



METSÄNTUTKIMUSPÄIVÄ KALAJOELLA 1995

Juha Nurmi & Esa Heino (toim.)

Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 570

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
Kirjasto

**Metsäntutkimuslaitos
Kannuksen tutkimusasema
PL 44
69101 Kannus
puh. 968-871 161**

**The Finnish Forest Research Institute
Kannus Research Station
P.O.Box 44
FIN-69101 Kannus
Finland**

Kansikuva: Jaakko Miettinen

Metsäntutkimuspäivä Kalajoella 1995

Toimittaneet

Juha Nurmi ja Esa Heino

Metsäntutkimuslaitos, Kannuksen tutkimusasema
Kannus 1995

Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 570



Nurmi, J. & Heino, E. (toim.). 1995. Metsäntutkimuspäivä Kalajoella 1995. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 570. 82 s. ISBN 951-40-1470-7, ISSN 0358-4283.

Julkaisun artikkelit perustuvat Kannuksen tutkimusaseman järjestämän metsäntutkimuspäivän esitelmiin. Julkaisun - mikä on valmistunut jo ennen tutkimuspäivää - alkuosan muodostavat energiapuu -teemaan liittyvät artikkelit ja loppuosan useita eri aiheita käsittelevät kirjoitukset.

Julkaisija: Metsäntutkimuslaitos, Kannuksen tutkimusasema

Hyväksynyt: Tutkimusjohtaja Matti Kärkkäinen 18.9.1995

Myynti: Metsäntutkimuslaitos, Kannuksen tutkimusasema, PL 44, 69101 Kannus.
Puh. 968 / 871 161.

SISÄLLYS

Jyrki Kangas: Lukijalle / Puun energiakäytön lisääminen on kestävää kehitystä.....	4
Pentti Hakkila: Ensiharvennuskannikot kuitu- ja energialähteenä.....	7
Kaarlo Rieppo: Puupolttoaineen ja selluhakkeen integroitu tuotanto ketjukarsinta-kuorintatekniikalla.....	17
Juha Nurmi: Hakkuutähteen korjuu päätehakkuukuusikoista.....	25
Pekka Auvinen: Energiapuun hankinta osana puutavaran korjuuta.....	34
Jukka Haapasaari: Puupolttoaineet lämpölaitoksen kannalta.....	38
Antti Wall: Maatalouskäytön aikaisen kivennäismaalisäyksen vaikutus metsitettyjen turvelpeltojen ravinnemääriin Keski-Pohjanmaalla.....	40
Jyrki Hytönen: Turvelpeltojen mäntytaimikoiden lannoituskokeiden tuloksia Keski- ja Pohjois-Pohjanmaalta.....	46
Erik Schulman: Uusia tutkimustuloksia ruskotäpläkärpäsestä.....	54
Risto Lauhanen: Väri-infrakuvien käyttö kunnostusohjituksen päätöksenteossa.....	56
Kristian Karlsson: Pohjanmaan rannikkoalueen metsien erityispiirteet.....	61
Annika Kangas: Valtakunnan metsien inventoinnin apteerausaineiston käyttö puuston tukkiosan ja sen laadun ennustamisessa.....	66
Jyrki Kangas: Metsäsuunnittelun kehityssuuntia.....	71
Ron Store: Paikkatietojärjestelmän käyttö maisemanhuomioonottavassa metsäsuunnittelussa.....	78

Lukijalle

PUUN ENERGIÄKÄYTÖN LISÄÄMINEN ON KESTÄVÄÄ KEHITYSTÄ

Puuenergia on fossiilisiin polttoaineisiin verrattuna niin ekologisesta, sosiaalisesta kuin monin tavoin taloudellisestakin näkökulmasta kannatettavaa. Energiapuun käytön lisäämisen suurin este on sen huono yksityistaloudellinen hintakilpailukyky. Ilman yhteiskunnan tukea puuenergia häviää tällä hetkellä fossiilille polttoaineille useimmissa liiketaloudellisissa vertailulaskelmissa. Puuenergian yhteiskunnalliset ja myös globaalit edut ovat kuitenkin niin merkittävät, että yhteiskunnan olisi suotavaa pyrkiä sen käytön lisäämiseen.

Puuenergian kotimaisuus on valtti sekä sosiaalisesta että taloudellisesta näkökulmasta. Energiapuun tuottaminen ja korjuu antavat kipeästi kaivattua työtä maaseudulle. Näin se on omiaan tukemaan maaseudun elinvoimaisuutta, vaikka ei yksin maaseutua pelastakaan. Energian kotimaisuus on tietenkin etu myös valtionalouden kannalta. Unohtaa ei voi sitäkään, että puuenergia ei mahdollisessa kriisitilanteessa ole yhtä haavoittuva energialähde kuin fossiiliset polttoaineet tai vaikkapa ydinvoima.

Nuoren metsän harvennuksen taloudelliseksi eduksi on lisäksi katsottava sen vaikutukset metsästä saatavaan tuottoon myöhemmin: ensiharvennus ajallaan edistää puuston järeytymistä ja siten nopeuttaa tukkisadon kypsymistä. Metsän tulevan tuoton maksimoiva ensiharvennus ajoittuu usein vaiheeseen, missä suuri osa hakkuukertymästä on teollisuuden ainespuuksi kelpaamatonta, mutta energian tuotantoon soveltuvaa. Ensiharvennuksessa saatavan kuitupuun kysyntä on ratkaisevassa asemassa energiapuun korjuun liiketaloudellisen kannattavuuden kannalta. Paula Jylhän (1995) tutkimuksen mukaan ensiharvennuksessa on yleensä edullisempaa jopa kaataa koko hakkuukertymä maahan kuin korjata energiapuuta, mikäli kuitupuulle ei ole menekkiä tai energiapuun korjuuta tueta.

Kestävän kehityksen ulottuvuuksista erityisesti ekologinen kestävyys on viime aikoina ollut näkyvästi esillä. Suomi on sitoutunut mm. metsien monimuotoisuuden vaalimiseen sekä kasvihuonekaasujen päästöjen vähentämiseen. Kasvihuoneilmiötä voidaan hidastaa korvaamalla fossiilisia polttoaineita uusiutuvalla puubiomassalla. Kun huolehditaan siitä, että puuston määrä ja kasvu eivät valtakunnan metsissä vähene, puun poltto ei aiheuta ilman hiilidioksidipitoisuuden lisääntymistä. Maininnan arvoista on myös puun suhteellisen pieni rikkipitoisuus. Etenkin suurissa laitoksissa voidaan jo nykyisellään vähentää haitalliset päästöt lähes merkityksettömiksi.

Hyötykäyttöön ottamatta metsään mätänevän pieniläpimittaisen energiapuun korjuu ei myöskään vähentäne luonnon monimuotoisuutta. Pieniläpimittaisen lahopuun määrä ei ole kriittinen tekijä Suomen metsien monimuotoisuuden kannalta. Uusien metsänhoito-ohjeiden mukaisesti toteutulla nuoren metsän kunnostuksella pikemminkin turvataan metsän kasvukunto ja elinvoima, mikä on ekologisen kestävyuden tae.

Metsäntutkimuslaitoksen selvityksen mukaan metsävarat eivät rajoita energiapuun käytön lisäämistä Keski-Pohjanmaalla (Mielikäinen ym. 1995). Keski-Pohjanmaan metsät ja niiden kasvu suovat sekä teollisuuden ainespuun että energiapuun korjuun samanaikaisen lisäämisen. Maakunnan metsät ovat suurelta osin nuoria ja kasvuisia. Erityisesti ojitetut suot suorastaan puskevat nuorta puustoa. Puuston tulevan laadun ja järeyskehityksen kannalta on tärkeää, että ensiharvennukset tehdään ajallaan myös suometsissä.

Lähivuosikymmeninä Keski-Pohjanmaan metsissä onkin mittava harvennusurakka, joka tuottaa suuret määrät myös kuitupuun mitat täyttämätöntä puuta. Polttoainetta riittäisi usealle energiantuotantolaitokselle. Mielikäinen ym. (1995) ovat esittäneet yksityiskohtaiset laskelmat kannattavan energiapuutuotannon edellytyksistä ja määristä Keski-Pohjanmaalla. Koko maassa olisi teollisuuden raaka-ainehuoltoa vaarantamatta mahdollista lisätä puun energiakäyttöä vähintään 10 milj. m³ vuodessa, kun puuperäisten polttoaineiden nykyinen kokonaiskäyttö vastaa noin 25 milj. m³ puuta (mukaanlukien myös metsäteollisuuden kuoren, jätepuun ja jäteliemen), mistä perinteisen polttopuukäytön osuus on noin 4 milj. m³ (Hakkila 1992). Lisäyksestä 3 milj. m³ koostuisi päätehakkuualoille jäävästä hakkuutähteestä. Onneksi viimeaikaiset selvitykset osoittavat puun energiakäytön olevan lisääntymässä ainakin pientalojen polttopuuna (Salakari & Peltola 1995). Toivoa sopii, että puun jalostaminen energiaksi myös suuremmissa lämpölaitoksissa yleistyy.

Puun energiakäytön tutkimuksen haasteellinen tehtävä on osoittaa keinot, joilla puun käyttö energiantuotantoon saadaan entistä kannattavammaksi. Tärkeää on myös selvittää, mikä lopulta on puun energiakäytön optimaalinen määrä yhteiskunnan näkökulmasta ja minkälaisin porkkanoin ja kepein - esimerkiksi metsänparannustuin ja ympäristöveroin - siihen päästäisiin. Polttotekniikan kehittämistä energian paremmin talteenottavaksi ja entistäkin ympäristöystävällisemmäksi tulee jatkaa. Täydellistä tietämystä ei ole vielä saavutettu eri energiantuotantomuotojen ympäristövaikutuksistaan, esimerkiksi vaikutuksista kasvihuoneilmiöön. Ympäristövaikutusten sekä ympäristöriskien sisällyttäminen energiantuotantomuotojen vertailulaskelmiin helpottaisi päättäjiä valinnoissaan.

Metsäntutkimuslaitoksen Kannuksen tutkimusasema on panostanut energiapuun tuotannon ja puun energiakäytön tutkimuksiin alkuajoistaan lähtien. Onpa Metlan yksikköä Kannuksessa joskus kutsuttu energiametsäkoemasiksin. Tämän aamupäivän teema on osoitus jatkuvasta mie-

lenkiinnostamme energiapuuhun ja uskostamme puun energiakäytön tulevaisuuteen. Iltapäivällä saamme katsauksen tutkimusaseman tämän päivän muihin tutkimusaiheisiin, kun aseman tutkijat esittävät tietoisukumaisesti keskeisimpiä tutkimusongelmiaan ja -tuloksiaan.

Jyrki Kangas

Tutkimusaseman johtaja

Viitteet

Hakkila, P. (toim.). 1992. Metsäenergia. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 422. 51 s.

Jylhä, P. 1995. Nuoren metsän ihmistyövaltaisen kunnostushakkuun kannattavuus Keski-Pohjanmaan ojitusalueilla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 560. 40 s.

Mielikäinen, K., Hirvelä, H., Härkönen, K. & Malinen, J. 1995. Energiapuu osana metsänkasvatusta Keski-Pohjanmaalla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 556. 56 s.

Salakari, M. & Peltola, A. 1995. Pientalojen polttopuun käyttö lämmityskaudella 1992/93. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 566. 36 s.

Pentti Hakkila

Metla, Vantaan tutkimuskeskus

ENSIHARVENNUSMÄNNIKÖT KUITU- JA ENERGIALÄHTENÄ

Aina 1990-luvun alkuun saakka metsäteollisuutemme oli valmis käyttämään hyväkseen kaiken tarjolla olleen puutavaran ja maksoi puun tuottajille yleismaailmalliseen tasoon nähden korkeita kantohintoja. Myös heikkolaatuiselle ja pienikokoiselle puulle oli menekkiä, ja sen talteenottoa tuettiin tasaamalla leimikoitten välisiä arvosuhde- ja kustannuseroja pienpuuta suosien. Tämä edisti ensiharvennuksia ja kannusti nuorten metsien kunnostamiseen.

Kuluvan vuosikymmenen alussa jouduttiin puun vajaakäyttötilanteeseen, jossa ensiharvennuspuusta tuli ikään kuin ongelmatuote. Alaharvennuksiin perustuvassa metsänkasvatusero- ja pienpuuta syntyy järeää puuta kasvatettaessa sivutuotteena, metsiemme ikäluokkarakenteesta johtuen lähivuosikymmeninä yhä lisääntyvin määrin, ja ellei sille löydy menekkiä, metsien hoito vaikeutuu. Puutavaran ostajat eivät kuitenkaan ole erityisen kiinnostuneita ensiharvennuspuusta, ja matalasuhdannetilanteissa sen menekki saattaa ajoittain ja paikallisesti tyrehtyä kokonaan.

Ensiharvennusmänniköt

Ensimmäinen kaupallinen harvennus eli ensiharvennus tehdään tyypillisesti 25-45 vuoden iällä, mutta hyötykasvuisilla lehtomaisilla kankailla ja pellonistutusaloilla se voi tapahtua jo varhemminkin. Ensiharvennus saattaa toisaalta viivästyä, jolloin seurauksena on rungon solakoituminen ja altistuminen lumituhoille, elävän latvuston liiallinen supistuminen ja puuston ennen aikainen rappeutuminen. Tulevaisuudessa ensiharvennuksia pyritään myöhäistämään hakkuukertymän paisuttamiseksi ja korjuukustannusten alentamiseksi, mutta edellytyksenä on silloin taimikon harventaminen nykyistä voimakkaammin ja vartuneempana.

Valtakunnan metsien inventoinnin mukaan mäntyvaltaiset nuoret kasvatusmetsät peittävät Etelä-Suomessa 2,4 milj. ha eli 21 % ja kaikkien puulajien nuoret kasvatusmetsät yhteensä 3,5 milj. ha eli 30 % Etelä-Suomen metsämaasta. Nuorten kasvatusmetsien keskimääräinen ikä on 43 vuotta ja rungon keskiläpimitta rinnankorkeudella 13 cm.

Takavuosien ensiharvennussuoritetta ei tunneta, mutta sen tiedetään jäävän paljon tavoitetason alapuolelle. Osassa nuorista kasvatusmetsistä ensiharvennus on jo tehty, pääosassa se on vielä tekemättä. Inventointituloksista on johdettu hakkuusuositus, jossa metsät jaetaan hakkuun kiireellisyyden perusteella neljään osaan: myöhässä olevat eli heti harvennettavat; ensimmäisen 5-vuotiskauden aikana harvennettavat; toisen 5-vuotiskauden aikana harvennettavat; sekä 10-vuotiskaudeksi lepäämään jätettävät. Suosituksen mukaan nuorten kasvatusmetsien harvennusalan tulisi olla Etelä-Suomessa seuraava:

Harvennuksen ajankohta	Nuorten kasvatusmetsien ala, 1000 ha	
	Mäntyvaltaiset	Kaikki
Heti (myöhässä olevat)	191	420
Lähimmällä 5-vuotiskaudella	429	734
Toisella 5-vuotiskaudella	572	839
Yhteensä 10-vuotiskaudella	1 191	1 993
Ei lähimmällä 10-vuotiskaudella	1 168	1 503
Etelä-Suomi yhteensä	2 359	3 496

Nuoria mäntyvaltaisia metsiä tulisi Etelä-Suomessa harventaa vuosittain keskimäärin 119 000 ha:n alalla, josta ainakin 80 % lienee luonteeltaan tyypillisiä ensiharvennuksia. Esimerkiksi Etelä-Pohjanmaan metsälautakunnan alueella nuorten mäntyvaltaisten kasvatusmetsien vuotuinen harvennustarve on valtakunnan metsien inventoinnin mukaan 12 000 ha, Keski-Pohjanmaan metsälautakunnan alueella 10 000 ha ja ruotsinkielisen Pohjanmaan metsälautakunnan alueella 4000 ha. Olettaen harvennuspoistumaksi 45 m^3 runkopuuta hehtaarilta, mukaan lukien myös tähteeksi jäävä alamittainen runkopuu, ensiharvennussuositusta vastaava poistuma olisi sekapuulajit mukaan lukien Suomen eteläpuoliskossa $5,3 \text{ milj. m}^3$ vuodessa.

Lukuisat haittatekijät kuitenkin jarruttavat ensiharvennuspuun korjuuta ja käyttöä kuituraaka-aineena:

1. Korkeat korjuukustannukset, jotka aiheutuvat puun pienestä koosta, alhaisesta kertymästä sekä kasvamaan jätettävän puuston suuresta runkoluvusta. Yksioteharvesterien kehittymisen myötä kustannukset ovat tosin alentuneet myös ensiharvennusmänniköissä, mutta kustannustaso on edelleen korkea. Vuonna 1994 koneyritykselle maksettu kokonaiskorvaus hakkuusta ja metsäkuljetuksesta oli mäntyleimikoissa suunnilleen seuraava:

Korjuun kustannus, mk/m³

Ensiharvennus	75-90
Muu harvennus	50-65
Päätehakkuu	29-35

2. Nuori puu poikkeaa ominaisuuksiltaan myöhempien harvennusten ja päätehakkuitten kuitupuusta. Ensiharvennuspuun lyhyet, ohutseinäiset nuorpuukuidut heikentävät paperin repäisylujuutta, ja vaikka niillä on vastapainoksi myös joukko edullisia ominaisuuksia, näitä etuja ei kyetä hyödyntämään, ellei ensiharvennuskuitu ohjautu oikeissa ja hallituissa seossuhteissa oikeisiin tuotekohteisiin.
3. Suuri hävikki kuorinnassa, mikä aiheutuu ohuitten pölkkyjen murskaantumisesta kuorimarummussa järeämmän kuitupuun seassa pyöriessään. Hävikkiä on vaikea mitata ja kohdistaa nimenomaan ensiharvennuspuuhun, ja siksi se varovaisuussyistä oletetaan joskus jopa 10-20 %:ksi.

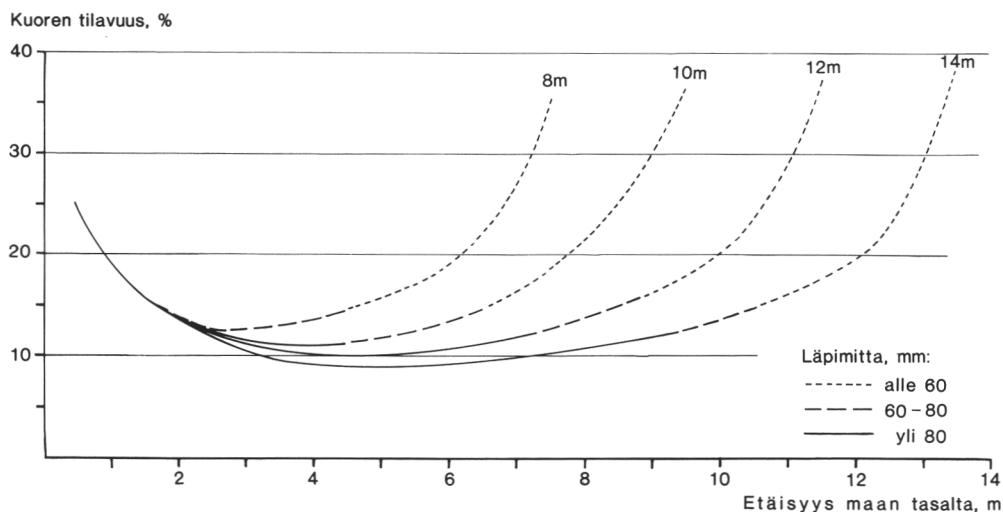
Mitä nuoremmasta ja ohuemmasta puusta on kysymys, sitä kärjekkäämpinä nämä kielteiset piirteet korostuvat. Siksi metsäteollisuus nosti lamavuonna 1992 kuitupuun vähimmäismitan 6 cm:stä männyllä 7 cm:iin ja kuusella peräti 8 cm:iin. Ensiharvennuspuun järeyttä voitiinkin kyllä täten hieman lisätä ja vähemmän halutun puun kokonaisuutta kuitupuuvirrassa rajoittaa. Mutta kun hehtaari- ja leimikkokohtainen kertymä samalla supistui, seurauksena olikin itse asiassa korjuun yksikkökustannusten kohoaminen entisestään.

Ensiharvennuspuun korjuutekniikkaa on ryhdytty kehittämään leimikon ja raaka-aineen erityispiirteet lähtökohdaksi asettaen. Koska ensiharvennusleimikot tuottavat kuitupuun ohella myös energiapuuta, niiden korjuu- ja prosessitekniikan kehittäminen on saanut tärkeän sijan valtakunnallisessa Bioenergian tutkimusohjelmassa. Siinä on mukana lukuisia tutkimusorganisaatioita ja yhtiöitä, joista tässä selostettavaa tutkimusta lähellä ovat erityisesti Metsäntutkimuslaitos, Metsäteho, Työtehoseura, Joensuun yliopisto, VTT Energia, Enso-Gutzeit Oy, Enocell Oy sekä Pertti Szepaniak Oy. Vuonna 1993 käynnistetyssä ohjelmassa on lukuisia muitakin hankkeita, mutta niitä ei tässä yhteydessä käsitellä.

Ensiharvennusmänty kuitupuuna

Mitä pienempää ensiharvennuspuu on, sitä suurempi on sen *kuoripitoisuus*. Metsäntutkimuslaitoksen aineiston mukaan kuoren osuus on pystypuustossa 15,4 % tilavuudesta ja 10,1 % kuivamassasta. Se on 2-3 prosenttiyksikköä enemmän kuin normaalilla kuitu-

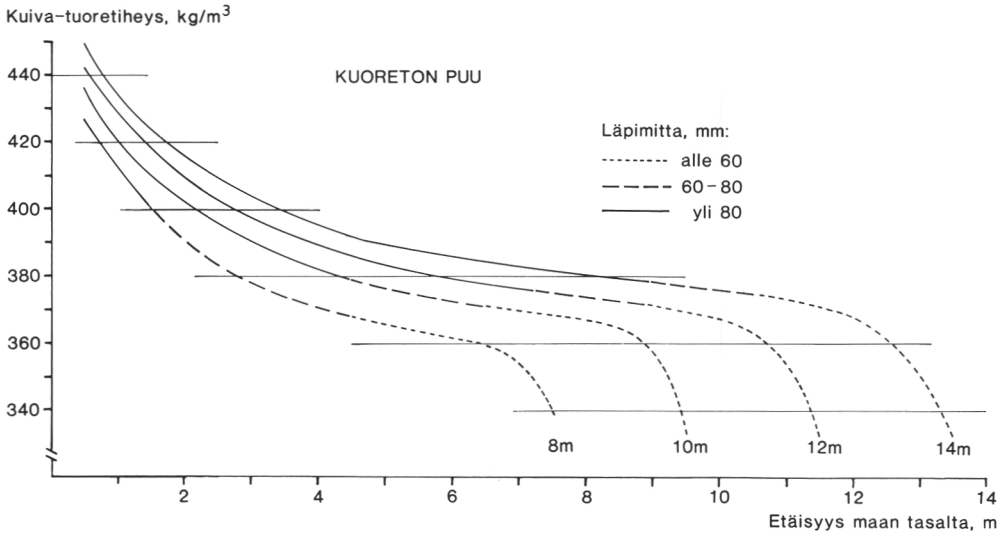
puulla. Korjuun aikana kuorta kuitenkin häviää jonkin verran, koneellisessa korjuussa lähinnä karsintavaiheessa keskimäärin ehkä viidennes kuoresta. Kuva 1 osoittaa kuoren tilavuusosuuden ensiharvennuskäynnissä rungon eri korkeuksilla puun pituudesta riippuen.



Kuva 1. Kuoren tilavuusosuuden vaihtelu rungon pituussuunnassa 8, 10, 12 ja 14 m:n pituisissa puissa Etelä-Suomen ensiharvennuskäynnissä.

Toinen kuitupuun arvoon vaikuttava ominaisuus on *puun kuiva-tuoretiheys* eli kiintokuutiometrin kuiva-ainesisältö. Sekä sellun keitossa että lämmön tuotannossa puun kulutus on lähes suoraan verrannollinen puuaineen tiheyteen. Koska tiheyden vaihtelu heijastaa solurakenteessa ilmeneviä eroja, se antaa viitteitä myös kuitujen paperiteknisistä ominaisuuksista. Kun paksuseinäisten solujen osuus ja siis puuaineen tiheys kasvaa, massan saanto ja monille paperilaaduille ja nopeille paperikoneille hyvin tärkeä repeämislujuus kasvavat niin ikään. Jos paperilta sen sijaan vaaditaan pikemminkin suurta veto-, puhkaisu- tai taittolujuutta sekä läpikuultamattomuutta ja sileätä pintaa, parhaan tuloksen antavat helposti kokoon lysähtävät ohutseinäiset solut eli kevyt puuainees. Esimerkiksi voimaperiltä vaaditaan korkeata repeämislujuutta ja korkeata puuaineen tiheyttä, kun taas ohuitten hienopaperien laatu hyötyy kevyestä puuaineksestä.

Ensiharvennuskäynnin keskimääräinen tiheys on kuorettomalla puulla 395 kg/m^3 ja kuorellisella puulla 376 kg/m^3 ja kuorella vain 267 kg/m^3 . Normaaliin mäntykuitupuuhun verrattuna ensiharvennuskäynti on kevyempää, mutta ero on pienempi kuin yleisesti oletetaan, vain noin 3 %. Eron pienuus selittyy paljolta siltä, että ensiharvennuskäynnin kuitupuusta sisältää aina myös tyvipölkkyt, kun taas muusta kuitupuusta on usein erotettu tyvipölkkyjä tukkipuiksi. Kuva 2 osoittaa, että ensiharvennuskäynnin kuiva-tuoretiheys on korkeimmillaan juuri rungon tyvellä.



Kuva 2. Kuorettoman puun kuiva-tuoretiheyden vaihtelu rungon pituussuunnassa 8, 10, 12 ja 14 m:n pituisissa puissa Etelä-Suomen ensiharvennumänniköissä.

Ensiharvennumänniköitten välillä on kuitenkin eroja. Kun kanerva- ja puolukkatyyppin kankaaiten ohutlustoisen puun tiheys on ensiharvennusvaiheessa kuorettomana keskimäärin 404 kg/m³, mustikka- ja käenkaalimustikkatyyppin kankaaiten kasvukkaamman puun tiheys on vastaavasti vain 374 kg/m³.

Kolmas tärkeä ominaisuus on *kuidun pituus*. Pitkät kuidut antavat paperille lisää repäisy-
lujuutta, mikä on hyödyksi suurilla nopeuksilla toimivissa paperikoneissa. Lyhyet kuidut taas parantavat hienopaperin painatusominaisuuksia. Metsäntutkimuslaitoksen keräämässä aineistossa ensiharvennumännyn kuidun pituus on keskimäärin 2,4 mm, kun se normaalissa kuitupuussa on 2,5-3,0 mm ja sahanhakkeessa 3,0-3,4 mm.

Näin siis ensiharvennumänty on niin kuoripitoisuuden, puuaineen tiheyden kuin kuidun pituudenkin suhteen useisiin tarkoituksiin normaalia mäntykuitupuuta huonompaa raaka-ainetta. Erot eivät kuitenkaan ole niin suuria, etteikö ensiharvennuspuukin olisi täysin kelvollista kuituteollisuuden raaka-ainetta, ja tiettyihin erityistarkoituksiin se saattaa olla hyvinkin sopivaa. Kun kuitupuun tarve lähivuosina edelleen kasvaa, hyväksytään ensiharvennumäntykin arvokkaaksi kuitureserviksi.

Ensiharvennumänty energiapuuna

Korkein kanto- ja tienvarsihintaa ensiharvennuspuulle saadaan silloin, kun se voidaan käyttää kuitupuuksi. Jos kysyntää kuitupuuksi ei ole, ainoaksi mahdollisuudeksi jää energia-

käyttö. Pienimmät puut, latvakappaleet ja oksat eivät missään tapauksessa sovellu muuhun kuin energiakäyttöön.

Männyn eri osat eroavat lämpöarvon suhteen toisistaan kuiva-tuore-tiheydestä, uuteainepitoisuudesta, kosteudesta ja tuhkapitoisuudesta riippuen. Taulukossa 1 edustaa 50 %:in kosteus melkoisen tuoretta puuta ja 25 %:n kosteus kuivunutta puuta:

Taulukko 1. Ensiharvennumännyn eri komponenttien tehollinen lämpöarvo ja tuhkapitoisuus.

	Tehollinen lämpöarvo, MWh/m ³		
	Kosteus 25 %	Kosteus 50 %	Puhdasta tuhkaa, %
Kuoreton runkopuu	2,03	1,86	0,40
Kuorellinen runkopuu	1,93	1,78	0,62
Kuori	1,38	1,26	2,55
Neulas	2,09	1,92	2,35
Oksat neulasineen	2,07	1,90	1,48

Puuta poltettaessa epäorgaaniset aineet jäävät jäljelle tuhkana. Erityisesti kuoressa ja neulasissa on runsaasti tuhkaa. Ensiharvennumännyn eri komponenteista syntyy puhdasta tuhkaa seuraavasti: puuaineesta 1,6 kg/m³, kuoresta 7 kg/m³, kuorellisista oksista 4 kg/m³ ja neulasista 9 kg/m³. Epäpuhtauksista peräisin oleva hiekka ja palamatta jäänyt hiili saatavat moninkertaistaa tuhka-jätteen määrän.

Runkohukkapuu

Metsurityömailla ja hankintahakkuissa kuitupuupölkyn pituus on yleensä 3 m, minkä lisäksi hyväksytään myös vähintään 2,5 m:n pituuden täyttävät latvapölkkyt. Koneellisessa korjuussa perusmitta on vastaavasti yleensä 5 m ja apumitta 3-5 m. Pystymyyneissä rungosta on aina saatava vähintään yksi perusmitan täyttävä pölkky, mutta hankintakaupoissa on mahdollista tehdä lyhyitä pölkkyjä myös pienempien runkojen tyvipölkkyistä ja päätyä siten suurempaan kertymään. Taulukko 2 osoittaa, miten paljon latvakappaleisiin jää hukkapuuta, kun noudatetaan vaihtoehtoisesti 5-8 cm:n latvaläpimitta- sekä 7-9 cm:n rinnan- korkeusläpimittavaatimusta.

Taulukko 2. Runkohukkapuun osuus poistetun puuston kuorellisesta runkofilavuudesta kuitupuun pituus-, latvaläpimitta- ja rinnankorkeusläpimittavaatimuksesta riippuen tyypillisessä ensiharvennusmännikössä. Rinnan-
korkeusläpimitta 2 cm:n tasaavalla luokituksella.

Latvan läpimitta- vaatimus, cm	Pölkyn pituus 3 + 2.5 m			Pölkyn pituus 5 + 3 m		
	Pienin D _{1,3} -luokka, cm					
	7	9	11	7	9	11
	Hukkarunkopuun osuus, %					
5	8	13	32	8	10	31
6	15	16	36	14	14	33
7	25	25	38	35	35	35
8	41	41	41	42	42	42

Ei siis ole yhdentekevää, millaista latvaläpimittavaatimusta ensiharvennuspuille sovelletaan. Vähimmäismitan alentaminen 7 cm:sta 5 cm:iin kasvattaa kertymää erityisesti sellaisissa leimikoissa, joissa on runsaasti rinnankorkeusläpimitaltaan 8-10 cm:n puita. Läpimittan alentaminen 5 cm:iin toisi teollisuuden ulottuville Etelä-Suomen ensiharvennusleimikoista lisäraaka-ainetta yli puoli miljoonaa m³ vuodessa. Samalla energiapuuksi tarjolla olevan biomassan määrä supistuisi vastaavasti.

