



Mikko Ylimartimo



Pertti Harstela



Kari T. Korhonen



Matti Sirén

Mikko Ylimartimo, Pertti Harstela, Kari T. Korhonen ja
Matti Sirén

Ensiharvennuskohteiden korjuukelpoisuus ojitetuilla turvemaidella

Ylimartimo, M., Harstela, P., Korhonen, K.T. & Sirén, M. 2001. Ensiharvennuskohteiden korjuukelpoisuus ojitetuilla turvemaidella. *Metsätieteen aikakauskirja* 2/2001: 253–263.

Tutkimuksessa tarkastellaan valtakunnan metsien inventoinnissa (VMI) ehdotettujen ensiharvennuskohteiden korjuukelpoisuutta ojitetuilla turvemaidella ja tutkittiin mahdollisuuksia korjuukelpoisuuden parantamiseksi. Lisäksi tarkasteltiin eri tietolähteissä, VMI:ssa ja aluesuunnitelmissa (AS), olevia eroavaisuuksia ensiharvennuskohteiden ominaisuuksista. Aineistona oli Pohjois-Savon metsäkeskuksen alueelta 47 kpl VMI9:ssa mitattua metsikkökuviota, niiltä kerätty maastomittausaineisto sekä aluesuunnitelmatiedot.

Kohteiden korjuukelpoisuus osoittautui heikoksi. Koneellisessa korjuussa 6 % ja metsurikorjuussa 21 % kohteista alitti korjuukelpoisuusrajaksi asetetun kustannustason. Kun korjuukelpoisuusmittarina oli hakkuukertymä, korjuukelpoisten kohteiden osuus oli 38 %. Korjuukelvottomuuden syinä olivat lähinnä pieni rungon koko ja hakkuukertymä. Korjuukelpoisuuden parantamiseksi tutkitut vaihtoehdot eivät ratkaisevasti parantaneet korjuun edellytyksiä.

VMI:ssa ja aluesuunnitelmissa ehdotetut turvemaiden ensiharvennusten määrät ja hakkuukiireellisyyssarviot vastasivat hyvin toisiaan. Sen sijaan tilavuusarvioissa oli merkittäviä poikkeamia. VMI:n ensiharvennusalat kuvaavat metsänhoidollista tarvetta ja tämän tutkimuksen mukaan vain pieni osa VMI:n ensiharvennusehdotuksista on taloudellisesti korjattavissa. Toisaalta ensiharvennusten tekeminen nopeuttaa metsiköiden järeytymistä ja siten parantaa tulevien hakkuiden kannattavuutta.

Asiasanat: puunkorjuu, ensiharvennus, turvemaat, VMI, aluesuunnitelmat
Yhteystiedot: Metla, Vantaan tutkimuskeskus, PL PL 18, 01301 Vantaa,
puh. (09) 857 051, sähköposti mikko.ylimartimo@metla.fi
Hyväksytty 21.5.2001

I Johdanto

Suomessa soiksi luokiteltujen kasvupaikkojen pinta-ala metsätalousmaalla on 8,93 milj. ha, joka on 34,2 % metsätalousmaan koko pinta-alasta (Metsätalastollinen vuosikirja 1998). Suoksi luokiteltavasta alasta on ojitettu 53 %. Ojituksen myötä osa soista on siirtynyt nykyisin kivennäismaaksi luokiteltavaan alaan. Puuston määrä turvemaidella on metsänparannustoiminnan seurauksena lisääntynyt huomattavasti. Ojitus ja lannoitus ovat lisänneet puustopääomaa ajanjaksolla 1951–1994 noin 200 milj. m³ (Tomppo 1998). Metsien kokonaistilavuudesta ja kasvusta 20 % on ojitusalueilla (Tomppo ja Henttonen 1996).

Tulevaisuudessa turvemaiden merkitys metsäteollisuuden puuhuollossa lisääntyy huomattavasti. Nuutisen ym. (2000) mukaan niiden vuotuisien hakkuumahdollisuuksien on arvioitu olevan noin 14 % kaikesta hakattavissa olevasta puumäärästä vuosina 1996–2005. Vuoteen 2025 mennessä suometsien osuuden kestävästä hakkuumäärästä arvioidaan nousevan jo yli 20 %:iin, koska tällöin hakkuumahdollisuudet kivennäismailla tilapäisesti vähenevät (Nuutinen ym. 2000). Näiden hakkuumahdollisuuksien saavuttaminen edellyttää suometsien puuntuotantokyvyn ylläpitoa, joten esimerkiksi nuoren metsän hoidon ja kunnostusojitusten laiminlyönti johtaa hakkuumahdollisuuksien vähentymiseen.

Suometsien hakkuumahdollisuuksista esitetyt arviot vaihtelevat laskentamenetelmistä riippuen. Yleensä suuralueen hakkuumahdollisuuksia on arvioitu joko valtakunnan metsien inventoinnin suunnitteen (VMI-suunnite) perusteella (esim. Kuusela ja Salminen 1991), MELA-järjestelmällä valtakunnan metsien inventointiaineistoihin perustuvien laskelmien perusteella (esim. Nuutinen ym. 2000) tai yksityismetsien alueellisen suunnittelun (ASY-suunnite) hakkuumahdollisuusarvioina (esim. Metsä 2000-ohjelman... 1985, Pesonen ja Soimasuo 1998). VMI-aineistoihin perustuva hakkuumahdollisuusarvio on yleensä ollut suurempi kuin samalle alueelle laskettu ASY:n mukainen hakkuumahdollisuusarvio. Ero on ollut jopa 20–30 % (Metsä 2000 -ohjelman... 1985). VMI8:n aineistosta suometsien ensiharvennustarpeeksi on arvioitu 0,7 milj. ha, joka on noin 30 % koko ensiharvennustarpeesta (Nuuti-

nen ym. 2000). Käytännön puunhankinnasta vastaavat henkilöt ovat kuitenkin epäilleet, että VMI:n perusteella määritetty suometsien ensiharvennustarve on ylimitoitettu korjuukelpoisuuteen nähden, koska myytäväksi tarjotaan tavoitteisiin nähden vähän ensiharvennuskohteita. Syyksi on arveltu mm. sitä, että VMI:n koealakuviolla esitetään ensiharvennus-hakkuuta silloinkin, kun kohde ei käytännössä ole korjuukelpoinen.

