

Ensiharvennusten korjuuolot ja niiden parantamismahdollisuudet

Tekesin osarahoittaman tutkimushankkeen
loppuraportti

Matti Sirén (toim.)



PUJENERGIA

VANTAAN TUTKIMUSKESKUS

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN TIEDONANTOJA 837, 2002

Ensiharvennusten korjuuolot ja niiden parantamismahdollisuudet

Tekesin osarahoittaman tutkimushankkeen loppuraportti

Matti Sirén (toim.)



PUUENERGIA

VANTAAN TUTKIMUSKESKUS

Sirén, M. 2002 (toim.). Ensiharvennusten korjuuolot ja niiden parantamismahdollisuudet. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 837. 56 s. ISBN 951-40-1817-6. ISSN 0358-4283.

Tutkimuksessa selvitettiin ensiharvennusten korjuuteknisiä olosuhteita ja mahdollisuuksia korjuuolojen parantamiseksi. Tutkimusosioita olivat ensiharvennusten korjuuolot, ensiharvennusmänniköiden rakenteen mallintaminen, harvennuskertymän rakenne ja energiapuun määrä ensiharvennusmänniköissä sekä energiapuun korjuuolojen parantamismahdollisuudet.

Ensiharvennusleimikoiden rakennetta selvitettiin Pohjois-Pohjanmaan ja Keski-Suomen aluesuunnitelmätiedoista. Ensiharvennusmänniköiden runkolukusarjoja mitattiin koealoilta ja VMI-tiedoista Häme-Uusimaan, Etelä-Pohjanmaan ja Keski-Suomen metsäkeskusten alueilla. Ensiharvennusleimikoiden korjuuolot olivat korjuuteknisesti vaikeat. Aluesuunnitelmien keskimääräinen kertymäarvio Pohjois-Pohjanmaalla oli keskimäärin 23,3 m³/ha ja Keski-Suomessa 33,9 m³/ha. Turvemaiden kertymät olivat hieman pienemmät kuin kivennäismailla. Koealoilta mitatut ja VMI-tiedoista lasketut runkolukusarjat erosivat erityisesti keskimmaisissa läpimittaluokissa, joissa koealoilta mitatut runkoluvut olivat suuremmat kuin VMI:stä lasketut. Koealamittaukset tehtiin hakkuutarpeeltaan kiireellisissä kohteissa, jotka saattoivat olla keskimääräistä puustoisempia. Osasyynä runkolukusarjojen eroihin saattaa olla myös VMI:n ensiharvennuskohteiden luokitus.

Ensiharvennusmänniköiden rakennetta kuvattiin todennäköisyysjakaumien avulla. Luontaisesti syntyneiden ja istutettujen männiköiden läpimittajakaumat poikkesivat toisistaan. Istutetuissa puustoissa jakauma oli hieman suppeampi kuin luontaisesti syntyneissä. Pieniläpimittaisten puiden osuus oli luontaisesti syntyneissä metsiköissä suurempi kuin istutetuissa metsiköissä. Myös paksuimmat puut löytyivät luontaisesti syntyneistä metsiköistä.

Koealoilta mitatut poistumat jaettiin aines- ja energiapuuhun erilaisilla pölkytysvaihtoehdoilla. Keskimääräinen kokonaispoistuma oli 116 m³ ja 3474 runkoa/ha (poistuma sisälsi kaikki yli 1,3 metriä pitkät kokopuut). Suuret poistumat johtuivat koealojen puustoisuudesta ja voimakkaasta, ajourat sisältäneestä laatuharvennuksen mallileimauksesta. Käytettäessä 5 cm:n ainespuun minimiläpimittavaatimusta 75 % kokonaispoistumasta täytti ainespuun mitat. Läpimittavaatimuksen ollessa 15 cm ainespuuosuus oli 10 %. Kun ajouraväli oli 20 metriä ja ajouraleveys SLU-menetelmällä 4,3 metriä, yli kolmannes poistumasta kertyi ajourilta. Nuoren metsän hoidon rahoitustuen ehdot täytti 41 % kohteista.

Leimikoiden tilakohtaisen keskittämisen sekä metsänomistajien yhteisleimikoiden vaikutusta korjattavissa olevaan energiapuun määrään ja metsähakkeen tuotantokustannuksiin selvitettiin Orimattilassa, jossa 3720 metsähehtaarin energiapuuvarojen hyödyntämistä tarkasteltiin kolmella leimikkovaihtoehdolla. Niissä korjattavat leimikot muodostuivat yksittäisistä korjuukuvioista, kunkin tilan korjuukuvioista ja useamman tilan korjuukuvioista muodostetuista yhteisleimikoista. Metsähakkeen tuotantoa vertailtiin tienvarsivarastohaketukseen sekä palsta- ja käyttöpaikkahaketukseen perustuvilla ketjuilla.

Seuraavan kymmenvuotiskauden energiapuupotentiaali alueella oli 82 100 m³, josta 63 % kertyi päätehakkualoilta, 21 % ensiharvennuksista, 12 % nuorten metsien hoidosta ja 4 % taimikonhoidosta. Korjuukelpoinen osuus energiapuupotentiaalista oli 38 000 m³

leimikoiden muodostuessa yksittäisistä kuvioista, 42 100—42 300 m³ leimikoiden muodostuessa tiloille muodostetuista kuvioista ja 42 400 m³ leimikoiden muodostuessa yhteistyöalueista.

Keskittämällä energiapuun korjuu kuviokohtaisista leimikoista tilakohtaisiin leimikoihin suurempi osa energiapuupotentiaalista tuli kannattavan korjuun piiriin. Pienpuun korjuussa keskittämisen edut olivat suuremmat kuin päätehakkuissa. Metsähakkeen hinta tuotantopaikalle toimitettuna oli yhteisleimikoissa välivarastohaketukseen perustuvalla tuotantoketjulla 6 % ja palsta- sekä käyttöpaikkahaketukseen perustuvalla tuotantoketjulla 4 % pienempi kuin kuvioleimikoissa. Välivarastohaketusketjun kustannussäästöt muodostuivat palsta- ja käyttöpaikkahaketusketjua suuremmiksi, koska siinä päästiin hyödyntämään hakkuutähteen ja pienpuun korjuun integrointia samalle välivarastolle.

Avainsanat: Puuenergia, korjuuolot, ensiharvennus, runkolukusarjat, aluesuunnitelmat

Toimittajan yhteystiedot: Matti Sirén, Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimuskeskus, PL 18, 01301 Vantaa, puhelin: 09-857 051, sähköposti: matti.siren@metla.fi

Julkaisija: Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimuskeskus

Hyväksynyt: tutkimusjohtaja Kari Mielikäinen 7.2.2002.

Tilaukset: Metsäntutkimuslaitos, kirjasto/julkaisumyynti, PL 18, 01301 Vantaa, puhelin: (09) 8570 5580, sähköposti: kirjasto@metla.fi, faksi (09) 8570 5582

Sirén, M. 2002 (edit.). Wood energy harvesting conditions in first thinnings and possibilities for their improvement. Finnish Forest Research Institute, Research Papers 837. 56 p. ISBN 951-40-1817-6. ISSN 0358-4283.

Harvesting conditions in first thinnings and possibilities for their improvement were studied in the project. Studies were carried out concerning technical thinning conditions, modeling first thinning pine stands, the structure of removals and the volume of energy trees. Possibilities for improving energy tree harvesting conditions were also examined. The structure of first thinning stands was studied from the district forestry plans of the Pohjois-Pohjanmaa and Keski-Suomi forestry centres. Stem frequency distribution series of first thinning pine stands were measured from sample plots and from the National Forest Inventory data (NFI) of Häme-Uusimaa, Etelä-Pohjanmaa and Keski-Suomi forestry centres. Technical harvesting conditions of the first thinnings were difficult. The average removal estimate of the district forestry plans was 23.3 m³/ha in Pohjois-Pohjanmaa and 33.9 m³/ha in Keski-Suomi. Removals on peatland were slightly lower than on mineral soils. Stem frequency distribution series from sample plots and the NFI differed, especially in the middle diameter classes, where sample plots gave higher stem numbers than the NFI. However, sample plots were measured in stands demanding urgent thinning, and those stands may have had a larger growing stock than average. Part of the differences can also be explained by the classification of first thinnings in the NFI.

The structure of first thinning pine stands was modeled using likelihood distributions. Stem frequency distribution series of naturally regenerated and planted stands differed clearly. The distribution of planted stands was slightly narrower than that of natural regenerated stands. The share of small dimension trees was larger in naturally regenerated stand, but the thickest trees were also found in these stands.

Removal estimates from sample plots were divided to timber and energy assortments using different bucking alternatives. The total average removal per hectare, including all whole trees higher than 1.3 metres, was 116 m³ and 3474 trees. The high removals were due to the high stand volume and strong quality marking, including strip roads. Seventy five percent of the removals fulfilled the minimum industrial requirement of 5 cm diameter. Ten percent exceeded a diameter of 15 cm. When the distance between strip roads was 20 metres and the strip road width 4.3 metres, more than one third of the removal came from strip roads. The conditions for funding silvicultural measures in young stands was fulfilled in 41 % of the stands.