Korjuun yleiskustannukset ja kuljetuksen kustannukset alenevat leimikkokohtaisen kertymän kasvaessa. Aikaisemmin markkinakelvottomaksi katsottu leimikko saattaa kertymän paisuessa muuttua kelpolliseksi. Kun hakkuu tapahtuu yksiotetarvesterilla, hakkuuvaiheen yksikkökustannus saattaa latvaläpimittan pienentämisestä huolimatta jopa alentua, sillä latvan karsimisen vaatima lisäaika on häviävän pieni. Sen sijaan puun rinnankorkeusläpimittan pienentäminen nostaa kustannuksia, sillä sitä kautta saatava lisäraaka-aine kasvattaa metsurin ja harvesterin ajanmenekkiä paljon enemmän.

Latvusmassa

Latvusmassa eli oksat neulasineen muodostaa keskeisen osan ensiharvennusmänniköitten energiapotentialista. Sille ei ole vaihtoehtoista käyttöä teollisuuden raaka-aineena. Latvusmassan määrä, koostumus ja suhteellinen osuus puun koko biomassasta vaihtelevat puulajista, puuston koosta, metsikön sulkeutuneisuudesta, puun terveydentilasta, kasvupaikan viljavuudesta, maantieteellisestä sijainnista sekä puuston perimästä riippuen. Latvusmassalla on merkitystä silloin, kun puut otetaan talteen karsimattomina.

Etelä-Suomen ensiharvennusmänniköissä latvuksen kuivamassa on keskimäärin 106 kg kuorellisen runkopuun kuutiometriä kohti eli 28 % rungon kuivamassaan verrattuna, kun sekä elävät että kuolleet oksat lasketaan mukaan. Huomattava osa latvusmassasta koostuu neulasista:

	Latvusmassa kg/m ³ runkopuuta	Latvusmassa/runkomassa %
Neulas	28	7,5
Elävät oksat	56	14,6
Kuolleet oksat	22	5,9
Latvusmassa yhteensä	106	28,0

Kuolleitten oksien määrä on ensiharvennusmännillä suurempi kuin millään muulla puutavaralajilla. Niitten merkitys on todellisuudessa kuitenkin pieni. Hakkuussa kuolleita oksia katkeilee jo naapuripuita kaadettaessa. Niitä putoilee pois jokaisessa käsittelyvaiheessa, esimerkiksi traktoria kuormattaessa ja purettaessa sekä hakkuria syötettäessä.

Sellaisissakin menetelmissä, joissa ensiharvennuspuu korjataan karsimattomana, ylin latva jätetään usein tähteenä metsään. Jos ensiharvennusmänty katkaistaan 5 cm:n läpimitasta, latvaan jää keskimäärin 48 % neulasista ja 42 % elävien oksien ja neulasten yhteismassasta. Jos katkaisuläpimitta on 7 cm, vastaavat osuudet ovat 74 % ja 68 %.

Latvakappaleeseen jäävällä latvusmassalla on siis tärkeä merkitys energiapuun kertymän ja sitä kautta myös metsämaan ravinnetappioitten kannalta. Lisäksi rungon alemmista osista katkeilee eläviä oksia ja pääosa kuolleista oksista silloinkin, kun puutavara otetaan talteen karsimattomana. Lähinnä vain palstalla tapahtuva kokopuuhaketus antaa mahdollisuuden latvusmassan lähes täysimääräiseen talteenottoon, mutta menetelmä soveltuu lähinnä vain polttihakkeen tuotantoon.

Ensiharvennuspuun kuorinta

Kuitupuuta kuoritaan pituusakselinsa ympäri pyörivässä suuressa rummussa. Kuoriutumisen perustuu pölkkyjen väliseen hankaukseen. Pölkkyissä saattaa tapahtua murtumia, säleilyä ja päitten pensselöitymistä. Normaalikuitupuulla niistä aiheutuu 1-5 %:n runkopuuhävikkiä.

Hävikki kohdistuu erityisesti ohuisiin pölkkyihin. Yleinen on väittämä, että ensiharvennuspuun kuorintahävikki kasvaa jopa 10-20 %:iin, kun ohut puu rummussa sekoittuu järeämpään kuitupuuhun ja murskaantuu sen seassa pyöriessään.

Bioenergian tutkimusohjelmassa etsitään menetelmiä, joilla ensiharvennuspuu voitaisiin kuoria, tai samanaikaisesti sekä karsia että kuoria niin, että puun hävikki pysyisi kurissa. Hakkeen kuoripitoisuus on saatava selvästi alle sulfaattimassateollisuuden 1 %:n enimmäisrajan, ja toisaalta myös energiapuu halutaan saada talteen mahdollisimman täysimääräisesti. Vaikka kokeet vielä jatkuvat, jo nyt voidaan sanoa, että ensiharvennusmännyn kuorintaongelmat ovat hallittavissa, vaikka kuitupuun vähimmäisläpimitta alennettaisiin 5 cm:iin. Tärkeätä on, että ensiharvennusmäntykin saapuu tehtaalle tuoreena, jolloin kuorintavastus on pienin, ja että sille sovelletaan pienpuulle suunniteltua teknologiaa. Vaihtoehtoisia menetelmiä on useita:

Reikäroottorikuorinnassa saavutetaan alhainen 0,2-0,3 %:n kuoripitoisuus kohtuullisella 1-3 %:n puuhävikillä. Pölkkyt kuoritaan yksin puun, minkä vuoksi tuottavuus jää ohuilla latvapölkkyillä kehnoksi. Sen sijaan ensiharvennuspuun tyvipölkkyt ovat jo riittävän järeitä mahdollistaakseen kohtuullisen tuottavuuden, kun käytetään suuria syöttönopeuksia. Menetelmä ei sovellu karsimattomalle osapuulle.

Rumpukuorinnan tulokset vaihtelevat laitoksittain. Eräissä laitoksissa kuorintahävikki saattaa nousta hyvinkin suureksi, mutta muun muassa Enocell Oy:n uudenaikaisella rumpukuorimolla ensiharvennusmännylläkin on mahdollista päästä erilliskäsittelyssä alle 2 %:n hävikkiin ja samalla kuitenkin hyvin alhaiseen 0,1-0,3 %:n kuoripitoisuuteen. Rumpukuorinnassa voidaan käsitellä karsitun kuitupuun joukossa ehkä 10 %:n osuutena myös karsimatonta osapuuta, mikä kuitenkin supistaa kapasiteettia ja lisää hävikkiä.

Ketjukarsinta-kuorinnassa puutavara syötetään kahden teräsketjuilla piiskaavan rummun välistä, jolloin karsiutuminen ja kuoriutuminen tapahtuvat samanaikaisesti. Menetelmä soveltuu karsimattomalle puulle, ja myös runkokuorin hävikki pysyy kohtuullisella 3 %:n tasolla. Ongelmana on kuitenkin hakkeen kuoripitoisuus, jota on vaikeata saada alle 1 %:n rajan. Erityisesti jäänyt puu on ongelmallista, niin että kuoren osuus pyrkii jäämään kovilla pakkasilla yli 3 %:n.

Pertti Szepaniak Oy on rakentanut uuden karsimattomalle ensiharvennuspuulle tarkoitetun karsinta-kuorintalaitoksen, jossa yhdistetään piiskaus- ja rummutustekniikka. Piiskauksessa poistetaan ensin oksat sekä pääosa kuoresta, minkä jälkeen kuorinta viimeistellään kuivarummussa. Laitos on vasta kokeiluvaiheessa, mutta alustavat tulokset ovat

varsin rohkaisevia niin tuotteen laadun, kuitupuun hävikin kuin prosessikustannustenkin suhteen. Tähän tekniikkaan perustuva tuotantomittakaavan laitos on rakenteilla Imatralla.

Bioenergian tutkimusohjelman voidaan odottaa tuovan helpotusta ensiharvennuspuun korjuu- ja kuorintavaikeuksiin. Kun raaka-aineen erityisominaisuudet opitaan tuntemaan ja kuidun käyttökohteet suunnitellaan niitä vastaamaan, myös ensiharvennuspuun laadullisten ongelmien merkitys vähenee. Kuitupuuksi soveltumaton osa biomassasta kannattaa ottaa energiakäyttöön, joka tulisi rajoittaa rinnakorkeusläpimitaltaan alle 8 cm:n runkoihin, suurempien runkojen alle 5 cm:n latvaan, rungon kuoreen sekä latvusmassaan. Osa latvusmassasta tulee kuitenkin jättää tähteenä metsään maan humus- ja ravinnevaroja ylläpitämään. Tutkimustulosten perusteella on tehty rajanveto, jonka mukaan tyypillisen ensiharvennusmännikön biomassapoistumasta on 65 % potentiaalista kuitupuuta ja 21 % ensisijaista energiapuuta. Loput 14 % poistuman biomassasta suositellaan jätettäväksi hakkuutähteenä metsään.

Kaarlo Rieppo

Metsäteho

PUUPOLTTOAINEEN JA SELLUHAKKEEN INTEGROITU TUOTANTO KETJUKARSINTA-KUORINTATEKNIKKALLA

Ketjukarsinta-kuorinta-haketusmenetelmässä kuljetuspituuksiin katkotut puut raaka-aineesta riippuen kuoritaan tai karsitaan ja kuoritaan joukkokäsittelyä ennen haketusta yhdellä koneella. Haketus voidaan tehdä tienvarsi-, terminaali- tai tehdasvarastolla. Terminaalivarasto voi sijaita myös polttoraaka-aineen käyttöpaikalla.

Menetelmä mahdollistaa joustavan pienten puiden erilliskäsittelyn. Onnistuessaan menetelmä mahdollistaa myös merkittävän polttoraaka-ainemäärän hankinnan ainespuun yhteydessä.

Metsäteho on yhdessä Metsäntutkimuslaitoksen, Pertti Szepaniak Oy:n ja Enso-Gutzeit Oy:n kanssa selvittänyt menetelmän käyttökelpoisuutta Suomen oloissa. Metsäteho on tutkinut koneyksikön tuottavuutta ja kustannuksia ja Metsäntutkimuslaitos raaka-ainetasetta ja selluhakkeen laatua.

Laitteiston kuvaus

Ketjukarsintaan ja -kuorintaan perustuvia haketusyksiköjä on Pohjois-Amerikassa käytössä toista sataa. Siellä koneita käytetään pääasiassa tukkikokoisten kokopuiden käsittelyyn. Suomessa koneyksiköitä on käytössä yksi. Se on tyypiltään Peterson Pacific DDC 5000 (kuva 1) ja imatralaisen Pertti Szepaniak Oy:n omistama. Koneyksikkö on ollut käytössä vuodesta 1991 lähtien, ja sitä on sovellettu lähinnä ensiharvennumännyn hankintaan. Urakanantajana on pääasiassa ollut Enso-Gutzeit Oy.

Koneyksikkö käsittää nivelpuomikuormaimen, Suomessa lisätyn viisimetrisille puunosille mitoitettun syöttöpöydän, ketjupiiskaimen, jätemurskeen poistolaitteen, kolmiteräisen laikkahakurin, hakkeenpoistoputken, erillisen käyttömoottorin ja ohjaamon. Yksikkö on kytketty puoli-perävaunun tapaan kuorma-auton vedettäväksi. Koneyksikön käytön ja siirrot hoitaa yksi henkilö.

Haketettavat puut syötetään kuormaimella koneyksikköön. Puut karsitaan ja kuoritaan teräsketjuilla piiskaten, minkä jälkeen kuorettomat rangat joutuvat laikkahakkuriin. Hake puhalletaan sivulle suunnattavalla poistoputkella joko maahan tai vierellä odottavaan hakeautoon kuormatilan päältä.



Kuva 1. Peterson Pacific DDC 5000.

Kuoretonta haketta ja energiajajetta

Ketjukarsinta-kuorinta-haketusyksikkö karsii, kuorii ja hakettaa puut viheraineettomaksi ja lähes kuorettomaksi selluhakkeeksi. Menetelmällä saadaan oheistuotteena jatkokäsiteltynä polttokäyttöön soveltuvaa oksa- ja kuorimurskettä; osapuulla neljännes ja kokopuulla reilu kolmannes käsiteltävästä biomassamäärästä.

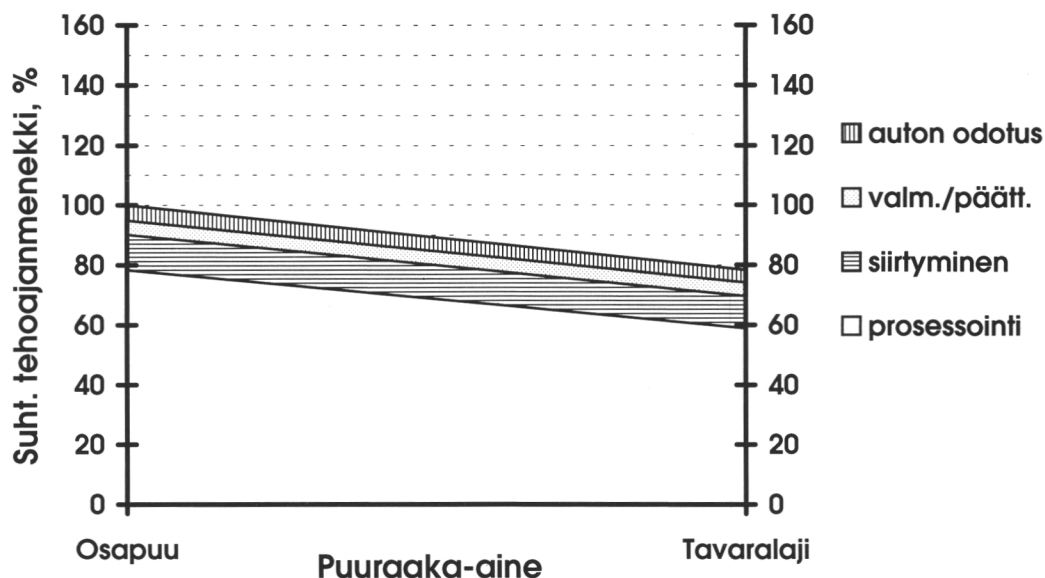
Ketjukarsinta-kuorinta-haketusyksikön tuottamassa oksa- ja kuorijätteessä on niin paljon pölkyistä murtuneita kappaleita, että lämpölaitosten syöttölaitteiden häiriötön toiminta edellyttää tähteen homogenisointia murskaimella. Tämä on onnistunut hyvin niinkään Pertti Szepaniak Oy:n hankkimalla Morbark 1200 -vasaramurskaimella.

Ketjukarsinta-kuorinta-haketusmenetelmän käyttöönsaamisessa on olennaisin tekijä valmistettavan selluhakkeen laatu ja hinta. Jos menetelmän tuottavuus on riittävä ja samanaikaisesti selluhakkeen palakokojakauma ja kuoripitoisuus hyväksyttävä, on selluhakkeen tuottaminen menetelmällä todennäköisesti kannattavaa. Tästä puolestaan seuraa, että menetelmällä voidaan tuottaa myös oksa- ja kuorimurskettä polttokäyttöön.

Prosessointi käyttöpaikalla edullisinta

Kkh-yksikön tehoajanmenekkiin selvimmän vaikuttavimpia tekijöitä ovat kuljettajan ohella varastotyyppi, puuraaka-aine ja puulajisuhde. Muita tehoajanmenekkiin selvästi vaikuttavia tekijöitä ovat puuraaka-aineen järeyys sekä lumi ja lämpötila.

Tehoajanmenekki tehdasvarastolla oli 15 % pienempi kuin tienvarsivarastolla. Tavaralajin haketuksen tehoajanmenekki oli yli 20 % pienempi kuin osapuun (kuva 2). Kuljetuspituuksiin katkotun kokopuun (= latvat mukana) tehoajanmenekki oli 8 % suurempi kuin osapuun (= latvat ei mukana). Jo 5 - 10 %:n osuus kuusta lisäsi tehoajanmenekkiä lähes 20 %. Ajanmenekki pysyi samana kuusen määrän lisääntyessä 5 - 10 %:sta 30 %:iin. Pelkän kuusen haketuksen ajanmenekki oli 56 % suurempi kuin pelkän männyn.



Kuva 2. Puuraaka-aineen vaikutus Peterson Pacific DDC 5000 -kkh-yksikön suhteelliseen tehoajanmenekkiin.

Järeystarkasteluja varten aineisto jaettiin rungon keskikoon mukaan kolmeen luokkaan: pieni (alle 50 dm^3), normaali ($50 - 70 \text{ dm}^3$) ja järeä (yli 70 dm^3). Järeydeltään keskimääräistä pienemmän puuraaka-aineen haketuksen tehoajanmenekki oli noin 10 - 20 % suurempi kuin normaalikokoisen. Oksaisuus jyrkensi vaikutusta, ts. mitä oksaisempi raaka-aine, sitä enemmän ajanmenekki kasvoi järeyden pienessä. Normaalioksisella osapuulla ajanmenekki pieneni siirryttäessä normaalikokoisista pölkyistä järeisiin. Runsasoksisilla pölkyillä tapahtui päinvastoin. Järeiden pölkköjen oksat ovat nähtävästi niin tukevia, että kasa ja taakka jää niiden vuoksi harvaksi ja taakkojen kiintomäärä pieneksi. Myös lyhyet syöttöhäiriöt lisääntyvät järeitä, oksaisia pölkköjä käsiteltäessä.

Lämpötilan ja lumen määrän yhteisvaikutus kuvaa selkeimmin tuottavuuseroa kesä- ja talviolojen välillä. Kun verrattiin +10 - +25 °C:n lämpötilassa hakettuja koe-eriä sellaisiin koe-eriin, jotka oli hakettu 0 - -20 °C:n lämpötilassa ja joissa oli todettu yli 20 cm:n lumikerros kasan päällä, saatiin talvioloista aiheutuvaksi tehoajanmenekin kasvuksi 14 %. Pelkän lämpötilan vaikutusta tarkasteltiin lämpötila-alueiden >+15 °C, +5 - -5 °C ja <-15 °C välillä. Lämpötilan laskiessa 0 °C:n tienoille kasvoi tehoajanmenekki 17 % osapuuta tievarsivarastolla hakettaessa. Lämpötilan laskiessa edelleen alle -15 °C:n todettiin tavara-lajin haketuksessa yli 50 %:n tehoajanmenekin kasvu.

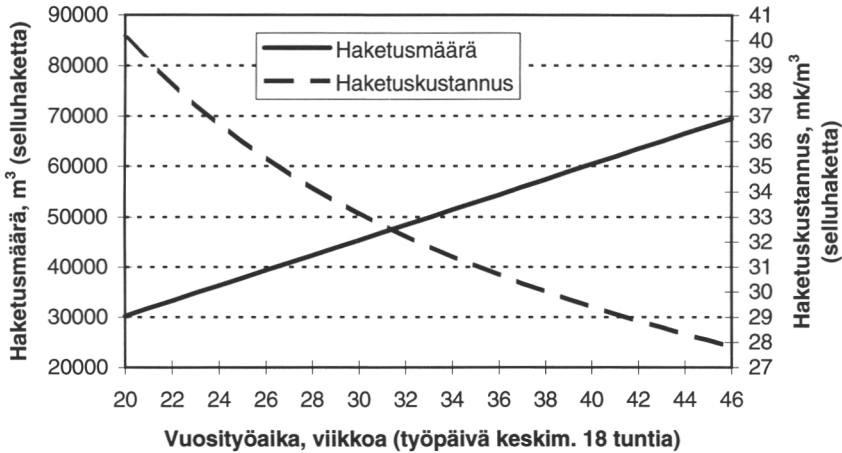
Yksikön käyttötuntituotos on ollut tienvarsivarastolla mäntyosapuuta käsiteltäessä 71 - 86 i-m³ selluhaketta ja joukkokäsiteltyä sekä tavallista mäntyavaralajia käsiteltäessä 75 - 101 i-m³. Vastaavasti käyttötuntituotos tehdasvarastolla mäntyosapuuta käsiteltäessä on ollut 86 - 100 i-m³ ja joukkokäsiteltyä sekä tavanomaista mäntyavaralajia käsiteltäessä 100 - 120 i-m³.

Käyttöajan (E15 = Prosessointi + apuajat + alle 15 min:n keskeytykset) osuus tuotantoajasta oli tienvarsivarastolla 57 % ja tehdasvarastolla 80 %. Käyttöaste tehdasvarastolla oli selvästi parempi kuin tienvarsivarastolla. Ero johtuu lähinnä hakkurin ja hakeautojen ketjuttamisen vaikeudesta tienvarsivarastolla. Kun käyttöaste lasketaan käyttöaikaa kokonaistyöaikaan (= tuotantoaika + siirrot + korjaamo aika) vertaamalla saadaan toiminnallinen käyttöaste.

Tienvarsivarastolla operoitaessa toiminnallinen käyttöaste oli 47 %. Haketushinnaksi muodostui 28 mk/k-m³. Tällöin vuosityöajaksi on oletettu 46 vkoa (keskimäärin 18 tuntia/pvä siirtoineen), käyttötuntituotokseksi 35 m³, yhdeltä varastopaikalta hakettavaksi ainespuumääräksi 500 m³ ja siirtokerta-ajaksi 4 tuntia. Vuositasolla haketusmäärä on 70 000 k-m³ sel-luhaketta.

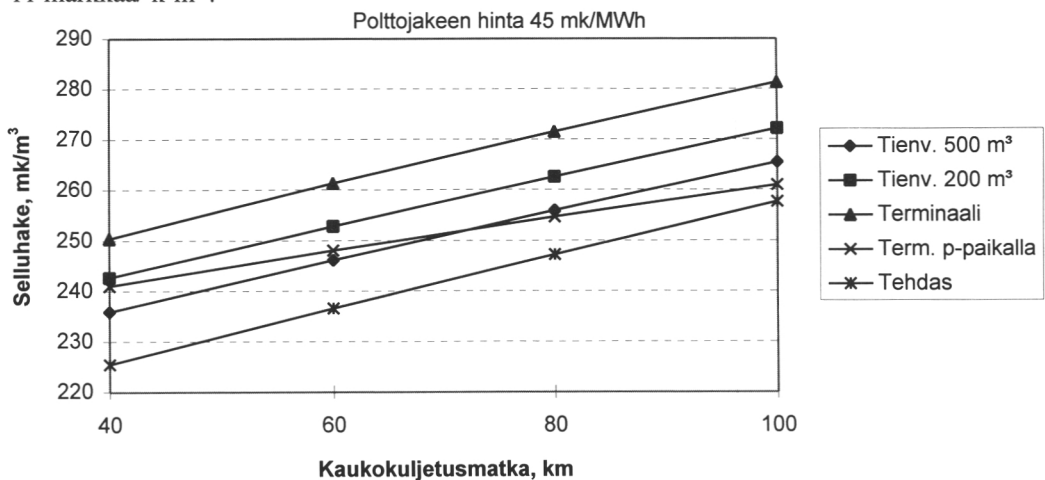
Vastaavasti tehdasvarastolla toiminnallinen käyttöaste oli 76 %. Haketuskustannus on puolestaan reilut 17 mk/k-m³, kun vuosityöaika on sama kuin edellä, käyttötuntituotos on 40 m³, kerralla hakettava ainespuumäärä 15 000 m³ ja siirtokerta-aika 10 tuntia. Vuositasolla päästään näin lähes 130 000 k-m³ tuotokseen.

Mikäli vuosityöaika jää alle edellä mainitun 46 viikon vuodessa nousevat haketuskustannukset tienvarsivarastolla kuvan 3 mukaisesti. Jos vuosityöaika on esimerkiksi vain 34 viikkoa, jää vuosituotos tienvarsivarastolla noin 50 000 k-m³:iin. Haketuskustannus on tällöin reilut 31 mk/k-m³.

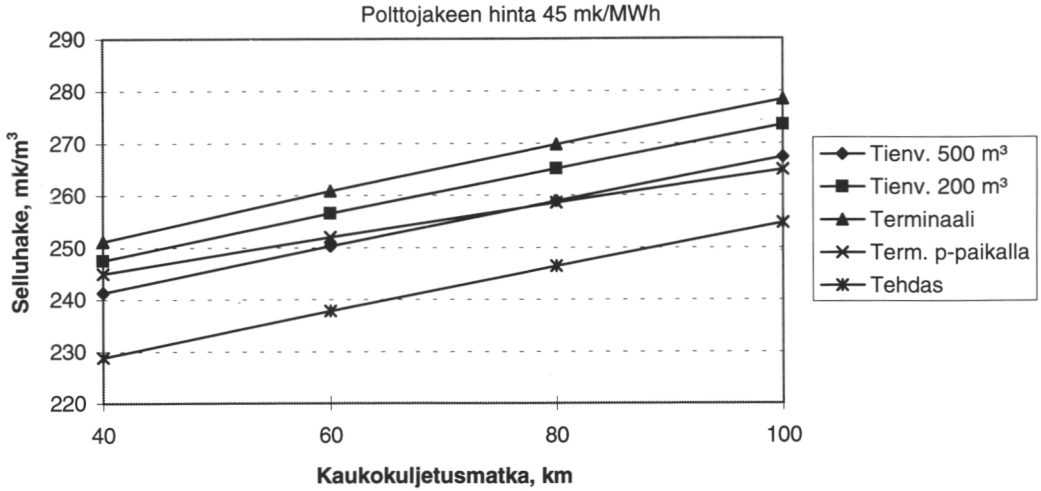


Kuva 3. Vuosityöajan (= tuotanto- ja siirtoaika) vaikutus haketusmäärään ja -kustannukseen tienvarsivarastolla.

Aluksi ketjukarsinta-kuorinta-haketusyksiköllä operoitiin tienvarsivarastoilla. Tutkimustulokset ja kokemukset ovat kuitenkin osoittaneet, että sekä osa- että kokopuulla parempi kustannusrakenne saavutetaan yksikön toimiessa tehdasvarastolla (kuvat 4 ja 5). Näin myös ketjukarsintamurskeen hyödyntäminen, mikä tienvarsivarastoilla on osoittautunut hankalaksi, on helpompaa. Terminaali, joka ei sijaitse polttolaitoksen yhteydessä on kallein vaihtoehto. Polttolaitoksella sijaitseva terminaali varasto tulee edullisemmaksi kuin suurempi tienvarsivarasto kaukokuljetusmatkan ollessa vähintään 60 - 80 km. Tällöin on oletettu, että alkukuljetusmatka polttolaitokselle on 20 km. Osapuumenetelmä näyttäisi olevan edullisempi kuin kokopuumenetelmä, kun kaukokuljetusmatka on vähintään 80 km. Mikäli polttojakeesta saadaan vain 30 mk/MWh, nosta se selluhakkeen kustannuksia kokopuulla noin 16 ja osapuulla noin 11 markkaa/ k-m³.

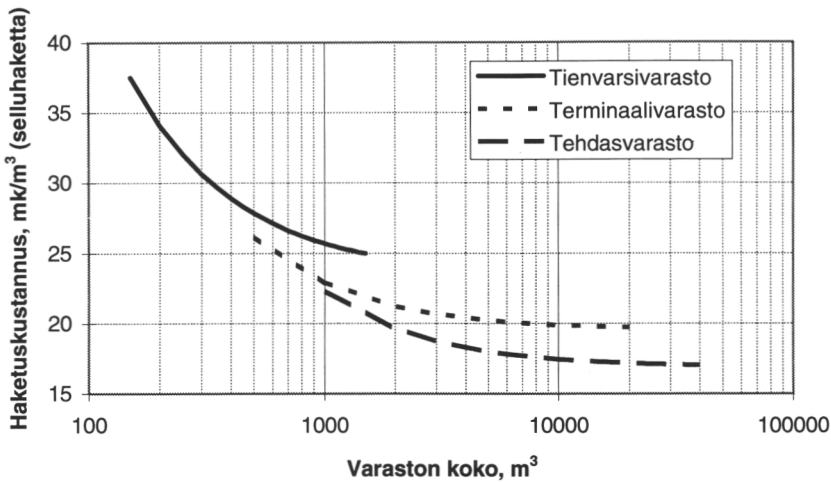


Kuva 4. Selluhakkeen kustannuksen riippuvuus kaukokuljetusmatkasta kuljetuspituuksiin katkotulla kokopuulla (Tienv. 500 m³ = Tienvarsivaraston koko 500 m³, Terminaali = Terminaalivarasto, Terminaali p-paikalla = Terminaalivarasto poltto paikalla, Tehdas = Tehdasvarasto)



Kuva 5. Selluhakkeen kustannuksen riippuvuus kaukokuljetusmatkasta osapuulla

Varastokoon tulisi tienvarsivarastoillakin operoitaessa olla vähintään 500 m³. Pienemmillä varastoilla siirtojen osuus kokonaisajasta kasvaa huomattavasti, mikä nostaa haketuskustannuksia (kuva 6).



Kuva 6. Varastolla olevan puumäärän vaikutus haketuskustannukseen

Hakkeen laadun varmistaminen

Sulfaattiselluteollisuudessa hakkeen kuoripitoisuus ei saisi olla yleensä enempää kuin 1 % kuivamassasta. Tämä raja on asetettu tavoitteeksi myös ketjukarsinta-kuorinta-haketusmenetelmällä tuotettavalle hakkeelle.

Ketjukuorinnan tulos riippuu raaka-aineen ominaisuuksista, prosessiteknisistä tekijöistä ja sääoloista. Hyvissä oloissa Peterson Pacificilla päästään alle vaaditun rajan. Raja kuitenkin ylittyy, jos puut ovat hyvin pieniä, ne ovat päässeet kuivahtamaan tai ne ovat jäässä. Mäntyosapuulla hakkeen kuoripitoisuus on yleensä 1 - 2 %. Kuorintatuloksen kannalta ehkä vaikein kaikista puuraaka-aineista on jäänyt karsimaton kuusi. Tällä ei ole päästy tyydyttävään tulokseen.

Ketjukarsinnan kuorintatulosta pyritään parantamaan kehitystyöllä. Tähän liittyy kaksi hanketta; toisessa käytetään ketjukarsinnan lisänä pientä kuorimarumpua ja toisessa harjoja.

Pertti Szepaniak Oy on kehittämässä yhdistettyä ketjukarsinta- ja rumpukuorintalaitteistoa. Metsäteho teki yhdessä Metsäntutkimuslaitoksen kanssa ensimmäisellä versiolla esikokeet syksyllä 1994. Laitteisto koostui syöttöpöydästä, Pertti Szepaniak Oy:n kehittämästä 2-rullaisesta ketjukarsijayksiköstä ja pienrummista (pituus n. 10 m ja halk. 2,1 m). Kokeissa taakojen syötössä ja kuorittujen pölkkyjen haketuksessa käytettiin erillisiä mobiilihakkureita. Metsäteho selvitti laitteiston tuottavuutta ja Metsäntutkimuslaitos raaka-ainetasetta ja kuorintalaatua. Koeaineisto oli mäntyä, kuusta ja koivua - tavaralajia ja osapuuta kustakin.