Suometsien ensiharvennusleimikot poikkeavat kivennäismaiden leimikoista sekä maastoltaan että puustoltaan. Puunkorjuun erityispiirteitä ovat maaperän upottavuus ja ojien muodostamat esteet, pitkät lähikuljetusmatkat, pieni rungon koko ja hakkuukertymä, puuston pinnallinen juuristo ja puunkorjuu- ja metsänparannustöiden puutteellinen yhteensovittaminen (Matilainen 1988, Eeronheimo 1991). Ensiharvennuskorjuun ongelmien ratkaisemiseksi on kehitetty esim. teollisuus- ja energiapuun integroitua korjuuta (Hakkila ja Kalaja 1993, Imponen ym. 1997 ja Korpilahti 1998a). Lisäksi turvemaaleimikoiden markkinakelpoisuutta on pyritty parantamaan metsänomistajien yhteisillä puunkorjuuhankkeilla.

Tutkimuksen päätavoitteena oli selvittää VMI:ssa ensiharvennuskohteiksi määritettyjen kohteiden korjuukelpoisuus ojitetuilla turvemaidella. Lisäksi verrattiin keskenään aluesuunnitelmissa esitettyjä ensiharvennushakkuutavoitteita ja VMI:ssa todettuja ensiharvennustarpeita sekä metsikkökuvion että suuralueen tasolla. Näiden ohella tutkittiin mahdollisuuksia parantaa ensiharvennuskohteiden korjuukelpoisuutta.

2 Aineisto ja menetelmät

2.1 Aineisto

Tutkimuksen aineisto koostui VMI-, aluesuunnitelma- ja maastomittaustiedoista. Otantakehikkona käytettiin Pohjois-Savon VMI9:ssä mitattuja koealoja. Otannassa Pohjois-Savo on jaettu 7 × 7 km kokosiini ruutuihin ja jokaiseen ruutuun on sijoitettu 18 koealaa. Koealat sijaitsevat suorakulmion muotoisessa asetelmassa siten, että peräkkäisten koealojen välimatka on 300 m. Suorakulmion sivun pituus on 1200 m itä-länsi -suunnassa ja 1500

m pohjois-etelä -suunnassa. VMI9-aineisto sisälsi koealakuvion hallinnollista tilaa, kasvupaikkaa, puustoa, tehtyjä toimenpiteitä ja metsänhoidollisia toimenpidetarpeita kuvaavia muuttujia (Tomppo ym. 1998, Valtakunnan metsien... 1996). Pohjois-Savossa VMI9-aineisto koostui 4546:sta metsätaloukseen koealasta (Tomppo ym. 1999).

VMI9:n koealakuvioista poimittiin tutkimukseen kuviot, jotka täyttivät seuraavat kriteerit:

- kuviolla oli VMI9:n koealan keskipiste (ns. sivukuviota ei käytetty);
- kuvio sijaitsi ojitetulla turvemaalla;
- kuviolle oli inventoinnissa havaittu ensiharvennustarve joko kiireellisenä (hakkuu myöhässä vuonna 1996) tai lähimmällä 5-vuotiskaudella (hakkuu vuosina 1997–2001);
- kohteen omistaja oli joko yksityinen metsänomistaja tai yhteisö;
- kohteella ei ollut käyttörajoituksia.

Kriteerit täyttäviä kohteita oli yhteensä 56 kpl, joista 4 kpl hylättiin kohtuuttomien mittauskustannusten vuoksi, 3 kpl oli harvennettu VMI-mittausten jälkeen ja kahta kohdetta ei voitu paikantaa VM-kartan puuttumisen vuoksi. Jäljelle jääneet 47 koealakuvioita mitattiin syksyn 1999 aikana. VMI:n koealakuvioita mitattiin 4 kpl pinta-alaltaan 100 m²:n ympyräkoelaa. Kultakin koealalta mitattiin läpimitaltaan vähintään 3 cm rungot 2 cm:n luokissa. Lisäksi laskettiin tätä pienempien runkojen lukumäärä. Koealojen puusto leimattiin silloisten metsänhoitosuosituksen mukaan (Luonnonläheinen metsänhoito 1994).

Aluesuunnitelmatiedot (AS) saatiin käyttöön Pohjois-Savon metsäkeskukselta. Metsikkökuvioista, joihin VMI:n koealat oli sijoitettu, etsittiin AS:n kuviotiedot. Ne käsittivät TASO-ohjelmistolla lasketuista metsiköiden kasvupaikkoja, puustoa sekä käsittelyehdotuksia koskevia tietoja. Kuviotiedot oli kerätty vuosina 1990–1999 ja ne kattoivat otokseen valitut VMI:n koealat 17 tapauksessa maastomittauksin tarkastetuista VMI-koealoista.

Suuralueen tarkastelua varten metsäkeskuksen alueelta laskettiin tutkimuskriteereillä rajattu aluesuunnitelmien yhdistelmä (ASY). Yhdistelmässä laskentaositteiden pinta-alaestimaatit perustuivat yhdistelmään poimittujen kuvioiden tietoihin ja nii-

den perusteella laskettuun koko aluetta koskevaan ennusteeseen. Yhdistelmän peittävyys oli 33 % alueen yksityismetsien pinta-alasta.

2.2 VMI- ja aluesuunnitelmatietojen vertailu

VMI-tietoja ja aluesuunnitelmien välisiä eroja tarkasteltiin metsikkökuvioitasolla kuviolle annetun hakkuuehdotuksen perusteella Fisherin nelikenttätestillä, jossa otantamallina käytettiin ns. II tyypin mallia. (Ranta ym. 1997). Nelikenttätestiä varten kohteet luokiteltiin sen mukaan, oliko niille annettu käsittelyehdotuksena ensiharvennus. Testauksen nollahypoteesina (H_0) oli, että VMI:ssä ja aluesuunnitelmissa esitetyt hakkuuehdotukset eivät eroa toisistaan, vaan molemmissa tietolähteissä käsittelyehdotuksena oli ensiharvennus.

VMI-tiedoista ja ASY:stä laskettiin keskeisimpien muuttujien pinta-ala- ja tilavuusestimaatit. Koska VMI-tietojen mukaiset pinta-alat olivat otokseen perustuvia estimaatteja, arvion tarkkuutta kuvattiin estimaatin keskivirheellä. VMI:n tulosten keskivirhelaskennassa käytettiin ns. Matérnin neliöryhmen menetelmää (Matérn 1960, Tomppo ym. 1998). ASY:n pinta-alaestimaatti laskettiin yleistämällä yhdistelmään sisältyvät suunnitelmat koskemaan koko laskenta-alueita. ASY:n pinta-alaestimaatin luotettavuutta ei arvioitu.

2.3 Puustotunnusten laskenta

Puille estimoitettiin pituudet Veltheimin (1987) turve maiden pituusmalleilla ja ne tarkennettiin kuvioittain käyttämällä mitattuja koepuiden pituuksia. Runkotilavuudet ennustettiin Laasasenahon (1982) tilavuusyhtälöillä, joita käytettiin yli 3 metrin mittaisille havupuille ja yli 4 metrin mittaisille lehtipuille. Tätä lyhyempien puiden tilavuudet laskettiin Metsäntutkimuslaitoksen julkaisemattomilla tilavuusyhtälöillä.