The effect of the concentrated harvesting both within and between farms on the volume of harvestable energy wood and production costs was studied at Orimattila, where the utilisation of energy tree potential in an area of 3720 hectares was examined using three alternatives. In the first alternative, all stands were harvested separately. In the second alternative, stands of a single farm were harvested and in the third alternative, stands of nearby farms were harvested jointly. The cost of producing forest chips was compared with chipping on the landing and at the mill.

The energy tree potential of the next ten year period in the area was 82 100 m³, of which 63 % came from clear cuttings, 21 % from first thinnings, 12 % from precommercial thinnings and 4 % from cleaning operations. The harvestable share of this potential employing the first alternative was 38 000 m³, 42 100-42 300 m³ with the second alternative and 42 400 m³ with the third alternative.

With concentrations of stands, a larger share of the energy tree potential became harvestable. The advantages of concentrated harvesting were highest in thinnings. The cost of forest chips at the power plant was 6 % lower with chipping on landing and 4 % lower with chipping on site or mill with concentrated harvesting. With chipping at the landing, the advantages concentrated harvesting were high, as the harvesting of logging residues and small wood could be integrated.

Keywords: Wood energy, harvesting conditions, first thinnings, stem frequency distribution, district forestry plans

Correspondence: Matti Sirén, Finnish Forest Research Institute, Vantaa Research Centre, P.O.Box 18, FIN-01301 Vantaa, Finland, phone: +358 9 857 051, e-mail: matti.siren@metla.fi

Published and orders: Finnish Forest Research Institute, Vantaa Research Centre, Accepted for publishing by Kari Mielikäinen, Research Director 7.2.2002.

Distribution: The Finnish Forest Research Institute, Library, P.O. Box 18, FIN 01301 Vantaa, Finland, phone: +358 9 8570 5580, fax: 358 9 8570 5582, e-mail: library@metla.fi

Sisällys

Esipuhe	7
Ensiharvennusten korjuuolot <i>Matti Sirén, Vesa Tantt, Erno Mäntynen, Hannu Aaltio & Jouni Siipilehto</i>	9
1 Tutkimustehtävä	9
2 Tutkimusaineisto ja –menetelmä	9
2.1 Aluesuunnitelma-aineisto	9
2.2 Koealamittaukset	10
2.3 VMI-aineisto	13
3 Tutkimustulokset	13
3.1 Ensiharvennusleimikoiden rakenne Pohjois-Pohjanmaan ja Keski-Suomen metsäkeskusten alueella	13
3.2 Ensiharvennusmänniköiden runkolukusarjat	15
4 Tulosten tarkastelu	18
Lähteet	19
Ensiharvennusmänniköiden rakenteen mallintaminen <i>Jouni Siipilehto</i>	21
1 Johdanto	21
2 Tutkimusaineisto ja –menetelmä	21
3 Tutkimustulokset	23
3.1 Lämpimittajakauman ennustemalli	23
3.2 Mallin luotettavuus	24
Lähteet	25
Harvennuskertymän rakenne ja energiapuun määrä ensiharvennusmänniköissä <i>Vesa Tantt, Matti Sirén & Hannu Aaltio</i>	27
1 Tutkimustehtävä	27
2 Tutkimusaineisto ja –menetelmä	27
3 Tutkimustulokset	28
3.1 Aines- ja energiapuupoistumat	28
3.2 Poistuman jakautuminen leimikolla	31
3.3 Poistuman rakenne turvemailla	32
3.4 Nuoren metsän hoidon rahoitustukeen oikeutetut kohteet	33
4 Tulosten tarkastelu	35
Lähteet	36
Energiapuun korjuulojen parantamismahdollisuudet <i>Vesa Tantt, Matti Sirén, Hannu Aaltio & Kalle Kärhä</i>	37
1 Tutkimustehtävä	37
2 Tutkimusaineisto ja –menetelmät	38
2.1 Korjuulojen määrittäminen	38
2.2 Tuotantokustannusten laskenta	41
3 Tulokset	50
3.1 Energiapuupotentiaali ja korjuukelpoinen energiapuukertymä	50
3.2 Tuotantokustannukset	52
4 Tulosten tarkastelu	52
Lähteet	55

Esipuhe

Raportissa esitetään Tekesin rahoittaman Puuenergian teknologiaohjelman hankkeen “Ensiharvennusten korjuuolot, niiden vaikutus korjuumenetelmien kokonaistalouteen ja parantamismahdollisuudet” (PUUT-04) tulokset. Hankkeen tavoitteena oli selvittää ensiharvennusten korjuuteknisiä olosuhteita silmällä pitäen kuitu- ja energiapuun integrointia talteenottoa ja mahdollisuuksia korjuuolojen parantamiseksi.

Ensiharvennusten korjuuolaja selvitettiin koelamittauksin, aluesuunnitelmatiedoista ja VMI-tiedoista. Leimikkokeskitysten vaikutusta aines- ja energiapuun korjuuseen tutkittiin karttapohjaisten leimikkotietojen avulla. Tarkastelukohteina olivat Orimattilassa 3720 hehtaarin alueella seuraavien 5- ja 10-vuotiskausien aikana metsäsuunnitelmissa hakattaviksi ehdotetut leimikot.

Hanke toteutettiin Metsäntutkimuslaitoksen Vantaan tutkimuskeskuksessa 01.08.1999–30.06.2001. Vastuututkijana toimi MMT Matti Sirén. Tutkijoina olivat MMM Vesa Tantu, MMM Erno Mäntynen, MML Jouni Siipilehto ja MMT Kalle Kärhä sekä suunnittelija Hannu Aaltio.

Aluesuunnitelma-ajoista vastasivat MH Rauno Salminen Keski-Suomen metsäkeskuksesta ja Arja Koret Pohjois-Pohjanmaan metsäkeskuksesta, VMI-tiedoista puolestaan MMT Kari T. Korhonen ja MH Antti Ihalainen Metsäntutkimuslaitoksesta. Korjuuolojen koelamittaukset tekivät MTT Erkki Salo ja kenttämestari Veijo Salo, joita laatuharvennuksen mallileimauksessa opasti Vilho Pollari Metsämannuista. Energiapuun korjuukustannusten selvittämisessä auttoi Professori Antti Asikainen. Tutkimusjulkaisun ulkoasusta huolehtivat Maija Heino ja Essi Puranen.

Turvemaiden korjuuolojen osalta hanke liittyi Suometsien ekologisesti ja taloudellisesti kestävä kasvatus ja käyttö -tutkimusohjelmaan. Turvemaiden korjuuolojen selvitykseen saatiin rahoitusta Maa- ja Metsätalousministeriöltä.

Raportti sisältää tutkimushankkeen keskeiset tulokset. Tuloksia tullaan myöhemmin esittelemään myös tieteellisissä sarjoissa. Koelamittausten yhteydessä mitattiin myös ensiharvennumänniköiden teknistä laatua ja kuituominaisuuksia, joita koskevat tulokset tullaan esittämään omassa julkaisussaan.

Hankkeen johtoryhmään kuuluivat Professori Pentti Hakkila VTT Energiasta, MH Tage Fredriksson Metsätalouden kehittämiskeskus Tapiosta, korjuupäällikkö Risto Lilleberg Osuuskunta Metsäliitosta ja MH Ari Keskimölä Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksesta. Johtoryhmälle ja kaikille hankkeeseen osallistuneille haluan esittää parhaat kiitokseni.

Matti Sirén
Hankkeen vastuututkija

Ensiharvennusten korjuuolot

Matti Sirén, Vesa Tantt, Erno Mäntynen, Hannu Aaltio & Jouni Siipilehto

I Tutkimustehtävä

Leimikoiden korjuuolojen tuntemus on yksi keskeisistä tekijöistä verrattaessa korjuumenetelmiä ja niiden kustannuksia sekä arvioitaessa korjattavissa olevan raaka-aineen määrää. Bioenergian tutkimusohjelmassa Korpilahti ym. (1998) keräsivät tietoa ensiharvennusleimikoiden rakenteesta. Aineistona olivat Pohjois-Karjalan ja Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusten metsäsuunnitelmätiedot sekä samoilta alueilta tehdyt ympyräkoealamittaukset. Esiteltävässä hankkeessa ensiharvennuseimiköiden rakennetta koskevaa tietoutta haluttiin edelleen kartuttaa ja syventää sekä verrata eri tietolähteiden antamia tuloksia. Tutkimukselle asetettiin seuraavat tehtävät:

- Selvittää ensiharvennusleimikoiden rakenne Pohjois-Pohjanmaan ja Keski-Suomen metsäkeskusten alueilla.
- Selvittää ensiharvennuseimiköiden runkolukusarjat Häme-Uusimaan, Etelä-Pohjanmaan ja Keski-Suomen metsäkeskusten alueilla.
- Verrata eri tietolähteiden leimikoiden rakenteesta antamia tuloksia.

2 Tutkimusaineisto ja –menetelmä

Tutkimusaineisto koostui kolmesta osasta. Pohjois-Pohjanmaan ja Keski-Suomen metsäkeskusten toimittamista aluesuunnitelmätiedoista laskettiin ensiharvennusleimiköiden puuston tilavuudet, kertymät ja kuvioiden koot. Häme-Uusimaan, Etelä-Pohjanmaan ja Keski-Suomen metsäkeskusten alueilla tehdyistä koealamittauksista selvitettiin ensiharvennuseimiköiden runkolukusarjoja ja kertymän rakennetta. Koealamittauksista laskettujen runkolukusarjojen vertailuksi laskettiin samojen alueiden VMI-tietoihin perustuvat runkolukusarjat.

