journal of Forest Research* 7(2): 259-268.
- Kangas, J., Karsikko, J., Laasonen, L. & Pukkala, T. 1993. A method for estimating the suitability function of wildlife habitat for forest planning on the basis of expertise. *Silva Fennica* 27: 259-268.
- Kangas, J., Lauhanen, R. & Store, R. 1996a. Kunnostusojitusvaihtoehtojen vesistövaikutusten asiantuntija-avusteinen arviointi ja liittäminen päätösanalyysiin. Summary: Assessing the impacts of ditch network maintenance on water ecosystems on the basis of expert knowledge and integrating the assessments into decision analysis. *Suo* 47(2): 47-57.
- Kangas, J., Loikkanen, T., Pukkala, T. & Pykäläinen, J. 1996b. A participatory approach to tactical forest planning. *Acta Forestalia Fennica*. Painossa.
- Kangas, J. & Matero, J. 1993. Ruunaan luonnonsuojelualueen jako aarni- ja puistoalueisiin: kokemuksia analyyttisen hierarkiaprosessin käytöstä osallistuvassa metsäsuunnittelussa. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 449. 44 s.
- Karvinen, A. 1995. Vaivio-hanke: monitavoitteisen metsäsuunnittelun kokeilu. Julkaisussa: Korhonen, K. & Mäkkeli, P. (toim.) *Metsän eri käyttömuodot yhdistävä suunnittelu. Metsäntutkimuspäivä Joensuussa 1995. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 568: 44-46.
- Kuusipalo, J., Kangas, J. & Vesa, L. 1996. Sustainable forest management in tropical rain forests: A planning approach and case study from Indonesian Borneo. *Journal of Sustainable Forestry*. Painossa.
- Loikkanen, T. 1995. Osallistava metsäsuunnittelu. *Folia Forestalia* 1995(2): 147-153.
- Pykäläinen, J. & Loikkanen, T. 1996. An application of numeric decision analysis on participatory forest planning: the case of Kainuu. Esitelmä Euroopan Metsäinstituutin järjestämässä konferenssissa 'Conflict Management and Public Participation in Land Management', 17.-19.6.1996, Joensuu. Julkaistaan EFI Proceedings -sarjassa.
- Tikkanen, J. 1996. Taajamametsien osallistava suunnittelu. Kokemuksia MetsäRaaha -suunnitteluprojektista. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 603. 31 s.

Ron Store

Metsäntutkimuslaitos
Kannuksen tutkimusasema

PAIKKATIETOANALYYSIEN MAHDOLLISUUDET YMPÄRISTÖKUORMITUKSEN ARVIOINNISSA

Johdanto

Yleinen ympäristötietoisuuden lisääntyminen ja kansainväliset sopimukset edellyttävät entistä konkreettisempaa ympäristötekijöiden huomioonottamista metsänkäsittelyssä. Maa- ja metsätalousministeriön sekä ympäristöministeriön vuonna 1994 vahvistamassa metsätalouden ympäristöohjelmassa suositellaan siirtymistä sellaisiin metsätalouden menetelmiin, joista aiheutuu mahdollisimman vähän haittaa vesistöille ja metsäluonnolle. Erityisesti ohjelmassa suositellaan uudisajatuksista luopumista, kemiallisten torjunta-aineiden käytön välttämistä vesistöjen lähellä, suojavyöhykkeiden jättämistä vesistöjen ympärille sekä kunnostusajatuksien vesistöhaittojen torjumista huolellisella ennakkosuunnittelulla liittyen kohdevalintaan ja liettymisen estoratkaisuihin (Maa- ja metsätalousministeriö ja ympäristöministeriö 1994).

Metsätalouden ympäristökuormituksella tarkoitetaan metsätalouden toimenpiteiden aiheuttamaa kuormitusvaikutusta maaperään, ilmakehään, vesistöihin ja pohjaveteen. Ympäristön kannalta haitallisimpia toimenpiteitä ovat ojitus, hakkuut, maanmuokkaus ja lannoitus, joilla kaikilla on vaikutusta mm. valuma-alueelta tulevan veden laatuun ja määrään sekä pohjaveden laatuun. Usein huolellisen ennakkosuunnittelun avulla on mahdollista merkittävästi vähentää näiden toimenpiteiden aiheuttamaa ympäristökuormitusta. Tähän ennakkosuunnitteluun kuuluu mm. toimenpiteen sijainnin, voimakkuuden, ajankohdan ja mahdollisen jaksottamisen suunnittelu.

Ennakkosuunnittelutilanne on tyypillinen esimerkki monitavoitteisesta päätöksentekotilanteesta, jossa pyritään valitsemaan päätösvaihtoehtojen joukosta se, joka täyttää asetetut kiinteät rajoitukset ja johtaa mahdollisimman hyvään lopputulokseen joustavien kriteerien suhteen. Koska metsätalouden toimenpiteet ovat selkeästi paikkaansidottuja, on kyseessä spatiaalinen ongelma, jonka ratkaisemisessa paikkatietojärjestelmä voi toimia tehokkaana apuvälineenä päätöksenteossa tarvittavan tiedon tuottamisessa, yhdistämisessä ja organisoinnissa.

Paikkatietojärjestelmä monitavoitteisessa päätöksenteossa

Paikkatietojärjestelmät (Geographical Information Systems, GIS) ovat tietokonepohjaisia järjestelmiä, joita käytetään paikkaan sidotun tiedon hankintaan, varastointiin ja analysointiin sekä tulosten esittämiseen (Aronoff 1989). Monitavoitteisessa päätöksenteossa tarvittavan tiedon hankkimisen näkökulmasta yksi paikkatietojärjestelmän tärkeimmistä ominaisuuksista on kyky yhdistää eri muodoissa ja mittakaavoissa olevia tietoaineistoja. Näitä aineistoja ovat esimerkiksi erilaiset paperikartat, paikkaan sidotut ominaisuustietokannat ja kaukokartoitustiedot. Myös tietokannan käsittely, jolla tarkoitetaan lähinnä niitä funktioita, joita tarvitaan tiedon varastoinnissa ja erilaisissa tiedon hakutehtävissä, on olennainen osa toimivaa paikkatietojärjestelmää.

Varsinainen tiedon analysointi ja ylläpito käsittää mm. spatiaaliset analyysifunktiot, jotka käytävät sekä paikkatietojärjestelmän tietokannan sijaintitietoa että ominaisuustietoa ratkaistakseen reaali maailmaa koskevia kysymyksiä. Viimeisenä vaiheena prosessissa, jossa tuotetaan tietoa päätöksenteon tueksi, on tulosten esittäminen karttojen, graafien tai taulukoiden muodossa.

Paikkatietojärjestelmien monipuolisten työkalujen joukosta puuttuvat kuitenkin usein välineet käsitellä päätöstilanteita, joissa tavoitteita on useita ja rajoitteet ovat ristiriitaisia. Tämä puute on pyritty korvaamaan yhdistämällä monitavoitteisen päätöksenteon välineitä paikkatietojärjestelmään joko suoralla mallien integroinnilla järjestelmään tai yhteisten tiedostojen ja tietokantojen kautta. Näiden työkalujen integrointi paikkatietojärjestelmään tarjoaa päätöksentekijälle mahdollisuuden arvioida vaihtoehtoisia suunnitelmia myös asetettujen spatiaalisten tavoitteiden ja kriteerien pohjalta. Erityisesti kartografisen mallinnuksen alalla tapahtunut kehitys paikkatietoanalyysien ja monitavoitteisen päätöksenteon teknikoiden yhdistämisessä on edesauttanut ympäristötavoitteiden sisällyttämistä päätöksentekoprosessiin.

Spatiaaliset mallit ja sijaintiin pohjautuvat kyselyt

Paikkatietoanalyysillä tarkoitetaan toimenpiteitä, joilla tiettyyn paikkaan sijoittuvasta tiedosta tuotetaan informaatiota, joka auttaa ymmärtämään ja ennustamaan spatiaalisia ilmiöitä (Bonham-Carter 1994). Paikkatietoanalyysijä käytetään mm. spatiaalisessa mallinnuksessa, jonka avulla jäljitellään reaali maailman paikkaansidottuja ilmiöitä. Malleja käytetään, kun tutkittavan ilmiön mittaaminen on mahdotonta tai mittauskustannukset nousevat liian suuriksi. On kuitenkin muistettava, että mallit ovat yksinkertaistuksia todellisuudesta ja ne pystyvät jäljittelemään todellisuutta vain malliin valittujen muuttujien näkökulmasta. Mitä enemmän muuttujia malli sisältää sitä monimutkaisemmaksi se tulee ja sitä kalliimmaksi sen käyttö muodostuu.

Monissa tapauksissa spatiaalisia malleja käytetään testaamaan tietyn ongelman vaihtoehtoisia ratkaisuja selvittämällä kunkin vaihtoehdon tuottamat seuraamukset haluttujen kriteerien suhteen. Näitä ennustavia spatiaalisia malleja voidaan hyödyntää myös soveltamalla niitä jossakin toisessa paikassa ja johonkin toiseen ajankohtaan. Esimerkki spatiaalisen mallinnuksen käytöstä ympäristökuormitussovellukseen voisi olla erilaisten kunnostusojituskohteiden vertailu vesistövaikutusten suhteen tietyssä ajanjaksona. Tällöin arviointia varten voidaan muodostaa spatiaalinen malli, jossa käytetään olemassa olevia empiirisiä mittaustuloksia aikaisemmista kunnostusojituskohteista ja tietoja kohteen spatiaalista ominaisuuksista.

Sijaintiin pohjautuvilla kyselyillä saadaan vastaus mm. ongelmaan: minkälainen tietty kohde on? Tällöin käyttäjä antaa lähtötietona haluamansa kohteen sijainnin joko koordinaatteina tai näytöltä kursorilla osoittamalla, jolloin järjestelmä tulostaa sinne talletetut tiedot kyseisestä kohteesta. Jos kyseessä on esimerkiksi kunnostusojituskohteiden vertailu ympäristövaikutusten suhteen, järjestelmästä tulostettavia tietoja voisivat olla turpeen paksuus, etäisyys vesistöstä ja alueen kaltevuussuhteet.

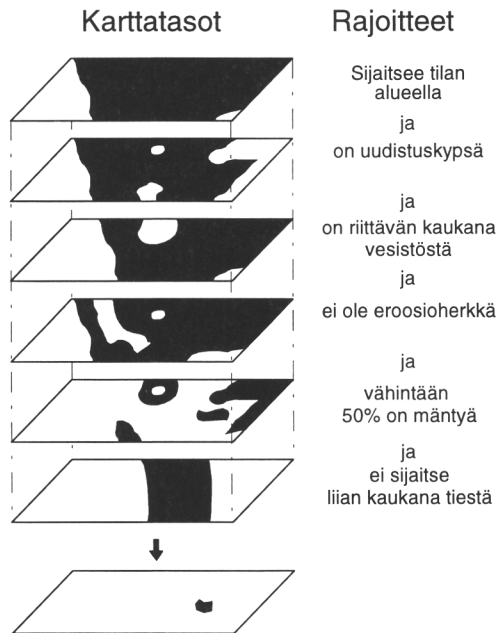
Toinen tyypillinen sijaintiin pohjautuva kysymys on: millä alueilla tietyt ominaisuudet ovat voimassa? Tällöin käyttäjä kertoo järjestelmälle minkälaista aluetta hän on etsimässä valitsemalla arvot haluamilleen kohdella kuvaaville ominaisuuksille. Esimerkiksi käyttäjä voi haluta tiedon niistä alueista, joilla uudistamishakkuut aiheuttavat mahdollisimman vähän ympäristökuormitusta. Tällöin sijaintiin pohjautuvalla kyselyllä voitaisiin etsiä alueita, jotka ovat metsämaata, sijaitsevat riittävän kaukana vesistöstä ja ovat topografialtaan tasaisia ja puustoltaan hakkuukypsää.

Paikkatietoanalyseissä käytettävä tieto on talletettu järjestelmään karttatasoina siten, että yhdessä karttatasossa esitetään yleensä vain yksi tema. Esimerkiksi korkeuskäyrät, metsikkökuvioiden rajat ja vesistöt on talletettu omiin karttatasoihinsa. Kun sijaintiin pohjautuva kysely kohdistuu useaan numeeriseen karttatasoon kerralla siten, että karttatasot yhdistetään yhdeksi kartaksi annettujen sääntöjen avulla, kutsutaan prosessia kartografiseksi mallinnukseksi.

Kartografinen mallinnus

Kartografinen mallinnus on prosessi, jossa yhdistetään joukko perättäisiä perustason spatiaalisia operaatioita tiettyjen sääntöjen avulla monimutkaiseksi spatiaaliseksi malliksi (Tomlin 1990). Se on paikkatietoanalyysien sovellusalue, jossa tarvitaan monien tietolähteiden integroitua analysointia. Kartografista mallinnusta on käytetty usein etsittäessä johonkin tiettyyn käyttötarkoitukseen soveltuvia maa-alueita (esim. Shaw ja Atkinson 1988, Reisinger ja Kennedy 1990, Wadge ym. 1993).

Kartografisen mallinnuksen maankäytön suunnitteluun liittyvissä sovelluksissa on yleensä tavoitteena paikallistaa se alue tai ne alueet, joissa annetut kriteerit ovat voimassa. Alueiden paikallistaminen tapahtuu yhdistämällä loogisten alueleikkausten avulla numeerisessa muodossa olevat karttatasot, joissa kukin karttataso esittää yhden kriteerin. Jos karttatasojen yhdistäminen tapahtuu ehdottomien boolean -sääntöjen avulla, on lopputulos aina binäärimuotoinen kartta, jonka jokainen pikseli sisältää arvon nolla tai yksi riippuen täyttääkö pikseli kaikki annetut kriteerit vai ei. Karttojen yhdistämissäännöt perustuvat tavallisimmin empiirisiin havaintoihin ja mittauksiin, mutta joskus myös ilmiön fysikaalisiin ja kemiallisiin perusteisiin.

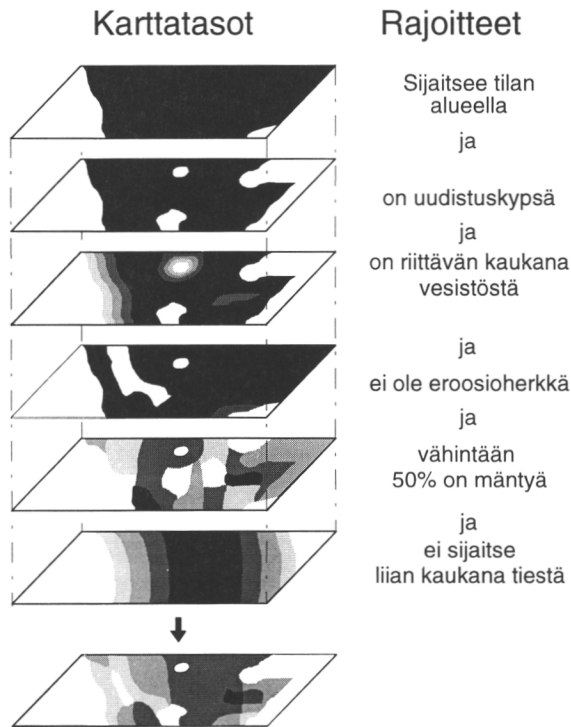


Kuva 1. Boolean logiikan avulla toteutettu kartografinen malli, joka etsii tietyt vesiensuojelliset ja taloudelliset tavoitteet täyttävät uudistamiskohteet.

Kuvassa 1 on esimerkki kartografisen mallinnuksen sovelluksesta ongelmaan, jossa metsäalueelta halutaan paikallistaa ne alueet, jotka täyttävät tietyt päätöksentekijän asettamat tavoitteet. Tässä tapauksessa metsänomistajalla on tavoitteena sijoittaa tulevan talven uudistamishakkuukohteet siten, että vesistövaikutukset läheisessä järvessä ja lammessa jäisivät mahdollisimman vähäisiksi. Lisäksi leimikon laatuun ja sijaintiin liittyy ostajan esittämiä vaatimuksia.

Boolean logiikkaan perustuvissa maankäytön sovelluksissa lopputuloksena on kartta, joka yksilöi ne alueet, jotka täyttävät yhtäaikaaisesti kaikki asetetut ehdot. Menetelmän ongelmana kuitenkin on, että se ei tarjoa minkäänlaista analyttistä menetelmää tarkastella mitkä kriteerit täyttävistä alueista ovat parhaimpia kyseiseen käyttötarkoitukseen tai mitkä alueet ovat parhaita käypien alueiden ulkopuolella. Tämän ongelman ratkaisemiseksi tarvitaan monitavoitteiseen päätöksentekoon soveltuvia malleja ja menetelmiä.

Monitavoitteiseen päätöksentekoon kehitettyjen menetelmien ja paikkatietoanalyysien avulla pystytään binäärikartan sijasta tuottamaan kartta, jossa kartta-alkioiden (pikselit, alueet) arvot kuvaavat sitä, miten hyvin se täyttää asetetut tavoitteet. Nämä kartat tuotetaan yhdistämällä useita karttatasoja yhteen siten, että osa karttatasoista toimii ehdottomina rajoitteina rajaten tietyt alueet tarkastelun ulkopuolelle kun taas joustavat rajoitteet määrittävät miten hyvin tietty pikseli täyttää asetetut tavoitteet (kuva 2). Keskeinen ongelma karttatasojen yhdistämisessä on karttatasojen ja toisaalta yksittäisen karttatason luokkien painotuksen toteuttamien sekä eri asteikoilla ja mittayksiköillä kuvattujen tunnusten yhdistäminen (Carver 1991).



Kuva 2. Kartografisen mallinnuksen ja sumean logiikan avulla tuotettu indeksi-kartta kuvan 1 mukaisesta tilanteesta.

Sumean logiikan käyttö tuo indeksi-kartan tuottamiseen lisää joustavuutta. Sumeaan logiikkaan perustuvan sumean päättelyn voimavara on rinnakkaisuus, jossa otetaan huomioon yhtäaikaan keskenään ristiriitaisia tekijöitä ja päätökset tehdään usean tekijän yhteisvaikutuksesta. Sumean logiikan avulla voidaan monitavoitteisen päätöksenteon malliin sisällyttää tavoitteisiin ja rajoitteisiin sekä tavoitteiden saavuttamiseen vaikuttaviin tekijöihin liittyvä epävarmuus.

Lopuksi

Metsätaloudessa ympäristövaikutusten arviointi ei saa muodostua toimenpiteeksi, joka tehdään suunnittelun lopuksi tai pahimmassa tapauksessa suunnitelman toteuttamisen jälkeen, vaan se tulee tapahtua suunnittelun yhteydessä muodostuen normaaliksi osaksi suunnitteluprosessia. Eriytyisen tärkeää olisi pyrkiä kehittämään menetelmiä ja hyödyntämään niitä paikkatietojärjestelmien tarjoamia valmiita analyysityökaluja, joiden avulla ympäristökuormituksen huomioonottaminen voitaisiin kytkeä tilakohtaiseen numeeriseen metsäsuunnitteluun (ks. Kangas ym. 1996).

Kirjallisuus

- Aronoff, S. 1989. Geographic information systems: A management perspective. WDL publications, Ottawa. 294 s.
- Bonham-carter, G. 1994. Geographic information systems for geoscientists: modelling with GIS. Computer methods in the geosciences volume 13. Pergamon. Ottawa. 398 s.
- Carver, S. 1991. Integrating multi-criteria evaluation with geographical information systems. *Int.J.Geographical Information Systems*. 5(3): 321-339.
- Kangas, J., Lauhanen, R. & Store, R. 1996. Kunnostusojitusvaihtoehtojen vesistövaikutusten asiantuntija-avusteinen arviointi ja liittäminen päätösanalyysiin. Summary: Assessing the impacts of ditch network maintenance on water ecosystems on the basis of expert knowledge and integrating the assessments into decision analysis. *Suo* 47(2): 47-57.
- Maa- ja metsätalousministeriö ja ympäristöministeriö 1994. Maa- ja metsätalousministeriön ja ympäristöministeriön vahvistama metsätalouden ympäristöohjelma. Painatuskeskus. Helsinki. 30 s.
- Parent, P. & Church, R. 1987. Evolution of geographic information systems as decision making tools. Teoksessa Ripple, W. (toim.) *Fundamentals of geographic information systems: a compendium*. American Society for photogrammetry and remote sensing and American congress on surveying and mapping. s. 9-18.
- Reisinger, T. ja Kennedy, D. 1990. A spatial decision support system for opportunity area analysis on the Jefferson national forest. *GIS/LIS '90 proceedings*. s. 733-740.
- Shaw, D. ja Atkinson, S. 1988. GIS applications for golden-cheeked warbler habitat description. *GIS/LIS '88 proceedings*. s. 401-406.
- Tomlin, D. 1990. *Geographic information systems and cartographic modelling*. Prentice-Hall. Englewood Cliffs. New Jersey. 249 s.
- Wadge, G., Wislocki, A. ja Pearson, E. 1993. Spatial analysis in GIS for natural hazard assessment. Julkaisussa: Goodchild, M., Parks, B. ja Steyaert, L. (toim.) *Environmental modeling with GIS*. Oxford university press. New York. s. 332-338.

Rauno Väisänen

**Metsähallitus
Luonnonsuojeluyksikkö**

MONIMUOTOISUUDEN HUOMIOONOTTAMINEN TALOUSHUOLTA HOIDOSSA JA KÄYTÖSSÄ

Luonnon monimuotoisuus ja sen suojeleminen

Luonnon monimuotoisuudella eli biodiversiteetillä tarkoitetaan yleensä kokonaisuutta, joka muodostuu erilaisten ekosysteemien kirjosta, eliölajiston vaihtelusta ja lajien sisäisestä muuntelusta sekä erilaisista ekologisista prosesseista. Talousmetsien luonnon monimuotoisuudella tarkoitetaan käytännössä lähinnä eliölajistoa ja luontotyyppien vaihtelua, vaikkakin myös lajien runsaussuhteet, perinnöllinen muuntelu ja erilaiset ekologiset prosessit (esim. erilaiset häiriöprosessit eri metsätyyppien eri sukessiovaiheissa) tulee ottaa huomioon. Ekosysteemien monimuotoisuuden kautta monimuotoisuuden käsitteeseen liittyvät myös geologiset, geomorfologiset, hydrologiset ja ilmastolliset ekologisen heterogeenisuuden lähteet. Biodiversiteetti on myös enenevässä määrin poliittinen käsite, jonka taloudelliset, tekniset ja yhteiskunnalliset ulottuvuudet korostuvat monissa yhteyksissä luonnon monimuotoisuuden säilyttämisen perimmäisinä kysymyksinä.

Monimuotoisuuden suojeleminen avulla pyritään estämään luonnon köyhtymistä ja haitallisia palautumattomia muutoksia, esimerkiksi uhanalaisten lajien sukupuuttoon kuolemista. Luonnonympäristöissä, joiksi meikäläiset talousmetsätkin voitaneen edelleen lukea, tavoitteena on ylläpitää luonnollinen alkuperäinen lajikoostumus ja geneettinen perimä sekä taata ekosysteemien luontainen kehitys. Luonnonvarojen käyttö näkyy mm. lajien ja luontotyyppien muutuneina runsaussuhteina. Tutkijat ovat esimerkiksi arvioineet, että Fennoskandian luonnonmetsämaiemasta peräti noin 30 prosenttia on ollut iältään yli 250-vuotiaita metsiä (Liljelund ym. 1992, Virkkala 1996). Etelä-Suomessa vanhoista metsistä on jäljellä arviolta 0,3 prosenttia (Hanski 1996).

Suotuisan suojeleminen tason saavuttamiseksi ei kuitenkaan aina riitä biodiversiteetin ylläpitäminen ja hoito, vaan yhä useammin joudutaan myös aktiivisesti ennallistamaan ja palauttamaan luonnon tilaan ihmistoimien muuttamia ekosysteemejä, luomaan keinotekoisesti luontaisen kaltaisia elinympäristöjä lajiston elinmahdollisuuksien säilyttämiseksi ja palauttamaan alkuperäistä lajistoa istutuksin entisille asuinsijoilleen.

Tilanne on vielä periaatteellisesti huomattavasti monimutkaisempi perinneympäristöissä, joissa ihmiskäden vaikutus on sukupolvien saatossa aikaansaanut arvokasta kulttuuri- ja luonnonperintöä. Monet uhanalaiset lajit (joiden alkuperäiset elinympäristöt ovat saattaneet ihmistoimien seurauksena hävitä) ovat sidoksissa näihin ympäristöihin, joita halutaan säilyttää ennen kaikkea osana kansallista historiaamme. Tällöin joudutaan pohtimaan esimerkiksi sitä, onko tavoitteena jotakin tiettyä aikakautta vastaava tilanne vaiko erilaisten kerrostumien luoman kokonaisuuden säilyttäminen.

Luonnon monimuotoisuus - mielenrauhaa ja kansallista omaisuutta

Monimuotoisuuden säilyttämisessä on pohjimmiltaan kysymys koko maapallon elämän ja elämää ylläpitävien mekanismien säilyttämisestä. Biotekniikan nopean kehittymisen aikana myös biodiversiteetin mahdollisuudet (ja omistusoikeudet) talouskehityksen tukena ovat saamassa entistä enemmän huomiota. Toki luonnon monimuotoisuuden säilyttäminen koskettaa useimpia ihmisiä ennen kaikkea yleisenä eettisenä elämän kunnioituksen periaatteena ja ehkäpä myös elämän laadun ja esteettisten kokemusten kautta. Jo pelkkä tietoisuus luonnon monimuotoisuuden säilymisestä tuleville sukupolville on tärkeää yhä useammille ihmisille.

Suomen vuonna 1994 ratifioiman kansainvälisen biologista monimuotoisuutta koskevan yleisopin tavoitteena on maailman ekosysteemien, eliölajien ja niiden perinnöllisen aineksen säilyttäminen sekä biologisten luonnonvarojen käytöstä saatavien hyötyjen oikeudenmukainen ja tasapuolinen jako. Nämä periaatteet heijastuvat myös sekä Euroopan Unionin luontodirektiiveihin että luonnonsuojelulakiehdotukseen. Jokaisella maalla on kansallinen velvoite säilyttää luonnon monimuotoisuus. Viime aikoina on myös korostunut kansainvälisen vastuun merkitys monimuotoisuuden säilyttämisessä. On selvää, että ympäristötietoiset kansalaiset kuluttajina asettavat erilaisille tuotteille hinnan ohella myös vaatimuksia, jotka koskevat monimuotoisuuden huomioonottamista koko tuotteiden elinkaaren aikana. Asiakaslähtöisyyteen uskovat liikeyritykset ottavatkin varteen markkinoiden viestit.

Taloustmetsien luonnon monimuotoisuus

Suomessa metsien monimuotoisuus on luonnonsuojelun kannalta keskeinen haaste. Vaikka Suomen luonnonsuojelun verkosto on muodostumassa yhdeksi maailman parhaista, metsäisten suojelun vähäisyys on silmiinpistävää maan eteläosissa. Parhaan käytettävissä olevan tieteellisen tiedon perusteella (Virkkala 1996) tulisi metsistä olla suojeltuna etelässäkin vähintään viisi prosenttia monimuotoisuuden säilyttämisen kannalta (mm. omistusrakenteen myönteinen vaikutus on otettu laskelmissa huomioon). Tällöinkin siis 95 prosenttia metsistä olisi taloustmetsiä. Biodiversiteetin säilyminen edellyttää siksi tuekseen monimuotoisuuden vastuuntuntoista huomioonottamista myös ja erityisesti taloustmetsissä.

Luonnon monimuotoisuuden säilyttäminen on kestävä metsätalouden ehdoton edellytys (esim. Väisänen 1993). Suomen metsätaloudessa monimuotoisuuden suojeluun suhtaudutaan vakavasti, ja saavutetut tulokset ovat rohkaisevia (Viitala ym. 1996). Taloustmetsien monimuotoisuus otetaan huomioon lähinnä kahdella tasolla eli laajojen alueiden käytön ja hoidon suunnittelussa sekä läpäisyperiaatteen mukaisesti jokapäiväisessä toiminnassa säästämällä ns. avainbiotoopit ja jättämällä metsiin lahoavaa puuainesta, lehtipuita ja muita pieniä elinympäristöjä, joilla on lajiston säilymisen kannalta merkitystä. Viimemainittu taloustmetsien pienpiirteisyyden säilyttäminen tuskin auttaa montakaan uhanalaista lajia, mutta estää kylläkin tehokkaasti monien lajien uhanalaistumisen. Sitä paitsi näin aiheutuvat kustannukset ovat yleensä vähäisiä, ja ääritapauksissa voidaan jopa saavuttaa kustannussäästöjä. Pöckelöiden ja lahopuiden poissiivoamisen tieteelliset perusteet ovat vähäiset, ja toiminta on tältä osin aiemmin perustunut lähinnä saksalaisperäiseen metsähygienian korostamiseen ja aiheettomaan metsätuholaispelkoon.