Rungot pölkytettiin puutavaralajeiksi Metsäntutkimuslaitoksessa kehitetyllä pölkytysohjelmalla (Korhonen 1994). Havupuurungot pölkytettiin joko tukiksi tai kuitupuiksi. Koska runkojen laatua ei tunnettu, koko teoreettinen tukkiosa pölkytettiin tukeiksi. Koivurungot pölkytettiin ainoastaan kuitupuiksi ja muut lehtipuut luokiteltiin energiapuiksi.

Kuitupuuosat apteerattiin 5 tai 7 cm:n latvaläpimitoihin. Sallittuina kuitupuupölkyn pituuksina käytettiin 2,5–3 m ja 4,5–5 m. Apteerausohjelma pölytti runkojen kuituosat siten, että rungosta pyrittiin valmistamaan mahdollisimman pitkiä pölkkyjä siten että koko kuituosasta tuli käytetyksi mahdollisimman tarkoin hyväksi.

Energiapuukertymään laskettiin läpimitaltaan yli 4-senttiset, mutta alle ainespuun mittaiset rungot ja latvusmassat. Latvusten kuivamassojen estimaatteina käytettiin Hakkilan (1991) ja Saarsalmen ym. (1991) yhtälöitä. Latvusmassasta oletettiin saavan talteen 80 %. Energiapuun lämpöarvo laskettiin kuiva-aineen tehollisen lämpöarvon ollessa 18,73 MJ/kg ja polttoaineen kosteuden ollessa 40 %. Ainespuurunkojen latvukset eivät sisällyneet energiapuukertymiin.

2.4 Korjuukelpoisuuden määrittäminen

Aineistona olleista metsikkökuvioista muodostettiin leimikoita, joiden pinta-ala vakioitiin 5 hehtaariin ja metsäkuljetusmatkana käytettiin maastossa mitattua keskimääräistä metsäkuljetusmatkaa. Korjuukelpoisuus määritettiin kahdella tapaa. Ensimmäisessä vaihtoehdossa kohde määritettiin korjuukelpoiseksi, mikäli laskennalliset puunkorjuun yksikkökustannukset olivat enintään Metsäteollisuusyritysten ja Metsähallituksen vuonna 1998 maksamien yksikkökustannusten suuruiset (taulukko 1). Kustannus tarkoittaa puutavaran hakkuusta ja ajosta maksettua korvausta (Örn 2000). Toisena korjuukelpoisuusmitarina oli kohteen hakkuukertymä, jota yleensä käytetään korjuukelpoisuuden arvioinnissa. Tässä tutkimuksessa ainespuun kertymärajaksi asetettiin 35 m³/ha.

Korjuukustannukset laskettiin Oijalan ym. (1994) korjuukustannusten laskentaohjelmalla, jossa koneellisen korjuun yksikkökustannukset lasketaan

Taulukko 1. Metsäteollisuusyritysten ja Metsähallituksen tekemien ensiharvennushakkuiden toteutuneet yksikkökustannukset (mk/m³) vuonna 1998 (Örn 2000).

	Hakkuu	Metsäkuljetus
Hakkuukonekorjuu	51–59	17–25
Metsurikorjuu	60–89	17–25

hakkuun ja metsäkuljetuksen tuotosfunktioiden ja konekaluston tuntikustannusten perusteella. Tuntikustannuksina käytettiin hakkuukoneella 420 mk/h ja kuormatraktorilla 280 mk/h. Metsurikorjuun kustannusten laskennassa käytettiin työmenetelmä-, puu-, ja puutavaralajikohtaisia tuotosfunktioita. Hinnitteluperusteena käytettiin metsäalan työehtosopimuksen mukaisia sopimuskauden 1998–1999 taksoja (Metsäalan palkkaus 1999). Työmenetelmänä oli tavaralajimenetelmä.

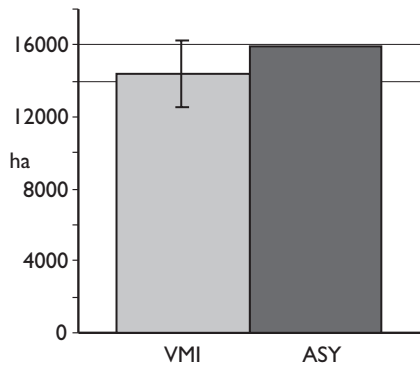
2.5 Korjuukelpoisuuden parantaminen

Korjuukelpoisuuden parantamiseksi tarkasteltiin lähinnä hakkuukertymän kasvattamiseen tähtäviä menetelmiä, joita olivat aines- ja energiapuun integroitu korjuu ja kuitupuun minimiläpimitan alentaminen.

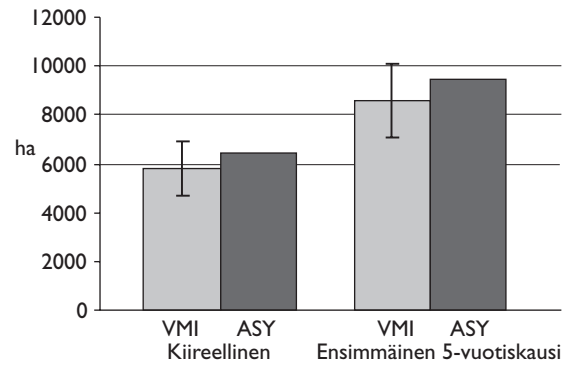
Integroidussa korjuussa ainespuu korjattiin samalla menetelmällä kuin tavanomaisessa ainespuun korjuussa. Energiapuuna korjattiin alle ainespuun mittaiset rungot latvuksineen, joiden rinnankorkeusläpimitta oli yli 4 cm. Työmenetelmänä käytettiin siirtelykaatoa. Energiapuun metsäkuljetuksen tuotos laskettiin muuntamalla Kuiton ym. (1994) lyhyen kuitupuun ajanmenekkimallit vastaamaan kokopuun kuljetusta Kahalan (1981) tulosten perusteella. Hankintakustannus laskettiin lisäämällä tienvarsihintaan kuljetus- haketus- ja yleiskustannukset 31,1 mk/MWh (Hämäläinen ja Lilleberg 1998). Energiapuulle ei laskettu kantohintaa eikä myöskään mahdollisia korjuuavustuksia.

Koealoilta mitatut puut apteerattiin 7 cm:n latvaläpimitan lisäksi 5 cm:n läpimittavaatimuksella. Minimiläpimitan vaikutus korjuukustannuksiin laskettiin koneelliselle korjuuketjulle. Tätä tarkastelua varten laadittiin Kuiton ym. (1994) aikatutkimustuloksiin perustuva laskentamalli.