2.1 Aluesuunnitelma-aineisto

Pohjois-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueella aluesuunnitelmien pinta-ala oli 838 340 ha ja Keski-Suomen metsäkeskuksen alueella 729 937 ha. Aluesuunnitelmat kattoivat 73 % Pohjois-Pohjanmaan ja 61 % Keski-Suomen metsämaan pinta-alasta. Aluesuunnitelmätiedoista poimittujen ensiharvennuseimiköiden lukumäärät ja pinta-alat on esitetty taulukossa 1.

Pohjois-Pohjanmaalla turvemaiden osuus oli hakkuun kiireellisyysluokassa 0–5 vuotta 53,7 % ja kiireellisyysluokassa 5–10 vuotta 46,9 %. Keski-Suomessa turvemaiden osuus oli kiireellisyysluokassa 0–5 vuotta 23,3 % ja kiireellisyysluokassa 5–10 vuotta 16,4 %. Aineiston jakautuminen puulajivaltaisuuksittain esitetään taulukossa 2.

Taulukko 1. Pohjois-Pohjanmaan ja Keski-Suomen metsäkeskusten aluesuunnitelmätiedoista poimitujen ensiharvennuskuvioiden lukumäärät ja pinta-alat.

	Hakuun kiireellisyys, vuotta	Kuvioiden lukumäärä, kpl	Pinta-ala, ha
Pohjois-Pohjanmaa	0 – 5	32 177	45 474
	6 – 10	19 914	34 118
Keski-Suomi	0 – 5	39 220	57 318
	6 – 10	40 586	67 123
Koko aineisto yhteensä	0 – 10	131 897	204 033

Taulukko 2. Ensiharvennusten puulajivaltaisuus Pohjois-Pohjanmaan ja Keski-Suomen turve- ja kivennäismailla.

Metsäkeskus Kiireellisyys	Pohjois-Pohjanmaa		Keski-Suomi	
	0–5 vuotta Osuus pinta-alasta, %	6–10 vuotta	0–5 vuotta Osuus pinta-alasta, %	6–10 vuotta
Turvemaat				
Mäntyvaltaiset	61,7	81,1	61,3	67,9
Kuusivaltaiset	4,8	3,5	13,4	14,5
Lehtipuuvaltaiset	33,5	15,4	25,3	17,6
Yhteensä	100,0	100,0	100,0	100,0
Kivennäismaat				
Mäntyvaltaiset	79,5	84,7	58,4	70,2
Kuusivaltaiset	10,5	8,4	25,7	25,2
Lehtipuuvaltaiset	10,0	6,9	15,9	4,6
Yhteensä	100,0	100,0	100,0	100,0

2.2 Koealamittaukset

Ensiharvennusten koealamittaukset tehtiin syksyn 1999 ja syksyn 2000 välisenä aikana Häme-Uusimaan (Hyvinkää, Nurmijärvi, Loppi, Tuusula, Mäntsälä Kerava), Etelä-Pohjanmaan (Jalasjärvi, Kauhajoki) ja Keski-Suomen metsäkeskusten (Hankasalmi, Jämsä, Jämsänkoski, Laukaa) alueilla. Yhteensä 66 mitatun metsikön otantakehikko muodostui metsäsuunnitelmätiedoissa kiireellisesti ensiharvennettaviksi merkityistä pääpuulajiltaan mäntyä olevista kivennäismaa- ja rämekuvioista, joissa ei oltu tehty hakkuun ennakkoraivausta. Mitattavat leimikot valittiin arpomalla paikallisilta metsänhoitoyhdistyksiltä ja metsäkeskuksilta saaduista kohteista. Mitattavaksi valittu kohde hylättiin maastokäynnin yhteydessä, jos männyn osuus puustosta oli alle 70 % tai jos ensiharvennukselle ei ollut metsänhoidollisia perusteita. Metsiköistä selvitettiin perustamistapa ja taimikonhoitohistoria. Taulukossa 3 esitetään eri metsäkeskusten alueilta mitattujen koealojen lukumäärä mittaussositeittain.

Kultakin kohteelta mitattiin yksi 10 metriä pitkä ja 20 metriä leveä koeala (kuva 1). Koeala sijoitettiin kuvion puustoa hyvin edustavaan kohtaan selvästi kuvion sisälle. Turvemailla koealat sijoitettiin siten, että suorakaiteen muotoisen koealan kapea pää oli ojan

Taulukko 3. Koealamittausaineiston jakautuminen metsikön perustamistavan (istutus, kylvö, luontainen) ja taimikonhoitohistorian (taimikonhoito tehty, taimikonhoitoa ei tehty) mukaan. Turvemaakohteet vastasivat ravinteisuudeltaan kivennäismaiden VT-tyyppiä.

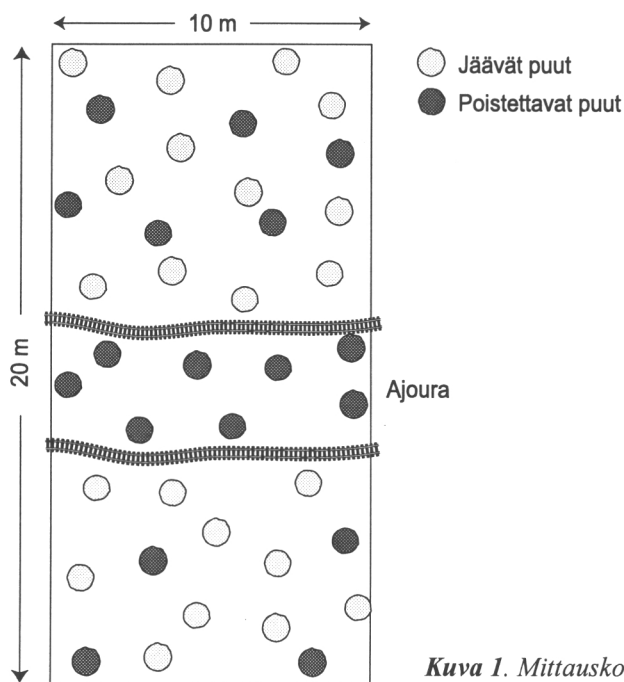
	Häme-Uusimaa						Yht.
	Istutus		Kylvö		Luontainen		
	Hoi- dettu	Hoita- maton	Hoi- dettu	Hoita- maton	Hoi- dettu	Hoita- maton	
Kivennäismaa							
MT	5	4	-	2	-	-	11
VT	1	1	-	1	5	5	13
Turvemaa							
VT	-	-	-	-	1	-	1
Yhteensä	6	5	-	3	6	5	25
	Keski-Suomi						
	Istutus		Kylvö		Luontainen		Yht.
	Hoi- dettu	Hoita- maton	Hoi- dettu	Hoita- maton	Hoi- dettu	Hoita- maton	
Kivennäismaa							
MT	-	1	-	-	1	-	2
VT	3	2	2	2	2	-	11
Yhteensä	3	3	2	2	3	-	13
	Etelä-Pohjanmaa						
	Istutus		Kylvö		Luontainen		Yht.
	Hoi- dettu	Hoita- maton	Hoi- dettu	Hoita- maton	Hoi- dettu	Hoita- maton	
Kivennäismaa							
MT	1	1	-	1	-	-	3
VT	1	1	1	1	3	4	11
Turvemaa							
VT	1	-	-	-	2	11	14
Yhteensä	3	2	1	2	5	15	28

laidassa, josta koeala lähti saralle päin.

Koealan keskelle rajattiin ohjelevydeltaan neljän metrin ajoura. Ajouraleveys mitattiin SLU-menetelmällä (Björheden & Fröding 1986). Ajouran ulkopuoliselle alueelle tehtiin kasvatettavien puiden lukumäärään ja rinnankorkeusläpimittaan perustuva voimakas laatuharvennuksen mallileimaus. Käytetyn laatuharvennuksen voimakkuus verrattuna Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion harvennussalleihin (Hyvän... 2001) esitetään taulukossa 4. Tapion mallin runkoluku johdettiin pohjapinta-alasta ja keskiläpimitasta kaavalla 1.

$$N = \frac{4G}{\pi d g_M^2}, \quad [1]$$

jossa $d g_M$ on pohjapinta-alapainotteinen mediaaniläpimitta (cm).



Kuva 1. Mittauskoeala.

Taulukko 4. Laatuharvennukseen perustuva mallileimaus verrattuna Tapion harvennusmallien (Hyvän...2001) mukaiseen männikön harvennusohjeeseen.

