

Kaas



Metsäntutkimuspäivä Porissa 1995

Olavi Laiho & Tiina Luoto (toim.)

Metsäntutkimuspäivä Porissa 1995

Olavi Laiho & Tiina Luoto (toim.)

Metsäntutkimuslaitos, Parkanon tutkimusasema
Parkano 1996

Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 593

Sisällys

<i>Olavi Laiho</i> Metsätalous, tutkimus ja tiedotus muutosten pyörteissä	3
<i>Kaarlo Kinnunen</i> Kevät- ja syyskylvön onnistuminen eri puulajeilla	4
<i>Juha Suni & Timo Hartikainen</i> Massahakelaitoksen toimivuus, raaka-ainehuolto ja energiatalous	10
<i>Seppo Kaunisto</i> Massahakemenetelmä ja ravinnepoistuma rämeen ensiharvennusmännikössä	15
<i>Markku Saarinen</i> Ojitusaluepuuston ravinnetalouden arviointi metsätaloussuunnittelussa	24
<i>Tytti Sarjala</i> Männyn ja kuusen kaltilanteen biokemiallinen määrittäminen	27
<i>Lasse Aro & Seppo Kaunisto</i> Tuhkalannoitus eräillä suonpohjien metsityskokeilla	31
<i>Hannu Raitio</i> EU-säädösten mukainen metsien terveydentilan seuranta Suomessa	42
<i>Ilkka Jussila</i> Tuhotilanne Satakunnan karuilla mäntykankailla	45
<i>Olavi Laiho, Erkki Lähde & Yrjö Norokorpi</i> Rakennetta monimuotoistavat ja yksipuolistavat hakkuut nuorena kuusivaltaisessa metsikössä	49

Kirjoittajien yhteystiedot: Hartikainen: Pohjois-Satakunnan Massahake Oy, Pansiankatu, 38700 Kankaanpää; Jussila: Satakunnan ympäristöntutkimuskeskus, Konttorikatu 1, 28900 Pori; Lähde: Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimuskeskus, PL 18, 01301 Vantaa; Norokorpi: Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen tutkimusasema, PL 16, 96301 Rovaniemi; muut: Metsäntutkimuslaitos, Parkanon tutkimusasema, Kaironiementie 54, 39700 Parkano

Julkaisija: Metsäntutkimuslaitos, Parkanon tutkimusasema

Hyväksynyt: Tutkimusjohtaja Matti Kärkkäinen 4.4.1996

Jakaja: Metsäntutkimuslaitos

Hinta: 50 mk

ISBN 951-40-1502-9
ISSN 0358-4283

Metsätalous, tutkimus ja tiedotus muutosten pyörteissä

Merkittävä vuosi maamme historiassa on päättynyt. Metsänomistajat lienevät voittopuolisesti kannattaneet Euroopan Unioniin liittymistä. Näyttää siltä, että valinta oli oikea. Metsäteollisuus käynnisti monia merkittäviä laajennuksia. Niiden valmistuttua Raumasta muodostuu maamme johtava metsäteollisuuden keskittymä. EU-jäsenyyden myötä meidän on ulkopuolellaoloa helpompi varmistaa markkinaosuutemme Euroopassa. Jäsenenäkin se on riittävän vaikeaa, sillä kilpailu on kovaa. Puuta tulee olemaan vastaisuudessaakin runsaasti tarjolla. Puun käyttö ei ole lähelläkään sen tuotannon äärirajoja.

Kulunutta vuotta sävytti aluksi poikkeuksellisen voimakas korkeasuhdanne. Sahatavaran ja paperin tuotanto kohosi ennätyslukemiin. Kysyntä oli niin kova, ettei hienopaperia kaikille ostajille riittänytkään. Myös kantohinnat nousivat merkittävästi. Valmiiden tuotteiden hinnat toki nousivat niitäkin enemmän ja metsäteollisuuden voitto muodostui ennätysmäiseksi. Silti metsäyhtiöiden osakkeiden kurssikehitys oli koko vuoden laskussa. Markkinoiden ennakoitiin osoittautui jälleen kerran vaikeaksi. Useimmat metsänomistajat eivät myyneet kevään parhaaseen hintaan odottaessaan syksystä vielä parempaa. Toisin kuitenkin kävi. Sahatavaran hinta aleni ylituotannon johdosta. Raakapuun hintaa alensi myös ennätysmäinen puun tuonti ja kotimaiset suurleimikot pinta-alaverotuksen valinneilta tiloilta. Nämä kokemukset korostavat liikemiestaitojen merkitystä nykyisessä metsätaloudessa. Toinen välittömästi kannattavuuteen vaikuttava tekijä on puutavaran tehokas ja halpa korjuu. Varsinainen metsänhoito on väistynyt, toivottavasti tilapäisesti, taka-alalle. Metsän uudistaminen on ollut aikaisempaan verrattuna leväperäistä ja taimikonhoito vähäistä. Vastaavasti heikosti taimettuneiden uudistusalojen määrä on lisääntynyt. Nähtäväksi jää, mikä on uuden metsänhoitolain vaikutus metsänhoidon tasoon.

Tämä tiedonanto perustuu Porin tutkimuspäivällä 7.12.1995 pidettyihin esitelmiin. Esitelmät käsittelivät pääosin perinteisiä metsänhoidollisia kysymyksiä. Aiheet tuskin olivat aikaisempaa huonompia. Kun tiedottaminen oli edellisvuotta kattavampi joutuu kysymään, mistä johtui osanottajien väheneminen. Osanottajamäärä on aikaisempina vuosina vaihdellut välillä 200-250, mutta oli nyt runsasta kolmannesta pienempi. Varhemmin oli aikoja, jolloin tutkijoiden sanomalla oli eri luokkaa oleva merkitys kuin nyt. Heitä tultiin kuulemaan ja näkemään puhuivat he mistä asiasta tahansa, professoreista puhumattakaan. Metsäorganisaatiot ovat usuneet metsänhoito-ohjeitaan ja -suosituksiaan lyhyenä aikajaksona kahdesti. Kenttäväellä ei ole tarvetta kuulostella mitä muualla tapahtuu, hyvä kun pysyy oman organisaationsa ohjeista perillä. Opetusalaan lukuunottamatta biogeenin tutkimus ei anna varhemmassa määrin sovellettavaa käytännön kentälle. Metsän terveydentilasta ja ilmansaasteistakin lienee tärkeimmät asiat kuultu useaan kertaan. Oma näkökohtansa on kenttäväen määrä. Kato on käynyt kovalla kädellä ja väkeä on työssä enää vähän. Se merkitsee töiden kasautumista yhä harvempiin käsiin. Voi olla, ettei työstä ole turvallista irrota päiväksikään. Toisaalta lakimääräiset lomien ja niiden lisukkeet ovat pidenneet siihen mittaan, että Joulun alla väkeä lienee ollut paljon vapaalla.

Tutkimuspäivän yhteydessä oli suppea asiakaskysely. Metsänkasvatusmenetelmät, metsän uudistaminen, ympäristövaikutukset, metsien terveydentila ja metsien monimuotoisuus olivat annetuista 12 vaihtoehdosta osanottajille tärkeimmät. Kokopäiväistä esitelmätilaisuutta pidettiin puuduttavuudestaan huolimatta parhaana, mutta tutkijoiden vetämä maastoretkeily katsottiin lähes samanarvoiseksi. Monille osanottajille esitelmäyhennelmät ovat riittävä kirjallinen tieto. Tärkein palaute olisi kuitenkin saatavissa poissaolleilta.

Parkanon tutkimusasema on nyt yksi Metlan kymmenestä tulosityksiköstä. Tutkimuksia tulee enenevässä määrin suunnata aiheisiin, joihin on saatavissa ulkopuolista rahoitusta. Varhemmin katsottiin, että ulkopuolinen rahoitus vaarantaa tutkimuksen riippumattomuuden. Nyt tätä ei pidetä merkittävänä uhkana. Uutena piirteenä on, että osa tuloksista jää pelkästään rahoittajan käyttöön. Myös tutkimuspäivien ja -julkaisujen maksullisuus uhkaa rajoittaa tutkimuksen vaikuttavuutta. Tähänastisen korkean vaikuttavuuden säilyttäminen on haaste tuleville tiedotusratkaisuille.

Olavi Laiho
Tutkimusaseman johtaja

Kevät- ja syyskylvön onnistuminen eri puulajeilla

Kaarlo Kinnunen

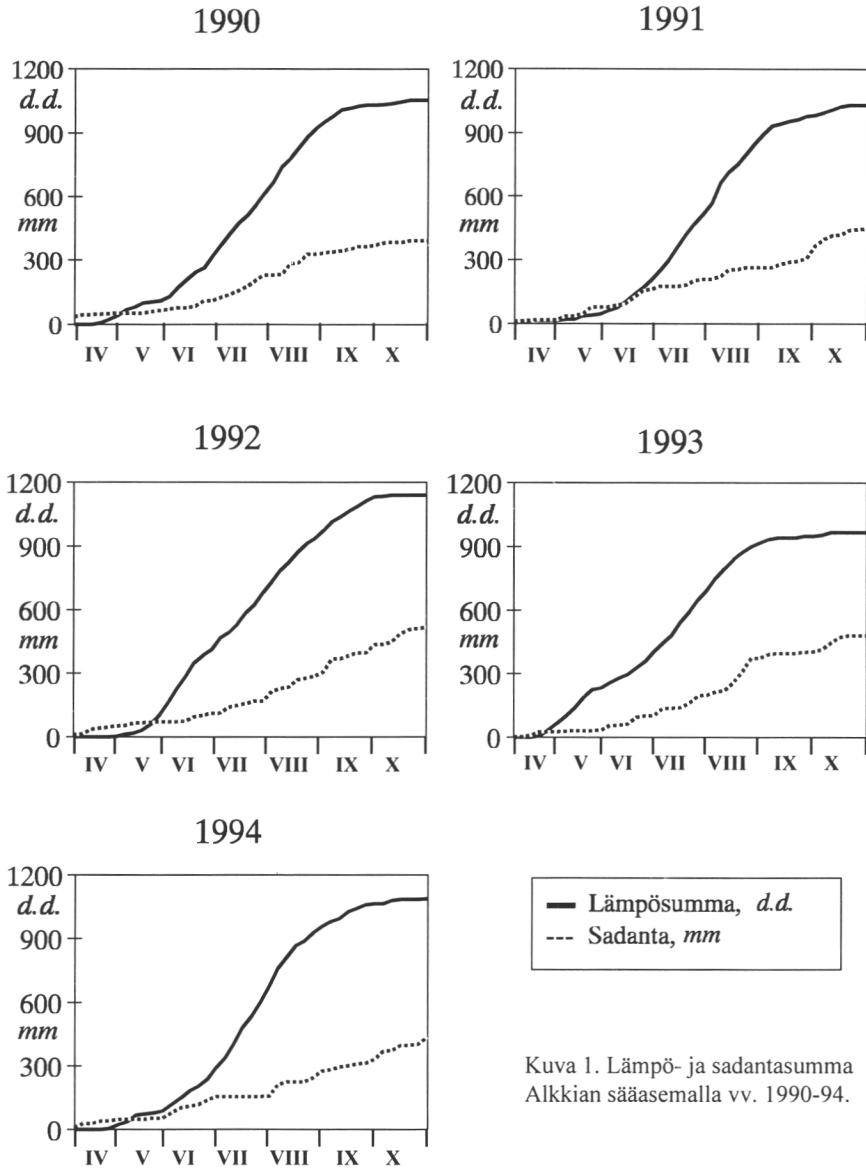
Johdanto

Havupuilla kevät on yleensä ollut syksyä parempi kylvöajankohta (esim. Kinnunen 1992). Turvemailla myöhäinen syyskylvö on kuitenkin antanut yhtä hyviä tuloksia (Kaunisto 1974). Myös kivennäismailla syyskylvöllä on toisinaan saatu lähes samoja tuloksia kuin kevätkylvöllä (Kinnunen 1982). Mork (1951) tutki ulkona talven yli varastoidun siemenen itävyyttä laboratorioskokeissa. Koivun siemenen itävyys ei laskenut lainkaan talvivarastoinnin aikana, kun se jätettiin peittämättä. Peitto hiekalla alensi koivun siemenen itävyyttä ja männyn sekä kuusen siemen menetti kokonaan itävyytensä. Peittämättömän männyn ja kuusen siemenen itävyys laski talvivarastoinnin aikana puoleen alkuperäisestä. Syyksi havupuiden siemenen itävyyden laskulle on esitetty vettyneen siemenen alttiutta pakkasvaurioille (Nygren & Leinonen 1992). Muovipinnoitteella ja erilaisilla kuorrutuksilla on pyritty parantamaan siementen itämiskyvyn säilymistä, mutta toistaiseksi siinä ei ole onnistuttu (Herranen ym. 1990).

Koneellisen kylvön yleistymisen myötä olisi entistä enemmän tarvetta kylvökauden jatkamiseen, jotta konekylvöyksiköt saataisiin tehokkaampaan käyttöön. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, voidaanko erilaisilla muokkaus- ja kylvömenetelmillä vaikuttaa erityisesti havupuiden syyskylvön onnistumiseen. Koivun kevät- ja syyskylvöllä on aiemmissakin tutkimuksissa päästy suunnilleen samaan tulokseen (esim. Raulo & Lähde 1976).

Tutkimusaineisto ja -menetelmä

Tutkimus perustuu kolmeen kokeeseen, jotka perustettiin vv. 1990-93. Maalaji kaikissa kokeissa oli hiekkamoreeni. Hienomaan (<0,06 mm) osuus oli 3-6 %. Kaksi koetta sijaitsi mustikkatyypillä, yksi puolukkatyypillä. Kahdessa kokeessa oli kevät/syyskylvövertailu, yhdessä pelkästään kevätkylvö. Puulajit olivat mänty, kuusi ja rauduskoivu. Muokkausmenetelmiä oli kaksi: Lautasauraus TTS-metsä-äkeellä ja mätästys traktorikaivurilla. Kylvömenetelminä käytettiin haja-, piste- ja vakorautakylvöä. Hajakylvössä siemenet ripoteltiin tasaisesti muokkausjälkeen. Pistekylvössä maahan tehtiin kymmenen pientä painauma, joihin siemenet kylvettiin ja peitettiin ohuella maalla. Vakorautakylvö tehtiin Männistön raudalla, jossa vaon teko ja kylvö tapahtuu samanaikaisesti. Männyn ja kuusen siementä kylvettiin 200 g/ha, koivun siementä 375 g/ha. Hajakylvössä ja luontaisen taimettumisen inventoinnissa näytealana oli joka toinen kahden metrin kaista äesjälkeä lautasauratuilla ja koko mätäs mätästetyillä ruuduilla. Koejärjestelynä käytettiin faktorikoetta, jossa kutakin käsittelyä edusti 60 näytepistettä. Kokeet inventoitiin ensimmäisen ja toisen kasvukauden jälkeen. Viimeisin inventointi tehtiin syksyllä 1995, jolloin kokeiden ikä vaihteli 3 - 5 kasvukauteen.



Kuva 1. Lämpö- ja sadantasumma Alkkian sääasemalla vv. 1990-94.

Asetelma. Kokeiden muokkaus- ja kylvöajankohdat.

Koe	Lautasauraus	Mätätys	Kylvöajankohdat
237	9/1990	5/1990	5.-9.10.1990 ja 14.-15.5.1991
71	5/1991	9/1991	7.10.1991 ja 19.5.1992
243	9/1992	9/1992	11.-13.5.1993

Sää

Kuvassa 1 tarkastellaan vuosien 1990-94 lämpö- ja sadantasumman kehitystä huhti- lokakuun aikana. Lämpösummaa alkoi kertyä aikaisimmillaan huhtikuun puolivälissä ja myöhäisimmillään toukokuun puolivälissä. Keskimäärin lämpösummaa alkoi kertyä huhti-toukokuun vaihteessa. Lokakuussa lämpösummaa kertyi enää hyvin vähän, joten lokakuun puoliväli oli jo varsin turvallinen ajankohta syyskylvölle, jonka ei haluta itävän ennen seuraavaa kevättä. Sadantasumma kasvukauden lopussa oli suhteellisen vakio eri vuosina, vaikka sateen jakautuminen kasvukauden aikana vaihteli suuresti.

Kylvön onnistuminen

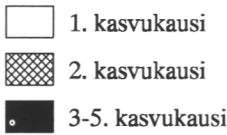
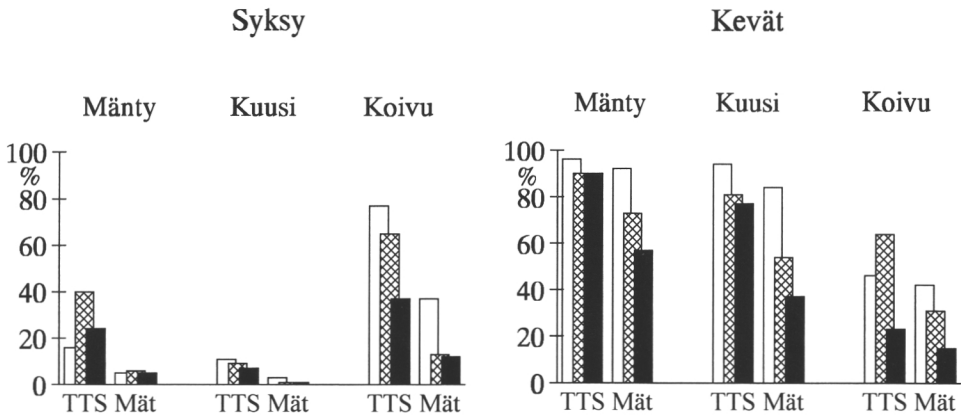
Havupuilla syyskylvö onnistui erittäin huonosti, kevätkylvö sen sijaan melko hyvin (kuva 2). Rauduskoivulla puolestaan syyskylvö onnistui jopa paremmin kuin kevätkylvö. Myöhemmin rauduskoivun taimia kuitenkin kuoli runsaasti, joten tulos 3.-5. kasvukauden jälkeen oli huono kylvöajankohdasta riippumatta. Lautasauran jälki oli selvästi parempi kylvöalusta kuin mätäs. Kylvömenetelmällä ei ollut juuri vaikutusta onnistumiseen. Männyllä ja rauduskoivulla hajakylvön vertaaminen muihin kylvömenetelmiin ei ole mahdollista, koska samanikäisten luontaisten taimien erottaminen ei ollut mahdollista. Tällöin hajakylvössä luontaisten taimien osuus on paljon suurempi kuin pistekylvössä. Kuusella luontaisten taimien osuus oli niin vähäinen, ettei se vaikuttanut tulokseen.

Kylvöajankohdalla, muokkauksella ja puulajilla oli tilastollisesti erittäin merkitsevä ($p=0,000$) vaikutus tulokseen. Kylvöajankohdalla ja puulajilla oli lisäksi tilastollisesti erittäin merkitsevä yhdysvaikutus. Kokeella, jossa on mukana sekä maapohjan että sään vaihtelu, ei ollut yksinään tilastollisesti merkitsevää vaikutusta tulokseen, mutta kokeen ja kylvöajankohdan yhdysvaikutus oli melkein merkitsevä ($p=0,012$). Maapohja kokeissa oli varsin samanlainen, joten kylvövuoden sää oli merkittävämpi tekijä yhdysvaikutuksessa.

Luontainen taimettuminen

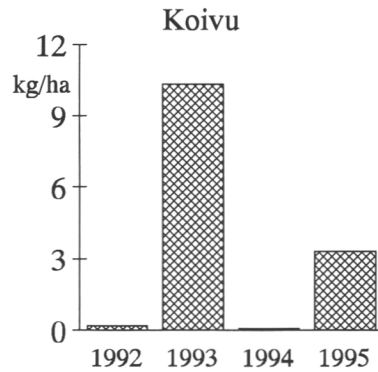
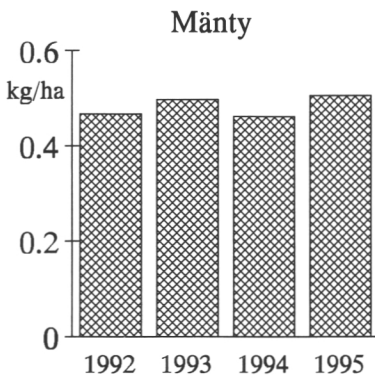
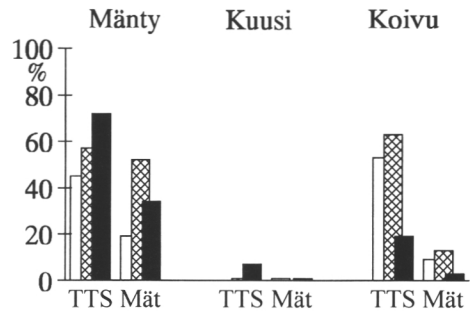
Kokeiden reunametsässä oli lähinnä mäntyä ja hieskoivua. Häädetjärvellä (koe 71) tutkittiin siemensuppiloiden avulla, kuinka paljon siementä reunametsästä saatiin. Männyllä oli neljä hyvin tasaista siemenvuotta, jolloin siementä saatiin noin puoli kiloa per vuosi (kuva 3). Koivulla samaan ajanjaksoon osui yksi hyvä siemenvuosi (1993), jolloin siementä saatiin yli kymmenen kiloa. Ilmeisesti myös tarkastelujaksoa edeltävänä vuonna (1991) oli ollut ainakin kohtuullisen hyvä siemenvuosi, joka näkyi vuonna 1992 perustetun kokeen tuoreessa muokkausjäljessä hyvänä taimettumisena, vaikkakin myöhemmin pääosa taimista tuhoutui. Vuoden 1995 kohtalainen siemensato ei ennättänyt vielä vaikuttaa taimettumiseen. Vuoden 1993 runsas siemensatokaan ei taannut koivulle hyvää taimettumista. Vain nuorimmalla kokeella koivun taimettuminen runsasta siemensatota seuraavana kasvukautena oli hyvä. Tällöin muokkausjälki oli yhden kasvukauden ikäinen. Ilmeisesti muiden kokeiden muokkausjälki oli liian vanha koivun taimettumiselle. Männyllä taimettuminen vanhimmassa kokeessa sen sijaan parani kaksinkertaiseksi vielä toisen kasvukauden jälkeen, ilmeisesti pääosin kolmantena kasvukautena, joka osui vuoteen 1993. Kyseisenä vuonna mänty taimettui hyvin muissakin kokeissa. Todennäköisin syy tähän on kasvukauden humidisuus; lämpösummaa kertyi vähiten kun taas sadanta oli tarkastelujakson toiseksi korkein.

Kylvötaimet



Kuva 2. Kylvö- ja luonnontaimien elossa-olo muokkauksittain ja kasvukausittain.

Luonnontaimet



Kuva 3. Männyn ja koivun siemensato vv. 1992-95 Häädetjärvellä.

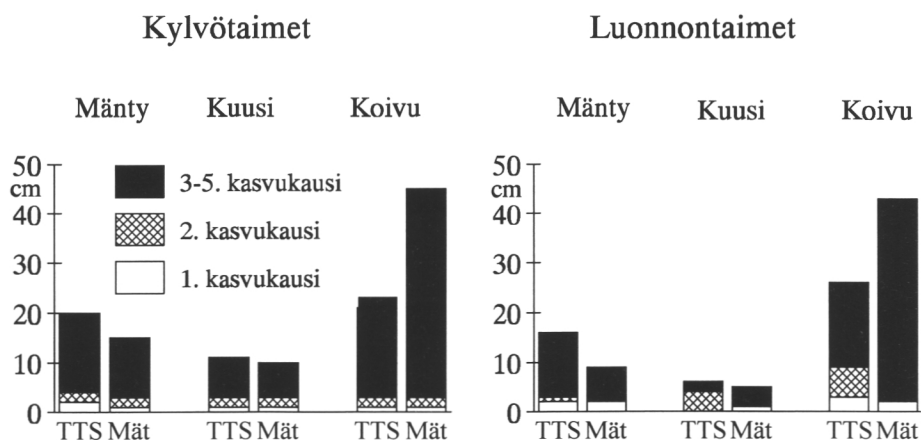
Myös luontainen taimettuminen oli lautasauran jäljessä runsaampaa kuin mättäillä. Kuivuus lienee ollut taimettumisen pahin este. Myöhemmässä vaiheessa rouste kohosi suurimmaksi tuhonaiheuttajaksi.

Taimien pituus

Suuren kuolleisuuden takia pituusmittaukset etenkin havupuiden syyskylvössä ja mättäillä kevätkylvössäkin perustuvat melko pieneen taimimäärään, joka on otettava huomioon tuloksia tarkasteltaessa. Koivun taimet kasvoivat mättäillä nopeammin kuin lautasauran jäljessä (kuva 4). Havupuiden pituuskehitykseen muokkauksella ei ollut juuri vaikutusta.

Kolmen - viiden kasvukauden jälkeen puulajilla ja muokkauksella oli tilastollisesti merkitsevä erillisvaikutus ($p= 0,000$ ja $0,009$) pituuteen. Sen lisäksi puulajilla ja kylvöajankohdalla oli melkein merkitsevä yhdysvaikutus ($p= 0,027$). Myös puulajilla ja muokkauksella oli tilastollisesti merkitsevä yhdysvaikutus ($p= 0,003$) pituuteen. Yhdysvaikutus johtuu siitä, että mättäillä koivun taimet olivat pitempiä kuin lautasauran jäljessä, kun taas havupuiden pituuteen muokkauksella ei ollut vaikutusta.

Männyn ja kuusen luonnontaimet olivat hieman lyhempiä kuin kylvötaimet, koivulla sen sijaan lautasauran jäljessä luonnontaimet olivat jopa pitempiä kuin kylvötaimet. Kaiken kaikkiaan voidaan siis todeta, että luonnontaimien pituus ei ratkaisevasti poikennut kylvötaimien pituudesta. Suurin ero oli kuusella, jolla luontaisia taimia oli niin vähän, ettei niillä ollut sanottavaa merkitystä. Muokkauksen vaikutus luonnontaimien pituuteen oli samanlainen kuin kylvötaimiin.



Kuva 4. Kylvö- ja luonnontaimien pituus muokkauksittain ja kasvukausittain.

Päätelmät

Tutkimus vahvisti käsitystä, että männyn ja kuusen oikea kylvöajankohta on kevät. Rauduskoivua sen sijaan voidaan kylvää sekä keväällä että syksyllä. Kevätkylvössä rauduskoivun tulos jäi selvästi huonommaksi kuin havupuilla, vaikka koivulla käytettiin suurempaa siemenmäärää. Kylvömenetelmällä ei näyttänyt olevan suurta vaikutusta tulokseen. Mätästys oli taimettumisen kannalta selvästi huonompi muokkaustapa kuin lautasauraus. Koivun taimien pituuskehitys oli mättäillä nopeampi kuin lautasauran jäljessä, kun taas havupuiden pituuteen muokkaustavalla ei ollut vaikutusta. Reunametsäsiemennyksestä koealoille syntyi runsaasti luontaisia männyn taimia. Myös luontaisia hieskoivun taimia syntyi runsaasti, mutta suurin osa niistä tuhoutui myöhemmin. Kolme - viisivuotiaat kylvö- ja luonnontaimet (varsinkin havupuut) joutuvat vielä useita vuosia kilpailemaan pintakasvillisuuden kanssa, joten lopullinen uudistumistulos selviää vasta muutaman vuoden kuluttua.

Kirjallisuus

- Herranen, T., Myllymäki, T. & Mänty, J. 1990. Kuorrutettujen siementen kylvökoe. Metsähallituksen kehittämisjaoston seloste 15/90. 5 s.
- Kaunisto, S. 1974. Männyn kylvöajankohta ojitetulla suolla. *Folia Forestalia* 203. 28 s.
- Kinnunen, K. 1982. Männyn kylvö karuhkoilla kangasmailla Länsi-Suomessa. *Folia Forestalia* 531. 24 s.
- Kinnunen, K. 1992. Kylvöalustan, ajankohdan ja menetelmän vaikutus männyn kylvön onnistumiseen. Summary: Effect of substratum, date and method on the post-sowing survival of Scots pine. *Folia Forestalia* 785. 45 s.
- Mork, E. 1951. Factors influencing the germination of Pine, Spruce and Birch seed. Faktorer som virker på spireevnen hos furu-, grand- og bjørkefrø. *Medd. norske Skogforsöksv.* 11 (1), No. 38:159-173).
- Nygren, M. & Leinonen, K. 1992. Pääpuulajiemme laboratorio- ja kenttäitävyydestä. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 426:59-78.
- Raulo, J. & Lähde, E. 1976. Ennakkotuloksia rauduskoivun kylvökokeista Lapissa. *Folia Forestalia* 279. 11 s.