Avainbiotooppien tunnistaminen on edelleen ennen kaikkea valtava koulutushaaste, sillä vieläkin arvokkaita elinympäristöjä pääsee toisinaan tuhoutumaan huomaamatta, vahingossa.

Metsä- ja luonnonsuojelulakeihin sisältyvät automaattisesti suojellut luontotyypit ryhdyttävät entisestään toimintaa metsissä, mutta edellyttävät rinnalleen toki myös ekologista osaamista ja vastuuta muistakin luonnonarvoista - talonpoikaisjärjen käyttö on aina tarpeen.

Laajojen metsäalueiden käytön ja hoidon suunnittelu on jo vaativampi haaste, suorastaan kova päähkinä purtavaksi myös tieteellisessä mielessä (esim. Kangas & Pukkala 1996). Kärjistäen voidaan sanoa, että suomalainen metsänhoito on perinteisesti onnistunut kohtalaisen hyvin jäljittelemään metsien luontaista sukkessiokeitusta, mutta ongelmaksi on muodostunut laajojen alueellisten kokonaisuuksien spatiaalinen dynamiikka eli suomeksi sanottuna: metsät ovat rakenteellisesti ja lajistollisesti tasapäistyneet, eikä luontaisesta metsämosaiikista ole enää edes muistoa niin, että tieteelliset mallitkin joudutaan hakemaan rajan takaa Komista tai vähintään Venäjän Karjalasta.

Alue-ekologinen suunnittelu - suomalaista huippuosaamista?

Metsähallitus ja Suomen ympäristökeskus ovat yhteistyössä kehittäneet alue-ekologista suunnittelua Suomessa (Hallman ym. 1996, Keto-Tokoi ym. 1996). Alue-ekologinen suunnittelu (johon sisältyy myös osallistavuuden periaate) on edelläkävijä sarallaan suurten metsäalueiden (yleensä 10 000 - 40 000 ha) metsätalouden ja metsävarojen käytön ohjauksessa tavoitteenaan säilyttää alueelle tyypillisen metsälajiston populaatiot elinvoimaisina. Kartoitus tehdään käyttäen hyväksi tietokonepohjaista paikkatietojärjestelmää, perus- ja teemakarttoja, ilmakuvia ja maastotarkastuksia sekä paikallistuntemusta (esim. luonnonharrastajat). Tavoitteena on laatia alue-ekologiset suunnitelmat kaikille yhtenäisille valtion maille vuoteen 2000 mennessä.

Suunnittelun tavoitteena on turvata luonnonarvot mahdollisimman hyvin jo suunnitteluvaiheessa ottamalla huomioon uhanalaisille lajeille tärkeiden avainbiotooppien ohella erityisesti eläinten ja kasvien liikkumismahdollisuuksien kannalta tärkeiden kulkuväylien säilyminen. Nämä väylät voivat olla joko yhtenäisiä ekologisia käytäviä esimerkiksi vesistöjen varrella tai helminauhamaisesti ns. askelkivistä, esimerkiksi yksittäisistä aarniometsistä tai lehdoista, muodostuvia kokonaisuuksia. Avainbiotoopit muodostavat käytäviin luonnollisia laajennuksia. Reunavaikutuksen vähentämiseksi niiden reunametsiä ei käsitellä samanaikaisesti. Menetelmä ottaa myös huomioon metsätyyppien erot sukkessidynamiikassa. Niinpä esimerkiksi pitkään palamatta olleet ns. kulonkiertämät, jotka ovat luontaisesti uudistuneet pienipiirteisesti vähittäin lähinnä tuulenskaatojen kautta, on jätetty hakkuiden ulkopuolelle eräänlaisiksi monimuotoisuusvarastoiksi, sillä niiden vaateliassa eliölajisto on pääosin hitaasti leviävää ja huonosti kuloja sietävää.

Lajien alueellisen säilymisen kannalta on ensiarvoisen tärkeää, että lajin ns. ydinpopulaatiot voidaan säilyttää alue-ekologisen suunnittelun ja suojelualueiden avulla. Mikäli lajin populaatio vastaa ns. lähde-nielu -mallia (ks. esim. Virkkala 1996), lajien esiintyminen riippuu yhdestä tai useammasta lajin kannalta optimaalisella alueella elävästä ydinpopulaatiosta, josta lajin yksilöitä siirtyy myös ympäristön vähemmän suotuisille alueille. Tämä korostaa nimenomaan arvokkaimpien kohteiden tunnistamisen ja säilyttämisen tärkeyttä. Luonnonarvoiltaan tärkeiden alueiden tuntumaan voidaan perustaa ns. monimuotoisuuden lisäämisalueita, joiden tavoitteena voi olla laho- ja lehtipuun lisääminen ja luontotyyppien ennallistaminen.

Alue-ekologinen suunnittelu nojaa parhaaseen käytettävissä olevaan tieteelliseen tietoon. Biologista monimuotoisuutta koskevaan yleissopimukseen sisältyvän ns. ennaltaehkäisevän peri-

aatteen mukaisesti puutteelliset tutkimustiedot eivät saa olla syynä suojelutoimien lykkäämiselle silloin, kun odotettavissa muutoin on merkittävä monimuotoisuuden väheneminen. Alue-ekologinen suunnittelu onkin staattisen mallin sijaan nähtävä paremminkin jatkuvasti uudistettavana prosessina, joka niveltyy Metsähallituksen ympäristölaatu järjestelmään. Metsähallitus on kutsunut elokuussa 1996 koolle tieteellisen asiantuntijaryhmän, jossa ekologinen osaaminen on hyvin edustettuna, ohjaamaan menetelmän kehittämistä ja arvioimaan sen tuloksellisuutta. Erityisen haasteellisia ovat Pohjois-Suomen vanhojen metsien inventointikohteet, jotka jätettiin varsinaisen suojeluohjelman ulkopuolelle.

Tiedonpuute pullonkaulana

Metsien monimuotoisuuden säilyttämisen tavoitteena on metsäekosysteemien elinvoimaisuuden, toimintakyvyn ja rakenteen säilyttäminen - eikä siis vain erilaisten metsäluonnon edustavien näytteiden säilyttäminen. Siten on selvää, että suojelualueiden ohella tarvitaan alue-ekologista suunnittelua, avainbiotooppien vaalimista ja jättöpuita. Tämä ajatusrakennelma perustuu populaatioekologian teoriaan ja runsaaseen empiiriseen aineistoon: pieniltä ja eristyneiltä alueilta lajien populaatiot usein ajan myötä katoavat jo pelkän sattuman takia. Voidaan aavistella, että esimerkiksi Suomen pienten aarniometsien lajisto tulee edelleenkin jonkin verran köyhtymään, vaikka alueet onkin nyt pääosin suojeltu.

Suomen Akatemia on aloittamassa laajaa monitieteistä biodiversiteettitutkimusohjelmaa, joka toteutetaan vuosina 1997-2002. Tämän lisäksi sekä maa- ja metsätalousministeriö että ympäristöministeriö tulevat rahoittamaan erilaisia monimuotoisuuden huomioonottamista edistäviä selvitys- ja kehittämishankkeita, joissa pääpaino on nimenomaan metsäluonnossa ja tutkimustulosten käytäntöön soveltamisessa.

Metsien monimuotoisuuden säilyttämisen kannalta keskeisiä haasteita ovat mm. seuraavat kysymykset, jotka tulisi ottaa huomioon myös kehitettäessä sertifiointi- ja ekomerkintäjärjestelmiä:

1. Tiedon puute metsien eläin- ja kasvilajien populaatioekologiasta on selvä pullonkaula monimuotoisuuden huomioonottamisessa (esim. Väisänen 1996). Emme todellakaan tarkalleen tiedä, mitä lajiston säilyminen edellyttää ympäristöltä ja metsien käytöltä. Vain harvoista lajeista on edes kohtuullista tietoa niiden vaatimuksista metsien rakenteen (esim. metso, liito-orava) ja erilaisten häiriösykliä kuten lahoppuun saatavuuden suhteen. Myöskään lajien populaatio-rakenteesta ja leviämiskyvystä ei ole käytettävissä tarvittavia perustietoja. Eri eliöryhmistä tarvitaan muutamia hyvin tutkittuja esimerkkilajeja, joiden perusteella voidaan edelleen kehittää suunnittelu- ja metsänhoitomenetelmiä. Nykyisellään metsälajien (esim. puuta lahottavat sienet, jäkälät ja kovakuoriaiset) populaatioekologiaa joudutaan arvailemaan muissa ympäristöissä elävien ja kokonaan eri eliöryhmiin (esim. linnut, perhoset) kuuluvien lajien tutkimusten perusteella.

2. Luonnon monimuotoisuuden huomioonottamisen ekologinen tuloksellisuus ja taloudelliset kustannukset tulee selvittää. Koska nyt käyttöön otetut menetelmät perustuvat osittain ns. akateemisille arvauksille, on mahdollista, että menetelmiä kehittämällä voidaan päästä sekä taloudellisesti että luonnonsuojelullisesti parempiin tuloksiin. Esimerkiksi jättöpuun merkitys hakkuualueilla monimuotoisuuden säilyttämisen kannalta perustuu vieläkin pääosin epäsuoraan päättelyyn muista tutkimuksista (vanhoissa luonnonmetsissä lahoppuuta on yleensä noin

kolmannes kokonaisuudesta) eikä sen suhdetta kokonaan metsänkäsittelyn ulkopuolelle jätettäviin kuvioihin pystyttyä arvioimaan. Myös toteutettujen toimien tuloksellisuuden seuranta tulisi järjestää osana päätöksentekojärjestelmää.

3. Alue-ekologisen suunnittelun ja muiden vastaavien laajojen alueiden metsien suunnittelua koskevien menetelmien uskottavuuden kannalta on ensiarvoisen tärkeää kyetä osoittamaan näin saatu ekologinen lisäarvo verrattuna eri toimenpiteiden suunnittelun ja toteutuksen yhteydessä tehtävään arkipäivän luonnonhoitoon. Alue-ekologisen suunnittelun kannalta tulisi olla riittävät tiedot siitä, millaisia ekologisten käytävien tulisi olla lajien liikkumismahdollisuuksien turvaamiseksi. Ekologisten käytävien perusleveys on käytännössä vaihdellut 25 metristä yli sataan metriin luontotyyppistä riippuen (Hallman ym. 1996). Käytävissä olevat tiedot viittavat siihen, että vain kohtalaisen leveät käytävät, joissa ns. reunavaikutus on suhteellisen vähäinen, ja jotka jo itsessään ovat lajien elinympäristöä eivätkä vain kulkuväyliä, tuottaisivat parhaan mahdollisen tuloksen monimuotoisuuden kannalta. Käytävien ja laikkujen reunojen rakenne onkin merkittävä tutkimuskohde.

Kirjallisuus

Hallman, E., Hokkanen, M., Juntunen, H., Korhonen, K.-M., Raivio, S., Savela, O., Siitonen, P., Tolonen, A. & Vainio, M. 1996. Alue-ekologinen suunnittelu. Metsähallitus, Metsätalouden julkaisuja 3/1996. 55 s.

Hanski, I. 1996. Vanhojen metsien suojelua ei voida korvata ekologisilla käytävillä. *Ikimetsien lajeja katoaa*. Helsingin Sanomat (yliö) 15.4.

Kangas, J. & Pukkala, T. 1996. Operationalization of biological diversity as a decision objective in tactical forest planning. *Canadian Journal of Forest Research* 26: 103-111.

Keto-Tokoi, P., Korhonen, I., Paavonen, A., Seppänen, J. & Vesterinen, P. 1996. Kurun alue-ekologinen suunnitelma. Metsähallitus, Metsätalouden julkaisuja 4/1996. 49 s.

Liljelund, L.-E., Pettersson, B. & Zackrisson, O. 1992. Skogsbruk och biologisk mångfald. *Svensk Botanisk Tidskrift* 86: 227-232.

Viitala, J., Jäppinen, J.-P. & Kostamo, J. (toim.) 1996. Metsätalouden ympäristöohjelman toteutuminen. Seurantatyöryhmän toinen väliraportti maaliskuu 1996. MMM, metsäosasto, työryhmän mietintö 1996: 1. 63 s.

Virkkala, R. 1996. Metsien suojelualueverkon rakenne ja kehittämistarpeet - ekologinen lähestymistapa. *SYKE, Suomen ympäristö* 16: 1-53.

Väisänen, R. 1993. Metsätalouden ympäristövaikutukset ja luonnon monimuotoisuus. Julkaisussa: Mäkkeli, P. & Kangas, J. (toim.) *Metsäluonnon ja -ympäristön hoito*. Metsäntutkimuspäivä Joensuussa 1993. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 478: 12-17.

Väisänen, R. 1996. Boreal forest ecosystems. Julkaisussa: Korpilahti, E., Mikkilä, H. & Salonen, T. (toim.) *Caring for the Forest: Research in a Changing World*. Congress Report, Volume II: 82-89. IUFRO XX World Congress, 6-12 August 1995, Tampere, Finland.

Antti Wall

**Metsäntutkimuslaitos
Kannuksen tutkimusasema**

PELLONMETSITYSALOJEN BIOLOGINEN MONIMUOTOISUUS

Johdanto

Peltoja on metsitetty Suomessa valtion tuella maataloustuotannon rajoittamiseksi vuodesta 1969 alkaen ja vuoteen 1994 mennessä peltoja on metsitetty lähes 200 000 ha (Aarne 1995). Peltojen metsitys on merkinnyt laajamittaista maankäyttömuodon muutosta, jonka vaikutus maatalous- ja puuntuotantoon on ollut kuitenkin vähäinen: viljelypinta-ala ei ole vähentynyt pellonraivauksen vuoksi (Selby 1990) ja metsämaa-alan kasvu on ollut suhteellisen pieni.

Maataloustuotannon rajoittamisen lisäksi pellonmetsitykseen kohdistuu ekologista ja sosiaalista mielenkiintoa (Weber 1993). Pellonmetsitys nähdään yhtenä menetelmänä, jolla voidaan hyödyntää maatalouskäytöstä vapautuva maa-ala ekologisesti hyväksyttävällä tavalla (Anz 1993). Esimerkiksi Englannissa peltojen metsityksellä on todettu usein saavutettavan nettohyötyä luonnonsuojelullisessa mielessä (Watkins 1993). Metsien monimuotoisuuden ylläpitäminen on noussut metsätalouden yhdeksi tavoitteeksi (Kangas ja Pukkala 1996) ja metsitettyjä peltoja on tarkasteltava myös tältä kannalta. Peltojen metsityksen ekologisista vaikutuksista tiedetään vielä varsin vähän, koska pääosa pellonmetsitysaloista on nuoria.

Tässä katsauksessa tarkastellaan metsitettyjen peltomaiden fysikaalisia ja kemiallisia ominaisuuksia sekä pintakasvillisuuden kehitystä erityisesti biodiversiteetin kannalta kirjallisuuden ja Hytösen ja Ekolan (1993) tutkimuksen aineistosta laskettujen julkaisemattomien tulosten avulla.

Metsitetty peltomaata kasvualustana

Metsitettyt pelto ovat metsämaista selkeästi poikkeava kasvupaikkaryhmä vaikka useimmat pelto on luultavasti raivattu metsistä. Metsitettyjen peltojen rinnastaminen metsää kasvaviin kangas- tai turvemaihin on ongelmallista (Hynönen 1992, Hytönen ja Ekola 1993). Maanviljelystoimet, kuten toistuva maanmuokkaus, lannoitus ja kalkitus muuttavat peltomaan fysikaalisia ja kemiallisia ominaisuuksia metsämaista poikkeaviksi (Urvas 1985, Wall ja Hytönen 1996), eikä näin ollen peltomaan ja metsämaan rinnastaminen maan fysikaalisten ja kemiallisten ominaisuuksien perusteella ole perusteltua.

Metsitettyt pelto ovat inventointien mukaan olleet tyypillisesti maatalouden viljelysarvoltaan alhaisia eloperäisiä tai hiesuvaltaisia maita (Valtanan, 1991, Hynönen 1992, Rossi ym. 1993, Hytönen ja Ekola 1993). Metsitettyjen peltomaiden pintakerroksen monien ravinteiden mm. tyyppien, fosforin, kaliumin ja kalsiumin määrät ovat kuitenkin huomattavan suuret (Hynönen 1992, Hytönen ja Ekola 1993, Wall ja Heiskanen 1995) verrattuna kangasmetsiin (Tamminen 1991) tai ojitettuihin suometsiin (Kaunisto ja Paavilainen 1988, Laiho ja Laine 1994). Metsi-

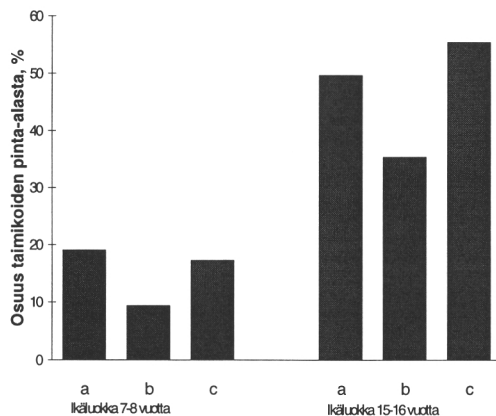
tettyjen peltojen ravinnetila on usein havaittu ongelmalliseksi puuston kannalta, sillä neulasten ravinnepitoisuuksien perusteella arvioituna boorin ja turvemaiilla kaliumin puutos on yleistä (Kaunisto 1991, Hynönen 1992, Hytönen ja Ekola 1993).

Maanviljelys vaikuttaa myös peltomaan fysikaalisiin ominaisuuksiin. Kivennäismaan peltojen muokkauskerroksessa orgaanisen aineen pitoisuus (Hytönen ja Ekola 1993) on suurempi kuin kivennäismaan metsämaassa (Tamminen ja Starr 1994). Metsitetyillä turvepelloilla on usein havaittavissa kivennäismaan käyttö maanparannusaineena, mikä on kohottanut maan tiheyttä ja tuhkapitoisuutta ja on saattanut runsaasti käytettynä muuttaa muokkauskerroksen maalajin turpeesta multamaaksi (Wall ja Hytönen 1996). Peltomaan vedenpidätyskyky on suuri johtuen maan hienojakoisuudesta ja runsaasta orgaanisen aineen määrästä ja se voi rajoittaa puiden hapen saatavuutta ja kasvua (Wall ja Heiskanen 1995).

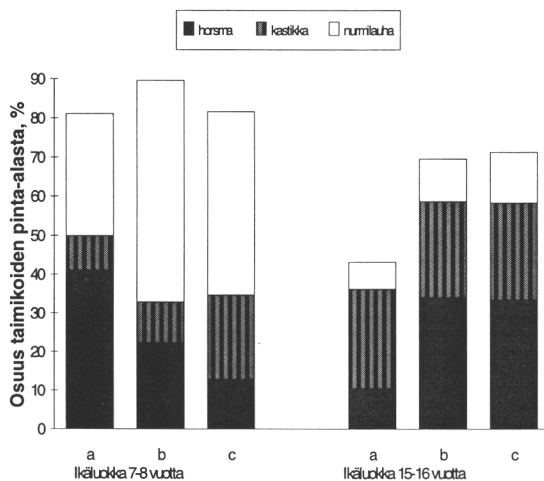
Metsitettyjen peltojen kasvillisuuden kehitys

Viljelyn lopettamisen jälkeen peltojen rikkakasvit valtaavat pellon kasvillisuuden kehityksen ollessa nopeaa ja voimakasta (Hokkanen ja Raatikainen 1977a, Törmälä 1982, Jukola-Sulonen 1983). Parin vuoden kuluessa pelto heinittyy yksivuotisten kasvien osuuden vähentyessä (Silfverberg 1980, Törmälä 1982, Jukola-Sulonen 1983) (kuva 1). Kasvillisuuden sukkessioon vaikuttaa pellon viljelystapa, viljelyn lopettamisesta kulunut aika, peltomaan fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet sekä sattuma (Hokkanen ja Raatikainen 1977a, Silfverberg 1980, Törmälä 1982, Jukola-Sulonen 1983).

Peltomaalle perustetun taimikon kasvillisuuden pohjakerros muodostuu pääosin karikkeesta (Jukola-Sulonen 1983, Hynönen 1992, Rossi ym. 1993) toisin kuin metsämaan pohjakerros, jossa jäkälät tai sammalet ovat vallitsevia (Kujala 1979). Rossin ym. (1993) tutkimuksessa karikkeen osuus oli pohjakerroksessa yhtä suuri nuorissa ja varttuneissa taimikoissa ja sammalet olivat valtalajeina vain niukkaravinteisilla turvemaiilla. Keski-Pohjanmaalla sammalten vallitsevuus kasvoi selvästi pohjakerroksessa taimikoiden iän myötä (kuva 1). Sammalten vallitsevuus oli multamailla alhaisempi kuin muissa maalajiryhmissä (kuva 1). Kenttäkerrosten kasvillisuus koostuu muutamien vuosien kuluttua metsityksestä pääosin heinistä ja suurista ruohoista (Hynönen 1992, Rossi ym. 1993). Keski-Pohjanmaan nuorissa kivennäismaan taimikoissa horsma oli valtalajina suurimmalla osalla taimikoiden pinta-alasta kun taas eloperäisten maiden valtalajina oli yleensä nurmilauha (kuva 2). Varttuneissa kivennäismaan taimikoissa horsman ja nurmilauhan vallitseva pinta-ala oli alhaisempi kuin nuorissa taimikoissa ja muiden vallitsevien lajien lukumäärä lisääntyi (kuva 2). Varttuneissa eloperäisten maiden taimikoissa horsman ja kastikoiden vallitseva pinta-ala lisääntyi nurmilauhan vallitsevuuden vähe-
tessä (kuva 2).



Kuva 1. Taimikoiden, joissa kasvillisuuden pohjakerroksen valtalajeina oli sammalet, osuus taimikoiden kokonaispinta-alasta kivennäismaan (a), multamaan (b) ja turvemaan (c) metsitetyillä pelloilla Keski-Pohjanmaalla.



Kuva 2. Taimikoiden, joissa kasvillisuuden kenttäkerroksen valtalajeina oli horsma, kastikka tai nurmilauha, osuus taimikoiden kokonaispinta-alasta kivennäismaan (a), multamaan (b) ja turvemaan (c) metsitetyillä pelloilla Keski-Pohjanmaalla.

Peltojen metsitysten päämenetelmänä on ollut männyn, kuusen ja koivun istutus. Keski-Pohjanmaalla istutettiin 1970-luvun alkuvuosina pääasiassa mäntyä ja rauduskoivua (Hovila 1991). Lapissa mänty ja kuusi olivat valtalajeina rauduskoivun osuuden ollessa vähäinen (Rossi ym. 1993). Pohjois-Savossa käytettiin turvepeltojen metsityksissä 1970- ja 1980-luvuilla pääasiassa mäntyä (Hynönen 1992). Myös muiden puulajien, erityisesti jalojen lehtipuiden

menestymistä on tutkittu (Valkonen ja Rantala 1995), mutta niiden osuus käytännön pellonmetsityspinta-alasta lienee erittäin vähäinen. Luontaisesti metsittyneiden peltojen määrästä ei ole tietoja, mutta luontaisen uudistamisen käyttömahdollisuudet rajoittuvat tutkimusten perusteella turvepelloille (Hytönen 1995). Luontaisesti syntyneellä taimiaineksella, lähinnä hieskoivulla, on ollut tärkeä merkitys istutustaimien täydentäjinä (Hytönen 1991, Valtanen 1991, Hynönen 1992, Rossi ym. 1993). Vesasyntyistä puustoa, yleensä pajua on esiintynyt runsaasti etenkin ojien reunoilla (Valtanen 1991, Hynönen 1992, Rossi ym. 1993).

Metsitettyjen peltojen biodiversiteetti

Jukola-Sulonen (1983) totesi viljelyn lopettamisen jälkeen pellon kasvillisuuden diversiteetin kohoavan sukkession myötä, mutta puu- ja pensaskerroksen kehittyessä diversiteetti laski. Tämä viittaa siihen, että myös metsitettyjen peltojen kasvillisuuden monimuotoisuus on suurimmillaan sukkession alkuvaiheessa. Mäntylän (1984) tutkimuksessa metsityksen jälkeisen seitsemän vuoden aikana kenttäkerroksen kasvilajien lukumäärä pieneni. Monet hävinneistä lajeista tai lajeista, joiden esiintymisalue oli pienentynyt, olivat yksi- tai kaksivuotisia ruohoja (Mäntylä 1984). Metsitettyjen peltomaiden suuret ravinteiden määrät lisäävät luultavasti kasvilajiston runsautta, sillä viljavimmat metsätyypit ovat muita lajirikkaampia (Kuusipalo 1984, Tonteri 1994, Korpela ja Reinikainen 1996).

Peltokasvillisuuden korvautuminen metsäkasvillisuudella on hidas prosessi. Etelä-Ruotsissa kivennäismaan pelloille perustetuissa kuusikoissa metsäkasvillisuutta alkoi ilmestyä ja peltokasvillisuus taantua vasta noin kahdenkymmenen vuoden kuluttua istutuksesta (Bråkenhielm 1977, Person ym. 1989). Vielä 23-51 vuoden ikäisissä kuusikoissa ei ollut täysin kehittyntä metsäkasvillisuutta (Persson ym. 1989). On mahdollista, että peltojen kasvilajeja säilyy metsitetyillä pelloilla varsin pitkään, koska peltomaan siemenpankki on todettu suureksi, keskimäärin 50 000 itävää siementä/m² 25 cm:n paksuisessa maakerroksessa ja siementen itävyys säilyy pitkään (Kiirikki 1993).

Kasvillisuuden kehityksen poiketessa peltomailla metsämaiden kasvillisuuden kehityksestä on luonnollista, että myös eläimistön kehitys on peltomailla erilaista. Puolassa tehtyjen havaintojen mukaan maaperän makrofaunayhdyskunta metsitetyillä pelloilla eroaa vastaavan ikäisistä metsämaan makrofaunayhdyskunnista taimikkovaiheessa (Szyszko 1983). Pakettipellon maaperäeläimistö on havaittu runsaammaksi kuin metsä- ja viljelysmaan (Törmälä 1979). Esimerkiksi lieroja on peltomaassa enemmän kuin havupuuvaltaisissa metsämaissa (Törmälä 1979). Pintakasvillisuuden sukkession on havaittu vaikuttavan kaskaiden lajimäärään (Törmälä ja Raatikainen 1976, Hokkanen ja Raatikainen 1977b), joka Törmälän (1982) tutkimuksessa lisääntyi kasvillisuuden sukkession edetessä. Peltojen metsittäminen vaikuttaa myös alueen linnustoon, sillä Törmälän (1980) tutkimuksessa pakettipellon linnuston yksilö- ja lajimäärä oli niukka sukkession alkuvaiheessa ja peltojen pensoituessa niille ilmestyi pensastojen ja metsien lajeja avomaiden lajien taantuessa.

Pellonmetsityksen kokonaisvaikutuksia metsäekosysteemin monimuotoisuuteen on erittäin vaikea arvioida. Tarkasteltaessa pelkästään talousmetsien kasvilajistoa voidaan päätellä peltonmetsityksillä olevan metsäkasvupaikkojen välistä vaihtelua rikastuttava vaikutus. Metsitetyt pellot ovat ympäristöstään selvästi erottuvia saarekkeitä joko metsän keskellä sijaitsevina entisinä peltotilkkuina tai pellon yhteydessä olevina metsäsaarekkeina. Metsitetyt pellot voivat toimia askelkivinä monille ravinteikkaan ja rehevän kasvupaikan eläin- ja kasvilajeille. Metsi-

tettyjen peltojen merkitystä kasvupaikkana lisää se, että ne kuuluvat ravinnemäärien perusteella arvioituna metsämaan ravinteikkaimpiin luokkiin, joiden osuus metsäpinta-alasta on vain noin kymmenesosa. Metsitettyjen peltokuvioiden pinta-ala on ollut yleensä pieni, noin 1,5 ha. Yksittäisen metsikön pienestä koosta huolimatta sillä voi olla vaikutuksia metsäekosysteemin monimuotoisuuteen myös ympäröivien alueiden kannalta. Metsitettyjen peltojen tarjotessa monille eläinlajeille soveltuvia ruokailu-, lisääntymis- ja suojapaikkoja nämäkin vaikutukset lievenvät pääasiassa positiivisia.