Rinnankorkeusläpimitta		13 cm	15 cm	17 cm	19 cm
Valtapiuus, noin		13 m	14 m	15 m	16 m
		Kasvamaan jätettäviä puita/ha			
Mallileimaus	MT, VT	950	850	750	650
Tapion malli	MT	1150–1370	900–1100	730–860	600–720
	VT	1070–1300	850–1010	690–810	560–670

Ensiharvennuksen voimakkuuden ja ajankohdan määräävät ensisijaisesti metsänhoidolliset kriteerit (Hynynen ym. 1999). Ajankohta riippuu puuston kasvatustiheydestä. Männikön ensiharvennus pitäisi tehdä, kun puiden alaoksat ovat kuolleet tyvitukin pituudelta, mutta latvukset eivät ole vielä supistuneet liiaksi. Tavoitteena on hoitaa taimikot siten, että ensiharvennus tehdään vasta 13–15 metrin valtapiuudessa, mutta kuitenkin viimeistään silloin, kun kasvatettavien puiden elävät latvukset ovat männikössä vielä 40 prosenttia puiden pituudesta. Metsiköissä, joissa taimikonhoito on tehty aikanaan, harvennusvoimakkuutta ohjataan pohjapinta-alaan ja runkolukuun perustuvilla harvennusmalleilla. Lumi- ja tuulituhojen estämiseksi suositellaan poistettavaksi kerrallaan kuitenkin enintään kolmasosa puuston tilavuudesta (Hyvän... 2001). Puuston kasvu alenee tilapäisesti harvennuksen seurauksena sitä enemmän mitä voimakkaammin puustoa harvennetaan (Hynynen ym. 1999).

Koealan puut jaettiin seuraaviin luokkiin:

1. poistettava puu palstalta
2. kasvatettava puu palstalta
3. ajourapuu, joka ilman ajouraa olisi kasvatettava
4. ajourapuu, joka ilman ajouraakin olisi poistettava
5. ajourapuu, joka alle ainespuumitan
6. ajouran ulkopuolella oleva yli 1,3 metrin pituinen mutta alle ainespuumitan oleva puu

Pituudeltaan 0,5–1,3 metrin puiden lukumäärä laskettiin. Pituudeltaan 1,3 metrin mutta alle ainespuumitan olleista puista mitattiin rinnankorkeusläpimitta ja kirjattiin puulaji. Ainespuumitan täyttäneistä puista mitattiin rinnankorkeusläpimitta, läpimitta 4,5 metrin korkeudelta, puun pituus, elävän latvuksen alkamiskorkeus sekä joukko puiden teknistä laatua kuvaavia tunnuksia.

Koealoilta mitattiin yhteensä 10 441 puuta, joista 5721 oli yli 1,3 metriä pitkiä ja 4723 pituudeltaan 0,5–1,3 metriä. Mittausleimikoista määritettiin kasvupaikka, pohjapinta-ala ennen ja jälkeen harvennuksen sekä kairaamalla ikä kuudesta poistettavasta puusta.

2.3 VMI-aineisto

Valtakunnan metsien 9. inventoinnin (VMI9) aineistosta laskettiin runkolukusarjat männiköistä, joihin oli ehdotettu ensiharvennus tulevan viisivuotiskauden aikana. VMI-tulokset laskettiin Häme-Uusimaan, Etelä-Pohjanmaan ja Keski-Suomen metsäkeskusten alueille. VMI9:n aineiston keruu, mitattavat muuttujat ja tuloslaskennan periaatteet on kuvattu inventoinnin maastotyön ohjeissa ja tulosjulkaisuissa (esim. Korhonen ym. 2000).

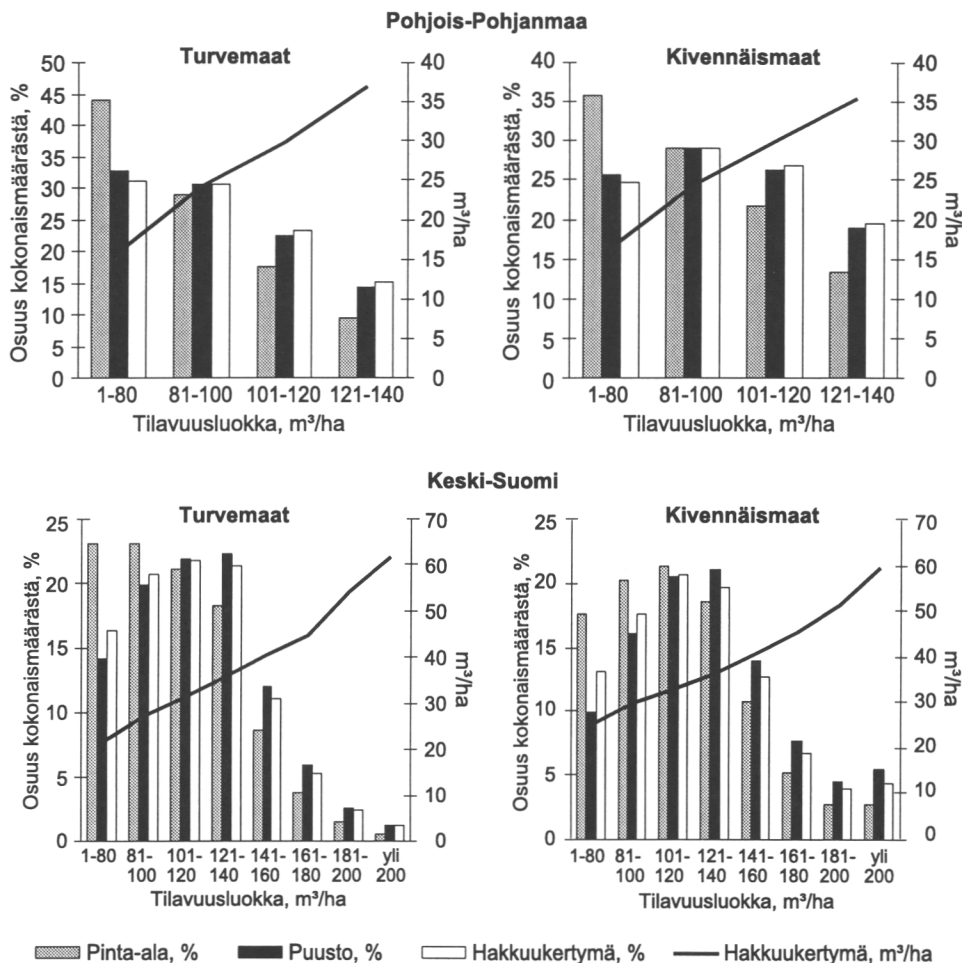
VMI-koealat sijaitsevat systemaattisen otannan määräämissä koordinaattipisteissä. Jokaisella koealalla täytetään ns. kuviorivi, joka kuvaa koealan sijaintimetsikön. Koealaan kuuluvat puut valitaan relaskoopilla. Laskenta-aineisto sisälsi Häme-Uusimaalta 115, Etelä-Pohjanmaalta 260 ja Keski-Suomesta 232 koealaa.

3 Tutkimustulokset

3.1 Ensiharvennusleimikoiden rakenne Pohjois-Pohjanmaan ja Keski-Suomen metsäkeskusten alueella

Ensiharvennusleimikoiden jakautuminen puuston tilavuusluokkiin (m^3/ha) pinta-alan, puuston ja hakkuukertymän suhteen sekä hehtaarikohtaiset kertymät tilavuusluokittain metsäkeskuksittain jaoteltuna turve- ja kivennäismaihin on esitetty kuvassa 2. Kuvassa esitetyt tiedot on laskettu hakkuun kiireellisyysluokkaa 0–5 vuotta edustaneista kuvioista.

Puulajin vaikutusta kertymään ja puuston tilavuuteen selvitettiin laskemalla kertymän ja tilavuuden keskiarvot kiireellisyysluokkaan 0–5 vuotta kuuluville kuvioille (taulukko 5). TASO-metsäsuunnittelujärjestelmässä pääpuulaji määritetään puulajiksi, jonka hyväksi toimenpiteet tehdään tai jonka osuus metsikön puuntuotoksesta ja runkotilavuudesta on suurin (Kinnunen ym. 1993)



Kuva 2. Tulevalle viisivuotiskaudelle ehdotettujen ensiharvennusten jakautuminen tilavuusluokkiin (m³/ha) pinta-alan, puuston ja hakkuukertymän suhteen sekä hehtaarikohtaiset kertymäarviot tilavuusluokittain Pohjois-Pohjanmaan ja Keski-Suomen metsäkeskusten alueilla.

Kuvioiden koon laskennassa olivat mukana kaikki käsittelykuviot kiireellisyyteen katsomatta. Pohjois-Pohjanmaalla kuvioiden keskikoko oli turvemailla 1,6 ha ja kivennäismailla 1,4 ha. Keski-Suomen turve- ja kivennäismailla kuvioiden keskikoko oli 1,6 ha. Kuvioiden keskikoot olivat taulukon 6 mukaiset.

Alle hehtaarin kokoisten kuvioiden osuus ensiharvennusten kokonaispinta-alasta oli samaa suuruusluokkaa kuin yli 5 ha:n kuvioiden osuus. Kokoluokan osuus kuvioiden lukumäärästä kuvaa leimikoiden kokojakamaa ehkä pinta-alaosuutta paremmin. Ensiharvennuskuvioiden kokoluokkien osuudet kokonaispinta-alasta ja kuvioiden lukumäärästä kivennäismailla ja turvemailla esitetään kuvassa 3.

Keskimääräisen ensiharvennuskuvion kokonaiskertymä Pohjois-Pohjanmaalla oli 35,8 m³ ja Keski-Suomessa 52,8 m³. Nämä kertymät ovat puun korjuun kannalta alhaisia ja edellytykset kustannustehokkaaseen puunkorjuuseen ilman leimikkokeskityksiä ovat huonot.