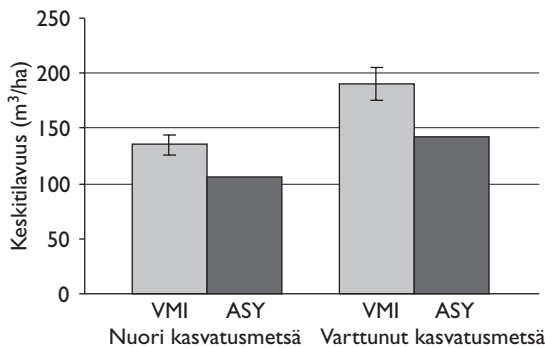
Muina mahdollisuuksina parantaa korjuukelpoisuutta tarkasteltiin lähinnä taimikonhoidon ja koneellisesti hakattavan leimikon ennakkoraivausten kustannusvaikutuksia. Ennakkoraivauskustannus laskettiin metsäalan työehtosopimuksen uudistusalan raivausten urakkahinnoittelun mukaan (Metsäalan palkkaus 1999). Raivauskustannus laskettiin niille kohteille, joilla alikasvospuuston määrä ylitti 500 kpl/ha.



Kuva 1. Ensiharvennuskohteiden kokonaispinta-ala ojitetuilla turvemilla VMI:n ja ASY:n mukaan. Pystyanalla on esitetty VMI:n estimaatin 68 %:n luottamusväli.



Kuva 3. Pinta-alojen jakaantuminen hakkuukiireellisyyksittäin VMI:n ja ASY:n mukaan. Pystyanalla on esitetty VMI:n estimaatin 68 %:n luottamusväli.



Kuva 2. Kehitysluokittaiset keskitilavuudet VMI:n ja ASY:n mukaan. Pystyanalla on esitetty VMI:n estimaatin 68 %:n luottamusväli.

tarve ojitetuilla turvemilla oli noin 14 100 ha ja ASY:n mukainen noin 15 900 ha (kuva 1). Eri menetelmien mukaiset arviot osoittautuivat hyvin toisiaan vastaaviksi, kun otetaan huomioon VMI-estimaatille laskettu keskivirhe.

Eri kehitysluokissa keskitilavuusarviot poikkesivat huomattavasti VMI:n ja ASY:n välillä (kuva 2). VMI:n keskitilavuusarvio nuorissa kasvatusmetsissä oli 29 m³/ha suurempi kuin ASY:ssä. Varttuneissa kasvatusmetsissä VMI:n tilavuusarvio oli 48 m³/ha suurempi.

Hakkuukiireellisyyksien mukaisessa tarkastelussa (kuva 3) pinta-ala-arviot olivat lähes samansuuruiset molemmissa tietolähteissä. Kiireellisesti harvennettavia kohteita oli VMI:n mukaan 5 800 ha ja ASY:n mukaan 6 400 ha. Ensimmäisellä 5-vuotiskaudella VMI:n mukainen harvennustarve oli 8 600 ha ASY:n mukaisen tarpeen ollessa 9 500 ha.

3 Tulokset

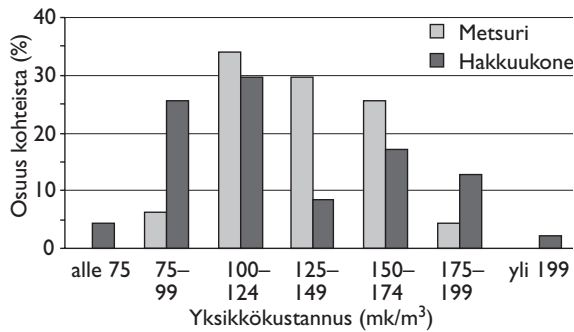
3.1 VMI- ja aluesuunnitelmätietojen vertailu

VMI- ja aluesuunnitelmätietojen eroavaisuuksia vertailtiin metsikkökuvioitasolla kuviolle annettun hakkuuehdotuksen perusteella. Fisherin nelikenttätestissä havaittu merkitsevyystaso (p_{hav}) oli 0,0013, jolloin nollahypoteesi voitiin hylätä pienellä riskillä. Testin perusteella hakkuuehdotuksissa VMI- ja aluesuunnitelmätietojen välillä on tilastollisesti merkitsevä riippuvuus ja kohteet on luokiteltu ensiharvennuskohteiksi yhtenevästi.

Suuraluetasolla VMI:n mukainen ensiharvennus-

3.2 Ensiharvennuskohteiden korjuukelpoisuus

Puunkorjuun yksikkökustannukset olivat koneellista hakkuuta käytettäessä keskimäärin 116 mk/m³ ja metsurikorjuussa 132 mk/m³, jolloin koneellinen korjuuketju oli 13 % metsurikorjuuta edullisempi. Toisaalta myös korjuukustannusten hajonta oli huomattavan suurta. Koneellista korjuuta käytettäessä yksikkökustannusten keskihajonta oli 38 mk/m³ ja metsurikorjuussa 26 mk/m³. Yksikkökustannusten jakauma on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4. Puunkorjuukustannusten jakauma eri korjuumenetelmillä.

Taulukko 2. Korjuukelpoisuusrajana olleen kustannustason allittavien kohteiden osuus (%) korjuuketjuittain ja työvaiheittain.

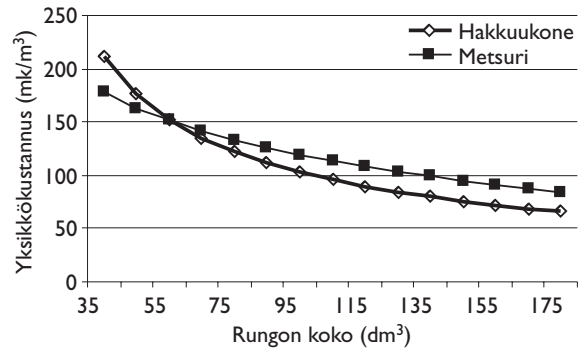
Korjuuketju	Hakkuu	Metsäkuljetus	Korjuu yhteensä
Hakkuukone + kuormatraktori	9	28	6
Metsuri + kuormatraktori	34	11	21

Kun korjuukelpoisuuden luokitteluperusteena käytettiin puunkorjuun kustannusvastaavuutta, ainoastaan 3 kohdetta (6 %) alitti korjuukelpoisuusrajaksi asetetun 84 mk/m^3 käytettäessä koneellista hakkuuta. Metsurikorjuussa 10 kohdetta (21 %) alitti korjuukelpoisuusrajan 113 mk/m^3 (taulukko 2). Kustannukset ylittivät korjuukelpoisuusrajana olleen kustannustason koneellisella korjuuketjulla keskimäärin 45 mk/m^3 ja metsurikorjuussa 24 mk/m^3 .