Kirjallisuus

Aarne, M. (toim.) 1995. Metsätalostollinen vuosikirja 1995. SVT Maa- ja metsätalous 1995: 5. Metsäntutkimuslaitos. 354 s.

Anz, C. 1993. Community afforestation policy. Julkaisussa: Volz, K.-R. & Weber, N. (Ed.) Agriculture. Afforestation of agricultural land. Commission of the European Communities. Report. EUR 14804 EN.

Bråkenhielm, S. 1977. Vegetation dynamics of afforested farmland in a district of South-eastern Sweden. Acta Phytogeographica Suecica 63: 1-106.

Hokkanen, H. & Raatikainen, M. 1977a. Yield, vegetation and succession in reserved fields in Central Finland. Journal of the Scientific Agricultural Society of Finland 49: 221-238.

Hokkanen, H. & Raatikainen, M. 1977b. Faunal communities of the field stratum and their succession in reserved fields. Journal of the Scientific Agricultural Society of Finland 49: 390-405

Hovila, P. 1991. Peltojen metsittäminen Keski-Pohjanmaalla. Julkaisussa: Ferm, A. & Heino, E. (toim.) Keski-Pohjanmaa -nouseva metsämaakunta. Metsäntutkimuspäivä Ylivieskassa 14.6.1990. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 374: 35-36.

Hynönen, T. 1992. Maan ominaisuuksien vaikutus turvemaapeltojen metsittämiseen. Lisensiaattityö Helsingin yliopistossa. 181 s.

Hytönen, J. 1991. Pellonmetsityksen onnistuminen Keski-Pohjanmaalla. Ferm, A. & Polet, K. (toim.) Peltojen metsitysmenetelmät. Tutkimushankkeen väliraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 391: 22-28.

Hytönen, J. 1995. Kylvä ja luontainen uudistaminen pellonmetsityksessä. Julkaisussa: Hytönen, J. & Polet, K. (toim.) Peltojen metsitysmenetelmät. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 581: 24-35.

Hytönen, J. & Ekola, E. 1993. Maan ja puuston ravinnetila Keski-Pohjanmaan metsityillä pelloilla. Summary: Soil nutrient regime and tree nutrition on afforested fields in central Ostrobothnia, western Finland. Folia Forestalia 822. 32 s.

Jukola-Sulonen, E.-L. 1983. Vegetation succession of abandoned hay fields in Central Finland. A quantitative approach. Seloste: Kasvillisuuden sukseasio viljelemättä jätetyillä heinäpelloilla Keski-Suomessa kvantitatiivisin menetelmin tarkasteltuna. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 112.

Kangas, J. & Pukkala, T. 1996. Operationalization of biological diversity as a decision objective in tactical forest planning. Canadian Journal of Forest Research 26(1): 103-111.

Kaunisto, S. 1991. Maa-analyysin käyttö kasvupaikan ravinnetilän arvioimiseksi eräillä Alkkian metsityillä pelloilla. Summary: Soil analysis as a means of determining the nutrient regime on some afforested peatland fields at Alkkia. Folia Forestalia 778. 32 s.

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

- Kiirikki, M. 1993. Seed bank and vegetation succession in abandoned fields in Karkali Nature Reserve, southern Finland. *Annales Botanici Fennici* 30: 139-152.
- Korpela, L. & Reinikainen, A. 1996. Patterns of diversity in boreal mire margin vegetation. *Suo* 47(1): 17-28.
- Kujala, V. 1979. Suomen metsätyypit. Abstract: Forest types of Finland. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 92(8): 1-45.
- Kuusipalo, J. 1984. Diversity pattern of the forest understorey vegetation in relation to some site characteristics. *Silva Fennica* 18(29): 121-131.
- Laiho, R. & Laine, J. 1994. Nitrogen and phosphorus stores in peatlands drained for forestry in Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 9: 251-260
- Mäntylä, J. 1984. Pellolle istutettujen kuusen, männyn ja rauduskoivun taimien alkukehityksestä ja pintakasvillisuuden sukkessiosta. *Metsänhoitotieteen pro gradu -tutkielma metsätutkintoa varten*. Helsingin yliopisto. Metsänhoitotieteen laitos. 64 s.
- Persson, T., Svensson, R. & Ingelög, T. 1989. Floraförändringar efter skogsplantering på jordbruksland. *Svensk Botanisk Tidskrifter* 83(5): 325-344.
- Rossi, S., Varmola, M. & Hyppönen, M. 1993. Pellonmetsitysten onnistuminen Lapissa. Summary: Success of afforestation of old fields in Finnish Lapland. *Folia forestalia* 807. 23 s.
- Selby, S. 1990. Finnish landuse policies: from disintegration to integration? *Seloste: Suomalainen maankäyttöpolitiikka: hajaannuksesta yhtenäisyyteen? Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 364. 43 s.
- Silfverberg, K. 1980. Växtligheten på nedlagda åkrar i Lemland, Åland. *Nordensköld-samfundets tidskrift* 40: 69-90.
- Szysko, J. 1983. Comparison of macrofauna of afforested fields with that of forest soils. The process of forest macrofauna formation after afforestation of farmland. s. 156-176. Warsaw Agricultural University Press.
- Tamminen, P. 1991. Kangasmaan ravinnetunnusten ilmaiseminen ja viljavuuden alueellinen vaihtelu Etelä-Suomessa. Summary: Expression of soil nutrient status and regional variation in soil fertility of forested sites in southern Finland. *Folia Forestalia* 777. 40 s.
- Tamminen, P. & Starr, M. 1990. A survey of forest soil properties related to soil acidification in southern Finland. *Julkaisussa: Kauppi, P., Anttila, P. & Kenttämies, K. (ed.) Acidification in Finland*. s. 235-251.
- Tonteri, T. 1994. Species richness of boreal understorey forest vegetation in relation to site type and successional factors. *Annales Zoologici Fennici* 31: 53-60.
- Törmälä, T. 1979. Numbers of biomass of soil invertebrates in a reserved field in central Finland. *Journal of the Scientific Agricultural Society of Finland* 51: 172-187.
- Törmälä, T. 1980. The bird community of reserved fields in central Finland. *Ornis Fennica* 57: 161-166.
- Törmälä, T. 1982. Structure and dynamics of reserved field ecosystem on central Finland. *Biological Research Reports from the University of Jyväskylä* 8: 1-58.
- Törmälä, T. & Raatikainen, M. 1976. Primary production and seasonal dynamics of the flora and fauna of the field stratum in a reserved field in Middle Finland. *Journal of the Scientific Agricultural Society of Finland* 48: 363-385.
- Urvas, L. 1985. Viljelyn vaikutus turpeen ravinnepitoisuuteen. Summary: Effect of cultivation on the nutrient status of peat soils. *Suo* 36(3): 61-64.

Valkonen, S. & Rantala, S. 1995. Jalot lehtipuut ja tervaleppä peltojen metsityksessä. Julkaisussa: Hytönen, J. & Polet, K. (toim.) Peltojen metsitysmenetelmät. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 581: 36-52.

Valtananen, J. 1991. Peltojen metsityksen onnistuminen Pohjois-Pohjanmaalla 1970-luvulla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 381. 52 s.

Wall, A. & Heiskanen J. 1995. Metsitetyn peltomaan fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet sekä niiden vaikutus puuston kasvuedellytyksiin. Julkaisussa: Hytönen, J. & Polet, K. (toim.) Peltojen metsitysmenetelmät. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 581: 133-148.

Wall, A. & Hytönen, J. 1996. Painomaan vaikutus metsitetyn turvepellon ravinnemääriin. Summary: Effect of mineral soil admixture on the nutrient amounts of afforested peat fields. Suo (painossa).

Watkins, C. 1993. Forest expansion and nature conservation. Julkaisussa: Watkins, C. (ed.) Ecological effects of afforestation. CAB International.

Weber, N. 1993. Results and discussions. Julkaisussa: Volz, K.-R. & Weber, N. (ed.) Agriculture. Afforestation of agricultural land. Commission of the European Communities. Report. EUR 14804 EN.

Anssi Niskanen

Metsäntutkimuslaitos
Kannuksen tutkimusasema

METSÄNUUDISTAMISEN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET KIVENNÄISMAILLA

Tiivistelmä

Artikkelin tavoitteena on arvioida käytettävissä olevien tutkimusten avulla kivennäismailla tapahtuvien uudistushakkuiden ja metsänviljelyn tärkeimpiä ympäristövaikutuksia sekä niitä keinoja, joilla haitallisia ympäristövaikutuksia voitaisiin tehokkaimmin vähentää. Tärkeimmiksi metsänuudistamisen ympäristövaikutuksiksi arvioitiin vaikutukset veden, ravinteiden ja hiilen luonnolliseen kiertoon, sekä vaikutukset valumaveden laatuun, luonnon monimuotoisuuteen, maisema-arvoihin ja metsien monikäyttöön. Metsänuudistamisen useita haitallisia ympäristövaikutuksia voitaisiin vähentää jättämällä suojavyöhykkeet valumavesistöjen ympärille, rajoittamalla hakkuita vanhoissa metsissä ja nk. avainbiotoopeissa sekä suosimalla luonnon häiriödynamiikkaan perustuvia uudistamismenetelmiä. Myös kiertoajan pidentäminen myöhästyttäisi ja pienentäisi useita metsänuudistamisen haitallisia ympäristövaikutuksia.

Johdanto

Kaikki metsänhoitotoimenpiteet muokkaavat ympäristöä. Erityisesti ympäristöön vaikuttavat ojitus sekä metsien uudistumista säätelevät toimenpiteet. Uudisojitus on vähentynyt tasaisesti ja kunnostusojituksen määrä lisääntynyt 1960-luvun lopulta lähtien. Esimerkiksi vuonna 1994 uudisojituspinta-ala oli enää alle 10 % 1960-luvun ojitusmäärästä, eli noin 17 000 hehtaaria. Vastaavasti kunnostusojituspinta-ala vuonna 1994 oli noin 82 000 hehtaaria. Metsänuudistamisesta on ollut 1970-luvulta lähtien noin 170 000 hehtaaria vuodessa, mikä on hieman alle prosentin koko metsämaan pinta-alasta. Metsänuudistamisesta keskimäärin noin 60 % on tehty istutuksin ja 15 % kylväen; loput 25 % uudistamisesta on perustunut luontaiseen uudistamiseen. Luontaisen uudistamisen osuus on kasvanut nopeasti 1990-luvulla. (Aarne 1995).

Metsänuudistamisen ideologia on perustunut luonnonmetsien kehitykselle tyypilliseen häiriödynamiikkaan; metsänuudistamisissa on pyritty jäljittelemään luonnonprosesseja kuten borealiselle havumetsävyöhykkeelle tavanomaisia metsäpaloja, myrskytuhoja sekä metsän sukkessiokehitystä (Parviainen & Seppänen 1994). Metsän kehitystä on ohjailtu puulajivalinnoin, viljelytiheyksin, taimikonhoidoin ja kasvatushakkuihin tavoitteena parantaa järeän ja arvokkaimman runkopuun kasvua. Metsänuudistaminen on perustunut metsikön kaiken markkinakelpoisen puuston yhtäaikaan poistoon ja keinolliseen uudistamiseen, tai siementävää puustoa jättämällä tapahtuvaan luontaiseen uudistamiseen.

Ympäristötekijöiden vaikutusta metsänuudistamiseen on tutkittu huomattavasti runsaammin kuin metsänuudistamisen vaikutuksia ympäristöön. Metsätalouden ympäristövaikutusten selvittäminen on 1990-luvulla noussut yhdeksi metsäntutkimuksen avainalueeksi (esim. Maa- ja metsätalousministeriö 1996). Kuluttajien ympäristötietoisemmän metsätalouden vaatimukset ovat

myös lisänneet tutkimustarvetta metsänhoitotoimenpiteiden ympäristövaikutuksista. Metsäammatilaisten, luonnonsuojelijoiden sekä maallikkojen välillä on keskusteltu erityisesti laaja-alaisten avohakkuiden ja maanpinnan muokkauksen ympäristövaikutuksista. Tämän artikkelin tarkoituksena on arvioida käytettävissä olevien tutkimustulosten avulla kivennäismailla tapahtuvien uudistushakkuiden ja metsänviljelyn tärkeimpiä ympäristövaikutuksia sekä niitä keinoja, joilla haitallisia ympäristövaikutuksia voitaisiin tehokkaimmin vähentää.

Metsänuudistamisen ympäristövaikutukset

Veden hydrologinen kierto ja veden laatu

Metsänhoito- ja perusparannustoimenpiteistä veden hydrologiseen kiertoon vaikuttaa eniten ojitus, jonka kuivatusvaikutus perustuu suurentuneeseen ja nopeutuneeseen veden valuntaan. Metsänuudistamisen vaikutukset veden pinnan vaihteluun ja valuntaan ovat yleensä vähäisemmät. Uudistushakkuiden jälkeen pienentynyt sadeveden puustopidäntä ja pienentynyt maaveden haihdunta voivat kuitenkin toisinaan aiheuttaa veden kyllästämisen kerroksen, 'pohjaveden', ulottumisen lähelle maan pintaa (Seuna 1990). Tällöin voi fosfaatteja ja typen nitraatteja liueta pohjaveteen. Pohjaveden haitallisen nitraattipitoisuuden on esimerkiksi havaittu nousseen uudistushakkuiden jälkeen hakkuutähteissä olleiden ravinteiden mineralisaation ja huuhtoutumisen seurauksena (Kubin 1995).

Yleisempää kuin uudistushakkuiden aiheuttama pohjaveden pinnan merkityksellinen nousu ovat uudistushakkuiden aiheuttamat suurentuneet valumat. On arvioitu, että hakkuut lisäävät vuosivalumaa valuma-alueen hehtaarilta 5-10 mm hakattua kymmentä puukuutiometriä kohti (Seuna 1985, 1990, Lepistö ym. 1995). Suurentuneet valumat lisäävät kasvinravinne- ja kiintoaineshuuhtoutumia, sekä saattavat aiheuttaa tulvia valuma-alueen alajuoksulla.

Valumavesien kasvinravinnekuormitus saattaa lisääntyä varsinkin hakkuuaukeisiin rajoittuvissa pikkupuroissa ja muissa latvavesissä, sekä lammissa ja vähäjärvisissä joissa. Laajoilla vesistöalueilla metsänhoitotoimenpiteiden aiheuttamia kasvinravinnekuormituksia on vaikea yksilöidä. Voidaan kuitenkin perustellusti olettaa, että uudistushakkuiden seurauksena myös latvavesistöjen järvisä kasvinravinnekuormitus lisääntyy (Kenttämies ja Saukkonen 1996). Erityisen tärkeitä vesistöjen laadulle ovat fosforin ja typen huuhtoutuminen valumaveteen, sillä ne aiheuttavat vesistöjen rehevöitymistä. Kasvinravinteiden huuhtoutumista edesauttaa pohjavedenpinnan nousu hakkuiden jälkeen (Kenttämies & Saukkonen 1996)

Metsäpuroissa veden tuotantokyvyn, leväbiomassan ja lämpötilan - jotka kuvaavat puroveden laadun muutoksia - on havaittu olevan korkeammat kuin luonnontilaisissa puroissa ainakin kymmenen vuotta puronvarsiin ulotettujen uudistushakkuiden jälkeen (Holopainen & Huttunen 1995). Valuma-alueiden hakkuista ei kuitenkaan ollut haittaa kalakannoille eikä kalastukselle kun metsäjärvien ympärille jätettiin pääsääntöisesti 50 metriä leveät suojavyöhykkeet. Suojavyöhykkeistä huolimatta hakkuut nostivat lievästi sekä orgaanista, että epäorgaanista kuormitusta metsäjärvisä (Rask ym 1995). Toistaiseksi on selvittämättä kuinka leveitä suojavyöhykkeiden tulisi vähintään olla, jotta ne tehokkaasti pienentäisivät uudistushakkuiden haitallisia vesistövaikutuksia. Alle kymmenen metriä leveiden suojavyöhykkeiden aiheuttamien puuntuotannon vähenemisen kustannusten on arvioitu olevan verrattain alhaiset suhteutettuna koko metsätalouden nettotuotokseen (Matero & Saastamoinen 1995).

Metsät ehkäisevät hydrologisia ääritilanteita kuten tulvahuippuja ja veden nopeaa pintavaluntaa, joka aiheuttaa maaperän eroosiota ja lisää kiintoaineshuuhtoutumia valumavesiin. Suomessa maa-

perän eroosio ei tosin ole yleensä ongelma uudistushakkuiden jälkeen, sillä voimakkaatkaan sateet eivät saa aikaan rajua pintavaluntaa. Metsänuudistumisen turvaamiseksi tehty maanpinnan muokaus - erityisesti jos äestys- tai aurausvaot on tehty kaltevuuden suuntaisesti - voi kuitenkin hetkellisesti lisätä kivennäisaineksen eroosiota (Kenttämies & Saukkonen 1996). Pintakasvillisuuden kehittyessä uudistushakkuun jälkeen eroosioriski kuitenkin pienenee nopeasti.

Ravinteiden kierto

Ravinteiden luonnonprosessista poikkeavaa kiertoa metsänuudistamisen yhteydessä ei voi selkeästi erottaa veden kierrosta ja siinä tapahtuneista muutoksista. Esimerkiksi fosfori, jota maaperässä on runsaasti (Kubin 1977), on pääosin sitoutuneena kasveille käyttökeltvottomiin, vaikealiukoisiin raudan ja alumiinin yhdisteisiin. Hakkuiden seurauksena maaperän veden kyllästävässä, biomassaa sisältävässä maassa mikrobien hajotustoiminta kuluttaa hapen. Tällöin rauta pelkistyy kahdenarvoiseksi, ja sen ja fosfaatin sidos katkeaa ja fosfaatti liukenee veteen (Saukkonen & Kenttämies 1996). Uudistushakkuiden seurauksena oleva vesistöjen fosforikuormitus on siis ravinteiden- ja veden kierrossa tapahtuneiden muutosten yhteisvaikutus.

Hakkuun suoria vaikutuksia metsikön ravinnekiertoon voidaan arvioida poistettavan puuston ravinnemääriä tarkastelemalla. Suomessa on puutavaran hakkuissa vallalla tavaralajimenetelmä, jolloin käyttökeltvoton puu- sekä oksa- ja lehtimassa kokonaan jätetään hakkuualueille. Tällöin merkittävä osa puustoon sitoutuneista ravinteista jää kasvupaikalle. Tavaralajimenetelmässä esimerkiksi tyyppiä (N) poistuu vain noin 20-25 % ja fosforia (P) noin 13-17 % siitä määrästä mikä menetettäisiin jos puusto korjattaisiin kokopuuna (Mälkönen 1976, Kubin 1977). Korjattavan puuston mukana poistuvan fosforin, kaliumin ja kalsiumin määrät voivat kuitenkin olla merkittäviä ekosysteemin toiminnan kannalta (Parviainen & Seppänen 1994).

Hiilen kierto

Ilman hiilidioksidipitoisuuden kasvun arvioidaan aiheuttavan pysyvää ilmaston lämpenemistä maapallolla. Tärkeimmät ilman hiilidioksidipitoisuutta kohottavat tekijät ovat fossiilisten polttoaineiden käyttö ja metsien hävittäminen. Suurimpia hiilen nieluja ovat valtameret, maaperä (ml. suot) sekä kasvillisuus.

Metsänuudistamisessa hiilivirrat voidaan kuvata kolmella komponentilla: kasvaviin puihin ja biomassaan sitoutuva hiili, maaperään ja puusta valmistettuihin tuotteisiin varastoitunut hiili, sekä metsänkäsittelyn ja puunjalostuksen yhteydessä kulutetuista energialähteistä vapautuva hiili (Matthews 1993). Metsänkäsittelyllä ja metsänhoidolla voidaan vaikuttaa hiilitasapainoon ylläpitämällä ja laajentamalla metsiin sitoutuneita hiilivarastoja, luomalla uusia hiilen nieluja, sekä tuottamalla energiapuuta korvaamaan fossiilisia polttoaineita (Dixon ym. 1994)

Metsänuudistamisessa puustosta ja aluskasvillisuudesta vapautuu hiiltä, joka sitoutuu karikkeeseen ja osittain lopulta humukseen. Hajoamistoiminnan seurauksena karikkeesta ja humuksesta vapautuu hiilidioksidia ilmakehään. Puutavaraan ja puusta valmistetuista lopputuotteisiin varastoitunut hiili vapautuu myös ilmakehään hajoamisprosessin jälkeen. Puusta valmistetuilla paperi ja kartonkituotteilla hajoamisprosessi on nopeampi ja lopputuotteiden elinkaari lyhyempi kuin esimerkiksi sahataravalla tai vanerilla (Karjalainen ym. 1994).

Uudistamishakkuiden jälkeen hiiltä vapautuu ilmakehään enemmän hakkuutähteiden, karikkeen ja humuksen nopeutuneen hajoamisen seurauksena, kuin alueelle perustettu taimikko ja alueelle kehittyvä pintakasvillisuus pystyvät sitomaan. Esimerkiksi Karjalaisen (1996) simulointitutkimuk-

sen mukaan hakkuin ja hoitotoimenpitein käsittelemättömään männikköön sitoutunut hiili saavutti hakkuita edeltäneen tason vasta noin sata vuotta uudistushakkuun jälkeen. Puuston kehittyessä hiilen sitominen on suurempaa kuin edellisen puusukupolven ja kasvillisuuden hajoamisesta aiheutuva hiilen vapautuminen. Edellämainitun simulointitutkimuksen mukaan (Karjalainen 1996) hiilen nettositoutuminen muuttui positiiviseksi kahdeksankymmenen vuoden kuluttua männikön uudistushakkuun jälkeen. Eri puulajeilla ja hakkuin tai hoitotoimenpitein käsitellyissä metsissä mainitut ajankohdat voivat vaihdella merkittävästi. Pääpuulajeilla hiiltä arvioitiin sitoutuvan hehtaarille keskimäärin noin 0,4-1,0 tonnia vuodessa 200 vuoden mittaisella simulointiajanjaksolla uudistushakkuun jälkeen. Hiilestä noin 46 % on sitoutuneena kasvillisuuteen, 17 % karikkeeseen, 16 % maaperän orgaaniseen ainekseen, sekä 20 % puusta valmistettuihin lopputuotteisiin (Karjalainen 1996).

Luonnon monimuotoisuus

Luonnon monimuotoisuus (biodiversiteetti) jaetaan kolmeen osaan: geneettinen diversiteetti tarkoittaa eliölajien ja populaatioiden sisäistä ja välistä vaihtelua, lajiversiteetti lajirunsausta ja vaihtelua, sekä ekosysteemin diversiteetti habitaattien tai laajempien ympäristötyyppien alueellista monimuotoisuutta. Yleinen ongelma luonnon monimuotoisuuden tutkimisessa ja mittaamisessa on sen yksiselitteisen ja yleisesti hyväksytyin määritelmän puuttuminen (Parviainen & Seppänen 1994). Ekosysteemin diversiteetti kuvastanee kuitenkin hyvin myös kasvien ja eläinten alueellista lajirunsausta, koska lajien esiintyminen on yleensä sidoksissa tiettyihin kasvupaikkaominaisuuksiin (Uuttera & Maltamo 1995). Ekosysteemin diversiteettiin voidaan teknisesti yhdistää myös luonnon monimuotoisuus suuraluetasolla (Uuttera & Kangas 1996) ja lajin sisäinen vaihtelu.

Monimuotoisuustutkimuksen lyhytkestoisuus heikentää varsinaisiin tutkimustuloksiin perustuvien johtopäätösten tekemistä uudistushakkuiden vaikutuksista luonnon monimuotoisuuteen. Vanhojen, yli 150-vuotiaiden metsien hakkuut, lahopuiden poisto metsistä, kulojen ehkäisy, uudistushakkuiden pirstomat kokonaisuudet, yhden puulajin metsiköt, tasaikäinen metsikkö rakenne, sekä havupuiden suosiminen metsänkasvatuksessa lienevät kuitenkin keskeisimpiä syitä talousmetsien luonnon monimuotoisuuden heikkenemiseen Suomessa (Väisänen 1993, Virkkala 1996). Erityisesti vanhojen metsien avohakkuut on arvioitu vakavaksi uhaksi monien eliölajien, kuten satojen vuosien lahopuujatkumoa vaativien kovakuoriaisten ja kääpien häviämislle (Virkkala 1996).

Ekosysteemin diversiteetin kannalta metsien uudistaminen, perustuipa se keinolliseen tai luontaiseen uudistamiseen, on usein haitallinen jos metsien uudistaminen ei pysty noudattamaan luonnon omaa häiriödynamikkaa, tai jos heikosti leviävien eliölajien elinpiirit pirstoutuvat. Myös nk. avainbiotooppien eli harvinaisten ja vaateilaiden eliölajien elinympäristöjen säilyttäminen liian pienialaisina voi olla riittämätöntä lajien säilymiselle, vaikka ne voivatkin toimia pirstoutumisen estämisessä ekologisina käytävinä tai askelkivinä laajempien suojelualueiden välillä (Virkkala 1996). Avainbiotoopit ovat usein pienaluetasolla tärkeitä luonnon monimuotoisuuden säilyttämisessä. Tällaisia avainbiotooppeja ovat esimerkiksi lähteiden, tihkupintojen ja purojen lähiympäristöt, Etelä-Suomen rehevät korvet, lettosuot, rehevät lehdot, soiden kangasmetsäsaarekkeet, kurut ja rotkot, kalliojyrkänteet, metsitetyt pellot sekä lisäksi heterogeeninen ryhmä erilaisia alueekologisesti tärkeitä kasvupaikkoja.

Suojelemalla vanhoja metsiä voitaisiin olemassaolevaa luonnon monimuotoisuutta ylläpitää ehkä kaikkein tehokkaimmin. Vanhat metsät voisivat toimia - ollessaan riittävän laajoja ja yhtenäisiä - ydinpopulaation lähteenä, ja hajanaiset pienialaiset suojelualueet populaation nieluina, lähde-nielu - ekologisen mallin mukaisesti. Virkkala (1990, 1996) arvioi esimerkiksi, että lapintiaisen esiintyminen harvennushakatuissa metsissä (nielu), joissa lapintiaisten pesimämenestys oli yleisesti heik-

ko, johtui siitä, että lapintiaisia siirtyi harvennushakattuihin metsiin vanhojen metsien ydinpopulaatioista (lähde). Jos lähde-nielu-malli on yleistettävissä, voidaan esimerkiksi Itä-Suomen laajojen jäljelläolevien vanhojen metsien olettaa toimivan lähteinä Etelä- ja Keski-Suomen suojelualueiden eliöille, joiden säilymiseksi pitkällä tähtäimellä eivät riitä näiden alueiden omat pirstoutuneet ja pienialaiset suojelualueet.

Taloudelliset- ja työllisyysvaikutukset vanhojen metsien suojelusta voivat olla suuret, mikäli puuntuotannon vähenemisen seurannaisvaikutukset realisoituvat alue- ja/tai kansantaloudelle (Jaakko Pöyry Consulting 1995, VATT 1995). Taloudelliset realiteetit huomioiden on todennäköistä, että metsien suojeluverkosto ei muodostu riittävän kattavaksi Etelä- ja Keski-Suomessa, jotta luonnon monimuotoisuus kyettäisiin säilyttämään. Esimerkiksi metsä- ja suolintulajien alueellisen esiintymisen turvaamiseksi vähintään kymmenen prosenttia maa-alasta tulisi kuulua suojelualueverkkoon (Virkkala 1996). Luonnon monimuotoisuuden säilyttäminen onkin huomioitava myös talousmetsien käsittelyssä. Keskeisiä tekijöitä monimuotoisuuden ylläpitämiseksi talousmetsissä ovat kuolevan puun, lahoavan puuaineksen sekä järeiden lehtipuiden jättäminen metsään uudistushakkuiden yhteydessä (Parviainen & Seppänen 1994).

Maisema-arvot

Ekologisessa mielessä maisema on maaperän, topografian, vesistöjen, sekä kasvillisuuden ja eläimistön muodostama kokonaisuus (Korhonen 1994). Puhuttaessa metsätalouden vaikutuksista maisemaan ja maisema-arvoihin maisemalla tarkoitetaan yleensä visuaalista - eli kauko- ja lähimaiseman muodostamaa näkemää. Visuaalinen maisemäkäsite on hyvin tapauskohtainen ja subjektiivinen; ympäristön tulkintaan ja maisema-arvostuksiin vaikuttavat ratkaisevasti ulkopuoliset tekijät kuten säätila sekä vuorokauden- ja vuodenaikavaihtelut, sekä henkilökohtaiset tekijät kuten tunnetilat, aikaisemmat kokemukset ja koulutus. Kyselytutkimusten mukaan esimerkiksi metsäammattilaiset/metsätieteilijät suhtautuvat avohakkuihin luonnonsuojelijoita/biologeja selvästi myönteisemmin (Karjalainen 1995, 1996, Kilpeläinen 1995).