Taulukko 5. Tulevan viisivuotiskauden ensiharvennusten kertymäärviot ja puuston tilavuudet Pohjois-Pohjanmaalla ja Keski-Suomessa.

	Pohjois-Pohjanmaa		Keski-Suomi	
	Kertymä m ³ /ha	Tilavuus m ³ /ha	Kertymä m ³ /ha	Tilavuus m ³ /ha
Turvemaat				
Mänty	22,5	84,6	29,3	105,7
Kuusi	25,6	91,7	31,9	117,7
Lehtipuu	22,3	84,6	34,0	109,6
Kaikki puulajit	22,6	85,9	31,1	108,7
Kivennäismaat				
Mänty	24,1	91,4	33,8	112,8
Kuusi	24,9	96,3	36,5	130,0
Lehtipuu	23,3	91,7	35,5	110,5
Kaikki puulajit	24,0	91,9	34,7	116,7
Metsämaa				
Kaikki puulajit	23,3	88,9	33,9	114,8

Taulukko 6. Kuvioiden keskikoot alueittain, kasvupaikoittain ja puulajivaltaisuuksittain.

	Männiköt	Kuusikot	Koivikot	Kaikki
	Pinta-ala keskimäärin, ha			
Pohjois-Pohjanmaa				
Turvemaat	1,7	1,6	1,4	1,6
Kivennäismaat	1,5	1,5	1,2	1,4
Keski-Suomi				
Turvemaat	1,8	1,4	1,3	1,6
Kivennäismaat	1,7	1,3	1,0	1,6

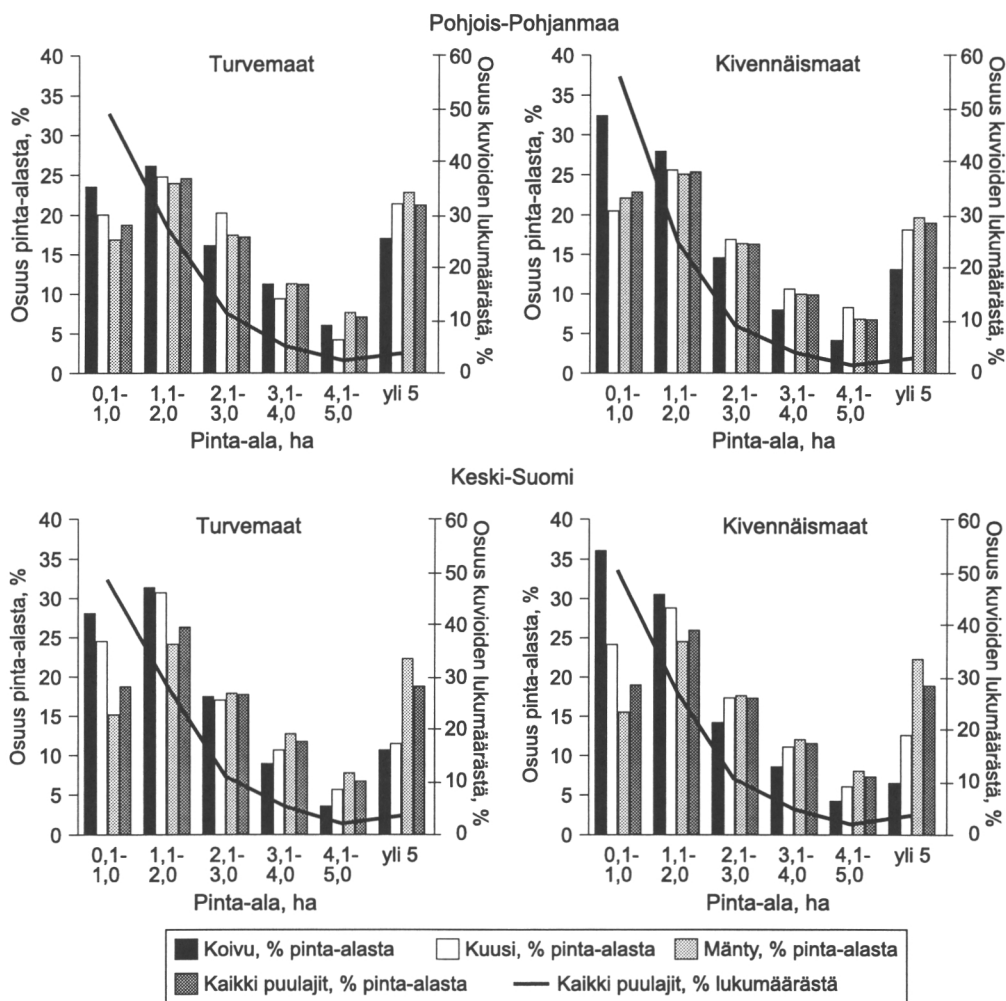
3.2 Ensiharvennusmänniköiden runkolukusarjat

Ensiharvennusmänniköiden keskimääräiset runkoluvut ja runkolukusarjat laskettiin koelamittausten ja VMI-tietojen perusteella. Taulukossa 7 esitetään rinnankorkeusläpimitaltaan 3,0 cm:n ja sitä suurempien puiden keskimääräiset runkoluvut ja kuvassa 4 runkolukujakaumat Häme-Uusimaan, Etelä-Pohjanmaan ja Keski-Suomen alueille. Turvemaiden runkolukusarjat laskettiin ainoastaan Etelä-Pohjanmaan alueelle.

Ensiharvennusleimikoiden aines- ja energiapuuksi kelpaamattomien alikasvospuiden tilavuuskertymä on pieni, vaikka niitä lukumäärällisesti onkin paljon. Alikasvos heikentää näkyvyyttä ja vaikeuttaa hakkuuta. Koaloilla rinnankorkeusläpimitaltaan alle 3 cm:n puita oli keskimäärin 3601 puuta/ha. Pituudeltaan alle puolen metrin puut eivät ole lukumäärässä mukana. Istuttamalla perustetuissa metsiköissä alikasvopuita oli keskimäärin 6893 puuta/ha, kylvämällä perustetuissa 1616 puuta/ha ja luontaisesti uudistetuissa 2055 puuta/ha. Kohteilla, joilla oli tehty taimikonhoito, alikasvosta oli selvästi enemmän (4287 puuta/ha), kuin kohteilla joilla taimikonhoito oli jäänyt tekemättä (3063 puuta/ha). Ero johtui ensisijaisesti vesasyntyisten lehtipuiden määrästä, joka hoidetuissa kohteissa oli 1118 puuta/ha hoitamattomia kohteita suurempi. Kivennäis- ja turvemaiden alikasvospuuston määrä on kasvupaikan ravinteisuuden ja puulajin mukaan esitettyinä taulukossa 8.

Taulukko 7. Koealoilta mitatut ja VMI-aineistoista lasketut ensiharvennusmänniköiden keskimääräiset runkoluvut. Runkoluvuissa mukana rinnankorkeusläpimitaltaan 3,0 cm ja sitä suuremmat puut.

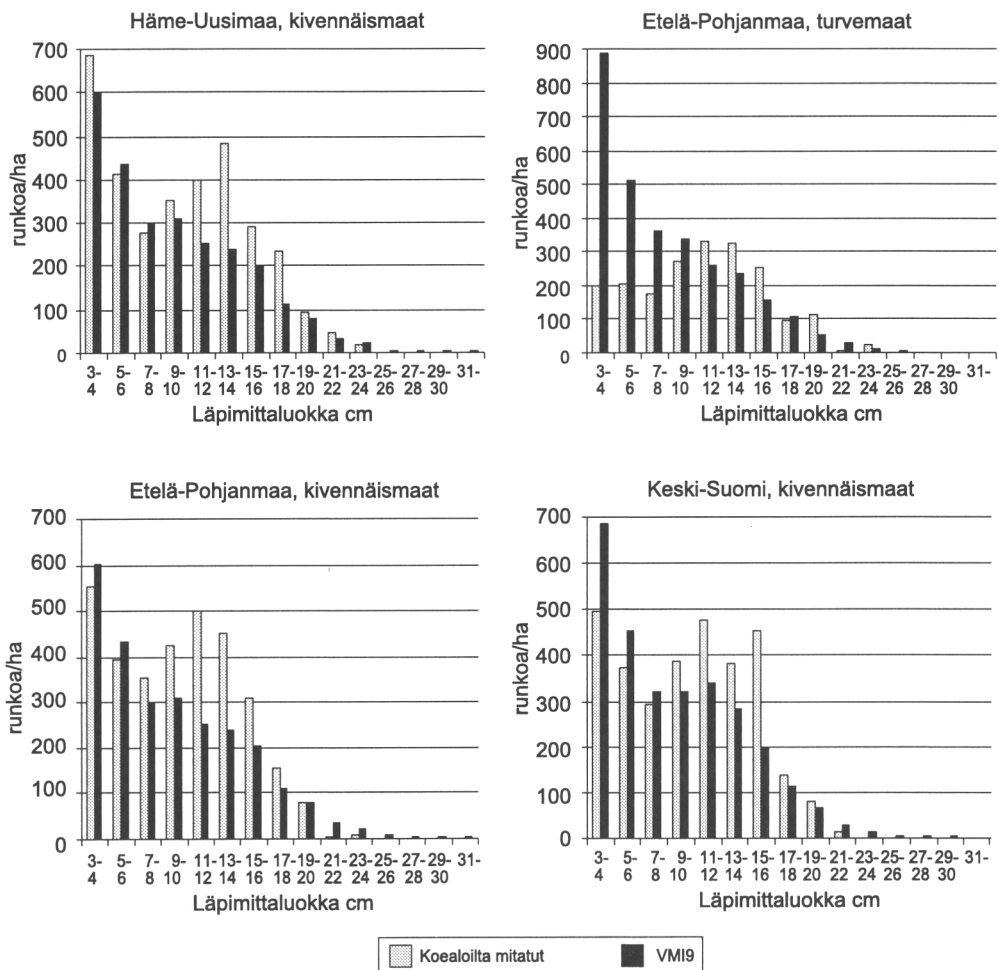
	Koealoilta mitatut Puuta/ha	VMI9
Häme-Uusimaa, kivennäismaat	3202	2609
Etelä-Pohjanmaa, turvemaat	2962	2009
Etelä-Pohjanmaa, kivennäismaat	2609	3246
Keski-Suomi, kivennäismaat	2842	3098