Laiho, O. & Luoto, T. (toim.). 1996. Metsäntutkimuspäivä Porissa 1995. MT 593.

Massahakelaitoksen toimivuus, raaka-ainehuolto ja energiatalous

Timo Hartikainen & Juha Suni

Tiivistelmä

Pohjois-Satakunnassa korjuukustannuksiltaan kalliit ja kertymältään vähäiset ensiharvennuskohteet ovat rästissä. Yksi ratkaisu ongelmaan on osapuuhakkuuseen perustuva korjuuketju yhdistettynä Massahake-menetelmään. Pohjois-Satakunnan Massahake Oy:n hakkeen lajittelulaitos aloitti toimintansa Kankaanpäässä toukokuussa 1995.

Massahakkeen puunhankinta keskittyy ensiharvennusemetsiin. Hakkuusuunnitteen mukainen eri puulajien ensiharvennusten pinta-ala hankinta-alueella on vuosittain 8 870 ha. Näistä kertyy kuitupuuta 245 000 m³ ja kaikkiaan biomassaa 360 000 m³.

Hakkuu tapahtuu moottorisahalla osapuun siirtelykaatomenetelmällä. Tyypillisessä koivuensiharvennuksessa biomassakertymä on noin 40 % suurempi osapuuna 4 cm:n latvaläpimitaan hakattaessa kuin tavaralajimenetelmällä korjattaessa. Hakkuun yksikkökustannukset ovat noin kolmanneksen tavaralajimenetelmää alemmat.

Teknisesti massahakelaitos on toiminut hyvin. Tekninen käyttöaste oli syksyllä 1995 yli 99 %. Koivuraaka-aineella saanto on vaihdellut 65 prosentista 75 prosenttiin, mikä vastaa asetettuja tavoitteita. Helmikuun alussa tuotantolinjaan tehtyjen muutosten uskotaan parantavan saantoa edelleen.

Massahakemenetelmällä on pystytty valmistamaan palakoon ja kuoripitoisuuden suhteen teollisuuden vaatimukset täyttävää haketta.

Polttojäte on ollut palakokojakaumaltaan Kankaanpään Kaukolämpö Oy:n leijupetikattilaan soveltuvaa. Tehollinen lämpöarvo on vaihdellut 2,7 MWh:sta 2,9 MWh:in tonnissa polttoainetta, mikä vastaa hyvälaatuista jyrshinturvetta.

1 Tausta

Pieniläpimittaisen ensiharvennuspuun korjuu on kalliimpaa kuin korjuu myöhemmissä harvennuksissa ja päätehakkuussa. Lisäksi metsäteollisuus on saanut riittävästi raaka-ainetta ensiharvennuksia edullisemmista kohteista ja tuontipuusta, joten suurta kiinnostusta harvennukseen ei ole ollut.

Myös Pohjois-Satakunnassa korjuukustannuksiltaan kalliit ja kertymältään vähäiset ensiharvennuskohteet ovat usein jääneet korjaamatta kannattamattomina. Tätä ongelmaa lähdettiin ratkaisemaan perustamalla Pohjois-Satakunnan Massahake Oy. Yhtiö jalostaa Massahake-

menetelmää hyödyntäen osapuumenetelmällä korjatusta puusta kuiduttavan teollisuuden vaatimukset täyttävää haketta ja sivutuotteena syntyy puupolttoainetta.

Massahakelaitos aloitti toimintansa Kankaanpäässä toukokuussa 1995. Toiminnan alkuvaiheessa yhtiön pääasiakkaana on ollut koivuhaketta käyttävä tehdas, mutta painopiste siirtyy mahdollisesti jo vuoden 1996 aikana havuhakkeen tuottamiseen.

2 Raaka-ainehuolto

2.1 Raaka-ainevarat

Pohjois-Satakunnan Massahake Oy:n hankinta-alue käsittää 15 metsänhoitoyhdistystä 20 kunnan alueella. Hankinta-alueen metsämaan pinta-ala on 470 000 ha, josta turvemaiden osuus on 22 %. Tällöin puuta kuljetetaan noin 80 kilometrin säteeltä.

Puuston määrä on keskimäärin 104 m³/ha. Puuston kiintotilavuudesta mäntyä on 45 %, kuusta 41 % ja lehtipuuta 14 %. Nuoria kasvatusmetsiä on keskimäärin 29 %.

Massahakkeen puunhankinta keskittyy ensiharvennusmetsiin. Hakkuusuunnitteen mukainen ensiharvennusten pinta-ala hankinta-alueella on vuosittain 8 870 ha. Näistä kertyy kuitupuuta 245 000 m³ ja kaikkiaan biomassaa 360 000 m³ (taulukko 1). Lisäraaka-aineen kertymän oletettiin olevan koivulla 40 %, männyllä 45 % ja kuusella 60 % kuitupuun määrästä.

Taulukko 1. Hankinta-alueen hakkuusuunnitteen mukainen kertymä ensiharvennuksista. Haapa ei ole mukana luvuissa.

Puulaji	Kuitupuun, m ³	Koko biomass, m ³
Mänty	111 700	162 000
Kuusi	58 900	94 000
Koivu	74 400	104 000
Yhteensä	245 000	360 000

Ensiharvennustarpeeseen nähden hakkuita on tehty liian vähän. Vuosina 1991-93 suunnitteen mukaisista ensiharvennuksista toteutettiin 18 %.

2.2 Puunhankinta

Pohjois-Satakunnan Massahake Oy ei ole perustanut omaa hankintaorganisaatiota. Metsänhoitoyhdistykset välittävät raaka-aineen yhtiölle. Kaukokuljetusten ohjaus on keskitetty Massahakkeelle.

Korjuuketjuja suunniteltaessa oppia on otettu eniten Veitsiluoto Oy:stä. Hakkuu tapahtuu valtaosin osapuun siirtely-kaatomenetelmällä. Osapuuhakkuuseen koulutettiin syksyllä 1994 ja 1995 noin 400 metsuria ja metsänomistajaa. Metsäkuljetuksessa käytetään kuormakantavaa metsätraktorikalustoa, maataloustraktoreita ja telamaastureita vakiovarustein.

Kaukokuljetus tapahtuu laidallisella osapuuautolla, jossa on käänöksiin lyhennettävä perävaunu.

Koneellisten hakkuumenetelmien kehitystä on seurattu tiiviisti. Veitsiluodon Pohjois-Suomen ensiharvennuksissa käyttöönottama, Pinomäen kaatavalla kourasahalla varustettu kuormatraktori on osoittautunut riittävän järeissä korjuukohteissa kilpailukykyiseksi mieshakuuseen nähden ja tullaan mahdollisesti ottamaan käyttöön myös Massahakkeen hakkuukohteissa.

Jotta korjuuketjut saadaan toimiviksi, käytännön olosuhteet on tunnettava mahdollisimman hyvin. Leimikkotason puustotunnukset ja kustannusrakenne selvitettiin mittaamalla kaikkiaan 20 leimikkoa. Taulukossa 2 on kuvattu tyypillinen korjuukohde. Puusto- ja kustannusrakennetiedot on esitetty sekä tavaralajimenetelmälle että osapuun siirtelykaatomenetelmälle.

Tavaralajivaihtoehdossa hakkuu oletettiin suoritettavan edullisinta menetelmää käyttäen (kuitu 3,6+ m, silmävarainen katkenta ja kasaus palstalle) 6 cm:n latvaläpimitaan. Massahake-esimerkissä latvaläpimita koivulla on 4 cm ja hakkuumenetelmä osapuun siirtelykaato hyödyntäen myös normaaleja ainespuurunkoja pienempiä runkoja D1,3 6 cm luokkaan asti.

Taulukko 2. Tyypillinen korjuukohde koivuensiharvennuksessa.

Puusto ennen hakkuuta		Poistettava puusto	Osapuumenetelmä	Tavaralajimenetelmä
Tunnus		Tunnus		
Runkoluku	2 400 kpl/ha	Rungon koko	34 l	42 l
Puuston tilavuus	135 m ³ /ha	Poistuma	50 m ³ /ha	50 m ³ /ha
Rungon keskikoko	56 l	Kertymä runkopuuta	47 m ³ /ha	36 m ³ /ha
Leimikon pinta-ala	2 ha	Kertymä oksineen	52 m ³ /ha	36 m ³ /ha
		Hakkuu sivukuluineen	58 mk/m ³	76 mk/m ³
		Metsäkuljetus	24 mk/m ³	22 mk/m ³

3 Massahakelaitoksen tekninen toimivuus

Laitoksen toimivuutta seurataan jatkuvasti pitämällä kirjaa ongelmakohdista, tuotantokatkoksista ja hälytyksistä. Tekninen käyttöaste oli toiminnan aloitusvaiheessa kesäkuussa 96 % ja syksyllä jo yli 99 %. Teknisten ongelmien vuoksi menetetty tuotantoaika jäi sopivimpien säätöjen ja ajoarvojen löydyttyä kohtuullisen pieneksi.

Nykyisillä selluhakkeen ja polttoaineiden hintasuhteilla toiminnan kannattavuuden ratkaisee tuotantokustannusten ohella ennen kaikkea saanto. Kallista kuituraaka-ainetta ei saa hukata polttoainekasaan. Koivuraaka-aineella saanto on vaihdellut 65 prosentista 75 prosenttiin, mikä on vastannut investointivaiheessa asetettuja tavoitteita.

Huolimatta suhteellisen hyvistä saantoluvuista, saantoa pyritään edelleen parantamaan. Tutkimustoiminnan alkuvaiheen merkittävin innovaatio liittyy juuri tähän. Helmikuun alussa 1996 tuotantolinjaan tehtyjen muutostöiden uskotaan parantavan saantoa noin 5 prosenttiyksikköä.

3.1 Selluhakkeen laatu

Selluhakkeen ominaisuuksien seuranta käynnistyi tuotantotoiminnan alettua toukokuussa 1995. Jokaisesta laitokselta lähtevästä hakekuormasta otetaan näyte, josta määritetään kosteusprosentti ja palakokojakauma. Lisäksi kuoripitoisuus analysoidaan viikottain keräilynäytteen avulla.

Selluhakkeen kosteus oli korkeimmillaan toukokuun lopussa ennätysstateiden aikaan noin 45 % ja alimmillaan elokuun alussa pitkien poutien jälkeen 40 %. Puun kuivumisen ei havaittu merkittävästi vaikuttavan kuoren irtoamiseen ja hakkeen laatuun.

Palakokojakaumalla on suuri merkitys hakkeen keittymiseen. Eri keittomenetelmillä on omat palakoko-optimisensa, joihin pyritään parhaan mahdollisen saannon, sellun laadun ja keitettävyyden saavuttamiseksi. Massahakelaitos pystyy sopeutumaan asiakkaan palakokotoivomuksiin varsin pitkälle. Taulukossa 3 esitetään kahden eri tehtaan palakokovaatimuksilla tuotetun hakkeen jakaumat.

Taulukko 3. Selluhakkeen palakokojakaumia. Luvut esittävät seulalle jääneen hakkeen osuutta.

Seulakoko ja fraktio	Palakokojakauma, %	
	Tehdas A	Tehdas B
45 mm reikäseula, ylisuuret palat	0	0
8 mm rakoseula, tikut	4	3
13 mm reikäseula	80	63
7 mm reikäseula	14	30
3 mm reikäseula	1,5	3,5
pohja, läpimitaltaan alle 3 mm puru	0,5	0,5

Massahakelaitoksella pystytään valmistamaan haketta, joka vastaa asiakkaiden yleistä laatuvaatimustasoa kuoripitoisuuden suhteen.

3.2 Polttojakeen laatu

Toiminnan alkuvaiheessa polttojake on ollut koivusta peräisin olevaa puujätettä: kuorta, oksaa ja seulonnan alitetta. Kosteus lämpövoimalaitokselle toimitetussa polttoaineessa on vaihdellut 37 %:sta 50 %:in ja on ollut keskimäärin 42 % (taulukko 4). Tuoretta puuta alhaisempi kosteus selittyy sillä, että kesällä polttojake levitetään ohuena kerroksena varastoaumaan, jossa tapahtuu haihtumista. Lisäksi kesäaikana haketettavan puun kosteus on yleensä alempi.

Polttojake on ollut palakokojakaumaltaan hyvin Kankaanpään Kaukolämpö Oy:n leijupetikattilaan soveltuvaa. Massahakkeen polttojakea poltettiin syksyllä 1995 yhdessä palaturpeen ja purun kanssa. Loppuvuodesta kokeiltiin myös tuoretta lähiseudun sahanpurua yhdessä massahakkeen polttojakeen kanssa ilman ongelmia.

Polttoaineen keskimääräinen energiasisältö on ollut 19,5 MJ/kg kuiva-ainetta. Tuhkapitoisuus oli 0,7 %, mikä on vähän verrattuna turpeen tuhkapitoisuuteen (4 - 5 %).

Tehollinen lämpöarvo on vaihdellut 2,7 MWh:sta 2,9 MWh:in tonnissa polttoainetta, mikä vastaa hyvälaatuista jyrsin-turvetta ja on noin 1 MWh irtokuutiota kohti.

Varastoinnin vaikutusta polttoaineen ominaisuuksiin on tutkinut VTT Energia omassa tutkimuksessaan. Auman lämpötilaa, polttoaineen kosteuden kehittymistä ja kuiva-ainehävikkiä seurattiin auman olemassaolon ajan. Lisäksi kesällä tutkittiin mikrobien määrää kuormauksen yhteydessä.

Alustavien tulosten perusteella auman lämpötila oli koko tarkastelujakson ajan noin 60 astetta, mikä osoittaa mikrobitoimintaa tapahtuvan. Silmämääräisesti tarkastellen merkittäviä muutoksia ei ole havaittu polttojakeen ulkoasussa, mikä viestittää siitä, että suurta kuiva-ainehävikkiä ei ole tapahtunut.

Taulukko 4. Polttojakeen ominaisuuksia.

		Seulakoko ja fraktio	Palakokojakauma, %
Kosteus keskimäärin	42 %	45 mm reikäseula, ylisuuret palat	1
Tuhkapitoisuus	0,7 %	8 mm rakoseula, tikut	4
Kuiva-aineen energiasisältö	19,5 MJ/kg	13 mm reikäseula	20
Tehollinen lämpöarvo	2,7 - 2,9 MWh/tonni	7 mm reikäseula	20
	noin 1 MWh/i-m ³	3 mm reikäseula	30
		pohja, läpimitaltaan alle 3 mm puru	25

Massahakelaitoksen installoitu sähköliittymäteho on vierailijan silmin suuri ja tuotantoketjuun sisältyy öljypohjaisen energian käyttöä metsäkoneissa ja kuljetusvälineissä monessa eri vaiheessa. Laskelmien mukaan koko puun hankinta- ja käsittelyketju ei kuitenkaan kuluta missään oloissa 5 % enempää jalostamastaan energiamäärästä.

Massahakemenetelmä ja ravinnepoistuma rämeen ensiharvennusmännikössä

Seppo Kaunisto

1. Taustaa

Runkopuun hakkuukertymä jää ensiharvennuksissa usein liian pieneksi, jotta harvennus sellaisenaan olisi taloudellisesti kannattavaa. Onkin esitetty, että runkopuun lisäksi pitäisi korjata myös osa latvusmassasta kertymää lisäämään. Tätä varten on kehitetty erityinen ns. massahakemenetelmä, jossa myös osa latvuksesta korjataan, haketetaan ja hakkeesta erotellaan selluloosan raaka-aineeksi sopiva ja polttoon menevä osa (Bioenergia 1991, Seppänen & Ahonen 1994).

Luonnontilaisilla paksaturpeisilla rämeillä on kivennäisravinteita yleensä niukasti (Westman 1981). Ojitus aktivoi mikrobiston hajotustoimintaa ja konsentroi orgaanisesti sitoutunutta fosforia (Kaunisto & Paavilainen 1988, Laiho & Laine 1994), mutta kaliumin määrä pintaturpeessa näyttää pysyvän suunnilleen ennallaan, mikäli alueella ei ole ollut hakkuita (Laiho & Laine 1995). Toisaalta vanhoilla, voimakkain hakkuin käsitellyillä alueilla kaliumin määrä pintaturpeessa saattaa olla vain puolet (30-50 kg/ha 0-20 cm:n pintakerroksessa) vastaavien luonnontilaisten soiden sisältämästä kaliumista (Kaunisto & Paavilainen 1988).

Puustoon sitoutuneiden ravinteiden määrä riippuu luonnollisesti biomassan määrästä. Sulkeutuneissa, varttuneissa rämemänniköissä esim. kaliumia saattaa olla sitoutuneena puuston maanpäällisiin osiin 40-65 kg/ha (Paavilainen 1980, Finér 1991). Noin kaksi kolmasosaa puiden maanpäällisen osan fosforista ja kaliumista on sitoutuneena eläviin oksiiin ja neulasiin (Mälkönen 1974, Paavilainen 1980, Finér 1992). Koska oksa- ja neulasmassa sisältää suuren osan kasvupaikan kaliumista rämeillä, niiden täydellinen korjuu saattaa vaikuttaa huomattavasti kasvupaikan ravinnetalouteen. Toistaiseksi ei kuitenkaan ole tutkimustuloksia siitä, mitä latvuksen osittainen korjuu, kuten esim. massahakemenetelmässä, vaikuttaa ravinnepoistumaan.

Tässä tutkimuksessa selvitetään fosforin ja kaliumin jakaantumista puun maanpäällisiin osiin ja arvioidaan puubiomassan korjuun intensiivisyyden vaikutusta varputurvekankaalta poistuvan fosforin ja kaliumin määrään.

2. Aineisto

Koalue sijaitsee Parkanon Liesinevalla. Alueelle, joka oli ojitettu jo v. 1915 n. 200 m:n levyisiin sarkoihin perustettiin sarkaleveyskoe 1950-luvun puolivälissä ja se lannoitettiin sarkojen poikki sijoitettuna kaistoina 1950-60 -lukujen vaihteessa. Alkuperäinen suotyyppi oli osittain tupasvilla-saranevaa osittain tupasvilla-sararämettä. Suotyyppi tätä tutkimusta tehtäessä oli lähinnä varputurvekangasta. Turpeen typpipitoisuus 0-10 cm:n kerroksessa oli

tehtäessä oli lähinnä varputurvekangasta. Turpeen typpipitoisuus 0-10 cm:n kerroksessa oli keskimäärin lannoittamattomilla koealoilla 1,83 % ja lannoitetuilla 1,81 %, fosforipitoisuus oli vastaavasti 1009 ja 1069 mg/kg sekä kaliumpitoisuus 298 ja 375 mg/kg. Aineisto valittiin 20, 40 ja 60 m:n levyisiltä saroilta sarkojen poikki sijoitetuilta lannoittamattomilta, kertaalleen NPK-lannoitetuilta (1961) ja kahteen kertaan (1965 ja 1977) lannoitetuilta kaistoilta kahdesta toistosta (lohkot 2 ja 3). Kertaalleen lannoitetuilla kaistoilla lannoite- ja ravinne määrät olivat seuraavat: ammoniumsulfaattia 400 kg/ha (N 82 kg), raakafosfaattia 300 kg/ha, (P 43 kg), ja kalisuolaa 100 kg/ha (K 42 kg). Kahteen kertaan lannoitetuilla kaistoilla käytettiin seuraavia lannoite- ja ravinne määriä: v. 1965 loholla 2 PK-lannoitus 500 kg/ha (P 35,5 kg, K 68,5 kg) ja loholla 3 NPK-lannoitus 500 kg/ha (N 70 kg, P 38,5 kg, K 41,5 kg) sekä kummallakin loholla v. 1977 suometsien PK-lannosta 500 kg/ha (P 41 kg, K 79 kg) ja ammoniumnitraattia 400 kg/ha (N 110 kg).

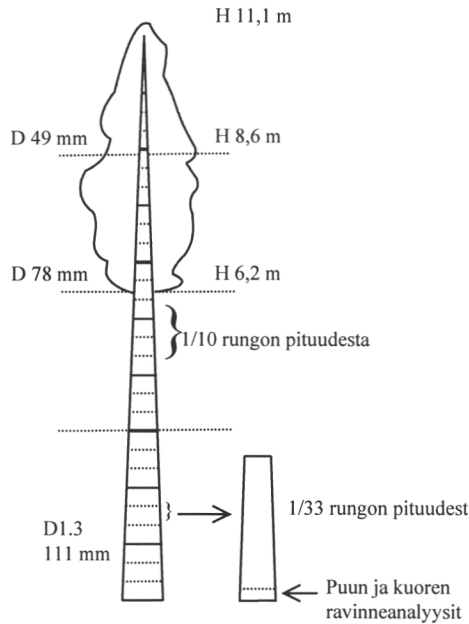
Koealoja oli 2 lohkoa x 3 sarkaleveyttä x 3 lannoituskäsittelyä eli yhteensä 18. Aineisto oli kahteen kertaan hierarkkinen edellä esitetystä järjestyksessä. Aineistosta laskettiin varianssianalyysistä hierarkkisuus huomioonottaen. Koska lannoitus oli sisimpänä muuttujana ovat sen vaikutusta koskevien tilastollisten analyysien tulokset luotettavimmat. Sarkaleveyden vaikutusta ei tässä yhteydessä tarkastella.

Jokaiselta koealalta kaadettiin kaksi koepuuta talvella 1995. Eri lannoituskäsittelyistä pyrittiin saamaan mahdollisimman samankokoisia puita koepuiksi. Tässä ei täysin onnistuttu, koska kokonaan lannoittamattomilta koealoilta oli vaikeata löytää yhtä kookkaita puita kuin lannoitetuilta (taulukko 1). Kaikissa ryhmissä puut kuitenkin edustivat kohtalaisen hyvin ensiharvennuspuuston kokoluokkaa. Lannoitetuissa puissa rungon läpimitta latvuksen alarajalla oli keskimäärin 78 mm ja puolivälissä 49 mm eli vähän suurempi kuin massahakemenetelmässä tavoiteltu 40 mm.

Jokaisen koepuun runko jaettiin kymmeneen yhtä pitkään osaan (kuva 1). Jokaisen osan keskeltä otettiin osan kolmanneksen pituinen pölkky, josta mitattiin tyvi- ja latvaosan läpimitat kuoren päältä ja alta. Pölkkyt kuorittiin. Jokaisen pölkyn alaosa katkaistiin kiekko. Puukiekkoja samoin kuin kuorinäytteitäkin yhdisteltiin rungon pystysuunnassa edustamaan 1-3/10, 4-6/10, 7-8/10 ja 9-10/10 puun pituudesta. Latvus jaettiin kahteen yhtä pitkään osaan. Latvuksen alarajaksi määriteltiin se kohta, josta ylöspäin jokaisen oksakiekkuran kohdalla oli vähintään yksi elävä oksa. Tämän alapuolelle mahdollisesti jäävät oksat yhdistettiin latvuksen alaosaan massa. Kaikki oksat irrotettiin. Jokaisesta oksakiekkurasta otettiin yksi näyteoksa

Taulukko 1. Koepuiden tunnuksia eri lannoituskäsittelyissä.

Puustotunnus	Lannoittamaton	Lannoitus v. 1961	Lannoitus v. 1965 ja 1977
H, m	9,0	10,8	11,3
Latvusraja, m	4,9	6,3	6,2
Latvus-%	46,9	41,52	46,0
Latv. puoliv., m	6,9	8,5	8,7
D1,3, cm	10,8	10,6	11,6
D latv. -raja, cm	7,5	7,4	8,2
D latv. puoliväli, cm	4,4	4,8	5,0



Kuva 1. Näytteiden otto puun eri osista Liesinevalla talvella 1995. Latvuksesta otettiin yksi oksa jokaisesta oksakiehkurasta. Tunnusluvut ovat lannoitettujen puiden keskiarvoja.

jatkokäsittelyyn. Kaikki oksat ja koeoksat punnittiin tuoreina neulasineen. Neulaselliset koeokkien osat erotettiin muusta oksamassasta ja kuivattiin sekä eroteltiin neulaset oksista. Oksat palautettiin muun koeoksamassan joukkoon.

Puu jaettiin näin kahteentoista ositteeseen; runko- ja kuorimassa kumpikin neljään sekä oksa- ja neulasmassa kumpikin kahteen. Kaikista ositteista määritettiin kuivamassat sekä fosfori- ja kaliumpitoisuudet. Alkuaineanalyysejä varten saman koealan näytepuut yhdistettiin.

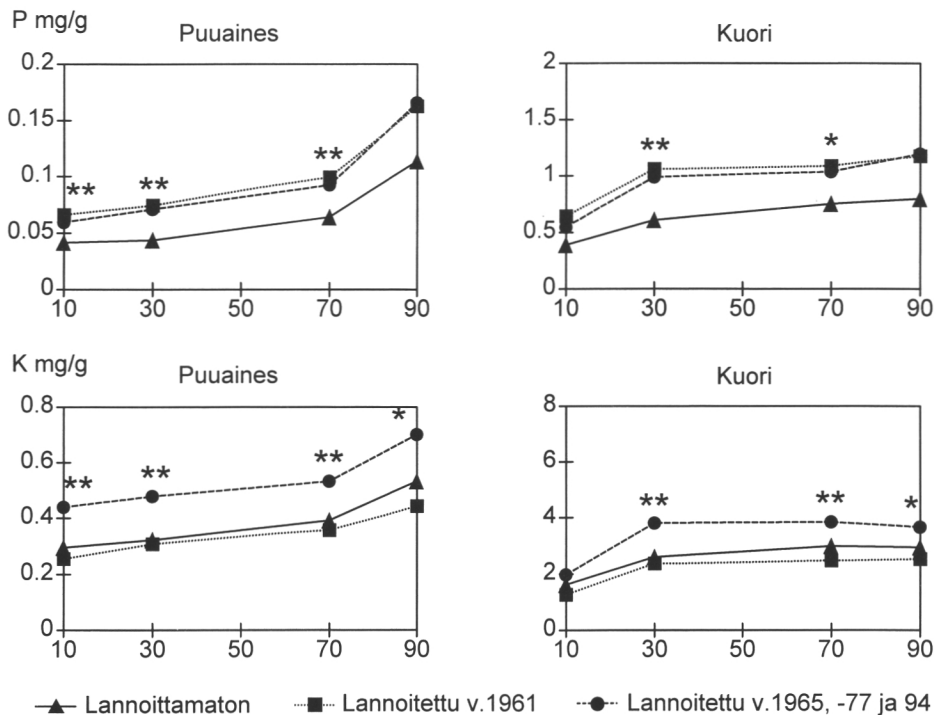
3. Tulokset ja tarkastelu

3.1. Ravinnepitoisuudet puun eri osissa

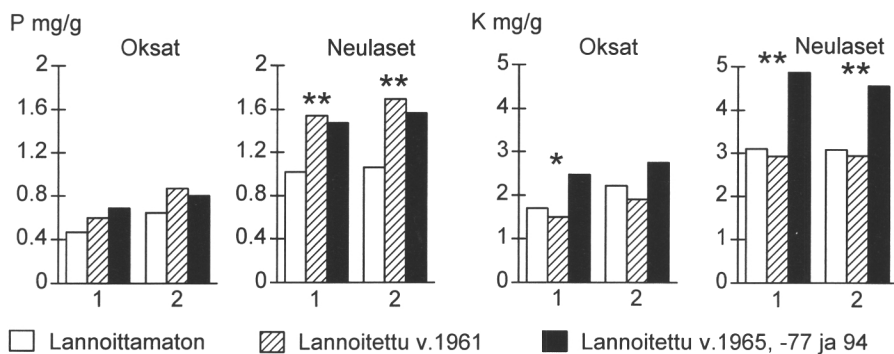
Lannoitus lisäsi voimakkaasti puun kaikkien ositteiden fosforipitoisuuksia, ja oksia lukuunottamatta, tilastollisesti merkitsevästi (kuvat 2 ja 3). Yli kolmekymmentä vuotta näytteenottohetkeä ennen kertaalleen lannoitetuilla koealoilla fosforipitoisuudet olivat varsin samanlaisia kuin kahteen kertaan lannoitetuillakin koealoilla. Kummassakin tapauksessa neulasten fosforipitoisuudet latvuksen yläosassa olivat vielä kohtalaisen fosforiravitsemuksen tasolla (Paarlahti ym. 1971). Sen sijaan lannoittamattomat puut kärsivät voimakkaasta fosforinpuutoksesta. Tämä tukee aiempia tuloksia fosforilannoituksen pitkstä vaikutusajasta (esim. Kaunisto 1989).