Tuottavuus laitteistolla jäi vielä melko alhaiseksi, mikä oli odotettavissa, koska kyseessä oli ensimmäinen koeajo. Koesarjan myötä laitteistoa kehitettiin ja tuottavuus parani selvästi jo kokeiden aikana. Runkopuun hävikki oli 0,8 - 6,2 % ja hakkeen kuoripitoisuus 0,4 - 3,5 %. Kokeiden aikana syntyneiden parannusehdotusten myötä laitteistoa kehitetään. Uudella versiolla kokeita jatketaan loppuvuodesta 1995. Kehitetyn laitteen myötä tuottavuus nousee ja sekä puuhäviöt että hakkeen kuoripitoisuus pienenevät.

Ketjukarsinta-rumpulaitteiston hankintahinta uudella rummulla varustettuna tulee olemaan noin 4 milj.mk. Peterson Pacificin hankintahinta kaikkine laitteistoineen on samaa suuruusluokkaa. Kehitettävällä ketjukarsinta-rumpukuorintalaitteistoon perustuvalla menetelmällä on hyvät mahdollisuudet päästä vähintään samaan kustannustasoon kuin Peterson Pacificilla hakkeen laadun parantua samalla selvästi.

Toisessa hankkeessa, jolla pyritään parantamaan ketjukarsinta-kuorinnan kuorintalaatua, on kehitetty tutkimuslaite, jolla ketjukarsinnan-kuorinnan perusteita voidaan selvittää yksityiskohtaisesti. Lisäksi laitteessa on mahdollista käyttää harjoja kuorinnan viimeistelyyn. Laitteen valmistuksesta ja kokeista vastaa VTT Energia Jyväskylässä. Kokeet alkavat loppuvuodesta 1995.

Menetelmän soveltamismahdollisuudet

Ketjukarsinta-kuorinta-haketusmenetelmän etuna perinteiseen suureen kuorimarumpuun verrattuna on se, että menetelmällä voidaan pienieräisetkin pieniläpimittaiset puut käsitellä joustavasti omina erinään. Näin pieniläpimittaista puuta ei tarvitse käsitellä suurempien pölkkyjen kanssa kuorimarummussa, jossa pieniläpimittaisen puun raaka-ainehävikki kasvaa. Menetelmä mahdollistaa myös eri läpimittaisista puista saatavan jalostuksen kannalta eriarvoisen raaka-aineen erottamisen toisistaan.

Aluksi ketjukarsinta-kuorinta voisi olla osaratkaisu tehtaan raaka-ainehuoltoon. Tulevaisuudessa ketjukarsinta-kuorinta-haketusyksiköihin sekä roottorikuorintaan ja haketukseen perustuvalla laitekoonpanolla voisi jopa kokonaan korvata suuria kuorimarumpuja. Kkhyksiköllä käsiteltäisiin pieniläpimittaiset puut joukkokäsittelynä ja roottorikuorintalinjalla esimerkiksi yli 10 cm: set puut yksittäispölkkyin. Jos tehtaan puunkäyttö on 2 milj.m³, riittää tehdasta ruokkimaan 4 ketjukarsinta-rumpukuorintayhdistelmää ja 7 roottorikuorintayksikköä; olettaen, että puumäärästä 30 % olisi läpimitaltaan alle 10 cm:stä. Pertti Szepaniak Oy:llä on hyvät kokemukset 3 vuoden ajalta kaksoisroottorikuorinta-haketuslinjasta. Roottorikuorinnalla on päästy hallittuun ja hyvin alhaiseen, jopa alle 0,2 %:n kuoripitoisuuteen.

Laitteiston etuja olisivat:

- Raaka-aineen ominaisuudet voitaisiin hyödyntää nykyistä paremmin.
- Laitteiston investointikustannus olisi selvästi pienempi kuin ison kuorimarummun, ehkä kolmannes tai pitkälle automatisoituna korkeintaan puolet.
- Käyttöhäiriöistä sekä huollosta ja korjauksista aiheutuvat keskeytykset kohdistuisivat vain murto-osaan kapasiteetista
- Puun sulatusta ei tarvitsisi kuin mahdollisesti ketjukarsinnalle pakkaskausina. Tämä pienentäisi sulatusveden, -höyryn tarvetta ja oksa-kuorijätteen kosteuspitoisuus olisi polton kannalta parempi.
- Puu voitaisiin käsitellä karsimattomana tai karsittuna tarpeen mukaan. Tämä toisi joustavuutta puunhankintamenetelmiin.
- Mahdollistaisi tarvittaessa nykyistä suuremman polttoraaka-aineen hankinnan joko tehtaalle tai polttolaitokselle ainespuun yhteydessä.

Juha Nurmi

Metla, Kannuksen tutkimusasema

HAKKUUTÄHTEEN KORJUU PÄÄTEHAKKUUKUUSIKOISTA

Johdanto

Ainespuun korjuun yhteydessä metsään jää vuosittain noin 21 Mm³ latvusmassaa (Hakkila 1992). Se on yksi suurimmista käyttämättömistä biomassareserveistämme. Hakkuutähteen hyödyntämistä harkittaessa on otettava huomioon sen korjuusta puun kasvulle ja ympäristölle aiheutuvat haitat. Onkin arvioitu, että metsämaan ravinnetalous, kantavuus, kivisyys sekä päätehakuuleimikoitten pieni koko rajoittavat korjuukelpoisen neulasettoman hakkuutähteen määrän noin 3 Mm³:iin (Hakkila 1992). Korjuu keskittyisi ainoastaan päätehakkuihin, sillä harvennushakkuissa jäljelle jäävän puuston kannalta on oleellista, että tähteitten sisältämät ravinteet palautuvat luonnon kiertoon. Hakkuutähteen korjuu harvennusemetsästä on myös oleellisesti kalliimpaa kuin päätehakuualoilta. Hakkuutähteen korjuun mukanaan tuomana lisäetuna on pidettävä maanmuokkauksen ja metsän uudistamisen helpottumista. Toisaalta kulutuksen mahdollisuus saattaa hävitä.

Hakkuutähteiden leviämistä laajalle alalle leimikon sisällä on pidettävä niiden talteenoton kannalta haitallisena. Toisaalta hakkuutähteen etuna esimerkiksi pienpuun korjuuseen verrattuna on pidettävä sitä, ettei se vaadi yksin kappalein käsittelyä. Tämän vuoksi sen korjuu voidaan koneellistaa.

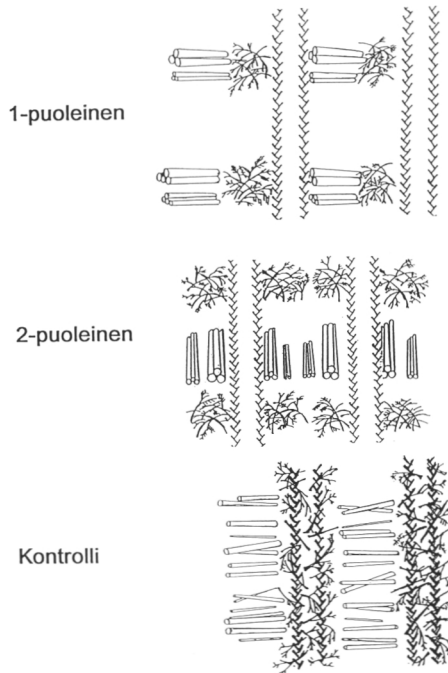
Aiemmin laajassa käytössä olleiden kaksiotharvesterien työskentelytekniikka on sellainen, että hakkuutähte jää kasoihin osana normaalia ainespuun korjuuta. Tämä hakkuukonetyyppi on kuitenkin väistynyt yksiotharvestereiden tieltä. Yksiotharvesteri edustaa erästä merkittävintä puunkorjuun alalla viime vuosina tapahtunutta uudistusta. Suomessa tehdäänkin päätehakkuita suhteellisesti enemmän yksiotharvestereilla kuin missään muussa maassa (Kahala 1993).

Normaalissa päätehakuutyöskentelyssä yksiotharvesterin kuljettaja kaataa puut tottumuksensa mukaan joko koneen yhdeltä tai kahdelta puolelta. Karsinta ja katkonta tehdään koneen edessä. Koneen siirtyessä eteenpäin hakkuutähteet polkeutuvat sen alle. Tämä menettely on monesti välttämätöntä kantavuuden parantamiseksi. Milloin kantavuus ja ympäristötekijät antavat myöten, voitaisiin hakkuutähteet korjata talteen mikäli polkeentumista ei ta-

pahtuisi. Keruun kannalta hakkuutähteiden olisi hyvä olla painumattomissa, selvästi näkyvissä kasoissa.

Koska mielenkiinto biopolttoaineita kohtaan on jälleen virinnyt, on katsottu tarpeelliseksi tutkia hakkuutähteen talteenottoa muun ainespuun korjuun yhteydessä. Yksioteharvesterin soveltuvuus sellaiseen integroituun puunkorjuuseen, missä hakkuutähteet korjataan ainespuun korjuun yhteydessä, on yksi tällainen aihe.

Metsäntutkimuslaitoksen tutkimuksissa on vertailtu kahta vaihtoehtoista menetelmää yllä kuvatun menetelmän (kontrolli) kanssa. Näitä vaihtoehtoisia menetelmiä kutsutaan tässä yhteydessä yksipuoleiseksi ja kaksipuoleiseksi työtavaksi. Yksipuoleisella työtavalla puun kaato sekä rungon karsinta ja katkonta tapahtuvat vain koneen toisella sivulla siten, että hakkuutähte jää kasoille ajouran ja ainespuun väliin. Ainespuu kasataan kohtisuoraan ajouraan nähden (kuva 1). Kaksipuoleisella työtavalla karsinta ja katkonta tehdään ajouran molemmin puolin. Tällöin pölkkyt jäävät ajouran suuntaisiksi ja hakkuutähteet ajouran varteen pölkkykasojen väliin (Nurmi 1994).



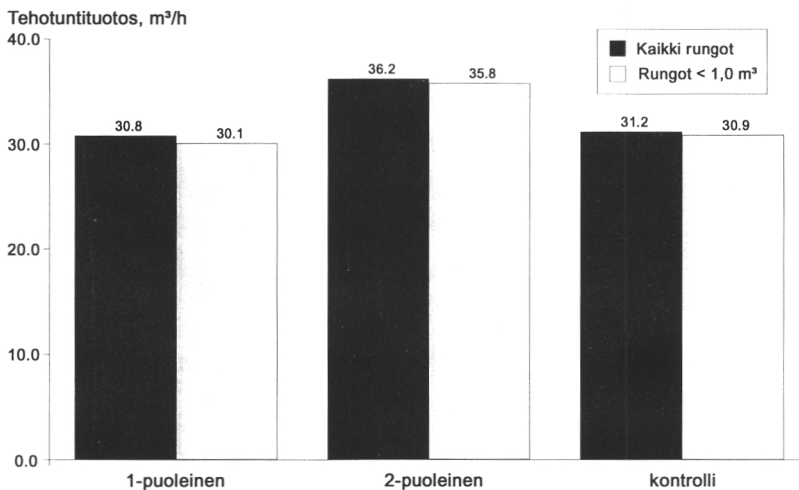
Kuva 1. Hakkuutyön jälki työtavoittain.

Tavoitteeseen pyrittiin tarkastelemalla yhden yleisesti käytössä olevan ja kahden vaihtoehtoisen työtavan vaikutusta yksioteharvesterin ajanmenekkiin, tuottavuuteen, hakkuutähteen kertymään ja hakkuutähteen metsäkuljetuksen tuottavuuteen. Tutkimuksen aineisto ke-

rättiin Hämeen, Keski-Suomen ja Keski-Pohjanmaan alueilla. Tutkimuksen aineisto käsitti 3910 m³ ainespuuta. Hakkuutähdettä kerättiin 800 t tuoremassaa. Hakkuussa käytettiin Lokomo 990, Lako ja Ponsse HS 1 yksioiteharvestereita. Hakkuutähteen metsäkuljetuksessa käytettiin Kockums 850 kuormatraktoria.

Hakkuukoneen tuottavuus

Hakkuutähteen korjuuta suunniteltaessa on pidettävä mielessä, että ainespuun korjuu on ensisijaisen tärkeä asia. Siksi onkin otettava huomioon työtavan vaikutus hakkuukoneen tuottavuuteen. Tutkimuksessa saatiin selville, että kaksipuoleisen puinnin tuottavuus oli 13-20 % suurempi kuin muilla menetelmillä (kuva 2). Kontrolli- tai yksipuoleisen menetelmän tuottavuudet eivät eronneet toisistaan. Kun otetaan huomioon, että kuljettajien kokemus vaihtoehtoisista menetelmistä jäi lyhytaikaiseksi, voitaneen olettaa, etteivät vaihtoehtoiset työtavat alenna hakkuukoneen tuottavuutta. Lisäksi näyttää siltä, että kahdelta puolen puinnin tuottavuus on suurempi kuin yhdeltä puolelta puitaessa.

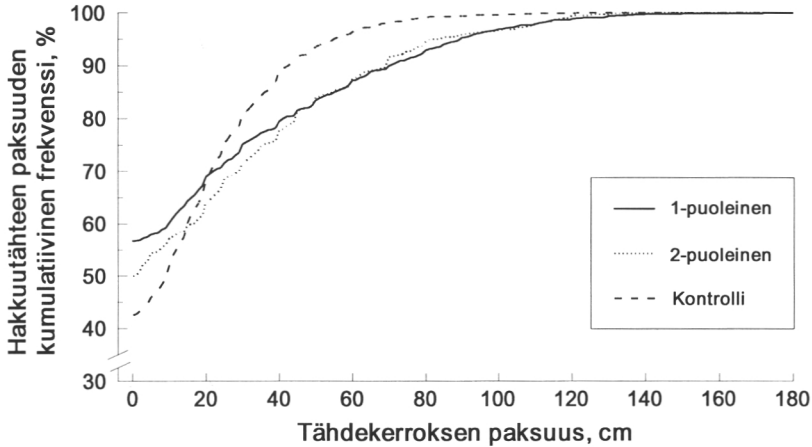


Kuva 2. Ainespuun tehotuntituotokset eri työtavoilla koko aineistolle ja ja niille koealoille, joilla runkojen keskitilavuus oli alle 1000 litraa.

Hakkuutähteen kasautuminen

Hakkuutähteen kasautumista mitattiin tähteen paksuusjakaumalla ja massan kumulatiivisella frekvenssillä. Hakkuutähteen paksuudesta tehdyt havainnot kumuloituivat työtavoilla eri tavoin. Eniten paljasta maapinta-alaa oli yksipuoleisen ja toiseksi eniten kaksipuoleisen työ-

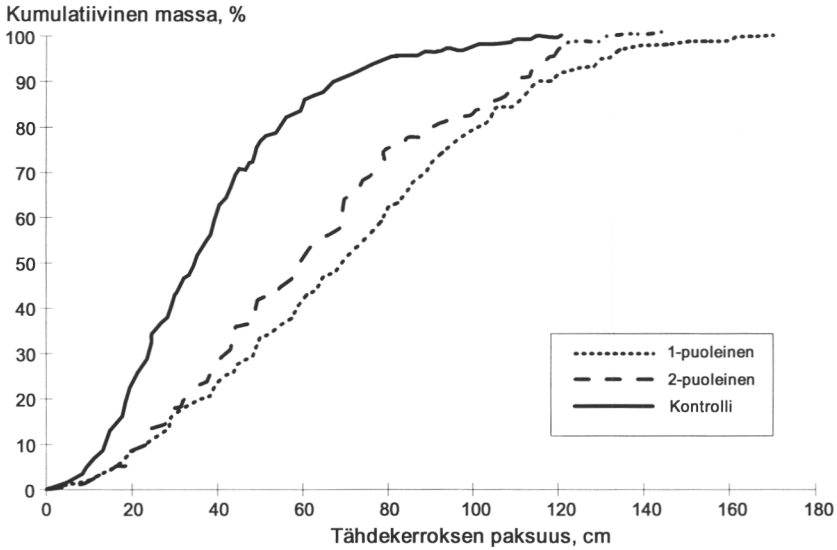
tavan jäljiltä. Tämä osoittaa, että hakkuutähteet leviävät kontrollina käytetyssä työtavassa suuremmalle pinta-alalle (kuva 3).



Kuva 3. Hakkuutähtekerroksen paksuusjakauma eri työtavoilla.

Hakkuutähteen massan jakautuminen tähtekerroksen paksuuden suhteen nähdään kuvasta 4. Yli 50 cm paksuihin kerroksiin kontrollissa kertyi vain 20 % hakkuutähteen massasta. Vastaava luku 1- ja 2-puoleisella työtavalla oli 70-80 %. Yli 80 cm korkuisiin kasoihin kontrollissa kertyi ainoastaan 5 % massasta, kun taas yksipuoleisella työtavalla vastaava luku oli 45 % ja kaksipuoleisella 30 %.

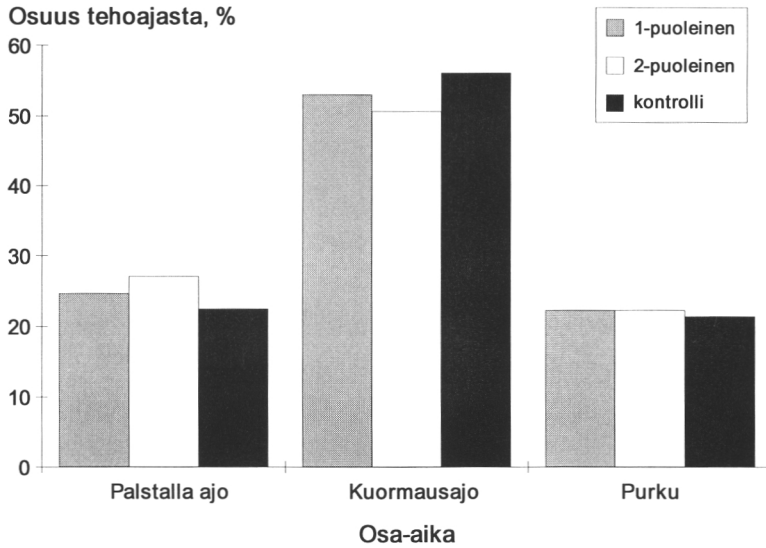
Vaihtoehtoisten työtapojen keskinäinen ero johtui siitä, että 1-puoleisessa työtavassa hakkuutähti kertyy yhdelle puolelle ajouraa ja näin ollen suppeammalle alalle. Tällöin korkeitten kasojen osuus kasvaa. Kaksipuoleisessa työtavassa taas kasat kertyvät molemmin puolin ajouraa, pinta-alaa tulee lisää ja kasat madaltuvat. Kontrollina käytetyssä työtavassa korkeita kasoja ei pääse syntymään, koska koneet polkevat ne tiiviiksi, mataliksi kerroksiksi. Tämän osoittaa myös kuva 4.



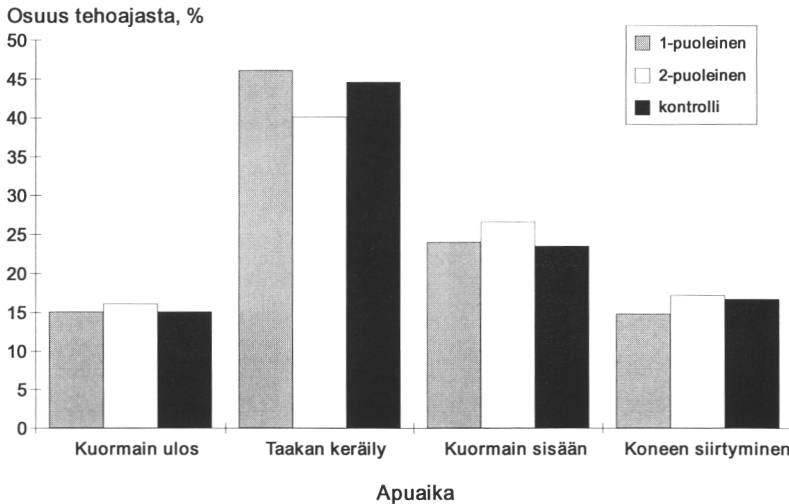
Kuva 4. Hakkuutähteen massan kumulatiivinen frekvenssi tähdekerroksen paksuuden suhteen eri työtavoilla.

Hakkuutähteen metsäkuljetus

Kuljetukseen kuluneesta tehoajasta yli puolet kului palstalla tapahtuvaan kuormausajoon (kuva 5). Palstan ja välivaraston väliseen ajoon kului viidennes, samoin purkuun. Kaksipuoleisen korjuutavan jäljiltä hakkuutähteen kuormausajoon kulunut osuus tehoajasta oli merkittävästi pienempi kuin muilla työtavoilla. Kun vastaavasti tarkastellaan kuormausajon jakautumista apuaikoihin nähdään taakan keräilyn osuuden olevan yli 40 % kuormausajoon kuluneesta ajasta (kuva 6). Kaksipuoleiselta korjuujäljeltä taakan keräily vaati merkittävästi pienemmän osuuden tehoajasta kuin muilta korjuujäljiltä. Yksipuoleiselta korjuujäljeltä keräily vaati saman osuuden tehoajasta kuin kontrollimenetelmänkin jäljiltä. Aineistosta ei selvinnyt miksi näin oli.



Kuva 5. Hakkuutähteen metsäkuljetuksen tehoajan jakautuminen hakkuukoneen työtavan mukaan.

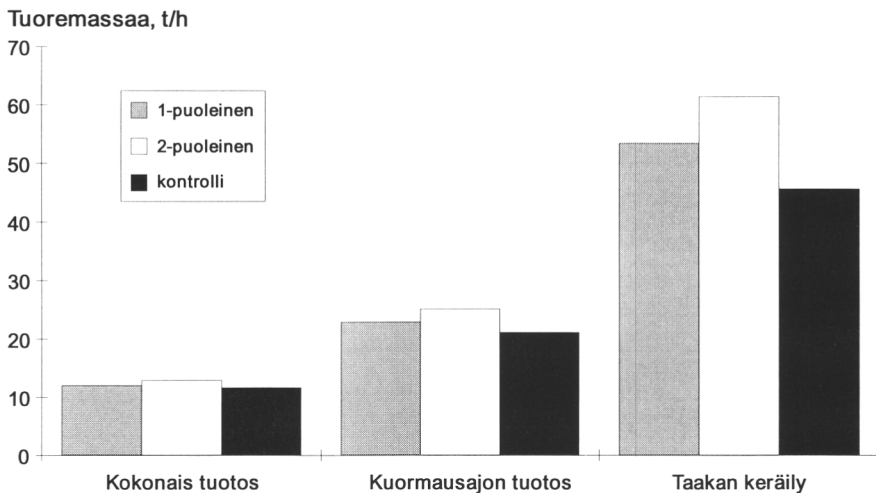


Kuva 6. Hakkuutähteen kuormausajon tehoajan jakautuminen apu aikoihin hakkuukoneen työtavan mukaan.

Hakkuutähteen metsäkuljetuksen tuottavuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat hakkuun työtapa, ajomatka ja kuorman koko. Koska tutkimuksen kohteena on hakkuun työtavan vaikutus hakkuutähteen metsäkuljetukseen, on tilastollisessa tarkastelussa ajomatkan ja kuorman koon vaikutus otettu huomioon käyttämällä niitä kovariaatteina. Kuorman keskikoko oli noin 9 tuoretonnia. Kokonaisajomatkojen keskiarvot olivat 691 m (yksipuoleinen), 653 m (kaksipuoleinen) ja 587 m (kontrolli). Vastaavasti kuormattuna ajon pituudet palstalta

välivarastolle olivat keskimäärin 317 m, 300 m ja 256 m. Koko aineistossa yksittäisten kuormien kuormattuna ajon pituus vaihteli välillä 46-677 m.

Kaikkien työvaiheiden yhteenlasketuista tehotuntituotoksista nähdään, että kaksipuoleiselta korjuujäljeltä hakkuutähteen korjuu on ollut tuottavinta (12,9 t/h, tuoremassaa). Seuraavaksi tuottavinta oli korjuu yksipuoleisen työtavan jäljiltä (12,0 t/h). Eteen poljetun hakkuutähteen korjuun tuottavuudeksi saatiin 11,6 t/h. Kuvasta 7 nähdään myös kuormaustajan ja taakan keräilyn tuottavuudet. Kontrollijäljeltä keruun tuottavuuteen nähden yksipuoleiselta jäljeltä keruutyön tuottavuus oli 8,1 % ja kaksipuoleiselta jäljeltä 16,3 % suurempi. Parittaisessa vertailussa työtapojen väliset erot osoittautuivat merkitseviksi (Bonferroni-testi). Vastaavalla matkalla pyöräkuormaajalla esikasatuista kasoista tähdettä ajettaessa Mäkelä (1975) sai tuottavuudeksi 9,2 t/h. Tämän tutkimuksen tulosta on täten pidettävä hyvänä, sillä edellä kuvatuissa korjuumenetelmissä ei hakkuutähteen kasausta tarvitse tehdä omana työvaiheenaan.



Kuva 7. Hakkuutähteen metsäkuljetuksen tuottavuus hakkuukoneen työtavoittain työn eri osavaiheissa.

Hakkuutähteen korjuun kannalta on oleellista tietää kuinka suuri osuus hakkuutähteestä saadaan kerättyä talteen. Tutkimustulosten mukaan saannon osuus hakkuutähteen kokonaismassasta oli alhaisin eteen puidulla alueella (58,4 %) ja paras kaksipuoleisen työtavan jäljiltä korjatulla alueella (78,7 %). Hakkuutähteen saanto oli yksipuoleisen työtavan alueella 14,4 % ja kaksipuoleisen työtavan alueella 34,8 % suurempi kuin kontrollialueelta korjatun hakkuutähteen saanto.

Hakkuutähteen korjuu tehtiin tuntityönä. Raskaan metsätraktorin tehotunnista maksettiin 250 mk + 22 % alv. Hakkuutähteen korjuun hinta korjuutavoittain ja eri yksiköissä ilmenee alla olevasta asetelmasta ilman arvonlisäveroä.

Työtapä	mk/t, tuore	mk/t, kuiva	mk/i-m ³
1-puoleinen	20,8	47,2	7,1
2-puoleinen	19,4	43,9	6,6
kontrolli	21,6	51,0	7,3

Irtokuutiometriä kohti lasketut summat laskettiin vasaramurskaimella murskatun hakkuutähteen painosta (340 kg/i-m³) mikä antaa kertoimen 2,94 i-m³/t. Tuore- ja kuivatonna kohti lasketut kustannukset ilmenevät samasta taulukosta. Korjuun hintaa on pidettävä kohtuullisena aiempiin kokemuksiin verrattuna (V. Imponen, Metsäteho, suullinen tieto 31.8.1995).

Tulosten tarkastelu

Yksioteharvesterilla tehtävässä päätehakuussa yksipuoleisen, hakkuutähteen talteenottoon tähtäävän työtavan ja kontrollina käytetyn tavanomaisen työtavan tuottavuus ainespuun korjuussa olivat samaa suuruusluokkaa kuin ruotsalaisessa tutkimuksessa (Wigren 1991). Tässä tutkimuksessa ero tuottavuudessa oli keskimäärin tosin vain 1,2 % kontrollin hyväksi, eikä ollut tilastollisesti merkitsevää. Ero saattaa hävitä kokonaan kuljettajan harjaantuessa ja motivoituessa uuteen työtapaan. Kaksipuoleinen työtapä oli noin 14 % muita työtapoja tuottoisampi. Tämäkin vahvistaa Ruotsissa saatua tulosta (Wigren 1992). Näyttääkin siltä, että mitä tuottavuuteen ainespuun korjuussa tulee, niin kaksipuoleista työtapaä tulisi suosia riippumatta siitä korjataanko hakkuutähteet energian raaka-aineeksi vai ei.

Tulokset osoittavat, että yksioteharvesterin työtapaä muuttamalla hakkuutähteen kasaantumista voidaan tehostaa. Paras kasautuminen saavutettiin yksipuoleisella työtavalla. Työtäpojen paremmuutta arvioitaessa ei kuitenkaan tule unohtaa sitä ainespuun korjuun kannalta tärkeätä seikkaä, että yksioteharvesterin tuottavuus ainespuun teossa on kaksipuoleisella työtavalla suurin.

Yksioteharvesterin työtapä vaikutti merkitsevästi hakkuutähteen metsäkuljetuksen tuottavuuteen. Hakkuutähteen keruu kasoista oli tehokkaampaa kuin yliajettujen tähteiden keruu. Kuormatraktoriin tehtyjen teknisten ratkaisujen ansiosta hakkuutähteen kuljetuksessa saavutettu 9 t keskimääräinen kuormakoko. Määrä on suurempi kuin muissa hakkuutähteen

kuljetusta käsittelevissä julkaisuissa. Esimerkiksi Brunberg (1991) ilmoittaa laajennetulla kuormatilalla varustetun metsätraktorin kuormien olevan 5-7 t tuoremassaa. Wigrenin (1990) tutkimuksessa kuormien tuoremassat ovat vaihdelleet välillä 6-8 t. Tämän tutkimuksen kuormakoot johtunevat metsätraktorin suuresta kuormatilasta. Kuormatilaa olisi tosin voitu vieläkin suurentaa sivuttaissuunnassa, mutta silloin metsätraktoria ei voitaisi käyttää ainespuun ajossa.

Hakkuukoneen työtavan vaikutus hakkuutähteen korjuun tuottavuuteen ei ollut niin suuri kuin ruotsalaisissa tutkimuksissa. Wigren (1990) raportoi jopa 30 % lisäyksestä keruutyön tuottavuudessa. Tässä tutkimuksessa ero oli maksimissaan kaksipuoleiselta korjuujäljeltä korjattaessa 11,2 % tuoremassasta laskettuna. Koska hakkuutähteen kasautuminen oli parasta yksipuoleisella työtavalla, olisi luullut myös metsäkuljetuksen tuottavuuden olleen parasta tältä korjuujäljeltä. Tutkimustulokset eivät kuitenkaan kerro miksi näin ei ollut.

Hakkuukoneen työtapo vaikutti myös hakkuutähteen saantoon. Koneen alle poljetuista hakkuutähteistä saatiin talteen 58 % ja yhdelle puolelle puiduista 67 %. Kahdelle puolelle puiduista kasoista saatiin talteen 79 % vaikka hakkuutähteen määrä hehtaarilla oli alhaisempi kuin muilla palstoilla. Menetelmien väliset erot ovat samaa luokkaa mitä Wigren raportoi kaksiotharvesterin työtapaa käsittelevässä julkaisussaan vuodelta 1990. Koska kaksiotharvesterilla työskenneltäessä hakkuutähteen kasautuminen on paljon parempaa kuin yksiotharvesterilla, on tämän tutkimuksen saantolukuja pidettävä hyvinä.

Kirjallisuus

- Brunberg, B. 1991. Tillvaratagande av skogsbränsle - träddeklar och trädrester. Skogarbeten redogörelse 5. 54 s.
- Hakkila, P. 1992. (toim.) Metsäenergia. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 422. 51 s.
- Kahala, M. 1993. Metsäteho. Suullinen tieto 17.12.1993.
- Mäkelä, M. 1975. Oksaraaka-aineen kasaus ja kuljetus. Summary: Bunching and transportation of branch raw material. Folia Forestalia 237. 19 s.
- Nurmi, J. 1994. Työtavan vaikutus hakkuukoneen tuotokseen ja hakkuutähteen kasautumiseen. Folia Forestalia 1994(2). 10 s.
- Wigren, C. 1990. Tillvaratagande av trädrester efter slutavverkning med tvågresskördare. Skogarbeten. Moniste 1990-09-06. 41 s.
- Wigren, C. 1991. Tillvaratagande av trädrester efter slutavverkning med engrepsskördare - studie av en bränsleanpassad metod hos Mälarskog. Skogarbeten. Moniste 1991-11-08. 16 s.
- Wigren, C. 1992. Uttag av trädrester efter slutavverkning med engrepsskördare. Skogarbeten resultat 8. 4 s.