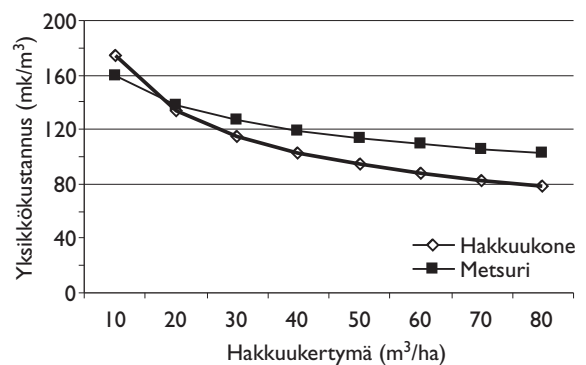
Hakkuukertymän mukainen luokittelu lisäsi korjuukelpoisia kohteita huomattavasti. Tällä perusteella luokiteltuna 38 % kohteista täytti korjuukelpoisuusrajan. Eniten kohteita oli kertymäluokassa $10\text{--}19 \text{ m}^3/\text{ha}$ keskimääräisen hakkuukertymän ollessa $31 \text{ m}^3/\text{ha}$.

Korjuuketjujen yksikkökustannukset rungon koon funktiona on esitetty kuvassa 5. Koneellinen hakkuu oli edullisempi vaihtoehto rungon koon ylittäessä 60 dm^3 . Rungon koko oli keskimäärin 81 dm^3 .

Hehtaarikohtaisen ainespuukertymän vaikutus korjuukustannuksiin on esitetty kuvassa 6. Kertymän ollessa alle $20 \text{ m}^3/\text{ha}$ metsurikorjuu oli koneellista korjuuta edullisempi.



Kuva 5. Rungon koon vaikutus korjuukustannuksiin eri menetelmillä.



Kuva 6. Hakkuukertymän vaikutus korjuukustannuksiin eri menetelmillä.

3.3 Korjuukelpoisuuden parantaminen

3.3.1 Aines- ja energiapuun integroitu korjuu

Aines- ja energiapuun integroidussa korjuussa energiapuuta korjattiin leimikolta keskimäärin 65 m^3 . Suurimmillaan energiapuun määrä oli 4,15-kertainen ainespuuhun verrattuna. Integroidun korjuun kustannukset on esitetty taulukossa 3.

Kun energiapuun korjuukustannuksiin lisättiin haketus- ja kaukukuljetuskustannukset, keskimääräinen käyttöpaiikkakustannus oli 75 mk/MWh .

Taulukko 3. Aines- ja energiapuun korjuun absoluuttiset (mk/m^3) ja suhteelliset (integroitu korjuu yhteensä = 100) keskimääräiset yksikkökustannukset.

	Ainespuu		Energiapu		Yhteensä	
	mk	suht.	mk	suht.	mk	suht.
Hakkuu	102	107	90	95	95	100
Metsäkuljetus	31	89	43	123	35	100
Yhteensä	133	102	133	102	131	100

Taulukko 4. Puunkorjuun suhteelliset ($d_7 = 100$) yksikkökustannukset kuitupuun minimiläpimitoilla 5 (d_5) ja 7 (d_7) cm.

	d_5	d_7
Hakkuu	107	100
Metsäkuljetus	97	100
Yhteensä	105	100

3.3.2 Kuitupuun minimiläpimitan alentaminen

Läpimitan alentaminen 7 cm:stä 5 cm:iin nosti ainespuuna korjattavien runkojen lukumäärää keskimäärin 1,5-kertaiseksi, ja ainespuukertymä suureni $6 \text{ m}^3/\text{ha}$ (19 %). Tällöin korjattavan ainespuurungon keskikoko kuitenkin pieneni 31 %, koska korjuuseen otettiin yhä pienempiä runkoja.

Minimiläpimitan alentaminen pienensi koneellisen hakkuun tuottavuutta. Puunkorjuun laskennallinen tuottavuus 7 cm:n minimiläpimitalla oli keskimäärin $5,5 \text{ m}^3/\text{käyttötunti}$. Kun minimiläpimita alennettiin 5 cm:iin, tuottavuus aleni $4,6 \text{ m}^3$:iin (16 %). Hakkuun yksikkökustannusta työn tuottavuuden aleneminen nosti keskimäärin 7 %, mutta metsäkuljetuksen tuottavuutta pienempi minimiläpimita paransi hieman, joten sen kustannus oli 3 % alempi. Koko korjuuketjun yksikkökustannuksia pienempi läpimita nosti 5 % (taulukko 4).

3.3.3 Muut parannuskeinot

Kohteilla, joilla taimikonhoito oli tehty, rungon koko oli 17 dm^3 ja ainespuukertymä $6 \text{ m}^3/\text{ha}$ suurempi kuin hoitamattomilla kohteilla. Nämä kohteet olivat koneellista hakkuuta käytettäessä korjuukustannuk-

siltaan $5 \text{ mk}/\text{m}^3$ ja ihmistyövaltaisessa korjuussa $2 \text{ mk}/\text{m}^3$ edullisempia kuin hoitamattomat kohteet.

Koneellisen hakkuun yksikkökustannuksiin lisätty ennakkoraivaus lisäsi korjuukustannuksia keskimäärin $8 \text{ mk}/\text{m}^3$. Kohteen raivaustarpeelle asetettu puuston vähimmäismäärä $500 \text{ kpl}/\text{ha}$ alittui kolmella kohteella.

5 Tulosten tarkastelu

5.1 VMI:n ja aluesuunnitelmien eroavaisuudet

VMI:n koealatiotojen ja aluesuunnitelmien kuviotason tietojen vertailussa tilastollisella testauksella saadut tulokset osoittivat, että eri tietolähteet vastasivat kohteille annettujen hakkuuehdotusten osalta hyvin toisiaan, eli VMI:ssa ja metsäsuunnittelussa metsikoille annetaan käsittelyehdotukset samoin perustein. On kuitenkin otettava huomioon, että testauksessa käytetty Fisherin nelikenttätesti on tulkittavissa ainoastaan ehdollisena, eli havaittu merkitsevyytaso on mielekäs vain tässä otoksessa. Mikäli luokittelevissa ominaisuuksissa tapahtuu pieniäkin muutoksia, voi havaittu merkitsevyytaso muuttua voimakkaasti (Ranta ym. 1997). Kohteilla, joilla hakkuuehdotukset poikkesivat toisistaan, poikkeamien syynä olivat todennäköisesti maastotöiden tekijöiden erilaiset metsänhoidolliset näkemykset, inventointien eri ajankohdat, kuvioiden erilaiset rajaukset sekä aluesuunnittelussa metsänomistajan tavoitteiden huomioiminen.