Lannoitus lisäsi voimakkaasti myös puun kaikkien ositteiden kaliumpitoisuuksia, mutta vain kahteen kertaan lannoitetuilla kaistoilla (kuvat 2 ja 3). Puun, kuoren ja neulasten kaliumpitoisuudet kohosivat yleensä tilastollisesti merkitsevästi. Oksissa vaikutus oli vähäisempi (kuva 3). Puun eri osien kaliumpitoisuudet olivat kertaalleen lannoitetuilla koealoilla samalla tasolla kuin lannoittamattomillakin ja kummassakin tapauksessa neulasissa selvästi puutosrajan alapuolella (kuvat 2 ja 3). Kaliumlannoituksen vaikutusajan on myös muissa tutkimuksissa todettu jäävän huomattavasti fosforin vaikutusta lyhytaikaisemmaksi (esim. Kaunisto 1989). Tässä tutkimuksessa epäsuhdetta korosti vielä kaliumin pieni käyttömäärä. Kahteen kertaan lannoitetuilla puilla neulasten kaliumpitoisuudet olivat puolitoista- kaksinkertaisia edellä mainittuihin verrattuna osoittaen vielä kohtalaista kaliumravitsemusta (Paarlahti ym. 1971, Sarjala & Kaunisto 1993).

Ravinnepitoisuudet olivat korkeimpia neulasissa ja matalimpia puuaineksessa (kuvat 2 ja 3). Kuoren ravinnepitoisuudet rungon yläosassa (latvuksen sisällä, kuva 2) olivat vain vähän neulasten pitoisuuksia matalampia. Kuoren ja puuaineksen ravinnepitoisuudet olivat yleensä sitä korkeampia mitä ylempää puusta näyte oli otettu. Samoin oksien ravinnepitoisuudet olivat korkeampia latvuksen ylä- kuin alaosassa. Koko puuta kohden laskettuna puuaineksen, kuoren ja oksien ravinnepitoisuudet olivat jonkin verran korkeampia kuin Paavilaisen (1980) ja Finérin (1991) aineistoissa.



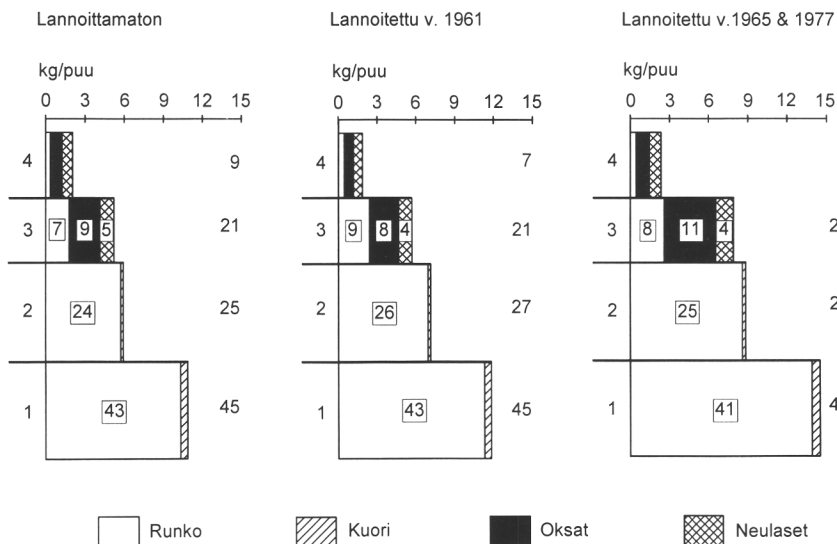
Kuva 2. Lannoituksen vaikutus puuaineksen ja kuoren fosfori- ja kaliumpitoisuuksiin. Liesineva koe 4 v. 1995.



Kuva 3. Lannoituksen vaikutus oksien ja neulasten fosfori- ja kaliumpitoisuuksiin. Liesineva koe 4 v. 1995.

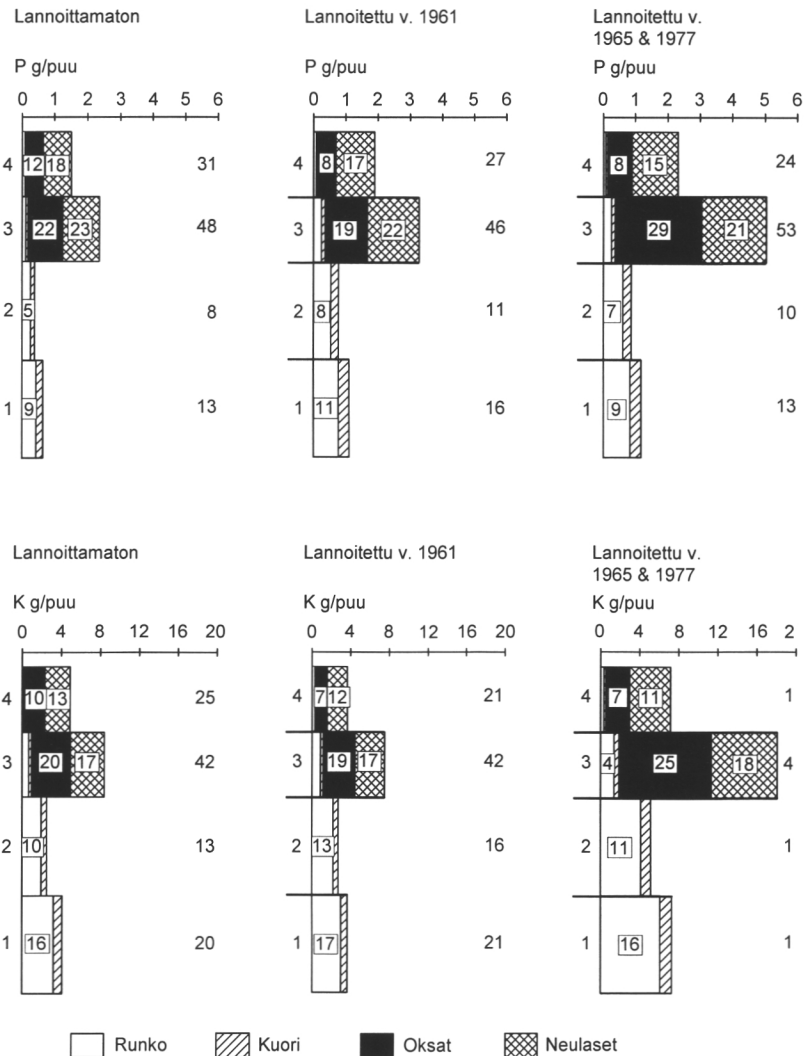
3.2. Biomassan ja ravinnemäärien jakaantuminen

Aineisto pyrittiin keräämään mahdollisimman samankokoisista puista lähinnä ravinteiden jakaantumisen selvittämiseksi puun eri osissa ravinnetalouden suhteen tasapainoisissa olosuhteissa ja toisaalta ravinnepuutostilanteessa. Vaikka tutkimukseen ei saatukaan aivan samankokoisia puita edustamaan eri lannoituskäsittelyjä (taulukko 1, kuva 4), oli biomassan jakaantuminen ositteisiin eri lannoituskäsittelyissä verrattain samanlainen, poikkeuksena ehkä kuitenkin oksamassa, jonka osuus oli kahteen kertaan lannoitetuilla jonkin verran muita suurempi (kuva 4). Koko oksamassan osuus puun maanpäällisen osan massasta oli 14-15 % ja latvuksen alapuoliskon oksamassan osuus 8-11 %. Koko neulasmassan osuus oli 5-7 %.



Kuva 4. Biomassan jakautuminen puun eri osiin. Luvut kuvan sisällä ovat ositteiden osuus %:ina puun koko maanpäällisestä kuivamassasta. 1=1-30 %, 2=31-60 %, 3=61-80 % ja 4 =81-100 % kokonaispituudesta kannon tasolta ylöspäin. Liesineva koe 4 v. 1995.

Puun maanpäällisen osan fosforista ja kaliumista valtaosa oli latvuksessa (kuva 5). Oksat ja neulasat sisälsivät yhteensä n. 70 % puun fosforin ja n. 60 % sen kaliumin määrästä. Tulokset eivät oleellisesti poikkea aiemmista (Mälkönen 1974, Paavilainen 1980, Finér 1989, 1991). Fosforia oli sitoutunut latvukseen suhteellisesti jonkin verran enemmän kuin kaliumia. Sen sijaan runkokuussa tilanne oli päinvastoin. Neulasmassan osuus puun fosforin määrästä oli 36-41 % ja kaliumin määrästä n. 30 % sekä oksamassan osuus vastaavasti 27-37 ja 26-32 %. Kaikissa tapauksissa fosforia ja kaliumia oli sitoutuneena eniten latvuksen alempaan puolikkaaseen, jossa fosforia oli lannoittamattomissa ja kertaalleen lannoitetuissa hiukan alle ja kahteen kertaan lannoitetuissa jonkin verran yli puolet puun koko maanpäällisen osan sisältämästä fosforista (kuva 5). Kaliumin osuus oli jonkin verran fosforin osuutta pienempi.



Kuva 5. Fosforin ja kaliumin määrät lannoittamattomilla ja lannoitetuilla puilla eri ositteissa, sekä niiden osuudet (%) puun koko maanpäälliseen osaan sitoutuneesta fosforista ja kaliumista. 1 = 1-30 %, 2=31-60 %, 3 =61-80 % ja 4=81-100 % kokonaispituudesta kannon tasolta ylöspäin.

Lannoituksen vaikutusta ravinnemääriin ei voida vertailla harhattomasti tässä aineistossa, koska ravinnemäärät riippuvat pitoisuuden lisäksi myös massasta ja koska massojen välistä eroa pyrittiin tietoisesti minimoimaan. Lannoituksen vaikutusta ravinnemäärien suhteellisiin osuuksiin puun maanpäällisissä osissa sen sijaan voidaan vertailla. Lannoitus vähensi jonkin verran latvuksen ylemmän osan fosfori- ja kaliummäärien osuutta, mutta lisäsi niiden osuutta latvuksen alaosassa, erityisesti oksissa.

3.3. Puuston kuivamassan ja ravinteiden poistuman riippuvuus harvennuksen voimakkuudesta ja korjuutavasta

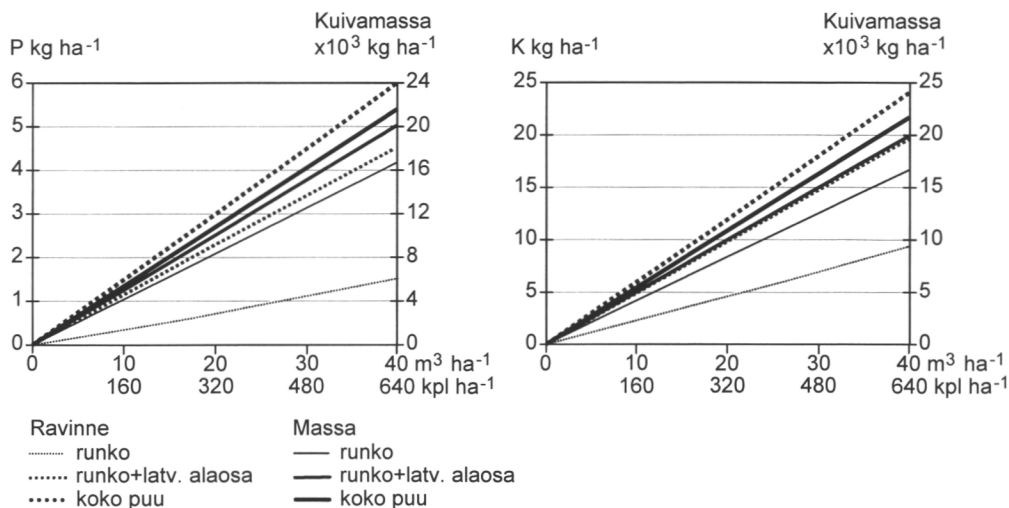
Pelkän latvuksen alapuolisen runkopuun korjuulla kuivamassan saanto koko maanpäällisestä biomassasta olisi tässä aineistossa 69-72 % ja jos runkopuu korjattaisiin latvuksen puoliväliin saakka 77-81 % (kuva 4, taulukko 2). Latvuksen alapuoliskon oksien ja neulasten ottaminen mukaan kohottaisi kuivamassan saannon 91-93:iin koko kuivamassan määrästä. Vastaavasti fosforin poistumat olisivat 21-27, 23-30 ja 69-76 % sekä kaliumin poistumat 15-16, 38-43 ja 75-81 % koko maanpäällisen kuivamassan sisältämästä fosforista ja kaliumista. Latvuksen alaosan oksien ja neulamassan korjuu lisäisi latvuksen alapuolisen runkopuun korjuuseen verrattuna saantoa n. kolmanneksella, mutta lisäisi fosforin poistuman n. kolminkertaiseksi ja kaliumin poistuman 2-2,5 -kertaiseksi (taulukko 3). Massan saannon lisääntymiseen verrattuna ravinteiden poistuma lisääntyisi näin moninkertaisesti.

Taulukko 2. Kuivamassan saannon sekä fosforin ja kaliumin määrän osuus (%) koko maanpäällistä biomassaa kohden lasketuista määristä käytettäessä runkopuunkorjuuta ja sen lisäksi oksa- ja neulamassan korjuuta.

Korjuutapa	Kuivamassa	P	K
1. Runkopuu latvuksen alaosaan	69-72	21-27	33-37
2. Runkopuu latvuksen puoliväliin	77-81	23-30	38-43
3. Kohta 2 + oksat ja neulaset puoliväliin	91-93	69-76	75-81

Taulukko 3. Kuivamassan saannon sekä fosforin ja kaliumin määrän lisäys (%) verrattuna runkopuun korjuuseen latvuksen alaosaan saakka, käytettäessä runkopuunkorjuuta ja sen lisäksi oksa- ja neulamassan korjuuta.

Korjuutapa	Kuivamassa	P	K
1. Runkopuu latvuksen puoliväliin	10-13	13-18	15-16
2. Kohta 1 + oksat ja neulaset puoliväliin	29-33	170-230	114-145
4. Kokopuunkorjuu	39-43	270-376	170-233



Kuva 6. Biomassan sekä fosforin ja kaliumin poistuma runkopuun kuutiomäärän funktiona latvuksen käyttöasteen suhteessa erilaisissa korjuutavoissa.

Harvennuskertymän ollessa 30-40 m³/ha korjuu on taloudellisesti kannattavaa. Jos runkopuu tässä aineistossa korjattaisiin latvuksen puoliväliin saakka (49 mm:n läpimittaan) kuivamassaa kertyisi 30 m³:n mukaan n. 12 500 kg/ha (kuva 6). Otettaessa mukaan myös tämän osan oksa- ja neulasmassa kuivamassan saanto olisi n. 15 000 kg/ha. Fosforin poistuma olisi vastaavasti 1,2 ja 3,4 ja kaliumin poistuma 7 ja 15 kg/ha. Kokopuun korjuussa kuivamassan saanto olisi 16 400 kg/ha sekä fosforin ja kaliumin poistuma vastaavasti 4,5 kg 18 kg/ha, mikä on n. 1/3 -1/5 20 cm:n paksuisen pintaturvekerroksen sisältämistä kaliumvaroista ojitetulla rämeellä (Laine & Laiho 1993, Kaunisto & Paavilainen 1988). Kaliumin poistuma olisi näin ollen huomattavan suuri kasvupaikan kaliumvaroihin nähden.

Em. laskelmissa on käytetty lannoitettujen puiden keskiarvoja. Puukohtaiset ravinne määrät olivat niissä suurempia kuin lannoittamattomissa. Puukohtaiset lannoitettujen puiden kuivamassat olivat n. puolitoistakertaisia lannoittamattomiin verrattuna, joten saman hakkuukertymän saavuttamiseksi kuivamassana lannoittamattomia puita tarvittaisiin vastaavasti puolitoistakertainen lukumäärä. Yhtä suuren hakkuukertymän mukaan arvioituna ravinne määrien poistuman erot eri lannoituskäsittelyistä ovatkin vähäiset. Tämän lisäksi lannoittamattomien ja kertaalleen lannoitettujenkin alueiden puustot kärsivät niin voimakkaasta kaliumin puutuksesta, että niiden kasvu oli erittäin hidasta ja hengissä säilyminenkin kyseenalaista.

Päätelmät

Suopuustojen harvennusahakuut ovat teknistaloudellisesti ongelmallisia, koska hakkuukertymä on usein verrattain pieni ja korjuu edellyttää enemmän taitoa ja olosuhteiden huomioon ottamista kuin kivennäismailla. Puuston kestävä kehityksen kannalta ongelmia

aiheuttaa se, että hakkuut selvästi lisäävät ravinteiden epätasapainoa ainakin rämeillä, joilla erityisesti kaliumia on niukasti.

Huomattava osa kasvupaikan kaliumista rämeillä poistuu jo ensimmäisessä harvennushakkuussa, jos runkokuun lisäksi korjataan latvuksen alaosan oksia ja neulasia, kuten massahakemenetelmässä ja erityisesti, jos käytetään kokokuun korjuuta. Toisaalta, hakkuun jälkeen jäävällä puustolla on enemmän juuristotilaa ja näin myös ravinteita käytettäväksi ainakin hetkellisesti. Joissakin tapauksissa hakkuissa poistuvan kaliumin määrä saattaa kuitenkin olla kriittinen puuston pitkän aikavälin kehitykselle. Em. korjuumenetelmää käytettäessä tulisikin tarkoin seurata puuston ravinnetilan kehittymistä ainakin silmävaraisesti, mutta tarpeen mukaan myös neulasanalysein ja varautua kaliumlannoitukseen. Korjuumenetelmän vaikutus ravinnetalouteen tulisi ottaa huomioon jo korjuusuunnitelmaa tehtäessä.

Kirjallisuus

- Finér, L. 1989. Biomass and nutrient cycle in fertilized and unfertilized pine, mixed birch and pine and spruce stands on a drained mire. Seloste: Biomassa ja ravinteiden kierto ojitusalueen lannoitetussa ja lannoittamattomassa männikössä, koivu-mäntysekametsikössä ja kuusikossa. Acta Forestalia Fennica 208. 63 s.
- Finér, L. 1991. Effect of fertilization on dry mass accumulation and nutrient cycling in Scots pine on an ombrotrophic bog. Seloste: Lannoituksen vaikutus männyn kuivamassan kertymään ja ravinteiden kiertoon ombrotrofisella rämeellä. Acta Forestalia Fennica 233. 42 s.
- Kaunisto, S. 1989. Jatkolannoituksen vaikutus puuston kasvuun vanhalla ojitusalueella. Summary: Effect of refertilization on tree growth in an old drainage area. Folia Forestalia 724. 15 s.
- Kaunisto, S. & Paavilainen, E. 1988. Nutrient stores in old drainage areas and growth of stands. Seloste: Turpeen ravinnevarat vanhoilla ojitusalueilla ja puuston kasvu. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 145. 39 s.
- Laiho, R. & Laine, J. 1994. Nitrogen and phosphorus stores in peatlands drained for forestry in Finland. Scandinavian Journal of Forest Research 9: 251-260.
- Laiho, R. & Laine, J. 1995. Changes in mineral element concentrations in peat soils drained for forestry in Finland. Scandinavian Journal of Forest Research 10: 218-224.
- Mälkönen, E. 1974. Annual primary production and nutrient cycle in some Scots pine stands. Seloste: Vuotuinen primäärituotos ja ravinteiden kiertokulku männikössä. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 84(5). 87 s.
- Paarlahti, K., Reinikainen, A. & Veijalainen, H. 1971. Nutritional diagnosis of Scots pine by needle and peat analysis. Seloste: Maa- ja neulasanalyysi turvemaiden männiköiden ravitsemustilan määrittämisessä. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 74(5). 58 s.
- Paavilainen, E. 1980. Effect of fertilization on plant biomass and nutrient cycle on a drained dwarf shrub pine swamp. Seloste: Lannoituksen vaikutus kasvubiomassaan ja ravinteiden kiertoon ojitetulla isovarpuisella rämeellä. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 98(5). 71 s.
- Sarjala, T. & Kaunisto, S. 1993. Needle nutrient concentrations and potassium nutrition in Scots pine. Tree Physiology 13: 87-96.
- Seppänen, V. & Ahonen, M. 1994. MASSAHAKE-menetelmän soveltaminen koivulle sekä hierteen raaka-ainetuotantoon. Abstract: Application of MASSAHAKE-method for birch wood and for the production of raw material for mechanical wood production. Bioenergia, bioenergian tutkimusohjelma. Julkaisu 6, osa I:175-188. VTT Energia, Jyväskylä.
- Westman, C. J. 1981. Fertility of surface peat in relation to the site type and potential stand growth. Seloste: Pintaturpeen viljavuustunnukset suhteessa kasvupaikkatyypin ja puuston kasvupotentiaaliin. Acta Forestalia Fennica 172. 77 s.

Laiho, O. & Luoto, T. (toim.). 1996. Metsäntutkimuspäivä Porissa 1995. MT 593.

Ojitusaluepuuston ravinnetalouden arviointi metsätaloussuunnittelussa

Markku Saarinen

Johdanto

Nevamaiset ja alunperin märät ojitusalueet (nevat, nevarämeet ja nevakorvet) ovat kasvupaikkoja, joilla puuston mineraaliravinteiden puutokset ovat yleisimmillään. Suon ojitusta edeltäneestä vesitaloudesta, turpeen ominaisuuksista ja turvekerroksen paksuudesta sekä hakkuista ja lannoituksista riippuen puiden käytettävissä olevien mineraaliravinteiden määrät voivat olla tyypeen nähden pienet. Esimerkiksi turpeen kaliumin huuhtoutuminen voi johtaa nopeasti ilmeneviin puutosoireisiin. Ojituksen jälkeen kehittyvä puusto sitoo kuitenkin osan käytettävissä olevasta kaliumista metsäekosysteemin ravinnekiertoon, eivätkä hakkaamattomat ojittujen nevarämeiden puustot näytä kärsivän kaliumin niukkuudesta (Laiho & Laine 1992). Hakkuin käsiteltyjen vanhojen ojitusalueiden ravinnekierrosta kaliumia poistuu runkokuun mukana. Suhteessa puuston sitomiin ravinnemääriin, saattavat säännöllisesti hoidettujen ojitusalueiden turpeiden kaliumvarat olla niin vähäiset, että ne rajoittavat seuraavan puusukupolven kasvua (Kaunisto & Paavilainen 1988). Entisillä rimpipinoilla ja muilla voimakkaasti huuhtoutuneilla ojitusalueen osilla puutosoireet voivat tulla hyvinkin voimakkaina näkyviin jo ensimmäisen puusukupolven aikana.

Pohjois-Satakunnassa sijaitsevan Kankaanpään massahakelaitoksen puunkorjuun kehittämiseksi on tehty useita erilaisia selvityksiä, joista yksi liittyi korjuun ravinnetalousvaikutuksiin. Kyseessä oli pienimuotoinen tutkimus männyn ravinnepuutosten ennustamismahdollisuuksista metsätaloussuunnittelun yhteydessä käytettäessä sen apuna maastossa helposti arvioitavia kasvupaikkamuuttujia. Tavoitteena oli siis löytää metsätaloussuunnittelun rutiineihin soveltuva menettely ongelmallisimpien kohteiden tunnistamiseksi.

Aineisto

Tutkimus rajattiin Honkajoen Rynkäsen kylässä 1994 laaditun metsätalouden aluesuunnitelman ojitusaluekuvioilta valituille nevamaisille kasvupaikoille. Suunnitelman tekijä merkitsi jokaiselle maastossa kohtaamalleen ja nevamaiseksi luokittelmalleen kuvioille aarin kokoisen koelan. Koelat valittiin subjektiivisesti siten, että kyseisillä kasvupaikoilla esiintyvä pintakasvillisuuden ja puuston vaihtelu tulisi mahdollisimman hyvin edustetuksi. Koelalta valittiin yksi neulasnäytekoepuu sekä valtapuuston männyistä että mahdollisista alikasvoskuusista. Neulasnäytteiden lisäksi otettiin turvenäytteet. Vallitsevasta puustosta mitattiin pohjapinta-ala relaskoopilla sekä keskipituus. Muita mitattuja puustotunnuksia olivat neulasnäytepuun elävän latvusrajan korkeus suhteessa puun pituuteen, versosurman kuivattamien alaoksien osuus latvuksesta, alikasvoskuusten lukumäärä koelalla, niiden

keskipituus ja maininta näkyvien kaliumpuutosoireiden esiintymisestä. Kasvupaikasta määritettiin suotyyppi, eri sammalkasvustojen peittävyys, turvekerroksen paksuus sekä turpeen maatuneisuus ja turvelaji. Kuivatusteknisistä tunnuksista luokitettiin ojaverkoston kunto, sarkaleveys ja koealan sijainti saralla (etäisyys ojasta). Turpeen ojituksen jälkeistä painumista pyrittiin arvioimaan mittaamalla mätäs- ja nevapintojen keskimääräinen korkeusero. Kaikkiaan mitattiin ja analysoitiin 45 koealaa, joista 29:llä koealalla esiintyi vallitsevan mäntypuuston lisäksi alikasvoskuusia.

Tulokset

Otantaan valikoitui 24 alkuperäiseltä suotyypiltään nevarämeeksi (VSR tai RhSR) ja 21 nevaksi (VSN tai RhSN) määritettyä ojitusaluekuviota. Valtaosa kohteista oli mittaushetkellä luokiteltavissa puolukkaturvekankaaksi. Rämekohteiden vallitsevan puuston keskipituus oli n. 15 m ja "nevakohteilla" 12 m. Vastaavat runkopuutilavuudet hehtaarilla olivat 142 ja 106 m³. Koivun osuus puustosta oli molemmissa ryhmissä keskimäärin 6 %.

Männyn neulasten typpipitoisuudet vaihtelivat välillä 13-18 mg/g, joten typen puutosta ei esiintynyt. Fosfori-, kalium- ja booripitoisuudet vaihtelivat vastaavasti väleillä 1.0-1.9 mg/g (P) ja 2.4-6.2 mg/g (K) sekä 2.6.-30.0 mg/kg (B). Fosforin ja kaliumin pitoisuudet olivat puutosrajan alapuolella puolella havainnoista. Boorinpuutosta esiintyi kolmanneksella.