Hakkuuaukoista otettuja kuvia rumensivat Karjalaisen (1995, 1996) kyselytutkimuksen mukaan varsinkin hakkuutähteet, rikkotu maanpinta ja aukon suuri koko. Taustametsä, hakkuuaukolla olevat puut, havupuun taimet, lehtipensaat ja heinikko, sekä aukon pieni koko arvioitiin toisaalta kaunistavan kuvia. Myös hakkuuaukon vaihteleva muoto sekä kauas avautuva näkemä kaunistivat hakkuuaukeista otettuja kuvia.

Hakkuuaukoilla on yleensä alhainen maisema-arvo (Savolainen & Kellomäki 1981), josta poikkeuksen voivat muodostaa lähinnä pienet hyvin maastoon sopeutuvat avohakkuut. Metsänuudistamisessa voidaan vaikuttaa kaukomaisemaan rajaamalla uudistusalat niin, että silhuetti tai maiseman luonnollinen rakenne säilyy. Erityisesti korkeilla paikoilla, rannoilla ja peltojen lähellä olevat hakkuuaukeat rikkovat maiseman luonnolliset rajat ja heikentävät kaukomaisemaa. Lähimaisemaan voidaan puolestaan vaikuttaa kiinnittämällä huomiota maanmuokkausjälkien ja hakkuutähteiden näkyvyyteen (Korhonen 1994). Sekä lähi-, että kaukomaisemaan voidaan vaikuttaa rytmittämällä lähekkäisiä tai maisemallisesti arvokkailla alueilla suoritettavia uudistushakkuuta. Uudistaminen voidaan aloittaa maiseman 'näkyttömästä' kohdasta ja seuraavia uudistushakkuuta tehdä vasta kun ensimmäiseksi uudistetun alueen puusto peittää vuorossa olevien uudistushakkuiden kielteiset maisemavaikutukset.

Maisemansuunnittelussa metsänuudistamisen yhteydessä on huomioitava, että uudistusala noudattaa maiseman luonnollisia muotoja, linjauksia ja laajuutta. Selviä, pitkiä ja suoria rajauksia jotka muodostavat jyrkän vastakohdan jäljellejäävän puuston kanssa tulee välttää. Luontaisen uudis-

tamisen alue, erityisesti jos siemenpuut on jätetty ryhmiin alueen keskelle, on visuaalisesti kauniimpi kuin avohakkuualue, samoin kuin useiden puulajien muodostamat taimikot verrattuna yhden puulajin taimikoihin (Korhonen 1994). Tämä voi johtua siitä, että luonnontilaiseksi arvioitu metsänkäsittely koetaan kauniina, ja ihmisen toiminnan jäljet maisemaa rumentavina tekijöinä (Savolainen & Kellomäki 1981).

Metsien monikäyttö

Metsien monikäyttö tarkoittaa metsien käyttämistä samanaikaisesti rinnakkain tai ajallisesti perättäin useisiin käyttötarkoituksiin. Metsätalouden ohella metsiä ja metsän tuotteita hyödynnetään yleisesti virkistyskäytössä (ml. ulkoilu josta erityisesti liikunta, metsästys, marjastus ja sienestys merkittäviä), tutkimuksessa ja koulutuksessa, sekä porotaloudessa. Metsien virkistysarvo riippuu virkistäytyjän henkilökohtaisista arvostuksista ja mieltymyksistä. Yleisesti arvioiden maisem ominaisuudet, luonnonsuojelulliset ja kulttuurihistorialliset arvot sekä toiminnalliset seikat ovat metsien virkistyskäytön kannalta oleellisia. Virkistysympäristön häiriötekijöitä ovat mm. metsätaloudesta ja rakentamisesta aiheutuneet maisemavauriot.

Metsänuudistaminen vaikuttaa metsäalueiden virkistysarvoihin kaksitahoisesti. Uudistushakkuuaukot laskevat aarnialueiden ja vanhojen metsien erämaa-arvoa (Hallikainen 1993). Toisaalta, sopiva määrä uudistushakkuuaukkoja voi lisätä jonkun 'tavallisemman' metsäalueen virkistysarvoa parantamalla näkyvyyttä tai kulkukelpoisuutta. Porotalous on kärsinyt erityisesti uudistushakkuista, jotka kohdistuvat talvikauden ravinnonsaannin kannalta tärkeisiin naava- ja luppometsiin (Mattila 1988).

Paikalliset ja ajalliset vaihtelut riistan määrässä, sekä marja- ja sienisadoissa vaikeuttavat yleispätevien arvioiden tekemistä metsänhoidollisten toimenpiteiden vaikutuksista. Voidaan kuitenkin melko luotettavasti arvioida, että uudistushakkuisiin perustuva metsänhoito on usein parantanut metsien tuottaman riistan määrää, sekä marja- ja sienisatoja. Tärkeimmistä riistaeläimistä erityisesti hirven, metsäjäniksen, teeren sekä riekon elinpaikkavaatimukset ovat parhaiten yhdistettävissä uudistushakkuiden ja muun metsänhoidon muovaamaan ympäristöön. Metsäautoteiden rakentaminen toisaalta lisää metsäalueiden saavutettavuutta ja metsästyspainetta kaikkia riistaeläimiä kohtaan.

Vaikka kaikkien kanalintujen kannat ovatkin alentuneet pitkällä aikavälillä, yhteyttä metsätaloudellisten toimenpiteiden ja alenevien teeri- ja riekkokantojen välillä on ollut vaikea löytää. Sen sijaan metson - jonka elinympäristöjä ja soidinpaikkoja ovat vanhat laaja-alaiset havupuuvaltaiset metsät - kannan alenemista voidaan selittää avohakkuiden takia kaventuneiden ja pirstoutuneiden elinpiirien avulla. Erityisesti soidinkeskusten hakkuut voivat heikentää metson lisääntymistä. Pyy, joka kärsii voimakkaista elinympäristön muutoksista, kärsii eniten kuusikoiden avohakkuista. (Kangas & Karsikko 1993).

Tärkeimmistä marjalajeista puolukan ja vadelman sadot ovat suurimmillaan aukoilla ja nuorissa taimikoissa, sekä puolukalla jälleen uudistuskypsissä metsissä joissa latvuspeittävyys on alhainen (Jaakkola 1983, Raatikainen ym 1984). Mustikkasadot ovat suurimmillaan rehevillä ja kohtuullisen runsaspuustoisilla alueilla, jolloin mustikalle on riittävästi valoa ja kosteutta (Raatikainen & Raatikainen 1983, Raatikainen ym 1984, Jäppinen ym. 1986). Erityisen hyvin puolukka ja mustikka marjovat hakkuuaukeiden puolivarjoisilla reuna-alueilla (Raatikainen ym. 1984). Sienten keskisato oli alhaisin hakkuuaukoilla ja suurin varttuneissa kasvatusmetsissä (Jäppinen ym. 1986). Poikkeuksen muodostaa korvasieni, joka esiintyy yleisesti äestysalueilla.

Ympäristövaikutusten huomioiminen metsänuudistamisen suunnittelussa

Metsänuudistamiseen liittyviä yksittäisiä haitallisia ympäristövaikutuksia voitaisiin helposti pienentää; useimpien ympäristövaikutusten vaikutusmekanismit tunnetaan siihen riittävän hyvin. Taulukossa 1 on esitetty joitakin metsänuudistamisessa mahdollisesti sovellettavia näkökohtia, joiden tavoitteena on pienentää tai parantaa metsänuudistamisen ympäristövaikutuksia. Useimmat luetelluista keinoista ja tekniikoista alentavat metsänkasvatuksen taloudellista tulosta ja vähentävät puun tarjontaa.

Puunkasvatuksen taloudelliset tavoitteet ja ympäristönsuojelun tavoitteet, mutta myös yksittäiset ympäristönsuojelun tavoitteet, ovat usein komplementaarisia. Kilpailevien tavoitteiden vallitessa toiminnan kokonaishyödyn määrittäminen on vaikeaa ilman yhteensopivaa mittayksikköä. Kaikenkaikkiaan on vaikea arvioida mikä on "sopiva" ympäristönsuojelun ja puunkasvatuksen välinen suhde, tai mikä ympäristönsuojelukysymys tulisi puunkasvatuksessa ensisijaisesti huomioida. Kokonaisvaltainen, mahdollisimman objektiivinen ympäristövaikutusten arviointi toisi hyötyä myös metsänuudistamisen suunnitteluun. Toistaiseksi ympäristönsuojelun muotivirtaukset ja arvioijan subjektiiviset mieltymykset muodostanevat perustan ympäristövaikutusten huomioimiselle metsänuudistamisessa.

Keskeisiä, ja usein eri ympäristövaikutusten suhteen vähiten komplementaarisia metsänuudistamisen ympäristövaikutuksia ovat: (1) suojavyöhykkeiden jättäminen valumavesistöjen ympärille, jotka estävät kasvinravinteiden ja kiintoaineiden pääsyä valumavesiin sekä purovesien lämpötilan nousua haitallisine vaikutuksineen. Suojavyöhykkeet toimivat lisäksi monen uhanalaisen eliölajin elinympäristönä, ja vaikuttavat maisema-arvojen kautta metsien monikäyttöön. (2) vanhojen metsien ja nk. avainbiotooppien riittävän laaja-alainen suojeleminen, mikä auttaa erityisesti useiden lahojuu- ja muista suknessiokehityksen kliimaksivaiheen piirteistä riippuvaisten lajien säilyvyyttä sekä metsien pirstoutumisesta aiheutuvaa ydinpopulaatioiden säilymistä. Vanhojen metsien suojeleminen pienentää veden nopean kierron haittavaikutuksia sekä todennäköisesti lisää metsäluonnon virkistysarvoa. Lisäksi vanhat metsät toimivat orgaanisen hiilen varastoina. (3) luonnon häiriödynamiikkaa matkiva metsien uudistaminen, mikä parantaa useiden metsiköiden suknessiokehityksestä riippuvaisten lajien elinmahdollisuuksia sekä heikentää luonnonmukaisuutensa vuoksi maisema-arvoja vähemmän kuin "tehokkaiden" uudistusmenetelmien käyttö. (4) kiertoajan pidentäminen, mikä suosimalla yläharvennuksia metsän kasvatuksessa hidastuttaa hiilen vapautumista ilmakehään, viivästyttää hakkuuaukeiden rumentavia ja valumavesien aikaansaamia negatiivisia vaikutuksia, sekä parantaa varttuneista metsistä riippuvaisten sienten ja marjojen satoa ja ravinteiden kiertoa metsäekosysteemissä.

Mielikäisen ja Valkosen (1991) tutkimuksen mukaan suosimalla yläharvennuksia metsän kasvatuksessa kiertoaika piteni 10-20 vuodella ohjeellisista, alaharvennuksiin ja puuston järeyteen perustuvista uudistamiskiertoajoista. Tällöin erityisesti männiköistä saatava taloudellista tuotto kuitenkin parani noin 10 prosentilla. Kuusikoissa yläharvennus ja kiertoajan pidentäminen eivät vaikuttaneet kannattavuuteen. Koivikoissa taloudellinen tuotto pieneni noin 1-2 %. Yläharvennuksen suosiminen ja sitä kautta tapahtuva kiertoajan piteneminen on yksi esimerkki mahdollisista metsätaloudellisista toimenpiteistä, joita suosimalla metsänkasvatuksen taloudellinen tuotto ja metsänkäsittelyn ympäristövaikutukset voivat olla toisiaan täydentäviä.

Taulukko 1. Metsänuudistamisen tärkeimmät ympäristövaikutukset kivennäismailla ja joitakin mahdollisuuksia niiden huomioimiseen metsänuudistamisen suunnittelussa.

Metsänuudistamisen ympäristövaikutus	Ympäristövaikutuksen tarkempi kuvaus	Metsänuudistamisessa teknisesti mahdollista huomioida
Vaikutukset veden kiertoon	(1) Ylivalumien lisäys valuma-alueelta (2) Pohjaveden pinnan nousu (3) Tulvariski valuma-alueen alajuoksulla	(1,3) Hakkuiden ajallinen ja alueellinen vaihtelu (2) Pohjaveden pinnantasoon vaikuttaminen
Vaikutukset valumaveden laatuun	(1) Kasvinravinnepitoisuuden nousu valumavesistöissä (2) Kiintoainepitoisuuden nousu valumavesistöissä (3) Purovesien lämpötilan nousu (4) Nitraattien huuhtoutuminen pohjaveteen	(1,2,3) Suojavyöhykkeen jättäminen valumavesistöjen ympärille ja purojen varteen (2) Maanpinnan varovainen muokkaus tai muokkaamattomuus (4) Pohjaveden pinnantasoon vaikuttaminen
Vaikutukset ravinteiden kiertoon	(1) Ravinnetappiot hakkuissa	(1) Hakkuu puutavaralajimenetelmällä
Vaikutukset hiilen kiertoon	(1) Hiilen vapautuminen kasvosien, karikkeen ja humuksen nopeutuneessa hajoamisessa (2) Runkopuuhun sitoutuneen hiilen vapautuminen (3) Syntyvään kasvillisuuteen sitoutuva hiili	(1,2) Kiertoajan pidentäminen (1) Kasvosien käyttö energiantuotannossa korvaamaan fossiilisten polttoaineiden käyttöä (2) Tuotetun puutavaran käyttö pitkäkestoisissa tuotteissa (3) Nopeakasvuisten puulajien suosiminen
Vaikutukset luonnon monimuotoisuuteen	(1) Vanhoista metsistä riippuvaisten eliölaajien väheneminen ja häviäminen (2) Metsäalueiden pirstoutuminen (3) Lahopuustosta riippuvaisten eliölaajien väheneminen ja häviäminen (4) Lehtipuustosta riippuvaisten eliölaajien väheneminen ja häviäminen (5) Palaneesta puuaineksesta riippuvaisten eliölaajien väheneminen ja häviäminen	(1,2) Vanhojen metsien ja nk. avainbiotooppien suojelu riittävän laaja-alaisina (3) Lahopuiden jättäminen ja lisääminen hakkuissa (4) Lehtipuiden ja -puuryhmien jättäminen hakkuissa (5) Kulotuksen suosiminen, pystypuiden poltto
Vaikutukset maisemavoihin	(1) Hakkuuaukkojen kaukomaisemaa rumentava vaikutus (2) Hakkuuaukkojen lähimaisemaa rumentava vaikutus	(1) Silhuetin pitäminen ennallaan, epäsäännölliset hakkuualueen rajaukset, hakkaamattoman vyöhykkeen jättäminen maisemallisesti arvokkaiden alueiden ympärille (2) Maanmuokkausjälkien ja hakkuutähteiden näkemisen vähentäminen, puuryhmien jättäminen hakkuuaukeille (1,2) Hakkuiden rytmitys
Vaikutukset metsien monikäyttöön	(1) Joidenkin riistalajien (esim. metso) elinmahdollisuuksien heikkeneminen (2) Joidenkin marja- ja sienilajien elinmahdollisuuksien heikkeneminen (3) Metsien ulkoilukäytön heikkeneminen (4) Porojen talviaikaisen ravinnon-saannin heikkeneminen	(1) Elinalueiden suojelu ja/tai soveltava käsittely (1) Pirstoutumisen ehkäisy (1,2) Kiertoajan pidentäminen (1,2) Reunavyöhykkeiden suosiminen hakkualueiden rajauksessa (3) Maisemanhoito (ks. yllä) (4) Luppo- ja naavametsien suojelu, loppupuuhakkuut

Kirjallisuus

- Aarne, M. (toim.) 1995. Metsätilastollinen vuosikirja 1995. SVT Maa- ja metsätalous 1995: 5. Metsäntutkimuslaitos. 354 s.
- Dixon, R.K., Brown, S., Houghton, R.A., Solomon, A.M., Trexler, M.C. & Wisniewski, J. 1994. Carbon pools and flux of global forest ecosystem. *Science* 263: 185-190.
- Hallikainen, V. 1993. Erämaan käsite ja kokeminen, suomalaisten erämaamielikuva, erämaiden virkistyskäyttö ja arvostus. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 488: 36-70.
- Holopainen, A-L. & Huttunen, P. 1995. Avohakkuun, maanmuokkauksen ja ojituksen hydrobiologiset vaikutukset ja niiden kesto Nurmnes-tutkimusalueella. Julkaisussa: Saukkonen, S. & Kenttämies, K. (toim.) Metsätalouden vesistövaikutukset ja niiden torjunta: METVE-projektin loppuraportti. Suomen ympäristö 2: 185-197.
- Jaakkola, I. 1983. Rovaniemen maalaiskunnan marjasatoinventointi. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 105: 137-143.
- Jaakko Pöyry Consulting. 1995. Pohjois-Suomen ja Pohjois-Karjalan vanhojen metsien suojelun alue- ja kansantaloudelliset vaikutukset - valtion vanhat metsät. Moniste.
- Jäppinen, J-P., Hotanen, J-P. & Salo, K. 1986. Marja- ja sienisadot ja niiden suhde metsikkötunnuksiin mustikka- ja puolukkatyyppin kankailla Ilomantsissa vuosina 1982-1984. *Folia Forestalia* 670: 1-25.
- Kangas, J. & Karsikko, J. 1993. Metsäkanalintujen elinympäristövaatimukset, metsänhoito ja metsäsuunnittelu. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 467. 60 s.
- Karjalainen, E. 1995. Avohakkuumaiseman visuaalinen laatu. *Folia Forestalia* 3: 211-232.
- Karjalainen, E. 1996. Scenic preferences concerning clear-fell areas in Finland. *Landscape Research* 21(2): 159-173.
- Karjalainen, T, Kellomäki, S. & Pussinen, A. 1994. Role of wood based products in absorbing atmospheric carbon. *Silva Fennica* 28(2): 67-80.
- Karjalainen, T. 1996. The carbon sequestration potential of unmanaged forest stands in Finland under changing climatic conditions. Julkaisussa: Karjalainen, T. Dynamics of the carbon flow through forest ecosystem and the potential of carbon sequestration in forests and wood products in Finland. Väitöskirja. Joensuun yliopisto.
- Kilpeläinen, T. 1995. Luonnon muutosten havainnointi ja merkitys kuvaparien arviointi-menetelmää käyttäen. *Folia Forestalia* 4: 273-291.
- Korhonen, K-M. (toim.) 1994. Forestry environment guide. Finnish Forest and Park Service 1994. 101 s.
- Kubin, E. 1977. The effect of clear cutting upon the nutrient status of a spruce forest in Northern Finland (64° 28'N). *Acta Forestalia Fennica* 155. 40s.
- Kubin, E. 1995. Avohakkuun, hakkuutähteiden talteenoton ja maanmuokkauksen vaikutus ravinteiden huuhtoutumiseen. Julkaisussa: Saukkonen, S. & Kenttämies, K. (toim.) Metsätalouden vesistövaikutukset ja niiden torjunta: METVE-projektin loppuraportti. Suomen ympäristö 2: 65-71.
- Lepistö, A., Seuna, P., Saukkonen, S. & Kortelainen, P. 1995. Hakkuun vaikutus hydrologiaan ja ravinteiden huuhtoutumiseen rehevältä metsävaluma-alueelta Etelä-Suomessa. Julkaisussa: Saukkonen, S. & Kenttämies, K. (toim.) Metsätalouden vesistövaikutukset ja niiden torjunta: METVE-projektin loppuraportti. Suomen ympäristö 2: 73-84.
- Maa- ja metsätalousministeriö. 1996. Metsätalouden ympäristöohjelman toteutuminen - seurantaryhmän toinen väliraportti maaliskuu 1996. MMM:n julkaisuja 1996(1). 63 s.
- Matero, J. & Saastamoinen, O. 1995. Metsätalouden vesistöhaittojen ja niiden torjunnan taloudellinen merkitys. Julkaisussa: Saukkonen, S. & Kenttämies, K. (toim.) Metsätalouden vesistövaikutukset ja niiden torjunta: METVE-projektin loppuraportti. Suomen ympäristö 2: 337-351.

- Matthews, R.W. 1993. Towards a methodology for the evaluation of the carbon budget of forests. Julkaisussa: Kanninen, M. (toim.) Carbon balance of world's forested ecosystems: towards a global assessment. Publication of the Academy of Finland 3: 105-114.
- Mattila, E. 1988. Suomen poronhoitoalueen talvilaitumet. Folia Forestalia 713. 53 s.
- Mielikäinen, K. & Valkonen, S. 1991. Harvennustavan vaikutus varttuneen metsikön tuotokseen ja tuottoihin Etelä-Suomessa. Folia Forestalia 776. 22 s.
- Mälkönen, E. 1976. Effect of whole-tree harvesting on soil fertility. Silva Fennica 10(3): 157-164.
- Parviainen, J. & Seppänen, P. 1994. Metsien ekologinen kestävyys ja metsänkasvatusvaihtoehdot. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 511. 110 s.
- Raatikainen, M. & Raatikainen, T. 1983. Mustikan sato, poiminta ja markkinointi Pihtiputaalla. Silva Fennica 17(2): 113-123.
- Raatikainen, M., Rossi, E., Huovinen, J., Koskela, M-L., Niemelä, M. & Raatikainen, T. 1984. Metsä- ja suomarjasadot Väli-Suomessa. Silva Fennica 18(3): 199-219.
- Rask, M., Markkanen, S-L., Nyberg, K., Ojala, A., Tallberg, P., Makkonen, E. & Liimatainen, H.M. 1995. Metsätalouden limnologiset vaikutukset: havaintoja Kuhmon metsäjärveltä vuosina 1991-1995. Julkaisussa: Saukkonen, S. & Kenttämies, K. (toim.) Metsätalouden vesistövaikutukset ja niiden torjunta: METVE-projektin loppuraportti. Suomen ympäristö 2: 241-262.
- Savolainen, R. & Kellomäki, S. 1981. Metsän maisemallinen arvostus. Acta Forestalia Fennica 170: 1-80.
- Seuna, P. 1985. Metsätalouden hydrologiset vaikutukset Nurmes-tutkimuksen valossa. Julkaisussa: Ennakkotuloksia avohakkuun ja metsäojituksen vaikutuksista ympäristöoloihin Nurmes-tutkimuksessa. Vesihallituksen monistesarja 369: 23-32.
- Seuna, P. 1990. Metsätalouden toimenpiteet hydrologisina vaikuttajina. Vesitalous 2: 38-41.
- Utterä, J. & Kangas, J. 1995. Pohjoisen havumetsävyöhykkeen metsäluonnon monimuotoisuuden kvantifiointi alueellisen metsäsuunnittelun tarpeisiin. Folia Forestalia 4: 321-328.
- Utterä, J. & Maltamo, M. 1995. Impacts of regeneration method on stand structure prior to first thinning: comparative study North Karelia, Finland vs. Republic of Karelia, Russian Federation. Silva Fennica 29(4): 267-285.
- VATT. 1995. Pohjois-Suomen ja Pohjois-Karjalan vanhojen metsien suojelun alue- ja kansantaloudelliset vaikutukset - valtion vanhat metsät: valtion taloudellisen tutkimuskeskuksen arvio Jaakko Pöyry Consulting Oy:n tutkimuksesta. Moniste.
- Virkkala, R. 1990. Ecology of the Siberian Tit *Parus cinctus* in relation to habitat quality: effect of forest management. Ornis Scandinavica 21: 139-146.
- Virkkala, R. 1996. Metsien suojeluverkon rakenne ja kehittämistarpeet - ekologinen lähestymistapa. Suomen Ympäristö 16. 53 s.
- Väisänen, R. 1993. Metsätalouden ympäristövaikutukset ja luonnon monimuotoisuus. Julkaisussa: Mäkkeli, P. & Kangas, J. (toim.) Metsäluonnon ja -ympäristön hoito. Metsäntutkimuspäivä Joensuussa 1993. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 478: 12-17.

Risto Lauhanen 1)
Reetta Kolppanen 1)
Markku Lehtinen 2)

1) Metsäntutkimuslaitos 2) Helsingin yliopisto
 Kannuksen tutkimusasema Soveltavan eläintieteen laitos

METSÄTALOUESSA KÄYTETTÄVIEN ÖLJYJEN YMPÄRISTÖ- JA TERVEYSVAIKUTUKSET - KATSAUS JA ENNAKKOTULOKSIA

Johdanto

Metsätyökoneiden voitelussa ja hydraulikassa on käytetty pääasiassa mineraalipohjaisia öljyjä. Viime vuosina on kiinnitetty huomiota myös öljyjen metsäluontoon ja -työntekijöihin kohdistamiin haitallisiin vaikutuksiin. Erityisesti suometsien puunkorjuussa ja metsänparannustöissä käytettäviä kaivinkoneista pelätään öljyjen joutuvan helposti kaivu- ja valumavesien mukana pinta- ja pohjavesiin.

Teräketjuöljyn sekä puunjalostusteollisuuden ketjuöljyistä kasviöljypohjaisten öljyjen osuus oli 1990-luvun alkupuolella kuitenkin vain alle 1,7 prosenttia. Vastaavasti liikkuvan kaluston hydraulikkaöljymäärästä kasviöljypohjaisia tuotteita oli noin 4 prosenttia (Kasviöljy...1993). Näin ollen puunkorjuu- ja puunjalostusketjujen varustaminen bioöljyillä kirkastaisi merkittävästi Suomen kuvaa maailmalla ympäristöystävällisenä metsä- ja puutalousmaana.

Suomessa bioöljyjen, erityisesti rypsi- ja mäntyöljyn soveltuvuutta metsätyöhön alettiin tutkia Metsäntutkimuslaitoksessa 1980-luvun alussa (Takalo 1981, 1982). Ruotsalaiset aloittivat omat tutkimuksensa suomalaisia myöhemmin 1980-luvun puolivälissä. Suomalaisen koetoiminnan ansiosta rypsiöljypohjaisesta teräöljystä tuli kaupallinen tuote vuonna 1985, ja vuonna 1993 alkoi mäntyöljypohjaisen teräketjuöljyn kaupallinen valmistus (Takalo ja Lauhanen 1994, Takalo 1995). Pohjoismaiden lisäksi metsätyössä käytettäviä öljyjä on tutkittu mm. Itävallassa, Kanadassa, Saksassa ja Tsekin tasavallassa (mm. Wenzl ym. 1979, Hartweg ja Keilen 1988, Makkonen 1993, Pernica 1994).

Aihepiirin tutkimustoiminta on tähän asti keskittynyt pääosin tuotekehittelyyn sekä öljyjen soveltuvuuden arviointiin metsätyökoneissa. Vaikka yleisesti keskustellaan bioöljyjen luontoystävällisyydestä, niiden luontovaikutuksia ei ole Suomen oloissa tutkittu (Castrén 1993).

Tämän katsauksen tehtävänä on esitellä aikaisempia tutkimustuloksia bio- ja mineraaliöljyistä, varsinkin niiden ympäristö- ja terveysvaikutuksista. Lisäksi esitellään ennakkotuloksia öljyjen vaikutuksista taimien ja rairuohon kasvuun sekä maaperäeläinlajistoon.

Öljjien soveltuvuus koneisiin ja laitteisiin

Jotta bioöljyillä olisi luontoa suojelevaa vaikutusta, niiden on sovelluttava koneisiin ja laitteisiin, eivätkä ne saa olla työntekijöille ja luonnolle haitallisia. Lisäksi bioöljyjen on oltava hinnaltaan kilpailukykyisiä perinteisten mineraaliöljyjen kanssa (Pernica 1994, Skoupy 1994, Takalo 1995). Öljjien tulee olla myös käyttäjäystävällisiä työn kannalta. Esimerkiksi jonkin öljyn haju ei ole aina miellyttänyt kaikkia käyttäjiä.

Moottorisahan ja hakkuukoneen terälaitteen voiteluun mänty- ja rypsiöljyt soveltuvat hyvin, mm. terälaitteiden käyttöikä on lisääntynyt (Takalo 1981, 1982, 1995, Rajamäki ja Vuollet 1994, Takalo ja Lauhanen 1994). Moottorisahojen teräketjun voitelussa kasvipohjaisen öljyn kulutus oli 30 prosenttia pienempi kuin mineraaliöljyn kulutus (Rajamäki ja Vuollet 1994). Ongelmia on kuitenkin ilmennyt hakkuukoneiden hydraulikassa (Pernica 1994, Takalo 1995). Toisaalta pitkällä aikavälillä mäntyöljy ei sellaisenaan soveltunut diesel-auton polttoaineeksi (Takalo 1995). Lisäksi bioöljyt ovat perinteisiä mineraaliöljyjä kalliimpia. Rajamäen (1993) mukaan biohajoavista öljyistä aiheutui metsäkoneyrittäjälle 0,39 mk:n lisäkustannus hakattua puutavarakuutiometriä kohti, mikä teki 15600 mk vuositasolla.