Pekka Auvinen
Mikkelin kaupunki

ENERGIAPUUN HANKINTA OSANA PUUTAVARAN KORJUUTA

Yleiset puitteet

Puun korjuu ja metsätöiden koneellistuminen ovat viimeisen kymmenen vuoden aikana muuttaneet oleellisesti suhtautumista metsätalouteen yleensä. Erityisesti ovat metsätalouden ulkopuoliset tahot alkaneet kiinnittää lisääntyvää huomiota ja paikoin on esitetty voimakastakin arvostelua puutavaran korjuutyömaiden jälkiä ja viljelyalojen muokkausta kohtaan. Tähän arvosteluun ovat osallistuneet myös määrättyllä tavalla metsän parissa työskentelevät tutkijat ja kriitikot asettamalla kyseenalaiseksi koko vallinneen järjestelmän ja sen valvojen toiminnan.

Toisaalta ovat kaikki metsätalouden työmenetelmien arvostelijat ja toiminnassa aktiivisesti mukana olevat varsinaiset toiminnan "pyörittäjät" yhtä mieltä siitä, että Suomelle on entistä välttämättömämpää osata hoitaa metsiä ja tuottaa puuta entistä paremmin menetelmin. Entistä vaativammaksi toiminnan tekee mm. se, että tiukassa taloudellisuusvertailussa on sopeuduttava kansainvälisten sopimusten mukaisiin luonnon monimuotoisuutta sääteleviin ohjeisiin, ns. biodiversiteettisopimuksen noudattamiseen.

Parhailtaan valmisteltavana oleva yksityismetsälaki onkin taloutemme ja hyvinvoinnin kehityksen kannalta em. taustaa vasten tarkasteltuna eräs merkittävimmistä lainuudistuksista, jonka onnistuminen tullaan punitsemaan suhteellisen pian niin kansallisesti kuin kansainvälisesti.

Puutavaran korjuun kielteiset piirteet

Tehokkuuden ja taloudellisuuden tavoittelun seurauksena on nykyisessä metsien käsittelyssä usein päädytty rajusti maisemaa muuttavaan avohakkuuseen, joka sinänsä on biologisesti ja korjuuteknisesti usein järkevä vaihtoehto, mutta jäljet vähemmän mairittelevia. Kaikki sellainen puu, joka ei täytä kaupallisia vaatimuksia ja mittoja, jää epämääräisessä järjestyksessä paikasta riippuen suuriksikin röykkiöiksi vuosikausiksi lahoamaan korjuualueelle. Mitä parempi maapohja on, sitä runsaammin tulee yleensä hakkuutähdettä ja maahan taivutunutta alamittaista puuta, joka estää tehokkaasti kaikenlaisen alueella liikkumisen ja vaikeuttaa oleellisesti maan muokkausta viljelyä varten. Erityisesti taajamien läheisyydessä ja ulkoilualueilla on suorastaan välttämätöntä kiinnittää näihin seikkoihin huomiota.

Mikäli korjuun aikana on jo syntynyt syviä raiteita maastoon ja näiden lisäksi muokataan maapohjaa joko mätästäen tai äestäen hakkuutähteiden seassa, voi töistä vastaava joutua käyttämään aikaansa keskusteluihin menetelmien oikeellisuudesta ym:sta piittaamattomuudesta ns. yleiseen mielipiteeseen nähden. Kiireet ja neuvottelut lisääntyvät ja tuloksen tekeminen vaikeutuu ajan oloon tavalla tai toisella. Myös urakoitsijat ja kaikki "kyseenalaiseen" toimintaan osallistuneet saavat kukin osansa.

Energiapuun hankinnan vaikutukset puutavaran korjuuseen ja metsänhoitoon

Nykytekniikalla voidaan niin haluttaessa ottaa talteen myös kaikki sellainen puuaines, joka on maisemallisesti häiritsevä ja liikkumista vaikeuttavaa puutavaran korjuualueilla. Vaihtoehtoisia, jatkuvasti uusiutuvia ja ympäristöä saastuttamattomia energiavaihtoehtoja vertailtaessa on tälle ns. metsätähdepuulle löytynyt jatkuvasti uusia käyttäjiä. Kokemusten ja määrien lisääntymisessä on myös hintaa saatu laskettua entistä kilpailukykyisemmäksi. Näin on käynyt mm. Mikkelissä, jossa erityisesti koneellisen korjuun (MOTO-työmaat) jäljiltä hankittu puu on saatu esim. turpeen kanssa vertailukelpoisella hinnalla energialaitokselle. Samalla on korjuu-urakoitsija saanut lisätuloja, maasto ja maisemat korjuualueilla ovat siistimmät ja viljelytyöt ovat oleellisesti helpottuneet. Eräällä v. 1983 korjatulla, runsaspuustoisella kuusikkoalueella on nyt ilman maan muokkausta yli 10 m korkea koivikko. Rehevillä maapohjilla on erityisen suuri merkitys sillä, että uusi puusukupolvi saadaan perustettua ja kasvukykyiseksi ennen muun pintakasvillisuuden rehevöitymistä. Maisemallisesti tämä on myös positiivinen asia, koska ankea aukkovaihe on mahdollisimman lyhyt.

Eri energiapuulajien hankinnan kustannuksia

Edellä kuvatun konekorjuutyömaan hakkuutähteen ohella pidetään energiapuuna yleisesti taimikkovaiheen ja nuorten metsien perkaus- ja harvennuspuuta, joka ei pienen kokonsa tai puulaatunsa takia kelpaa teollisuudelle. Tämä on kuitenkin vielä nykYTEKNIKALLA selvästi kalliimpaa hankkia kuin metsätähdepuu konekorjuutyömailta. Mikkelissä on vuosina 1993-95 näitä kustannusvaihteluja ja niihin vaikuttavia tekijöitä seurattu laajassa energiapuun hankinta ja käyttökokeilussa. Kokeilua nimitetään PUUHA 93-95-projektiksi, joka tulee nimestä Puuhakkeen hankintaprojekti. Projektiä, jonka kustannusarvio on n. 2,0 milj. mk, rahoittaa KTM 50 %:lla ja Mikkelin kaupunki sekä ympäristökunnat (8) n. 50 %:lla. Lisäksi osallistuu projektiin BIOWATTI OY vuodesta 1994 alkaen.

Seuraavassa taulukossa esitetään kustannusvertailuja vuosilta 1993-94 saaduista kokeiluista.

Taulukko 1.

PUUHAKKEEN HANKINTA- JA TUTKIMUSPROJEKTI
MIKKELIN SEUDULLA (PUUHA 93-95)

Metsähakkeen hankinnan kustannuskertymä

Energiapuukohteet (n=20)

	Minimi	Keskim.	Maksimi
Haketta / kohde, i-m ³	96	1 107	3 345
Haketta i-m ³ /ha	93	157	275
Energiapuun teko, mk/i-m ³	13,1	26,4	53,6
Tuotos, i-m ³ /pv	6,0	22,7	36,0
Maastokuljetus, mk/i-m ³	4,6	8,2	12,3
Tuet, mk/i-m ³	6,4	12,9	25,3
Nettokustannus, mk/i-m ³	11,0	21,7	43,3

Hakkuutähdekohteet (n=42)

	Minimi	Keskim.	Maksimi
Haketta / kohde, i-m ³	70	848	1 846
Haketta i-m ³ /ha	46	131	260
Maastokuljetus, mk/i-m ³	6,0	11,0	21,0

Haketuskulut:	12 - 16 mk/i-m ³
Kaukokuljetuskulut:	8 - 12 mk/i-m ³
Varastointi+yleiskulut:	4 - 6 mk/i-m ³

Kuten vertailusta ilmenee, ovat kohteet hyvin erihintaisia. Erityistä huomiota on kuitenkin kiinnitetty siihen, että mitä suurempi on kohde, sitä halvempaa on puu ja vielä erityisen edullista määrättyissä metsätähdepuukohteissa.

Selkeimpänä johtopäätöksenä on todettu, että muun puunkorjuun yhteydessä samalla organisaatiolla ja samoilla koneilla toteutettuna on suurissa, yli 500 i-m³:n kohteissa päästy edullisimpiin tuloksiin.

Maanomistajat, urakoitsijat ja puuta hankkivat yhtiöt ovat kaikki olleet tyytyväisiä korjuujälkeen. Eniten kysymyksiä ja keskustelua herättävä asia on toistaiseksi ollut varastopaikkojen ahtaus joissakin tie- ja maasto-olosuhteiltaan vaikeissa kohteissa. Hyvällä ennakkosuunnittelulla ja korjuuaikojen porrastuksella ei tämäkään ole ylitsepääsemätön ongelma. Näitä ja muita hankkeeseen liittyviä seikkoja selvitetään vielä kuluvan vuoden aikana.

Yhteenveto

Eräänä PUUHA-93-95-projektin tuloksena voidaan jo nyt sanoa, että maanomistajan, puunostajan ja koneurakoitsijan yhteistyöllä saadaan energiapuu erääksi muun puunkorjuun yhteydessä korjattavaksi, osittain jo nyt kilpailukykyiseksi puutavaralajiksi. Energiaomavaraisuuden ja ympäristöystävällisyyden kannalta tällä on myös merkittävä positiivinen vaikutus korjuujälkiin yleensä sekä metsänhoidon kustannuksiin uusiutumisvaiheen töiden nopeutuessa ja helpotessa.

Jukka Haapasaari

Kannuksen Kaukolämpö Oy

PUUPOLTTOAINEET LÄMPÖLAITOKSEN KANNALTA

Puupolttoaineiden soveltuvuus voima/lämpölaitoskäyttöön

Puu materiaalina soveltuu erittäin hyvin polttoon.

Puupolttoaineen vahvuudet ovat:

- savukaasujen puhtaus
- hyvä palaminen
- alhainen tuhkapitoisuus
- korkea tuhkansintraantumislämpötila
- helppo varastoitavuus

Puupolttoaineen heikkoudet lämpölaitoksen kannalta ovat:

- alhainen lämpöarvo
- suuri laatuvaihtelu
- kosteus
- partikkelikoko ja muoto
- suuret ja kalliit polttolaitteistot
- polttoaineen saanti varmuus

Lämpölaitosten taloudelliset mahdollisuudet lisätä merkittävästi puupolttoaineiden käyttöä

- Kaukolämpölaitokset ovat liiketaloudellisia laitoksia, jotka pyrkivät minimoimaan kustannukset. Mikäli puupolttoaineen kokonaishinta on halvin, nousee sen käyttö automaattisesti.
- Tänä päivänä turpeen hinta määrää puupolttoaineen hinnan.
- Huolto ja käyttökustannukset ovat puulla hieman turvepolttoa alhaisemmat (2-3 mk/mwh).

Puupolttoaineiden tulevaisuuden näkymät lämpölaitosten polttoaineena

Suuret vastapainevoimat pystyvät lisäämään merkittävästi puunkäyttöä, sitä mukaan kun niiden kattilat muutetaan leijukerrosperiaatteelle. Ko. muutostöitä on alettu viime vuosina teke-

mään ja trendi näyttää olevan selvästi nousemassa, mm. uudet vastapainevoimalat perustuvat lähes poikkeuksetta leijukerrostekniikkaan. Vastapainevoimaloiden pääpolttoaineena on kuitenkin turve. Sen tuotantokapasiteetti on olemassa ja puun mahdollisuudet syrjäyttää turve on epätodennäköinen, mutta seospolttona turpeen kanssa voidaan puun käyttöä lisätä tulevaisuudessa merkittävästi.

Suomeen on rakennettu vastapainevoimalat lähes kaikille kaukolämpöpaikkakunnille, joissa kaukolämpöenergian myynti on yli 60 000 mwh/vuosi. Seuraavan 10-15 vuoden kuluessa merkittävä lisäkapasiteetti kotimaiselle energialle on 20 000 - 60 000 mwh vuodessa myyvät kaukolämpölaitokset, mikäli vastapainevoimaloiden kannattavuusraja jatkaa nykyistä alenemistään. Tällaisia laitoksia on Suomessa yli 50 kpl.

Antti Wall

Metla, Kannuksen tutkimusasema

MAATALOUSKÄYTÖN AIKAISEN KIVENNÄISMAALISÄYKSEN VAIKUTUS METSITETTYJEN TURVEPELTOJEN RAVINNEMÄÄRIIN KESKI - POHJANMAALLA

Johdanto

Kivennäismaan käyttö maanparannusaineena on ollut tavallista turvemaiden viljelyssä Suomessa (Valmari 1983). Maatalouden koetoiminnassa kivennäismaata on lisätty turvemaille 100-400 m³/ha (Anttinen 1957b, Pessi 1960, 1961a, 1961b, 1961c). Kivennäismaalisäyksellä on ollut heinä- ja viljasatoa kohottava vaikutus, jonka on arveltu johtuvan kivennäismaan kaliumlannoitusvaikutuksesta sekä maan fysikaalisten ominaisuuksien kohentumisesta (Anttinen 1957a, 1957b, Pessi 1961b). Kivennäismaalisäyksen vaikutus maan ravinnevaroihin ja fysikaaliseen koostumukseen on pitkäaikainen (Anttinen 1957b, Pessi 1960, 1961a, 1961b).

Kivennäismaan lisäyksellä saattaa olla vaikutusta turvepellon ominaisuuksiin puuston kasvualustana, sillä kivennäismaalisäys vaikuttaa turvepellon fosforin ja kaliumin määriin (Kaunisto 1991). Turvepelloille perustetut taimikot kärsivät usein kaliumin, boorin ja mahdollisesti myös sinkin puutoksesta (Hynönen 1992, Hytönen ja Ekola 1993). Tutkimuksen tarkoituksena on selvittää kivennäismaalisäyksen käytön yleisyyttä, lisätyn kivennäismaan laatua, määrää ja vaikutusta entisen turvepellon ravinnemääriin.

Aineisto ja menetelmät

Käytetyt määnäytteet kerättiin Keski-Pohjanmaalla sijaitsevilta entisille pelloille vuosina 1973-1974 ja 1981-1982 istutetuista männyn taimikoista. Taimikot oli aiemmin valittu arpomalla metsälautakunnan arkistosta metsitysten onnistumisen kartoitusta varten (Hytönen 1991). Tutkittuihin 38 taimikkoon perustettiin kaikkiaan 73 kappaletta 100 m² kokoista ympyräkoelaa, joista turvepelloksi määritetyt koelat sisältyivät tähän tutkimukseen. Koeala määritettiin turvepelloksi, jos muokkauskerroksen (0- 20 cm) maalaji oli turvetta (orgaaninen ainespitoisuus > 60 %). Ohutturpeiseksi pelloksi luokiteltiin alle 40 cm paksuisen turvekerroksen sisältävät koelat. Paksuturpeisilla pelloilla turvetta oli tätä enemmän. Kaikkiaan 19 taimikossa oli 28 turvepelloksi määritettyä koealaa, joista valtaosa oli paksuturpeisia (taulukko 1). Turvepelloille kuljetettu kivennäismaa todettiin maan

tuhkapitoisuuden ja koealoille kaivetuista profiilikuopista tehtyjen aistinvaraisten havaintojen perusteella.

Maanäytteet kerättiin viidestä osanäytteestä koostuvina kokoomanäytteinä koealoilta maan pinnasta 40 cm syvyyteen 10 cm kerroksittain. Maanäytteistä määritettiin kokonaistyyppi Kjeldahlin menetelmällä. Muiden ravinteiden ns. kokonaispitoisuudet määritettiin tuhkaamalla näyte ja liuottamalla tuhka suolahappoon. Lisäksi määritettiin happamaan (pH 4,65) ammoniumasetaattiin uuttuvien ravinteiden pitoisuudet. Maanäytteen tiheys laskettiin näytteen kuivamassan ja tuoretilavuuden perusteella. Näytteen orgaanisen aineen määrä määritettiin hehkutushäviönä hehkuttamalla näytettä uunissa 550 C°:ssa kahdeksan tuntia. Maanäytteen sisältämät kivennäisaineen ja orgaanisen aineen määrä laskettiin maan tiheyden ja tuhkapitoisuuden perusteella. Näytteiden sisältämän kivennäismaan raakoostumus määritettiin pipettimenetelmällä (Elonen 1971, Heiskanen ja Tamminen 1992). Turvepelolle kuljetetun kivennäismaan määrän likiarvo laskettiin käyttämällä vertailuperusteena niiden turvepeltojen muokkaukerroksen kivennäisaineen keskimääräistä määrää, joilla ei todettu lisättyä kivennäismaata. Kivennäismaalisäyksen tilavuutena ilmaistu määrä laskettiin käyttäen maan tiheyden arvona 1,1 kg/dm³ (Tamminen ja Starr 1994).

Taulukko 1. Aineiston suopeltojen jakautuminen turpeen paksuuden ja kivennäismaalisäyksen perusteella.

	Turvepaksuus, cm	Peltoja, kpl	Koealoja, kpl
Ohutturpeiset	< 40	8	9
Paksurpeiset	> 40	4	4
Paksurpeiset ja kiv. maa lisäys	> 40	10	15

Tulokset

Kivennäismaata oli lisätty valtaosalle paksurpeisen peltojen koealoista (taulukko 1). Lisätyn kivennäismaan maalajit olivat lajittuneita ja yleisin maalaji oli savinen hiesu. Karkeajakoisten lajitteiden osuus oli raakoostumuksesta vähäinen ja hienoaineksen (raekoko < 0,06 mm) osuus oli huomattavan suuri (taulukko 2).

Taulukko 2. Suopelloille lisätyn kivennäismaan keskimääräinen raakoostumus. Suluissa keskihajonnat.

Savi	Hiesu	Hieno hieta Lajitteen osuus, paino-%	Karkea hieta	Hieno hiekkä	Karkea hiekkä
11,2 (4,7)	40,9 (16,3)	21,3 (22,3)	15,7 (7,0)	8,9 (8,0)	1,9 (1,6)

Lisätyn kivennäismaan vaikutus turpeen tuhkapitoisuuteen ja kivennäisaineen määrän ulottui keskimäärin ainakin 40 cm syvyyteen (kuva 1). Kivennäismaalisäyksen vaikutus maan tiheyteen oli lievempi ulottuen keskimäärin 30 cm syvyyteen. Muokkauskerroksen tuhkapitoisuus oli kivennäismaalisäyksen ansiosta 15-73 % ja 4-63 % syvyydellä 30-40 cm. Kivennäismaalisäyksen määrän likiarvo oli 40 cm paksuisessa kerroksessa keskimäärin 260 kg/ha, joka tilavuutena ilmaistuna oli noin 240 m³/ha.

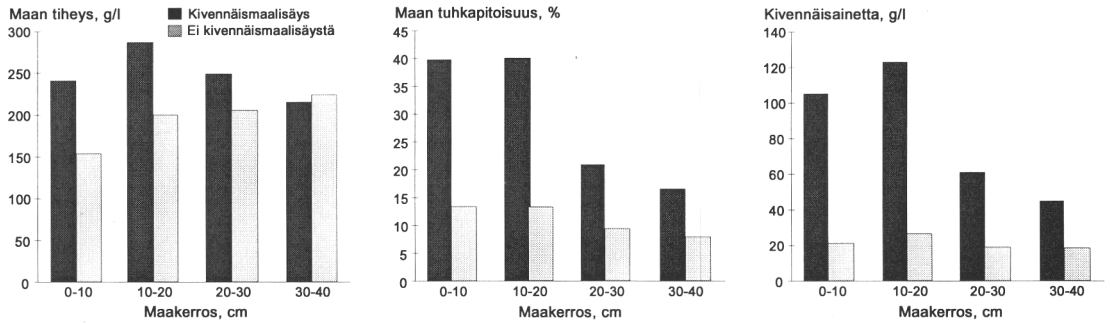
Kokonaiskaliumia ja kokonaissinkkiä oli turvemaassa eniten muokkauskerroksessa (0-20 cm). Kivennäismaalisäyksen saaneissa turvemaassa muokkauskerroksen keskimääräinen kokonaiskaliumin määrä oli yli kaksinkertainen (294 kg/ha) verrattuna turvemaihin, joissa ei ollut kivennäismaalisäystä (kuva 2). Kokonaisfosforin ja kokonaissinkin määrä oli myös hiukan suurempi kivennäismaalisäyksen saaneissa turvemaissa. Kokonaiskalsiumin määrä ei vaihdellut syvyysuunnassa kivennäismaalisäyksen saaneissa turvemaissa ja kokonaiskalsiumin määrä oli selvästi alhaisempi kuin turvemaissa, joissa ei ollut käytetty kivennäismaalisäystä. Kokonaisboorin määrään ei syvyysuunnalla tai kivennäismaalisäyksellä ollut vaikutusta.

Maan pH oli keskimäärin 4,5 turvepelloilla, joille oli kuljetettu kivennäismaata ja 4,8 pelloilla, joilla ei ollut kivennäismaalisäystä. Happamaan ammoniumasetaattiin uuttuvan kaliumin ja sinkin määrä oli likimain yhtä suuri kerroksessa 0-40 cm turvemailla, joille oli kuljetettu kivennäismaata ja joilla ei ollut kivennäismaalisäystä (kuva 3). Sen sijaan uuttuvan fosforin määrä oli noin kaksinkertainen turvemailla, joissa ei ollut kivennäismaalisäystä. Uuttuvan kalsiumin määrä noudatti kokonaiskalsiumin syvyysuuntaista vaihtelua ja uuttuvan kalsiumin määrä oli alhaisempi kivennäismaalisäyksen saaneissa turvemaissa.

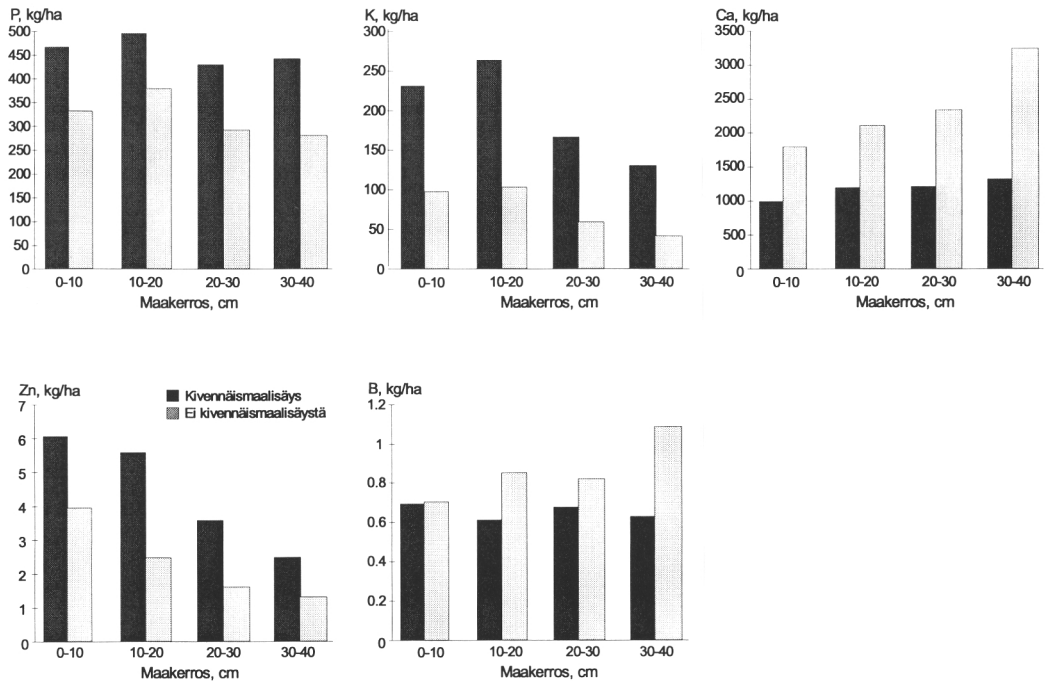
Maan tuhkapitoisuus korreloi voimakkaasti kokonaisfosforin, -kaliumin, -sinkin, uuttuvan kaliumin, ja uuttuvan sinkin kanssa (taulukko 3). Sitä vastoin kokonais- ja uuttuvan kalsiumin, uuttuvan fosforin, kokonaisboorin sekä maan tuhkapitoisuuden välillä ei ollut vastaavuutta.

Taulukko 3. Turvemaan kokonaisravinteiden ja happamaan ammoniumasetattiin uuttuvien ravinteiden (aas) sekä maan tuhkapitoisuuden väliset Spearmanin korrelaatiokertoimet.

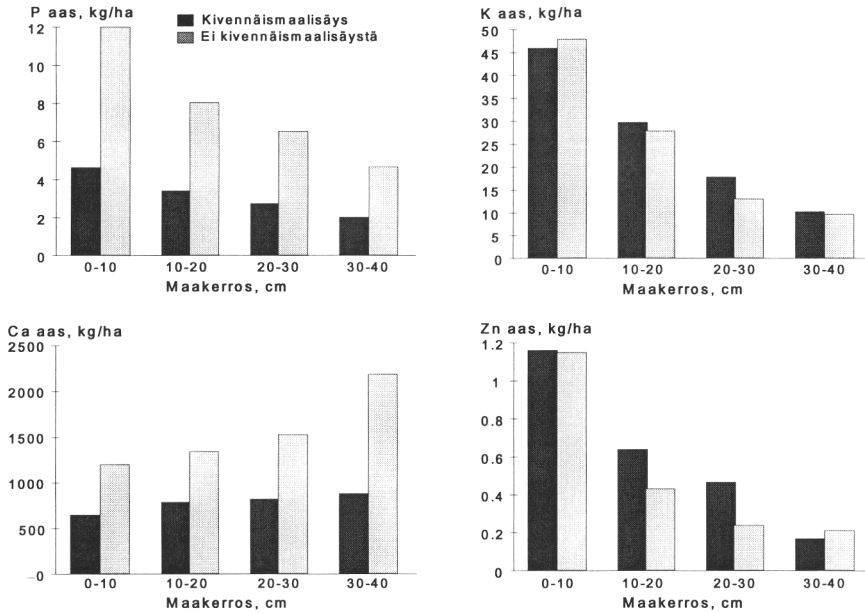
P	,532***	P aas	,057
K	,899***	K aas	,484***
Ca	,132	Ca aas	-,103
Zn	,757***	Zn aas	,422***
B	-,002		



Kuva 1. Kivennäismaalisäyksen vaikutus maan tiheyden tuhkapitoisuuteen ja kivennäisaineen määrään.



Kuva 2. Kivennäismaalisäyksen vaikutus maan kokonaisravinnemääriin.



Kuva 3. Kivennäismaalisäyksen vaikutus turvepellon happamaan ammoniumasetattiin uutuviin ravinne-määriin.

Tulosten tarkastelu

Keski-Pohjanmaan turvepelloilla on tulosten perusteella käytetty kivennäismaata maanparannusaineena yleisesti. Pelloilla lisätty kivennäismaa oli yleensä hiesua. Maatalouden koetoiminnassa kivennäismaan laadulla ei ollut suurta merkitystä maanparannusaineena (Pessi 1961a). Turvepelloilla käytetyn kivennäismaalisäyksen määrä vastasi tuhkapitoisuuden perusteella suunnilleen maatalouden koetoiminnassa käytettyjä määriä (Anttinen 1957b, Pessi 1960, 1961a, 1961b, 1961c). Lisätty kivennäismaa lisäsi selvästi entisen turvepellon kalium- ja sinkkivaroja sekä lievästi fosforivaroja, mikä oli yhdenmukaista aiempien tuloksien kanssa (Anttinen 1957a, Pessi 1960, Kaunisto 1991). Kivennäismaalisäyksen vaikutus kestää ilmeisesti useita vuosikymmeniä (Anttinen 1957b, Pessi 1960, 1961a, 1961b, 1961c). Kivennäismaalisäyksen saaneiden peltojen alhainen pH voi johtua vähäisestä kalkituksesta.

Ravinneperäiset kasvuhäiriöt ovat yleinen ongelma turvepelloille perustetuissa taimikoissa (Hynönen 1992, Hytönen ja Ekola 1993). Kivennäismaan käytön selvittäminen voi antaa hyödyllisiä viitteitä maan kalium- ja sinkkivarojen riittävydestä puustonkasvatusta varten. Kivennäismaanlisäyksen esiintyminen on syytä tutkia koko metsitettäväksi aiotun pellon alueelta, sillä kivennäismaalisäys esiintyy usein laikuittain.

Kirjallisuus

- Anttinen, O. 1957. Saraturvesuon saveus- ja lannoituskokeen tuloksia. Valtion maatalouskoetöiminnan julkaisuja 163:1-20.
- Elonen, P. 1971. Particle-size analysis of soil. Seloste: maan raekoostumuksen määrittäminen. Suomen maataloustieteellisen seuran julkaisuja 122.
- Heiskanen, J. & Tamminen, P. 1992. Maan fysikaalisten ominaisuuksien määrittäminen. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 424. 32 s.
- Hynönen, T. 1992. Maan ominaisuuksien vaikutus turvamaapeltojen metsittämiseen. Helsingin yliopisto, Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta. Tutkielma maatalous- ja metsätieteiden lisensiaatin tutkintoa varten. 181 s.
- Hytönen, J. 1991. Pellonmetsityksen onnistuminen Keski-Pohjanmaalla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 391:22-28.
- Hytönen, J. & Ekola, E. 1993. Maan ja puuston ravinnetila Keski-Pohjanmaan metsityillä pelloilla. Summary: Soil nutrient regime and tree nutrition on afforested fields in central Ostrobothnia, western Finland. *Folia Forestalia* 822. 32 s.
- Kaunisto, S. 1991. Maa-analyysin käyttö kasvupaikan ravinnetilan arvioimiseksi eräillä Alkkian metsityillä suopelloilla. Summary: Soil analysis as a means of determining the nutrient regime on some afforested peatland fields of Alkkia. *Folia Forestalia* 778. 32 s.
- Pessi, Y. 1960. Kivennäismaan merkityksestä mutasuon maanparannusaineena Leteensuon koeaseman pitkäaikaisten kenttäkokeiden perusteella. Suomen maataloustieteellisen seuran julkaisuja 95,3:1-26.
- Pessi, Y. 1961a. The ash content of the plough layer of peat lands cultivated by different methods. *Maataloustieteellinen aikakauskirja* 33:215-222
- Pessi, Y. 1961b. Results from a soil improvement and fertilizing test on fen land at Leteensuo. *Maataloustieteellinen aikakauskirja* 33:223-228.
- Pessi, Y. 1961c. Suoviljelyksen niitonurmen perustamisesta ja hoidosta. Summary: Observations at Leteensuo on the laying down to grass of peat lands and on the tending of the grass leys. Suomen maataloustieteellisen seuran julkaisuja 97,2:1-28.
- Tamminen, P. & Starr, M. 1994. Bulk density of forested mineral soils. *Silva Fennica* 28(1):53-60.
- Valmari, A. 1983. Suon viljely. Suomen suot ja niiden käyttö. Suoseura ry. IPS:n Suomen kansallinen komitea. Helsinki. s 42-48.