Faktorianalyysin avulla ryhmiteltiin aineiston toisistaan selvimmin riippuvat muuttujat erillisiksi muuttujaryhmiksi eli faktoreiksi, joista eniten havaintoaineiston vaihtelua kuvaavaan faktoriin vaikuttivat voimakkaimmin männyn kalium- ja booripitoisuus sekä kasvupaikkamuuttujista erityisesti turpeen paksuus. Fosforin ja typen pitoisuudet eivät olleet riippuvuussuhteessa mihinkään mitatuista kasvupaikkamuuttujista. Koska mitatuista muuttujista osa oli luokittelevia (suotyyppi, lannoitus, kunnostusojitus), laadittiin lisäksi ennustemalli, jossa kunkin ravinteen puutostilan esiintymisen todennäköisyyttä testattiin ns. logistisella regressioanalyysillä. Turpeen paksuus ja alkuperäinen, ennen ojitusta vallinnut suotyypiryhmä (nevat tai rämeet) olivat muuttujia, joiden avulla männyn kaliumin ja boorin puutostilat olivat parhaiten ennustettavissa. Kaliumin puutoksen esiintymistodennäköisyys oli korkeimmillaan paksuturpeisilla (yli 60 cm) nevojen ojitusalueilla. Ohutturpeisilla (alle 30 cm) soilla puutostapauksia esiintyi vain entisillä nevoilla. Boorin puutokset ilmenivät turpeen paksuuden suhteen päinvastaisissa tilanteissa. Lähes kaikilla ohutturpeisilla kohteilla männyn kärsivät boorin puutoksesta mutta yli 30 cm:n turvekerroksilla vain nevojen ojitusalueilla.

Tutkimuksen tavoitteena oli vastata myös kysymykseen, kuvaako alikasvoskuusten kaliumravitseminen myös valtapuuston ravinnetilaa. Alikasvoskuusten kaliumpitoisuus oli riittävän ravitsemustilan vallitessa aina samalla paikalla kasvavan ylispuumännyn kaliumpitoisuutta korkeampi. Männyn kaliumpitoisuuden laskiessa vastaava pitoisuuden lasku kuusella oli kuitenkin huomattavasti suurempi, jolloin kaliumin puutosrajalla (männyllä 4 mg/g) pitoisuudet olivat kummallakin puulajilla likimain samalla tasolla. Kuusen näkyvä kaliuminpuutos (pitoisuus alle 4.0 mg/g), kuvaa näin ollen puutosrajan alitusta myös valtapuuston männyissä.

Päätelmiä

Tehty tutkimus oli tarkoitettu esitutkimuksen luonteiseksi, joten kustannussyistä myös aineisto oli varsin suppea. Se ei siis ole yleistämiskelpoinen. Siitä huolimatta se antaa selviä viitteitä siitä, että metsätaloussuunnittelun maastotyövaiheessa alikasvoskuusia tarkkailemalla valtaapuuston kunnostuslannoitustarpeen voi koodata kuviolle riittävän luotettavasti. Mikäli alikasvoksia ei esiinny, tarvitaan lannoitustarpeen ennustamiseen vain kohtalainen suotyypituntemus ja mukana kulkeva suorassi. Koska puiden neulasten ravinnepitoisuudet vaihtelevat voimakkaasti myös puiden terveydentilan ja sääolojen vaihtelun myötä, ei esitetty karkea "analytiikka" poista neulasten kemiallisten analyysien tarvetta. Se antaa kuitenkin yksinkertaisen mahdollisuuden kohdentaa ravinnetalouden seuranta kaikkein kriittisimmille ojitusalueille.

Kirjallisuus

- Kaunisto, S. & Paavilainen, E. 1988. Nutrient stores in old drainage areas and growth of stands. Seloste: Turpeen ravinnevarat vanhoilla ojitusalueilla ja puuston kasvu. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 145. 39 s.
- Laiho, R. & Laine, J. 1992. Potassium stores in peatlands drained for forestry, Proceedings of the 9th International Peat Congress. June 22-26, 1992. Uppsala, Sweden, 1(3): 158-169.

Männyn ja kuusen kalitilanteen biokemiallinen määrittäminen

Tytti Sarjala

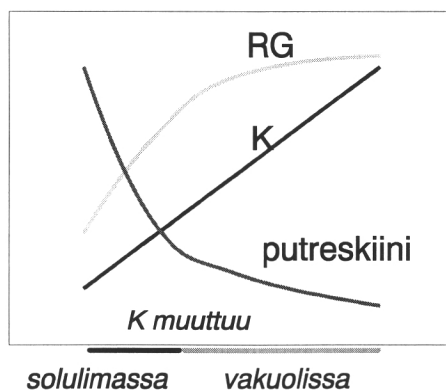
1. Kaliumin fysiologisia erityispiirteitä kasviraivanteena

Kaliumin vaikutus puiden terveydentilaan on saanut kasvavaa huomiota osakseen, koska mm. ojitusalueiden puustoissa havaitut merkittävät ravinneongelmat ovat usein kaliuminpuutoksen aiheuttamia. Kaliumin erityispiirre muihin pääravinteisiin verrattuna on, ettei se esiinny rakenteellisena osana orgaanisissa yhdisteissä kuten esim. typpi ja fosfori vaan se on aina liukoisena soluissa ja on helposti liikkuva puun sisäisessä ravinnekierrossa. Kaliumin tehtävät liittyvät pääasiassa eri entsyymitoimintojen aktivoimiseen, solun ionitasapainon, vesitalouden ja pH:n säätelyyn sekä kalvojen toimintaan. Lisäksi kaliumin jakaantuminen solun eri osiin, vakuoliin ja solulimaan, vaikuttaa kaliumpitoisuuden säätelyyn ja puutosrajoihin.

Kaliumpitoisuuden aleneminen tapahtuu eräiden tutkimusten mukaan aluksi vain solun vakuolissa (Leigh & Wyn Jones 1984), jonka tehtäviin kuuluvat mm. osmoottisen tasapainon ja pH:n säätely. Tämä pitoisuuden lasku voidaan korvata muilla ioneilla, jolloin vaikutus kasvuun jää vähäiseksi. Sen sijaan vakuolin K-pitoisuuden alentuessa tiettyyn rajaan saakka, pitoisuus alkaa laskea myös muualla solulimassa, jolloin vaikutus heijastuu mm. entsyymitoimintoihin, proteiinisynteesiin ja tätä kautta myös kasvuun. Tätä teoriaa tukevat männyn taimilla saadut tulokset kontrolloiduissa olosuhteissa (Sarjala 1996). Kaliumpitoisuuden alentuessa kasvunopeus hidastuu aluksi jonkin verran ja putreskiinipitoisuudet kasvavat. Kasvunopeus hidastuu selvästi kaliumpitoisuuden alentuessa tasolle, jossa putreskiinia kertyy runsaasti (kuva 1). Samoista taimista tehdyt mikroskooppihavainnot paljastivat muutoksia vakuolien koossa kaliumpitoisuuden muuttuessa (Jokela ym. 1995). Soluvakuolien mahdollinen kyky ikäänkuin puskuroida kasvin kaliuminpuutoksen vaikutuksia mahdollisimman pitkään voisi selittää silminhavaittavan kaliuminpuutoksen ilmenemisen usein yllättäen ja nopeasti.

2. Mitä neulasten kaliumpitoisuus meille kertoo?

Kuten hyvin tiedämme kaliumin, kuten muidenkin ravinteiden, pitoisuus vaihtelee eri vuodenaikoina, eri latvuksen osissa sekä eri neulasvuosikerroissa. Tämän vuoksi puiden ravinnetilaa tutkitaan tavallisesti tietyistä kohtaa latvusta, viimeisestä neulasvuosikerrasta talvella, jolloin puun elintoiminnot ovat levossa. Kuitenkin kaliumin kuten muidenkin ravinteiden osalta kasvukauden olosuhteet määräävät osaltaan miten paljon ravinteita tarvitaan. Mikäli kasvukausi on edullinen esim. lämpötilan ja kosteuden suhteen, kasvunopeus ja samalla myös kaliumin tarve kasvavat. Alhainenkaan kaliumin saatavuus ei välttämättä aiheuta puutosoireita, jos jostakin muusta syystä kasvunopeus on alhainen. Lepokauden näytteitä voidaan tulkita luotettavammin, koska tarve on tällöin vakio.



Kuva 1. Kaavakuva kasvunopeuden (RG) muutoksesta kalium- ja putreskiinipitoisuuden muuttuessa männyn neulasissa.

3. Polyamiinit ravinnetutkijan työkaluna

Polyamiinit, joista yleisimmät ovat putreskiini, spermidiini ja spermiini, vaikuttavat monin eri tavoin kasvien kasvuun, erilaistumiseen ja elintoimintoihin. Tarkoituksenamme on ollut muokata niistä sopiva työkalu ravinnetutkimuksen käyttöön. Niiden avulla voidaan mm. indikoida puiden stressiä ja ravinnetilaa, erityisesti kaliumin puutosta (Sarjala 1993). Polyamiinianalyysiä on ruvettu soveltamaan kaliumtilanteen arvioimiseksi eri metsänhoidollisissa tilanteissa myös kasvukauden aikana (Sarjala & Kaunisto 1993, 1996) sekä kriittisten kaliumpitoisuuksien arvioimiseen männyllä ja kuusella.

3.1. Kaliumin tarve vaihtelee vuodenaikojen mukaan

Käytännössä näytteiden keräys talvella on usein hankalaa. Toisaalta kaliumpitoisuuden kasvukauden aikaiset vaihtelut tekevät ravinneanalyysin kesänäytteistä vaikeaksi tulkita. Tämän vuoksi vuosina 1992-1993 tutkittiin putreskiinin ja kaliumin välisiä suhteita eri vuodenaikoina Kurussa aiemmin perustetuilla kalilannoituskokeilla (Sarjala & Kaunisto 1996). Tarkempi selvitys koejärjestelyistä on esitetty aiemmin (Sarjala & Kaunisto 1993). Osoittautui, että kesällä putreskiini reagoi herkästi neulasten kaliumpitoisuuteen ja että peräkkäisinä kesinä K-pitoisuus, jossa putreskiinin kertyminen alkoi, vaihteli. Tämä puolestaan osoittaa, että kasvukauden aikana ei voida määritellä mitään tiettyä kaliumpitoisuutta, jossa puutosraja sijaitsee. Sen sijaan talvinäytteissä putreskiinin kertyminen alkoi samassa kaliumpitoisuudessa kumpanakin vuonna. Toisaalta osoittautui, että eri lannoituskäsittelyissä putreskiini ja putreskiini/spermidiini-suhde pysytteli tietyissä rajoissa myös kasvukauden aikana huolimatta kaliumpitoisuuden vaihteluista. Lannoittamattomilla ja fosforilannoitetuilla ruuduilla putreskiini ja put/spd olivat selvästi korkeammat kuin eri kalilannoitteita saaneilla ruuduilla (Sarjala & Kaunisto 1993, 1996). Tämän perusteella näyttää siltä, että putreskiinin ja put/spd avulla voidaan arvioida kaliumtilannetta myös kasvukauden aikana, vaikka kaliumpitoisuus saattaa vaihdella.

3.2. Putreskiinin osoittamat kriittiset kaliumpitoisuudet kuusella

Kuusen kaliumpitoisuuden kriittisiä raja-arvoja tunnetaan huonommin kuin männyllä. Putreskiinin avulla tutkittiin turvemaalla kasvavien kuusten kaliuminpuutosrajoja (Kaunisto & Sarjala, 1996) samalla menetelmällä kuin aiemmin mäntyjen (Sarjala & Kaunisto 1993). Tutkimuksessa havaittiin, että talvinäytteissä putreskiinin kertyminen alkoi tilastollisesti merkitsevänä kaliumpitoisuuden ollessa alle 4,8 mg/g kp ja putreskiinin kertyminen oli voimakasta kaliumpitoisuuden ollessa alle 4,0-4,2 mg/g kp. Voimakas putreskiinin kertyminen on tulkittu ankaraksi kaliuminpuutokseksi, mikä kuusella tämän tutkimuksen perusteella alkoi korkeammassa K-pitoisuudessa kuin männyllä. Männyn K-puutosrajana pidetään yleensä 3,5-4,0 mg/g kp, mikä sopii hyvin biokemiallisesti määritettyihin raja-arvoihin; voimakas putreskiinin kertyminen männyn neulasissa havaittiin < 3,5 mg/g kp talvella ja < 4,3 mg/g kp kesällä (Sarjala & Kaunisto 1993). Suurta eroa ei näyttänyt olevan lievää putreskiinin kertymistä aiheuttavassa kaliumpitoisuudessa kuusella (4,8 mg/g kp) ja männyllä (5,0 mg/g kp) talvella (Sarjala & Kaunisto 1993, Kaunisto & Sarjala 1996).

Kuusiaineistoa tutkittaessa havaittiin myös, että erittäin alhaiset neulasten fosforipitoisuudet ($P < 1,1$ mg/g kp) siirsivät voimakasta putreskiinin kertymistä aiheuttavaa kaliumpitoisuutta alemmaksi (Kaunisto & Sarjala 1996). Tällöin alhaisetkaan kaliumpitoisuudet eivät välttämättä indusoineet putreskiinin kertymistä. Toisin sanoen voimakas fosforinpuutos "piilottaa" kaliuminpuutoksen ja tällaisessa tilanteessa pienikin fosforinlisäys voi nopeasti aiheuttaa voimakkaan kalinpuutosreaktion. Samantyyppisiä havaintoja alhaisen fosforipitoisuuden vaikutuksista on tehty myös turvemaiden männystä (Sarjala 1995).

3.2. Polyamiinit toimivat mittarina metsänhoitotoimenpiteiden aiheuttamille muutoksille puiden kaliumtaloudessa

Koska putreskiini reagoi herkästi kaliumtalouden muutoksiin, sitä voidaan käyttää erilaisten metsänhoidollisten toimenpiteiden aiheuttamien vaikutusten arviointiin myös kasvukauden aikana. Polyamiinien etu on mm. se, että niiden määrissä muutokset voivat tapahtua nopeasti ja näin ollen kaliumin saatavuuteen tai riittävyteen vaikuttavat kasvuolosuhteiden muutokset heijastuvat polyamiinitasoihin paljon nopeammin kuin esim. kasvuun.

Ravinneanalyysin avulla saatava kaliumpitoisuus kertoo miten paljon kaliumia on käytettävissä. Polyamiinien avulla voidaan lisäksi arvioida onko neulasissa oleva kaliumpitoisuus riittävä kulloinkin vallitsevissa olosuhteissa. Polyamiinien avulla voidaan selvittää myös miten ja kuinka nopeasti eri metsänhoidolliset toimenpiteet kuten lannoitus, hakkuu tai ojitus vaikuttavat puiden kaliumtilanteeseen sekä talvella että kasvukauden aikana.

Kirjallisuus

- Jokela, A., Sarjala, T. & Huttunen, S. 1995. The effects of K availability on the structure, growth and biochemical stress indicators of Scots pine seedlings. Kirjassa: Caring for the Forest: Research in a Changing World. IUFRO XX World Congress 6-12.8.1995, Tampere, Finland. Poster Abstracts, s. 56.
- Kaunisto, S. & Sarjala, T. 1996. Critical needle potassium concentrations in Norway spruce indicated by polyamines. Käsikirjoitus.
- Leigh, R.A. & Wyn Jones, R.G. 1984. A hypothesis relating critical potassium concentrations for growth to the distribution and functions of this ion in the plant cell. *New Phytologist* 97:1-13.

- Sarjala, T. 1993. Polyamiinit puiden stressimittarina. Laiho, O. & Luoto, T. (toim.). Metsäntutkimuspäivä Porissa 1992. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 470: 50-53.
- Sarjala, T. 1995. Preliminary polyamine results from needles and mycorrhiza in Särkkä area in 1994. Esitelmä kokouksessa: "Nitrogen mineralization, uptake and metabolism in Scots pine growing on drained peatlands", Vantaa 12.1.1995.
- Sarjala, T. 1996. Growth, potassium and polyamine concentrations of Scots pine seedlings in relation to potassium availability under controlled growth conditions. *Journal of Plant Physiology* (painossa).
- Sarjala, T. & Kaunisto, S. 1993. Needle polyamine concentrations and potassium nutrition in Scots pine. *Tree Physiology* 13:87-96.
- Sarjala, T. & Kaunisto, S. 1996. Effect of different potassium sources on the seasonal variation of potassium and free polyamines in Scots pine needles. Käsikirjoitus (tarkastettavana).

Tuhkalannoitus eräillä suonpohjien metsityskokeilla

Lasse Aro & Seppo Kaunisto

Johdanto

Maassamme syntyy vuosittain huomattavat määrät bioperäistä tuhkaa, jota käytetään mm. täyttömaana, teiden runkorakenteissa tai viedään kaatopaikalle. Puun- tai turpeentuhka sisältää kuitenkin kivennäisravinteita, joten niitä voidaan käyttää myös lannoitteena runsastyyppisillä turvemailla. Turvemaiden puuntuhkalannoituksesta onkin saatu erittäin myönteisiä kokemuksia (esim. Silfverberg & Huikari 1985, Silfverberg & Hotanen 1989). Lähitulevaisuudessa enenevässä määrin turpeennostosta vapautuvilla, metsitettävillä suonpohjilla on yleensä puutetta juuri kivennäisravinteista (esim. Kaunisto 1979, Ferm & Kaunisto 1983, Saarinen 1993, Aro 1995), joten tuhkaa voitaisiin käyttää niillä lannoitteena, etenkin kun ne ovat levitysteknisesti helppoja kohteita.

Tässä tutkimuksessa tarkastellaan männyn ja rauduskoivun kasvua sekä rauduskoivun ravinnetilaa turpeen- ja puuntuhkalla lannoitetuilla koealoilla vertailunaan kemiallisilla lannoitteilla lannoitetut tai kokonaan lannoittamattomat koealat. Tulokset ovat alustavia.

Tutkimus kuuluu "Kestävän kehityksen mukainen turvetuotantoalueen jälkikäyttö" -projektin metsitystutkimuksiin. Tutkimusta ovat rahoittaneet Metsäntutkimuslaitos, Vapo Oy, kauppa- ja teollisuusministeriö sekä Kemiran tutkimussäätiö.

Aineisto ja menetelmät

Aineisto koostuu neljästä kokeesta (taulukko 1). Kihniön Aitonevan kokeella 9 tutkittiin lannoituksen (Suometsien PK-lannos 575 kg/ha, P 50 ja K 95 kg/ha; puuntuhka 5000 kg/ha, P 108 ja K 339 kg/ha) vaikutusta n. 25-vuotiaiden, luontaisesti syntyneiden raudushiessekakoivikoiden ravinnetilaan ja runkokuu tuotokseen. Koivikot oli harvennettu v. 1981. Haapaveden Piipsannevan ja Kiuruveden Osmanginsuon kokeilla tutkittiin muokkauksen, maanparannusaineiden ja lannoituksen vaikutuksia n. 15-vuotiaiden, istutettujen mänty- ja rauduskoivutaimikoiden pituuskehitykseen ja juuriston syvyyteen sekä lisäksi rauduskoivun ravinnetilaan (taulukot 2–4). Kokeiden sisältämät erilaiset käsittelyt on esitelty tarkemmin Kauniston (1987 b) sekä Fermin ja Kauniston (1983) julkaisuissa.

Osmanginsuolta ja Piipsannevalta kerättiin lehtinäytteet elokuussa 1993 ja Aitonevalta elokuussa 1995. Näytteet kerättiin koealakoosteina. Osanäyte otettiin uusien vuosikasvaimien puolivälistä etelän puolelta puuta. Näytteistä määritettiin typen, fosforin, kaliumin ja boorin kokonaispitoisuudet Metsäntutkimuslaitoksessa normaalisti käytettävien menetelmin 60 °C:ssa kuivatuista näytteistä (Halonen ym. 1983).

Taulukko 1. Yleistietoja kokeista (Ferm & Kaunisto 1983, Kaunisto 1987b).

Ominaisuus	Koe			
	Aitoneva 9	Osmanginsuo 1	Osmanginsuo 2	Piipsanneva
Sijainti	62°12'N, 23°18'E	63°40'N, 26°20'E	63°40'N, 26°20'E	64°05'N, 25°35'E
Perustamisajankohta	1981	1980	1980	1980
Pohjamaalaji	hieno hiekka	hiesusavi	hiesusavi	savi
Koalan koko	300–500 m ²	(20 x 25) m ²	(20 x 25) m ²	(10 x 40) m ²
Sarkaleveys, m	30–60	20	20	10
Turveysvyvyys, cm	16–63	31–68	22–74	35–83

Aitoneva 9:n koivikot mitattiin kesäkuussa 1992, Osmanginsuon ja Piipsannevan kokeet kesäkuussa 1995. Puista mitattiin pituus, elävän latvuksen alarajan korkeus maanpinnasta ja rinnankorkeusläpimitta. Aitonevalla mitattiin kaikki puut kustakin ruudusta. Osmanginsuolla puut mitattiin kultakin koéalalta kahdesta rivistä: koalan reunasta ja keskeltä sarkaa. Kummastakin rivistä mitattiin kaikki puut. Piipsannevalla mitattiin kultakin koéalalta vain yhden reunarivin puut. Rivistä mitattiin joka toinen puu.

Männyn ja rauduskoivun juuriston syvyysulottuvuuden selvittämiseksi kerättiin tilavuustarkat (38x48x50 mm³) juuristonäytteet Osmanginsuolta ja Piipsannevalta koéalakoosteina 40 cm:n syvyyteen 5 cm:n kerroksina (neljä osanäytettä kerroksessa). Maanäytteistä juuret huuhdeltiin vedellä ja puhdistettiin sekä määritettiin juurten kuivamassa (105 °C).

Aineistot testattiin varianssianalyysillä. Varianssianalyysin merkitsevyydet esitetään yleisen käytännön mukaan seuraavasti: * p<0,05 = tilastollisesti melkein merkitsevä, ** p<0,01 = tilastollisesti merkitsevä, *** p<0,001 = tilastollisesti erittäin merkitsevä.

Taulukko 2. Käsittelyt Osmanginsuon kokeessa 1 (toistojen määrä, mänty+koivu).

Tuhkalannoitus	Muokkaus		Jyrsintä	
	Kontrolli			
Kontrolli	2+2	2+2		1) P 0,8 %, K 0,35 %, Ca 5,3 % (P 50, K 22, Ca 331 kg/ha)
Turvetuhka 6 250 kg/ha ¹⁾ (Tutu 6)	2+2	2+2		2) P 1,8 %, K 5,2 %, Ca 29,6 %, B 0,27 ‰, Cu 0,10 ‰ (P 36, K 104, Ca 592, B 0,54, Cu 0,2 kg/ha)
Puuntuhka 2 000 kg/ha ²⁾ (Putu 2)	2+2	2+2		

Taulukko 3. Käsittelyt Osmanginsuon kokeessa 2 (toistojen määrä, mänty+koivu).

Maanparannus	Lannoitus		
	Kontrolli	PK ¹⁾	
Kontrolli	4+3	4+4	1) Suometsien PK-lannos (0-9-17, B 0,2) 450 kg/ha (P 41, K 77 kg/ha)
Ca ²⁾	4+4	4+4	2) dolomiittikalkkia 2 000 kg/ha
Ca+hivenseos ³⁾ (Ca+hl)	4+4	4+4	3) lannoiteboraattia (14 % B) 10 kg/ha, CuSO ₄ (25 % Cu) 10 kg/ha, ZnSO ₄ (23 % Zn) 20 kg/ha
Turvetuhka 6 250 kg/ha ⁴⁾ (Tutu 6)	4+4	4+4	4) Ks. taulukko 2

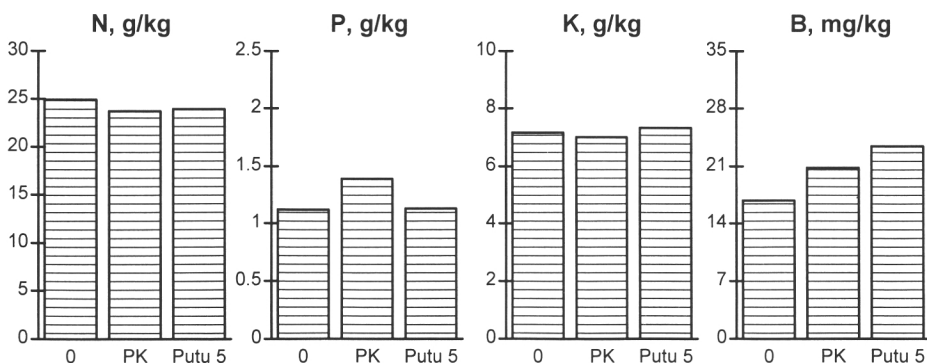
Taulukko 4. Käsittelyt Piipsannevan kokeessa (toistojen määrä, mänty+koivu).

Lannoitus ja maanparannus	Muokkaus		Jyrsintä
	Kontrolli	Jyrsintä	
Kontrolli	2+2	2+2	
PK 700 kg/ha (0-9-17, B 0,2) (PK)	2+2	2+2	1) 30 kg/ha, B 1,1, Cu 12,8, Mn 5,5, Fe 9,8, Zn 5,5, Mo 1,4 ja Na 0,7 %
PK+hivenseos ¹⁾ (PK+hl)	2+2	2+2	
PK+hivenseos+Ca ²⁾ (PK+hl+Ca)	2+2	2+2	2) dolomiittikalkkia 2 000 kg/ha
Puuntuhka 5 000 kg/ha ³⁾	2+2	2+2	3) P 1,8 %, K 5,2 %, Ca 29,6 %, B 0,27 %, Cu 0,10 %
NPK ⁴⁾	2+2	2+2	
NPK+hivenseos (NPK+hl)	2+2	2+2	4) PK-lannos 700 kg/ha, Oulun-salpietari (27,5 % N) 400 kg/ha
NPK+hivenseos+Ca (NPK+hl+Ca)	2+2	2+2	

Tulokset ja tarkastelu

Koivun ravinnetila

Aitonevan kokeessa luontaisesti syntyneen koivikon lehtien typpi- ja booripitoisuudet (kuva 1) olivat normaalit (esim. Braecke 1979, Ferm & Markkola 1985), mutta fosforipitoisuudet olivat selvästi alle puuterajan (2 g/kg, Miller 1983). Pitoisuudet olivat paikoin jopa männyn ankaran fosforinpuutoksen alarajan (1,39 g/kg, Metsänterveysopas 1988) alapuolella. Lehtien kaliumpitoisuudet vastasivat kirjallisuuden mukaan hyvää kaliumravitsemusta (esim. Mälkönen & Saarsalmi 1982, Ferm & Markkola 1985). Lannoituksen vaikutus ei enää, 14 vuoden kuluttua toimenpiteestä, ollut tilastollisesti merkitsevä ($F_N=0,43$, $F_P=1,80$, $F_K=0,04$, $F_B=0,90$).

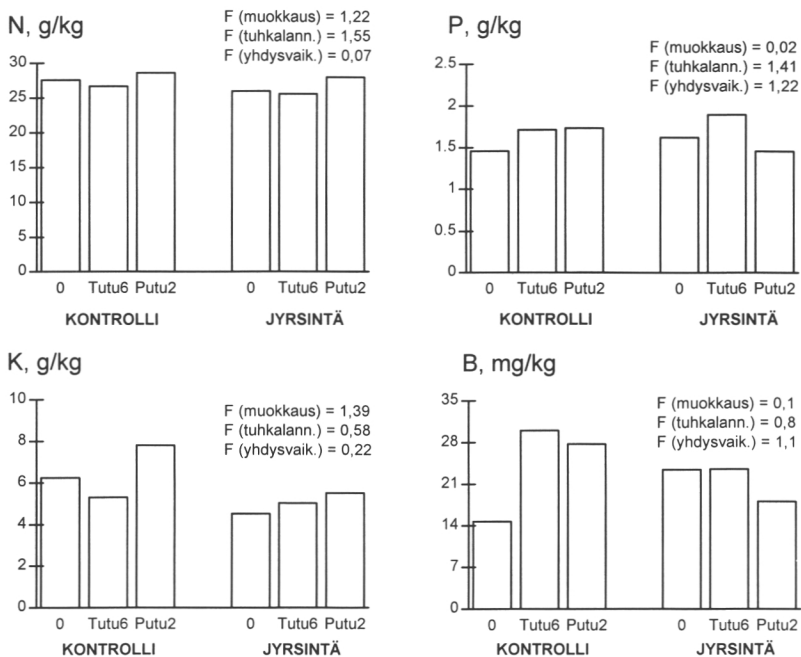


Kuva 1. Koivun ravinnetila elokuussa 1995 Aitonevan kokeessa 9 (PK=Suometsien PK-lannosta 575 kg/ha, Putu 5= puuntuhkaa 5000 kg/ha).