Öljjien vaikutus työympäristöön ja työntekijään

Lyhytaikainen öljyaltistus ei yleensä aiheuta ongelmia silmille tai iholle (Castrén 1993). Hengityselimistöille lyhytaikainen altistus kuitenkin aiheuttaa haittaa, jos öljy sisältää työilmaan höyrystyviä liuottimia. Haitalliseksi todettu öljysumupitoisuus on 5 mg ilmakeuutiometriä kohti. Työilmaan joutuvat öljyt saattavat aiheuttaa ärsytystä hengitysteissä sekä lisäksi pahoinvointia. Jatkuva voiteluaineallisuus aiheuttaa ihon kuivumista, silmien ärsytystä, ja ihon punerrusta. Läpilikaantuneiden työvaatteiden takia ihottumaa voi ilmestyä reisien etupinnalle ja vatsaan. (Castrén 1993).

Itävaltalaisien metsureiden mielestä moottorisahan pakokaasut olivat hakkuutyön pahin epäkohta ennen melua ja tärinää. Tieto perustuu 58 metsurin haastatteluun. Pakokaasuanalyyysien perusteella moottorisahan hiilimonoksidi- eli häkäpäästöt olivat 1970-luvun lopulla lähes kaksinkertaiset henkilöauton päästöihin verrattuna. Typen oksidien osalta moottorisahan päästöt olivat varsin alhaiset henkilöauton päästöihin verrattuna (Wencl ym. 1979).

Taulukko 1. Keskimääräiset moottorisahan ja henkilöauton pakokaasupäästöt. Kolmen moottorisahan keskiarvot (grammaa tunnissa). (Wencl ym. 1979).

	CO g/h	HC g/h	NO _x g/h
Moottorisaha	367	145,5	0,255
Henkilöauto	743	73,5	31,4

Metsurin hengittämän ilman laadun kannalta tiheä, puustoinen leimikko tyyneellä pakkasilmalla on ongelmallisin työkohte. Ruotsissa on tutkittu moottorisahan pakoputkeen kytketyn savuputken vaikutusta metsurin hengitysilman laatuun. "Korsteenisaha" eli "korstensåg" vähensi sekä metsurin hengitysilman että veren häkäpitoisuutta, muttei alentanut hakkutyön tuottavuutta merkittävästi. Tupakoimattomien metsureiden veren häkäpitoisuudet jäivät alhaisemmiksi kuin tavanomaisilla tupakoitsijoilla (3-8 %) (Johansson ja Wikberg 1985).

Myös katalysaattorin käyttömahdollisuuksia moottorisahan pakokaasujen vähentämisessä on tutkittu. Jos metsuri käyttää sahasa katalysaattoria ja kasvipohjaisia teräöljyjä, paranee työilma selvästi. Katalysaattori painaa 300 g, ja aktiivisessa työkäytössä se kestää vuoden. Katalysaattorin hinta oli vuonna 1992 noin 500 markkaa (Sundén 1992). Myös saksalaisen tutkimuksen mukaan katalysaattori puhdisti moottorisahan pakokaasuja. Erilaiset hiilivedyt vähenivät merkittävästi (60-80 %), mutta pakokaasujen häkäpitoisuuksiin katalysaattori ei vaikuttanut olennaisesti. (Schierling 1993).

Öljymäärät ja öljyjen leviäminen metsäluontoon

Moottorisahalla tehdyssä kaatotyössä teräöljystä 75-77 % jäi sahanpuruun, 7-13 % puun katkaisupintaan ja 12-16 % valui metsämaahan. Sahattavien puiden läpimitan kasvaessa öljyä jäi suhteellisesti enemmän puutavaraan kuin luontoon, mutta luontoon valunut kokonaisöljymäärä kasvoi absoluuttisesti puiden koon kasvaessa. (Skopy 1994).

Tsekkiläisten arvioiden mukaan moottorisahasta ei pääsisi metsäluonnolle haitallisia öljymääriä. Sen sijaan pohjavesien saastuminen voi olla mahdollista (Skopy 1994). Suomalaisen arvioiden mukaan hakkuutyössä leviää metsäluontoon moottorisahasta noin 0,1 litraa ja hakkuukoneesta noin 0,02 litraa mineraalipohjaista teräketjuöljyä puutavarakuutiometriä kohti (Takalo 1982, Rajamäki 1993, Takalo 1995). Arviot tosin vaihtelevat eri tutkimuksissa jonkin verran (ks. myös Castrén 1993, Rajamäki ja Vuollet 1994).

Pahimmillaan siis eteläsuomalaisen 400 kuutiometrin kuusikon päätehakuussa leviää metsähehtaarelle noin 40 litraa moottorisahan teräketjuöljyä. Jos Suomen markkinahakkuut ovat vuositasolla noin 50 miljoonaa kuutiometriä, kaikkiaan teräketjuöljyä leviää metsäluontoon noin 2 miljoonaa litraa vuodessa. Laskelmassa on käytetty em. moottorisahan ja hakkuukoneen öljyn kulutusarvioita. Lisäksi on oletettu, että koneellisen hakkuun osuus on noin 75 %. Teräketjuöljyn lisäksi hakkuukoneista leviää luontoon hydraulikkaöljyä sekä voiteluöljyä. Puutavarakuljetuksissa käytettävästä autokalustosta leviävät öljyt on myös otettava jatkossa tarkasteluun erillislaskelmissa.

Ennakkotuloksia öljyjen vaikutuksista maaperäeläimiin

Öljyjen biohajoavuutta ja niiden vaikutusta maaperäeläimiin alettiin tutkia Kannuksen kaatopaikan maastossa keväällä 1996. Öljyttömän vertailuvaihtoehdon lisäksi kokeessa seurataan mineraali-, mäntyöljy-, ja rypsiöljypohjaisten teräketjuöljyjen vaikutuksia änkyrimatoihin ja sukkulamatoihin (nematodeihin). Öljymäärät (4 toistoa per öljykäsittely, ruutukoko 50 cm x 50 cm) ovat 5 t/ha ja 20 t/ha. Ensimmäisen kasvukauden jälkeen änkyri- ja sukkulamatojen lajimäärissä ei havaittu merkit-

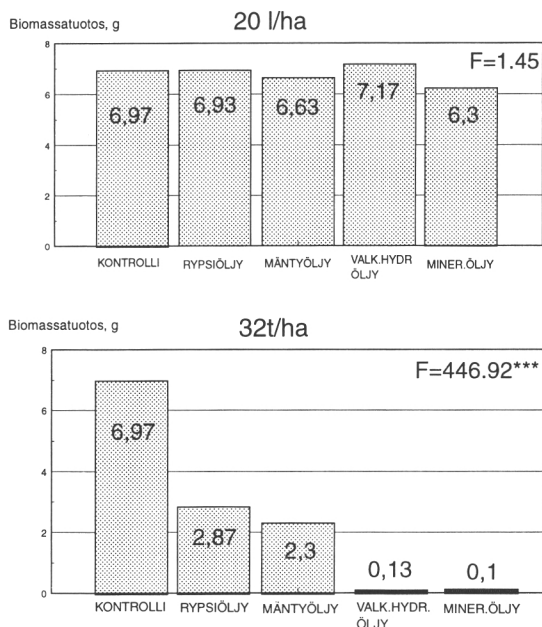
täviä muutoksia. Myös kesän 1996 voimakkaat lämpötilan ja sadannan vaihtelut vaikuttivat osaltaan tuloksiin.

Aikaisemmin Suomessa on tutkittu mineraaliöljypohjaisen kevyen polttoöljyn sekä hydraulikkaöljyn vaikutuksia lehtimetsän selkärangattomiin. Öljyä levitettiin 6,25 litraa koeruodun neliometriä kohti eli 62,5 t/ha. Kahden kasvukauden aikana (1973-74) polttoöljystä oli jäänyt 22 % maahan, ja hydraulikkaöljystä 47 %. Polttoöljy tuhosi lähes kaikki änkyrimadot, mutta hydraulikkaöljy tappoi niistä vain puolet. Polttoöljy hävitti aluksi lähes kaikki sukkulamadot, mutta kokeen lopussa niiden määrä oli kaksinkertainen lähtötilanteeseen verrattuna. Hydraulikkaöljyisessä maassa sukkulamatojen määrä alkoi kasvaa moninkertaiseksi, mutta toisen vuoden aikaan niiden määrä romahti. (Pirhonen & Huhta 1984).

Öljyjen vaikutus rairuohon biomassatuotokseen

Kesä-heinäkuussa 1996 seurattiin kasvihuonekokeessa eri öljyjen vaikutusta rairuohon biomassatuotokseen. Turveruukkuihin laitettiin 3,5 grammaa siemeniä ruukkua kohti. Öljyttömän vertailuvaihtoehdon lisäksi seurattiin mineraali-, mäntyöljy-, ja rypsiöljypohjaisen teräöljyn sekä yhdysvaltalaisen valkoisen mineraaliöljypohjaisen hydraulikkaöljyn kasvuvaikutuksia. Tutkitut öljymäärät olivat moottorisahauksesta luontoon jäävä todennäköinen öljytaso 20 l/ha sekä öljyastian kaatumista tai hydraulikkaletkun katkeamista jäljittelevä 32 t/ha. Kustakin käsittelystä oli kolme toistoa.

Öljyastian kaatumista tai letkukatkoa jäljittelevä mineraaliöljytaso vähensi selvimmin ($p < 0,05$) rairuohon maanpäällistä biomassatuotosta (kuva 1). Kun öljyttömän vaihtoehdon biomassa oli 6,97 grammaa, letkukatkoa jäljittelevä mineraaliöljymäärä vähensi biomassatuotoksen 0,1 gramman tasolle. Moottorisahan terälaitteesta luontoon kulkeutuvaa öljyjäämää jäljittelevät pitoisuudet eivät vaikuttaneet merkitsevästi biomassatuotokseen ($p > 0,05$). Lämpimän kasvukauden aikaan tehty maanpäällistä biomassatuotosta koskeva koe antoi saman tuloksen kuin keväämmällä viileämpään aikaan tehty maanpäällistä biomassaa ja juuriston biomassaa koskeva koe (Lauhanen ja Kolppanen 1996).



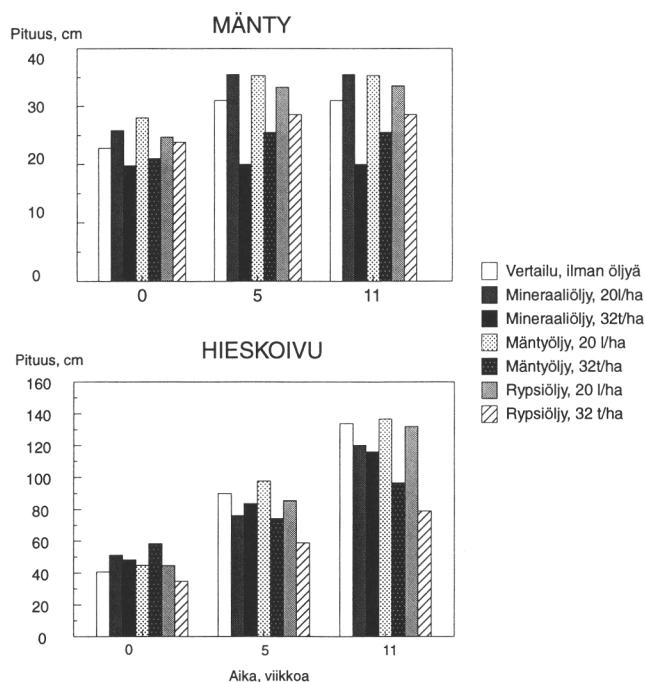
Kuva 1. Puunkorjuussa käytettävien teräketjuöljyjen vaikutus rairuohon maanpäälliseen biomassatuotokseen (kuivapainot grammoina). Öljyttömän kontrollivaihtoehdon lisäksi seurattiin mineraaliöljy-, mäntyöljy-, ja rypsiöljypohjaisen teräketjuöljyn sekä yhdysvaltalaisen valkoisen mineraaliöljypohjaisen hydraulikkaöljyn vaikutuksia. Öljymäärä 20 l/ha ei vaikuttanut merkitsevästi (varianssianalyysin F-arvo=1,45) rairuohon biomassatuotokseen, mutta öljymäärä 32 t/ha vaikutti (F-arvo=446,92).

Ennakkotuloksia teräketjuöljyjen vaikutuksesta männyn ja hieskoivun taimien kasvuun ja kehitykseen

Toukokuussa 1996 perustetussa kasvihuonekokeessa seurattiin mineraali-, mäntyöljy-, ja rypsiöljypohjaisten teräketjuöljyjen vaikutusta männyn ja hieskoivun taimien ilmiasuun, pituuskasvuun, neulasvaurioihin ja ravinnetalouteen. Lisäksi seurattiin yhdysvaltalaisen valkoisen mineraaliöljypohjaisen hydraulikkaöljyn sekä mineraaliöljy-, mäntyöljy- ja rypsiöljypohjaisten hydraulikkaöljyjen vaikutuksia taimien kasvuun ja kehitykseen. Taimet altistettiin öljyille sekä ilmasta että maan kautta. Kasvatusalustat olivat multa ja turve. Kustakin taimikäsittelystä oli kolme toistoa, mikä merkitsi kolmea kasvatuslohkoa kasvihuoneessa.

Multamaassa kasvaneiden ja ilmasta öljyille altistettujen männyn taimien pituuskasvu kesti viittisen viikkoa, kun hieskoivun taimien kasvu jatkui elokuulle saakka (kuva 2). Taimen lähtöpituus ei vaikuttanut tilastollisesti merkitsevästi taimien kasvuun ja siltä osin öljyjen kasvuvaiikutusten arviointiin. Öljymäärä 20 l/ha kaikkien öljyjen osalta ei vaikuttanut tilastollisesti merkitsevästi männyn eikä hieskoivun taimien pituuskasvuun ja pituuteen. Sen sijaan öljymäärällä 32 t/ha oli vaikutusta molempien puulajien pituuskasvuun ja taimien pituuteen (kuva 2). Mineraaliteräöljymäärä 32 t/ha näytti vaikuttavan haitallisimmin männyn pituuskasvuun eron ollessa merkitsevä öljyttömään vertailuvaihtoehtoon ($p < 0,01$) nähden. Mänty- ja rypsiöljykäsittelyt ($p < 0,05$) poikkesivat

edukseen mineraaliöljykäsittelystä, mutteivat öljyttömästä vaihtoehdosta. Hieskoivulla mänty- ja rypsiöljykäsittelyt poikkesivat ($p < 0,05$) taimien kasvun suhteen öljyttömästä vaihtoehdosta.



Kuva 2. Puunkorjuussa käytettävien teräketjuöljyjen vaikutus männyn ja hieskoivun taimien pituuteen 5 ja 11 viikon aikana. 0 -viikkoa kuvaa taimien pituutta ennen öljyaltistusta. Teräketjuöljyt ja öljymäärät ovat samat kuin kuvassa 1. Taimien altistus tapahtui ilmasta käsin, ja taimien kasvatusalustana oli multa.

Männyn taimien kuoleminen näytti olevan voimakkaampaa kuin hieskoivun taimien. Kuolemista tapahtui kaikilla teräketjuöljyillä ja öljymäärillä, varsinkin mineraaliöljyillä. Ilmasta altistetuilla hieskoivun taimilla ilmeni pensastavaa kasvutapaa sekä lehtivaurioita kaikilla teräketjuöljyillä ja öljymäärillä. Hydraulikkaöljyjen vaikutukset näyttivät teräketjuöljyihin verrattuna kaikkein pahimmilta. Kuolleilla hieskoivuilla oli taipumus vesoa.

Kirjallisuus

Castrén, M. 1993. Öljyn ympäristö- ja terveysvaikutukset puunkorjuutyössä. Työtehoseuran metsätiedote 12. 4 s.

Hartweg, A. & Keilen, K. 1988. Die Umweltverträglichkeit von Bioölen. Allg. Forst. Jahr. und Zeitschr. 7: 148-150.

Johansson, I. & Wikberg, K.-G. 1985. Avgasexponering vid motorsågsarbete -en jämförelse mellan motorsåg med och utan skorsten. Sveriges Lantbruksuniversitet. Institutionen för skogsteknik. Arbetsanalysgruppen. Intern stencil nr 40. 20 s. + 2 liitettä.

Kasviöljy, luontoa säästävä voiteluaine. 1993?. Energia ja ympäristö. Tutkimusohjelma SIHTI. Moniste. 4 s.

Lauhanen, R. & Kolppanen, R. 1996. Metsätaloudessa käytettävien öljyjen luontovaikutukset. Julkaisussa: Finér, L., Ilvesniemi, H., Kortelainen, P. & Karvinen, L. (toim.) Metsätalouden ympäristökuormitus -tutkijaseminaari Vääkssä Päijänne-luontokeskuksessa 20.-21.5.1996. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 607: 29-33.

Makkonen, I. 1993. Environmentally-compatible oils. Forest Engineering Research Institute of Canada. Draft Report. 60 s.

Pernica, J. 1994. Ways to reduce the danger of damage to soil through oil spills from machinery in forestry. Soil, tree, machine interactions -interactive workshop and seminar. Feldafing, Federal Republic of Germany, 4-8 July. EU,ECE, IUFRO Division P3.08, FAO, ILO.

Pirhonen, R. & Huhta, V. 1984. Petroleum fractions in soil: effects of populations of nematoda, enchytraeidae and microarthropoda. Soil Biology & Biochemistry 16(4): 347-350.

Rajamäki, J. 1993. Ympäristöystävälliset öljyt metsätoissa. Metsätehon katsaus 8. 8 s.

Rajamäki, J. & Vuollet, E. 1994. Kasviöljyjen käyttö moottorisahojen teräketjun voitelussa. Metsätehon katsaus 13. 4 s.

von Schierling, R. 1993. Abgassituation bei der Motorsägenarbeit. All. Forst. Zeitschr. 3: 122-124.

Skopyy, A. 1994. Biodegradable oils used in lubricating power saws. Soil, tree, machine interactions -interactive workshop and seminar. Feldafing, Federal Republic of Germany, 4-8 July. EU, ECE, IUFRO Division P3.08, FAO, ILO.

Sundén, T. 1992. Vad innehåller avgaserna? Skogsbruket 2: 6-7.

Takalo, S. 1981. Rypsi- ja mäntyöljyn käyttö moottorisahassa. Koneviesti 17. 26 s.

Takalo, S. 1982. Moottorisahan terälaite ja sen kestävyys. Koneviesti 21. 24 s.

Takalo, S. 1995. Mäntyöljyn mahdollisuudet poltto- ja voiteluaineena. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 545. 17 s. + liitteet.

Takalo, S. & Lauhanen, R. 1994. Tall oil as a new lubricant in forestry. Soil, tree, machine interactions -interactive workshop and seminar. Feldafing, Federal Republic of Germany, 4-8 July. EU,ECE, IUFRO Division P3.08, FAO, ILO.

Wencl, J. , Lenger, A. , Bruner-Newton, I. & Bruner, G. 1979. Messungen von Schadstoffemissionen an Motorsägen. Allg. Forstzeitung 90(9): 261-263.

Jyrki Hytönen

Metsäntutkimuslaitos
Kannuksen tutkimusasema

HAAVASTA KUITUPUUTA LYHYIN KIERROIN?

Johdanto

Haapa (*Populus tremula* L.) kasvaa Suomessa koko maassa aina Lapin tuntureille asti. Haapavaltaisia metsiköitä on kuitenkin vähän, vain n. 0,3 % metsämaan pinta-alasta (Aarne 1994). Niiden osuus pienenee siirryttäessä pohjoiseen. Puhtaat haapametsiköt ovat usein hyvin pienialaisia (Tikka 1954). Haapa on kuitenkin yleinen sekapuulaji, etenkin maan eteläosan hyvillä kasvupaikoilla (kuva 1). Sen osuus puuston kokonaismäärästä on 1,3 % (Kuusela ym. 1986). Haavan arvostus metsätaloudessa on ollut kahtalainen. Siihen on suhtauduttu hyljeksen ja sitä on pidetty hankalana rikkaruohona, mutta toisaalta on usein myös tuotu esiin sen hyviä ominaisuuksia (Multamäki 1925, Laitakari 1938, Blumenthal 1942, Kallio 1945, Osara 1952, Vuokila 1977). Jo 1759 ilmestyneessä Arvid Mennanderin väitöskirjassa painotettiin haavan lukuisia hyviä puolia, mutta valitettiin sen hyljeksemistä metsätaloudessa (Pekkala 1915).



Kuva 1. Haapa on yleinen sekapuulaji metsissämme. Kiinnostus haapaan ja sen kasvattamiseen on taas lisääntynyt (Kuva: Esa Heino/Metla).

Haavanviljelijöiden mielenkiinto on lähes yksinomaan kohdistunut hybridihaapaan (*P. x wettsteinii*), joka on ensimmäinen suomalainen risteytyspuu. Kotimaisen (*Populus tremula* L.) ja pohjois-amerikkalaisen haavan (*Populus tremuloides* Michx.) ensimmäiset risteytykset tehtiin vuonna 1950 (Hagman 1971, Beuker & Hagman 1989) ja vanhimmat istutukset Suomessa ovat vuodelta 1951 (Oskarsson 1961). Hybridit ovat kiinnostavia niissä havaitun nk. heteroosi-ilmion vuoksi. Mahdollisuudet suorittaa risteytykset ja siementuotanto kasvihuoneessa sekä siementuotannon runsaus tekevät haavasta hyvän jalostuskohteen (Hagman 1971). Parinkymmenen vuoden ajan (1950- ja 1960-luvuilla) perustettiin eri puolille maata sadoittain pieniä hybridihaapametsiköitä. 1970-luvun alkuun mennessä olikin istutettu kaikkiaan runsaat 0,5 milj. hybridihaapaa (Lepistö 1971). Innostus hybridihaavan kasvatukseen 50- ja 60-luvulla loppui täysin 70-luvulla pääasiassa haavanviljelyssä sattuneisiin epäonnistumisiin. Haavan kasvatuksen tutkimus on viime vuosina ollut hyvin vähäistä.

Nyt kiinnostus haapaan on taas lisääntynyt. Metsien monimuotoisuuden vaalijat suosivat haapaa (Luonnonläheinen...1994). Myös metsäteollisuuden kiinnostus nopeakasvuisen haavan kasvatukseen ja käyttöön massan raaka-aineena on lisääntynyt sekä Suomessa että Kanadassa (Li 1995, Niskanen 1996). Haavan tietoinen kasvatusta ei ole enää niin mahdoton vaihtoehto kuin esim. vielä v. 1990 ajeltiin (Verkasalo 1990). Kiinnostus mahdollisuuteen kasvattaa haapaa kuiduttavan teollisuuden raaka-aineeksi lyhytkiertoviljelyn ja vesametsäkasvatuksen periaatteita noudattaen oli esillä jo 1970-luvulla (Hakkila 1974, Kärkkäinen 1981). Lyhytkiertoviljelytutkimukset keskittyivät sittemmin pajuun, eikä haapaan kiinnitetty huomiota.

Haapapuun käyttö

Haavan puuaine on valkoista, kevyttä ja pehmeää. Sekä pinta- että sydänpuu ovat saman värisiä (Fagerstedt ym. 1996). Sitä on myös helppo kuoria ja halkaista. Haavalla kuoren osuus puun kokonaismassasta on korkea (Simola 1977). Myös haavan kuoren tuhkapitoisuus on moniin muihin kotimaisiin puulajeihin verrattuna suuri (Voipio & Laakso 1992). Kaikille haapalajeille on ominaista epätasainen kosteus (Verkasalo 1990). Kuoripäällinen haapa tylyyttää teriä ja puutavara kiertyy kuivauksessa helposti ja voi halkeilla (Voipio & Laakso 1992, Fagerstedt ym. 1996, Sairanen 1996). Haavan käyttökelpoisuutta alentaa sen sydänpuun alttius lahottajasienille (Söyriälä 1992). Väriävyyden ja lahoisuuden vuoksi korkealaatuisen haapatukin saanti tulitikkutehtaillekin oli vaikeaa (Kärkkäinen 1978).

Haapalautaa on käytetty perinteisesti saunan laudepuuksi, koska sen lämmönjohtokyky on huono. Pieniä määriä haapaa käytetään nykyisin myös jääkiekkomailoihin, puutarhakalusteisiin ja esim. savusaunojen raaka-aineeksi. Haavasta on aiemmin tehty kattopäreitä ja aidaksia sekä lehtiä käytetty karjan rehuna (Pekkala 1915, Kallio 1945).

Haapa oli ensimmäinen lehtipuu, jonka varaan pohjoismaissa syntyi merkittävää teollisuutta, tulitikkujen valmistusta (Verkasalo 1990). Suomen ensimmäinen tulitikkutehdas perustettiin v. 1844 (Kallio 1945). Tulitikkuteollisuus oli aiemmin haavan suurkäyttäjäksi ja vielä 1970-luvulla oltiin huolestuneita haavan riittävydestä. Viimeinenkin suomalainen tulitikkutehdas (FinnMatch Vaa-jakoskella) lopetti toimintansa marraskuussa 1995.

Vaikka haapa soveltuu kuusta paremmin viulun ja vanerin valmistukseen (Söyriälä 1992), sitä käytetään melko vähän, lähinnä väliviiluksi korvaamaan kuusta (Sairanen 1996). Haavan käyttöä vanerin valmistuksessa rajoittavista tekijöistä Söyriälän (1992) mukaan tärkein on hyvälaatuisen haavan vähäinen saatavuus.

Massateollisuus on käyttänyt haapaa pääasiassa koivun seassa vähäarvoisena sekapuuna (Kärkkäinen 1981, Verkasalo 1990). Haavan selluloosapitoisuus on korkeampi kuin muiden kotimaisten puulajien (Voipio & Laakso 1992). Haapasellun hyviä ominaisuuksia ovat myös sen hyvä valosironta (läpinäkymättömyys), ryhti ja vähäisempi valkaisutarve. Haapapaperista voidaan tehdä ohutta: näin säästetään tuotannossa, jatkojalostuksessa, kuljetuksissa ja postituksissa (Niskanen 1996). Haapa lisää myös pehmpaperin kuohkeutta ja tekstiilimäisyyttä.

Haapaa on käytetty runsaasti myös polttopuuna. Haavan puuaineen tehollinen lämpöarvo on samansuuruinen kuin koivuilla (n. 18,7 MJ/kg). Kuoren koivua pienempi lämpöarvo (haapa: 18,6 MJ/kg, koivut: 22,6 MJ/kg) laskee haavan kokopuun lämpöarvon (18,6 MJ/kg) pienemmäksi kuin koivuilla (19,3 MJ/kg) (Nurmi 1993, 1994).

Haapa ja metsien monimuotoisuus

Haavikoissa viihtyy monia uhanalaisia lajeja. Metsänhoitosuosituksen mukaan järeät, lahoavat haavat tulisi jättää pystyyn hakkuissa (Luonnonläheinen...1994). Haavalla on Pentti Linkolan (1956) mielestä puulajeistamme tärkein erityisasema lintuystävälle. Kolopesijät, erityisesti tikat suosivat haapaa sen puuaineen pehmeiden ja vanhojen haapojen lahoisten 'luonnonkolojen' vuoksi. Tikkojen koloja käyttävät myös monet muut lintulajit, kuten esim. pöllöt. Liito-orava pitää haavikoista. Haapaa suosivia hyönteisiä on arviolta 200 - 300 lajia, näistä uhanalaisia muutamia kymmeniä. Haapaa hyönteislajiston runsaudessa voitokkaampi on vain tammi (Vuokko 1996). Haavan kuori maistuu hyvin hirville, jäniksille ja majaville. Haavan punikitatti on haavalle ominainen mykorritsasieni. Haavalla viihtyy myös useita kääpälajeja.

Haapa voi olla maisemassa kaunis puu. Erityisesti syksyllä sen kirkaat värit elävöittävät maisemaa.