Jyrki Hytönen

Metla, Kannuksen tutkimusasema

TURVEPELTOJEN MÄNTYTAIMIKOIDEN LANNOITUSKOKEIDEN TULOKSIA KESKI- JA POHJOIS-POHJANMAALTA

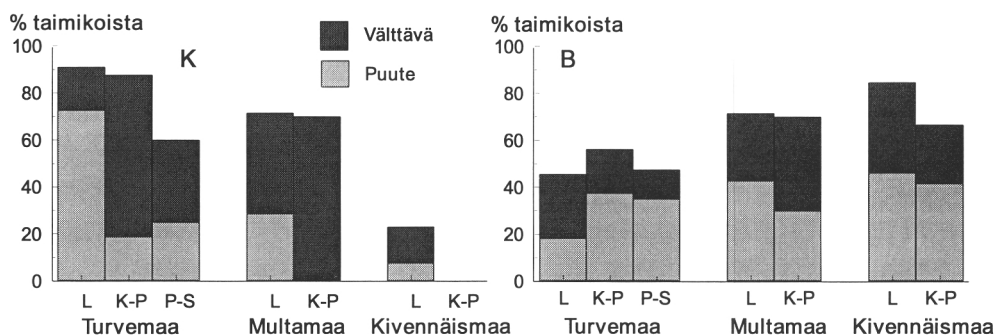
Johdanto

Eloperäisten maiden (turpeet, multamaat ja liejut) osuus Suomen peltoalasta on vuosien mittaan vähentynyt humuksen hajoamisen johdosta. Suuri osa multamaista (orgaanista ainetta 20-40 %) on syntynyt ohutturpeisista turvepelloista (Urvas 1995). Ohuet turvekerrokset painuvat koneiden alla ja turve sekoittuu alla olevan kivennäismaan kanssa. Osa multamaapelloista on syntynyt kun turvepelloille on ajettu painomaata maanparannusaineeksi. Multapeltoja oli koko maan pelloista 1980-luvulla 13 % (Urvas 1995). Yli puolet multamaapelloista sijaitsee Pohjanlahden rannikkoalueella (Etelä-Pohjanmaan, Österbottenin, Oulun, ja Satakunnan maaseutukeskukset) (Urvas 1995). Varsinaisia turvepeltoja (orgaanista ainetta yli 40 %) on Suomessa melko vähän (5,7 %). Eniten turvepeltoja on sekä suhteellisesti, että määrällisesti Pohjanmaalla ja Lapissa. Tällä alueella sijaitsee 58 % kaikista Suomen turvepelloista (Urvas 1995).

Soiden luontaisella ravinnetaloudella ei ole tyypeä lukuunottamatta kovin suurta merkitystä maatalouden kasvituotannossa, koska taloudellinen peltoviljely ei ole mahdollista ilman lannoitusta (Pessi 1971). Metsätaloudessa on sen sijaan syytä tarkastella ravinteiden riittävyyttä koko puuston kiertoajaksi. Keski-Pohjanmaan turvepelloilla typen kokonaismäärät ovat usein kaksinkertaiset, mutta useimpien muiden ravinteiden määrät puolestaan huomattavasti pienemmät kuin kivennäismaiden pelloilla (Hytönen & Ekola 1993, Wall 1995). Ravinteiden suhteet (erityisesti typen ja muiden ravinteiden suhteet) maassa ovat siten turvepelloilla huomattavasti kärjistyneemmät kuin kivennäismaiden pelloilla. Turvepelloilla Keski-Pohjanmaalla oli keskimäärin fosforia ja kaliumia maan pintakerroksessa (0-10 cm) moninkertaisesti verrattuna ojitettuihin soihin (Kaunisto ja Paavilainen 1988, Hytönen ja Ekola 1993). Maalajista tai viljelyhistoriasta aiheutuva peltojen välinen ravinteisuuden vaihtelu on kuitenkin suuri. Turvepelloilla yleisesti suoritettu kivennäismaan lisäys voi maalajista ja käyttömääristä riippuen vaikuttaa pitkäaikaisesti maan ravinnetalouteen, erityisesti kaliumin, mutta myös fosforin määrään (Anttinen 1957, Pessi 1961).

Kivennäismaiden pelloilla Keski-Pohjanmaalla ei mäntytaimikoissa neulasanalyysien mukaan esiintynyt pääravinteiden puutosta. Turve- ja multamaanpelloilla sen sijaan saattaa esiintyä kaliumin puutosta runsaastikin (Hytönen & Ekola 1993) (kuva 1). Vaikka turvepelloilla hivenravinnetilanne on usein heikompi kuin kivennäismaiden pelloilla on boorin puutosta esiintynyt

myös kivennäismaiden pelloilla, eikä boorin määrä maassa riipukaan kovin paljon maalajista (Kurki 1975, Hytönen & Ekola 1993) (kuva 1). Jo 1970-luvun puolivälissä, jolloin peltojen metsitysala oli vielä vähäinen yli puolet kasvuhäiriöhavaintojen pinta-alasta oli metsitetyillä pelloilla (Veijalainen 1983). Myös uusimpien pellonmetsitysinventointien mukaan kasvuhäiriöt ovat pellonmetsitysalueilla yleinen ongelma (Hytönen 1991, Valtanen 1991, Hynönen 1992, Hytönen & Ekola 1993). Ne heikentävät taimien pituuskavua tai se voi jopa loppua kokonaan. Ravinneanalyysojen mukaan nuorilla männyillä kasvuhäiriörisiä ilmentävät usein neulasten korkeat typpi-, fosfori- ja kaliumpitoisuudet sekä alhaiset boori-, kupari-, ja sinkkipitoisuudet (Reinikainen & Veijalainen 1983).



Kuva 1. Pellonmetsityksen onnistumisinventointien yhteydessä kerättyjen metsikkökohtaisten neulasnäytteiden kalium- ja booripitoisuuksien jakaantuminen kolmeen ravinteisuusluokkaan (puute, välttävä, sopiva) maaryhmittäin. L=Lappi, K-P = Keski-Pohjanmaa, P-S = Pohjois-Savo. Aineisto Lapin (Rossi ym. 1992), Keski-Pohjanmaan (Hytönen ja Ekola 1993) ja Pohjois-Savon (Hynönen 1992) pellonmetsitysinventoinneista. Raja-arvot K: puute < 3,5 g/kg, välttävä 3,5 - 4,5 g/kg, sopiva >4,5 g/kg. Raja-arvot B turve- ja multamaat: puute < 4,9 mg/kg, välttävä 4,9 - 7,5 mg/kg, sopiva > 7,5 mg/kg. Kivennäismaat: puute < 4,9 mg/kg, välttävä 4,9 - 8,0 mg/kg, sopiva > 8,0 mg/kg.

Lannoituskokeet

Turvepelloille mäntytaimikoihin perustetuissa lannoituskokeissa tutkittiin mahdollisuuksia korjata epätasapainoista ravinnetilannetta lannoituksella. Koealueilla epäiltiin joko neulasanalyysin tai silmänvaraisen tarkastelun perusteella ravinteiden epätasapainoa tai jonkun ravinteen puutosta. Lannoituksen (erityisesti boori- ja kaliumlannoituksen) vaikutuksia puuston ravinnetilaan tarkasteltiin neulasanalyysin avulla. Tässä esitetään tuloksia Keski- ja Pohjois-Pohjanmaan metsälautakuntien alueille perustetuista kokeista (taulukot 1 ja 2).

Taulukko 1. Yleistietoja lannoituskokeista

Koe	Istutus- vuosi	Lannoitus kk/vuosi	Taimikon ikä(1)	Neulasnäyt- teet, kk/vuosi	Lannoituksen vaikutusaika(2, v	Maanäytteet otettu, kk/vuosi	Turvekerroksen paksuus, cm	Koalojen koko, m2
Ylivieska 1	1975	VI/1988	13	XI/92&III/94	5&6	X/94	83	250-500
Ylivieska 3	1976	V-VI/1988	12	XI/92&III/94	5&6	X/94	50	260-400
Haapajärvi	1980	V/1991	12	III/94	3	X/94	57	300-625
Vaala	1991	kevä/92	1	III/95	3	X/92	30	300
Vuolijoki	1991	kesä/92	1	II/95	3	X/92	69	450

1 = ikä kasvukausina istutuksesta lannoitukseen

2 = lannoituksen ja neulasnäytteiden oton välisten kasvukausien lukumäärä

Taulukko 2. Lannoituskäsittelyt.

Koe	Toistot, kpl	Lannoituskäsittelyt
Ylivieska 1	3	0, B, P _{rf} , P _{sf} , P _{sf} B, P _{rf} B, K, KB, P _{rf} K, P _{sf} K, P _{rf} KB, P _{sf} KB
Ylivieska 3	3	0, B, P _{sf} K, P _{sf} KB, Suo-PK, N+Suo-PK, Puuntuhka 5
Haapajärvi	3	0, Metsän-PK, Kunnostuslannos 2
Vaala	4	0, Puuntuhka 5, Metsän kali-hivenlannos, Metsän-PK
Vuolijoki	4	0, Puuntuhka 5

Ylivieska 1: P_{rf} = raakafosfaatti 304 kg/ha, P_{sf} = kaksoissuperfosfaatti 225 kg/ha, K = kalisuola 100 kg/ha, B = lannoiteboraatti 10 kg/ha.
Ylivieska 3: B = lannoiteboraatti 7.1 kg/ha, P_{sf} = kaksoissuperfosfaatti 225 kg/ha, K = kalisuola 167 kg/ha, N = urea 216 kg/ha, Suo-PK = Suomensien PK-lannos 500 kg/ha. Puuntuhkaa 5 t/ha. *Haapajärvi*: Metsän PK-lannos = 500 kg/ha, Kunnostuslannos 2 = 1125 kg/ha.
Vaala: Puuntuhka 5 = puuntuhkaa 5 t/ha, Metsän kali-hivenlannos 333 kg/ha, Metsän-PK 625 kg/ha. *Vuolijoki*: Puuntuhka 5 = puuntuhkaa 5 t/ha.

Kaikilta kokeilta koostettiin koealakohtainen neulasnäyte kahdesta kuuteen vuotta lannoituksesta vähintään viidestä puusta otetusta osanäytteestä. Neulasista analysoitiin niiden N-, P-, K-, Ca-, Mg-, Fe-, Mn-, Zn-, Cu- ja B-pitoisuudet (Halonen ym. 1983). Maanäytteet otettiin tilavuustarkkoina lannoittamatomilta koaloilta koostaen ne kolmesta osanäytteestä 0-10 cm pintakerroksesta ja muokkauskerroksen alapuolelta 30-40 cm kerroksesta. Näytteistä määritettiin pH:n, orgaanisen aineen osuuden ja tiheyden lisäksi pää- ja hivenravinteiden määriä (taulukko 3) (Halonen ym. 1983). Varianssianalyysillä tutkittiin lannoituskäsittelyiden vaikutusta neulas-ten ravinnepitoisuuksiin. Varianssianalyysin jälkeen eri käsittelyiden keskiarvojen eroja lannoittamattomaan kontrolliin nähden verrattiin Dunnettin testillä tai t-testillä.

Taulukko 3. Maan pH, orgaanisen aineen määrä, tiheys ja ravinnemäärät lannoittamattomilla koealoilla 0-10 cm ja 30-40 cm kerroksissa. AAs = hapan (pH 4,65) ammoniummetaattiuutto.

Koe	Kerros pH		Org.aine %	Tiheys g/dm ³	Ravinnemäärät, kg/ha								
		vesi			N tot.	P tot.	P AAs	K tot.	K AAs	Ca tot.	Mg tot.	B tot.	Zn tot.
Ylivieska 1	0-10	5,5	74,9	171	4172	491	2,1	126	67	6728	423	0,7	6
	30-40	5,7	84,6	181	4720	298	0,8	99	16	7416	423	0,8	2
Ylivieska 3	0-10	4,8	49,8	241	3761	534	3,6	222	55	2068	598	0,6	10
	30-40	4,9	34,6	738	2726	488	1,4	613	14	2557	1487	1,7	10
Haapajärvi	0-10	4,7	45,9	290	3349	347	2,5	160	41	777	159	0,8	3
	30-40	4,8	18,3	877	2378	382	1,2	425	6	1171	531	2,3	2
Vaala	0-10	4,6	62,1	434	6640	550	14,4	191	119	783	174	0,6	1
	30-40	4,8	2,9	1235	741	722	2,3	679	24	762	690	2,7	3
Vuolijoki	0-10	4,5	53,5	292	5129	983	5,0	136	35	1032	181	1,0	58
	30-40	4,5	53,7	268	3740	241	1,5	185	9	655	481	0,9	10

Tulokset

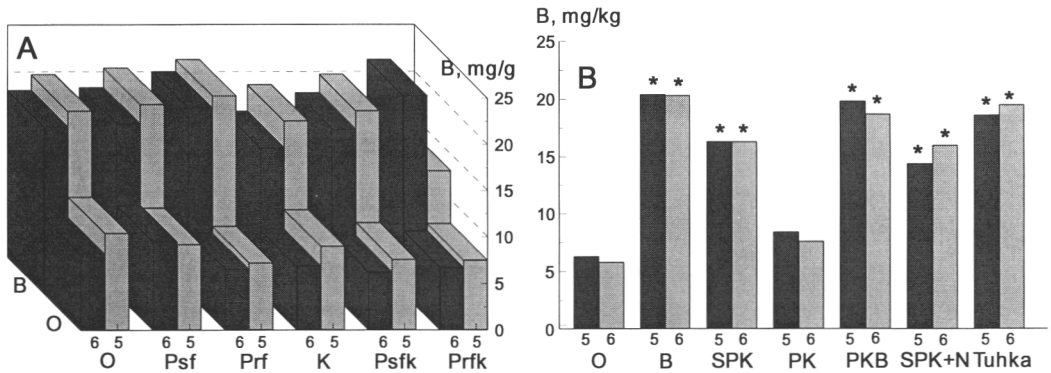
Lannoituskäsittelyiden vaikutuksia tarkastellaan neulasanalyysitulosten perusteella. Ne neulasten ravinnepitoisuudet, joihin lannoituskäsittelyt eivät vaikuttaneet tilastollisesti merkitsevästi on koottu taulukkoon 4 koekohtaisina keskiarvoina. Tähdellä on merkitty ne ravinteet, joihin lannoitus vaikutti. Fosforilannoitus ei vaikuttanut yhdelläkään kokeella neulasten fosforipitoisuuksiin. Myöskään hidasliukoisen (apatiitti) ja nopealiukoisen fosforilannoitteen (kaksoissu-perfosfaatti) välillä ei ollut eroa (Ylivieska 1). Lannoitus kohotti tilastollisesti merkitsevästi neulasten booripitoisuuksia kaikilla kokeilla ja kaliumpitoisuuksia kaikilla muilla paitsi Ylivieskan kokeella 1 (taulukko 4).

Taulukko 4. Neulasten keskimääräiset ravinnepitoisuudet niiden ravinteiden osalta, joihin lannoituskäsittelyt eivät vaikuttaneet. Tähdellä merkitty ravinteet, joihin lannoituksella oli tilastollisesti merkitsevä vaikutus.

Koe	Ravinne									
	N mg/g	P mg/g	K mg/g	Ca mg/g	Mg mg/g	B mg/kg	Fe mg/kg	Mn mg/kg	Zn mg/kg	Cu mg/kg
Ylivieska 1 -92	15,5	2,1	4,9	1,5	1,1	**	29,2	195	39,7	3,3
Ylivieska 1 -94	14,7	2,0	4,6	1,4	1,1	**	-	-	-	-
Ylivieska 3 -92	18,8	1,9	**	1,4	0,8	**	-	235	29,3	3,1
Ylivieska 3 -94	16,0	1,8	**	1,2	0,8	**	-	-	-	-
Haapajärvi	17,9	1,8	**	1,6	0,9	**	4,5	400	33	4,3
Vaala	11,8	1,6	**	1,6	1,0	**	**	203	29,3	-
Vuolijoki	15,8	1,6	**	1,8	0,9	**	16,3	386	31,4	4,3

Ylivieska 1 ja 3

Ylivieskan kokeella 1 kaliumlannoitus ei nostanut neulasten kaliumpitoisuuksia. Tämä saattaa johtua metsikön aiemmista lannoituksista (Suometsien PK -lannos vuosina 1979 ja 1982). Ylivieskan kokeella 3 kaliumia sisältävät lannoituskäsittelyt kohottivat neulasten kaliumpitoisuuksia hieman, mutta ainoastaan tuhkalannoitus lisäsi neulasten kaliumpitoisuutta lannoittamattomaan vertailukäsittelyyn verrattuna tilastollisesti merkitsevästi. Lannoittamattomillakaan koealoilla ei ollut akuuttia kaliumin puutosta.



Kuva 2. Lannoituksen vaikutus neulasten booripitoisuuksiin Ylivieskan kokeilla 1 (A) ja 3 (B). P_{rf} = raakafosfaatti, P_{sf} = kaksoissuperfosfaatti, K = kalisuola. B = boorilannoitus, 0 = ei boorilannoitusta. SPK = Suometsien PK-lannos. Neulasnäytteet 5) viisi ja 6) kuusi vuotta lannoituksesta. Tähti pylvään päällä (koe 3) osoittaa tilastollisesti merkitsevän eron lannoittamattomaan vertailukäsittelyyn nähden.

Ylivieskan kokeilla kaikki lannoituskäsittelyt, jotka sisälsivät booria lisäsivät tilastollisesti erittäin merkittävästi ($p < 0,0001$, kuva 2) neulasten booripitoisuutta viisi ja kuusi vuotta lannoituksen jälkeen (10 - 11 mg/kg). Suometsien PK -lannos nosti neulasten booripitoisuuksia toisin kuin PK -lannoitus, joka ei sisältänyt booria. Kummallakaan alueella ei kuitenkaan esiintynyt akuuttia boorin puutosta, sillä boorilannoittamattomilla koealoilla neulasten booripitoisuus oli eri vuosina 6,7 - 8,5 mg/kg.

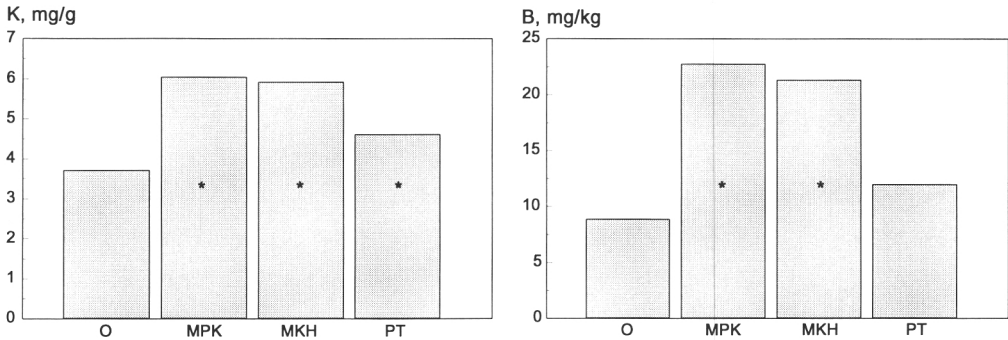
Haapajärvi

Lannoittamattomien koealojen neulasten kaliumpitoisuudet olivat matalia (3,6 mg/g) ja lannoitus Suometsien-PK:lla tai Kunnostuslannos 2:lla nosti ($p = 0,0381$) ne sopivalle (4,8 mg/g) tasolle. Lannoitus kohotti myös neulasten booripitoisuuksia ($p = 0,0152$) keskimäärin 11 mg/kg. Vertailukoealoilla oli boorinpuute, lukuunottamatta yhtä koealaa, jossa mäntyjen booripitoisuudet olivat varsin korkeat.

Vaala

Kaikki lannoituskäsittelyt kohottivat neulasten kaliumpitoisuuksia ($p = 0,000$) lannoittamattoman kojäsenen 3,7 mg/g:sta lannoitettujen 4,6 - 6,1 mg/g:aan (kuva 3). Metsän PK-lannos ja

Metsän kali-hivenlannos kohottivat neulasten booripitoisuuksia noin 13 mg/kg ($p=0,0018$). Vaikka puuntuhkakakin oli hieman kohottanut neulasten booripitoisuuksia vaikutus ei ollut tilastollisesti merkitsevä (kuva 3).



Kuva 3. Lannoituksen vaikutus neulasten kalium- ja booripitoisuuksiin. MPK = Metsän PK-lannos, MKH = Metsän kali-hivenlannos, PT = puuntuhka. Tähti pylvään sisällä osoittaa tilastollisesti merkitsevän eron lannoittamattomaan vertailukäsittelyyn nähden.

Vuolijoki

Tuhkalannoitus kohotti neulasten kaliumpitoisuuksia lannoittamattomien koealojen 3,2 mg/g:sta 3,9 mg/g:aan ($p=0,04$). Kaikilla koealoilla taimilla oli lievä tai ankara kaliumin puute lannoituksesta huolimatta. Tuhkalannoitus lisäsi myös neulasten booripitoisuutta lannoittamattomien koealojen 12,6 mg/kg:sta 19,9 mg/kg:oon ($p=0,000$).

Tarkastelu

Kokonaistypen ja -fosforin määrä kaikkien tutkimuksen peltojen peltojen pintakerroksessa oli korkeampi kuin ojitetuilla soilla (Kaunisto ja Paavilainen 1988). Fosforin kokonaismäärä ja uuttuvan fosforin määrä oli useimmilla kokeilla pienempi kuin keskimäärin Keski-Pohjanmaan turvepelloilla (Hytönen & Ekola 1993). Yhdelläkään kokeella ei kuitenkaan tavattu fosforin puutosta, eikä fosforilannoitus lisännyt neulasten fosforipitoisuutta.

Kokonaiskaliumia pintakerroksessa oli selvästi vähemmän kuin Keski-Pohjanmaan metsitetyillä pelloilla keskimäärin, vaikkakaan erot uuttuvan kaliumin määrässä eivät olleetkaan suuret (Hytönen & Ekola 1993). Neulasanalyysin mukaan vertailukoealoilla kaliumin puutosta esiintyi osalla kokeista. Maan kaliumin määrät eivät kaliuminpuutteen vaivaamilla koealueilla olleet muihin kokeisiin verrattuna poikkeuksellisen pieniä, mutta ne olivat kaikilla kokeilla matalia. Kaliumlannoitus lisäsi neulasten kaliumpitoisuutta useimmissa kokeissa. Puuntuhka osoittautui hyväksi puiden kaliumin lähteeksi myös pelloilla. Lannoitusvaikutuksen puuttuminen Ylivieskan kokeelta 1 saattoi johtua taimikon aiemmasta PK-lannoituksesta.

Booria peltomaan pintakerroksessa oli tässä tutkimuksessa varsin niukasti (keskimäärin alle 1 kg/ha). Myös muiden tutkimusten mukaan booria peltomaassa on yleensä melko vähän (Kaunisto 1991, Hynönen 1992, Hytönen & Ekola 1993). Tutkituilla pelloilla lannoitteet, jotka sisälsivät booria kaksin-, jopa viisinkertaistivat neulasten booripitoisuuden verrattuna lannoittamattomiin puihin. Neulasten booripitoisuuden alittaessa raja-arvon 6-7 mg/kg lisääntyy kasvuhäiriöisten puiden osuus jyrkästi (Reinikainen & Veijalainen 1983, Hytönen & Ekola 1993). Peltojen viljelyn aikainen kalkitus on voinut aiheuttaa ravinnetaloudellisia ongelmia kasvien kalsiumin, magnesiumin ja boorin suhteissa (Raitio 1979, Lipas 1990, Hytönen & Ekola 1993). Lisäksi neulasten korkea typpipitoisuus sekä korkea typen ja boorin suhde voivat lisätä kasvuhäiriön riskiä (Reinikainen & Veijalainen 1983, Veijalainen ym. 1984, Hytönen & Ekola 1993).

Tässä tutkimuksessa ei tarkasteltu lannoituksen vaikutusta puuston kasvuun. Paavilainen (1970, 1977) on aiemmin todennut, että lannoitus istutuksen yhteydessä ei ole parantanut taimien kasvua suopelloilla ensimmäisen 10 vuoden aikana, ja että typpilannoitus on jopa alentanut taimien pituus- ja paksuuskasvua. Paavilaisen kokeissa lannoitteet eivät kuitenkaan sisältäneet booria tai muita hivenravinteita ja taimia vaivasikin 10 vuoden ikäisinä kasvuhäiriöt, jotka saattoivat heikentää taimien pituuskasvua. Turvepellolla tuhkalannoitus etenkin suurilla puuntuhkamäärillä on vähentänyt tai jopa poistanut puiden kasvuhäiriöt, lisännyt puiden kasvua ja kohottanut neulasten kalium- ja booripitoisuuksia (Ferm ym. 1992).

Tämän tutkimusten tulosten ja pellonmetsitysten inventointien yhteydessä (Hynönen 1992, Hytönen & Ekola 1993) tehtyjen ravinnetarkastelujen perusteella näyttää siltä, että turvepeltojen lannoituksessa on käytettävä ainakin kaliumia ja booria sekä mahdollisesti myös muita hivenravinteita sisältäviä lannoitteita. Lannoitus on kohottanut neulasten ravinnepitoisuuksia yhtä hyvin sekä 1- että 12 -vuotiaissa mäntytaimikoissa. Paksuturpeisilla pelloilla lannoituspäätöstä tehtäessä olisi kiinnitettävä huomiota painomaan käyttöön, sillä se voi lisätä kaliumin määrää pellon pintakerroksessa huomattavasti (Anttinen 1957, Pessi 1961). Mikäli lannoitusvaikutus osoittautuu pitkäaikaiseksi, voisi jo taimikon istutuksen tai taimikon hoidon yhteydessä annettu boori tai kali-boorilannoitus olla useilla turvemaiden pelloilla oikea toimepide. Sen sijaan fosfori- ja typpilannoituksen tarve lienee varsin harvinaista.

Kirjallisuus

Anttinen, O. 1957. Saraturvesuon saveus- ja lannoituskokeen tuloksia. Valtion maatalouskoetoiminnan julkaisuja 163. 20 s.

Ferm, A., Hokkanen, T., Moilanen, M & Issakainen, J. 1992. Effects of wood bark ash on the growth and nutrition of a Scots pine afforestation in central Finland. *Plant and Soil* 147:305-316.

- Halonen, O., Tulkki, H. & Deromen, J. 1983. Nutrient analysis methods. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 121. 28 s.
- Hynönen, T. 1992. Maan ominaisuuksien vaikutus turvemaapeltojen metsittämiseen. Helsingin yliopisto, maatalous-metsätieteellinen tiedekunta. Lisensiaattityö. 181 s.
- Hytönen, J. 1991. Pellonmetsityksen onnistuminen Keski-Pohjanmaalla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 391: 22-28.
- Hytönen, J. & Ekola, E. 1993. Maan ja puuston ravinnetila Keski-Pohjanmaan metsitetyillä pelloilla. Folia Forestalia 822. 32 s.
- Kaunisto, S. 1991. Maa-analyysin käyttö kasvupaikan ravinnetilan arvioimiseksi erällä Alkkian metsitetyillä suopelloilla. Folia Forestalia 778. 32 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.
- Paavilainen, E. 1970. Koetuloksia suopeltojen metsittämisestä. Folia Forestalia 77. 25 s.
- Paavilainen, E. 1977. Männyn istutus suopeltojen metsityksessä. Folia Forestalia 261. 27 s.
- Pessi, Y. 1961. Results from a soil improvement and fertilizing test on fenland at Leteensuo. Maataloustieteellinen aikakauskirja 33:223-232.
- Pessi, Y. 1971. Luontaisen ravinteisuuden merkityksestä soiden maa- ja metsätaloudelliselle käytölle. Suo 22(1):8-12.
- Raitio, H. 1979. Boorin puutteesta aiheutuva männyn kasvuhäiriö metsitetyillä suopelloilla. Oireiden kuvaus ja tulkinta. Folia Forestalia 412. 16 s.
- Reinikainen, A. & Veijalainen, H. 1983. Diagnostical use of needle analysis in growth disturbed Scots pine stands. Communicationes Instituti Forestaliae Fenniae 116:44-48.
- Rossi, S., Varmola, M. & Hyppönen, M. 1993. Pellonmetsitysten onnistuminen Lapissa. Folia Forestalia 807. 23 s.
- Urvas, L. 1995. Suomen peltojen maalajit, ravinnetaso ja viljavuusluokitus. Käsikirjoitus.
- Valtanen, J. 1991. Peltojen metsityksen onnistuminen Pohjois-Pohjanmaalla 1970-luvulla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 381. 52 s.
- Veijalainen, H. 1983. Geographical distribution of growth disturbances in Finland. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 116:13-16.
- Veijalainen, H., Reinikainen, A., Kolari, K.K. 1984. Metsäpuiden ravinneperäinen kasvuhäiriö Suomessa. Folia Forestalia 601. 41 s.
- Wall, A. 1995. Peltojen maaperäluokitus puustonkasvatusta varten. Teoksessa: Hytönen, J. & Polet, K. (toim.): Metsäntutkimuspäivä Kälviällä 1994. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 540:22-28.

Erik Schulman

Metla, Kannuksen tutkimusasema

UUSIA TUTKIMUSTULOKSIA RUSKOTÄPLÄKÄRPÄSESTÄ

Koivun puuaineessa näkyvät ruskeat raidat ja täplät aiheuttavat taloudellisia tappioita mekaaniselle puunjalostusteollisuudelle, kuten huonekalu- ja vaneritehtaille. Näiden värvikojen vuoksi osa laadullisesti parhaasta raaka-aineesta on lajiteltava alempiin ja halvempiin laatuokkiin. Nämä tummat raidat ja pilkut ovat ruskotäpläkärpäsen (*Phytobia betulae*) toukkakäytäviä, jotka koivu on kylestänyt ruskealla parenkyymsolukolla. Käytävät näkyvät puun poikkileikkauksessa ruskeina pilkkuina vuosilustoissa.

Ruskotäpläkärpäsen elintavat ovat vielä verraten tuntemattomat. Uusien tutkimustulosten mukaan naaraskärpänen laskee munansa alkukesällä koivun uusiin oksakasvimiin eri puolille latvusta. Alustavien tulosten mukaan nopeakasvuiset versot puun latvaosissa ovat suosittumia. Munasta kuoriutuva toukka kaivautuu kuoren ja nilakerroksen alle erilaistuvaan puuaineeseen, jossa se kulkee oksaa pitkin runkoon, jonka saavutettuaan kääntyy tyveä kohti. Toukka ryömii verraten nopeasti rungossa. Punkaharjun tutkimusasemalla on tutkittu toukkakäytäviä 30 - 40 -vuotiaista kaadetuista rauduskoivurungoista. Mitä ylemmäksi toukkakäytävää seurataan, sitä ohuemmaksi se muuttuu ja lopulta käytävää ei enää pysty näkemään. Kylestyneet toukkakäytävät alkavat erottua keskimäärin 10,5 m:n korkeudella puun rungossa. Tutkituissa rungoissa 54 % käytävistä jatkui juuripuuhan saakka, ja 46 % käytävistä ulottui keskimäärin 4,7 m:n korkeudelle. Elokuun alussa toukka on täyskasvuinen, jolloin se tunkeutuu kuoren läpi, pudottautuu maahan, kaivautuu karikekerrokseen, koteloituu ja talvehtii kotelona. Mikäli toukka ei ole täyskasvuinen saavuttaessaan puun tyven, kaivautuu se juuriin ja syö käytävää edestakaisin sahaten puun tyvellä. Ylöspäin kulkevat käytävät ulottuvat noin 0,5 metrin korkeudelle. Tällaisten käytävien kylestymät ovat tummempia ja suurempia kuin ensimmäiset nuoren toukan alaspäin suuntautuvat käytävät.