Suuraluetason vertailussa ensiharvennusta tarvitsevat pinta-alat osoittautuivat myös yhdenmukaisiksi. ASY:n ehdottama pinta-ala oli hieman suurempi kuin VMI:ssa, kun yleensä hakkuusuunnitteiden vertailuissa tilanne on ollut päinvastainen. Esimerkiksi Nikusen (1983) vertailussa valtaosalla metsälautakunnista VMI:n esittämä hakkuutarve oli suurempi kuin ASY:n arvio.

Kehitysluokittaisessa tarkastelussa VMI:n mukaiset keskitilavuusarviot olivat huomattavasti suuremmat kuin ASY:ssä. Yksi todennäköinen syy poikkeamiin ovat käytetyt mittaus- ja laskentamenetelmät, sillä VMI:n tilavuustiedot perustuvat objektiivisiin ja tarkkoihin yksittäisten puiden mittauksiin, AS-

tiedot pohjautuvat taas kuviotasolla silmävaraisesti arvioituihin puuston keskitunnuksiin. Poikkeamia tilavuusarvioihin voivat aiheuttaa myös aluesuunnitelmätietojen aikaisempi keruujako ja epäedustava sijoittuminen laskenta-alueelle sekä metsäsuunnittelussa usein noudatettu varovaisuusperiaate, jolloin metsikön tilavuus on tarkoituksella arvioitu todellista pienemmäksi (Nikunen 1983). Myös kehitysluokka-käsitteessä on eroa menetelmien välillä (Luonnonläheinen metsänhoito 1994, Valtakunnan... 1997). Tilavuusarvioiden erot olivat niin suuret, että ne voivat aiheuttaa huomattavia poikkeamia VMI- ja aluesuunnitelma-aineistoista tehtyjen hakuumahdollisuusarvioiden välillä.

Hakkuukiireellisyyksistä annetut arviot vastasivat toisiaan erittäin hyvin. Molemmissa kiireellisyyssluokissa ASY:n pinta-alaestimaatti oli suurempi, mutta se selittyi kokonaisuudessaan ASY-suunnitteen suuremmalla ensiharvennuskohteiden pinta-ala-arviolla.

5.2 Ensiharvennuskohteiden korjuukelpoisuus

Tutkittujen ensiharvennuskohteiden korjuukelpoisuus riippui suurelta osin tarkastelutavasta. Kohteet osoittautuivat korjuukelpoisuudeltaan heikoiksi, kun korjuukelpoisuuden mittarina käytettiin puunhankintayritysten korjuukustannustasoa, sillä erityisesti koneellisen korjuun kustannukset ylittivät selvästi korjuukelpoisuuden rajaksi asetetun kustannustason. Kullekin kohteelle edullisin korjuuketju riippui lähinnä kohteen hakkuukertymän laadusta ja määrästä. Metsurikorjuu olisi suurelle osalle leimikoista edullisin korjuumenetelmä, mutta korjuuketjun valinta metsuri- ja koneellisen korjuun välillä on nykytilanteessa lähinnä teoreettinen vaihtoehto. Korkeat korjuukustannukset aiheutuivat ensiharvennusmetsiköille tyypillisistä ominaisuuksista, joita ovat pieni rungon koko ja hakkuukertymä sekä vaikeat maastotilat (Eeronheimo 1991). Korjuukustannukset olivat samaa suuruusluokkaa kuin aiemmissa nuorien metsien korjuuolosta tehdyissä selvityksissä (vrt. Lilleberg ja Raitanen 1989, Jylhä 1995). Tulosten luotettavuutta toisaalta heikentävät laskennassa käytetyt ajanmenekkimallit, jotka voivat olla osittain vanhentuneita.

Korjuukelpoisten kohteiden määrä lisääntyi huomattavasti, kun sellaiseksi luokiteltiin kohde, jonka hakkuukertymä ylitti hakkuukertymärajan 35 m³/ha. Tällä perusteella luokiteltuna ainoastaan 38 % kohteista täytti korjuukelpoisuuskriteerit. 62 % kohteista oli niin vähäpuustoisia, ettei puunkorjuu niiltä tule kyseeseen ilman julkista tukea. Tulos on samansuuntainen kuin Korpilahden (1998b) Pohjois-Karjalan ja Etelä-Pohjanmaan ensiharvennusmetsiköitä koskevassa tutkimuksessa, jossa huomattava osa kohteista ei täyttänyt korjuukelpoisuusrajaksi asetettua hakkuukertymää.

5.3 Mahdollisuudet korjuukelpoisuuden parantamiseen

5.3.1 Aines- ja energiapuun integroitu korjuu

Puupolttoaineen hankinta aineistona olleilta turve- ja maakohteilta ei ole kilpailukykyistä, mikäli kannattavuusrajana pidetään käyttöpaikkakustannusta 45 mk/MWh. Korkean hankintakustannuksen aiheuttajia olivat lähinnä korjuumenetelmä ja vähäinen energiapuun kertymä. Muissa tutkimuksissa (vrt. Hakki-la 1992, Jylhä 1995) kokopuuhakkeen käyttöpaikkakustannukset olivat samaa suuruusluokkaa kuin tässä tutkimuksessa. Lisäksi energiapuun korjuun ehtona on useimmiten kantohinnan maksaminen puuta luovuttavalle metsänomistajalle, mikä edelleen heikentäisi energiapuun kilpailukykyä (Määttä ja Pesonen 1998).

Mikäli puupolttoaineiden käyttöä halutaan laajentaa nykyisestä, tulisi korjuu keskittää uudistushakkuiden hakkuutahteeseen, jonka käyttöpaikkakustannus lyhyellä kuljetusmatkalla on 40–50 mk/MWh (Ikäheimo ja Asikainen 1999). Kokopuukorjuu vähäravinteisilta turvemailta voi myös aiheuttaa huomattavia kasvatappioita kasvatettavassa puustossa (Kaunisto 1996). Nuorista metsistä kertyvän energiapuun käyttö voi kuitenkin olla varteenotettava vaihtoehto silloin, kun otetaan huomioon puun energiakäytöstä tulevat välilliset, mm. metsien kasvukuntoa ja maaseutukuntien työllisyyttä parantavat vaikutukset.

5.3.2 Kuitupuun minimiläpimitan alentaminen

Kuitupuun läpimitan alentaminen lisäsi korjattavissa olevaa puumäärää huomattavasti, mutta hakkuukertymän lisäys koostui yhä pienemmistä rungoista, mikä taas heikensi hakkuukoneen tuottavuutta ja aiheutti korjuukustannusten kohoamisen. Tulos on samansuuntainen kuin Korpilahden ym. (1995) tutkimuksessa. Minimiläpimitan alentaminen ei korjuukustannusten kannalta ole järkevää varsinkaan nykyisessä tilanteessa, jolloin kuitupuuta on teollisuuden tarpeisiin nähden riittävästi saatavilla.