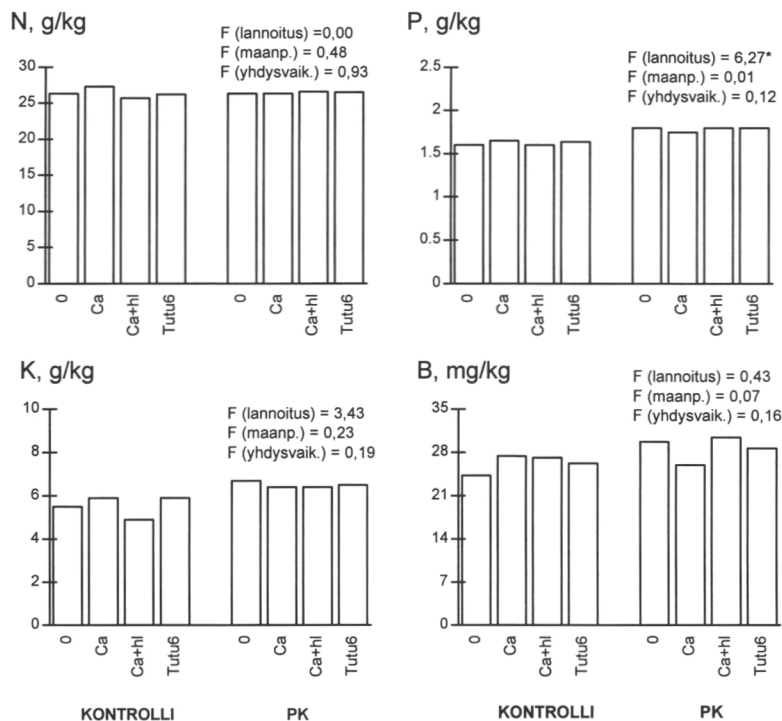
Osmanginsuon kokeessa 1 rauduskoivun typpiprivatseeraus oli hyvä (esim. Mälkönen & Saarsalmi 1982, Ferm & Markkola 1985, kuva 2), mutta fosforista oli ankara puute Millerin (1983) esittämän puuterajan perusteella. Turpeentuhka lisäsi lehtien fosforipitoisuutta, mutta maanpinnalle levitettynä alensi niiden kaliumpitoisuutta. Sen sijaan puuntuhkalla lannoitetuilla koealoilla, varsinkin maanpinnalle levitettynä, koivunlehtien kaliumpitoisuudet olivat korkeimmat. Vaikutus oli näin päinvastainen kuin turpeentuhkalla. Koivun booritilanne oli hyvä lukuunottamatta täysin käsittelemättömiä aloja, joissa lehtien booripitoisuudet olivat melko alhaiset (ks. Braecke 1979). Muokkaus ja tuhkalannoitus eivät Osmanginsuon kokeessa 1 vaikuttaneet yhdessä tapauksessa tilastollisesti merkitsevästi lehtien ravinnepitoisuuksiin (kuva 2).

Osmanginsuon kokeessa 2 koivun ravinnetilä oli pääasiassa samanlainen kuin kokeessa 1. Ravinnetilä oli hyvä typen ja boorin osalta (kuva 3). Lehtien fosfori- ja kaliumpitoisuudet, etenkin lannoittamattomilla koealoilla, olivat matalia. PK-lannoitus kohotti lehtien fosfori- ja kaliumpitoisuudet selvästi kontrollia korkeammiksi. Fosforipitoisuuksissa ero oli tilastollisesti melkein merkitsevä (kuva 3). Turpeentuhka ei sanottavasti vaikuttanut lehtien fosfori- ja kaliumpitoisuuksiin.

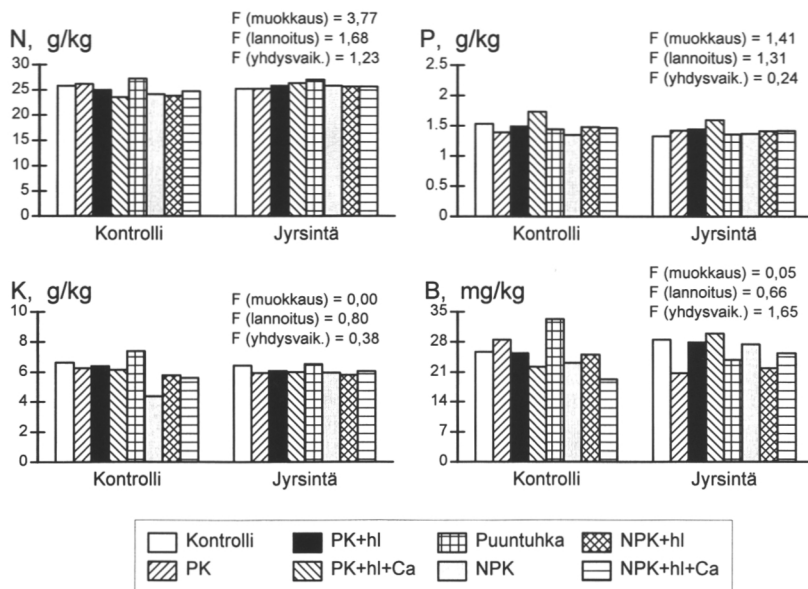
Tilanne oli typen ja fosforin osalta Piipsannevalla hyvin Osmanginsuon kokeen 1 kaltainen (kuva 4). Myös Piipsannevalla lehtien kaliumpitoisuudet olivat korkeimmat puuntuhkalla lannoitetuilla koealoilla, mutta ero ei sielläkään ollut tilastollisesti merkitsevä.



Kuva 2. Jyrsinnän ja tuhkalannoituksen vaikutus rauduskoivun ravinnetilään Osmanginsuon kokeessa 1 elokuussa 1993. Varianssianalyysin F-arvot ja merkitsevyydet. Lyhenteiden selitykset taulukoissa 2-4.



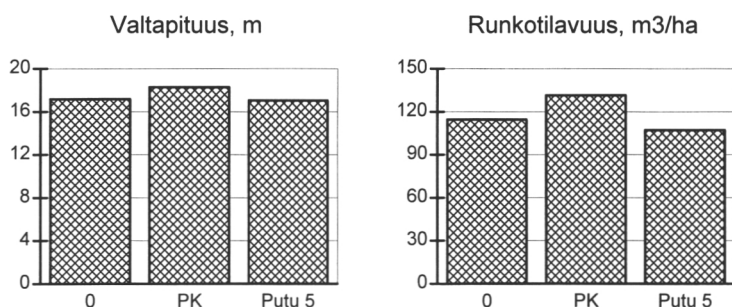
Kuva 3. PK-lannoituksen ja maanparannusaineiden vaikutus rauduskoivun ravinnetilaan Osmanginsuon kokeessa 2 elokuussa 1993. Lyhenteiden selitykset taulukoissa 2-4.



Kuva 4. Jyrsinnän, lannoituksen ja maanparannusaineiden vaikutus rauduskoivun ravinnetilaan Piipsannevalla elokuussa 1993. Puuntuhkaa 5 000 kg/ha, ks. taulukko 4. Lyhenteiden selitykset taulukoissa 2-4.

Puustotunnukset

Aitonevan luontaisesti syntyneissä koivikoissa PK-lannoitus lisäsi eniten puuston valtapituutta ja runkotilavuutta (kuva 5). Lannoittamattomaan tai puuntuhkalla lannoitettuun puustoon verrattuna ero ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevä (valtapituus $F=0,48$, tilavuus $F=0,84$). Tuotos oli kuitenkin kaikissa käsittelyissä hyvä. Runkotilavuus oli jopa suurempi kuin vastaavan ikäisissä hoidetuissa rauduskoivikoissa lehtomaisella kankaalla (Koivisto 1959).



Kuva 5. Lannoituksen vaikutus 25-vuotiaiden koivikoiden valtapituuteen ja tilavuuteen Aitonevan kokeessa 9. Lyhenteiden selitykset kuvassa 1.

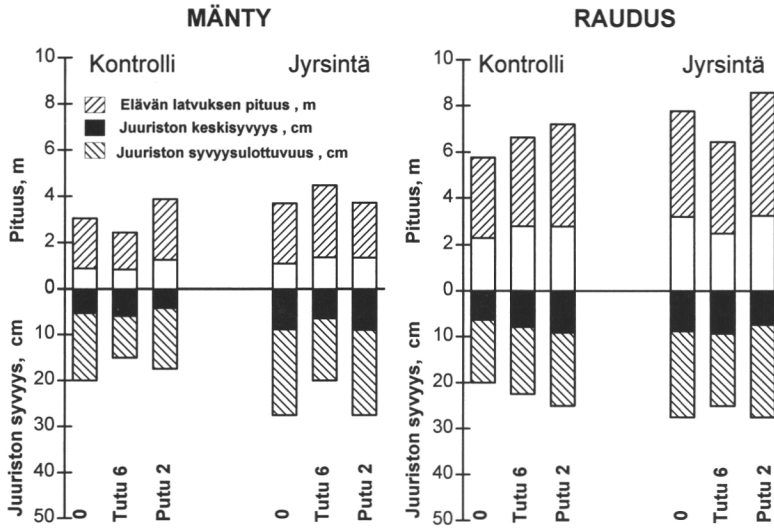
Osmanginsuon kokeessa 1 lannoitus turpeentuhkalla alensi männyn pituuskehitystä turpeen pintaan levitettyinä, mutta lisäsi kasvua muokatuilla koaloilla, joilla se oli sekoittunut jyrsimellä muokattuun turpeeseen (kuva 6). Muokkauksen ja tuhkalannoituksen välinen yhdysvaikutus oli melkein merkitsevä (taulukko 5). Rauduskoivulla muokkauksen ja turpeentuhkalannoituksen vuorovaikutus oli lähes päinvastainen, mutta lievempi. Lannoitus puuntuhkalla lisäsi rauduskoivun kasvua jonkin verran sekä muokatulla että muokkaamattomalla turpeella. Muokkauksen tai tuhkalannoituksen vaikutukset eivät kuitenkaan olleet rauduskoivulla merkitseviä (taulukko 5).

Osmanginsuon kokeessa 2 PK-lannoitus lisäsi männyn pituutta erittäin merkitsevästi ja rauduskoivun pituutta melkein merkitsevästi (kuva 7, taulukko 6). Kalkitus, hivenaineet ja turpeentuhka eivät vaikuttaneet männyn kasvuun, mutta lisäsivät jonkin verran rauduskoivun kasvua PK-lannoituksen yhteydessä annettuna.

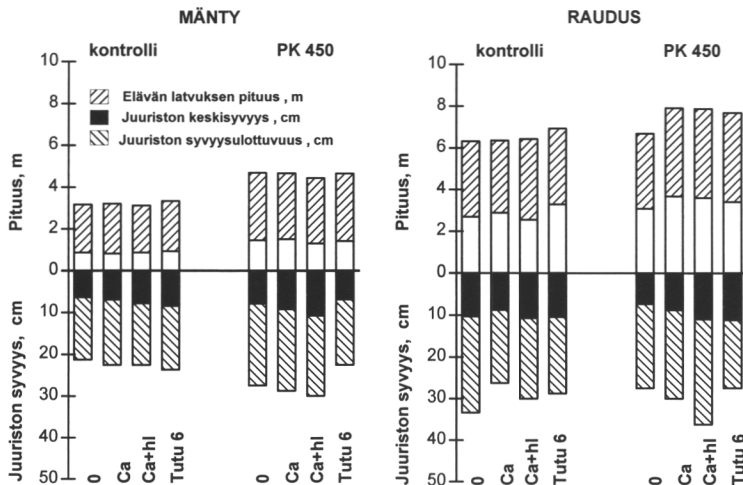
Piipsannevan kokeessa lannoitus fosforilla ja kaliumilla lisäsi voimakkaasti sekä männyn että koivun kasvua (kuva 8). Paras kasvutulos saatiin kuitenkin puuntuhkalla, mikä poikkeaa jossain määrin taimien alkukehityksen tuloksista (Kaunisto 1987b). Typen lisäyksellä oli selvä negatiivinen vaikutus männyn kasvuun, mikä ilmeisesti aiheutui typen yliannostuksesta muutoinkin runsastyyppisellä kasvualustalla (ks. myös Kaunisto 1979 ja 1987a). Hivenaineiden lisäys typen ohella kompensoi typen negatiivista vaikutusta, mikä viittaa siihen, että pituuskasvun taantuman oli aiheuttanut hivenainepuutokselle tyypilliset latvakasvaimen kasvuhäiriöt (esim. Veijalainen 1984). Myös jyrshintä ja lannoitteiden sekoittaminen maahan vähensivät tyypilannoituksen negatiivista vaikutusta.

Taulukko 5. Lannoituksen ja maanparannuksen vaikutus männyn ja rauduskoivun pituuteen, latvuksen pituuteen ja juuriston syvyyteen (syvyyssulottuvuus=Max-syv, kuivamassalla painotettu keskisyyvyys=K-syv) Osmanginsuon kokeessa 1.

Lähde	Mänty				Raudus			
	Pituus	Latvus	Max-syv	K-syv	Pituus	Latvus	Max-syv	K-syv
Muokkaus	7,89*	5,18*	2,31	6,04*	4,10	4,03	1,09	0,13
Maanparannus	0,75	0,11	0,60	0,16	2,53	2,98	0,17	0,11
Yhdysvaikutus	4,57*	4,17*	0,09	1,18	1,53	0,69	0,17	0,47



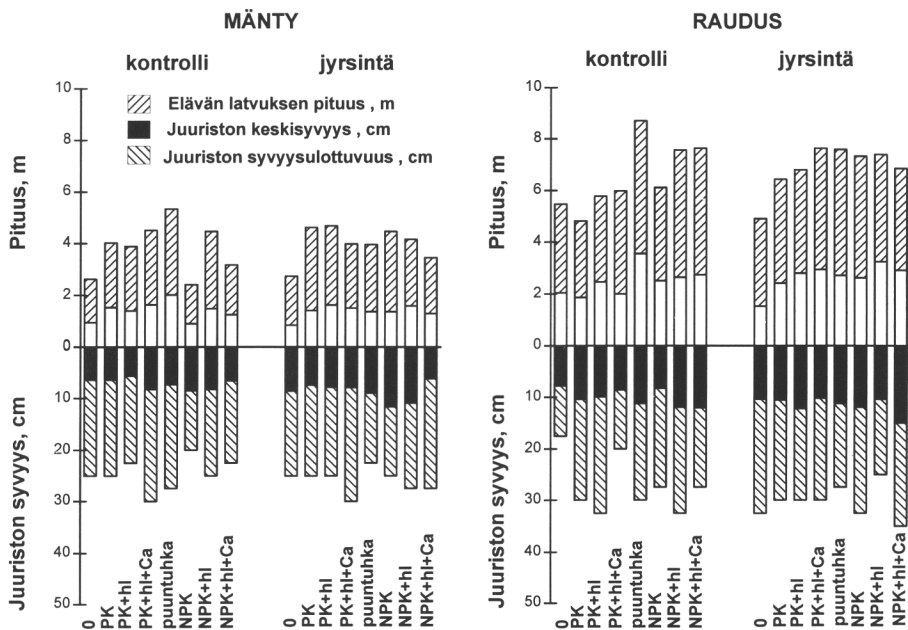
Kuva 6. Jyrsinnän ja tuhkalannoituksen vaikutus männyn ja rauduskoivun pituuskehitykseen ja juuriston syvyyteen Osmanginsuon kokeessa 1. Lyhenteiden selitykset taulukoissa 2-4.



Kuva 7. PK-lannoituksen ja maanparannusaineiden vaikutus männyn ja rauduskoivun pituuskehitykseen ja juuriston syvyyteen Osmanginsuon kokeessa 2. Lyhenteiden selitykset taulukoissa 2-4.

Taulukko 6. Lannoituksen ja maanparannuksen vaikutus männyn ja rauduskoivun pituuteen, latvuksen pituuteen ja juuriston syvyyteen (syvyyssulottuvuus=Max-syv, kuivamassalla painotettu keskisyvyys=K-syv) Osmanginsuon kokeessa 2.

Lähde	Mänty				Raudus			
	Pituus	Latvus	Max-syv	K-syv	Pituus	Latvus	Max-syv	K-syv
Lannoitus	35,99***	25,32***	3,36	1,67	6,09*	3,35	0,06	0,14
Maanparannus	0,15	0,10	0,29	0,84	0,68	0,64	0,66	0,72
Yhdysvaikutus	0,04	0,03	0,61	0,97	0,45	0,50	0,78	0,35



Kuva 8. Jyrshinnan, lannoituksen ja maanparannusaineiden vaikutus männyn ja rauduskoivun pituuskehitykseen ja juuriston syvyyteen Piipsannevalla. Puuntuhkaa 5 000 kg/ha, ks. taul. 4. Lyhenteiden selitykset taulukoissa 2-4.

Juuriston syvyys

Männyn juuriston syvyyssulottuvuus vaihteli 15 ja 30 cm:n ja keskisyvyys 5,3 ja 11,6 cm:n välillä (kuvat 6–8). Osmanginsuon kokeessa 1 jyrshityllä turvepinnalla kasvaneiden mäntyjen juuriston keskisyvyys oli merkittävästi suurempi kuin muokkaamattomalla turvepinnalla kasvaneiden mäntyjen (taulukko 5), mikä mahdollisesti aiheutui siitä, että sekä ojista nousut kivennäismäa että lannoitteet oli sekoitettu koko jyrshityyn turvekerrokseen (ks. myös Kaunisto 1971, Kaunisto & Metsänen 1979). Osmanginsuon kokeessa 2 lannoitettujen

mäntyjen juuret olivat syvemmillä kuin lannoittamattomien, mutta ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä (taulukko 6). Piipsannevalla lannoitus ei vaikuttanut männyn juurien syvyyteen (20–30 cm) ja muokkauksenkin vaikutus oli vähäisempi kuin Osmanginsuolla. Kummallakaan koealueella lannoitus ei vaikuttanut koivun juurien syvyyteen ja muokkauksenkin vaikutus oli selvästi pienempi kuin männyn kohdalla (17,5–35 cm, kuvat 6–8).

Päätelmät

Turpeentuhkalannoituksessa kasvupaikalle tuli fosforia jonkin verran enemmän kuin käytännön lannoituksissa kemiallisilla lannoitteilla (tämä tutkimus/käytäntö = 50/43 kg/ha), mutta kaliumia vain n. neljännes (22/83 kg/ha). Sitä vastoin puuntuuhkalannoituksessa 2 000 kg/ha:n annostuksella fosforia tuli jonkin verran vähemmän (36/43 kg/ha), mutta kaliumia enemmän (104/83 kg/ha) kuin käytännön lannoitustoiminnassa. Suurimmalla, 5 000 kg/ha:n annostuksella fosforia tuli yli kaksinkertainen ja kaliumia kolminkertainen määrä käytäntöön verrattuna (90/43 ja 260/83 kg/ha vastaavasti).

Tuhkien vaikutukset koivun ravinnetilaan olivat jossain määrin epäyhtenäisiä eri kokeissa. Kumpikaan tuhkalaji ei kuitenkaan sanottavasti vaikuttanut lehtien fosforipitoisuuksiin, vaikka alkuaineena lasketun fosforin määrät suurimmillaan ylittivät kaksinkertaisesti käytännön lannoitussuositukset. Sen sijaan jo 2 000 kg:n puuntuuhkalannoitus hehtaaria kohti lisäsi selvästi lehtien kaliumipitoisuuksia istutustaimikoissa. Turpeentuhkalannoitus ei vaikuttanut lehtien kaliumipitoisuuksiin, mikä onkin ymmärrettävää tuhkan sisältämän vähäisen kaliumin määrän vuoksi. Turpeentuhkalannoituksessa tulisikin käyttää ilmeisesti huomattavasti suurempia määriä kuin mitä tässä tutkimuksessa on käytetty (ks. myös Lumme 1988).

Turpeentuhka ja alempi puuntuuhkan määrä vaikuttivat kasvuun verrattain vähän. Sen sijaan 5 000 kg/ha turpeen pinnalle levitetynä lisäsi männyn ja rauduskoivun istutuspuustojen kasvua varsin selvästi. On mahdollista, että turpeeseen sekoitettuna puuntuuhka on aiheuttanut liian voimakkaan typen mineralisoitumisen, joka on ollut haitallista puuston kehitykselle. Tulosten perusteella puuntuuhka tulisi levittää turpeen pinnalle, mutta turpeentuhka sitä vastoin pitäisi sekoittaa turpeeseen. Puuntuuhka näyttäisi olevan kemiallisille lannoitteille hyvä vaihtoehto. Suonpohjat ovat yleensä verrattain hyvin kantavia, joten tuhkan levitys olisi mahdollista myös kesäaikaan ja normaalilla maataloudessa käytetyllä välineistöllä.

Tutkimus vahvistaa aikaisempaa tulosta, jonka mukaan typpilannoitus on suonpohjaturpeella vahingollista männyn taimien kehitykselle. Jossain määrin yllättävää oli, että fosforilannoituksen vaikutusaika hajalevityksenäkin näyttää olleen koivulla alle 15 vuotta (Aitoneva 9), mikä poikkeaa selvästi aikaisemmin rämemänniköistä saaduista kokemuksista (esim. Kaunisto 1989). Tulos edellyttää lähinnä kasvupaikkojen rauta- ja alumiininipitoisuuksia selvittäviä lisätutkimuksia. Kumpikin alkuaine sitoo happamissa olosuhteissa fosforin kasveille käyttökelvottomiksi yhdisteiksi. Kysymyksessä voi olla myös puulajien välinen ero.

Ainakin paksuturpeisilla suonpohjilla myös hajalannoitetuissa taimikoissa jouduttaneen turvautumaan jatkolannoitukseen 10–15 vuoden kuluttua viljelystä. Koska varttuneidenkin

puiden juuristot näyttävät jäävän suonpohjilla verrattain pinnallisiksi, niin turvekerros ei saisi olla 30 cm:ä paksumpi, jotta juuristo yltäisi turpeen alla olevan kivennäismaan ravinnevaroihin.

Puusto tarvitsee tyypeä moninkertaisesti kivennäisravinteisiin verrattuna. Typpi on myös, tarvittava määrä huomioon ottaen, kallein lannoitteena annettava ravinne. Turvekerros voi riittävän paksuna (20–30 cm) turvata puuston typen saannin jopa biomassan tehotuotannossakin, jossa tyypeä tarvitaan erittäin suuria määriä. Tuhkalannoitus alentaa turpeen happamuutta ja nopeuttaa turpeen hajoamista, jolloin ainakin hiilioksidipäästöt, mutta mahdollisesti myös typpioksiduulipäästöt lisääntyvät. Toisaalta hiilidioksidia sitoutuu näillä alueilla biomassaan suuria määriä. Puuntuhkan ravinteet olisi todennäköisesti joka tapauksessa järkevää palauttaa normaaliin ravinnekiertoon eikä läjittää kaatopaikoille. Tuhkan kierrätyksen kokonaisvaikutusten selvittäminen suonpohjilla edellyttää jatkotutkimuksia.

Kirjallisuus

- Aro, L. 1995. Nuorten mäntyjen kehitys suonpohja-alueilla. Ennakkotuloksia. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 538: 23-35.
- Braekke, F.H. 1979. Boron deficiency in forest plantations on peatland in Norway. Reports of the Norwegian Forest Research Institute 35.3: 213-236.
- Ferm, A. & Kaunisto, S. 1983. Luontaisesti syntyneiden koivumetsiköiden maanpäällinen lehdetön biomassatuotos entisellä turpeennostoalueella Kihniön Aitonevalla. Summary: Above-ground leafless biomass production of naturally generated birch stands in a peat cut-over area at Aitoneva, Kihniö. Folia Forestalia 558. 32 s.
- Ferm, A. & Markkola, A. 1985. Hieskoivun lehtien, oksien ja silmujen ravinnepitoisuuksien kasvukautinen vaihtelu. Abstract: Nutritional variation of leaves, twigs and buds in *Betula pubescens* stands during the growing season. Folia Forestalia 613. 28 s.
- Halonen, O., Tulkki, H. & Derome, J. 1983. Nutrient analysis methods. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 121. 28 s.
- Kaunisto, S. 1971. Lannoituksen, muokkauksen ja vesipinnan etäisyyden vaikutus kylvötaiemien ensi kehitykseen turvealustalla. Kasvihuoneessa suoritettu tutkimus. Summary: Effect of fertilization, soil preparation, and distance of water level on the initial development of Scots pine and Norway spruce seedlings on peat. A study performed in greenhouse. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 75(2): 1–64.
- Kaunisto, S. 1979. Alustavia tuloksia palaturpeen kuivatuskentän ja suonpohjan merkityksestä. Summary: Preliminary results on afforestation of sod drying fields and peat cut-over areas. Folia Forestalia 404. 14 s.
- Kaunisto, S. 1987a. Effect of refertilization on the development and foliar nutrient contents of young Scots pine stands on drained mires of different nitrogen status. Seloste: Jatkolannoituksen vaikutus mäntytaimikoiden kehitykseen ja neulasten ravinnepitoisuuksiin typpitaloudeltaan erilaisilla ojitetuilla soilla. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 140. 58 s.
- Kaunisto, S. 1987b. Lannoituksen ja muokkauksen vaikutus männyn ja rauduskoivun istutustaimien kasvuun suonpohjilla. Summary: Effect of fertilization and soil preparation on the development of Scots pine and silver birch plantations on peat cutover areas. Folia Forestalia 681. 23 s.
- Kaunisto, S. 1989. Jatkolannoituksen vaikutus puuston kasvuun vanhalla ojitusalueella. Summary: Effect of refertilization on tree growth in an old drainage area. Folia Forestalia 724. 15 s.
- Kaunisto, S. & Metsänen, R. 1979. Turpeen muokkauksen ja lannoitteiden sijoittamisen vaikutus männyn juuriston kehitykseen tuppasvillanevalla. Summary: Effects of soil preparation and fertilizer placement on the root development of Scots pine on deep peat. Folia Forestalia 390. 14 s.
- Koivisto, P. 1959. Kasvu- ja tuottotaulukoita. Summary: Growth and yield tables. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 51.8. 49 s.

- Lumme, I. 1988. Early effects of peat ash on growth and mineral nutrition of the silver birch (*Betula pendula*) on a mined peatland. Seloste: Turvetuhkan alkuvaiikutuksista rauduskoivun kasvuun ja ravinnetalouteen turvetuotannosta poistuneella suolla. *Silva Fennica* 22:99-112.
- Metsänterveysopas. Metsätuhot ja niiden torjunta. 1988. Jukka, L. (toim.). Samerka Oy. Helsinki. 168 s.
- Miller, H. G. 1983. Wood energy plantations – Diagnosis of nutrient deficiencies and the prescription of fertilizer applications in biomass production. International Energy Agency – Forestry Energy Agreement. Programme Group 'B'. Biomass Growth and Production. Report No. 3:1-20.
- Mälkönen, E. & Saarsalmi, A. 1982. Hieskoivikon biomassatuotos ja ravinteiden menetys kokopuun korjuussa. Summary: Biomass production and nutrient removal in whole tree harvesting of birch stands. *Folia Forestalia* 534. 17 s.
- Saarinen, M. 1993. Männyn ja koivun viljely turvetuotannosta poistetuilla suonpohjilla. MML-tutkinnon sivuainetutkimus metsänhoitotieteissä. Helsingin yliopisto, Metsäekologian laitos. 57 + 7 liites.
- Silfverberg, K. & Hotanen, J-P. 1989. Puuntuhkan pitkäaikaisvaikutukset ojitetulla mesotrofisella kalvakkanevalla Pohjois-Pohjanmaalla. Summary: Long-term effects of wood-ash on a drained mesotrophic *Sphagnum papillosum* fen in Oulu district, Finland. *Folia Forestalia* 742. 23 s.
- Silfverberg, K. & Huikari, O. 1985. Tuhkalannoitus metsäojitetuilla turvemailla. Abstract: Wood-ash fertilization on drained peatlands. *Folia Forestalia* 633. 25 s.
- Veijalainen, H. 1984. Preliminary results of micronutrient fertilization experiments in disordered Scots pine stands. *Communicationes Istituti Forestalis Fenniae* 116:153-159.