Aikuisen kärpäsen elinikää, lentotaitoa ja parittelukäyttäytymistä ei tunneta vielä, eikä edes tiedetä syökö aikuinen kärpänen mitään.

Toukkakäytäviä esiintyy erityisen runsaasti hyvillä metsätyypeillä ja entisillä viljelysmailla kasva-neissa koivuissa. Koivuyksilöiden alttius ruskotäpläkärpäsen iskeytymiselle kuitenkin vaihtelee. Vapaapölytettyjen koivuperheiden ja koivukloonien välillä on havaittu merkitseviä eroja kärpäs-toukkien esiintymisessä. Toukkien iskeytymiseen vaikuttavien tekijöiden selvittäminen saattaa tu-levaisuudessa pienentää taloudellisia tappioita koivun viljelyssä ja jalostuksessa.

Koska toukan ravintona koivun rungossa voi olla mahla tai mahlan sisältämät valkuaisaineet tai sokerit, tutkittiin koivujen mahlanäytteistä eri sokerilajien pitoisuuksia.

Metsäntutkimuslaitoksen silloinen jalostusosasto istutti vuonna 1981 peltomaalle Punkaharjulla 51:n etelä-suomalaisen (koe 727/1) ja 53:n keski-suomalaisen (koe 728/1) koivukantapuun vapaa-pölytysjälkeläisiä. Kokeet harvennettiin alaharvennuksella vuonna 1991, ja kaadetuista rungoista sahattiin kiekot rinnankorkeudelta. Kiekoista mitattiin läpimitta ja laskettiin vuosilustot sekä toukkakäytävät vuosilustottain. Koivuperheiden välillä oli tilastollisesti merkitseviä eroja ruskotäpläkärpäsien toukkakäytävien määrässä. Kymmenestä eniten toukkakäytäviä sisältävästä (0,947 - 0,551 toukkakäytävää/cm²) ja kymmenestä vähiten saastuneesta (0,519 - 0,251 käytävää/cm²) perheestä otettiin mahlanäytteet huhtikuussa 1994 (kaksi puuta jokaisen perheen seitsemästä toistosta, yhteensä 265 näytettä).

Mahlanäytteet analysoitiin Metsäntutkimuslaitoksen laboratoriossa Vantaalla. Mahlanäytteistä mitattiin niiden sisältämät eri sokerilajien, fruktoosin, alfa-glukoosin, beta-glukoosin, sorbitoolin ja sakkaroosin pitoisuudet. Tulosten analyysi näyttää, ettei mahlan mikään erillinen sokerilaatu vaikuta merkittävästi ruskotäpläkärpäsien iskeytymisherkkyyteen. Mahlan fruktoosisokerin pitoisuudella oli tilastollisesti lähes merkitsevä ($p = 0.088$) negatiivinen korrelaatio toukkakäytävien määrään. Beta-glukoosisokeripitoisuudella oli myös tilastollisesti lähes merkitsevä ($p = 0.067$) negatiivinen korrelaatio käytävien esiintymiseen. Alfa-glukoosilla oli myös negatiivinen vaikutus ($p = 0.126$). Sorbitoolisokeripitoisuus ja sakkaroosisokeripitoisuus eivät vaikuttaneet toukkakäytävien määrään. Mahlanäytteet on otettu puista vain kerran, mahlan nousun aikana keväällä, joten mitään varsinaisia johtopäätöksiä ei tästä analyysistä voi tehdä.

Koivuille on kehittynyt resistenssi kasvinsyöjänisäkkäitä vastaan, esim. hirvet, jänikset ja myyrät. Tutkimuksin on todettu, että kestävyysvaihtelu eri koivulajien välillä on huomattava. Ilmeisesti koivuilla on myös jonkinlainen torjuntamekanismi myös ruskotäpläkärpäsien toukkia vastaan. Kuitenkaan kärpästoukkien syöntiä ei voida verrata nisäkkäiden syöntiin. Kasveja syövät nisäkkäät vahingoittavat kasveja, mutta ruskotäpläkärpäsien toukan ei ole todettu vahingoittavan isäntäkasvia.

Kirjallisuus

Kangas, E. 1935. Die Braunfleckigkeit des Birkenholzes und ihr Urheber *Dendromyza* (*Dizygomyza*) *betulae* n.sp. Vorläufige Mitteilung. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 22(1):1-31.

Rousi, M. 1990. Breeding forest trees for resistance to mammalian herbivores - a study on European white birch. *Acta Forestalia Fennica* 210:1-20.

Ylioja, T., Rousi, M. & Roininen, H. 1995. Description of larval tunnels of *Phytobia betulae* Kang. in *Betula* spp. Poster. IUFRO XX World Congress.

Ylioja, T., Schulman, E., Velling, P., Rousi, M., Roininen, H. & Viherä-Aarnio, A. 1995. Discoloration: Brown streaks and firm rot in birch (*Betula pendula* Roth and *Betula pubescens* Ehrh.) wood. Poster. IUFRO XX World Congress.

Risto Lauhanen

Metla, Kannuksen tutkimusasema

VÄRI-INFRAKUVIEN KÄYTTÖ KUNNOSTUSOJITUKSEN PÄÄTÖKSENTEOSSA

Johdanto

Kunnostusojituksen kohdevalintaan on taloudellisista ja ympäristönsuojellisista syistä kiinnitettävä aikaisempaa enemmän huomiota (Lauhanen 1992, Saarinen ja Silver 1992). Kohdevalintaa tehdään nykyään pääosin silmävaraisesti maastossa metsäsuunnitelmien kuviotietoja hyväksi käyttäen. Perinteisiä suokuviotietoja ei enää arvioida erillisille lomakkeille. Kohdevalintaa tulisi kuitenkin edelleen tehostaa ja kustannuksia pienentää maastokäyntejä vähentämällä.

Kaukokartoitusmenetelmät ovat yksi vaihtoehto maastotyökustannusten alentamisessa (Poso ja Kujala 1971, Jaakkola 1981, Laine 1983, Åge 1985). Ilmavalokuvia ja satelliittikuvia on perinteisesti sovellettu suuralueiden metsävarojen ja puuston terveydentilan inventoinneissa (Poso ja Kujala 1971, 1977, Jaakkola 1981, Tiihonen ja Virtanen 1982, Häme 1991, Mikkola ja Ritari 1992). Satelliittikuvien erotuskyky ei vielä nykyisin riitä metsäojituskuvion tilan tai kunnostustarpeen arviointiin kuviotasolla (ks. Häme 1991). Sen sijaan metsäsuunnittelussa käytettävien valmiiden väri-infrakuvien eli väärävärικuvien käyttöä olisi syytä tehostaa, ja kuvien käyttömahdollisuuksia kunnostusojituksen kohdevalinnassa selvittää.

Tämän tutkimuksen tavoitteena on arvioida tavanomaisessa yksityismetsien suunnittelussa käytettävien väri-infrakuvien käyttökelpoisuutta kunnostusojituksen kohdevalinnan tukena. Pääpaino on karujen rämeiden kunnostusojitustarpeen arvioinnissa kasvupaikkaa, ojien kuntoa ja puustoa kuvaavien muuttujien avulla. Yhtenä tavoitteena on selvittää, voidaanko metsänkasvatuskelvottomat kohteet tunnistaa ilmakuvista ruskorahkasammaleisuuden perusteella. Lisäksi tutkitaan mahdollisten muiden tyyppikasvien ja suotyyppien lisämääreiden näkyvyyttä väri-infrakuvissa.

Aineisto ja menetelmät

Tutkimuskohteet oli kuvattu Muhoksella, Kannuksessa ja Parkanossa parhaaseen kuvausaikaan kesä-heinäkuussa vuosina 1990-1992 (kuva 1). Kuvauskorkeus oli ollut noin 3 000 metriä ja kuvausmittakaava 1:20 000. Tutkimuksen metsäsuunnitteluun soveltuvat väri-infrakuvat oli suurennettu 1:10 000-mittakaavaan.

Ennen kuvatulkingia käytiin tutkittavien maastokohteiden läheisyydessä tarkistamassa kuvien sävyarvojen sekä maastotietojen välisiä yhteyksiä. Kaksi yksityismetsäsuunnittelun ammattilaista teki ennakkokuvioinnin ja ilmakuvatulkingin 1993 (ks. Poso ja Kujala 1971). Lisäksi kolmas olosuhteet hyvin tuntenut tulkitsija arvioi Parkanon ilmakuvilta pelkät puuston tilavuudet. Kuvioittaisen arvioinnin ohella tehtiin pistearviointeja kuvioiden sisällä ja niiden ulkopuolella yksittäisten kasvupaikkaa kuvaavien indikaattorikasvien ja suotyypin lisämääreiden sävyarvojen varmentamiseksi.

Ilmakuvilta ja myöhemmin maastossa arvioitiin kasvupaikkatunnukset ja puustotunnukset. Kaikkiaan arvioitiin 75 metsikkökuvioita kuudella eri alueella Muhoksella, Kannuksessa ja Parkanossa. Mukana oli sekä ojitettuja että luonnontilaisia soita. Tutkimusaineisto keskittyi karuille rämeille. Kasvatuskelpoista, elpymiskykyistä puustoa piti olla vähintään 25 m³/ha, jotta kuvio olisi täyttänyt metsänparannusrahoituksen saannin ja kunnostusohjelmakelpoisuuden kriteerit (Metsänparannusohjeisto 1993). Ojien kunnan osalta arvioitiin niiden toimivuus (toimii, ei toimi). Lisäksi kuvilta ja maastossa arvioitiin kuviokohtaiset toimenpide-ehdotukset metsöjien kunnostuksen sekä puuston käsittelyn osalta.

Tulokset ja tarkastelu

Ruskorahkasammal näkyi väri-infrakuviissa punaruskeana sävynä. Ojiin ja suolle kertyneet muut rahkasammalet näkyivät keltavalkeana sävynä. Jäkälät näyttivät joko violeteilta tai harmailta. Havupuut näkyivät kuvissa vihreänä sävynä ja koivupuusto (oranssin)punaisena. Rannoilla, ojissa ja purojen varsilla olevat pajut näyttivät vaaleanpunaisilta.

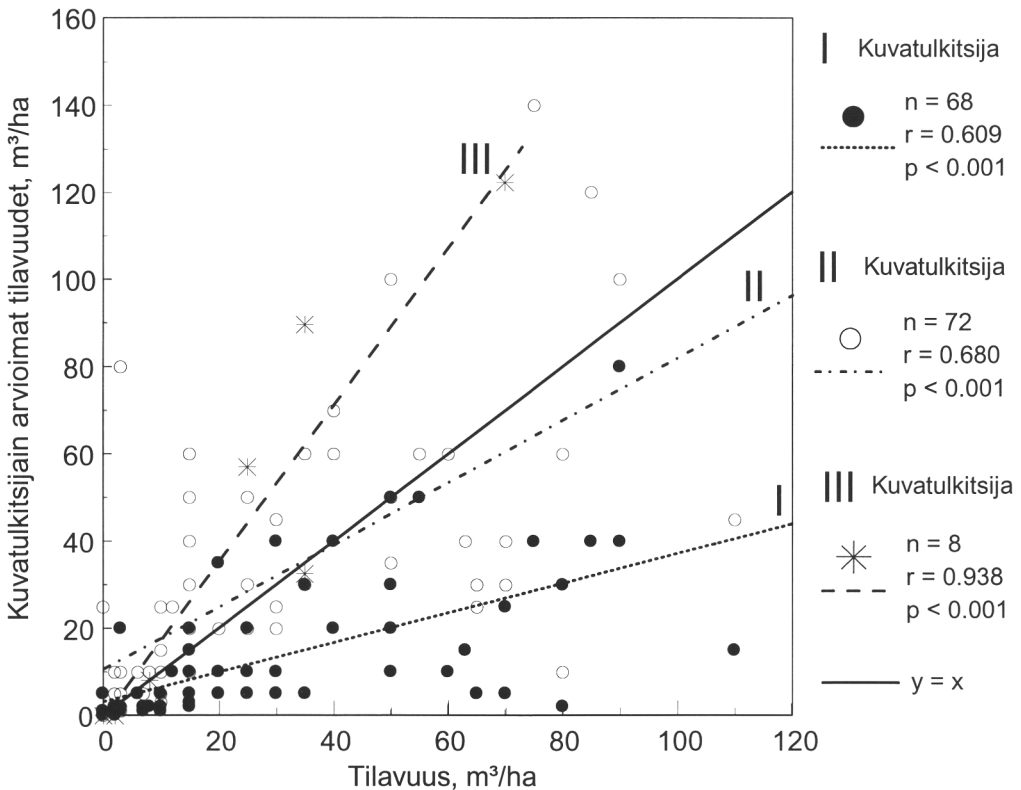
Tulkinta-avaimien antaminen väri-infrakuvien sävyarvoille on aina subjektiivista. Toisaalta kuvia voidaan kehittää ja vedostaa varsin monisävyisiksi. Tutkimuksen suokasvillisuutta kuvaavat väri- ja sävyarvot saavat tukea ruotsalaisten tutkimustuloksista (Rafstedt ja Andersson 1981, Eklund ja Nylander 1990).

Yksittäisten suotyyppien arviointi ilmakuvilta ei ollut helppoa eikä se aina osunut oikeaan. Näin on todettu myös muissa tutkimuksissa (Jaakkola 1981, Rafstedt ja Andersson 1981, Eklund ja Nylander 1990). Puuston määrän ja latvuspeittävyden kasvaessa tehtävä vaikeutuu entisestään (Rafstedt ja Andersson 1981). Toisaalta suotyypin määrittäminen ei ole aina helppoa maastossakaan (Laine 1983).

Tukkeutuneet huonovetoiset ojat näkyivät kuvissa enää ojalinjan perusteella. Uudehkot ojat näkyivät kuvissa tummina, mikäli niissä oli runsaasti vettä. Vastaavasti rimpipinnat ja kuljut näkyivät kuvissa selvästi. Lisäksi uusien ojien varrella olevat kaivumaat erottuivat hyvin. Latvuspeittävydestä johtuen ojien toimivuuden arviointi ei aina ilmakuvilta onnistunut. Se, onko

ojassa paljon sateen jälkeen vettä, vai onko oja tukossa ei käy ilmakuvilta ilmi. Säätekijät onkin huomioitava erikseen kunnostusojituksen päätöksenteossa (Eklund ja Nylander 1990, Lauhanen 1992). Sen sijaan ennalta tiedossa olevat vetiset painanteet ja siinä mielessä ojituskelvottomat kohteet oli kuitenkin mahdollista erottaa kuvissa tummina juotteina.

Metsikön puulajisuhdearviot täsmäsivät kohtalaisen hyvin. Jaakkolan (1981) ja Laineen (1983) mukaan niitä samoin kuin kehitysluokkiakin on helppo arvioida ilmakuvilta. Maastoaineiston painottuessa karuille rämeille valtaosa taimikoista (>1,3 m) ja nuorista kasvatusmetsistä oli lähellä kehitysluokkien rajaa. Näin ollen subjektiivisissa kehitysluokka-arvioissa ilmeni selviä eroja kuvatulkintojen ja todellisten maastotietojen välillä. Myös tulkitsijoiden välillä oli eroja, mikä johtui toisen tulkitsijan paremmasta kokemuksesta ensimmäiseen tulkitsijaan verrattuna.



Kuva 1. Suokuvion puuston todellinen keskitilavuus x-akselilla sekä ilmakuvilta arvioidut tilavuudet y-akselilla. Kolmas kuvatulkitsija käsitteli vain Parkanon aineiston. n =havaintojen lukumäärä, r=korrelaatiokerroin ja p=kertoimen merkitsevyytaso.

Ilmakuvilta ja maastossa arvioitujen puuston tilavuuksien väliset korrelaatiokertoimet olivat 0,609-0,938 kuvatulkitsijasta riippuen (kuva 1). Kullakin tulkitsijalla oli kuitenkin selvää hajontaa tilavuusarvioissa. Pienimittakaavaisten ilmakuvien aikakaudella vastaavat kertoimet

ovat olleet 0,602-0,861 (Poso ja Kujala 1971, 1977). Tämän tutkimuksen kokoiselle kuvioaineistolle ja 1:10000-ilmakuville Poso (1983) on esittänyt korrelaatiokertoimen 0,695.

Toimenpidesuosituksista pelkät täydennysojitukset saati perkaukset ja täydennysojitukset yhdessä eivät olleet millään kuviolla tarpeen. Metsäojien perkausta suositeltiin 1,3-13,2 prosentilla kuvioista. Maastossa havaittu perkaustarve oli suurempi kuin ilmakuvilta arvioitu. Karuilla rämeillä harvennushakkuita ja lannoituksia ei nähty mainittavissa määrin aiheelliseksi.

Kunnostusojitustarpeen kokonaisvaltaisessa määrittämisessä elpymiskykyisen puuston tilavuus on ojen kunnan ja suotyypin ohella kuitenkin vain yksi osatekijä, joskin nämä kaikkia tekijät kytkeytyvät aina toisiinsa. Tässä tutkimuksessa väri-infrakuvien perusteella oli mahdollista havaita vähäpuustoiset, rahkamättäiset huonon boniteetin omaavat vanhat ojitusalueet. Eklund ja Nylander (1990) päätyivät myös boniteetitutkimuksessaan samanlaiseen johtopäätökseen. Toisaalta kuvatulkitsijan ammattitaito ja kuvan laatu vaikuttavat aina tulkinnan luotettavuuteen (Laine 1983, Eklund ja Nylander 1990).

Väri-infrakuvien käytöllä voidaan vähentää maastokäyntejä ja aikaan saada kustannussäästöjä, samalla kun metsänparannusrahoitusta voidaan suunnata karuilta rämeiltä tärkeisiin, hyväpuustosiin kunnostusojituskohteisiin. Taloudellisuusvaatimuksia ajatellen väri-infrakuvia voidaan käyttää maanomistajien omatoimisia ojituskohteita, verovähennysoikeuksia ja metsänparannusrahoituksen saannin perusteita koskevissa ennakoarvioinneissa. Ympäristönsuojeluvaatimusten korostuessa entisestään metsä- ja ympäristöalan organisaatiot voisivat kunnostusojituksen kohdevalinnan ohella soveltaa väri-infrakuvamenetelmää metsätaloudellisesti turhien ojitusten määrään arvioinnissa, sekä luonnon monimuotoisuutta kuvaavissa kartoituksissa ja -tutkimuksissa (Rafstedt ja Andersson 1981). Myös pellonmetsitysten vesitalousongelmia olisi tarpeen tutkia väri-infrakuvien avulla. Edelleen väri-infrakuvien mitta-kaavamuunnoksilla ja atk-tekniikalla voidaan yrittää löytää edellä mainittujen tekijöiden lisäksi puiden ravinnehäiriöiden näkyvyyttä ilmakuvista. Hyvien lakkasoiden sijaintia aletaan jatkossa selvittää vääräväririkuvien avulla.

Kirjallisuus

Eklund, A.-B. & Nylander, J. 1990. IR-färgbilder som hjälpmedel vid torvmarksbonitering. Nämnden för skoglig fjärranalys. NSF-INFO 10. 22 s.

Häme, T. 1991. Spectral interpretation of changes in forest using satellite scanner images. Metsän muutosten spektrinen tulkinta satelliittikeilainkuvien avulla. Acta Forestalia Fennica 222. 111 s.

Jaakkola, S. 1981. Metsävarojen kaukokartoitustekniikka. Helsingin yliopisto, metsänarvioimistieteen laitos. Tiedonantoja 13. 193 s.

Laine, J. 1983. Ilmakuvatulkinta metsäojitusalueiden kunnan ja toimenpidetarpeiden arvioinnissa. Usability of airphoto interpretation in drained peatland forest surveys. Suo 34(1):1-7.

Lauhanen, R. 1992. Kunnostusojituksen ongelmat ja tutkimustarpeet. Abstract: Ditch network maintenance, its problems and research needs. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 409. 45 s.

Metsänparannusohjeisto. 1993. Metsäkeskus Tapio. 24.5.1993. Moniste. 85 s. + 4 liitettä.

Mikkola, K. & Ritari, A. 1992. Montsegorskin alueen metsävauriot -alustava satelliittitulkinta. Abstract: Forest damages in Monchegorsk, Kola Peninsula. A preliminary satellite image analysis. Teoksessa: Kauhanen, H. & Varmola, M.(toim.). Itä-Lapin metsävaurioprojektin väliraportti. The Lapland Forest Damage Project -Interim report. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 413: 244-259.

Poso, S. 1983. Kuvioittaisen arvioimismenetelmän perusteita. Summary: Basic features of forest inventory by compartments. *Silva Fennica* 17(4): 313-349.

Poso, S. & Kujala, M. 1971. Ryhmitetty ilmakeu- ja maasto-otanta Inarin, Utsjoen ja Enontekiön metsien inventoinnissa. Abstract: Groupwise sampling based on photo and field plots in forest inventory of Inari, Utsjoki and Enontekiö. *Folia Forestalia* 132. 40 s.

Poso, S. & Kujala, M. 1977. A method for national forest inventory in northern Finland. Seloste: Menetelmä valtakunnan metsien inventointiin Pohjois-Suomessa. *Communicationes Instituti Forestaliae Fenniae* 93(4). 54 s.

Rafstedt, T. & Andersson, L. 1981. Flygbildstolkning av myrvegetation. En metodstudie för översiktlig kartering. *Naturvårdsverket. Rapport 1433*. 106 s.

Saarinen, M. & Silver, T. 1992. Karujen rämeiden kunnostusojituskelpoisuus. Evaluation of ditch network maintenance on drained poor pine mires. *Suo* 43(3):69-75.

Tiihonen, P. & Virtanen, J. 1982. Koetuloksia ilmakeuvien käytöstä energiapuun arvioinnissa Kannuksessa v. 1979-80. Summary: Use of aerial photographs to estimate energy wood resources in Kannus in 1979-80. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 66. 24 s.

Åge, P.-J. 1985. Forest inventory photo interpretation. *Lantmäteriet. Tekniska skrifter* 13. 21 s.

Kristian Karlsson

Metla, Kannuksen tutkimusasema

POHJANMAAN RANNIKKOALUEEN METSIEN ERITYISPIIRTEET

Puuston kasvun alueellisuus

Suomessa metsän kasvu ja maiden puuntuotoskyky muuttuu ennen kaikkea etelä-pohjoissuunnassa. Metsän kannalta kaikkein äärevimmät olosuhteet tavataan pohjoisen metsärajan tuntumassa ja siellä erotetulla suojametsäalueella on jo kauan pidetty tarpeellisena erikseen tutkia metsien kehitystä ja puiden kasvua. Etelä-Suomessa ei puhuta metsärajan sanan varsinaisessa mielessä, vaikka kasvuolosuhteet saariston uloimmissa osissa itse asiassa rajoittavat ja paikoin estävät puiden kehittymistä. Näissä uloimmissa osissa metsillä ei ole taloudellista merkitystä, mutta pitkin Suomen rannikkoa on laajoja metsäalueita, joiden erityispiirteet näkyvät metsien kehityksessä. Pohjanmaalla nopeasti edennyt ja edelleen etenevä maankohoaminen aiheuttaa sen, että meren vaikutus metsämaahan ja välillisesti puustoon huomataan kauempanakin sisämaassa. Aiemmissä kasvututkimuksissa on jo kiinnitetty huomiota siihen, että metsät muuttuvat Pohjanmaan rannikolta itäänpäin mentäessä, mutta on samalla ollut epävarmaa miten tätä muutosta voi ja pitäisi ottaa huomioon maiden luokituksessa ja kasvuarvioinneissa. Myös metsien alueellisiin eroihin vaikuttavat syyt ovat herättäneet keskustelua. Yksi mittari puuston kasvukykyyn ja kasvupaikkojen puuntuotoskyvystä on puuston valtapituusboniteetti (taulukko 1). Tässä tunnuksessa näkee selvästi laskua lähesyttäessä Pohjanmaan rannikkoa, vaikka jyrkin muutos tapahtuu vedenjakajan kohdalla. Monet muut puustotunnukset muuttuvat vastaavalla tavalla.

Taulukko 1. Metsämaan kankaiden keskimääräinen valtapituusboniteetti (m) metsälautakunnittain.

Pääpuulaji	Metsälautakunta					
	K-P	Poh	E-P	K-S	P-S	P-K
Mänty	18,4	20,3	19,9	22,7	23,0	21,0
Kuusi	21,3	21,9	22,8	25,4	25,0	22,5
Lehtipuu	14,4	14,6	16,5	16,8	17,3	16,1

Luontaiset kasvutekijät rannikolla

Kasvuolosuhteet Pohjanmaan rannikolla poikkeavat merkittävästi muun Etelä-Suomen olosuhteista. Eroja löytyy sekä ilmastosta että maaperästä. Ilmastotunnuksista lämpötila voi rajoittaa puiden kasvua saaristossa tai aivan meren tuntumassa. Ratkaiseva lienee silloin toukokuun lämpötila, joka määrää kuinka nopeasti puiden kasvu pääsee alkaamaan ja etenemään keväällä (taulukko 2). Kuusikot ovat tässä suhteessa herkempiä johtuen viileämmästä mikroilmastosta ja pitempään kestävästä roudasta. Alkukesän suhteellisen alhainen sademäärä ja tuulen kuivaava vaikutus voivat rajoittaa erityisesti pituuskehitystä. Mielenkiintoinen korrelaatio esiintyy juuri sademäärän ja metsien keskimääräisen valtapituusboniteetin kanssa. Tässä törmää kuitenkin heti tulkintavaikeuteen. Erittäin kivisten kasvupaikkojen osuus on nimittäin poikkeuksellisen suuri juuri samalla alueella, missä alkukesän sademäärä ja lämpötila on pienimmillään (taulukko 2 ja 3). Huuhtoutuneiden moreenimaiden kivisyys ja paikoin pintalohkareiden suuri määrä on silmiinpistävä Pohjanmaan rannikolla, mutta kivisyyden kasvua rajoittava vaikutus voi olla hyvin erilainen riippuen kasvupaikkojen muista ominaisuuksista.

Kasvutekijöiden vaikutuksia puustoon on siten vaikeata erottaa toisistaan, koska ne vaihtelevat samalla tavalla etäisyyden merestä kasvaessa. Kasvututkimukset suoritetaan luonnossa, tavallisissa talousmetsissä, jossa on mahdollista vakioita mitään kasvutekijöitä toisten tekijöiden vaikutusten erottamiseksi täysin yksiselitteisesti.

Taulukko 2. Joitakin ilmastotunnuksia metsälautakunnittain.

Ilmastotunnus	K-P	Poh	Metsälautakunta			
			E-P	K-S	P-S	P-K
Lämpösumma, dd	1054	1138	1111	1090	1121	1079
Sademäärä, mm	523	509	532	593	569	582
Keskilämpötila, °C ¹⁾	7,6	7,5	8,0	7,8	7,8	7,5
Sademäärä, mm ¹⁾	38	33	35	40	39	37

¹⁾ toukokuun

Taulukko 3. Erilaatuisten kasvupaikkojen osuudet (%) metsälautakunnittain. Kankaiden osuus on metsämaan pinta-alasta, muut tunnuksat on metsämaan kankaiden pinta-alasta.

Kasvupaikan laatu	Metsälautakunta					
	K-P	Poh	E-P	K-S	P-S	P-K
Kangasmaa	59	75	62	74	77	73
Muut	41	25	38	26	23	27
Lhkg & Tkg	51	69	51	67	82	67
Kkg	7	4	8	2	2	4
Muut	42	27	41	31	16	29
Kiviset	18	25	12	14	11	10
Soistuneet	10	8	10	5	6	4
Kunttaiset	3	1	1	—	—	1
Lähellä rantaa	—	2	—	—	—	—
Muut	69	64	77	81	83	85

Aiemman metsänkäsittelyn vaikutus metsien nykytilaan rannikolla ja muualla

Metsää on käsitelty Suomessa niin kauan kuin täällä ihmisiä on ollut. Menetelmät ovat kuitenkin olleet varsin vaihtelevia ja järkiperaista, metsävaroja kehittävää metsänhoitoa on alettu harrastamaan melko myöhään, monin paikoin vasta 1960-luvulla. Aiemmat hakkuutavat ovat jättäneet jälkensä kaikkiin metsiin. On selvää, että nykyiset nuoret, hoidetut metsät kehittyvät paremmin ja tulevat saavuttamaan suuremmat dimensiot kuin tämän päivän vartuneet ja vanhat metsät. Tämä ei johdu pelkästään metsänviljelystä, vaan metsänhoidon muutoksista yleensä. Ei myöskään voida unohtaa ilmasto- ja muita ympäristömuutoksia, joiden vaikutuksia metsiin ei vielä tunneta tarpeeksi hyvin.

Entisaikojen metsänkäsittelyn vaikutuksia eri alueiden nykymetsiin on mahdollista suoranaisesti selvittää. Viimeisen vuosisadan metsänkäsittely näkyy kuitenkin vielä esimerkiksi metsien laadussa. Metsiköt on inventoinneissa luokiteltu vajaapuustoisiksi ja jätemetsiköiksi nimenomaan tuhoisten hakkuiden takia. Viljelymetsien määrä kuvastaa myös metsänhoidon intensiteettiä, mutta luontaisen uudistumisen yleisyys riippuu toisaalta myös karujen kasvupaikkojen esiintymisestä. Näiden tunnusten suhteen Pohjanmaan rannikko ei juurikaan erotu alueena (taulukko 4). Kangasmaametsien keskitilavuuden nousu ajan myötä ei myöskään ole ollut sen nopeampaa Pohjanmaan rannikolla kuin muualla Etelä-Suomessa. Nämä seikat viittavat siihen, että nyt nähtävät erot rannikkoalueen ja muun Etelä-Suomen metsien välillä ainakin osittain säilyvät. Sama asia käy ilmi rannikon kuusikoiden pituuskehityksestä tehdyissä selvityksissä.

Taulukko 4. Eräitä valtakunnan metsien inventoinneissa käytettyjä puuston laatuluokkia metsälautakunnittain.

Metsiköiden osuus	Metsälautakunta					
	K-P	Poh	E-P	K-S	P-S	P-K
Vajaapuustoiset	12	10	9	7	10	9
Jättemetsiköt	3	3	2	1	1	1
Muut	85	87	89	92	89	90
Harsintahakatut	3	2	5	1	1	2
Luont. uudistuneet	62	53	62	35	39	45
Epäonnistuneet viljelyt	2	2	1	1	2	1
Onnistuneet viljelyt	36	46	37	64	59	54

Kasvumallien soveltuvuus Pohjanmaan rannikkoalueen metsiin

Tavallisimpien metsikkötason kasvumalleiden soveltuvuutta eri alueilla on testattu inventointiaineistojen avulla. Kaikilla malleilla oli samalainen taipumus yliarvoida rannikkoalueen kangasmaametsien kasvua suhteessa sisämaan metsiin (taulukko 5). Rannikkoalueet voidaan näiden selvitysten perusteella rajata melko tarkasti. Epävarmuutta on edelleen osissa Keski-Pohjanmaata ja Pohjois-Pohjanmaata, missä alhaisen kasvun alue ei erotu niin selkeästi eikä seuraa rannikkoa. Alhaisen kasvualueen ulottuvuudet olivat hyvinkin erilaiset männiköillä ja kuusikoilla.