Kuva 3. Eri kokoisten kuvioiden suhteelliset osuudet ensiharvennuspinta-alasta sekä kuvioiden lukumäärästä. Pinta-alaosuudet esitettyinä myös metsikön pääpuulajeittain.

Taulukko 8. Rinnankorkeuslähpimitaltaan alle 3,0 cm:n mutta pituudeltaan yli 0,5 metrin alikasvoksen määrä kivennäis- ja turvemailla puulajeittain.

	Mänty	Kuusi	MT		VT ja vastaavat suot			
			Lehti-puu	Kaikki puulajit	Mänty	Kuusi	Lehti-puu	Kaikki puulajit
	Puuta/ha							
Kivennäismaat	30	1903	3513	5446	122	1093	1597	2812
Turvemaat					125	245	3105	3475



Kuva 4. Koealoilta mitatut ja VMI-aineistoista lasketut ensiharvennuskäntien runkoluksarjat.

4 Tulosten tarkastelu

Pohjois-Pohjanmaan ja Keski-Suomen metsäkeskusten aluesuunnitelmien perusteella ensiharvennusleimikoiden korjuuolot ovat vaikeat. Aluesuunnitelmien keskimääräinen kertymäärä Pohjois-Pohjanmaalla oli keskimäärin 23,3 m³/ha ja Keski-Suomessa 33,9 m³/ha. Turvemaiden kertymät olivat hieman pienemmät kuin kivennäismailla. Pohjois-Pohjanmaan turvemaiden lähes 45 % pinta-alasta ja lähes kolmannes hakkuukertymästä kuului tilavuusluokkaan alle 80 m³/ha, jossa keskimääräinen hehtaarikertymä on vain hieman yli 20 m³. Ylimartimo ym. (2001) vertaili turvemaiden ensiharvennusten korjuukelpoisuutta Pohjois-Savossa ja käytti 35 m³:n ainespuun hehtaarikertymää rajana korjuukelpoisuudelle. Pohjois-Pohjanmaan turvemaiden ensiharvennusten pinta-alasta alle 30 % täyttäisi tämän mukaan korjuukelpoisuuden kriteerit. Keski-Suomessa ensiharvennusleimikoiden korjuuolot olivat paremmat kuin Pohjois-Pohjanmaalla. Keski-Suomen kivennäismaillakin kuitenkin reilusti yli puolet pinta-alasta jäi alle 35 m³:n hehtaarikertymän.

Korpilahti ym. (1998) laskivat tilavuus- ja kertymätietoja Pohjois-Karjalan ja Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusten yksityismetsistä. Pohjois-Karjalassa tilavuusluokassa alle 80 m³/ha kertymä männiköissä oli keskimäärin 23 m³ hehtaarilla ja tilavuusluokan osuus männiköiden pinta-alasta oli lähes 20 %. Pohjois-Karjalan mäntyvaltaiset ensiharvennusleimikot jakautuivat tilavuusluokkiin samansuuntaisesti kuin Keski-Suomen kivennäismaiden ensiharvennusleimikot.

Etelä-Pohjanmaalla pienten tilavuusluokkien osuudet olivat suuremmat kuin Pohjois-Karjalassa (Korpilahti ym. 1998). Hehtaarikertymät Etelä-Pohjanmaalla olivat pienimpiä tilavuusluokkia lukuun ottamatta noin 20 % pienemmät kuin Pohjois-Karjalassa. Etelä-Pohjanmaan kertymät olivat kuitenkin hieman suuremmat kuin käsillä olevassa tutkimuksessa lasketut kertymät Pohjois-Pohjanmaalla.

Kuvioiden keskikoko turvemaiden oli hieman suurempi kuin kivennäismailla. Pinta-alaltaan alle hehtaarin kuvioita oli noin kolmannes kokonaismäärästä ja noin viidennes pinta-alasta. Yli 5 hehtaarin kuvioita oli eniten Pohjois-Pohjanmaan turvemaamänniköissä.

Koaloilta mitatut ja VMI-tiedoista lasketut runkolukusarjat erosivat selvästi toisistaan. Runkolukusarjat erosivat erityisesti runkolukusarjan keskimmaisissa läpimittaluokissa, joissa koaloilta mitatut runkoluvut olivat suuremmat kuin VMI:stä lasketut. Tietolähteiden erot voivat johtua useista syistä.

VMI-tulos perustuu relaskoopimittaukseen, joka antaa tarkan tuloksen suurilla puilla. Pienten puiden lukumäärän arviointi VMI-tiedoista on epätarkkaa. Relaskoopin käyttö ei kuitenkaan selitä VMI-runkolukusarjan keskellä olevaa eroa koalamittauksiin. Korhosen (2001, suull.) mukaan yksi syy eroihin saattaa olla VMI:n luokituksissa. VMI:ssä kaikkia ensimmäisiä harvennuksia ei luokitella ensiharvennuksiksi, vaan ainoastaan kohteet, joiden puusto katsotaan ensiharvennuspuustoksi. Esimerkiksi myöhään tehdyn taimikonhoidon takia pientä puustoa voi olla vähän, ja kohde kirjataan muuksi harvennukseksi. Tällaiset metsiköt eivät ole mukana VMI:n ensiharvennuskohteissa.

Koalamittauksen otantakehikkona olivat todelliset, korjuuta odottavat kiireelliset ensiharvennusleimikot. Arvonnassa mitattaviksi tulleet kohteet jätettiin mittaamatta, jos niillä ei katsottu olevan välitöntä harvennustarvetta. Hakattavaksi tarjottavat leimikot saattavat olla hieman keskimääräistä parempia. Mitattujen koalojen on kuitenkin katsottava edustavan niitä ensiharvennusleimikoita, joita tarkastelualueiden korjuuseen oli tarjolla.

Vastaavia eroja tietolähteiden välillä totesivat Korpilahti ym. (1998) verratessaan alue-suunnitelmista ja ympyräkoealoilta mitattuja kertymiä Pohjois-Karjalassa. Kun aluesuunnitelmissa tilavuusluokittaiset kertymäärviot vaihtelivat välillä 23–74 m³/ha ollen koivulla suuremmat kuin männyllä, männiköiden koealoilta leimatut kertymät olivat 40–70 m³/ha.

Lähteet:

- Björheden, R. & Fröding, A. 1986. Ny rutin för gallringsuppföljning. In: Tänk till gallringsfrågan. Sveriges lantbruksuniversitet. Institutionen för skogsteknik. Uppsatser och Resultat 52:71–76.
- Hynynen, J. Arola, M. 1999. Ensiharvennusajankohdan vaikutus hoidetun männikön kehitykseen ja harvennuksen voimakkuuteen. Metsätieteen aikakauskirja 1:5–23.
- Hyvän metsänhoidon suositukset. 2001. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. 95 s.
- Kinnunen, S. & Ärölä, E. (toim.). TASO-maastotyöopas. 1993. Metsäkeskus Tapio. 50 s.
- Korhonen, K.T., Tomppo, E., Henttonen, H., Ihalainen, A., & Tonteri, T. 2000. Hämeen-Uudenmaan metsäkeskuksen alueen metsävarat 1965-99. Metsätieteen aikakauskirja 3B: 489–566.
- Korpilahti, A., Varhimo, A., Backman, M. & Rieppo, K. 1998. Karsimattoman puun korjuu ensiharvennuksilta. Bioenergian tutkimusohjelma – Puupolttoaineen tuotantotekniikka – Projekti 137. Loppuraportti 33 s.
- Ylimartimo, M., Harstela, P., Korhonen, K.T. & Sirén, M. 2001. Ensiharvennuskohteiden korjuukelpoisuus ojitetuilla turvemaidilla. Metsätieteen aikakauskirja 2:253–263.
- Korhonen, K. T. 2001. Suullinen tieto.