EU-säädösten mukainen metsien terveydentilan seuranta Suomessa

Hannu Raitio

Suomi on vuodesta 1985 lähtien osallistunut yleiseurooppalaiseen metsien kunnan seuranta-ohjelmaan "The International Cooperative Programme on Assessments and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests" eli nk. ICP-Forests-ohjelmaan. Tämä Yhdistyneiden Kansakuntien Euroopan Talouskomission eli UN-ECE:n alainen metsien terveydentilan seuranta pohjautuu kansainväliseen ilman epäpuhtauksien kaukokulkeutumista koskevaan sopimukseen "Convention on Long-range Transboundary Air Pollution", jonka tähän mennessä on ratifioinut yhteensä 39 valtiota. Euroopan Unionin jäsenmaissa UN ECE:n mukainen metsien terveydentilan seuranta tapahtuu sitä varten vuonna 1986 laaditun säädöksen (EU-Council Regulation (EEC) nr 3528/86) alaisuudessa. Käytännössä UN ECE:n ohjelmaan osallistuu tällä hetkellä 15 EU:n jäsenmaata sekä 14 EU:n ulkopuolista maata. Kukin maa toimittaa vuosittaiset tuloksensa joko EC:lle (European Commission) Brysseliin tai ohjelman läntiselle koordinoitikeskukselle (Programme Coordinating Centre West) Hampuriin yhteisen vuosiraportin "Forest condition in Europe" laadintaa varten.

Suomessa metsien terveydentilan seurannasta on vastannut Metsäntutkimuslaitos, jonka toimesta on vuosittain inventoitu puiden kunto kansainvälisesti sovituin menetelmin edustavaan otantaan perustuvilla noin 400 pysyvällä näytealalla; nk. I-taso (Kuva 1). Näytealat on valittu vuonna 1985 valtakunnan metsien inventoinnin 3000 pysyvästä näytealasta. Puista on kartoitettu useita eri tunnuksia: suhteellinen neulas- ja lehtikato eli harsuuntuneisuus, neulasvuosikertojen lukumäärä, oksatuhot, kuusella sekundaarioksien määrä, neulasten ja lehtien väriviat, käpysato, abiottiset ja bioottiset tuhot, viherleväkasvuston esiintyminen neulasilla sekä epifyyttijäkälien esiintyminen näyteoksilla. Kaikilta näytealoilta on lisäksi kerätty maanäytteet ja osasta näytealoista myös neulasnäytteet kemiallisia analyysejä varten. Vuodesta 1995 lukien Suomen liittyttyä Euroopan Unionin jäseneksi I-tason seuranta on jatkettu EU-säädösten mukaisesti. Merkittävin ero UN-ECE:n ja EU:n ohjeiden välillä on havaintopuiden lukumäärässä. Tästä syystä havaintopuiden lukumäärä jouduttiin kaksinkertaistamaan kesällä 1995 tehdyn inventoinnin yhteydessä. Vuonna 1995 elinvoimatunnukset arvioitiin 455 näytealalta yhteensä noin 8 753 puusta, joista mäntyjä 4 520 kpl, kuusia 2 838 kpl ja lehtipuita 1 395 kpl.



Kuva 1. Metsien terveydentilan vuotuisen seurannan näytealaverkosto.

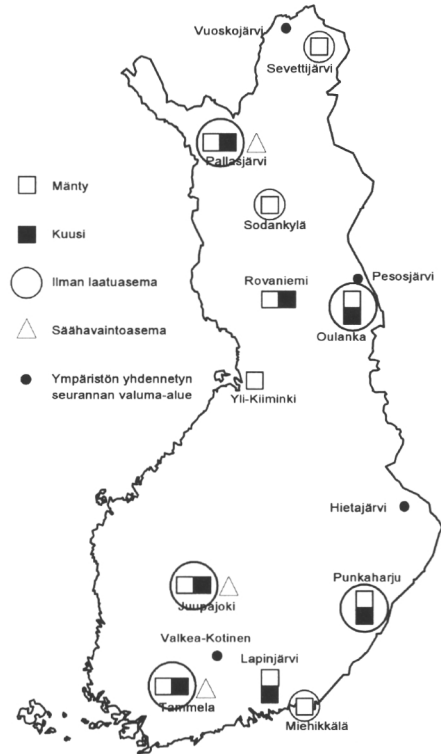
Kansallisten tavoitteiden ohella I-tason seuranta on tuottanut vuosittain tärkeää tietoa metsien kunnon vaihtelusta Euroopassa. Koska ohjelman tavoitteena ei ole ollut selvittää metsien kuntoon vaikuttavien tekijöiden keskinäisiä vuorosuhteita erilaisissa kuormitus-, ilmasto- ja maaperäoloissa, Euroopan Unioni ja ICP-Forests ovat yhteistyössä sittemmin valmistelleet uuden intensiivisen seurantaohjelman (II-taso) metsien kunnossa tapahtuvien muutosten syiden selvittämiseksi. Intensiiviseurannassa käytettävät mittaamenetelmät on valmisteltu eri tutkimusalojen asiantuntijaryhmissä, tällöin eri maista saatavat tulokset ovat paremmin vertailukelpoisia.

EU:n jäsenmaissa tehtävä intensiiviseuranta tapahtuu vuonna 1994 annetun säädöksen (EU-Council Regulation (EEC) nr 1091/94) alaisuudessa. EU:n jäsenmaissa seurantaohjelmasta käytetään nimeä metsäekosysteemien intensiivinen seuranta (European programme for the intensive monitoring of forest ecosystems) ja EU:n ulkopuolisissa maissa ICP-Forests/Level II.

Intensiivinen seurantaohjelma perustuu Euroopan kattavaan havaintoverkkoon. Yhteensä on suunniteltu perustettavaksi 439 havaintometsikköä Euroopan Unionin jäsenmaihiin ja 116 metsikköä Unionin ulkopuolisiin maihin. Suomessa tätä II-tason seurantaa varten valittiin kesällä 1994 eri puolilta maata 18 metsikköä; 11 kivennäismaalla kasvavaa männikköä ja 7 kuusikkoa (Kuva 2). Metsiköt on pyritty valitsemaan Metsäntutkimuslaitoksen, Metsähallituksen tai metsäyhtiöiden mailta, jotta näytealojen pitkäaikainen käyttö olisi metsikön säilymisen osalta turvattu. Lisäksi vastaavat tutkimukset tehdään ympäristön yhdenntetyn seurannan neljältä valuma-alueelta (Evo, Lieksa, Oulanka ja Kevo). Ympäristön yhdenntetyn seurannan ohjelma (UN ECE ICP/IM) on erillinen oma YK:n Euroopan Talouskomission alainen ekosysteemisurantaohjelma, joka virallisesti käynnistyi vuonna 1993. Ympäristön yhdenntetty seuranta tapahtuu luonnontilaisilla pienillä valuma-alueilla.

Havaintometsiköissä tehtävä monipuolinen mittaustoiminta, joka nykyisen käsityksen mukaan jatkuisi noin 20 vuotta, sisältää seuraavat osat:

- puiden kunnon arviointi, vuosittain
- puiden ravinnetila (neulasanalyysi), joka toinen vuosi
- maaperän ominaisuudet (maa-analyysi), joka viides vuosi
- puiden kasvunvaihtelu, joka viides vuosi
- laskeuman ja maaveden määrä ja laatu, jatkuvatoimisesti
- ilmasto- ja sääennustukset, jatkuvatoimisesti
- kasvillisuuskartoitukset / vapaaehtoinen
- karikesatotutkimukset / vapaaehtoinen



Kuva 2. Metsäekosysteemien intensiivisen seurannan verkosto.

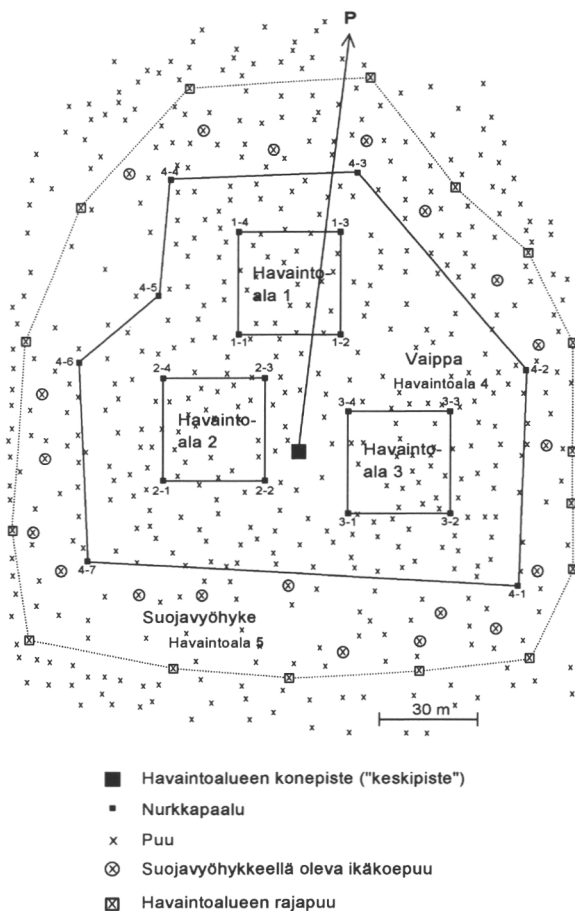
Tutkimusmetsiköt edustavat kunkin maan tärkeimpiä puulajeja ja vallitsevia kasvuoloja. Suomessa metsiköt on valittu 4070 -vuotiaista männiköistä ja kuusikoista. Lisäksi ne on pyritty valitsemaan ilmanlaadun taustamittausasemien läheisyydestä tai alueilta, joista on taustatietoa metsikön aiemmasta kehityksestä. Pääpuulajin lisäksi niissä voi esiintyä muita puulajeja yksittäisinä puina.

Varsinainen havaintoalue koostuu normaalisti kolmesta näytealasta ja niitä ympäröivästä vaipasta (Kuva 3). Yhdellä näytealoista tehdään maaperätutkimuksia sekä kerätään sadevesi-, runkonalunta- ja maavesi- sekä karikenäytteitä. Yksi näytealoista on varattu kasvillisuustutkimuksia ja yksi puustomittauksia varten.

Näytealat on rajattu neliön muotoisiksi (30 x 30 m). Näytealojen välille on pyritty jättämään noin 510 m levyinen vaippa, jolla tarvittaessa voidaan tehdä erillistutkimuksia tai näytteenottoja. Näytealueen keskipiste on merkitty maalatulla keskipaalulla ja näytealat on rajattu ja merkitty kulmapaaluin, samoin kuin koko näytealuekin. Tällöin vaippa muodostaa tarvittaessa neljännen näytealan. Näytealueen ulkopuolelle on vielä rajattu erillisin maalimerkein suojaväyhyke (näyteala 5). Vaipan ja suojaväyhykkeen leveys vaihtelee yhteensä 1030 m. Näytealat ovat lisäksi vähintään 30 m etäisyydellä metsikön reunasta. Näytealojen välinen etäisyys on puolestaan vähintään 5 m, samoin suojaväyhykkeen minimileveys.

Näytealueen kaikki puut on numeroitu ja niihin on maalattu rinnankorkeusmerkki. Kaikista puista on kirjattu puulaji ja puujakso, mitattu puun läpimitta rinnankorkeudelta, pituus ja latvusrajan korkeus. Suojaväyhykkeeltä (näyteala 5) on lisäksi valittu ja numeroitu yhteensä noin 20 näytepuuta eri läpimittaluokista. Niistä on mitattu edellisten tunnusten lisäksi kuoren paksuus ja otettu kairanlastu kannon ja rinnankorkeudelta iän määrittämistä varten. Lisäksi näytealueelta on määritetty metsätyyppi sekä kaikkien puiden sijainti ja korkeusasema. Kultakin näytealalta on määritetty myös rinteän kaltevuus ja kaltevuussuunta.

Suomen metsäekosysteemien intensiiviseuranta on integroituneena myös kansainväliseen AMAP-ohjelmaan (Arctic Monitoring and Assessment Proram) sekä TEMS-tietokantaan (Terrestrial Ecosystems Monitoring Sites).



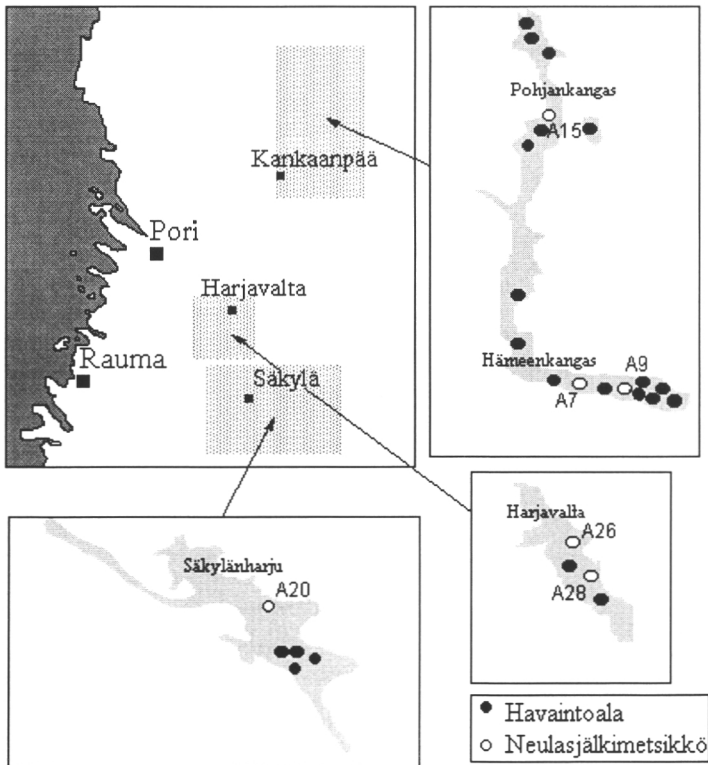
Kuva 3. Metsäekosysteemien intensiivisen seurannan näytealojen rajaus havaintometsiköissä.

Tuhotilanne Satakunnan karuilla mäntykankailla

Ilkka Jussila

Johdanto

Paikoin Satakunnan karuilla kankailla on mäntytaimikoissa jo pitkään esiintynyt erilaisia ja -asteisia tuhoja (Raitio 1993a). Puissa on todettu mm. värvikaisuutta, halla- ja pakkasvaurioita sekä hyönteis- ja sienituhoja. Ravinteiden niukkuus on usein oireiden taustalla, mikä osaltaan johtuu maan luontaisista ominaisuuksista (Raitio 1990a, Raitio 1993b). Ravinteiden mahdollinen huuhtoutuminen happaman sadeveden vaikutuksesta voi myös pahentaa tilannetta ja ilman epäpuhtaudet voivat muutoinkin lisätä alttiutta erilaisille tuhoille (Helövaara & Väisänen 1988, Heliövaara ym. 1993, Raitio 1993a, Wulff & Kärenlampi 1993, Wulff ym. 1990). Tuhojen esiintymistä kartoitettiin vuosina 1993–1995 eri-ikäisissä männiköissä Harjavallassa (4), Hämeenkanalla (12), Pohjankankaalla (7) ja Säkölänharjulla (5) (kuva 1).



Kuva 1. Tutkimusmetsiköiden sijainti ja alueista käytetyt lyhenteet.

Neulaskato täysi-ikäisillä puilla

Neulaskadon perusteella mäntyjen elinvoimaisuus on heikoin Harjavallassa, missä myös raskas-metallikuormitus lienee osaltaan syynä puiden huonoon kuntoon (Raitio ym. 1994, Helmisaari ym. 1994). Pohjankankaalla ja Säkölänharjulla neulaskatoa esiintyi myös enemmän kuin Etelä-Suomessa keskimäärin. Hämeenkaalla neulaskatoa oli puolestaan vähemmän kuin muualla Etelä-Suomessa.

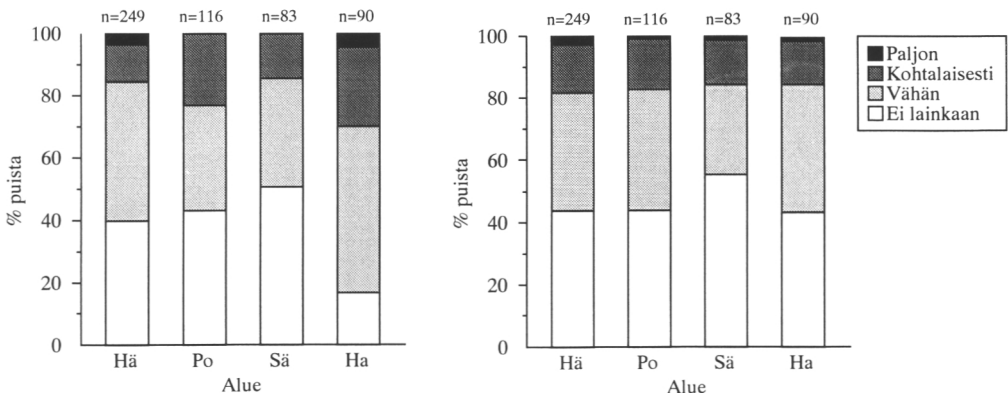
Tuhot nuorissa männiköissä

Harjavallassa nuorista, keskimäärin 24 vuotiaista männystä yli 80 %:lla esiintyi jonkinasteisia havaittavia tuhoja (kuva 2). Myös Hämeen- ja Pohjankankaalla havaittavia tuhoja oli yli 50 %:lla nuorista männystä. Säkölänharjulla tuhoja esiintyi hieman alle puolessa tutkituista puista.

Harjavallassa sekä Hämeen- ja Pohjankankaalla kuolleita oksia tavattiin yli 50 %:lla nuorista männystä (kuva 3). Punalatikkaa on joskus pidetty yhtenä syynä oksien kuivumiseen. Useilla puilla etenkin Säkölänharjulla kuivia oksia oli kuitenkin niukasti vaikka punalatikkaa esiintyi runsaasti. Ilmeisesti oksien ja latvan kuivumiseen vaaditaan muitakin tekijöitä, esim. hallan vaikutusta. Molemmat tekijät vaurioittavat puiden johtosolukoita (Raitio 1990b). Myös sienitaudit voivat aiheuttaa oksien kuivumista.

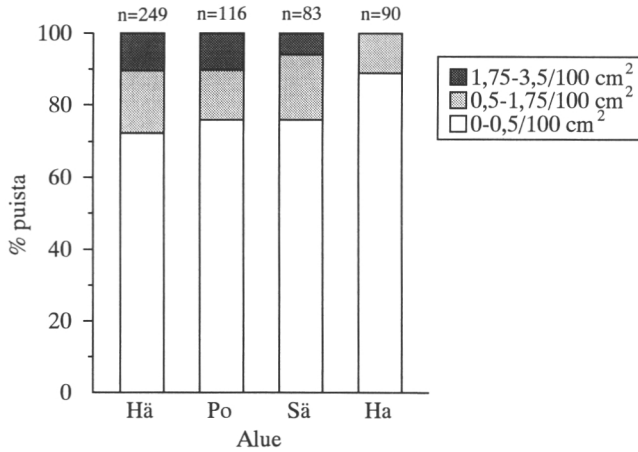
Punalatikan esiintyminen

Punalatikkaa esiintyi kaikilla tutkituilla alueilla hyvin yleisesti (30–40 %:lla taimista). Vuonna 1994 punalatikan populaatiotiheydet olivat suurimmillaan (yli 3,5/100 cm²) Hämeenkaalla ja Pohjankankaalla 10 %:lla ja Säkölänharjulla 6 %:lla männystä (kuva 4). Harjavallan ha-



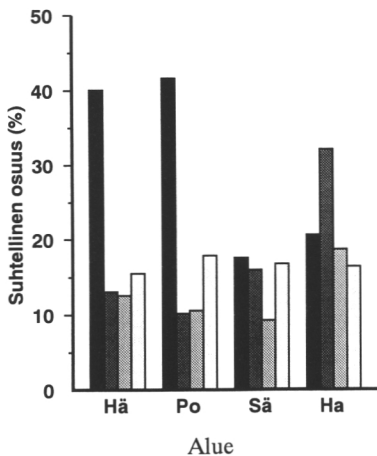
Kuva 2. Eriasteisten tuhojen esiintyminen nuorissa männissä vuonna 1994 Hämeenkaalla (Hä), Pohjankankaalla (Po), Säkölänharjulla (Sä) ja Harjavallassa (Ha).

Kuva 3. Kuivien oksien esiintyminen nuorissa männissä vuonna 1994 Hämeenkaalla (Hä), Pohjankankaalla (Po), Säkölänharjulla (Sä) ja Harjavallassa (Ha).

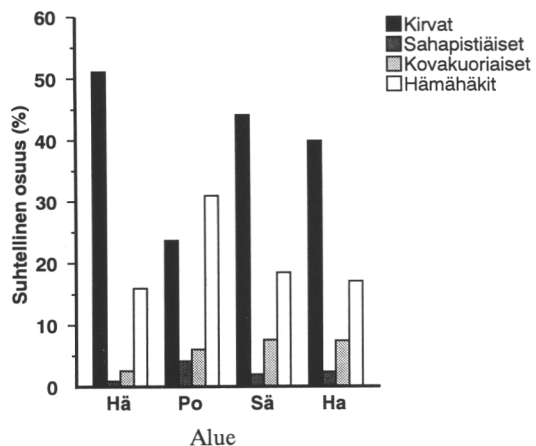


Kuva 4. Punalatikan esiintyminen kuoripinta-ala kohti nuorissa männyissä vuonna 1994 Hämeenkankaalla (Hä), Pohjankankaalla (Po), Säkölänharjulla (Sä) ja Harjavallassa (Ha). Eläimet laskettu kahdelta korkeudelta (keskimäärin 110 cm ja 150 cm) päärungon vuosikasvun pituudelta.

vaintoalueilla punalattikkaa esiintyi vähemmän. Aikaisemmin eläimen on todettu hyötyvän ilman epäpuhtauksista ja olevan runsaimmillaan 1–2 km:n etäisyydellä Harjavallan tehtaista (Heliövaara & Väisänen 1986). Tässä aineistossa havaintoalueet sijaitsevat kauempana: 4, 6, 8 ja 10 km:n etäisyydellä tehtaista. Synä punalattikan vähyteen lienee osaltaan eläimelle optimaalisen kuorityypin (levykuori) vähyys Harjavallan tehtaista lähinnä olevilla alueilla. Harjavallan alueilla punalattikkaa esiintyi kuitenkin jonkin verran kaikissa tutkimusmetsiköissä, mutta muilla tutkimusalueilla niitä ei tavattu lainkaan kuudessa metsikössä.



Kuva 5. Eri hyönteisryhmien esiintyminen nuorissa männiköissä alkukesällä (20.6.–26.6.) 1995 Hämeenkankaalla (Hä), Pohjankankaalla (Po), Säkölänharjulla (Sä) ja Harjavallassa (Ha).



Kuva 6. Eri hyönteisryhmien esiintyminen nuorissa männiköissä loppukesällä (28.8.–1.9.) 1995 Hämeenkankaalla (Hä), Pohjankankaalla (Po), Säkölänharjulla (Sä) ja Harjavallassa (Ha).

Kirvojen ja muiden tuhohyönteisten esiintyminen

Muista tuhohyönteisistä kirvoja esiintyi kesäkuussa 1995 eniten Hämeen- ja Pohjankankaalla (kuva 5). Aiemmin on todettu kirvojen määrän kasvavan Harjavallan tehdasta lähestyttäessä (Heliövaara & Väisänen 1988, Jussila ym. 1991). Myös osittain kokeellisesti kirvojen on todettu välillisesti hyötyvän saastevaikutuksesta (Holopainen ym. 1994). Elokuussa hämähäkit olivat vallitsevin hyönteisryhmä Pohjankankaalla, jossa kirvojen määrä tuolloin oli romahtanut (kuva 6). Sahapistiäisiä oli kesäkuussa paljon Harjavallassa, mikä voi merkitä havupistiäisten joukko-esiintymistä ja neulaskatoa ko. alueella kesällä 1996.

Kirjallisuus

- Heliövaara, K. & Väisänen, R. 1986. Interactions among herbivores in three polluted pine stands. *Silva Fennica* 22: 283–292.
- Heliövaara, K. & Väisänen, R. 1986. Industrial air pollution and the pine bark bug, *Aradus cinnamomeus* Panz. (Het., Aradidae). *J. Appl. Entomol.* 101: 469–478.
- Heliövaara, K., Väisänen, R. & Nevalainen 1993. Metsien sieni- ja eläintuhot. Julkaisussa: Hyvärinen, A., Jukola-Sulonen, E.-L., Mikkilä, H. & Nieminen, T. (toim.). Metsäluonto ja ilmaosaasteet. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 446: 25–29.
- Holopainen, J.K., Braun, S. & Fluckiger, W. 1994. The response of spruce shoot aphid *Cinara pilicornis* Hartig to ambient and filtered air at two elevations and pollution climates. *Environmental pollution* 86: 233–238.
- Jussila, I., Laiho, P. & Jormalainen, V. 1991. Porin-Harjavallan alueen ilman laadun seuranta bioindikaattorien avulla vuonna 1990. Turun yliopisto, Satakunnan ympäristöntutkimuskeskus, Sykesarja B 2, 62 s.
- Raitio, H. 1990a. The foliar chemical composition of young pines (*Pinus sylvestris* L.) with or without decline. Kirjassa: Kauppi ym. (toim.). *Acidification in Finland*. Berlin, Heidelberg, s. 699–713.
- Raitio, H. 1990b. Anatomical symptoms in the wood of Scots pine damaged by frost and pine bark bugs. Väitöskirjassa: Raitio, H. *Decline of young Scots pines in a dry heath forest*. *Acta Universitatis Ouluensis A* 216: III.
- Raitio, H. 1993 a. Hämeen- ja Pohjankankaan metsien tilasta ja taimikkotuhojen syistä kautta aikojen. Laiho, O. & Luoto, T. (toim.). *Metsäntutkimuspäivä Porissa 1992*. s. 41–49.
- Raitio, H. 1993 b. Calcium and magnesium deficiency in young pines and the stand structure on the affected habitats. Teoksessa: Huettl & Muller-Dombois (toim.) *Forest decline in the Atlantic and Pacific region*. Berlin Heidelberg. s. 132–143.
- Raitio, H., Jussila, I., Kartastenpää, R., Lindgren, M., Poikolainen, J. & Salemaa, M. 1994. Satakunnan happamoitumiselle herkempien männiköiden terveydentila ja siihen vaikuttavat tekijät. Julkaisussa: Mälkönen, E. & Sivula, H. (toim.). *Suomen metsien kunto. Metsien terveydentilan tutkimusohjelman väliraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 527:122–136.
- Wulff, A., Ropponen, L. & Kärenlampi, L. 1990. Causes of conifer injuries in some industrial environments. Kirjassa: Kauppi ym. (toim.). *Acidification in Finland*. Berlin, Heidelberg, s. 669–690.
- Wulff, A. & Kärenlampi, L. 1993. The effect of the exclusion of dry and wet deposition on visible symptoms and accumulation of sulphur and fluoride by *Picea abies* needles near point-sources. *Scand. J. For. Res.* 8: 498–509.