Tarkasteluista huomaa muutenkin, että kasvuennusteiden paikkaansapitävyys vaihtelee melkoisesti pienalueittain – sekä rannikolla että muualla. Tämä tuo tietysti melkoisen haasteen uusien kasvumallien tekijöille. Tämän päivän metsäsuunnittelulle – jossa kasvumalleja eniten hyödynnetään – on tunnusomaista, että halutaan luotettavia ennusteita yhä pienemmille alueilla ja pitkille ajanjaksoille eteenpäin. Kasvumallien toimivuuteen pitää siten selvästi kiinnittää enemmän huomiota.

Parempia kehitysennusteita voi olla vaikeata saada ilman lisää tietoa metsistä. Varteenotettavia uusia tunnuksia ovat silloin mm. valtapituusboniteetti ja metsikön tai puiden latvussuhde, eli elävän latvuksen osuus pituudesta. Aiemmin tuli jo esiin kuinka on ensiarvoisen tärkeätä erottaa alueelliset erot metsien kehityksessä ajassa tapahtuneista muutoksista, mutta edellä mainituista tunnuksista voi olla hyötyä myös tässä suhteessa. Varttuneiden ja vanhojen viljelymänniköiden sekä nuorten kuusikoiden pieni osuus rannikolla tuo huomattavasti li-

sää epävarmuutta näiden metsikkötyyppien kehitysnusteiden paikkaanspitävyyteen pitemmän päälle.

Varsinaisten kasvutekijöiden käyttöä kasvuennusteiden tarkentamiseksi on vaikeata, mutta Pohjanmaan rannikolla maaperän ominaispiirteistä saattaa olla hyötyä. Tiivit, hienojakoiset maat ovat yleisempiä tietyillä alueilla eteläosissa, kun taas löyhät moreenit, kuten drumliini-muodostelmat ja kumpumoreenit, ovat yleisempiä keskiosissa. Vaikuttaa siltä, että nämä aluerajaukset seuraavat alhaisen kasvun rajaa – etenkin männiköiden osalta. Kivisyyden vaikutusta puiden (erityisesti kuusen) kehitykseen voidaan ehkä tarkentaa samoilla tiedoilla. Tätä maaperämuodostelmien aluejakoa kannattaa silloin käyttää hyväksi kasvun ja kehityksen ennustamisessa. Tiedot näistä alueista voidaan hyödyntää ilman maastotyötä ja lisäksi voidaan ehkä paremmin soveltaa kasvumalleja muihin paikkoihin, missä nähdään samantyyppisiä kasvuun vaikuttavia tekijöitä.

Taulukko 5. Keskimääräinen tilavuuskasvu metsämaan kankailla ja erään kasvumallin paikkaanspitävyys keskimäärin metsälautakunnittain. Tasokerroin = 1 kun ennuste osuu oikeaan, < 1 kun ennuste on yliarvio, > 1 kun ennuste aliarvoi metsien kasvua.

	Metsälautakunta					
	K-P	Poh	E-P	K-S	P-S	P-K
Tilavuuskasvu, m ³ ha ⁻¹	4,1	3,8	4,4	5,8	5,8	5,0
Tasokerroin, mänty	0,88	0,79	0,86	0,99	0,98	0,99
Tasokerroin, kuusi	0,86	0,67	0,87	0,91	0,91	0,87

Annika Kangas

Metla, Kannuksen tutkimusasema

VALTAKUNNAN METSIEN INVENTOINNIN APTEERAUSAINEISTON KÄYTTÖ PUUSTON TUKKIOSAN JA SEN LAADUN ENNUSTAMISESSA

Tukkipuun määrän ja laadun arvioiminen valtakunnan metsien inventoinnissa

Valtakunnan metsien inventoinnissa (VMI) tehdään vuosittain valtavat määrät mittauksia. Mittausten avulla voidaan laskea puuston tilavuus puulajeittain ja puutavaralajeittain halutuille alueille. Aiemmin tulokset julkaistiin lähinnä taulukoissa metsälautakuntien alueittain. Nykyisin voidaan uuden satelliittikuvatekniikan avulla laatia myös teemakarttoja siitä, millä alueilla tiettyä puulajia tai puutavaralajia esiintyy. Tulokset saadaan uuden tekniikan myötä myös entistä pienemmille alueille, teemakartat voidaan tehdä jopa kunnittain. (Tomppo 1995). Kahdeksas VMI alkoi vuonna 1986 ja koko Suomi saatiin käytyä läpi 1994.

Eri puutavaralajien määrät ja laatu arvioidaan VMI:ssä koepuumittausten avulla. Kukin koepuu apteerataan eli jaetaan laatuosiin. Etelä-Suomessa jako tehtiin maastossa tukeittain, kunkin tukin pituus ja laatu arvioitiin ja merkittiin lomakkeille (Valtakunnan metsien...1991). Myös pääasiallinen syy tukkiosuuden putoamiseen puun koon mukaisesta maksimista tai tukkiosan laadun heikkenemiseen merkittiin ylös. Pohjois-Suomen inventoinnissa maastossa mitattiin vain eri puutavaralajien päättymiskorkeudet ja jako yksittäisiin tukkeihin tapahtuu sisätoinä erityisellä pölkkytysalgoritmilla (Valtakunnan metsien....1993). Kuitu- ja hukkaosien tilavuudet on laskettu pölkkytysalgoritmilla koko maassa.

Järeitä mäntyjä apteerattiin valtakunnan metsien inventoinnissa Etelä-Suomesta 10551 kappaletta, joista 1484 oli turvemaiilla. Järeitä kuusia apteerattiin 10841 kappaletta (1305 turvemaiilla) ja järeitä hies- ja rauduskoivuja 1997 kappaletta (366 turvemaiilla).

Tukkipuuston laatuvaatimukset muuttuivat kesken inventoinnin. Etelä-Suomi aina Keski-Pohjanmaalle asti mitattiin kuitenkin ns. vanhoilla laatuvaatimuksilla, jotta puutavaralajeista saataisiin lautakunnittain vertailukelpoiset tulokset. Myös viralliset inventointitulokset on laskettu vanhoilla laatuvaatimuksilla. Uudet laatuvaatimukset on VMI:ssä myös otettu huomioon. Mikäli uudet vaatimukset vaikuttivat tukkiosan pituuteen, tämä pituusmuutos mitattiin. Ellei muutoksen vaikutusta tällä tavoin saatu otettua huomioon, apteerattiin puut myös uusien laatuvaatimusten mukaisesti.

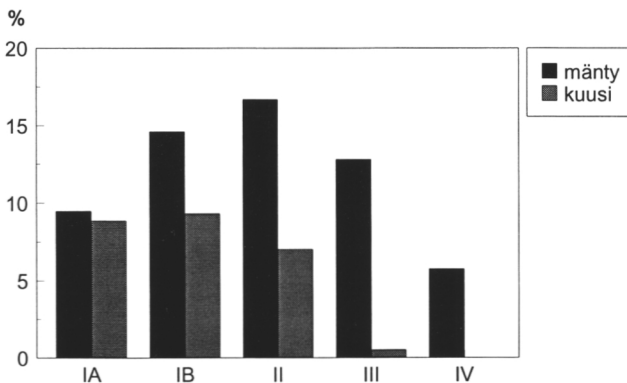
Etelä-Suomessa käytettiin laatuvaatimuksina MTK:n metsävaltuuskunnan ja Tukkikeskuksen hankintavuonna 1969/70 sopimia laatuvaatimuksia (Tapion Taskukirja, 17. painos, s. 280). Uudet laatuvaatimukset perustuvat Tapion Taskukirjan (21. painos, s. 380-) ohjeisiin, joita on osittain muutettu metsäteollisuudelta saatujen uusimpien vaatimusten mukaisesti.

Valtakunnan metsien inventoinnin lisäksi puuston laatua on mitattu myös Valtakunnallisessa PUututkimuksessa (VAPU) (Korhonen & Maltamo 1990). Tässä tutkimuksessa on mitattavat koepuut kaadettu. Puut on siten mitattu ja apteerattu normaalia VMI:tä tarkemmin, mm. kaikkien oksien läpimitat ja korkeudet on mitattu.

Puuston laadun ennustaminen

Ennustaminen on aina hankalaa. Puuston tunnuksista laadun ennustaminen on hankalimmasta päästä. Tähän on monia syitä. Ensinnäkin, laatuun vaikuttavat monet erilaiset tekijät, kuten puun oksikkuus, haarat, mutkat, lenkous, korot, laho, huono runkomuoto jne. Osa näistä vioista korreloi puun ja metsikön tunnusten kanssa. Esimerkiksi oksaisuutta on mahdollista ainakin jossakin määrin ennustaa kasvupaikan viljavuuden ja puuston tiheyden perusteella. Osa vioista taas esiintyy melko sattumanvaraisesti, esimerkiksi korot tai haaraisuus. Näistä vioista on lähinnä mahdollista ennustaa esiintymisen todennäköisyyttä.

Tukkiosa koostuu edelleen useamman laatuiseista tukista. Koska erilaatuisten tukkiosien arvo raaka-aineena on hyvin erilainen, myös eri laatuluokkien osuudet tulisi pystyä ennustamaan. Eri laatuluokkien tukkiosuus korreloi metsikkötunnusten kanssa eri tavoin. Vaikka keskimääräinen tukkiosuus vaihtelee kasvupaikoittain verraten vähän, voi kasvupaikan merkitys parhaiseen tukkilaatuun olla merkittävä (kuva 1).



Kuva 1. I-luokan tukin osuus tukkipuun mitat täyttävissä rungoissa veroluokittain

Puuston laadun ennustamista vaikeuttaa myös se, että laatuvaatimukset vaihtelevat. Parasta olisi pystyä ennustamaan kunkin oksan (tai vian) läpimitta, laatu sekä korkeus, ja apteerata

runko näiden tietojen perusteella kulloistenkin laatuvaatimusten perusteella. Jos taas laaditaan malli, jossa selitettävänä muuttujana on esimerkiksi tukkiosan tilavuusosuus, sekä kerätty aineisto että laadittu malli voivat vanhentua käyttökelvottomiksi kun laatuvaatimukset muuttuvat. Kerätty aineisto voi osoittautua hyödyttömäksi laatuvaatimusten muuttuessa, ellei mitattuja koepuita käytössä olevien tietojen perusteella voida apteerata muuttuneiden laatuvaatimusten mukaisesti. Tämän vuoksi tulisivin puutavaralajijakaumaa varten joko kuvata malleilla runko mahdollisimman tarkasti, esimerkiksi ennustaa oksien läpimitat ja korkeudet, tai kerätä aineisto siten, että mallia voidaan päivittää aina laatuvaatimusten muuttuessa. Ennustamisen hankaluuden takia kannattaakin käyttää hyväksi kaikki tieto, mitä puuston laadusta on olemassa.

Valtakunnalliset aineistot ennakkoinformaationa leimikon laadun ennustamisessa

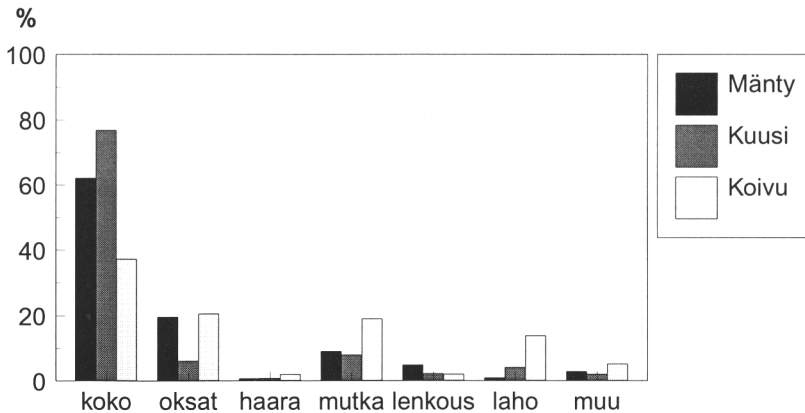
Pystymittausta käytettiin vielä joitakin vuosia sitten runsaasti leimikoiden mittauksessa. Pystymittauksen käyttö on kuitenkin viime vuosina romahtanut. Tämä johtuu osaltaan siitä, ettei puuston laatua pystymittauksessa pystytä kunnolla ottamaan huomioon. Pystymittauksessa koepuut jaetaan puutavaralajeihin pölkkytysalgoritmeilla. Tukkien mittavaatimukset otetaan huomioon tarkasti, mutta laadun aiheuttamat vähennykset on otettu huomioon keskimääräisillä tukkivähennyksillä, jotka riippuvat pelkästään puun koosta. (PMP-ohje 1987). Keskimääräisillä vähennyksillä saadaan tukkiosuus keskimäärin oikein, mutta yksittäisillä leimikoilla tulokset voivat olla reilusti pielessä. Samalla tavalla puutavaralajit lasketaan myös metsälaskelma MELA:ssa.

Leimikoiden pystymittauksessa sovelletussa PMP-systeemissä käytetään leimikon puuston tilavuuden laskennassa hyväksi leimikolta mitatun aineiston lisäksi valtakunnallisesta aineistosta laadittuja tilavuusmalleja. Tätä ennakkoinformaatiota hyödynnetään PMP-systeemissä varsin edistyksellisellä tavalla. (Pekkonen 1983). Onkin vahinko, ellei menetelmiä pystytä kehittämään siten, että myös laadun ennustaminen onnistuu.

Kannuksen tutkimusasemalla ryhdytään kuluvan talven aikana kehittämään menetelmiä, joilla valtakunnallisten aineistojen laatumittauksia voitaisiin hyödyntää metsiköitten puutavaralajijakauman ja arvon ennustamisessa. Tavoitteena on, että valtakunnallisista aineistoista saataisiin ennakkotietoa esimerkiksi erilaisten vikojen esiintymistodennäköisyyksistä erilaisissa metsiköissä ja myös näiden vikojen korrelaatioista yksittäisten metsiköiden sisällä. Tavoitteena on systeemi, jossa valtakunnallisista aineistoista saadaan tukkivähennyksistä ennakkotietoa, jota voidaan edelleen korjata metsiköstä tehdyillä mittauksilla.

Tukkipuuston laatu VMI:n koealoilla

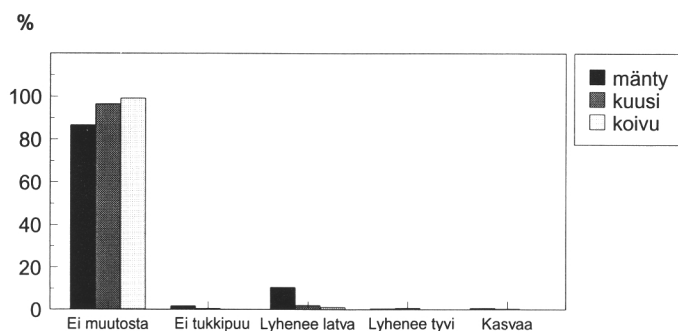
Valtakunnan metsien inventoinnin mukaan järeiden puiden laatu on ongelmana pääasiassa männyllä ja koivulla, kuusien laatu on parempi. Yleisin syy, joka aiheuttaa männyn tukkiosan päättymisen tai laadun heikkenemisen on oksikkuus. Muita tärkeitä syitä ovat mutkat ja lenkous. Kuusella yleisin syy on mutkaisuus, koivulla tukkiosaa rajoittavat sekä oksikkuus, mutkat että lahoisuus, jotka kaikki ovat osapuilleen yhtä yleisiä. (kuva 2).



Kuva 2. Tukkiuosuutta tai sen laatua rajoittavat syyt puulajeittain.

Tukkipuiden laadussa on selviä alueittaisia eroja. Esimerkiksi Vaasan ja Helsingin lautakunnissa, joissa suuri osa pinta-alasta on rannikkoa, oksikkuus rajoittaa tukkiuosuutta selvästi useammin kuin muissa lautakunnissa. Sen sijaan haaraisuus ja lahoviat, joiden esiintyminen on sattumanvaraista, ovat osapuilleen yhtä yleisiä kaikissa lautakunnissa.

Uusien laatuvaatimusten mukainen tukkiuosuus on sama kuin aiemmilla laatuvaatimuksilla noin 86%:lla järeistä mäntyrungoista ja noin 96%:lla järeistä kuusi- ja 99 %:lla koivurungoista. Tukkiuosuus oli vähentynyt uusien laatuvaatimusten myötä noin 13%:lla järeistä mäntyrungoista ja 3%:lla kuusirungoista (kuva 3). Männyillä keskimääräinen tukkiosuuden vähennys oli 4.5 % vanhojen laatuvaatimusten tasoon nähden.



Kuva 3. Uusien laatuvaatimusten aiheuttamat muutokset tukkiosan apteerauksessa puulajeittain.

Kirjallisuutta

Korhonen, K.T. & Maltamo, M. 1990. Määntyn maanpäällisten osien kuivamassat Etelä-Suomessa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 371. 29 s. + liitteet.

Pekkonen, T. 1983. Leimikon puuston tilavuuden arvioiti regressioennustinta käyttäen. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 86. 63 s.

PMP-ohje. 1987 + päivitetty sivut. PMP-hoitokunnan laatima ja ylläpitämä pystymittauksen ohjekirja.

Tapion Taskukirja. 1991. Metsäkeskus Tapion julkaisuja. 21. painos. 489 s.

Tomppo, E. 1995. Finnish National Forest Inventory. Paperi ja Puu 6-7, s. 374-378.

Valtakunnan Metsien 8. Inventoinnin kenttätöön ohjeet. 1991. Keski-Suomen, Etelä-Pohjanmaan ja Pohjanmaan versio.

Valtakunnan Metsien 8. Inventoinnin kenttätöön ohjeet. 1993. Koillis-Suomen ja Lapin versio.

Jyrki Kangas

Metla, Kannuksen tutkimusasema

METSÄSUUNNITTELUN KEHITYSSUUNTIA

Johdanto

Suomen metsäpolitiikka on murroksessa. Suuri syy siihen on kansainvälisen ympäristöpolitiikan kuohunnalla. Metsien hoitoon ja käyttöön - ja siten metsäsuunnitteluun - on suuntautunut viime aikoina myös monenlaisia muita paineita. Yleinen ympäristötietoisuuden kasvu sekä kansalaisten ja kansalaisryhmien halu vaikuttaa entistä enemmän metsien hoitoon ja käyttöön ovat niistä keskeisimpiä, mutta myös esimerkiksi metsänomistajien monitavoitteisuus asettaa omat haasteensa metsäsuunnittelulle (Kangas & Niemeläinen 1995).

Metsäsuunnittelu on keskeinen metsäneuvonnan ja -ohjauksen väline. Samalla kun metsänomistajia valistetaan ja opastetaan metsäsuunnittelussa, voidaan käytännön metsätaloutta myös valvoa: suunnittelu on perinteisesti ollut myös kontrollin väline. Esimerkiksi uudistamishakkuu, jota ei ole ehdotettu hyväksytyssä metsäsuunnitelmassa, pitää erikseen hyväksyttää metsälautakunnalla.

Minkä tahansa tuotteen pitää palvella sen tilaajaa ja maksajaa. Metsänomistajat eivät ole viime vuosikymmeninä joutuneet maksamaan suunnitelmista edes omakustannushintaa. Suunnitelmien hinta metsänomistajille on kuitenkin noussut. Sitä mukaa kuin yhteiskunnan panostus yksityismetsien suunnitteluun vähenee ja suunnitelmien hinta metsänomistajille vastaavasti nousee, vaatimukset suunnittelun asiakaslähtöisyydestä kasvavat.

Julkisyhteisöjen omistamien metsien perimmäisinä omistajina voidaan tavallaan pitää yhteisön jäseniä, esimerkiksi valtion metsien osalta kaikkia Suomen kansalaisia. Kansalaiset ja kansalaisryhmät vaativatkin entistä painokkaammin mahdollisuutta osallistua julkisyhteisöjen omistamien metsien suunnitteluun ja päätöksentekoon. On ilmeistä, että osallistava suunnittelu saa jalansijan etenkin valtion ja kuntien metsissä.

Monitavoitteisuus ja asiakaslähtöisyys

Maa- ja metsätalousministeriön sekä ympäristöministeriön metsien hoitoa ja käyttöä koskevat linjaukset painottavat metsien monimuotoisuuden vaalimista myös talousmetsissä (Metsätalous ja ympäristö 1994, Suomen metsäluonnon... 1994). Sitä edellyttävät myös Suomen kansainväliset sitoumukset. Monimuotoisuus metsätalouden tavoitteena merkitsee metsien monita-

voitteisuutta. Onhan useimmissa suojelualueiden ulkopuolisissa metsissä tavoitteena myös tuottaa puuta ja saada hakkuutuloja. Myös metsien kestävä käytön vaatimus tarkoittaa monitavoitteista metsätaloutta: kestävä kehitys koostuu paitsi ekologisesta myös taloudellisesta ja sosiaalisesta kestävydestä.

Kannuksen tutkimusaseman tutkimusten mukaan kansalaiset näkevät monimuotoisuuden ja puuntuotannon lisäksi muunmuassa metsämaiseman kauneuden, metsien elinvoimaisuuden ja terveyden sekä metsien virkistyskäytön tärkeiksi metsien hoidon ja käytön päätöspäätösteiksi. Metsänomistajien omille metsilleen asettamat tavoitteet ovat yllättävän samansuuntaiset kansalaismielipiteen kanssa. (Kangas & Niemeläinen 1995).

Tämän päivän metsätalous on monitavoitteista niin yhteiskunnan asettamien vaatimusten, kansalaismielipiteen kuin metsänomistajienkin näkemysten valossa. Jotta metsäsuunnittelu tuottaisi hyödyllisiä suunnitelmia, siinä on pystyttävä ottamaan huomioon mitä moninaisimpia näkökohtia. Puuntuotannon suunnittelu ei enää yksin riitä. Monitavoitteinen metsäsuunnittelu mahdollistaa myös asiakaslähtöisen suunnittelun. Yhden käyttömuodon erillissuunnittelu ei sitä yleensä mahdollista, koska useimmat suunnittelutehtävät ovat monitavoitteisia.

Ministeriöiden kannanotot korostavat perustellusti myös metsäsuunnittelun monitavoitteisuutta. Maa- ja metsätalousministeriön metsätalouden ympäristöohjelmatyöryhmän mietintö (Metsätalous ja ympäristö 1994) edellyttää jo tänä vuonna siirryttävän monitavoitteiseen metsäsuunnitteluun kaikissa Suomen metsissä omistajaryhmästä riippumatta.

Metsänomistajat haluavat nykyään entistä enemmän heidän omien tavoitteidensa ja mielipiteidensä ehdoilla laadittuja metsäsuunnitelmia (Kangas 1992, Pesonen ym. 1994). Metsäsuunnitelmassa esitettävät toimenpidesuosituksukset ovat metsänomistajan kannalta turhia, jos hän ei koe niiden toteuttamisen olevan järkevää. Pelkkä toimenpiteiden yhteiskunnallisen tarkoituksenmukaisuuden vakuuttelu ei useinkaan johda suunnitelman toteuttamiseen. Mitä suuremman osan suunnitelman kustannuksista maksaa sen tilaaja, sitä perustellumpaa on vaatia suunnitelman suositusten palvelevan tilaajan omia tavoitteita. Jos yhteiskunta asettaa suunnitelmien sisällölle - lain edellyttämien vähimmäisvaatimusten lisäksi - ehtoja, pitää sen myös vastata osasta kustannuksia. Suunnitelmasta tulisi aina ilmetä, mikä ehto tai edellytys on pakollinen ja mikä vapaaehtoinen.

Asiakaslähtöisyyden omaksumista yksityismetsien suunnittelun ohjenuoraksi helpottaa se, että metsänomistajien metsänäkemykset eivät keskimäärin ole ristiriidassa metsäpolitiikan nykyisten virtausten kanssa (Kangas & Niemeläinen 1995).

Tutkimus on kyennyt ennakoimaan sekä asiakaslähtöisyyden että monitavoitteisuuden vaatimukset, ehkä jopa ollut tiennäyttäjänä niissä. Laskennallisia menetelmiä molempien näkökohtien sisällyttämiseksi metsäsuunnitteluun on kehitetty (ks. Niemeläinen ym. 1994) ja niiden pohjalta käytännön tehtäviin viritettyjä sovellutuksia on testattu (Kangas ym. 1992, Karvinen 1995).

Osallistava suunnittelu

Julkisyhteisöjen omistamien metsien osallistavassa suunnittelussa kansalaisille, kunnan asukkaalle tms. annetaan mahdollisuus ilmaista tai heitä pyydetään ilmaisemaan näkemyksensä suunniteltavan alueen hoidon ja käytön tavoitteista. Vilpittömin mielin toteutetussa osallistavassa suunnittelussa nämä näkemykset myös pyritään ottamaan huomioon suunnitelman laadinnassa ja myöhemmin sen pohjalta tehtävissä päätöksissä. Keskeistä osallistavassa suunnittelussa on pyrkimys konfliktien hallintaan ja eri osapuolia mahdollisimman hyvin tyydyttävän suunnitelman laatimiseen. Osallistuminen on myös olennainen osa ympäristövaikutusten arviointia, mitä edellytetään myös suurilta metsähankkeilta. Tosin asiakaslähtöistä yksityismetsienkin suunnittelua voidaan pitää osallistavana suunnitteluna, joskin tällöin pääosallistuja ja päätöksentekijä on metsänomistaja.

Joustavuus ja ymmärrettävyys ovat tärkeitä suunnittelumenetelmien ominaisuuksia sekä osallistavassa että muussa asiakaslähtöisessä suunnittelussa. Tavoitteiden ja metsänäkemyksen laaja kirjo (ks. Kangas & Niemeläinen 1995) edellyttää erityisesti tavoitteiden ja mielipiteiden utelun sekä niiden tarkastelun ja huomioon ottamisen monipuolisuutta. Osallistavassa suunnittelussa on tärkeää kyetä osoittamaan, mitä eri osallistujien näkemysten huomioon ottaminen merkitsisi metsien hoidossa ja käytössä. Suunnitelmaa, joka on paras mahdollinen kaikkien osallistujien mielestä, ei yleensä pystytä laatimaan. Siksi suunnitelma on useimmiten kompromissi, jonka määrittämisessä eri osallistujilla on saattanut olla erisuuret painoarvot. Hyvä suunnittelumenetelmä mahdollistaa vaihtoehtoisten suunnitelmien laadinnan siten, että tavoitteiden ja osallistujien painoarvoja voidaan vaihdella. Vastaavasti on usein tarpeellista osoittaa, miten eri tavoitteita ja osallistujia on painotettu lopullisessa suunnitelmassa.

Osallistavaa suunnittelua on jo kokeiltu eräissä Metsähallituksen suunnitteluprosesseissa (Kangas & Matero 1993, Hiltunen 1995). Osallistamisen toteutukseen ei vielä ole vakiintunutta käytäntöä. Aiheen tutkimuksissa on toistaiseksi keskitytty lähinnä laskennallisten suunnittelutekniikoiden kehittämiseen. Tutkimusta, selvitystyötä ja kokeilua sekä valistusta kaivataan vielä paljon ennen kuin osallistaminen kyetään ottamaan metsäsuunnittelua ohjaavaksi lähestymistavaksi. Tutkimustarvetta on osallistavan suunnittelun niin inhimillisessä kuin laskentateknisessäkin osassa ja erityisesti näiden integroinnissa toimivaksi kokonaisuudeksi.

Ekologisen tietämyksen tarve

Ympäristötietoisuuden kasvaessa ja monitavoitteisen metsäsuunnittelun vallatessa alaa lisääntyy tarve ekologisen informaation ja asiantuntemuksen sisällyttämiseksi metsäsuunnitteluun. Käytännön metsäsuunnittelijoiden ekologinen osaaminen on väistämättä rajallista. Toisaalta ekologi suunnittelijana ei tyydyttäisi puuntuotannon suunnittelun tarpeita. Monen suunnittelijan värvääminen suunnitteluprosessiin taas nostaisi normaalien talousmetsien suunnittelukustannukset aivan liian korkeiksi. Ekologisten näkökohtien sisällyttäminen suunnitteluun ohjeistojen ja normien kautta on puolestaan kankea tapa: ne eivät mukaudu suunnittelutilanteiden laajaan kirjoon. Kuitenkin lain, asetusten yms. sanelemat täsmälliset vaatimukset voidaan ottaa huomioon ehdottomin säännöin.

Joka tapauksessa tarve sisällyttää ekologista tietämystä metsäsuunnitteluun on akuutti. Eräs keino on muokata ekologinen tieto laskennallisiksi kaavoiksi, matemaattisiksi malleiksi. Tällaisen mallin tulisi pohjautua tutkimuksin todennettuun tietoon. Ongelmana matemaattisessa mallituksessa on käyttökelpoisen ekologisen perustiedon vähäisyys. Toisaalta asiantuntemusta ja käytännön kokemusta esimerkiksi eri riistalajien elinympäristövaatimuksista on kertynyt ajan mittaan runsaasti. Viime aikoina onkin kehitelty tapoja mallittaa ekologista asiantuntemusta (Kangas & Karsikko 1993). Asiantuntemukseen perustuvia malleja käytetään vain siihen asti kunnes objektiiviseen informaatioon nojaavat mallit ovat valmiit.

Matemaattiset mallitkin ovat enemmän tai vähemmän epävarmoja. Niiden luotettavuus mallinlaadinta-aineiston ulkopuolella on aina kyseenalainen. Asiantuntemuksen hyödyntämisen ongelmana voi lisäksi olla asiantuntijoiden toisistaan poikkeavat näkemykset. Matemaattisten mallien suurin etu on, että ne mahdollistavat tietokoneiden ja numeeristen suunnittelumenetelmien käytön. Tietokoneet ja modernit menetelmät puolestaan mahdollistavat monipuolisen ja valaisevan suunnittelutehtävän analyysin, esittämisen ja ratkaisemisen - tarvittaessa rutiiniluonteisesti ja halvalla. Numeerisen lähestymistavan puute on, että bitit ja numerot eivät haista, maista, näe, kuule, tunne eivätkä koe.

Paras tulos ekologisen perustan vankistamiseksi metsäsuunnittelussa saadaan edellä mainittujen keinojen yhteiskäytöllä. Ohjeistoin voidaan määritellä päälinjat ja ehdottomat vaatimukset sekä matemaattisin mallein tuottaa suunnittelua tukevia analyysejä. Suunnittelijan panos taas on välttämätön mallien tulosten ja ohjeistojen sovittamiseksi suunniteltavan alueen yksityiskohtiin ja erityisominaisuuksiin sekä suunnitteluprosessin ja suunnitelman tulkinnassa osallistujille ja päätöksentekijöille.