Ensiharvennusmänniköiden rakenteen mallintaminen

Jouni Siipilehto

I Johdanto

Jakaumafunktiolla on puuston rakennetta kuvattu Suomessa 1980-luvun alusta lähtien (Päivinen 1980). Tutkimus tällä saralla on viime vuosina vilkastunut Suomessa (esim. Maltamo 1997, Siipilehto 1999). Uusien jakaumamallien rinnalle on tullut jakaumafunktiosta vapaa prosenttiosuusmalli (Kangas ja Maltamo 2000, Maltamo ym. 2000) ja ei-parametrinen lähinaapurimenetelmä, jossa tietokannasta haetaan kohdemetsikön puustotunnuksia vastaavia koealoja läpimittajakauman muodostamiseksi (Haara ym. 1997). Lisäksi Kangas ja Maltamo (1999) ovat esittäneet menetelmän, jossa ennustettu jakauma kalibroidaan vastaamaan mitattuja puustotunnuksia.

Ensiharvennusmänniköiden rakenteen yleistettävyyden parantamiseksi koealamittausaineistoa käytettiin puuston kokojakauman mallintamiseen. Läpimittajakauma kuvattiin todennäköisyysjakauman avulla. Laaditulla mallilla voidaan ennustaa ensiharvennusmännikön kokorakenne, kun tarvittavat metsätalouskuvion puustotiedot tunnetaan. Yksityismetsien metsäsuunnittelussa, SOLMU-suunnittelusysteemissä, puuston pohjapinta-ala ja runkoluku ovat keskenään vaihtoehtoisia tunnuksia (Solmun ...1997). Tässä tutkimuksessa sekä pohjapinta-ala että runkoluku oletettiin tunnetuksi, jotta jakaumien muodon laaja vaihtelu saatiin paremmin ennustetuksi (Siipilehto 1999).

2 Tutkimusaineisto ja -menetelmä

Tutkimusaineisto ja sen keruu on esitelty käsillä olevan julkaisun sivuilla 10–13. Jakaumien ennustamiseksi tarvittavien puustotunnusten vaihtelu tässä aineistossa on esitetty taulukossa 1. Pohjapinta-alapainotteinen mediaaniläpimitta (d_{gM}), pohjapinta-ala (G) ja runkoluku (N) laskettiin mäntypuuston osalta. Puuston kokonaispohjapinta-ala (G_{tot}) ja

Taulukko 1. Männyn keskimääräiset puustotunnukset (d_{gM} , G ja N) vaihteluvälineen ja sekapuuston sisältävät kokonaispohjapinta-ala (G_{tot}) sekä kokonaisrunkoluku (N_{tot}).

Puustotunnus	Keskiarvo	Minimi	Maksimi
d_{gM} , cm	14,2	10,8	18,7
G, m ² ha ⁻¹	27,6	16,9	38,9
N, kpl ha ⁻¹	2640	1250	4850
G _{tot} , m ² ha ⁻¹	31,0	22,0	42,0
N _{tot} , kpl ha ⁻¹	4327	1350	8550

–runkoluku (Ntot) sisältävät männyn lisäksi koealan sekapuuston. Sekapuusto koostui lähinnä kuusesta ja koivusta. Se oli pääasiassa alikasvosta, mikä on todettavissa pohjapinta-alan vähäisestä kasvusta samalla, kun runkoluku kasvoi merkittävästi (taulukko 1).

Läpimittajakauma kuvattiin Johnsonin S_B -funktiolla, joka perustuu normaalijakauman muunnokseen (Johnson 1949). Sen on todettu olevan joustavin parametrinen jakauma (Hafley ja Schreuder 1977) ja sitä on aikaisemmin hyödynnetty mänty-koivu ja kuusi-koivusekapuustojen kuvauksessa (Siipilehto 1999). S_B -funktio on muotoa

$$f(d) = \frac{\delta}{\sqrt{2\pi}} \frac{\lambda}{(d)(\lambda - d)} \exp(-0,5z^2) \quad [1]$$

jossa $z = \gamma + \delta \ln\left[\frac{d}{\lambda - d}\right]$, γ ja δ määrittävät jakauman vinouden ja huipukkuuden,

λ on jakauman maksimi ja d on puun läpimitta.

Jakaumat sovitettiin maximum likelihood -menetelmällä (Schreuder ja Hafley 1977) pohjapinta-alan läpimittajakaumina (Siipilehto 1999).

S_B -jakauman muodon ennustamiseksi haettiin sopivia puustotunnusten yhdistelmiä. Tunnuksessa ψ mitattua pohjapinta-alaa (G) verrattiin laskennalliseen pohjapinta-alaan, joka saatiin mediaanipuun pohjapinta-alan (g_M) ja runkoluvun (N) tulona. Tämä tunnus on parantanut erityisesti S_B -jakauman ennusteen luotettavuutta (Siipilehto 1999). Tässä aineistossa tämä pohjapinta-alojen suhteena laskettu muototunnus ψ oli keskimäärin 0,70 ja vaihteli välillä 0,43–0,96.

$$\psi = \frac{G}{g_M N} \quad [2]$$

Jakauman parametreille laadittiin ennusteyhtälöt puustotunnusten funktioina. Koska jakaumaparametrit olivat keskenään korreloituneet, estimoitiin lopulliset ennusteyhtälöt samanaikaisesti SUR-mallilla (seemingly unrelated regression) (ks. Kangas ja Maltamo 2000) käyttäen SAS-ohjelmistoa (SAS 1993). Perinteisten puustotunnusten lisäksi keikeltiin selittäjinä erilaisia luokkamuuttujia, jotta voitiin varmistua esimerkiksi maantieteellisen alueen, kasvupaikan viljavuuden ja metsikön syntyvän vaikutuksista puuston rakenteeseen.

Ennustemalli laadittiin S_B -jakauman maksimille (λ) ja huipukkuudelle (δ). Näiden ennusteiden ja mediaaniläpimitan avulla voitiin ratkaista jakauman vinous (γ), jolloin ennustetulle jakaumalle saadaan sijoitettua metsiköstä mitattu mediaaniläpimitta.

$$\gamma = \hat{\delta} \ln(\hat{\lambda} - d_{gM}) - \hat{\delta} \ln(d_{gM}) \quad [3]$$

Mallin luotettavuutta tarkasteltiin vertaamalla ennustetusta läpimittajakaumasta laskettua runkolukua mitattuun runkolukuun. Mallin käyttäytymistä tarkasteltiin ennustamalla ensiharvennusmänniköiden rakenteita aineiston vaihtelua edustaneilla puustotunnuksilla. Lisäksi laadittua mallia verrattiin Siipilehdon (1999) mänty-koivusekametsien aineistosta (Mielikäinen 1980) laadittuun malliin.

3 Tutkimustulokset

3.1 Lämpimittajakauman ennustemalli

S_B -jakaumaparametrin ennusteyhtälöt kuvataan yleisessä muodossa ilman estimoituja parametrien arvoja. Selittävän muuttujan vaikutuksen suunta ilmaistaan estimoitavan parametrin (a_i) etumerkillä. Lämpimittajakauman päätepisteelle laaditun mallin selitysaste oli 33 % ja keskivirhe $s_e = 0,14$. Malli oli muotoa

$$\ln \lambda = a_0 + a_1 \ln d_{gM} + a_2 \ln(\psi+1) - a_3 Ist, \quad [4]$$

jossa Ist = syntytapaa kuvaava valemuuttuja. $Ist = 1$, kun metsikkö on istutettu, muutoin $Ist = 0$.

Parametrin δ malli metsikön puustotunnuksilla selitti 69 % parametrin vaihtelusta mallin keskivirheen ollessa $s_e = 0,16$. Malli oli muotoa

$$\ln \delta = a_0 - a_1 \ln d_{gM} + a_2 \ln(\psi+1) + a_3 \ln(1/\psi+1) \quad [5]$$

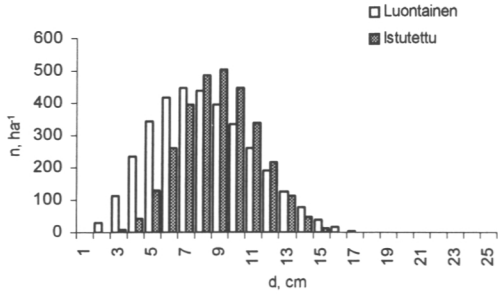
SUR-mallissa yhtälöryhmän virheiden väliseksi korrelaatioksi saatiin 0,77. Koska jakaumaparametrit olivat voimakkaasi korreloituneita, voitiin ennustemalleja korjata tätä korrelaatorakennetta hyödyntämällä. Yhtälöryhmän yhteiseksi selitysasteeksi saatiin 70 %.

Istutus puuston syntytapaa kuvaavana muuttujana osoittautui ainoaksi merkittäväksi luokkamuuttujaksi. Kasvupaikkatyypit tai metsäkeskukset eivät eronneet niin merkittävästi toisistaan, että jokin niistä olisi tullut malliin merkitseväksi selittäjäksi. Tämä ei kuitenkaan tarkoita sitä, etteikö kasvupaikkojen tai alueiden välillä voisi olla eroja. Rakenteelliset erot voivat kuitenkin peilautua mallissa olevien puustotunnusten keskimääräisten erojen kautta.