Kasvupaikat

Haapa ja hybridihaapa viihtyvät parhaiten viljavilla kivennäismailla, kuten lehdossa, lehtomaisilla mailla ja hyvillä mustikkatyypin metsämailla (Multamäki 1925, Blumenthal 1942, Kallio 1945, Tikka 1954, Oskarsson 1961, Saloniemi 1965). Ne eivät sovi savimaille, eivätkä muutoinkaan liian kosteille, jos ei kuivillekaan maille. Haapa ei eräiden havaintojen mukaan viihdy soilla (Kallio 1945, Saloniemi 1965), poikkeuksena parhaimmat korvet (Kallio 1945), joille haapaviljelmien perustamista onkin suositeltu (Multamäki 1925). Haapa kykenee ottamaan haltuunsa myös varsin karujakin kasvupaikkoja (Vuokila 1977), mutta sen kasvattaminen taloudellisesti merkittäväksi puutavaralajiksi edellyttää todella hyvää kasvupaikkaa (Kärkkäinen 1981), eikä sitä kannatakaan kasvattaa huonommilla mustikkatyypin mailla (Kallio 1945). Hybridihaapa osoitautui selvästi vaateliaammaksi kuin luonnonvarainen haapamme (Mikola 1972). Maan runsas kalkkipitoisuus lienee haavan kasvatukselle tärkeää (Blumenthal 1942). Haavan lehtien kalsiumpitoisuus onkin korkea moniin muihin puulajeihin verrattuna (Aaltonen 1950) ja haavan lehdet hajoavat nopeasti (Lähdesmäki & Piipsanen 1989).

Haavat voivat kasvaa hyvin myös ravinteikkailla, multavilla niityillä ja hylätyillä pelloilla (Blumenthal 1942). Peltojen metsittäminen voisikin tarjota viljavien kivennäismaiden kasvupaikkoja hybridihaavan ja haavan viljelylle, sillä peltojen ravinnemäärät ovat usein varsin korkeat. Haavalle huonosti sopivia peltomaita, runsaasti orgaanista ainetta sisältäviä multa- ja turvepeltoja on eniten Pohjanlahden rannikkoalueella ja Lapissa. Eniten turvepeltoja on sekä suhteellisesti että

määrällisesti Pohjanmaalla ja Lapissa (58 % kaikista Suomen turvepelloista). Savimaita on toiseksi eniten Suomen peltoalasta (19,8 %). Varsinais-Suomessa ja Uudellamaalla yli puolet pelloista on savipeltoja (Urvas 1995). Erityisesti näillä alueilla haavan sopivuuteen pellonmetsityksen puulajiksi on kiinnitettävä erityistä huomiota. Pellon maalaji sekä muokkauskerroksesta että sen alapuolelta on tarkastettava ennen varsinaista metsityksen suunnittelua.

Haavikon perustaminen

Haapa kukkii keväällä ennen lehteen tuloa. Jo kesäkuussa lenninhaivenilliset siemenet ovat tuulen kuljetettavina. Siemenet ovat pieniä, nopeasti kypsyviä ja itävät paljaassa ja kosteassa maassa nopeasti. Maan muokkaaminen voi siten suosia haapaa. Pienet luonnontaimet kuolevat kuitenkin helposti. Siksi luonnossa ei usein tapaakaan siemensyntyisiä haapoja (Blumenthal 1942), vaan haavat ovat usein syntyneet juurivesoista muodostaen kloonin.

Uudet haavikot on perustettava viljelemällä, mutta seuraava sukupolvi voidaan saada syntymään kanto- ja juurivesoista. Metsänhoitosuosituksissa esitetään laatupuun kasvattamiseksi 2000 - 2500 haavan istuttamista hehtaarille (Luonnonläheinen...1994). Hybridihaapaa suositeltiin istutettavaksi 1100 kpl/ha (Kärki 1958).

Erityisesti kun haapaa viljellään viljaville entisille pelloille on tehokkaan maanmuokkauksen lisäksi pintakasvillisuutta torjuttava, sillä hybridihaavan kyky kilpailla muun kasvillisuuden kanssa on alkuvaiheessaan heikko (Lepistö 1971, Mikola 1972). Pelloilla taimien kanssa vedestä, valosta ja ravinteista kilpailevan pintakasvillisuuden kehitys on nopeaa ja voimakasta. Pintakasvillisuus aiheuttaa myös suurta tuhoa mekaanisesti painuessaan taimien päälle talven ajaksi. Peltojen kasvillisuussukessio on aluksi nopeaa, mutta heinät ovat monien vuosien ajan peltojen valtalajeja. Tehokas pintakasvillisuuden torjunta on lisännyt männyn ja koivun taimien elossaoloa ja pituuskehitystä (esim. Hytönen & Lilja 1985). Pintakasvillisuuden torjunnasta haavan viljelyssä tiedetään hyvin vähän.

Peltojen metsityksessä olisi syytä käyttää vain kookkaita, mieluummin avojuurisia taimia (Hytönen 1995). Pienten taimien kuolleisuus on ollut suuri. Erityisen suurta huomiota on kiinnitettävä mahdollisuuksiin vähentää ja torjua haavikkoja uhkaavia tuhonaiheuttajia.

Tuhot

Hybridihaavikoiden menestymisestä ja tuhoista tiedetään 1950- ja 60-luvuilla perustettujen viljelmien inventointien tuloksena. Tuhot hybridihaapaviljelyksillä olivat huomattavan yleisiä (Hagman 1971) ja monet niistä ajoittuivat taimien kehityksen ensi vuosiin. Taimien elossaolo oli keskimäärin vain 34 % (Hagman 1971). Hybridihaavat osoittautuivat ilmastollisesti hyvin kestäviksi (Mikola 1972, Jänterä 1973). Lumenmurtoja esiintyi hybridihaavikoissa jonkin verran (Rummukainen 1960).

Harkittaessa haavan viljelyä pelloille on muistettava, että pellonmetsitykset ovat tavallista metsänviljelyä alttiimpia erilaisille tuhonaiheuttajille. Tämä johtuu osaksi peltojen runsaasta pintakasvillisuudesta ja ravinteisuudesta.

Myyrät: Pahimmaksi ongelmaksi hybridihaavan viljelyssä osoittautuivat ankarat myyrätuhot, joita pidettiin pahimpana takaiskuna hybridihaavan viljelylle (Oskarsson 1961, Saloniemi 1965,

Hagman 1971, Lepistö 1971, Mikola 1972, Jänteriä 1973). Hybridihaavan viljely päättyikin lähes kokonaan myyrävuosien kasvattajille aiheuttamiin suuriin tuhoihin (Saloniemi 1965). Osasyynä pidettiin viljelyn ajoittumista myyrävuosiin.

Pellonmetsityksen myyrätuhoriski on moninkertainen verrattuna tavallisen metsänviljelyyn (Henttonen ym. 1995). Myyrätuhoja voidaan vähentää tehokkaalla pintakasvillisuuden torjunnalla (Ferm ym. 1994), taimien tyville asetettavien suojien avulla tai karkoteaineilla (Henttonen ym. 1995). Istutuksen ajoituksella myyrähuippuihin nähden voidaan vähentää tuhoriskiä.

Hirvi ja jänis: Jänikset ja etenkin hirvet voivat aiheuttaa haavalle ja hybridihaavalle huomattavia vahinkoja (Kallio 1945, Oskarsson 1961, Saloniemi 1965, Lepistö 1971, Mikola 1972, Jänteriä 1973). Nykyisin suuri hirvikanta varmasti lisää tuhoriskiä verrattuna 1970-luvun alussa vallinneeseen tilanteeseen. Kärjen (1958) mukaan hybridihaavikkoja ei kannata perustaa paikkaan, missä hirvivaara on ilmeinen. Hirviä vastaan paras suoja saadaan aitauksella, joka on varsin kallis menetelmä.

Hyönteiset: Monet hyönteislajit viihtyvät haavalla. Runkohaapsasen (*Saperda carcharias*, entiseltä nimeltään haavan hapsenkakkiainen) toukka kaivaa suuria käytäviä elävien haapojen rungon sisällä (Kallio 1945, Nuorteva 1996). Se on erittäin yleinen valoisilla ja kuivilla paikoilla kasvavissa nuorissa haavoissa. Käytävät säilyvät tyhjinä tunneleina koko haavan eliniän ja niistä leviää melkein aina lahoa runkoon (Jukka 1988). Tuhojen vähentämiseksi suositellaan haapojen kasvattamista metsissä sekapuuna (Jukka 1988, Nuorteva 1996). Iso haavanlehtikuoriainen (*Chrysomela populi*) on noin senttimetrin pituinen punainen kovakuoriainen. Aikuinen ja toukat syövät haavan lehtiä reunoista alkaen. Myöskin puuntuhoja (*Cossus cossus*) voi kaivaa käytäviään haapaan (Kallio 1945).

Sienitaudit: Sienituhoja hybridihaavikoissa on jonkin verran esiintynyt (Saloniemi 1965). Haavanmustaverso (*Pollaccia radiososa*) voi tappaa kasvavia, erityisesti pienten taimien ja vesojen versoja (Kurkela 1994). Sienitaudin johdosta lehtien ja kasvavien versojen kuollut solukko mustuu pian tartunnan jälkeen. Tauti on yleinen sateisina kesinä voimakkaasti kasvavissa haavanvesakoissa (Jukka 1988).

Haavankääpä (*Ochroporus tremulae*) on pahin varttuneiden haapojen ja haavikoiden lahottaja. Sitä alkaa esiintyä, kun puut ovat yli 30-vuotiaita ja vanhat haavikot saattavat olla lähes 100 prosenttisesti lahoja (Kurkela 1994). Vanhoissa puissa lahovika ulottuu kaikkialle, missä on sydänpuuta, eli lähes latvaan saakka. Noin 90 % lahoista haavoista on tämän sienien lahottamia (Kurkela 1994). Haapakloonien välillä on kestävyyseroja. Varmimmin haapa saadaan kasvatettua terveenä tukkipuun kokoon viljavilla kasvupaikoilla (Jukka 1988). Haavanarinakääpä (*Ochroporus populicola*) on harvinaisempi kuin haavankääpä.

Haavan viljelyssä on myös muistettava, että haapa toimii nuorten mäntyjen latvaversoja vioittavan ja tappavan männynversoruosteeseen (*Melampsora pinitorqua*) väli-isäntänä. Ruosteesta, joka muodostaa kesä- ja talvi-itiöasteensa haavan lehdille, ei haavalle ole suurta haittaa. Sen sijaan epidemia, ja etenkin sen jatkuminen taimikossa useana peräkkäisenä vuotena aiheuttaa mäntyjen pituuskasvutappioita (Jalkanen & Kurkela 1984). Kasvutappioitakin merkittävämpää voi olla mäntyjen laadun heikkeneminen (Jalkanen & Kurkela 1984). Sieni talvehtii maahan varisseissa haavan lehdissä. Haapojen jättäminen mäntytaimikoihin tai niiden lähiympäristöön kasvattaa aina taimikon riskiä saada versoruostetartunta (Mattila 1996). Koska tuhojen torjuntaan ainoa tehokas keino on haavan poistaminen, ei männiköiden lähistöllä haapaa ole syytä viljellä.

Kasvupaikka, hoito: Epäonnistumisten syynä pidettiin monasti myös väärää kasvupaikan valintaa ja alkuhoidon laiminlyöntiä (Hagman 1971, Jänteriä 1973). Hybridihaavan kyky kilpailla muun kasvillisuuden kanssa on alkuvaiheessaan heikko (Lepistö 1971, Mikola 1972). Hagmanin (1971) mielestä hybridihaavan viljely olisi onnistunut huomattavasti paremmin, mikäli taimikon hoitoon olisi kiinnitetty riittävästi huomiota.

Kasvu

Haapa on nopeakasvuinen puulaji, vaikka se saa lehtensä keskimäärin yli viikon koivun jälkeen (Kujala 1924) ja sen kasvu alkaa myöhään keväällä (Raulo & Leikola 1974). Haavan ja hybridihaavan kasvusta ja tuotoksesta on tehty vain muutamia lähinnä yksittäisten metsiköiden kehitystä kuvaavia tutkimuksia. Vuokilan (1977) tutkimissa metsiköissä lehtomaisilla kasvupaikoilla haavan vuotuinen tuotos 50 vuoden kiertojalla oli 9 m³/ha/a ja nuoret 5-10 metrin pituiset haavat voivat kasvaa kiertojan (35-50 v) loppuosan aikana keskimäärin 12 m³/ha/a.

Hybridihaavat osoittautuivat varsin nopeakasvuiseksi (Mikola 1972, Jänteriä 1973). Suomalaisen ja kanadalaisen haavan risteytysjälkeläistöt voivat kasvaa paremmin kuin kumpikaan vanhemmistaan ja hybridit ovatkin kasvaneet paremmin kuin tavallinen haapa (Beuker & Hagman 1989, Beuker 1991). Hybridihaavikoiden pituuden ja läpimitan alkukehitys oli hyvä; keskimäärin metrin verran pituutta ja sentin paksuutta vuodessa (Hagman 1971, Mikola 1972). Muutamissa kokeissa parhaat hybridihaapayhdistelmät ovat tuottaneet puuta 2-3 kertaisesti kotimaiseen haapaamme verrattuna ja oikealla kasvupaikalla hyvin hoidettuna voivat saavuttaa tukkipuun koon 20 - 30 vuotiaina (Lepistö 1971).

Lannoitus

Typpilannoituksella voitaisiin parantaa hybridihaavan muutenkin hyvää kasvua (Oskarsson 1965). Luontaisessa haavikossa typpilannoituksen vaikutus on kestänyt noin viisi vuotta (Puro 1982). Lannoitusreaktio on ollut voimakkain tuoreilla ja lehtomaisilla kankailla; kahdessa lehdossa sijaitsevassa kokeessa typpilannoitus ei lisännyt haavan kasvua (Puro 1982). Haavikon lannoitus olisi lannoitusajankohtaa selvittäneen tutkimuksen mukaan tehtävä muulloin kuin toukokuussa (Puro 1982). Ravinneperäiset kasvuhäiriöt ovat pellonmetsitysalueilla yleinen ongelma (esim. Valtanen 1991, Hynönen 1992, Hytönen & Ekola 1992). Ne heikentävät taimien pituuskasvua tai se voi jopa loppua kokonaan. Haavan kasvuhäiriörisiä pellonmetsityksessä ei tunneta.

Haavan vesauudistaminen

Haapa lisääntyy luonnossa juurivesoista ja metsään voi muodostua yhdestä ainoasta puuyksilöstä syntyisin olevia haapaklooneja. Valtaosan metsiemme haavoista on epäilty syntyneen juurivesoista (Tikka 1954). Hyvillä mailla juurivesat ovat lähes yhtä hyviä kuin siemensyntyisetkin taimet (Blumenthal 1942). Vesojen on epäilty olevan hyvin lahoalttiita (Kallio 1945, Tikka 1954), etenkin laihemmilla mailla (Multamäki 1925), vaikkakaan vesasyntyisyys ei välttämättä merkitse lahoisuutta (Lyytikäinen 1968). Mikäli emopuusto on ollut lahovikaista ei Kallion (1945) mukaan vesahaavikostakaan tule täysin tervettä. Myös Laitakarin (1938) mukaan vesojen lahoisuus on tavattoman yleistä, mutta se olisi suurimmaksi osaksi peräisin rungon viottumista.

Haavan vesomisen tutkimuksessa tavoitteena on tähän asti ollut vähentää vesatuotantoa. Haavan soveltuvuutta vesametsäkasvatukseen ei ole Suomessa juurikaan tutkittu. Vesakon torjunta- ja ehkäisykokeita (Etholén 1979, Moilanen & Oikarinen 1980, Pohjola 1990, Savilampi 1994) voi tarkastella myös haavan vesomisrungsauden kannalta. Useiden puulajien vesat kasvavat aluksi huomattavasti nopeammin kuin siementaimet (Ferm & Kauppi 1990). Haavan ja hybridihaavan onnistuneesta vesauudistumisesta on hyviä esimerkkejä (Einspahr & Benson 1968, Lepistö 1971, Jones 1976, Beuker & Hagman 1989). Vesomista olisi kuitenkin selvitettävä enemmän. Mikä on vesojen tuhon- ja lahonalttius? Mikä on vesojen kasvu ja tuotos verrattuna siementaimien kasvuun? Voidaanko haavikkoa kasvattaa vesottaen useita kiertoaikoja?

Vesauudistumiseen voivat fysiologisten tekijöiden lisäksi vaikuttaa suuresti mm. kaatoaika, kaatotapa, kannonkorkeus, puun ikä, puun läpimitta, kasvupaikan viljavuus ja sääolot. Kanadalaisen haavan kantovesominen vähenee puiden iän ylittäessä 8 vuotta ja juurivesat ovat tämän jälkeen pääasiallinen vesamuoto (Perala 1979). Haapa ei soveltune kasvattavaksi kovin lyhyillä kiertajoilla, sillä Kanadassa on todettu alle 10 vuoden kiertoaikojen uuvuttavan haavan juuristoja (Perala 1979, Stiell & Barry 1986). Kokemuksia siitä, kuinka monta sukupolvea haapaa voidaan vesauudistaen kasvattaa ei Suomessa ole.

Haavan vesomisrungsaukseen näyttää olevan alku- ja keskikesällä tehdyn kaadon jälkeen pienempi kuin talvilevon aikana tehdyissä kaadoissa (Etholén 1979, Moilanen & Oikarinen 1980). Kuitenkin nuorten haapojen kantojen vesomisrungsaukset vaihtelivat kaatoajankohtien suhteen suhteellisen vähän (Etholén 1979). Vesomisrungsauden vähentymistä on havaittu myös kanadalaisella haavalla keskikesän kaadoissa (Pringle ym. 1973, ref. Blake 1981).

Kilpailevan kasvillisuuden aiheuttama varjostus voi heikentää kantojen vesomista ja vesojen pituuskasvua suuresti (Ali-Alha 1987). Kilpaileva kasvillisuus voi vähentää myös juurivesojen määrää ja kasvua (Tikka 1954).

Yhteenveto

Haapa sopii parhaiten sekapuuksi etenkin siellä, missä sillä katsotaan olevan selvää arvoa luonnon monimuotoisuuden ylläpitäjänä. Haapa ja hybridihaapa saattaisivat sopia myös lyhytkiertoisiksi vesametsäpuiksi. Suomessa ei ole tutkittu haavan vesametsäkasvatusta, ja siten monista mm. vesauudistumiseen tai viljelytekniikkaan liittyvistä kysymyksistä tiedetään vielä melko vähän. Erityisesti bioottisten tuhojen välttäminen kohtuullisilla kustannuksilla on haavan kasvatukselle ratkaiseva tekijä. Kuitenkin haavan kustannuksiltaan edullinen uudistaminen vesoista saattaa olla järkevää myös puuta kuiduttavan teollisuuden tarpeisiin (Kärkkäinen 1981) ja metsänhoitosuosituksenkin mukaan lehdoissa kasvaneiden haapojen juurivesoista syntynyt taimikko on yleensä kasvatuskelpoinen (Luonnonläheinen...1994). Kokemuksia ja tutkimustietoa haavan viljelystä ja kasvattamisesta tullaan saamaan perustettavilta haapaviljelmiltä sekä metsämailta että maataloustuotannosta vapautuvilta kivennäismaan pelloilta.

Kirjallisuutta

Aaltonen, V.T. 1950. Die Blattenanalyse als Boniterungsgrundlage des Waldbodens. Selustus: Lehtianalyysi metsämaan hyvyytsluokan perusteena. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 37(8). 41 s.

Aarne, M. (toim.) 1994. Metsätaloustilastollinen vuosikirja 1993-1994. SVT Maa- ja metsätalous 1994: 7. Metsätutkimuslaitos. 348 s.

- Ali-Alha, T. 1987. Kaatoajankohdan vaikutus lehtipuiden vesomiseen. Metsänhoitotieteen pro gradu -työ. Helsingin yliopisto, maatalous-metsätieteellinen tiedekunta. 87 s.
- Beuker, E. 1991. Breeding of aspen and poplar in Finland. Metsänjalostussäätiön tiedonantoja 1: 23-27.
- Beuker, E. & Hagman, M. 1989. Hybridihaapa - esimerkki lajiristeytysjalostuksesta. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 328: 74-76.
- Blake, T.J. & Raitanen, W.E. 1981. A summary of factors influencing coppicing. IEA Report. NE 1981:22. 24 s.
- Blumenthal, B-E. 1942. Studier angående aspens förekomst och egenskaper i Finland. Referat: Untersuchungen über das Vorkommen und die Eigenschaften der Espe in Finnland. *Silva Fennica* 56: 1-63.
- Einspahr, E.W & Benson, M.K. 1968. Managing of aspen on 10- to 20-year rotations. *Journal of Forestry*: 557-560.
- Etholén, K. 1974. Kaatoajankohdan vaikutus koivun ja haavan vesomiseen taimistonhoitoaloilla Pohjois-Suomessa. Summary: The effect of felling time on the sprouting of *Betula pubescens* and *Populus tremula* in the seedlings stands in Northern Finland. *Folia Forestalia* 213. 16 s.
- Fagerstedt, K., Pellinen, K., Saranpää, P. & Timonen, T. 1996. Mikä puu - mistä puusta. Yliopistopaino. Helsinki. 180 s.
- Ferm, A., Hytönen, J., Lilja, S. & Jylhä, P. 1994. Effects of weed control on the early growth of *Betula pendula* seedlings established on an agricultural field. *Scandinavian Journal of Forest Research* 9: 347-359.
- Ferm, A. & Kauppi, A. 1990. Coppicing as a means for increasing hardwood biomass production. *Biomass* 22: 107-121.
- Hagman, M. 1971. Kaksikymmentä vuotta haavan jalostusta. *Metsälehti* 39(41): 6-7,10.
- Hakkila, P. 1974. Mistä metsäpuitten lyhytkiertoviljelyssä on kysymys. Työtehoseuran metsätiedotus 222. 4 s.
- Henttonen, H., Niemimaa, J. & Kaikusalo, A. 1995. Myyrät ja pellonmetsitys. Julkaisussa: Hytönen, J. & Polet, K. (toim.) Peltojen metsitysmenetelmät. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 581: 97-117.
- Hynönen, T. 1992. Maan ominaisuuksien vaikutus turvemaapeltojen metsittämiseen. Lisensiaattityö. Helsingin yliopisto, maatalous-metsätieteellinen tiedekunta. 181 s.
- Hytönen, J. 1995. Taimien alkukehitys pellonmetsitysaloilla. Julkaisussa: Hytönen, J. & Polet, K. (toim) Peltojen metsitysmenetelmät. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 581: 12-23.
- Hytönen, J. & Ekola, E. 1993. Maan ja puuston ravinnetila Keski-Pohjanmaan metsityillä pelloilla. Summary: Soil nutrient regime and tree nutrition on afforested fields in central Ostrobothnia, western Finland. *Folia Forestalia* 822. 32 s.
- Hytönen, J. & Lilja, S. 1995. Pintakasvillisuuden torjunnan vaikutus taimien ensikehitykseen pellonmetsitysaloilla. Julkaisussa: Hytönen, J. & Polet, K. (toim) Peltojen metsitysmenetelmät. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 581: 63-73.
- Jalkanen, R., & Kurkela, T. 1984. Männynversoruosteen aiheuttamat vauriot ja varhaiset pituuskasvutappiot. Summary: Damage and early height growth losses caused by *Melampsora pinitorqua* on Scots pine. *Folia Forestalia* 587. 15 s.
- Jones, J. R. 1976. Aspen harvesting and reproduction. USDA Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station. General Technical Report RM-29: 30-34.
- Jukka, L. (toim.) 1988. Metsänterveysopas. Metsätuhot ja niiden torjunta. Vaasa. 168 s.
- Jänterä, A. 1973. Parhaiten kehittyneitä haavikkojamme. *Metsälehti* 41(23): 8.

- Kallio, K. 1945. Haapa. Sen kasvatus ja tuoton lisääminen. Suomen Metsäyhdistyksen metsätaloudellisen valistus-toimiston julkaisuja. Helsinki. 48 s.
- Kujala, V. 1924. Laskelmia lehtipuiden lehtikauden pituudesta ja puiden kukkimisajoista Suomessa. Referat: Berechnungen über die Länge der laubperiode der Laubbäume und Blühzeiten der Bäume in Finnland. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 7(2): 1-50.
- Kurkela, T. 1994. Metsän taudit. Metsäpatologian perusteet. Tampere. 320 s.
- Kuusela, K., Mattila, E. & Salminen, S. 1986. Metsävarat piirimetsälautakunnittain Pohjois-Suomessa 1982-1984. Summary: Forest Resources in North Finland by Forestry Board Districts, 1982 to 1984. *Folia Forestalia* 655. 86 s.
- Kärki, L. 1958. Hybridihaavan viljelyohjeita. *Metsälehti* 26(18): 5.
- Kärkkäinen, M. 1978. Haapatukien lahoisuus. *Silva Fennica* 12(3): 217-221.
- Kärkkäinen, M. 1981. Haapa- ja poppelilajien (*Populus*) käyttö. Summary: Utilisation of aspen and poplar (Genus *Populus*) species. *Silva Fennica* 15(2): 156-179.
- Laitakari, E. 1938. Haavasta ja sen kasvattamisesta. *Metsätaloudellinen aikakauslehti* 55(6): 119-123.
- Li, B. 1995. Aspen improvement strategies for western Canada - Alberta and Saskatchewan. *Forestry Chronicle* 71(6): 720-724.
- Linkola, P. 1956. Luonnonsuojelu ja haapa, lintujen puu. *Suomen Luonto* 15(3): 6-10.
- Lepistö, M. 1971. Haavan käyttömahdollisuudet peltojen metsityksessä. *Puumies* 17(7-8): 209-210.
- Luonnonläheinen metsänhoito. Metsänhoitosuosituksen. 1994. Metsäkeskus Tapion julkaisu 6/1994. 72 s.
- Lytykäinen, R.V. 1968. Haapatilanne tänään. *Puumies* 14(11): 295-296.
- Lähdesmäki, P. & Piipsanen, R. 1989. Biogeochemical aspect of litter decomposition processes. Suomen Akatemian julkaisuja 5: 14-24.
- Mattila, U. 1996. Mäntytaimikoiden rakenteen ja kasvupaikan ominaisuuksien vaikutus mäntyjen versoruoste-alttiuteen Lapin kolmion alueella. Metsäympäristön hoidon ja suojelun lisensiaatintutkimus. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta. 41 s.
- Mikola, J. 1972. Hybridihaapa. *Dendrologian Seuran Tiedotuksia* 3(1): 12-17.
- Moilanen, M. & Oikarinen, M. 1980. Perkausajankohdan vaikutuksesta hieskoivun ja haavan vesomiseen kangasmailla. Muhoksen tutkimusaseman tiedonantoja 19. 11 s.
- Multamäki, S.E. 1925. Koivu- ja haapametsiä kasvattamaan. *Tapio* 18(4): 101-107.
- Niskanen, M. 1996. Haapa, Suomen eukalyptus. *Metsä-Serla -lehti* 2/96. s. 11-13.
- Nuorteva, M. 1996. Runkohaapsanen saattaa pilata haapatukin. *Metsälehti* 4. s. 26.
- Nurmi, J. 1993. Heating values of the above ground biomass of small-sized trees. Tiivistelmä: Pienikokoisten puiden maanpäällisen biomassin lämpöarvot. *Acta Forestalia Fennica* 236. 30 s.
- Nurmi, J. 1994. Polttopuun lämpöarvo. Abstract: Heating values of small-sized trees. Työtehoseuran metsätiedote 524. 4 s.
- Osara, N.A. 1952. Risteytysaapa - tulevaisuuden puu. *Metsälehti* 20(25-26): 4.
- Oskarsson, O. 1961. Kokemuksia hybridihaavan viljelystä. *Metsätaloudellinen aikakauslehti* 79(5-6): 205-207,198.
- Pekkala, M. 1915. Mitä entisajan oppineet ajattelivat haapapuusta. *Tapio* 8(4): 126-129.