Lopuksi

Metsäsuunnittelun valmiudet vastata ajan haasteisiin kohenevat jatkuvasti ennen kaikkea suunnittelumenetelmien ja tietojenkäsittelytekniikan kehittymisen ansiosta. Metsäntutkimus on pysynyt paljolti ennakoimaan suunnittelutarpeiden muutoksen. Tutkimuksen tulokset ja sen tuottamat menetelmät eivät kuitenkaan yksin ratkaise metsäsuunnittelun ongelmia. Pullonkaula saataakin löytyä käytännön suunnittelun henkiseltä puolelta: suunnittelijoiden valmiudet sekä suunnitelmien tilaajien ja käyttäjien herääminen uusiin ideoihin ja mahdollisuuksiin on helposti jälkijättöistä menetelmien ja tekniikoiden ripeään kehitykseen verrattuna.

Tosin viime aikoina käytännön metsätalous on kiitettävän nopeasti omaksunut uudet ajatusmallit ja lähestymistavat sekä osallistunut menetelmien testaukseen (esim. Hiltunen 1995, Karvinen 1995). Suunnittelutarpeiden muutos sekä tietotekniikan ja suunnittelumenetelmien kehitys on vain ollut varsin nopeaa. Toisaalta on nähtävä, että tutkimusten tuloksina esitetyt tekniikat ovat enemmän prototyyppisiä kuin sellaisenaan käytännön tehtäviin soveltuvia menetelmiä. Ne vaativat kunkin organisaation ja sen suunnittelutehtävien mukaisen räätälöinnin ennen käyttöönottoa.

Uudet lähestymistavat metsäsuunnitteluun tarkoittavat muutoksia myös tiedonkeruuseen. Kuolleiden ja lahoavan puuaineksen määrä ja laatu ovat tulleet tärkeiksi metsää kuvaaviksi tunnuksiksi ekologisten näkökohtien painotuksen myötä. Luonnon monimuotoisuuden ja muiden ekologisten seikkojen huomioon ottaminen edellyttää lisäksi metsikkötason arvioinneista aluetason tarkasteluun siirtymistä (Raivio 1995). Aluekohtaiseen tarkasteluun perustuu pitkälti myös metsämaiseman kauneuden arviointi, mikä sekin nähdään nykyään tärkeänä osana metsäsuunnittelua. Toisaalta tarvitaan entistä pienipiirteisempää metsän kuvausta, jotta eri lajien elinmahdollisuudet voidaan arvioida. Samalla myös puuntuotannon ennusteet ja taloudelliset laskelmat täsmentyvät. Osallistavassa suunnittelussa tiedonkeruun ominaispiirre on osallistujien lukuisuudesta ja hajanaisuudesta johtuva tavoitteiden ja mielipiteiden tiedustelun työläisyys.

Sekä puuntuotannon tulojen, luonnon monimuotoisuuden, lajien elinympäristöjen että maiseman kauneuden tarkasteluissa on tärkeää kyetä hallitsemaan paikkasidonnaista tietoa. Ei esimerkiksi ole sen enempää maisemallisesti kuin monimuotoisuudenkaan kannalta yhdentekevää, miten vanhat luonnontilaiset metsiköt tai avohakkuualat sijaitsevat toisiinsa ja maastonmuotoihin nähden. Leimikoiden sijainnilla on usein vaikutusta myös puunkorjuun kustannuksiin ja kantohintoihin.

Metsäsuunnittelun syventäminen ja monipuolistaminen aiheuttavat väistämättä lisäkustannuksia. Suunnittelunkaan kehittämisen lisäkustannus ei saa ylittää siitä koituvaa hyödyn lisäystä. Toisaalta edistykselliset tietotekniikan hyväksikäytössä ja laskennallisissa menetelmissä tietävät entistä parempia suunnitelmia entisillä kustannuksilla tai vastaavasti samantasoisia suunnitelmia entistä

halvemmallalla.

Metsäntutkimuslaitoksen Kannuksen tutkimusasemalla aloitettiin metsäsuunnittelun tutkimukset tämän vuoden alussa. Näissä tutkimuksissa paneudutaan juuri edellä esitelyihin ongelmiin. Puuntuotannon ja metsän muiden käyttöjen yhteissuunnittelu (Kangas 1995a), metsämaiseman arviointi osana suunnittelulaskelmia (Store 1995) ja osallistavan suunnittelun menetelmät (Kangas 1994) ovat tutkimusten kohteena. Samoin pureudutaan yksityismetsien asiakaslähtöiseen suunnitteluun (Kangas 1995b) ja talousmetsien luonnonsuojelun erityiskysymyksiin (Raivio 1995).

Hyvin suunniteltu on puoliksi tehty, sanotaan. On kuitenkin muistettava, että hyväkään suunnittelu ei sinänsä ratkaise metsien hoidon ja käytön ristiriitoja ja ongelmia. Suunnittelun tehtävä on tuottaa tukea hyvien päätösten mahdollistamiseksi. Suunnittelun laskennallisia apuvälineitä tarvitaan vain silloin, kun suunnittelija ei ilman niitä hallitse päätöstilanteen kokonaisuutta tai päätöksentekijällä ei muutoin ole riittävää pohjaa hyvien valintojen tekemiseen. Monitavoitteista, osallistavaa metsäsuunnittelua vaikeampaa suunnittelutehtävää ei hevin löydy. Niinpä teknisten apuneuvojen tarve on metsäsuunnittelussa usein ilmeinen. Lopullinen valinta on kuitenkin aina inhimillisen aivokapasiteetin tehtävä.

Metsäsuunnittelussa joudutaan väistämättä tyytymään melko karkean tason tarkasteluihin. Suunnitelmissa annetut suositukset joudutaan aina yksityiskohtien osalta sovittamaan metsiköittäisiin edellytyksiin. Onkin nähtävä, että suunnittelu voi olla tiedettä mutta käytännön toteutuksessa on oltava aimo annos taidetta.

Viitteet

Hiltunen, V. 1995. Maisematason metsäsuunnittelu Metsähallituksessa. Teoksessa Korhonen, K. & Mäkkeli, P. (toim.). Metsän eri käyttömuodot yhdistävä suunnittelu. Metsäntutkimuspäivä Joensuussa 1995. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 568:36-40.

Kangas, J. 1992. Metsikön uudistamisketjun valinta - monitavoitteiseen hyötyteoriaan perustuva päätösanalyysimalli. Joensuun yliopiston luonnontieteellisiä julkaisuja 24:1-230.

Kangas, J. 1994. An approach to public participation in strategic forest management planning. *Forest Ecology and Management* 70:75-88.

Kangas, J. 1995a. Biodiversiteetin integrointi metsäsuunnitteluun. Teoksessa Haila, Y. & Hiedanpää, J. (toim.). Biodiversiteetin arvo päätöksenteon ongelmana. Painossa.

Kangas, J. 1995b. Päätösanalyysimalli metsikön uudistamisvaihtoehtojen vertailuun. Teoksessa Puttonen, P. (toim.) Niin metsänuudistamistutkimus vastaa. Metsänuudistamistutkimuksen tutkimuskokonaisuuden loppuraportti. Suomen Akatemian julkaisuja 3/95. s. 175-190.

Kangas, J. & Karsikko, J. 1993. Metsäkanalintujen elinympäristövaatimukset, metsänhoito ja metsäsuunnittelu. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 467. 60 s.

- Kangas, J. & Matero, J. 1993. Ruunaan luonnonsuojelualan jako aarni- ja puistoalueisiin: kokemuksia analyttisen hierarkiaproessin käytöstä osallistuvassa metsäsuunnittelussa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 449. 44 s.
- Kangas, J., Matero, J. & Pukkala, T. 1992. Analyttisen hierarkiaproessin käyttö metsien monikäytön suunnitteluun - tapaustutkimus. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 412. 48 s.
- Kangas, J. & Niemeläinen, P. 1995. Kansalaismielipide Suomen metsistä sekä niiden hoidosta ja käytöstä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 561. 24 s.
- Karvinen, A. 1995. Vaivio-hanke: monitavoitteisen metsäsuunnittelun kokeilu. Teoksessa Korhonen, K. & Mäkkeli, P. (toim.). Metsän eri käyttömuodot yhdistävä suunnittelu. Metsäntutkimuspäivä Joensuussa 1995. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 568:44-46.
- Metsätalous ja ympäristö. 1994. Metsätalouden ympäristöohjelmatyöryhmän mietintö 1994:3. Maa- ja metsätalousministeriö. 100 s.
- Niemeläinen, P., Kangas, J. & Päivinen, R. 1994 (toim.). Integroidun metsäsuunnittelun menetelmiä ja välineitä. Joensuun yliopisto. Metsätieteellinen tiedekunta. Tiedonantoja 16. 102 s.
- Pesonen, M., Kettunen, A., Heikkinen, V.-P. & Räsänen, P. 1994. Yksityismetsien puuntuotantostrategiat ja potentiaaliset hakkuumahdollisuudet Pohjois-Savossa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 515. 50 s.
- Raivio, S. (toim.) 1995. Talousmetsien luonnonsuojelu -yhteistutkimuksen väliraportti. Metsähallituksen luonnonsuojelujulkaisuja. Sarja A, No 43. 147 s.
- Store, R. 1995. Maiseman huomioonottavan metsikkökuviointin tuottaminen paikkatietojärjestelmällä. Käsikirjoitus. 22 s.
- Suomen metsäluonnon monimuotoisuuden turvaaminen. 1994. Ympäristöministeriö, alueiden käytön osasto. Helsinki. 83 s.

Ron Store

Metla, Kannuksen tutkimusasema

PAIKKATIETOJÄRJESTELMÄN KÄYTTÖ MAISEMANHUOMIOONOTTAVASSA METSÄSUUNNITTELUSSA

Metsään liittyvien luonnonvarojen käytön suunnittelusta on muodostunut monimutkainen tehtävä. Metsänomistajien metsälöilleen asettamat tavoitteet vaihtelevat suuresti metsänomistajittain ja myös kansalaisryhmien usein selkiytymättömät tavoitteet olisi kyettävä sisällyttämään suunnitteluprosessiin erityisesti valtion omistamissa metsissä. Suunnittelun pohjaksi tarvitaan paitsi uusia kehittyneitä suunnittelumenetelmiä myös entistä enemmän tietoa itse suunnittelun kohteesta sekä kohteen käytölle asetetuista tavoitteista. Lisäksi tämä tietomäärä olisi kyettävä hallitsemaan ja analysoimaan, jotta siitä pystyttäisiin jalostamaan informaatiota päätöksenteon tueksi.

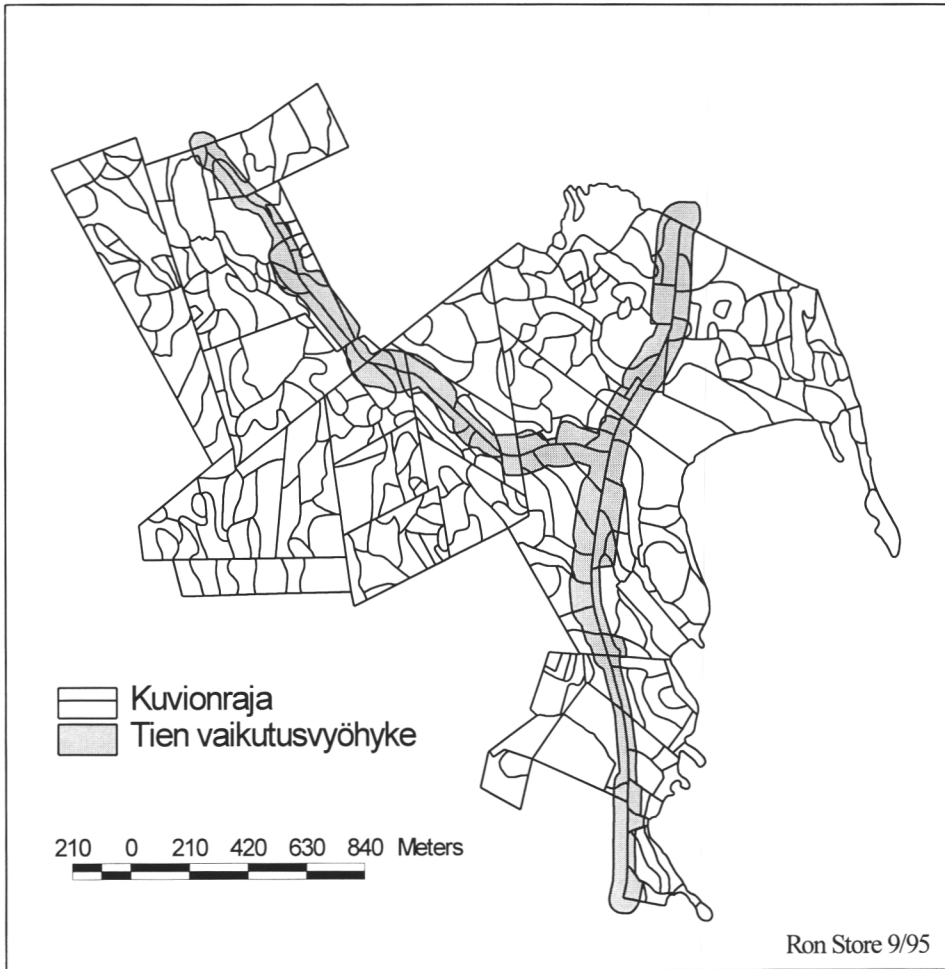
Suunnitteluksysteemissä käytettävän tietomäärän ja analyysien lisääntyminen kasvattaa yleensä suunnittelun kustannuksia. Kustannusten nousua voidaan hillitä hyödyntämällä entistä tehokkaammin tietokoneiden laskentatehoa ja uusia kehittyneitä tietokoneohjelmistoja. Tällaisia ohjelmistoja ovat paikkatietojärjestelmät ja kehittyneet metsäsuunnitteluohjelmistot, joihin on sisällytetty joitakin paikkatietojärjestelmän keskeisiä ominaisuuksia sekä mahdollisuus asettaa suunnitelmalle myös muita kuin puuntuotannollisia tavoitteita. Tällaisten ohjelmistojen käyttö mahdollistaa kuvailevien suunnittelumenetelmien ja tietokonepohjaisten menetelmien yhdistämisen siten, että aikaa vieviä työvaiheita voidaan siirtää tietokoneen hoidettavaksi.

Paikkatietojärjestelmät (Geographical Information Systems, GIS) ovat tietokonepohjaisia järjestelmiä, joita käytetään paikkaan sidotun tiedon hankintaan, varastointiin ja analysointiin sekä tulosten esittämiseen (Aronoff 1989). Paikkatieto kuvaa reaali maailman kohdetta sijainti- ja ominaisuustiedon avulla. Sijaintitieto ilmoittaa kohteen sijainnin annetussa karttakoordinaatistossa ja ominaisuustieto sisältää kohteen ominaisuudet tietynä ajanhetkenä. Suuri osuus luonnonvaroihin liittyvästä tiedosta on paikkaansidottua karttatietoa. Tietojärjestelmien kehittymisen myötä tapahtunut siirtyminen paperikartoista numeerisiin karttoihin, on ollut ehdoton edellytys suurten tietoaaineistojen joustavalle ylläpidolle, käsittelylle ja analysoinnille.

Maiseman huomioonottavassa metsäsuunnittelussa pyritään numeerisen suunnittelun avulla yhdistämään mm. esteettiset ja taloudelliset tavoitteet. Tällöin tärkeimmät tekijät metsäsuunnitelmia tehtäessä ovat maisemanhoidollisesti tarkoituksenmukaisen metsikkökuvion muodostaminen sekä metsänkäsittelytoimenpiteiden valinta ja kohdentaminen

kuvioille. Maisemanhoidollisesti onnistuneessa metsikkökuvioinnissa käsittelykuviot rajamaisemanmuotoja myötäileviksi ja erityisesti keskeisissä maisemakohteissa kuvioinnin tulisi olla riittävän pienipiirteistä. Tärkeiden maisemakohteiden selvittämistä sekä kuvioinnin tarkentamista voidaan automatisoida paikkatietojärjestelmien tarjoamien työkalujen avulla.

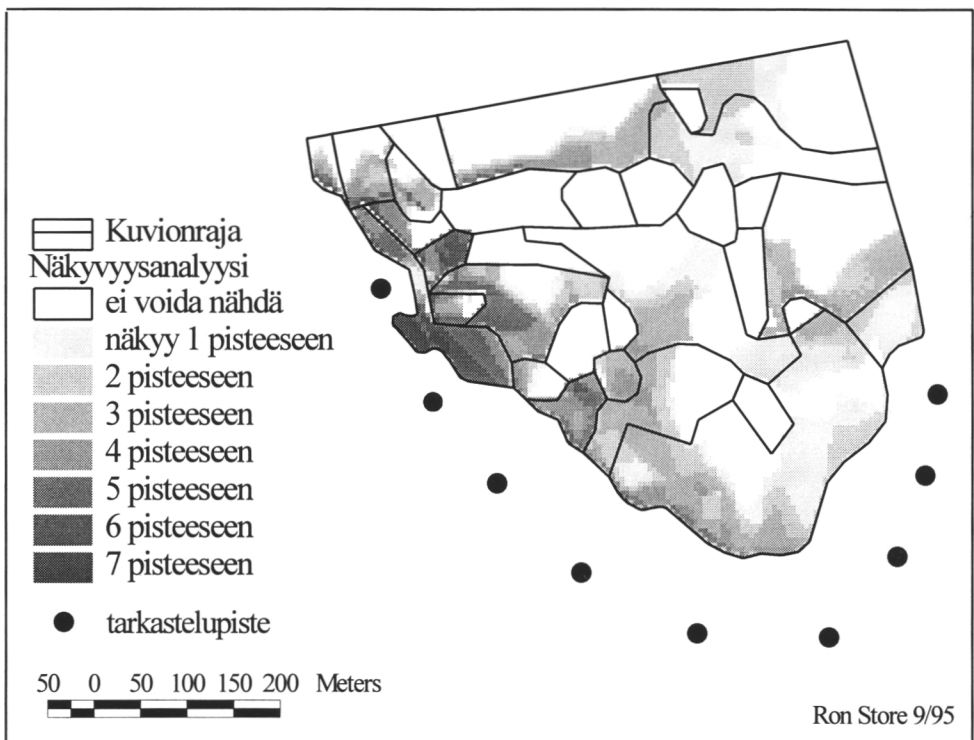
Vaikutusalueen muodostaminen on tekniikka, jonka avulla muodostetaan uusi alue ympäröimällä halutut pisteet, viivat tai alueet tietyltä etäisyydeltä. Tekemällä vaikutusvyöhyke esimerkiksi tien ympärille, voidaan automaattisesti etsiä isoista aineistoista ne kuviot, joiden käsittelyssä tulisi huomioida tienvarsimetsien käsittelylle annetut erityisohjeet. Vyöhyke voi olla eri levyinen erityyppisillä teillä tai vaikutusalueen leveys voi vaihdella tienvarsimetsän puuston perusteella. (Store 1995) (kuva 1).



Kuva 1. Koalueen kuviokartta ja tien ympärille muodostettu vaihtuvalevyinen vaikutusvyöhyke.

Alueleikkaus on funktio, jossa luodaan uusi karttataso asettamalla kaksi tai useampia numeerisia karttatasoja päällekkäin (Congalton ja Green 1992). Rasterimuotoisia karttatasoja verrataan tarkastelemalla vastinpikseleiden ominaisuuksia, kun taas vektoriaineistolla alueleikkaus johtaa uusien alueiden muodostumiseen. Esimerkki vektorimuotoisella tiedolla toteutetusta alueleikkauksesta on tien ympärille muodostetun vaikutusvyöhykkeen ja alueen metsikkökuvioinnin leikkaus, jonka seurauksena tien vaikutusvyöhykkeen raja jakaa jotkut kuviot kahteen osaan (kuva 1). Alueleikkauksessa kaikkiin vaikutusvyöhykkeen sisäpuolelle jääviin kuvioihin tallettuu tieto, että ne sijaitsevat tien vaikutusvyöhykkeen alueella. Näin ne ovat helposti tunnistettavissa maisemallisesti merkittäviksi kuvioiksi.

Näkyvyysanalyysissä määritetään mitkä alueet voi nähdä ja mitä alueita ei voi nähdä tietyistä taso- ja korkeuskoordinaateilla määritetystä pisteestä (Dangermond 1984). Näkyvyysanalyysissä käytetään numeerista maastomallia tarkastelualueen topografian määrittämiseen. Lisäksi voidaan käyttää erillistä karttatasoa, joka sisältää näkyvyyttä rajoittavia yksittäisiä elementtejä, kuten korkeita rakennuksia tai metsää. Maisemasuunnittelussa näkyvyysanalyysiä voidaan käyttää esimerkiksi tietyistä pisteestä avautuvan näkymän kartoitukseen tai haluttua reittiä seuraavan pisteketjun avulla tielle tai järvelle näkyvien kuvioiden tunnistamiseen (kuva 2). Maisemahäiriöalueiden näkyvyyden kartoituksessa näkyvyysanalyysiä on käytetty mm. tutkittaessa, mistä pisteistä avohakattu metsikkökuvio voidaan nähdä (Smart ja Mason 1990, Davidson ym. 1992).



Kuva 2. Koalueen kuviokartta ja yhdeksästä tarkastelupisteestä tehty näkyvyysanalyysi.

Paikkatietojärjestelmän avulla on myös mahdollista analysoida kohteen naapurustoa tai laskea pisteen tai alueen saavutettavuutta. Naapurustotietoja voidaan hyödyntää esimerkiksi laskemalla tietyn alueen toisistaan erottuvien kuvioden rajan pituus, jolla voidaan kuvata alueen maisemallista vaihtelua. Samoin voidaan selvittää virkistyspaineen alueellista vaihtelua käyttämällä hyväksi tietoa kulkureiteistä ja tavallisimmista pysähdyspaikoista. (Pukkala ym. 1995).

Paikkatietojärjestelmän ominaisuuksien hyödyntämistä maiseman huomioonottavassa metsäsuunnittelussa testattiin kehittämällä menetelmä, jossa paikkatietojärjestelmän avulla tarkennettiin perinteistä puuston ja kasvupaikan perusteella tehtyä kuviointia maisemallisesti keskeisillä paikoilla (Store 1995). Lisäksi uuden tarkennetun metsikkökuvioinnin kuviot ryhmiteltiin niiden maisemallista tärkeyttä kuvastaviin ryhmiin.

Menetelmän käytöstä saatavaa hyötyä arvioitiin kolmessa tapaustutkimuksessa, joissa käytettiin apuna MONSU-ohjelmistoa (Pukkala 1993), HERO-optimointia (Pukkala & Kangas 1993), AHP-menetelmää (Saaty 1980) ja raatia. Niissä verrattiin keskenään tarkennetulla kuvioinnilla toteutetun metsäsuunnitelman ja peruskuvioinnilla tehdyn metsäsuunnitelman tuottamia maisemia. Metsäsuunnitelmat tehtiin MONSU-ohjelmistolla siten, että jokaiselle kuviolle valmistettiin useita käsittelyohjelmia, joista valittiin heuristisella optimoinnilla mahdollisimman hyvä yhdistelmä. Tutkimuksessa kehitetystä menetelmästä oli hyötyä, jos suunnitelmat, joissa oli käytetty maisemakuviointia ja -painokertoimia, tuottivat kauniimman maiseman kuin vastaavat suunnitelmat alkuperäisellä kuvioinnilla. Suunnitelmien ehdottamien hakkuiden tuottamat nettotulot olivat sekä peruskuvioinnilla että maisemakuvioinnilla toteutetuissa suunnitelmissa yhtäsuuret.

Raati arvioi suunnitelmien tuottamia kauko- ja reittimaisemia tietokoneen piirtämien grafiikkakuvien avulla ja lähimaisemia numeeristen tunnusten avulla. Tutkimuksessa oli kuusi vertailtavaa metsäsuunnitelmaparia, joista kaikissa raati valitsi tarkennetulla kuvioinnilla tehdyn suunnitelman tuottaman maiseman peruskuvioinnilla toteutetun suunnitelman tuottamaa maisemaa kauniimmaksi.

Tutkimuksen tulokset osoittavat, että käyttämällä paikkatietojärjestelmää metsikkökuvioinnin tarkentamiseen sekä maisemallisesti merkittävien kuvioden tunnistamiseen, saadaan maisemallisesti parempi lopputulos nettotuloja pienentämättä. Menetelmän tuottaman hyödyn määrään vaikuttavat tilalle asetettu tulotavoite ja tilan maisemalliset ominaisuudet. Kehitetty menetelmä mahdollistaa automaattisen tavan tarkentaa metsikkökuviointi uudeksi kuvioinniksi, joka palvelee metsäsuunnittelua paremmin kuin alkuperäinen kuviointi.

Kirjallisuus

- Aronoff, S. 1989. Geographic information systems: A management perspective. WDL publications, Ottawa. 294 s.
- Congalton, R. & Green, K. 1992. The abcs of GIS: an introduction to geographic information systems. Journal of forestry 11:13-20.
- Dangermond, J. 1984. A classification of software components commonly used in geographic information systems. Environmental systems research institute. California. 57 s.
- Davison, D., Selman, P. & Watson, A. 1992. The evaluation of a GIS for rural environmental planning. EGIS proceedings. s. 135-144.
- Pukkala, T. 1993. Metsäsuunnitteluohjelma MONSU. Ohjelmiston toiminta ja käyttö. Moniste. 41 s.
- Pukkala, T. & Kangas, J. 1993. A heuristic optimization method for forest planning and decision making. Scand. J. For. Res. 8:560-570.
- Pukkala, T., Nuutinen, T. & Kangas, J. 1995. Integrating scenic and recreational amenities into numerical forest planning. Landscape and urban planning 32:185-195.
- Saaty, T. L. 1980. The analytic hierarchy process. Planning, priority setting, resource allocation. McGraw-Hill, New York. 283 s.
- Smart, S. & Mason, M. 1990. Assessing the visual impact of development plans. Teoksessa M. Heit & A. Shortrei (toim.) GIS applications in natural resources. GIS World, Colorado s. 295-303.
- Store, R. 1995. Maiseman huomioonottavan metsikkökuvioinnin tuottaminen paikkatietojärjestelmällä. Syventävien opintojen tutkielma. Joensuun yliopisto. 62 s.

Kannuksen tutkimusasemalla ilmestyneet Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja-sarjan julkaisut:

- N:o 98 Jyrki Hytönen 1983. Vaaka- ja pystyistutuksen vertailua pajunkasvatuksessa. Abstract: Comparison of horizontal and vertical planting of willow cuttings. 14 s.
- N:o 120 Metsäntutkimuspäivä Kannuksessa 15.9.1983. 40 s.
- N:o 132 Ari Ferm ja Jyrki Hytönen 1984. Säilytyksen vaikutus kosteusnäytteeseen puun kuivamassan määrittämisessä. Abstract: Effect of sample storage in determination of tree dry mass. 16 s.
- N:o 163 Ari Ferm ja Jyrki Hytönen 1984. Vesipajun vesojen puuteknisiä ominaisuuksia. Abstract: On the technical properties of Salix 'Aquatika' sprouts. 20 s.
- N:o 206 Metsäntutkimuspäivä Kannuksessa 28.11.1985. Forest Research Day at Kannus 28.11.1985. 99 s.
- N:o 245 Jyrki Hytönen 1987. Lannoituksen vaikutus koripajun ravinnetilaan ja tuotokseen kahdella suonpohja-alueella. Summary: Effect of fertilization on the nutrient status and dry mass production of Salix viminalis on two peat cut-away areas. 31 s.
- N:o 250 Metsäntutkimuspäivä Kokkolassa 13.3.1987. Metsäteknologian teemapäivä. 113 s.
- N:o 304 Ari Ferm (ed.) 1988. Proceedings of the IEA Task II meeting and workshop on cell culture and coppicing. In Oulu, Finland, August 24—29, 1987. 115 s.
- N:o 320 Ari Ferm, Jyrki Hytönen, Kimmo K. Kolari & Heikki Veijalainen 1988. Metsäpuiden kasvuhäiriöt turkistarhojen läheisyydessä. Sammandrag: Tillväxstörningar i skogs-träd i närheten av pålsfamer. Abstract: Growth disturbances of forest trees close to fur farms. 77 s.
- N:o 322 Ari Ferm & Maire Ala-Pönttiö (toim.) 1989. Metsäntutkimuspäivä Kannuksessa 1988. 96 s.
- N:o 329 Esa Heino 1989. Suomalainen pajukirjallisuus. Finnish bibliography on willow. 30 s.
- N:o 346 Juha Nurmi & Keijo Polet (ed.) 1990. Measurement and evaluation of wood fuel. Proceedings of the IEA/BE TASK VI Activity 5 Workshop in Jyväskylä, Finland. October 25-27, 1989. 64 s.
- N:o 348 Ari Ferm 1990. Coppicing, aboveground woody biomass production and nutritional aspects of birch with specific reference to Betula pubescens. 35 s.+osajulkaisut.
- N:o 374 Ari Ferm ja Esa Heino (toim.) 1991. Keski-Pohjanmaa — Nouseva metsämaakunta. Metsäntutkimuspäivä Ylivieskassa 14.6.1990. 43 s.
- N:o 391 Ari Ferm ja Keijo Polet (toim.) 1991. Peltojen metsitysmenetelmät. Tutkimushankkeen väliraportti. Developing methods for afforestation of fields. Interim report. 120 s.
- N:o 401 Risto Lauhanen 1992. PATU M 100-kaivuri metsäojituksessa. Abstract: PATU M 100 excavator in forest drainage. 23 s.
- N:o 409 Risto Lauhanen 1992. Kunnostusojituksen ongelmat ja tutkimustarpeet. Abstract: Ditch network maintenance, its problems and research needs. 45 s.
- N:o 457 Kristian Karlsson (red.) 1993. Skogsforskningsdag i Vörå 1992 — Metsäntutkimuspäivä Vöyrissä 1992. 47 s.
- N:o 458 Risto Lauhanen & Tero Takalo 1993. Yksitelainen LA-MA 10-kaivuri metsäojien perkauksessa. Abstract: LA-MA 10 single track backhoe in forest ditch cleaning. 20 s.
- N:o 463 Ari Ferm, Jyrki Hytönen, Katri Koski, Seppo Vihanta & Olavi Kohal. Peltojen metsitysmenetelmät. Kenttäkokeiden esittely ja metsitysten kehitys kolmen ensimmäisen vuoden aikana. 127 s.
- N:o 540 Jyrki Hytönen & Keijo Polet (toim.) 1994. Metsäntutkimuspäivä Kälviällä 1994. 74 s.
- N:o 544 Sauli Takalo, Tero Takalo & Risto Lauhanen 1995. Pontus-pientelamaasturi harvennuspuun metsäkuljetuksessa eräällä työmaalla. 16 s.
- N:o 545 Sauli Takalo 1995. Mäntyöljyn mahdollisuudet poltto- ja voiteluaineena. 17 s. + liitteet.
- N:o 560 Paula Jylhä 1995. Nuoren metsän ihmistyövaltaisen kunnostushakkuun kannattavuus Keski-Pohjanmaan ojitusalueilla. 40 s.
- N:o 566 Jyrki Kungas & Pasi Niemeläinen 1995. Kansalaismielipide Suomen metsistä sekä metsien hoidosta ja käytöstä. 24 s. + liite.

Kannus 1995
ISBN 951-40-1470-7
ISSN 0358-4283
KPPAINO, Kokkola 1995