Läpimittavaatimuksen alentaminen nostaa kustannuksia myös puun kuidutusprosessissa, koska puunkulutus ja häviö lisääntyy. Tällöin selluloosan valmistuskustannus ovat noin 3 prosenttia tavanomaista kuitupuuta suurempi (Korpilahti ym. 1995). Ensijaisesti tulisivat pyrkiä parantamaan massan laadun hallintaa, jolloin ensiharvennuspuun hyvät ominaisuudet saataisiin hyödynnettyä nykyistä tarkemmin ohjaamalla jokainen puuerä sille parhaiten sopivaan käyttötarkoitukseen. Keinoina on esitetty mm. kuitupuun laatulajittelua (Bjurulf ja Spångberg 1994).

5.3.3 Muut parannuskeinot

Tutkimus osoitti metsänhoitotöiden korjuukelpoisuutta parantavan vaikutuksen. Kohteilla, joilla taimikonhoito oli tehty, korjuukustannukset olivat hieman alemmat verrattuna hoitamattomiin kohteisiin. Toisaalta mielenkiintoinen havainto oli, että vaikka oli taimikonhoitotyöt oli tehty aiemmin 70 %:lle kohteista, niin siltikin keskimääräiset korjuukustannukset olivat suuret.

Leimikoiden ennakoraivauskustannus korjattua kuutiometriä kohden oli huomattavan suuri, mutta toisaalta ennakoraivauksen on todettu parantavan hakkuukonetyön tuottavuutta ja työnjälkeä. Ennakoraivauksesta tulisivat tehdä perusteellinen kustannus-hyötyanalyysi, jossa otetaan raivauksen vastapainona huomioon sekä korjuukustannusten alenemisesta että korjuuvaurioiden vähenemisestä tulevat hyödyt. Ensiharvennuskorjuun koneellistamiskehityksen vuoksi Sirén (2000) onkin ehdottanut mies työn käytön keskittämistä koneellisesti korjattavien kohteiden ennakoraivaukseen.

Ensiharvennusleimikoiden korjuukelpoisuutta voidaan parantaa leimikkokokoa kasvattamalla, mikäli hakkuukertymä pinta-alayksikköä kohden jää pieneksi. Turvemaaleimikoiden puunkorjuu onnistuneekin parhaiten usean metsänomistajan yhteishankkeena, jolloin korjuun suunnittelu- ja työnjohdokustannukset alenevat. Myös korjuuta seuraavien metsänparannustöiden toteuttaminen yhteishankkeena helpottaa niiden organisointia ja tuo kustannussäästöjä. Leimikkokoon ja yhteishankkeiden merkitystä ei siis pidä aliarvioida.

Korjuukelpoisuutta saattaa parantaa myös korjuun kannalta heikoimpien kuvion osien rajaaminen leimikon ulkopuolelle ja metsikön kasvattaminen suurempaan valtapituuteen, mutta näitä keinoja ei voitu tutkia tässä aineistossa. Kohteiden runkolukusarja osoitti, että puusto painottuu alle ainespuun mittaisiin kokoluokkiin, mikä voi johtua taimikonhoidon laiminlyönnistä ja suopuustoille ominaisesta epätaisaisuudesta. Juuri epätaisaissa metsiköissä pienikokoista puustoa sisältävät kuvion osat kannattaneekin jättää leimikon ulkopuolelle.

Kiitokset

Tutkimus tehtiin MH Fred Kallandin aloitteesta ja se perustuu pääosin Ylimartimon (2000) pro gradu -työhön. Tutkimus oli osa Metsäntutkimuslaitoksen koordinoimaa Turvemaiden puunkorjuun kehittäminen -tutkimushanketta, jossa pyritään parantamaan edellytyksiä turvemaiden puunkorjuuseen. Kiitämme MH Fred Kallandia tutkimuksen ideoinnista ja tukemisesta, Metlan VMI:n henkilöstöä aineiston eteen tehdystä työstä ja Pohjois-Savon metsäkeskusta aluesuunnitelmätiedoista. Metsänparannussäätiötä ja Maa- ja metsätalousministeriötä kiitämme tutkimuksen rahoituksesta sekä käsikirjoituksen tarkastajia hyödyllisistä parannusehdotuksista.