Rakennetta monimuotoistavat ja yksipuolistavat hakkuut nuorena kuusivaltaisessa metsikössä

Olavi Laiho, Erkki Lähde & Yrjö Norokorpi

Johdanto

Runkolukujakauma on avaintunnus luokiteltaessa metsiköitä rakenteen mukaan (Adams & Ek 1974, Foiles 1978, Hasse & Ek 1981). Se on puulajikoostumuksen ohella tärkeimpiä tunnuksia metsikön sisäistä diversiteettiä arvioitaessa (Angelstam ym. 1990, Buongiorno ym. 1994, Norokorpi ym. 1994, Lähde ym. 1995). Puiden kokovaihtelua käytetään myös iän mukaisessa rakenneluokituksessa, vaikka puiden koko ja ikä eivät aina olekaan riippuvuudessa keskenään. Puut kasvavat useimmiten enemmän kokonsa kuin ikänsä mukaisesti (Cajander 1934, Sarvas 1951, Vaartaja 1951, Hatcher 1967, Schütz 1969, Indermühle 1978, Tarasink & Zwiernirski 1990). Ylispuista vapauttamisen jälkeen erirakenteisen puuston alikasvokset kasvavat samankokoisiksi kuin vastaavissa oloissa vapaassa tilassa kasvaneet puut (Näslund 1944, Hawley 1946, Schütz 1969, Nilsen & Haveraaen 1983, Klensmeden 1984). Näin ollen ikäkäsitemalli sopii huonosti sellaisiin monimuotoisiin metsiköihin, joissa puut ovat olleet jossakin kehitysvaiheessa alikasvoksena (Moser 1972, Curtis 1978, Favre 1980, Andreassen 1992). Siten on perusteltua käyttää iän sijasta kokoa metsikön sisäistä rakennetta kuvattaessa (Fischer 1980, Lähde ym. 1991, 1992, 1994a, Andreassen 1994b).

Väljässä luokituksessa tasaikäis- tai tasarakenteisiksi hyväksytään myös sellaiset metsiköt, joiden runkolukujakauma muistuttaa normaalijakaumaa (Curtis 1978, Gibbs 1978, Gingrich 1978, Lähde ym. 1994a,b). Tällöin jakauma voi kattaa kaikki läpimittaluokat, joissa kasvupaikalla puita normaalisti esiintyy (esim. Ilvessalo 1920a, b). Sellaisesta rakenteesta käytetään myös nimitystä säännöllinen ja muista rakenteista epäsäännöllinen (esim. Schütz 1989). Tasarakenteisuutta tavoitellaan nykymuotoisella metsänhoidolla, jossa puuston luontaista rakennetta tasoitetaan ala- tai yläharvennuksella.

Käännetyn J kirjaimen mukaista runkolukujakaumaa pidetään puolestaan tavoitteena luonnonläheisessä eli monimuotoisessa metsänhoidossa, sillä biologinen monimuotoisuus on suurimmillaan metsikössä, jossa on useiden puulajien mahdollisimman erikokoista puustoa (Angelstam ym. 1990, Buongiorno ym. 1994, Norokorpi ym. 1994, Lähde ym. 1995). Puittain tai ryhmittäin jatkuva kasvatus täyttää juuri tämän tavoitteen (Roach 1974, Burschel & Huss 1987, Hering 1993) ja on siten hyvin luonnonmukainen hakkuumenetelmä (Larsen 1924, Alexander 1986). Menetelmä on jossain, vaikka vähäisessä määrin ollut käytössä jatkuvasti eri puolilla maailmaa (Schütz 1989, 1994, Gane 1992, Pecore 1992). Siirtymällä luonnonläheiseen metsänhoitoon on mm. haluttu päästä eroon kalliista ja huonolaatuisista monokulttuureista sekä toisaalta lisätä metsien monimuotoisuutta (Znerold 1987, Andreassen 1994a). Julkinen kritiikki onkin ollut voimakasta vallitsevassa asemassa ollutta metsän rakennetta yksipuolistavaa avohakkuu-metsänviljely-menetelyä vastaan (Frivold 1991, Hagner 1992, Lähde 1992b, Mattsson & Li 1993). Sillä on myös heikko ympäristöarvo

(Holgen & Lind 1994). Niinpä metsätalous elää eri puolilla maapalloa voimakkaan muutoksen aikoja (Clark & Stankey 1991).

On todettu, että lievä häiriö saattaa jopa lisätä metsäekosysteemin monimuotoisuutta voimakkaaseen käsittelyyn tai käsittelemättömään metsään verrattuna (Connell 1978, Huston 1979). Kuitenkin luonnontilainen, häiriintymätön metsikkö saavuttaa Buongiornon ym. (1994) mukaan suurimman puiden koon vaihtelun eli täyttää siltä osin korkean metsikön sisäisen diversiteetin. Valoon sopeutuneisuus voi joillakin puulajeilla olla hyvinkin laajaa, mutta sama laji ei kuitenkaan voi omata ääriarvoja (Boardman 1977). Niinpä valoa runsaasti vaativille puulajeille, esimerkiksi useimmille mäntylajeille, ryhmittäinen jatkuva kasvatusta sopii paremmin kuin puittain toteutettu (Marquis 1978).

Tutkimuksessa tarkastellaan puuston rakennetta monimuotoistavien ja niille vastakkaisten eli yksipuolistavien käsittelyjen vaikutusta metsikön kehitykseen. Aineistona käytetään käsittelykoetta, joka on perustettu luontaisesti erirakenteisena syntyneeseen kuusivaltaiseen viljavan kankaan metsikköön. Tutkittavana ovat käsittelemätön vaihtoehto ja määrämittahakkuu sekä voimakkuudeltaan erilaiset jatkuvan kasvatuksen hakkuut ja alaharvennukset.

Aineisto ja menetelmät

Koalue sijaitsee viljavalla kangasmaalla Etelä-Suomessa. Sille tehtiin luontaisen uudistamisen hakkuu v. 1945 havuvaltapuiden ollessa noin 110-vuotiaita. Jo sitä ennen alueelle oli syntynyt runsaasti luontaisia kuusen ja lehtipuiden taimia. Talvella 1960-61 poistettiin suojuspuut. Seuraavana kesänä alueelle perustettiin taimikonhoitokoe (koalan koko 50 x 50 m). Koaloja käsiteltiin voimakkuudeltaan eri tavoin kuusen ja männyn taimien hyväksi. Yhtenä kojäsenenä oli käsittelemätön vaihtoehto. Käsittelyn jälkeen koaloille syntyi kuitenkin runsaasti uusia kuusen ja lehtipuiden taimia. Niinpä puuston saavutettua ensiharvennusvaiheen käsittelyjen välillä ei enää ollut puuston koostumuksessa ja määrässä huomattavia systemaattisia eroja (Lähde 1992a), vaan puusto oli kaikilla koaloilla erirakenteista sekametsää (kuva 1).

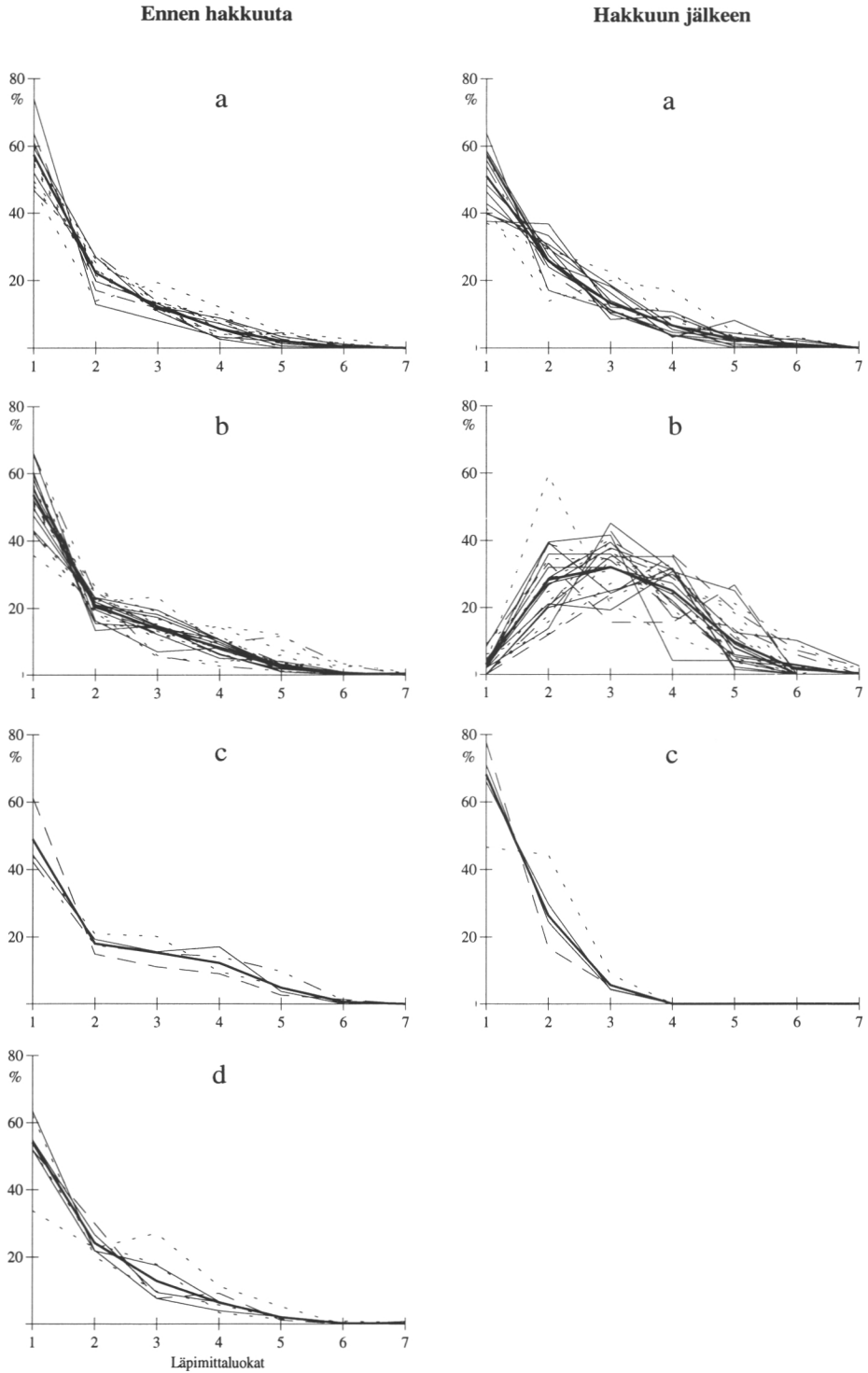
Koetta jatkettiin siten, että käsittelemättömät (d) ruudut (7 kpl), jätettiin edelleen käsittelemättä ja 44 ruudulle arvottiin seuraavat käsittelyt:

a. Puuston rakenteen monimuotoistaminen eli erirakenteisena kasvatusta jatkuvalla kasvatuksella: 15 ruutua, joissa jäävän puuston ($D_{1,3} > 2$ cm) runkoluku (2000-4000 kpl/ha) ja puulajikoostumus vaihtelivat. Puulajiyhdistelmät vaihtelivat lähes puhtaasta kuusikosta lähes puolet lehtipuita sisältäviin metsiköihin.

b. Puuston rakenteen yksipuolistaminen alaharvennuksella: 25 ruutua, joissa jäävän puuston runkoluku (1100-2400 kpl/ha) ja puulajikoostumus vaihtelivat. Puulajiyhdistelmät vaihtelivat puhtaasta kuusikosta sellaiseen, jossa lehtipuiden osuus kohosi 85 %:iin pohjapinta-alasta.

c. Puuston rakenteen tasaaminen päältäpäin määrämittahakkuulla, jossa läpimittarajana oli 9 cm rinnankorkeudelta (4 ruutua).

Hakkuu tehtiin talvella 1985-86. Neljä kasvukautta myöhemmin eli syksyllä 1989 mitattiin ruutujen keskeltä 3 aarin suuruinen ympyräkoela, josta mitattiin elävä puusto ja hakatun puuston määrä. Runkolukujakauma jaettiin 4 cm laajuisiin läpimittaluokkiin: 2-6, ..., > 26 cm.



Kuva 1. Koalojen suhteellinen runkolukujakauma eri käsittelyissä ennen ja jälkeen hakkuun. Käsittelet: a = jatkuva kasvatus, b = alaharvennus, c = määrämittahakkuu ja d = käsittelemätön. Läpimittaluokat: 1 = 2-6, 2 = 6-10, ..., 7 = > 26 cm. Vahvin viiva kuvaa keskiarvoa.

Niiden mukaan laskettiin käsittelemättömille, erirakenteisena kasvatetuille ja määrämittahakatuille koaloille jakauman q-arvo eli läpimittaluokkien välinen (pienemmän luokan runkoluku jaettuna suuremman runkoluvulla) keskimääräinen kerroin. Seuraava puuston mittausta tehtiin neljän kasvukauden jälkeen keväällä 1994. Kasvueroja (suhteellinen ja absoluuttinen vuotuinen tilavuuskasvu) ja muiden puustoparametrien eroja tarkasteltiin jatkuvan kasvatuksen ja alaharvennuksen välillä varianssianalysillä. Erojen merkitsevyys käsittelyjen välillä testattiin t-testillä tai Mann-Whitneyn U-testillä, jos havaintojen jakauma ei ollut normaalin eivätkä varianssit olleet yhtä suuria. Samojen ryhmien sisällä tarkasteltiin lisäksi kasvueroihin vaikuttavia tekijöitä askeltavalla regressioanalysillä, jossa selittävinä muuttujina olivat: hakkuuta edeltävä: valtapituus, pohjapinta-ala, runkoluku, männyn ja lehtipuiden osuus pohjapinta-alasta (%) ja hakkuupoistuman osuus pohjapinta-alasta sekä hakkuun jälkeinen: männyn ja lehtipuiden osuus pohjapinta-alasta sekä suurien ($D_{1,3} > 18$ cm) ja pienien (2-10 cm) puiden lukumäärä (ha^{-1}).

Tulokset

Poistamalla alaharvennuksella pieniä puita muutettiin alunperin voimakkaasti oikealle vinoa eli käännettyä J kirjainta muistuttavaa runkolukujakaumaa normaalijakaumaa muistuttavaan suuntaan ja kavennettiin jakauman laajuutta (kuva 1). Jatkuvalla kasvatuksella sitä vastoin säilytettiin alkuperäinen luontainen erirakenteisuus. Isojen puiden poistaminen määrämittahakkuulla supisti ja jyrkensi voimakkaasti jakaumaa. Rakenteen kehitystä kuvaa myös runkolukujakauman q-arvo, joka jatkuvalla kasvatuksella ja määrämittahakkuulla käsitellyillä koaloilla oli hieman suurempi kuin käsittelemättömillä koaloilla (taulukko 1).

Runkoluku ($h > 1,3$ m) oli jatkuvan kasvatuksen hakkuun jälkeen kolminkertainen verrattuna alaharvennuksen jälkeiseen (taulukko 1). Käsittelemättömillä koaloilla runkoluku oli keskimäärin lähes kaksinkertainen jatkuvan kasvatuksen koaloihin verrattuna. Pohjapinta-alassa, valtapituudessa ja kuusen osuudessa ei ollut merkitsevää eroa jatkuvan kasvatuksen ja alaharvennuksen välillä. Käsittelemättömillä koaloilla pohjapinta-ala oli lähes kaksinkertainen em. käsittelyihin verrattuna. Määrämittahakkuulla pohjapinta-ala oli pienennetty neljännekseen muihin käsittelyihin verrattuna. Alaharvennus oli kohdistunut useilla koaloilla lehtipuihin. Niinpä niiden osuus oli keskimäärin pienentynyt, vaikka toisaalta aineistossa oli lehtipuuvaltaisiakin koaloja.

Taulukko 1. Puustoparametrit (minimi - **keskiarvo** - maksimi) käsittelyittäin metsikkörakennetta eriyttävän hakkuun jälkeen ja erojen merkitsevyys (p) jatkuvan kasvatuksen ja alaharvennuksen välillä. U = Mann-Whitneyn U-testi ja T = t-testi. Käsitellyt: a = jatkuva kasvatusta, b = alaharvennus, c = määrämittahakkuu ja d = käsittelemätön. Puulajisuhteet ovat prosentteja pohjapinta-alasta.

Käsittely	Runkoluku ($h > 1,3$ m), ha^{-1}	Pohjapinta-ala, $m^2 ha^{-1}$	Valtapituus, m	Puulajisuhteet		Q-arvo
				Kuusi	Lehtipuut	
a	2700 - 5011 - 8867	17,7 - 23,3 - 35,3	10,7 - 15,8 - 19,9	42 - 62 - 84	4 - 25 - 49	1,85 - 2,52 - 5,34
b	1100 - 1597 - 2367	14,5 - 21,1 - 29,3	11,2 - 14,5 - 20,0	15 - 64 - 100	0 - 18 - 85	-
p	0,000T	0,113T	0,094T	0,410U	0,018U	-
c	2467 - 4083 - 7333	3,8 - 5,5 - 8,2	11,0 - 11,3 - 11,8	38 - 71 - 86	14 - 25 - 48	1,67 - 3,04 - 6,30
d	5267 - 7857 - 10967	26,8 - 37,8 - 44,0	13,5 - 15,5 - 21,5	42 - 61 - 87	1 - 29 - 54	1,50 - 2,41 - 3,55

Hakattu puumäärä oli jatkuvan kasvatuksen koealoilla keskimäärin $19 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ suurempi kuin alaharvennetuilla (taulukko 2). Samoin hakattu sahapuun määrä oli ensin mainituilla suurempi kuin viime mainituilla koealoilla. Neljän mitatun kasvukauden aikana kasvu vaihteli sekä alaharvennuksella että jatkuvalla kasvatuksella käsitellyillä koealoilla hyvin voimakkaasti (taulukko 3). Jatkuvalla kasvatuksella käsitellyt kasvoivat (m^3ha^{-1}) keskimäärin noin 20 prosenttia eli lähes $2 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}\text{a}^{-1}$ enemmän kuin alaharvennetut koealat. Suuren vaihtelun vuoksi ero oli kuitenkin vain melkein merkitsevää tasoa ($p = 0,063$).

Käsittlemättöminä säilytettyjen koealojen kasvu oli samaa suuruusluokkaa. Vaikka absoluuttinen tilavuuskasvu oli määrämittahakatuilla koealoilla selvästi pienempi kuin muissa ryhmissä, suhteellinen kasvu (%) oli yli kolminkertainen. Alaharvennetuilla koealoilla kasvun (m^3ha^{-1}) vaihtelua selitti mitatuista puustotunnuksista lehtipuiden osuus ennen hakkuuta (x_1) ja suurten ($D_{1,3} > 18 \text{ cm}$) puiden lukumäärä hakkuun jälkeen (x_2) jonkin verran ($R^2 = 28 \%$). Jatkuvassa kasvatuksessa parhaiten selittäviä tekijöitä olivat valtapituus (x_1) ja runkoluku ennen hakkuuta (x_2) sekä mäntyjen osuus pohjapinta-alasta (%) hakkuun jälkeen (x_3) ($R^2 = 83 \%$). Yhtälöt olivat seuraavat:

Jatkuva kasvatus: $\ln(\text{m}^3\text{ha}^{-1}) = 0,359 + 0,098x_1 + 0,001x_2 + 0,014x_3$

Alaharvennetut koealat: $\ln(\text{m}^3\text{ha}^{-1}) = 2,315 + 0,005x_1 - 0,001x_2$.

Taulukko 2. Metsikkörakennetta eriyttävän hakkuun poistuma ja sen sahapuumäärä (minimi - keskiarvo - maksimi) käsittelyittäin sekä erojen merkitsevyys (p) jatkuvan kasvatuksen ja alaharvennuksen välillä. U = Mann-Whitneyn U-testi ja T = t-testi. Käsittelety ks. taulukko 1.

Käsittely	Poistuma $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$	Sahapuuta $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$
a	40 - 90 - 164	0 - 8 - 28
b	35 - 71 - 148	0 - 4 - 21
p	0,089T	0,143U
c	146 - 163 - 182	15 - 23 - 29

Taulukko 3. Puuston tilavuuskasvu (minimi - keskiarvo - maksimi) metsikkörakennetta eriyttävän hakkuun jälkeen sekä erojen merkitsevyys (p) jatkuvan kasvatuksen ja alaharvennuksen välillä. U = Mann-Whitneyn U-testi. Hakkuu talvella 1985-1986, seurantajaksona kasvukaudet 1990-1993. Käsittelety ks. taulukko 1.

Käsittely	Kasvu	
	$\text{m}^3\text{ha}^{-1}\text{a}^{-1}$	%
a	5,9 - 11,5 - 15,4	4,5 - 7,8 - 10,7
b	5,7 - 9,6 - 15,3	2,7 - 6,9 - 11,9
p	0,063U	0,442U
c	4,3 - 6,1 - 8,0	15,9 - 22,9 - 36,5
d	7,9 - 11,4 - 22,2	3,0 - 4,8 - 7,8

Tulosten tarkastelua

Kasvatusmallien laatiminen rakenteeltaan ja koostumukseltaan monimuotoisille erirakenteisille sekametsille on jäänyt paljon vähäisemmäksi kuin tasarakenteisille yhden puulajin puustoille. Jälkimmäisille mallien laatiminen on paljon yksinkertaisempaa (Doolittle

1978, Halkett 1984). Jo puulajisekoitus mm. eri puulajien erilaisten ekologisten vaatimusten ja erilaisen kehitysrytmin vuoksi tuottaa mallien laatimiselle vaikeuksia monokulttuureihin verrattuna (Jonsson 1962). Metsikön puiden koon laaja vaihtelu lisää ongelmia.

On arvioitu, että runsaspuustoisessa lähtötilanteessa on erirakenteisena kasvatuksessa syytä jättää tavoitetta enemmän puuta (Trimble ym. 1974). Q-arvo, jolla kuvataan viereisten läpimittaluokkien välistä keskimääräistä runkolukusuhdetta, on esitetty yleensä vaihtelevan hakkuun jälkeen 1,3-2,0 välillä käytettäessä 4-5 cm laajuisia läpimittaluokkia (Alexander & Edminster 1978, Marquis 1978). Useaan kertaan hakatuissa metsiköissä voidaan Marquisin (1978) mukaan kuitenkin käyttää pientä q-arvoa. Tässä tutkimuksessa q-arvo vaihteli yleensä 2-3 välillä käsittelemättömillä ensiharvennusvaiheen erirakenteisilla koealoilla ennen hakkuuta. Jatkuvassa kasvatuksessa se oli hakkuun jälkeen keskimäärin 2,5.

Q-arvon ei tarvitse olla vakio koko läpimittaluokkajakauman alueella. Isoille puille voidaan käyttää pientä ja pienille puille suurta q-arvoa (Foiles 1978, Marquis 1978, Leak 1979). Toisaalta ei myöskään yleensä kannata hakata kaupallista kokoa pienempiä puita (Marquis 1978, Leak 1979). Jos niitä on runsaasti, voidaan niiden kasvulle tehdä tilaa hakkaamalla tavoitetta runsaammin niitä seuraavaksi suurempaa läpimittaluokkaa. Suurimman jätettävän puun ratkaisee Marquisin (1978) mukaan puulajikoostumus, kasvupaikka ja maantieteellinen sijainti sekä muut ekologiset tekijät, metsänomistajan taloudellinen tavoite ja metsän muiden käyttömuotojen merkitys.

Lehtipuusekoitus havupuuvaltaisessa metsikössä edistää koko metsikön tuotosta (Flury 1929, Burger 1941, Jonsson 1962, Kennel 1965, Chadwick 1980, Frivold 1982, Agestam 1985, Mielikäinen 1985, Otto 1986, Lähde ym. 1994a,b). Erityisen selvä positiivinen vaikutus sillä on valo- ja varjopuulajeista koostuvassa metsikössä (Assmann 1970, Poleno 1981, Kelty 1989, Vandermeer 1989). Vaikutus korostuu edelleen, jos mukana on tyypeä tehokkaasti sitovia lajeja (Miller & Murray 1978, Binkley 1984). Myös havupuiden muodostaman sekametsän tuotos on parempi kuin puhtaan havupuumetsikön (Jonsson 1962, Agestam 1985, Pukkala ym. 1994). Tässä tutkimuksessa sekapuuston edullinen vaikutus ei tullut selvästi esiin. Syynä voi olla hakkuusta kuluneen ajan lyhyys. Lehtipuiden voimakkaan hakkuun jälkeenkin niiden edullinen vaikutus jatkuu lehtikarikkeiden, hakkuutähteiden ja juuristojen lahotessa.

Puun tuotoksesta monimuotoisissa erirakenteisissa sekametsissä verrattuna yksipuolisiin puustoihin eli tasarakenteisiin metsiköihin on esitetty vaihtelevia arvioita ja mittaustuloksia. Vallitsevin käsitys on, että niiden välillä ei ole suurta eroa (Mitscherlich 1963, Kern 1966, Hladik 1975, Hann 1980, Lundqvist 1989, 1993, Kolström 1993) tai että erirakenteiset ovat tuottosampia (Eckhart ym. 1961, Eyre & Zillgitt 1953, Smith & DeBald 1978, Hasse & Ek 1981, Znerold 1987, Lähde ym. 1994a,b). Kuitenkin myös vastakkaisia käsityksiä on esitetty (Walker 1956, Trimble & Manthy 1966, Trimble & McClung 1966, McCalley & Trimble 1972, 1975, Mikola 1984, Vuokila 1984, Andreassen 1994b). Metsikön kokonaiskasvua lisäävä vaikutus sekametsikössä ja erityisesti erirakenteisessa sekametsikössä perustuu mm. siihen, että puustoa voidaan kasvattaa tiheämpänä kuin tasarakenteisessa yhden puulajin metsikössä (Frivold 1982, Smith & DeBald 1978, Lähde ym. 1994a,b). Tässä tutkimuksessa jatkuvan kasvatuksen koealoilla kasvu oli suurempi kuin alaharvennetuilla tasarakenteisiksi muutetuilla koealoilla. Sahapuun tuotoksen määrän ja laadun osalta erirakenteisten sekametsien on arvioitu olevan tasarakenteisia edullisempia (Reynolds 1969, Assmann 1970, Pechmann & Lippemeier 1975, Hasse & Ek 1981, Murphy 1983, Reynolds ym. 1984, Farrar ym. 1984, Guldin & Baker 1984). Tässä tutkimuksessa ensimmäisessä metsikkörakennetta

eriyttävässä hakkuussa jatkuvan kasvatuksen koaloilta saatiin selvästi enemmän markkinakelpoista puuta kuin alaharvennetuilta koaloilta.

Monimuotoinen erirakenteinen sekametsä on ekologisesti kestävämpi kuin rakenteeltaan yksipuolinen metsä. Kestävyys on parempi sekä ns. luontaisia, kuten myrsky-, lumi-, hyönteis- ja sienituhoja vastaan (Köstler 1956, Assmann 1961, Leibundgut 1972, Kammerlander 1978, Burschel ym. 1992) että ihmisen aiheuttamia tuhotekijöitä kuten ilmansaasteita vastaan (Schütz ym. 1986, Lähde 1993). Monimuotoinen metsä on myös monikäyttöisesti edullisempi kuin rakenteeltaan yksipuolinen metsä (Langhammer 1971, Halkett 1984, Leak & Gottsacker 1985, Lundqvist 1990, Burschel ym. 1992, Carlsson 1992, Mattsson & Li 1993). Niinpä monimuotoisia metsiä pidetään myös kokonaistaloudellisesti rakenteeltaan yksipuolisia puustoja edullisempina (Walker 1956, Wing 1977). Tämä tutkimus vahvistaa käsityksiä, että jatkuvalla kasvatuksella voidaan tehokkaasti säilyttää metsikön korkean monimuotoisuustason vaatimukset eli runkolukujakauman käännettyä J kirjainta muistuttava muoto ja samalla varmistaa korkea puun tuotoksen taso. Jatkuvalla kasvatuksella saadaan jo ensiharvennuksessa kohtalaisesti markkinakelpoista puuta, mutta alaharvennuksella tasarakenteisena kasvatuksessa poistettava puu on huomattavalta osin alamittaista ja aiheuttaa siten vain kustannuksia lisäämättä jäljelle jäävän puuston kasvua.