- Perala, D.A. 1979. Regeneration and productivity of aspen grown on repeated short rotation. USDA Forest Service Research Paper NC-176. 7 s.
- Pohjola, T. 1990. Koetuloksia haavan ennakkotorjunasta. Metsähallitus. Kehittämisjaosto. Tiedote 3/1990. 7 s.
- Pringle, W.L., Elliott, C.R. & Dodd, J.L. 1973. Aspen regrowth in pastures of the Peace River region. *Journal of Range Management* 26: 260-262.
- Puro, T. 1982. Lannoitusajankohdan merkitys eri puulajien kasvureaktiossa. Summary: Effect of fertilization time on growth reaction of different tree species. *Folia Forestalia* 507. 14 s.
- Raulo, J. & Leikola, M. 1974. Tutkimuksia puiden vuotuisen pituuskasvun ajoittumisesta. Summary: Studies on the annual height growth of trees. *Communications Instituti Forestalis Fenniae* 8(12): 1-19.
- Rummukainen, U. 1960. Hybridihaavan tuhoista ja niiden torjunnasta. *Metsälehti* 28(27-28): 7.
- Sairanen, H. 1996. Sahauksessa haapa tuottaa pettymyksen. *Puun Vuosi* 3/96. s. 13.
- Saloniemi, M. 1965. Kokemuksia hybridihaavan viljelystä ja lannoittamisesta. *Metsätaloudellinen aikakauslehti* 82(4): 156-158,136.
- Savilampi, P. 1994. Haavanvesakon ennalta torjuminen. Julkaisussa: Moilanen, M., Murtovaara, I., Moilanen, M. & Väärä, T. (toim.) *Metsäntutkimuspäivä Muhoksella 1993. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 508: 29-32.
- Schier, G. A. & Zasada, J. 1973. Role of carbohydrate reserves in the development of root suckers in *Populus tremuloides*. *Canadian Journal of Forest Research* 3: 243-250.
- Simola, P. 1977. Pienikokoisen lehtipuuston biomassa. Summary: The biomass of small-sized hardwood trees. *Folia Forestalia* 302. 16 s.
- Stiell, W.M. & Berry, A.B. 1986. Productivity of short-rotation aspen stands. *Forestry Chronicle*: 10-15.
- Söyriälä, P. 1992. Haapa viulun ja vanerin raaka-aineena. *Paperi ja Puu* 72(8): 621-627.
- Tikka, P.S. 1954. Haapametsiköiden rakenteesta ja laadusta. I Rakenne. Summary: Structure and quality of aspen stands. I Structure. *Communications Instituti Forestalis Fenniae* 44(4). 33 s.
- Urvas, L. 1995. Suomen peltojen maalajit, ravinnetaso ja viljavuusluokitus. Julkaisussa: Hytönen, J. & Polet, K. (toim) *Peltojen metsitysmenetelmät. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 581: 123-132.
- Valtananen, J. 1991. Peltojen metsityksen onnistuminen Pohjois-Pohjanmaalla 1970-luvulla. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 381. 52 s.
- Verkasalo, E. 1990. Koivu ja haapa mekaanisen metsäteollisuuden raaka-aineena Yhdysvalloissa. Summary: Birch and aspen as a raw material for mechanical forest industries in the United States. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 367. 93 s.
- Voipio, R. & Laakso, T. 1992. Pienikokoisten puiden maanpäällisen biomassan kemiallinen koostumus. Summary: Chemical composition of the above ground biomass of small-sized trees. *Folia Forestalia* 789. 22 s.
- Vuokila, Y. 1977. Hyvän kasvupaikan haavikoiden kasvukyvyistä. Abstract: On the growth capacity of aspen stands on good sites. *Folia Forestalia* 299. 11 s.
- Vuokko, S. 1996. Haapa on havumetsän jalopuu. *Suomen Luonto* 1: 28-31.

Juha Nurmi

**Metsäntutkimuslaitos
Kannuksen tutkimusasema**

HAKKUUTÄHTEESTÄ SAATAVAN PUUPOLTTOAINEEN LAATU JA SEN HALLINTA

Johdanto

Hakkuutähde on yksi suurimmista käyttämättömistä biomassareserveistämme. Ainespuun korjuun yhteydessä sitä jää metsiin vuosittain noin 29 milj. m³. Hakkuutähteen hyödyntämistä harkittaessa on kuitenkin otettava huomioon sen korjuusta puun kasvulle ja ympäristölle aiheutuvat haitat. Onkin arvioitu, että metsämaan ravinnetalous, kantavuus, kivisyys sekä päätehakkuuleimikoitten pieni koko rajoittavat korjuukelpoisen neulasettoman hakkuutähteen määrän noin 8,6 milj. m³:iin. Korjuu keskittyisi ainoastaan päätehakkuisiin, sillä harvennushakkuissa jäljelle jäävän puuston kannalta on oleellista, että tähteitten sisältämät ravinteet palautuvat luonnon kiertoon. Hakkuutähteen korjuu harvennusemetsiköistä on myös oleellisesti kalliimpaa kuin päätehakkuualoilta. Hakkuutähteen korjuun mukanaan tuomana lisäetuna on pidettävä maanmuokkauksen ja metsän uudistamisen helpottumista.

Biopolttoaineitten korjuun eräs vaikeimmista vaiheista on polttoaineen laadun hallinta. Aikaisempien tutkimusten perusteella tiedämme, että hakatun, murskatun tai muilla keinoin pienityn biomassan pitkittynyt varastointi aiheuttaa huomattavia kuiva-ainetappioita, energiasisällön alenemista sekä terveysriskejä käyttäjien keskuudessa (Bergman and Nilson 1966, Gislerud 1974, 1978, Thörnqvist 1987, Nurmi 1990, Thörnqvist and Jirjis 1990). Ankarasta ilmastosta johtuen välivarastojen käyttö on kuitenkin välttämätöntä polttoaineen jatkuvan saatavuuden turvaamiseksi. Vaikeutena onkin löytää oikeat polttoaineen korjuun ja käsittelyn ajankohdat. Metsäntutkimuslaitoksessa meneillään olevan tutkimuksen tavoitteita onkin selvittää kuinka varastopaikka ja varastoinnin pituus vaikuttavat hakkuutähteestä saatavan polttoaineen laatuun.

Aineisto

Tutkimuksessa käytetty hakkuutähde oli peräisin kuusikosta, jonka keskitilavuus oli 233 m³/ha. Hakkuutähdettä hehtaarilla oli noin 108 tonnia kuivamassaa. Hakkuutähde varastoitiin hakettamattomana a) palstalla hakkuukoneen jättämissä kasoissa ja b) kasoissa välivarastolla, sekä c) Morbark 1200 vasaramurskaimella murskattuna ja aumattuna tehtaan varastoalueella. Puolet murskatusta tähteestä tiivistettiin puskutraktorilla tiivistysvaikutuksen selvittämiseksi. Murskaamattoman tähteen varastointi kesti yhden vuoden syyskuusta syyskuuhun ja murskatun tähteen syyskuusta seuraavan vuoden kesäkuuhun.

Hakkuutähteen kosteus

Hakkuutähteet korjattiin tuoreeltaan syyskussa, jolloin niiden kosteus oli 56,0 %. Mikäli tähteet varastoidaan palstalla harvesterin jättämissä kasoissa, kohoaa niiden kosteus huomattavasti talven aikana. Maaliskuussa oli hakkuutähteen kosteus noussut 61,4 %:iin. Varastointia jatketaessa kosteus putosi kesäkuuhun mennessä 46,7 %:iin. Tätä seurasi ajo välivarastoon, missä kolmen seuraavan kuukauden aikana kosteus putosi 28,5 %:iin. Samanaikaisesti vuoden välivarastossa olleen hakkuutähteen kosteus oli laskenut 42,2 %:iin. Kosteuden lasku oli merkitsevä, mutta ei läheskään niin hyvä kuin aluksi palstalla varastoiduissa tähteissä (taulukko 1).

Taulukko 1. Hakkuutähteen kosteus eri varastoissa eri aikoina.

Varasto	PVM				F(p)
	Syys-94	Maalis -95	Kesä -95	Syys -95	
Palsta	56.0 ^C	61.4 ^C	46.7 ^b	28.5 ^a	0.000
n=	447	12	40	33	
Välivarasto	56.0 ^b	42.2 ^a	0.000
n=	447			22	
Auma	58.9 ^a	..	65.3 ^b	..	0.000
n=	54		29		

Samalla kirjaimella merkityt keskiarvot eivät poikkea toisistaan ($p < 0,05$).

Murskatun hakkuutähteen kosteus oli kohonnut merkitsevästi varastoinnin aikana. Murskausta seuranneessa kesäkuussa hakkuutähteen kosteus oli 65,3 %, jolloin koe keskeytettiin materiaalin pilaantumisen vuoksi. Murskeen tiivistämisellä ei ollut vaikutusta kosteuteen. Kosteutta lisäsivät niin sateet kuin mikrobitoimintakin. Näin kostean polttoaineen tehollinen lämpöarvo on hyvin alhainen, mikä tekee siitä monille pienille, savukaasujen lauhdutusjärjestelmää vailla oleville lämpölaitoksille sopimattoman polttoaineen.

Hakkuutähteen neulasmassa

Neulasmassan osuus kuusen hakkuutähteestä on 25-30 %. Tässä tutkimusaineistossa se oli 27,7 % hakkuutähteen kuivamassasta (taulukko 2). Puunkorjuuta seuranneessa kesäkuussa palstalla varastoitujen hakkuutähteitten neulasprosentti oli 20,4 %. Näin ollen noin neljäsosa neulasista oli karissut palstalle. Kun hakkuutähteet hakettiin kolme kuukautta myöhemmin, oli hakkuutähteen neulaspitoisuus vain 6,9 %. Tämä tarkoittaa sitä, että suurin osa palstalla talven olleitten tähteitten neulasista päätyi välivarastolle. Välivarastoidun hakkuutähteen neulasprosentti oli haketushetkellä 18,9 %.

Taulukosta 3 ilmenee neulasten kuiva-ainetappiot suhteellisena massana ilmaistuna. Taulukko osoittaa sen, että neulasmassan väheneminen hakkuutähteessä ei aiheutunut yksistään neulasten varisemisesta vaan myös kuiva-ainetappioista. Välivarastoinnissa nämä tappiot olivat melko vaatimattomat, mutta palstalla niinkin suuret kuin 20 %. Biomassan hajoamista aikaansaavien bakteerien ja sienten elinolosuhteet lienevätkin palstalla välivarastoa paremmat.

Taulukko 2. Neulasten osuus hakkuutähteestä (%) palstalla ja välivarastolla.

Varasto	PVM		
	Syys.-94	Kesä -95	Syys -95
Palsta	27.7	20.4	6.9
n=	157	40	33
Välivarasto	27.7		18.9
n=	157	..	22

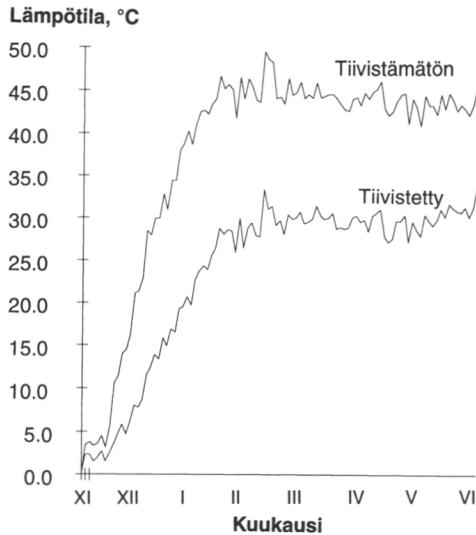
Taulukko 3. Kuusen neulasten suhteellinen massa prosentteina syyskuun 1994 arvoista.

Varasto	PVM		
	Syys-94	Kesä -95	Syys -95
Palsta	100.0	93.2	80.2
Välivarasto	100.0	..	93.1

Murskatun materiaalin säilyminen

Tuoreen biomassan varastointi haketettuna tai murskattuna luo hyvät olosuhteet mikrobien toiminnalle. Ensimmäinen merkki niiden toiminnasta on kasan lämpötilan kohoaminen (Bergman and Nilson 1966, Gislerud 1974, 1978, Thörnqvist 1987, Nurmi 1990). Hakkuutähdeaurmassa lämpötila nousi hyvin nopeasti ensimmäisen varastointiviikon jälkeen. Myöhemmin lämpötila kuitenkin tasaantui. Hakkuutähteen käyttäytyminen varastossa on siis samanlaista kuin kokopuusta tehdyn polttohakkeen.

Auman tiivistäminen puskutraktorilla alensi lämpötilaa 15 °C (kuva 1). Tämä tulos ei vastaa aiempien tutkimusten tuloksia (Thörnqvist 1987, Nurmi 1990). Ilmeistä on, että hakkuutähdemurskeen tiivistäminen on onnistunut niin hyvin, että seurauksena on ollut mikrobitoiminnan hidastuminen. Vaikka tutkimuksessa ei suoranaisesti mitattukaan kuiva-ainetappioita, on lämpötilojen perusteella oletettavaa, että tiivistäminen on alentanut tappioita.



Kuva 1. Murskeamujen lämpötilat ajan suhteen.

Murskatun hakkuutähteen hiili ja vety

Hiili ja vety ovat puun palavat alkuaineet. Hiiltä puuaineen kuivamassasta on noin 50 % ja vetyä noin 6 %. Alkuaineitten määrät kuitenkin vaihtelevat jonkin verran puun osasta toiseen. Esimerkiksi koivun tuohen kuivamassasta jopa 70 % on hiiltä (Nurmi 1993). Koska murskattu hakkuutähte sisältää puun kaikkia maanpäällisiä osia, on sen alkuaineekoostumus näiden osien summa.

Taulukosta 4 nähdään, että murskeen hiilipitoisuus on kohonnut alkuperäisestä 50 %:sta reilun 1 %-yksikön verran. Tilastollisesti tämä muutos oli merkitsevä. Tiivistämisen vaikutus ei sen sijaan sitä ollut. Vedyn osuus laski 6,6 %:sta 5,7 %:iin. Tiivistämisen vaikutus ei tässäkin tapauksessa ollut merkitsevä. Vedyn osuuden pieneneminen johtui haihtuvien aineitten häviämisestä, mikä puolestaan johtaa polttoaineen lämpöarvon alenemiseen.

Taulukko 4. Murskatun hakkuutähteen hiili ja vetypitoisuus varastoinnin alussa ja lopussa.

Alkuaine		Alussa Syys -94	Tiivistämätön Syys -95	Tiivistetty Syys -95
C		50.0	51.1 ^a	51.3 ^a
	n	54	11	18
H		6.64	5.73 ^a	5.77 ^a
	n	54	11	18

Samalla kirjaimella merkityt keskiarvot eivät poikkea toisistaan ($p < 0,05$).

Päätelmät

Hakkuutähteen korjuu kuusen päätehakkuualoilta on tekniseltä kannalta helposti toteutettavissa. Hakkuutähteestä saatavan puupolttoaineen laadun parantaminen säilytystä ja kuivatusta säätelemällä ei kuitenkaan ole kovin yksiselitteistä. Tämän tutkimuksen perusteella on pääteltävissä, että palsta on hakkuutähteen kuivumisen kannalta parempi paikka. Hakkuutähdettä ei kuitenkaan tule korjata talvella lumen ja jään mukanaan tuoman lisäkosteuden vuoksi. Palstalla varastotaessa hakkuutähteestä vapautuvat ravinteet päätyvät suuremmassa määrin seuraavan puusukupolven käyttöön kuin välivarastoinnissa. Mikäli toisaalta tavoitteena on kuitenkin saada talteen mahdollisimman suuri osa hakkuutähteistä, on tähteet kerättävä tuoreeltaan joko välivarastoon tai polttoon. Tuoreesta hakkuutähteestä kuitenkin puolet on vettä, mikä lisää kuljetuskustannuksia.

Hakkuutähteestä saatavan polttoaineen laatu paranee niin palstalla kuin välivarastollakin. Hakeuttuna tai murskattuna ei hakkuutähdettä kuitenkaan tule varastoida muutamaa viikkoa pidempään. Muussa tapauksessa mikrobitoiminnasta aiheutuvat kosteuden lisääntyminen ja kuiva-ainepiipit oleellisesti alentavat polttoaineen laatua.

Kirjallisuus

- Bergman, Ö. & Nilson, T. 1967. Studier över utomhuslagring av aspvedsflis vid Hörnefors Sulfitfabrik. Institutionen för Virkeslära, Skogshögskolan. Rapporter 55. 105 pp.
- Gislerud, O. 1974. Heltreutnyttelse. Lagring av heltreflis. Summary: Whole tree utilization. Storing of whole tree chips. Norsk Institutt for Skogforskning. Raport 5. 29 pp.
- Nurmi, J. 1990. Polttohakkeen varastointi suurissa aumoissa. Summary: Longterm storage of fuel chips in large piles. Folia Forestalia 767. 18 s.
- Nurmi, J. 1993. Heating values of the above ground biomass of small-sized trees. Acta Forestalia Fennica 236. 30 pp.
- Thörnqvist, T. 1987. Bränder i stackar med sönderdelat träbränsle. Summary: Spontaneous combustion in piles with comminuted wood fuel. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för Vikeslära. Uppsatser 163.
- Thörnqvist, T. & Jirjis, R. 1990. Bränsleflisens förändring över tiden - vid lagring i stora stackar. Summary: Changes in fuel chips during storage in large piles. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för Virkeslära, Rapport 219. 49 pp.

Kristian Karlsson

**Metsäntutkimuslaitos
Kannuksen tutkimusasema**

METSÄTALouden KESTÄVÄ KEHITYS POHJANLAHDEN RANNIKOLLA – UUSI TUTKIMUSHANKE

Johdanto

Pohjanmaan rannikkometsien poikkeavuudesta on puhuttu paljon, mutta tutkittua tietoa on ollut vähän tarjolla. Yleiskuva Pohjanmaan rannikon olosuhteista ja metsistä perustuu suuressa määrin Eric Appelrothin tutkimuksiin (1948). Viime vuosina metsien kasvua, kehitystä, niiden nykyistä terveydentilaa ja kuntoa koskevien tietojen määrä on kasvanut Merenkurkun kuusikoiden terveydentilaa ja Pohjanlahden rannikkometsien rakennetta, kasvua ja tuotoskykyä selvittämisen tutkimusten johdosta (Karlsson 1996a, Raitio 1996). Tietojen perusteella on ollut mahdollista määrittellä ongelmakokonaisuudet, joiden ratkaisuilla on oleellista merkitystä alueen metsien kestäväälle kehitykselle ja käytölle. Yhteydenotot paikallisiin ja valtakunnallisiin metsä- ja ympäristöorganisaatioihin ovat vahvistaneet ja täsmentäneet tiedot rannikkometsiin liittyvistä ongelmista ja niiden tärkeysjärjestyksestä. Näiden valmistelujen pohjalta on Metsäntutkimuslaitoksessa tehty esitys uudeksi tutkimushankkeeksi, joka myös on saanut positiivisen vastaanoton.

Hankkeen rakenne

Hanke-esityksen mukaan keskeisiin ongelmakokonaisuuksiin paneudutaan viidessä eri osahankkeessa. Nämä muodostavat yhdessä laajan, poikkitieteellisen kokonaisuuden. Hankkeessa tutkitaan näin ollen:

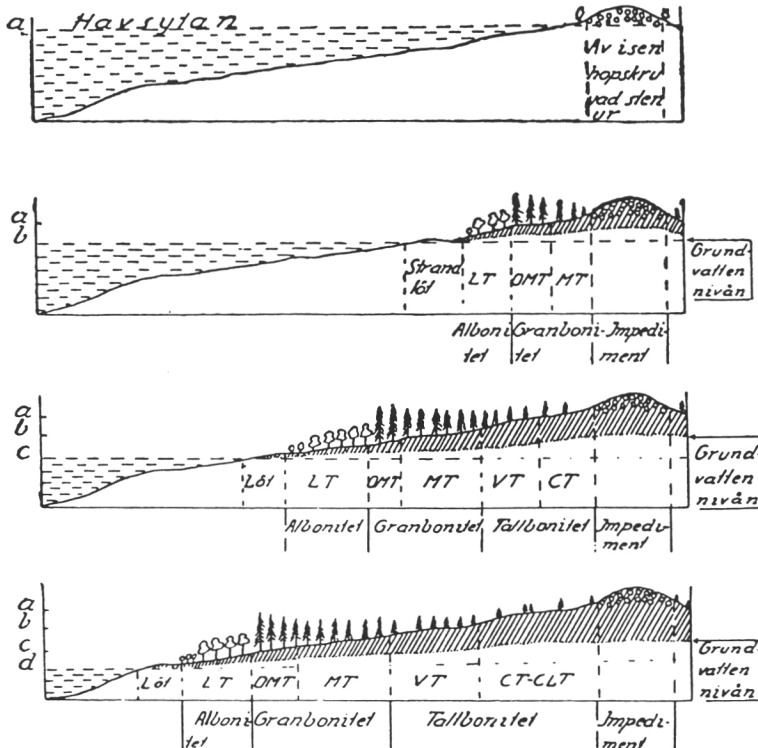
- 1) Nuorten metsämaiden happamoitumis- ja mineralisaatioprosesseja
- 2) Metsien kasvua ja kasvatusta muuttuvissa ympäristöoloissa rannikolla
- 3) Metsien uudistamista, vesijättömaiden metsittämistä ja maankohoamisrantojen luontaista puulajisukessiota
- 4) Kasvillisuuden kehittymistä ja monimuotoisuutta rannikolla
- 5) Metsäsuunnittelun soveltamista rannikon erikoisolosuhteissa

Osahankkeet eivät koostu tiukasti yhteen aihepiiriin sidotuista tutkimuksista. Esimerkiksi ekologisia selvityksiä tehdään useassa osahankkeessa. Tämä onkin täysin johdonmukaista Pohjanlahden rannikon erottuessa monilta ekologisilta piirteiltään sisämaasta. Taloudellista ja yhteiskunnallista näkökulmaa tavoitellaan osahankkeissa 2 ja 5. Hankkeen tavoitteena on viime kädessä tuottaa tietoa ja välineitä, joilla alueen metsä-, ympäristö- ja muut viranomaiset pystyvät ohjaamaan rannikkometsien käyttöä kestäväan suuntaan.

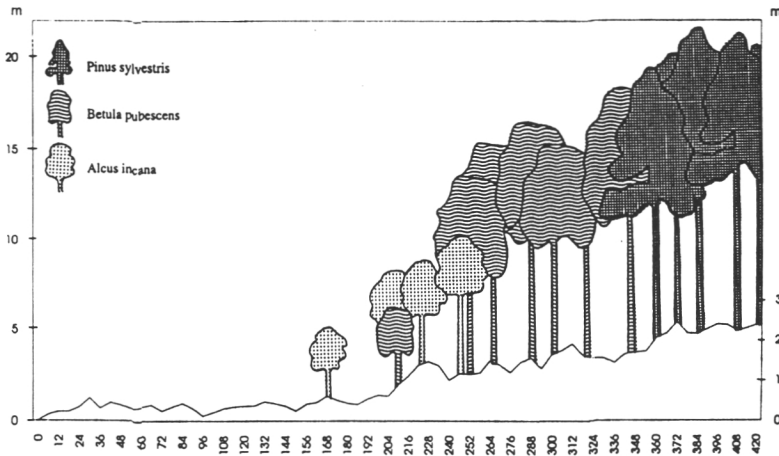
Hankkeen toteutuksesta

Tutkimusten toteutuksissa käytetään toisistaan poikkeavia lähestymistapoja. Seuraavassa selostetaan lähemmin joitakin keskeisiä perinteisiin maastomittauksiin perustuvia tutkimuksia.

Suosituksi menetelmäksi hanketta koostaessa osoittautui **gradienttilinjoilla** tehtävät mittaukset ja näytteiden keruu analyysiin ja laboratoriokokeisiin. Ajatus on pääpiirteissään sama kuin Appelrothin (1948) selvityksissä: eri etäisyyksillä rannasta tehdyt havainnot osoittavat myös ajassa tapahtuneita muutoksia (kuva 1). Vastaavanlaista lähestymistapaa on käytetty myös eräissä muissa tutkimuksissa (kuva 2; Starr 1989, 1991, Siira & Kubin 1995). Tällä tavalla tullaan tutkimaan ravinnekierron ja pintakasvillisuuden kehittymistä sekä puulajisukessiota (osahankkeet 1, 3 ja 4). Ravinnekierron tutkimus koostuu tässä tapauksessa karikkeen hajoamisnopeuden sekä typen ja hiilen mineralisaation selvityksistä. Näillä tutkimuksilla pyritään täsmentämään kuvaa rannikon kuusikoiden kuntoon vaikuttavista tekijöistä. Muutos tyyppäisistä leppävaiheesta paksuhumuksiin, soistuneisiin ja typen niukkuudesta kärsiviin kuusikoihin on huomattava. Ravinnekierron hidastuminen puulajisukcession edetessä näkyy orgaanisen aineen kasaantumisenä humuskerrokseen. Mineralisaation hidastuminen sekä maan märkyydestä ja kylmyydestä johtuva puiden heikentynyt ravinteiden otto saattavat johtaa kuusikoiden typen puutukseen ja kunnon rapistumiseen. Ravinteiden puute ja happamuus olivat aiempien tutkimusten mukaan suurimmat rannikon vanhoissa kuusikoissa, jotka myös olivat voimakkaasti harsuuntuneita (Merilä ym. 1996a, 1996b, Salemaa ym. 1996).



Kuva 1. Kaavamainen kuva metsätyppien ja puulajin vaihtumisesta Pohjanlahden maankohoamisrannikolla (Appelroth 1981).



Kuva 2. Puulajisukessio maankohoamisen myötä Hailuodossa sijaitsevalla gradientilla (Siira & Kubin 1995). Maan korkeus oikealla, puiden pituus vasemmalla.

Pohjanlahden rannikon **seurantakoealojen verkostoja** (kuva 3 ja 4) voidaan tutkimuksellisenä lähestymistapana pitää gradienttilinjojen laajennuksina. Näinkin laajoilla alueilla toteutettavat vertailut ovat kuitenkin vaikeammin tulkittavissa. Kaikkia eroja, mitä nähdään esimerkiksi sisämaan koealoilla verrattuna lähellä rantaa oleviin koealoihin, ei voida pitää maankohoamiskehityksen seurauksena. Topografia, kallioperä, geomorfologia sekä myös metsätalous voivat omalta osaltaan vaikuttaa alueiden välisiin eroihin. Koealaverkostojen etuna on kuitenkin laajuus ja edustavuus, jotka antavat hyvät mahdollisuudet hankkia soveltamiskelpoisia tuloksia metsätalouden käytäntöä varten. Puuston kasvu ja kehitys on osoittautunut sisämaasta poikkeavaksi alueella, joka ulottuu rannalta jopa 100 metrin korkeudelle eli esimerkiksi lähes Seinäjoelle asti (Karlsson 1996a).



Kuva 3. Rannikkometsien mäntyvaltaisten seurantakokeiden sijainti (Karlsson 1996b).



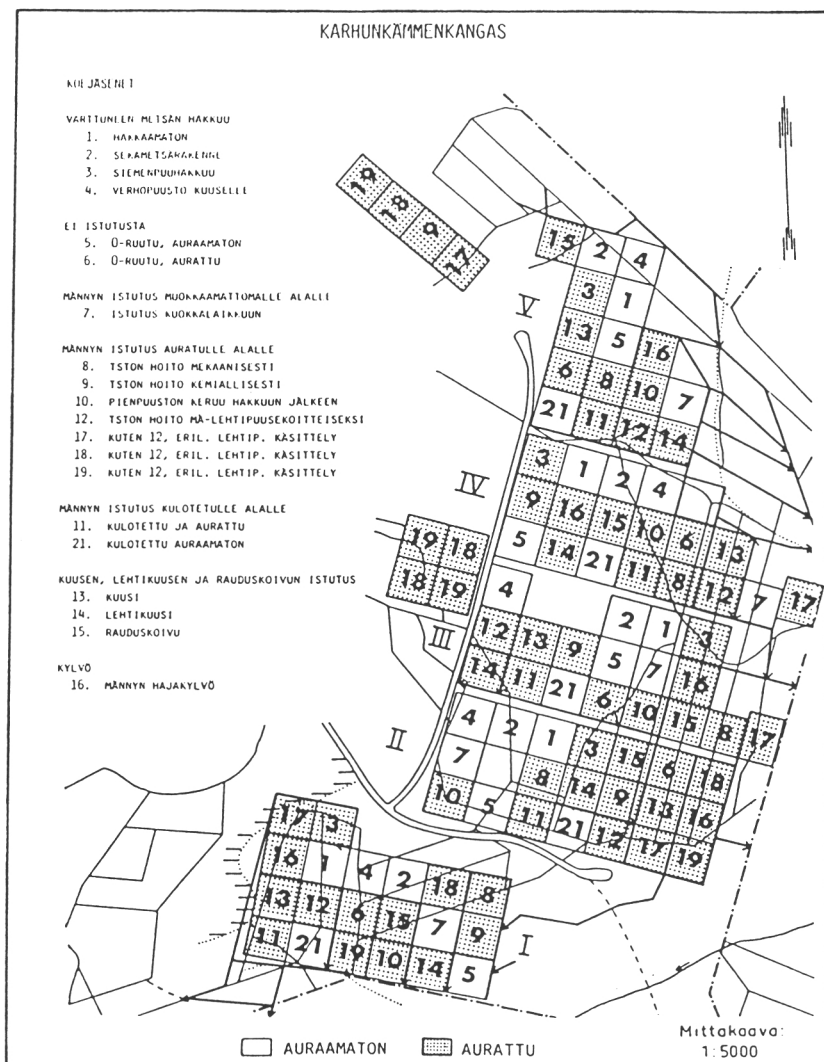
Kuva 4. Rannikkometsien kuusivaltaisten seurantakokeiden sijainti (tähti = puuntuotoskoe, lippu = terveydentilatutkimus; Karlsson 1996b).