Kirjallisuus

- Bjurulf, A. & Spångberg, K. 1994. Nya massaveds-sortiment – en möjlighet till bättre råvaruutnyttjande. SkogsForsk Resultat 19. 3 s.
- Eeronheimo, O. 1991. Suometsien puunkorjuu. *Folia Forestalia* 779. 29 s.
- Hakkila, P. 1991. Hakkuupoistuman latvusmassa. *Folia Forestalia* 773. 24 s.
- 1992. Metsäenergia. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 422. 51 s.
- & Kalaja, H. 1993. Ketjukarsinta ensiharvennussmännikön korjuuratkaisuna. Summary: Flail delimiting on the first commercial thinning of Scots pine. *Folia Forestalia* 803. 31 s.
- Hämäläinen, J. & Lilleberg, R. 1998. Energiapuun korjuu taimikon harvennuksen yhteydessä. Teoksessa: Nikku, P. (toim.). Bioenergia tutkimusohjelma. projektikirja 1993–1998, osa I. Bioenergian tutkimusohjelman julkaisuja 21: 171–177.
- Ikäheimo, J. & Asikainen, A. 1999. Polttohakkeen tuotantomenetelmien tuottavuus ja kustannukset. *Metsätieteen aikakauskirja* 3/1999: 491–503.
- Imponen, V., Keskinen, S., Korpilahti, A., Lemmetty, J., Lilleberg, R., Pennanen, O., Poikela, A. & Vuorenperä, T. 1997. Hake-, osapu- ja puutavaralajimenetelmien taloudellisuus sellutehtaan puunhankinnassa. *Metsätehon raportti* 22. 42 s.
- Jylhä, P. 1995. Nuoren metsän ihmistyövaltaisen kunnostushakkuun kannattavuus Keski-Pohjanmaan ojitusalueilla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 560. 40 s.
- Kahala, M. 1981. Pieniläpimittaisen lehtikokopuun metsäkuljetus. *Metsätehon katsaus* 6. 4 s.
- Kaunisto, S. 1996. Massahakemenetelmä ja ravinnepoistuma rämeen ensiharvennussmännikössä. Teoksessa: Laiho, O. & Luoto, T. (toim.). Metsäntutkimuspäivä Porissa 1995. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 593: 15–23.
- Korhonen K.T. 1994. Calculation system for large-scale forest inventory. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 505. Metsäntutkimuslaitos, Joensuun tutkimusosasto. 36 s.
- Korpilahti, A. 1998a. Integroitujen tuotantomenetelmien vertailu. Julkaisussa: Nikku, P. (toim.), Projektikirja 1993–1998. Osa I Puupolttoaineiden tuotantotekniikka. Jyväskylän Teknologiakeskus. Bioenergia, Bioenergian tutkimusohjelma, julkaisuja 21: 335–342.
- 1998b. Karsimattoman puun korjuu ensiharvennuksetta. Julkaisussa: Nikku, P. (toim.), Projektikirja 1993–1998. Osa I Puupolttoaineiden tuotantotekniikka. Jyväskylän Teknologiakeskus. Bioenergia, Bioenergian tutkimusohjelma, julkaisuja 21: 197–206.
- , Varhimo, A., Keskinen, S., Lemmetty, J. 1995. Mäntykuitupuun minimiläpimitan vaikutus puunhankintaan ja sellunvalmistukseen. *Metsätehon katsaus* 11. 6 s.
- Kuitto, P.-J., Keskinen, S., Lindroos, J., Oijala, T., Rajamäki, J., Räsänen, T. & Terävä, J. 1994. Puutavaran koneellinen hakkuu ja metsäkuljetus. Summary: Mechanized cutting and forest haulage. *Metsätehon tiedotus* 410. 38 s.
- Kuusela, K. & Salminen, S. 1991. Suomen metsävarat 1977–1984 ja niiden kehittyminen 1952–1980. Summary: Forest resources of Finland in 1977–1984 and their development in 1952–1980. *Acta forestalia Fennica* 220. 84 s.
- Laasasenaho, J. 1982. Taper curve and volume functions for pine, spruce and birch. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 108. 74 s.
- Lilleberg, R. & Raitanen, A. 1989. Etelä-Suomen harvennussmetsien määrä ja korjuuolosuhteet vuosina 1988–2000. Summary: The Amount of Thinning Forests in Southern Finland – Harvesting Conditions 1988–2000. *Metsätehon tiedotus* 401. 19 s.
- Luonnonläheinen metsänhoito : metsänhoitosuosituksat. 1994. Metsäkeskus Tapion julkaisuja 6/1994. 72 S
- Matérn, B. 1960. Spatial variation. *Meddelanden från Statens Skogsforskningsinstitutet* 49. 144 s.
- Matilainen, J. 1988. Ojitusalueiden puunkorjuun ja metsänparannustöiden yhteensovittaminen. *Suometsätieteen pro gradu*. Helsingin yliopisto. 61 s.
- Metsä 2000 -ohjelman pääraportti. 1985. Talousneuvosto. Metsä 2000 -ohjelmajaosto. 189 s.
- Metsäalan palkkaus. 1999. Koulutusaineisto. VIII painos. Metsäpalkkauksen kehittämisen projektiryhmä. 50 s.
- Metsätalastollinen vuosikirja. 1998. Metsäntutkimuslaitos. 344 s.
- Määttä, T. & Pesonen, M. 1998. Potentiaaliset hakkuumahdollisuudet ja energiapuuvarat Etelä-Suomessa. Teoksessa: Nikku, P. (toim.). Bioenergian tutkimusohjelma. Projektikirja 1993–1998, osa I. Bioenergian tutkimusohjelman julkaisuja 21: 67–70.
- Nikunen, U. 1983. Alueellinen suunnittelu etenee. *Metsä ja Puu* 1: 14–18.
- Nuutinen, T. Hirvelä, H., Hynynen, J., Härkönen, K., Hökkä, H., Korhonen, K.T. & Salminen, O. 2000. The role of peatlands in Finnish wood production – an analysis based on large-scale forest scenario modeling. *Silva Fennica* 34(2): 131–153.
- Oijala, T., Vastamäki, A. & Örn, J. 1994. Korjuukustannusten laskentaohjelma. *Metsäteho* 16.5. 1994.
- Pesonen, M. & Soimasuo, J. 1998. Tilakohtaisen kestävyuden vaikutus suuralueen kestäviin hakkuumahdoll-

- lisuuksiin – tapaustutkimus Satakunnan metsälautakunnan alueella. *Metsätieteen aikakauskirja – Folia Forestalia* 1/1998: 43–51.
- Ranta, E., Rita, H. & Kouki, J. 1997. *Biometria – tilastotiedettä ekologeille*. Yliopistopaino, Helsinki. 569 s.
- Saarsalmi, A., Palmgren, K. & Levula, T. 1991. Harmaalepän vesojen biomassan tuotos ja ravinteiden käyttö. *Folia Forestalia* 768. 25 s.
- Sirén, M. 2000. Turvemaiden puunkorjuun kehittäminen. *Metsätieteen aikakauskirja* 2/2000: 301–307.
- Tomppo, E. 1998. Peatland forests of Finland in 1951–1994. Proceeding of the International Peat Symposium, The Spirit of Peatlands. Turveteollisuusliitto, Jyväskylä. 84–86.
- & Henttonen, H. 1996. Suomen metsävarat 1989–94 ja niiden muutokset vuodesta 1951 lähtien. *Metsäntutkimuslaitos. Metsätilastotiedote* 354. 18 s.
- , Henttonen, H., Korhonen, K. T., Aarnio, A., Ahola, A., Heikkinen, J., Ihalainen, A., Mikkilä, H., Tonteri, T. & Tuomainen T. 1998. Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueen metsävarat ja niiden kehitys 1968–97. *Metsätieteen aikakauskirja – Folia Forestalia* 2B/1998: 293–374.
- , Henttonen, H., Korhonen, K. T., Aarnio, A., Ahola, A., Heikkinen, J., & Tuomainen T. 1999. Pohjois-Savon metsäkeskuksen alueen metsävarat ja niiden kehitys 1967–96. *Metsätieteen aikakauskirja* 2B/1999: 389–462.
- Valtakunnan metsien 9. Inventointi (VMI9). 1996. *Metsäntutkimuslaitos*.
- 1997. Maastotyön ohjeet 1997 – Etelä-Pohjanmaa, Keski-Pohjanmaa (eteläosa) ja Rannikko (länsiosa). *Metsäntutkimuslaitos, Helsingin tutkimuskeskus. Moniste*. 154 s.
- Veltheim, T. 1987. Pituusmallit männylle, kuuselle ja koi-vulle. *Metsänarvioimistieteen pro gradu*. Helsingin yliopisto. 60 s.
- Ylimartimo, M. 2000. Ensiharvennuskohteiden korjuukelpoisuus ojitetuilla turvemilla. *Metsäteknologian ja puutalouden pro gradu*. Joensuun yliopisto. 63 s.
- Örn, J. 2000. *Metsäteho Oy. Henkilökohtainen tiedonanto* 23.2. 2000.

42 viitettä