Kirjallisuutta

- Adams, D. M. & Ek, A. R. 1974. Optimizing the management of uneven-aged forest stands. *Canadian Journal of Forest Research* 4:274-287.
- Agestam, E. 1985. En produktionsmodell för blandbestånd av tall, gran och björk i Sverige. Summary: A growth simulator for mixed stands of pine, spruce and birch in Sweden. The Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Forest Yield Research. Report 15. 150 s.
- Alexander, R. R. 1986. Silvicultural systems and cutting methods for Ponderosa pine forests in the Front Range of the Central Rocky Mountains. USDA, Forest Service. Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, General Technical Report RM-128. 22 s.
- Alexander, R. R. & Edminster, C. B. 1978. Regulation and control under uneven-aged management. Julkaisussa: Uneven-aged silviculture & management in the United States. USDA, Forest Service. Timber Management Research. Washington DC. General Technical Report WO-24:217-230.
- Andreassen, K. 1992. Volume production and problem with the stability of the stand structure in uneven-aged and multi-layered spruce (*Picea abies* Karst.) forest in Norway. Julkaisussa: Hagner, M. (toim.). Silvicultural alternatives. Proceedings from an internordic workshop June 22-25 1992. Swedish University of Agricultural Sciences. Department of Silviculture, Reports 35:23-28.
- Andreassen, K. 1994a. Bledning og bledningsskogen litteraturstudie. Aktuelt fra Skogforsk 2/94. 23 s.
- Andreassen, K. 1994b. Development and yield in selection forest. *Meddelser fra Skogforsk* 47(5):1-37.
- Angelstam, P., Welander, J., Andren, H. & Rosenberel, P. 1990. Ekologisk planering av skogsbruk. Miljöprojekt Sundsvall-Timrå. Delrapport 8.
- Assmann, E. 1961. *Waldtragskunde*. BLV - Verlagsgesellschaft. 490 s.
- Assmann, E. 1970. *The principles of forest yield study*. Pergamon Press, New York. 506 s.
- Binkley, D. 1983. Ecosystem production in Douglas-fir plantations: interactions of red alder and site fertility. *Forest Ecology and Management* 5:215-227.
- Boardman, N. K. 1977. Comparative photosynthesis of sun and shade plants. *Annual Review of Plant Physiology* 28:355-377.
- Buongiorno, J., Dahr, S., Lu, H-C. & Liu, C-R. 1994. Tree size diversity and economic returns in uneven-aged forest stands. *Forest Science* 40(1):83-103.
- Burger, H. 1941. Holz, Blattmenge und Zuwachs. VI. Ein Plenterwald mittlerer Standortsgüte. Der bernische Staatswald Toppwald im Emmental. *Mitteilungen der Schweizerischen Anstalt für das Forstliche Versuchswesen* 22:377-445.
- Burschel, P. & Huss, J. 1987. *Grundriss des Waldbaus: Ein Leitfaden für Studium und Praxis*. Verlag Paul Parey. Hamburg ja Berlin. 352 s.

- Burschel, P., El Kateb, H. & Mosandl, R. 1992. Experiments in mixed mountain forests in Bavaria. *Julkaisussa: Kely, M. J., Larson, B. C. & Oliver, C. D. (toim.). The ecology and silviculture of mixed-species forests* Kluwer Academic Publisher. s. 183-215.
- Cajander, E. K. 1934. Kuusen taimistojen vapauttamisen jälkeisestä pituuskasvusta. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 19(5):1-53.
- Carlsson, D. 1992. Adaptive economic optimisation of thinnings and rotation period in a mixed species stand. The Swedish University of Agricultural Sciences. Department of Forest Economics. Working Paper 157. 33 s.
- Chadwick, D. O. 1980. Even-aged development of mixed-species stands. *Journal of Forestry* 78(4):201-203.
- Clark, R.N. & Stankey, G.H. 1991. New forestry or new perspectives? The importance of asking the right questions. *Forest Perspectives* 1(1):9-13.
- Connell, J. H. 1978. Diversity in tropical rain forests and coral reefs. *Science* 199:1302-1310.
- Curtis, R. O. 1978. Growth and yield in uneven-aged stands: *Julkaisussa: Uneven-aged silviculture & management in the United States.* USDA, Forest Service, Timber Management Research. Washington DC. General Technical Report WO-24:186-201.
- Doolittle, W. T. 1978. Constraints on forest management in the eastern hardwood region. *Julkaisussa: Uneven-aged silviculture & management in the United States,* USDA, Forest Service. Timber Management Research, Washington DC. General Technical Report WO-24:63-66.
- Eckhart, G., Frauendorfer, R. & Nather, J. 1961. Die Wälder der Gemeinde Julbach, unter besonderer Berücksichtigung der stufig aufgebauten Mischwälder. *Mitteilungen der Forstlichen Bundes-Versuchsanstalt. Mariabrunn* 58:1-93.
- Eyre, F. H. & Zillgitt, W. H. 1953. Partial cuttings in northern hardwoods of the lake states. USDA, Forest Service. Technical Bulletin 1076. 124 s.
- Farrar, R. M. Jr., Murphy, P. A. & Colvin, R. 1984. Hope Farm Woodland: 33-year production in an uneven-aged loblolly-shortleaf pine stand. *Journal of Forestry* 82(8):476-479.
- Favre, L. -A. 1980. 100 ans de jardinages cultural controli. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 8:651-674.
- Fischer, B. C. 1980. Designing forest openings for the group selection method. *Julkaisussa: Barnett, J. B. (toim.). Proceedings of the first Biennial Southern Silvicultural Research Conference.* USDA, Forest Service. General Technical Report 30-34:274-277.
- Flury, Ph. 1929. Über den Aufbau des Plenterwaldes. *Mitteilungen der Schweizerischen Centralanstalt für das Forstliche Versuchswesen* 15(2):305-357.
- Foiles, M. W. 1978. Stand structure. *Julkaisussa: Uneven-aged silviculture & management in the United States.* USDA, Forest Service. Timber Management Research. Washington DC. General Technical Report WO-24:176-185.
- Frivold, L. H. 1982. Bestandsstruktur og produksjon i blandningskog av bjørk (*Betula verrucosa* Ehrh., *B. pubescens* Ehrh.) og gran (*Picea abies* (L.) Karst.) i Sydøst-Norge. Summary: Stand structure and yield of mixed stands of birch (*Betula verrucosa* Ehrh., *B. pubescens* Ehrh.) and spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) in South East Norway. *Meldinger fra Norges landbrukshøgskole* 61 (18):1-108.
- Frivold, L. H. 1991. Synen på blandskog genom tidarna. *Skog & Forskning* 202:6-10.
- Gane, M. 1992. Sustainable forestry. *Commonwealth Forestry Review* 71:83-90.
- Gibbs, C. B. 1978. Uneven-aged silviculture and management? Even-aged silviculture and management? Definitions and differences. *Julkaisussa: Uneven-aged silviculture & management in the United States.* USDA, Forest Service. Timber Management Research. Washington DC. General Technical Report WO-24:18-24.
- Gingrich, S. F. 1978. Growth and yield. *Julkaisussa: Uneven-aged silviculture & management in the United States.* USDA, Forest Service. Timber Management Research. Washington DC. General Technical Report WO-24:115-124.
- Guldin, J. M. & Baker, J. B. 1984. Yield comparisons from even-aged and uneven-aged loblolly-shortleaf pine stands. *Southern Journal Applied Forestry* 12(5):107-114.
- Hagner, M. 1992. Biologiskt och ekonomiskt resultat i fältförsök med plockhuggning kombinerad med plantering. Abstract: Biological and economical results from experiments with selective felling combined with enrichment planting. The Swedish University of Agricultural Sciences. Department of Silviculture. Working Paper 63:1-52.
- Halkett, J. C. 1984. The practice of uneven-aged silviculture. *New Zealand Journal of Forestry* 29(1):108-118.
- Hann, D. W. 1980. Development and evaluation of an even- and uneven-aged ponderosa pine/Arizona Fascue stand simulator. USDA, Forest Service. Research Paper INT-267. 95 s.
- Hasse, W. D. & EK, A. R. 1981. A simulated comparison of yields for even-versus uneven-aged management of northern hardwood stands. *Journal of Environmental Management* 12:235-246.

- Hatcher, R. J. 1967. Balsam fir advance growth after cutting in Quebec. *Forest Chronicle* 40:86-92.
- Hawley, R. C. 1946. The practice of silviculture. 5. p. John Wiley & Sons, Inc. New York. 354 s.
- Hering, K. G. 1993. Naturnahe Waldwirtschaft im atlantischen Küstenregenwald Brasiliens. Summary: Natural forest management in the atlantic coastal rainforest in Brazil. *Forstarchiv* 64:284-290.
- Hladik, M. 1975. Die Holzproduktion im gemischten Tannen-Buchenwald bei einer Kahlschlag- und Plenterwirtschaft. Summary: Production of timber in mixed fir-birch forest at clear-felling and selection systems. *Acta Facultatis Forestalis Zvolenská* 17:55-72.
- Holgen, P. & Lind, T. 1994. How do adjustments in the forest landscape resulting from environmental demands effect the costs and revenues to forestry. The Swedish University of Agricultural Sciences. Department of Forest Economics. Working Paper 186. 51 s.
- Huston, M. 1979. A general hypothesis of species diversity. *American Nature* 113(1):81-101.
- Ilvessalo, Y. 1920a. Tutkimuksia metsätyyppien taksatoorisesta merkityksestä nojautuen etupäässä kotimaiseen kasvutaulujen laatimistyöhön. Referat: Untersuchungen über die taxatorische Bedeutung der Waldtypen, hauptsächlich auf den Arbeiten für die Aufstellung der neuen Ertragstafeln Finnlands fussend. *Acta Forestalia Fennica* 15:1-157.
- Ilvessalo, Y. 1920b. Kasvu- ja tuottotaulut Suomen eteläpuoliskon mänty-, kuusi- ja koivumetsille. Referat: Ertragstafeln für die Kiefern-, Fichten- und Birkenbestände in der Südhälfte von Finnland. *Acta Forestalia Fennica* 15:1-94.
- Indermühle, M. P. 1978. Struktur-, Alters-, und Zuwachsuntersuchungen in einem Fichten-Plenterwald der subalpinen. Beiheft zu den Zeitschriften des Schweizerischen Forstvereins 60:1-98.
- Jonsson, B. 1962. Om barrlandskogens volymproduktion. Summary: Yield of mixed coniferous forest. *Meddelande från Statens Skogsforskningsinstitut* 50(8):1-143.
- Kammerlander, H. 1978. Aufbau, Verjüngung und Verbissgefährdung der Plenterwälder in Raum Kufstein/Tirol. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 129(9):711-726.
- Kelty, M. J. 1989. Productivity of New England hemlock/hardwood stands as affected by species composition and canopy structure. *Forest Ecology and Management* 28:237-257.
- Kennel, R. 1965. Untersuchungen über die Leistung von Fichte und Buche im Rein- und Mischbestand. Teil 1 und 2. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 136(7):149-161 ja (8):175-189.
- Kern, K. G. 1966. Wachstum und Umweltfaktoren im Schlag- und Plenterwald. Vergleichende ertragskundlich-ökologische Untersuchungen in zwei Ta-Fi-(Bu)-Plenterwaldbeständen und zwei benachbarten Fi-Schlagwäldern des Hochschwarzwaldes. Bayerischer Landwirtschaftsverlag. München-Basel-Wien. 232 s.
- Klensmeden, U. 1984. Stamvis blädning. Några studier på två försöksytor i Dalarna. Examensarbete 1984-86. The Swedish University of Agricultural Sciences. Department of Silviculture. Umeå. 38 s.
- Kolström, T. 1993. Modelling the development of an uneven-aged stand of *Picea abies*. *Scandinavian Journal of Forest Research* 8:373-383.
- Köstler, J. N. 1956. Allgäuer Plenterwaldtypen. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 75 (9/10):423-458.
- Langhammer, A. 1971. Noen glimt fra blandingskogen. *Tidsskrift Skogsbruket* 79(3):302-314.
- Larsen, J. A. 1924. Trend of silviculture development in Germany. *Journal of Forestry* 22(5):506-517.
- Leak, W. B. 1979. Effects of habitat on stand productivity in the White Mountains of New Hampshire. USDA, Forest Service. Research Paper NE-452. 12 s.
- Leak, W. B. & Gottsacker, J. H. 1985. New approaches to uneven-aged management in New England. *Northern Journal of Applied Forestry* 2:28-31.
- Leibundgut, H. 1972. Struktur eines Emmentaler Plenterwaldes. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 123(9/10):854-870.
- Lundqvist, L. 1989. Blädning i granskog. Strukturförändringar, volymtillväxt, inväxning och föryngring på försöksytor skötta med stamvis blädning. Summary: Use of the selection system in Norway spruce forests - changes in the stand structure, volume increment, in growth and regeneration on experimental plots managed with single tree selection. The Swedish University of Agricultural Sciences. Department of Silviculture. Umeå. 99 s.
- Lundqvist, L. 1990. Blädning i granskog. Skogsfakta. Biologi och skogskötsel 69. 4 s.
- Lundqvist, L. 1993. Changes in the stand structure on permanent *Picea abies* plots managed with single tree selection. *Scandinavian Journal of Forest Research* 8:510-517.
- Lähde, E. 1992a. Luontaisen kuusivaltaisen taimikon kehitys lehtomaisella kankaalla. Summary: Development of a *Picea abies*-dominated naturally established sapling stand. *Folia Forestalia* 793. 12 s.
- Lähde, E. 1992b. The background ideas to the new trends in silviculture. *Julkaisussa: Hagner, M. (toim.). Silvicultural alternatives. Proceedings from an internordic workshop June 22-25 1992* The Swedish University of Agricultural Sciences. Department of Silviculture. Reports 35:17-19.
- Lähde, E. 1993. Diversity of Forests as a Global Goal. *Julkaisussa: Linddal, M. & Naskali, A. (toim.). Proceeding of the Workshop "Valuing Biodiversity on the Social Costs of and Benefits from Preserving*

- Endangered Species and Biodiversity of the Boreal Forests", Espoo, Finland, October 1992. *Scandinavian Forest Economics* 34:105-109.
- Lähde, E., Laiho, O., Norokorpi, Y. & Saksa, T. 1991. The structure of advanced virgin forests in Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 6:527-537.
- Lähde, E., Laiho, O., Norokorpi, Y. & Saksa, T. 1992. Stand structure of thinning and mature conifer-dominated forests in boreal zone. *Julkaisussa: Hagner, M. (toim.). Silvicultural alternatives. Proceedings from an internordic workshop June 22-25 1992 The Swedish University of Agricultural Sciences. Department of Silviculture. Reports* 35:58-65.
- Lähde, E., Laiho, O., Norokorpi, Y. & Saksa, T. 1994a. Structure and yield of all-sized and even-sized conifer-dominated stands on fertile sites. *Annales des Sciences Forestières* 51(2):97-109.
- Lähde, E., Laiho, O., Norokorpi, Y. & Saksa, T. 1994b. Structure and yield of all-sized and even-sized Scots pine-dominated stands. *Annales des Sciences Forestières* 51(2):111-120.
- Lähde, E., Laiho, O., Norokorpi, Y. & Saksa, T. 1995. Metsikön ja metsiköiden välisen monimuotoisuuden määrittely. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 538:86-94.
- Marquis, D. A. 1978. Application of uneven-aged silviculture on public and private lands. *Julkaisussa: Uneven-aged silviculture & management in the United States. USDA, Forest Service. Timber Management Research. Washington DC. General Technical Report WO-24: 25-61.*
- Mattsson, L. & Li, C-Z. 1993. How do different forest management practices effect the non-timber value of forests. - An economic analysis. Department of Forest Economics. Working Paper 161. 23 s.
- Mc Cauley, O. R. & Trimble, G. R. Jr 1972. Forestry returns evaluated for uneven-aged management in two Appalachian woodlots. *USDA, Forest Service. Research Paper NE-244. 12 s.*
- McCauley, O. D. & Trimble, G. R. Jr. 1975. Site quality in Appalachian hardwoods: The biological and economic response under selection silviculture. *USDA, Forest Service. Northeastern Forest Experiment Station. Research Paper NE-312. 22 s.*
- Mielikäinen, K. 1985. Koivusekoituksen vaikutus kuusikon rakenteeseen ja kehitykseen. Summary: Effect of an admixture of birch on the structure and development of Norway spruce stands. *Communications Institutii Forestalis Fenniae* 133. 79 s.
- Mikola, P. 1984. Harsintametsätalous. Summary: Selection system. *Silva Fennica* 18(3):293-301.
- Miller, R. E. & Murray, M. D. 1978. The effects of red alder on growth of Douglas-fir. *Julkaisussa: Briggs, D.G., DeBell, D. S. & Atkinson, W. A. (toim.). Utilization and management of alder. USDA, Forest. Service. General Technical Report PNW-70:283-306.*
- Mitscherlich, G. 1963. Untersuchungen in Schlag- und Plenterwäldern. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 134 (1):1-12.
- Moser, J. W. Jr. 1972. Dynamics of an uneven-aged forest stand. *Forest Science* 18:184-191.
- Murphy, P. A. 1983. Merchantable and sawtimber volumes for natural even-aged stands of loblolly pine in the West Gulf Region. *USDA, Forest Service. Research Paper 90-194. 38 s.*
- Näslund, M. 1944. Den gamla norrländska granskogens reaktionsförmåga efter genomhuggning. Referat: Die Reaktionsfähigkeit des alten norrländischen Fichtenwaldes nach Durchauung. *Meddelanden från Statens Skogsförsöksanstalt* 33:1-194.
- Nilsen, P. & Haveraaen, O. 1983. Årringbredder hos gjenstående traer etter høgst i eldre granskog. *Norwegian Forest Research Institute. Research Paper* 9:1-16.
- Norokorpi, Y., Lähde, E., Laiho, O. & Saksa, T. 1994. Luonnontilaisten metsien rakenne ja monimuotoisuus Suomessa. Summary: Stand structure and diversity of virgin forests in Finland. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 495:54-89.
- Otto, H. J. 1986. Standortliche Voraussetzungen, Ziele und Waldbautechnik in Fichten-Buchen-Mischbeständen des Harzes. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 157(10):199-196, (11):214-222.
- Pechmann, H. v. & Lippemeier, P. 1975. Untersuchungen über die Schnittholzqualität von Tannen- und Fichtenholz aus Plenterbeständen. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 94(6):351-364.
- Pecore, M. 1992. Menominee sustained-yield management. *Journal of Forestry* 90(7):12-16.
- Poleno, Z. 1981. Vytvojen smisenych porostu. Summary: Development of mixed forest stands. *Prace VULHM:59:179-202.*
- Pukkala, T., Vettenranta, J., Kolström, T. & Miina, J. 1994. Productivity of mixed stands of *Pinus sylvestris* and *Picea abies*. *Scandinavian Journal of Forest Research.* 9:143-153.
- Reynolds, R. R. 1969. Twenty-nine years of selection timber management on the Crossett Experimental Forest. *USDA, Forest Service. Research Paper* 30-40. 19 s.
- Reynolds, R. R., Baker, J. B. & Ku, T. T. 1984. Four decades of selection timber management on the Crossett Farm Forestry Forties. *Arkansas Agriculture Experiment Station. Bulletin* 872. 43 s.

- Roach, B. A. 1974. What is selection cutting and how do you make it work - What is group selection and where can it be used. State University of New York, College of Environmental Science and Forestry, Applied Forest Research Institute. Miscellaneous Report 5. 9 s.
- Sarvas, R. 1951. Tutkimuksia puolukkatyyppin kuusikoista. Summary: Investigations into the spruce stands of *Vaccinium* type. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 39(1):1-82.
- Schütz, J.-Ph. 1969. Etude des phénomènes de la croissance en hauteur et en diamètre du sapin (*Abies alba* Mill.) et de l'épicéa (*Picea abies* Karst.) dans deux peuplements jardinés et une forêt vierge. Supplément aux *Organes de la Société Forestière Suisse* 44:1-114.
- Schütz, J.-Ph. 1989. Der Plenterbetrieb. Fachbereich Waldbau ETH, Zürich. 54 s.
- Schütz, J.-Ph. 1994. Waldbauliche Behandlungsgrundsätze in Mischbeständen. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 145(5):389-399.
- Schütz, J.-Ph., Grunder, K. & Mandallaz, D. 1986. Die Vitalität von Weisstannen und Ihre Abhängigkeit von bestandesstrukturellen, ertragskundlichen, ernährungskundlichen und waldbaulichen Variablen. Summary: Vigor of silver fir and how it is affected by stand structure, growth and yield, plant-nutritional, and silvicultural characteristics. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 105 (5):406-424.
- Smith, H. C. & DeBald, P. S. 1978. Economics of even-aged and uneven-aged silviculture and management in eastern hardwoods. *Julkaisussa: Uneven-aged silviculture & management in the United States*. USDA, Forest Service. Timber Management Research. Washington DC. General Technical Report WO-24:125-141.
- Tarasink, S. & Zwiernirski, M. 1990. Social-structure dynamics in uneven-aged Scots pine (*Pinus sylvestris*) regeneration under canopy at the Kaliszki Reserve, Kampinoski National Park (Poland). *Forest Ecology and Management* 35:277-289.
- Trimble, G. R. & Manthy, R. S. 1966. Implications of even-aged management on timber. *Julkaisussa: Trends from selection cutting to even-aged management*. Society American Forestry Alleghany Section Proceeding 1965: 62-75.
- Trimble, G. R. Jr. & McClung, L. 1966. Clearcutting profitable. *WV Conservation* 30:2-4.
- Trimble, G. R. Jr., Mendel, J. J., & Kennell, R. A. 1974. A procedure for selection marking in hardwoods. Combining silvicultural considerations with economic guidelines. USDA, Forest Service. Research Paper NE-292.13 s.
- Vaartaja, Y. 1951. Alikasvosasennoista vapautettujen männyn taimistojen toipumisesta ja merkityksestä metsänhoidossa. Summary: On the recovery of released pine advance growth and its silvicultural importance. *Acta Forestalia Fennica* 58(3):1-133.
- Vandermeer, J. 1989. *The ecology of intercropping*. Cambridge University Press. Cambridge. 237 s.
- Vuokila Y. 1984. Harsinnan teoriaa ja käytäntöä. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 130. 107 s.
- Walker, N. 1956. Growing stock volumes in unmanaged forests. *Journal of Forestry* 54(6):378-383.
- Wing, M. R. 1977. Silvicultural systems - uneven-aged management. USDA, Forest Service. General Technical Report NE-29:67-72.
- Znerold, M. 1987. Modeling uneven-aged forest management on the Deschutes National Forest. *Julkaisussa: Forest growth modelling and prediction*. USDA, Forest Service. General Technical Report NC-120:936-943.

Parkanon tutkimusaseman tiedonantoja

- No. 1 Eero Paavilainen ja Veikko Koskela. Parkanon tutkimusasema 1961-1970. 1972.
No. 2 Eero Paavilainen ja Seppo Kaunisto. Männyn koneellinen istutus Mara-istutuskoneella verrattuna käsinistutukseen avosuon metsityksessä. 1973.
No. 3 Tutkimuspäivän esitykset. 1976.
No. 4 Seppo Kaunisto. Alkkian kenttäkokeet 1961-1975. 1976.
No. 5 Kaarlo Kinnunen. Kylvö- ja istutusajankohdan vaikutus kennotaimien alkukehitykseen. 1977.
No. 6 Kaarlo Kinnunen. Männyn kylvömenetelmien vertailua. 1977.
No. 7 Tutkimuspäivän esitykset. 1978.
No. 8 Tutkimuspäivän esitykset. 1979.
No. 9 Tutkimuspäivän esitykset. 1980.

Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja

- No. 94 Tutkimuspäivän 1982 esitelmät. 1982.
No. 108 Kaarlo Kinnunen ja Ilkka Laurila. Erilaisten männyntaimien juuriston ja verson alkukehitys karuhkolla moreenimaalla. 1983.
No. 116 Hannu Raitio. Hypoteesi männyntaimien kasvuhäiriöiden synnystä taimitarhoilla ja kivennäismailla. 1983.
No. 137 Metsäntutkimuspäivä Porissa 1983. 1984.
No. 144 Seppo Kaunisto. Alustavia tuloksia kasvuhäiriöisten männyntaimien kehityksestä suonpohjan turpeella. 1984.
No. 177 Seppo Kaunisto. Metsityskokeet Kihniön Aitonevalla. 1985.
No. 184 Metsäntutkimuspäivä Seinäjoella 1984. 1985.
No. 202 Seppo Kaunisto ja Kaarlo Kinnunen. Taimilajin ja taimitarhalla todetun kasvuhäiriön vaikutus männyn taimien alkukehitykseen maastossa. 1985.
No. 215 Kaarlo Kinnunen. Männyn kylvötuppaiden harventamisesta. 1986.
No. 225 Hannu Raitio ja Eero Tikkanen. Nuorten mäntyjen kalsium- ja magnesiumtalouden häiriö kuivalla kankaalla. 1986.
No. 235 Metsäntutkimuspäivä Tampereella 1985. 1986.
No. 236 Seppo Kaunisto, Kaarlo Kinnunen, Sulo Lehtinen, Kalle Nevanranta ja Jorma Tukeva. Alkkian kenttäkokeet 1961-1986. 1986.
No. 270 Metsäntutkimuspäivä Porissa 1986. 1987.
No. 300 Metsäntutkimuspäivä Seinäjoella 1987. 1988.
No. 337 Metsäntutkimuspäivä Tampereella 1988. 1989.
No. 369 Metsäntutkimuspäivä Porissa 1989. 1990.
No. 394 Metsäntutkimuspäivä Nurmossa 1990. 1991.
No. 423 Metsäntutkimuspäivä Tampereella 1991. 1992.
No. 470 Metsäntutkimuspäivä Porissa 1992. 1993.
No. 495 Metsäntutkimuspäivä Seinäjoella 1993. 1994.
No. 513 Hannu Raitio & Kilponen Tuire (eds.). Critical loads and critical limit values. Proceedings of the Finnish-Swedish environmental conference, October 27-28, 1994. Vaasa, Finland. 1994.
No. 538 Metsäntutkimuspäivä Tampereella 1994. 1995.
No. 543 Hannu Raitio (red.). Granskogens hälsotillstånd i Kvarkenregionen. Rapport av seminarier i Ikalis 20-21.9.1994.

Tiedonantoja on saatavissa Metsäntutkimuslaitoksen Parkanon tutkimusasemalta (Kaironiementie 54, 39700 Parkano, puh. 933-443 51, telefax 933-443 5200).

Vas. ylh.

Harventamaton vertailu. Runkoluku ($D_{1,3} > 2$ cm) 6 200 kpl ha⁻¹, josta mäntyä 8, kuusta 66 ja lehtipuustoa 26 %. Metsikkö säännöllisen erirakenteinen eli runkolukujakauma muistuttaa käännettyä J-kirjainta. Puuston pohjapinta-ala 50 m²ha⁻¹.

Vas. alh.

Jatkuvan kasvatuksen hakkuu vuosina 1986 ja 1994. Runkoluku 1 500 kpl ha⁻¹, josta mäntyä 7, kuusta 64 ja lehtipuustoa 29 %. Lisäksi rinnankorkeuden ylittäviä taimia 400 kpl ha⁻¹. Metsikkö säännöllisen erirakenteinen. Puuston pohjapinta-ala 19 m²ha⁻¹.

Oik. ylh.

Alaharvennus vuosina 1986 ja 1994. Runkoluku 1 000 kpl ha⁻¹, josta mäntyä 47 ja kuusta 53 %. Metsikkö kupevan tasarakenteinen eli runkolukusarja muistuttaa normaali-jakaamaa. Puiden kokovaihtelu 16-24 cm. Puuston pohjapinta-ala 22 m²ha⁻¹.

Oik. alh.

Määrämittahakkuu rinnankorkeusläpimitaan 9 cm vuonna 1986. Runkoluku 2 100 kpl ha⁻¹, josta mäntyä 5, kuusta 65 ja lehtipuustoa 30 %. Lisäksi rinnankorkeuden ylittäviä taimia 1 100 kpl ha⁻¹. Puut elpyneet nopeaan kasvuun. Puuston pohjapinta-ala 9 m²ha⁻¹.

Kansikuva: Esimerkkejä lehtomaisen kankaan erirakenteisen kuusivaltaisen sekametsikön käsittelystä. Hakkuu suojuspuuasentoon 1945, suojuspuiden poisto 1961, valokuvaus 10.4.1996. (Olavi Laiho).

ISBN 951-40-1502-9

ISSN 0358-4283

Parkanon Kirjapaino

Parkano 1996