Keskeisimpinä tutkimuksina toteutetaan analyysi seurantakoealojen maaperän ja puuston ominaisuuksien suhteista (osahanke 2). Tavoitteena on hankkia laajempaa tietoa kasvupaikkojen puuntuotoskyvystä näiden hyvyysluokittelua varten ja edelleen täsmentää puulajien keskenäistä edullisuutta eri kasvupaikoilla. Oikealla puulajivalinnalla voidaan oleellisesti parantaa metsien kuntoa, mutta pelkästään metsätyypeillä näyttäisi olevan vaikeata ennustaa kasvupaikan puuntuotoskykyä rannikolla (Karlsson & Walheim 1996). Maaperän ominaisuuksista, mm. happamuudesta, hankitaan lisää tietoa käyttäen aiemmista tutkimuksista poikkeavia menetelmiä maaveden analysoimiseksi (osahanke 1). Näitä tietoja käytetään arvioitaessa metsien terveydentilaa, maaperän happamoitumista sekä kriittistä kuormitusta.

Käsittelykokeilla hankitaan tietoa tavallisimpien metsänhoidollisten menetelmien soveltuvuudesta rannikolla. Tutkimushankkeessa analysoidaan joitakin aiemmin perustettuja uudistamis- ja metsittämiskokeita (esimerkki kuvassa 5; Kubin 1985, 1990, Kubin & Valtanen 1993). Lisäksi perustetaan ainakin kasvatusmetsien koesarja, jossa on eriasteisia ja -laatuksia harvennuksia ja lannoituksia sekä vaihtelevaa puulajisekoitusta. Kokeissa etsitään keinoja parantaa metsiköiden kuntoa taloudellisesti toteutuskelpoisilla käsittelyillä. Merellinen ilmasto rasittaa varsinkin kuusikkoja (Raitio 1996). Tämä näkyy erilaisina kuivuusoireina. Kuivuusoireet eivät välttämättä johdu sateiden vähydestä, vaan juuriston heikko kehitys ja/tai ajoittainen soistuminen voivat haitata puiden vedenottoa. Tuulen tärkein vaikutus saattaa olla siinä, että se heiluttaa puita, jolloin niiden juuret katkeilevat, vedenottokyky heikkenee ja maannousemasieni pääsee etenemään (Hintikka 1972). Kuusiköiden kuntoa voidaan mahdollisesti parantaa välttämällä harvennushakkuita myöhällä iällä, mutta vastaavasti täytyy silloin aikaisemmat harvennukset suorittaa voimakkaammin. Typpilannoitus on Ruotsissa lisännyt puiden kuivuuden sietokykyä huomattavasti (Nilsson & Wiklund 1992). Lehtipuuosuuden kasvattaminen ja tuhka yms. lannoitteet voivat myös aktivoida humuskerrosta ja siten parantaa kuusiköiden kasvuolosuhteita välillisesti. Koivun ja lepän kasvatus- ja viljelymahdollisuuksia tullaan hankkeessa arvioimaan.

Rannikon muutamalla käsittelykokeella ei voida korvata sitä tietomäärää, mikä näistä vastaavista toimenpiteistä on hankittu kautta aikojen muualla Suomessa. Oleellista onkin lisäinformaation hankkiminen. Tämä toteutuu osin muodostamalla käsittelyvaihtoehdot rannikon erityispiirteitä huomioonottaen. Tulokset tutkimuksista palvelevat käytäntöä kuitenkin vasta useiden vuosien päästä, jolloin olosuhteet voivat olla merkittävästi erilaiset kuin tänään. Tähänastisissa ennusteissa ilmastonmuutosten vaikutuksista Suomen metsiin ei ole pystytty huomioimaan puiden kasvuun vaikuttavien tekijöiden erilaisuutta rannikolla verrattuna sisämaahan (Kuusisto ym. 1996).

Ilmastonmuutoksen myötä talvet lämpenevät, mikä lisää puiden ja erityisesti juuriston hengitystä, jolloin ne voivat kuivua pystyyn (Jalkanen 1994, vrt. Lippu 1995). Toisaalta roudan nopeampi sulaminen keväällä voi olla ratkaisevampi puihin positiivisesti vaikuttavana tekijänä. Lisääntynyt sademäärä talvella voi puolestaan edistää maiden soistumista tai muuten vaikeuttaa puiden kasvuun lähtöä keväällä. Kasvukauden alku on kasvunvaihtelututkimuksissa osoittautunut kriittiseksi ajanjaksoksi rannikolla (Karlsson & Walheim 1996). Kevään viileys ja kuivuus ja roudan pysyminen pitkään maassa ovat Pohjanlahden rannikolle ominaisia ilmastollisia erityispiirteitä. Mittaamalla puiden kasvua ja säätekijöitä jatkuvasti kasvukauden tai koko vuoden aikana saadaan tarkempi kuva kasvuun vaikuttavista tekijöistä. Silloin voidaan paremmin ennakoida kasvihuoneilmaston vaikutuksia puiden kasvuun ja eri kasvatusvaihtoehtojen keskinäiseen edullisuuteen. Ympäristötekijöiden mittaaminen käsittelykokeissa tulee siten huomattavasti kasvattamaan niistä saatavaa hyötyä.



Kuva 5. Tiiville, alavalle maalle perustettu uudistamiskoe (Kubin 1985 ja 1990).

Tutkimustyön kulku

Hankkeen kesto tulee olemaan viisi vuotta tutkimusten painottuessa alussa mm. edellä mainittujen empiiristen aineistojen täydentämiseen ja analysoimiseen. Suurin osa erillistutkimuksista saadaan valmiiksi kolmessa vuodessa. Myöhemmässä vaiheessa keskitytään tietojen yhdistämiseen kokonaiskuvan muodostamiseksi. Erityisesti metsäsuunnittelun osahankkeen puitteissa pyritään hyödyntämään muissa osahankkeissa saatua tietämystä. Kyse voi silloin olla uusien kasvumallien tai tarkennettujen kasvatusohjeiden käyttämisestä metsäsuunnittelun laskelmissa tai ekologisen asiantuntemuksen integroimisesta aluesuunnitteluun. Osahankkeiden tulokset tuovat erikseenkin paljon tietoa rannikkometsien terveydentilan arvioimisesta, metsänhoidon kehittämisestä sekä monimuotoisuuteen vaikuttavista tekijöistä. Tietojen yhdistäminen on kuitenkin ratkaisevaa, jotta tällaista monitieteistä tutkimushanketta voitaisiin pitää tarkoituksenmukaisena. Tässä suhteessa tulevaa hanketta voidaan pitää varsin haasteellisena.

Kirjallisuutta

- Appelroth, E. 1948. Några av landhöjningen betingade skogliga särdrag inom den österbottniska skärgården. Julkaisussa: Cederhvarf, B. (toim./red.). Skärgården. Nordenskjöld-Samfundet I Finland. Helsinki. s. 292–304.
- Appelroth, E. 1981. Till belysande av gråalens roll i den av landhöjningen betingade synkroniserade landskaps-, bonitets- och trädslagsdynamiken. Sveriges skogsvårdsförbunds tidskrift 6: 83–82.
- Hintikka, V. 1972. Wind-induced root movements in forest trees. Seloste: Havaintoja tuulen aiheuttamista liikkeistä puiden juuristossa. *Communications Institute Forestalis Fenniae* 76(2): 1–56.
- Jalkanen, R. 1994. Onko kuusi hengittämässä itsensä Etelä-Suomesta. *Folia Forestalia* 1: 91–92.
- Karlsson, K. 1996a. Kasvupaikkojen puuntuotoskyvyn ja puuston kasvun alueellinen vaihtelu Pohjanmaan rannikolta sisämaahan. *Folia Forestalia* 2: 00–00. Painossa.
- Karlsson, K. 1996b. Pohjanmaan rannikkoalueen talousmetsien seurantakoheet — Ett nätverk med fasta provytor i Österbottens kustområde. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 606. 41 s.
- Karlsson, K. & Walheim, M. 1996. Kuusikoiden kasvu - Granskogens tillväxt. Julkaisussa: Raitio, H. (toim./red.) Kuusikoiden kunto Merenkurkun alueella - Granskogens hälsotillstånd i Kvarkenregionen. Summary: Condition of Norway spruce in the Kvarken region of the gulf of Bothnia. Merenkurkun neuvosto - Kvarkenrådet. s. 83–95.
- Kubin, E. 1985. Uudistamistavan valinta ja taimikonhoidon toteuttamistapa voimakkaasti vesottuvalla alueella. Esi-merkki ongelmakentän tutkimisesta. Abstract: How to select the regeneration method and to clean the sapling stand on wet mineral soil sites. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 206: 81–91.
- Kubin, E. 1990. Pohjanmaan alaviiden kankaiden metsän uudistaminen. Karhunkämmenkaan koekentän ja tulosten esittely. Julkaisussa: Valtanen, J., Murtovaara, I. & Moilanen, M. (toim.) Metsäntutkimuspäivä Oulussa 22.-23.11.1989. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 361: 67–80.
- Kubin, E. & Valtanen, J. 1993. Siperianlehtikuusen ja eäiden muiden puulajien alkukehityksestä Pohjois-Pohjanmaalla ja Kainuussa. Julkaisussa: Moilanen, M. & Murtovaara, I. (toim.) Metsäntutkimuspäivä Kajaaniassa 1992. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 464: 107–130.
- Kuusisto, E., Kauppi, L. & Heikinheimo, P. (toim.) 1996. Ilmastomuutos ja Suomi. Helsinki University Press.
- Lippu, J. 1995. Kuusi ei herkästi hengästy. *Folia Forestalia* 1: 74–75.
- Merilä, P., Raitio, H. & Walheim, M. 1996a. Kuusikoiden maaperä. Granskogarnas marktillstånd. Julkaisussa: Raitio, H. (toim./red.) Kuusikoiden kunto Merenkurkun alueella. Granskogarnas hälsotillstånd i Kvarkenregionen. English summary. Merenkurkun neuvosto/Kvarkenrådet. Gummerus Kirjapaino Oy, Jyväskylä. s. 71–81.
- Merilä, P., Raitio, H. & Walheim, M. 1996b. Kuusikoiden ravinnetila. Granskogarnas näringstillstånd. Julkaisussa: Raitio, H. (toim./red.) Kuusikoiden kunto Merenkurkun alueella. Granskogarnas hälsotillstånd i Kvarkenregionen. English summary. Merenkurkun neuvosto/Kvarkenrådet. Gummerus Kirjapaino Oy, Jyväskylä. s. 97–107.
- Nilsson, L.-O. & Wiklund, K. 1992. Influence of nutrient and water stress on Norway spruce production in South Sweden. - The role of air pollutants. *Plant and Soil* 147: 251–265.
- Raitio, H. (toim./red.) 1996. Kuusikoiden kunto Merenkurkun alueella - Granskogens hälsotillstånd i Kvarkenregionen. Summary: Condition of Norway spruce in the Kvarken region of the gulf of Bothnia. Merenkurkun neuvosto - Kvarkenrådet.
- Salemaa, M., Lindgren, M. & Walheim, M. 1996. Harsuuntuminen ja väriviat. Julkaisussa: Raitio, H. (toim./red.) Kuusikoiden kunto Merenkurkun alueella - Granskogens hälsotillstånd i Kvarkenregionen. Summary: Condition of Norway spruce in the Kvarken region of the gulf of Bothnia. Merenkurkun neuvosto - Kvarkenrådet. s. 83–95.
- Siira, J. & Kubin, E. 1995. The vegetation succession on the coastal uplifted soils of the Gulf of Bothnia. In: Kubin, E. & Lippu, H (eds.) Environmental forest research and forestry from the coastal uplift to the eastern regional water divide. Muhos Research Station. 9 s.
- Starr, M.R. 1989. Maan kehitys ja viljavuus Pohjanlahden rannikolla. Abstract: Soil formation and fertility in coastal sand deposits along the gulf of Bothnia. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 322: 67–77.
- Starr, M.R. 1991. Soil formation and fertility along a 5000 year chronosequence. In Pulkkinen, E. 1991. Environmental geochemistry in northern Europe. Geological Survey of Finland, Special Paper 9: 99–104.

Sauli Takalo

**Metsäntutkimuslaitos
Kannuksen tutkimusasema**

JÄTTEET RAKEISTAMALLA HYÖTYKÄYTTÖÖN

Rakeistus ei ole uusi keksintö

Biomassan, kuten puun polton yhteydessä syntyy vuosittain runsaasti tuhkaa. Mikäli tuhka sijoitetaan kaatopaikalle, se on jätettä. Etenkin puuntuhka sopisi mainiosti metsänlannoitteeksi. Puuntuhkan lannoitekäytön keskeisenä ongelmana on kuitenkin irtotuhkan levitys.

Käsiteltäessä herkästi pölyäviä massoja, esimerkiksi tuhkaa, joudutaan yleensä turvautumaan suojainten käyttöön. Varsinkin ihmiselle asennettavat hengityssuojaimet hankaloittavat työskentelyä. Oleellista helpotusta ongelmaan saa aineen rakeistamisella. Rakeistuksen avulla pölyhaitat vähenvät, rakeet ovat vapaasti juoksevia ja niitä on helppo käsitellä sekä ohjata tarkasti kohteeseensa levityksen yhteydessä.

Rakeiden (kylmäpuristeet) valmistus ei ole tämän päivän keksintö. Rakeita on valmistettu erilaisiin poltto- ja rakennustarpeisiin mm. turpeesta ja hiilestä jo vuosisatoja. Nykytekniikan mukainen valmistus alkoi yleistyä 1940-luvulla, kun lääketieteellinen ryhtyi valmistamaan pulverista pillereitä. Kotimaiseen lannoiteteollisuuteen rakeistus levisi 1950-luvulla. Itse puristin ensimmäiset ”tuhkapillerit” autotallissani vuonna 1979.

Nykyisin erilaisten massojen rakeistus on verraten yleistä ja rakeita tehdään monenlaisesta materiaalista aina ravintoaineista teräkseen. Puriste on saanut myös useita kutsumanimiä, kuten rae, pelletti, polttopuriste, briketti. Kaikkien nimien takana on tietynasteinen ja muotoinen puriste, mikä voidaan synnyttää eri menetelmillä.

Laitekehittelyä Kannuksessa

Koska kylmäpuristeiden valmistusta on harrastettu jo verraten pitkään, on yllätys, että alan kirjallisuudessa rakeistuksesta ja valmistustekniikasta on erittäin niukalti tietoa. Kotimaiseen alan teollisuuteen tehty ”vakoiluretki” antoi laihan tuloksen. Tarkoitukseen sopivan kokoluokan ja tekniikan omaavaa valmista konetta ei ollut nähtävillä. Eräillä tuotantolaitoksilla näitä koneita on käytössä, mutta ne ovat heidän ideoimiaan eikä liikesalaisuuksia esitellä kansalle.

Metsäntutkimuslaitoksen Kannuksen tutkimusasemalla on kehitelty menetelmää ja laitteistoja tuhkan ja yhdyskuntajätteen rakeistamiseksi niiden hyötykäytön mahdollistamiseksi. Kehittelytyö on ollut mahdollista lähinnä Keski-Pohjanmaan maaseutuelinkeinopiirin sekä UPM-Kymmene Oy:n (Pietarsaari) avustusten turvin.

Koetoimintaan otettiin mukaan kolme erityyppistä koneratkaisua: kierrekuljetin (lihamyllyperiaate), hydraulikkapuristin (malli Pellon Paja Oy) sekä itse valmistettu lieriöpuristin (malli

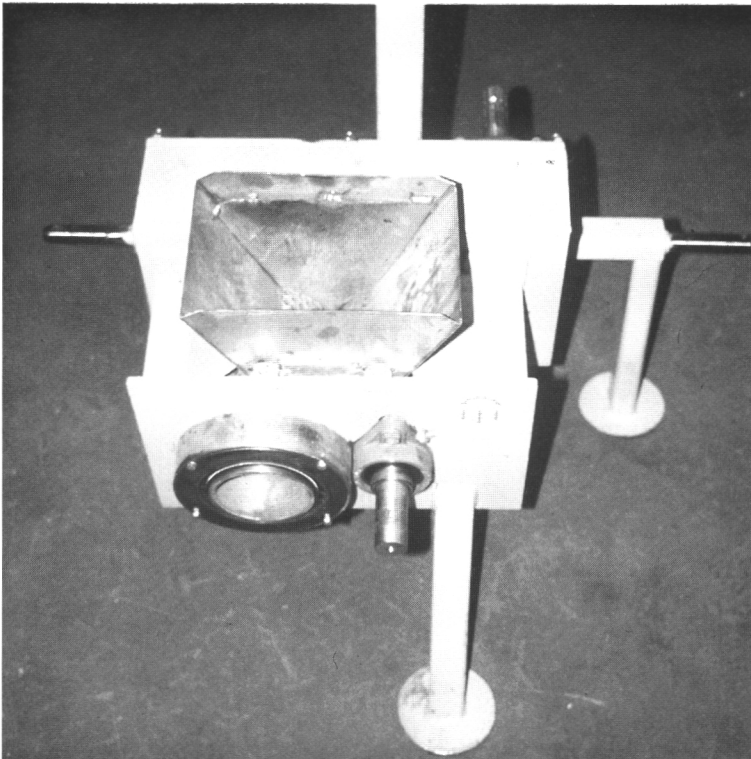
Alexanderwerk 1885). Tehdyissä käyttökokeissa voitiin mm. todeta, että vaikka toimintaeroja koneilla onkin, niin kaikilla koneilla saatiin kylmäpuristetta syntymään. "Kaikkiruokaisimmaksi" koneeksi osoittautui lieriöpuristin. Se onkin tällä hetkellä pääasiallinen kehittelyn kohde. Lieriöpuristimessa rakeen muodostaa matriisi, jonka vahvuus, reikäkoko ja kartiokulma-aste saattavat vaihdella massan koostumuksen mukaan.

Tähän saakka massan sekoitus ja puristimelle siirto on suoritettu käsityönä. Koneen jatkuvaa työskentelyä ajatellen myös nämä työvaiheet tulee koneellistaa. Massan sekoitukseen onkin hankittu betoninsekoitin, jonka "satsikoko" on noin 400 kg. Massan siirto puristimelle suoritetaan toistaiseksi käsin, mutta tämäkin työ siirretään lähiaikoina tasaisen syötön omaavan syöttöruuvin tehtäväksi.

Sarjatuotanto käynnistymässä

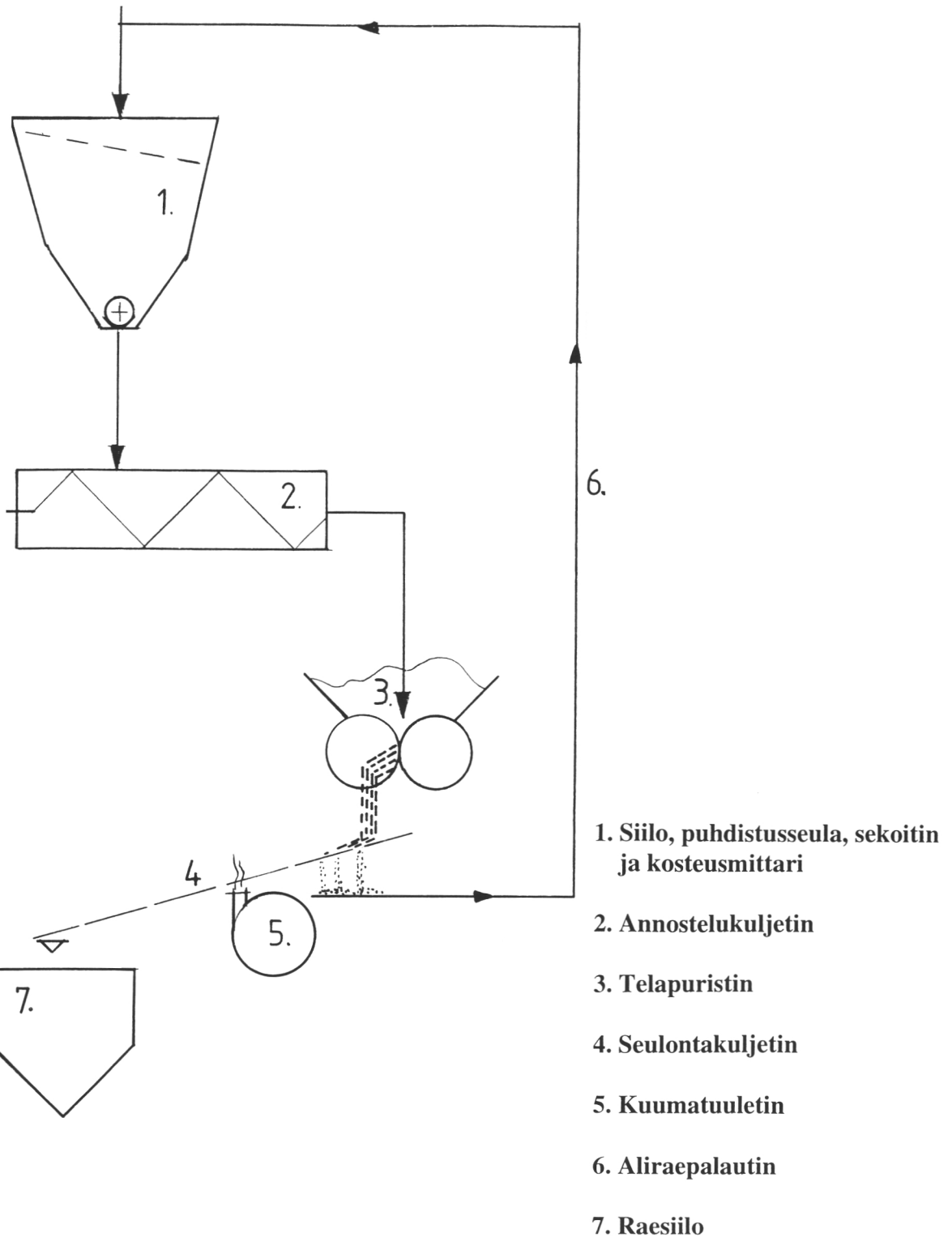
Kannuksen tutkimusasemalla tehdyissä rakeistuskokeiluissa on käytetty monenlaista materiaalia. Päätuotteen, tuhkan, lisäksi kokeiltavana on ollut mm. heinää ja viljaa (ajatuksena porotalouden tarpeet) sekä turvetta ja sahanpurua (eläinten kuivike). Matriisin reikäkoot ovat olleet 8 mm ja 10 mm eli pelletit ovat olleet reilun lyijykynän paksuisia.

Kone on saanut laajemmaltikin myönteistä huomiota osakseen. Nyt onkin 0-sarjan valmistus jo käynnistetty kannuslaisen metallialan yrittäjän toimesta.



Kuva 1. Telapuristin (Kuva: Sauli Takalo)

MEKAANINEN PELLETOINTILINJA



Kannuksen tutkimusasemalla ilmestyneitä Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja-sarjan julkaisuja:

- N:o 132 Ari Ferm ja Jyrki Hytönen 1984. Säilytyksen vaikutus kosteusnäytteeseen puun kuiva massan määrittämisessä. Abstract: Effect of sample storage in determination of tree dry mass. 16 s.
- N:o 163 Ari Ferm ja Jyrki Hytönen 1984. Vesipajun vesojen puuteknisiä ominaisuuksia. Abstract: On the technical properties of *Salix 'Aquatica'* sprouts. 20 s.
- N:o 206 Metsäntutkimuspäivä Kannuksessa 28.11.1985. Forest Research Day at Kannus 28.11.1985. 99 s.
- N:o 245 Jyrki Hytönen 1987. Lannoituksen vaikutus koripajun ravinnetilaan ja tuotokseen kahdella suonpohja-alueella. Summary: Effect of fertilization on the nutrient status and dry mass production of *Salix Viminalis* on two peat cut-away areas. 31 s.
- N:o 250 Metsäntutkimuspäivä Kokkolassa 13.3.1987. Metsäteknologian teemapäivä. 113 s.
- N:o 304 Ari Ferm (ed.) 1988. Proceedings of the IEA Task II meeting and workshop on cell culture and coppicing. In Oulu, Finland, August 24—29, 1987. 115 s.
- N:o 320 Ari Ferm, Jyrki Hytönen, Kimmo K. Kolari & Heikki Veijalainen 1988. Metsäpuiden kasvuhäiriöt turkistarhojen läheisyydessä. Sammandrag: Tillväxtstörningar i skogsträd i närheten av pälsfamer. Abstract: Growth disturbances of forest trees close to fur farms. 77 s.
- N:o 322 Ari Ferm & Maire Ala-Pöntiö (toim.) 1989. Metsäntutkimuspäivä Kannuksessa 1988. 96 s.
- N:o 329 Esa Heino 1989. Suomalainen pajukirjallisuus. Finnish bibliography on willow. 30 s.
- N:o 346 Juha Nurmi & Keijo Polet (ed.) 1990. Measurement and evaluation of wood fuel. Proceedings of the IEA/BE TASK VI Activity 5 Workshop in Jyväskylä, Finland. October 25-27, 1989. 64 s.
- N:o 348 Ari Ferm 1990. Coppicing, aboveground woody biomass production and nutritional aspects of birch with specific reference to *Betula pubescens*. 35 s.+osajulkaisut.
- N:o 374 Ari Ferm ja Esa Heino (toim.) 1991. Keski-Pohjanmaa — Nouseva metsämaakunta. Metsäntutkimuspäivä Ylivieskassa 14.6.1990. 43 s.
- N:o 391 Ari Ferm ja Keijo Polet (toim.) 1991. Peltojen metsitysmenetelmät. Tutkimushankkeen väliraportti. Developing methods for afforestation of fields. Interim report. 120 s.
- N:o 401 Risto Lauhanen 1992. PATU M 100-kaivuri metsäojituksessa. Abstract: PATU M 100 excavator in forest drainage. 23 s.
- N:o 409 Risto Lauhanen 1992. Kunnostusojituksen ongelmat ja tutkimustarpeet. Abstract: Ditch network maintenance, its problems and research needs. 45 s.
- N:o 457 Kristian Karlsson (red.) 1993. Skogsforskningsdag i Vörå 1992 – Metsäntutkimuspäivä Vöyrissä 1992. 47 s.
- N:o 458 Risto Lauhanen & Tero Takalo 1993. Yksitelainen LA-MA 10-kaivuri metsäojien perkauksessa. Abstract: LA-MA 10 single track backhoe in forest ditch cleaning. 20 s.
- N:o 463 Ari Ferm, Jyrki Hytönen, Katri Koski, Seppo Vihanta & Olavi Kohal. Peltojen metsitysmenetelmät. Kenttäkokeiden esittely ja metsitysten kehitys kolmen ensimmäisen vuoden aikana. 127 s.
- N:o 540 Jyrki Hytönen & Keijo Polet (toim.) 1995. Metsäntutkimuspäivä Käiviällä 1994. 74 s.
- N:o 544 Sauli Takalo, Tero Takalo & Risto Lauhanen 1995. Pontus-pientelamaasturi harvennuspuun metsäkuljetuksessa eräällä työmaalla. 16 s.
- N:o 545 Sauli Takalo 1995. Mäntyöljyn mahdollisuudet poltto- ja voiteluaineena. 17 s. + liitteet.
- N:o 560 Paula Jylhä 1995. Nuoren metsän ihmistyövaltaisen kunnostushakkuun kannattavuus Keski-Pohjanmaan ojitusalueilla. 40 s.
- N:o 566 Jyrki Kangas & Pasi Niemeläinen 1995. Kansalaismielipide Suomen metsistä sekä metsien hoidosta ja käytöstä. 24 s. + liite.
- N:o 570 Juha Nurmi & Esa Heino (toim.) 1995. Metsäntutkimuspäivä Kalajoella 1995. 82 s.
- N:o 581 Jyrki Hytönen & Keijo Polet (toim.) 1995. Peltojen metsitysmenetelmät. 242 s.
- N:o 603 Jukka Tikkanen 1996. Taajamametsien osallistava suunnittelu. Kokemuksia MetsäRaahesuunnitteluprojektista. 31 s. + liitteet.
- N:o 606 Kristian Karlsson 1996. Pohjanmaan rannikkoalueen talousmetsien seurantakokeet. Ett nätverk med fasta provtytor i Österbottens kustområde. 41 s.

Kannus 1996
ISBN 951-40-1529-0
ISSN 0358-4283
KPPAINO, Kokkola 1996