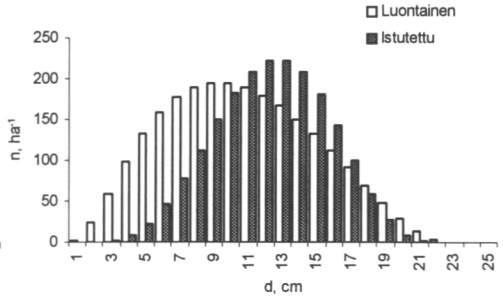
Luontaisesti syntyneen ja istutetun ensiharvennusmännikön läpimittajakaumat poikkesivat toisistaan identtisillä puustotunnuksilla ennustettaessa. Esimerkeissä käytettiin luontaiselle ja istutetulle männikölle keskimääräisiä, hieman toisistaan poikkeavia puustotunnuksia, eli $\psi = 0,67$ luontaisesti syntyneille ja $\psi = 0,76$ istutetuille metsiköille. Tämä tarkoitti käytännössä sitä, että luontaisesti syntyneessä männikössä oli suurempi runkoluku kuin istutetussa männikössä silloin, kun keskilämpimitta ja pohjapinta-ala olivat samat.

Istutetussa metsikössä kokojakauma oli hieman suppeampi kuin keskilämpimitaltaan vastaavassa luontaisesti syntyneessä metsikössä (kuva 1). Pienilämpimittaisten puiden suurempi osuus luontaisesti syntyneissä metsiköissä oli silmiinpistävin ero istutettuihin metsiköihin verrattuna. Tämä johti samalla runkoluvun suurempiin yliarvioihin luontaisissa metsissä verrattuna istutusmetsiin. Pienimpien puiden lisäksi myöskin paksuimmat puut löytyivät luontaisesti syntyneiden metsiköiden läpimittajakaumista.

Laaditulla ensiharvennusmetsikön mallilla ennustettuja puustoja verrattiin Siipilehdon (1999) mänty-koivusekametsistä männylle laaditun mallin vastaaviin ennusteisiin. Mänty-koivusekametsät olivat luontaisesti syntyneitä (Mielikäinen 1980). Molemmat mallit antoivat saman suuntaisen kuvan luontaisesti syntyneiden tiheiden männiköiden kokorakenteesta (kuva 2), joka poikkesi selvästi saman kehitysvaiheen istutusmänniköistä

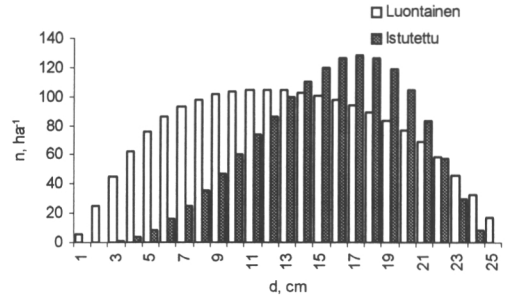


(a)

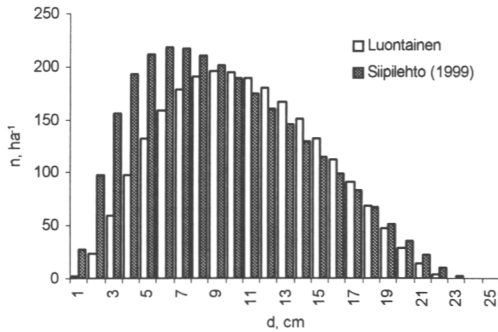


(b)

Kuva 1. Luontaisen ja istutetun ensiharvennusmännikön runkolukusarjat ennustettuna mediaaniläpimitolla (d_{GM}) (a) 10 cm, (b) 14 cm ja (c) 18 cm. Jakauman muototunnuksena käytettiin $\psi = 0,7$ luontaisille ja $\psi = 0,8$ istutetuille männiköille. Runkoluvun yliarviot istutetulle ja luontaiselle männikölle olivat (a) 1 %; (b) 2–7 % ja (c) 2–14 %.



(c)

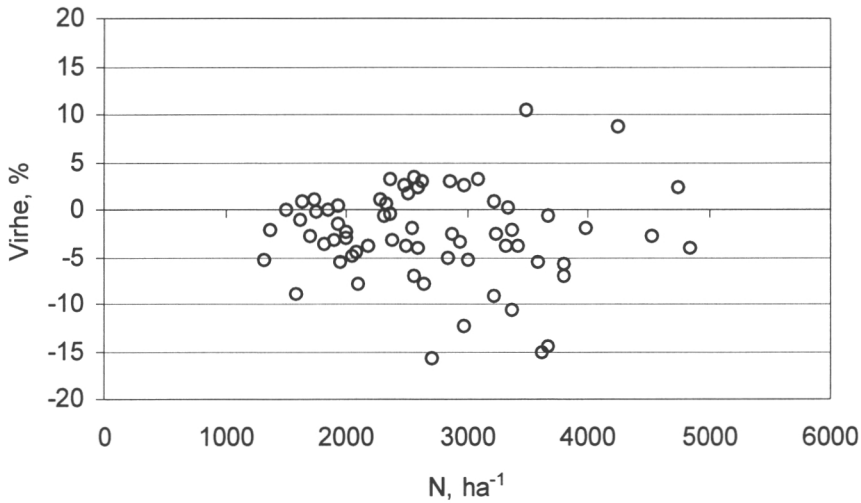


Kuva 2. Ennustettu runkolukujakauma aineiston keskimääräiselle luontaisesti syntyneelle ensiharvennuspuustolle ($d_{GM} = 14$ cm) ja vertailuna luontaisesti syntyneen männikön ennuste Siipilehdon (1999) mallilla samoilla puustotunnuksilla ennustettaessa.

(kuva 1b). Luontaisesti syntyneiden männiköiden runkolukusarjat olivat ensiharvennussivaiheessa selvästi oikealle vinoja pieniläpimittaisten puiden suurehkon osuuden vuoksi. Kyseisessä esimerkkitapauksessa aiemman mallin (Siipilehto 1999) yliarvio runkoluvussa (25 %) oli suurempi kuin tässä tutkimuksessa laaditulla mallilla (7 %).

3.2 Mallin luotettavuus

Laaditulla ennustemallilla tuotettiin mallitusaineiston puustotunnuksia, syntytapoja ja kasvupaikkoja vastaava aineisto. Mallilla tuotetusta puustosta laskettiin virheet runkoluvussa. Kun mitattua pohjapinta-alaa ja mediaaniläpimittaa pidettiin harhattomana, voitiin runkoluvun virhe laskea ennustetun jakauman runkoluvun ja mallissa selittäjänä käytetyn runkoluvun suhteen.



Kuva 3. Jakaumamallin virhe kokonaisrunkoluvussa, kun jakauman mediaani ja pohjapinta-ala oletettiin harhattomiksi.

Malliin sisältyi sekä satunnaisvirhettä että harhaa. Runkoluvun virhe mahtui lähes kokonaisuudessaan $\pm 10\%$:n rajoihin – se ylittyi kuudesta 66 metsikön aineistossa (kuva 3). Mallilla tuotettu puusto yliarvioi 2,6 % kokonaisrunkolukua. Harha oli hieman suurempi mutta virhevaihtelun hajonta (4,9 %) vastasi Siipilehdon (1999) tutkimuksen tulosta männyn rakenteesta.

Lievä runkoluvun yliarvio on osoittautunut tyypilliseksi silloinkin, kun varsin luotettava pohjapinta-alan läpimittajakauma muutetaan runkolukujakaumaksi (esim. Kangas ja Maltamo 2000, Siipilehto 1999). Tämä on pääasiassa laskentatekninen ongelma. Toisaalta voidaan varmuudella sanoa, että tässä tutkimuksessa saavutettuun tarkkuuteen ei päästä muutoin kuin tuntemalla puuston summatunnuksista sekä runkoluku että pohjapinta-ala. Jos jakauman summatunnuksista käytetään vain toista, esim. pohjapinta-alaa, niin suuri osa aineiston vaihtelusta jää mallilla selittämättä ja runkoluvun virhevaihtelu lähes kaksinkertaistuu (ks. Siipilehto 1999).

Tässä tutkimuksessa laadittu läpimittajakauman malli perustui pienehköön ja voimakkaasti rajattuun aineistoon kiireellisistä männiköiden ensiharvennuksista. Luontaisen ensiharvennusmännikön ennustettu runkolukusarja erosi Siipilehdon (1999) aikaisemmalla mallilla ennustetusta runkolukusarjasta melko selvästi. Tiheimpien ensiharvennusmänniköiden kuvauksessa uutta mallia voidaan pitää luotettavampana kuin Siipilehdon (1999) mallia, jonka laadinta-aineisto ei sisältänyt yhtä suuria puuston tiheyksiä eikä lainkaan istutusmetsiä.

Lähteet:

- Haara, A., Maltamo, M. & Tokola, T. 1997. The k-nearest-neighbour method for estimating basal-area diameter distribution. *Scandinavian Journal of Forest Research* 12:200–208.
- Hafley, W.L. & Schreuder, H.T. 1977. Statistical distributions for fitting diameter and height data in even-aged stands. *Canadian Journal of Forest Research* 7:481–487.

- Johnson, N.L. 1949. Systems of frequency curves generated by methods of translation. *Biometrika* 36:149–176.
- Kangas, A. & Maltamo, M. 1999. Calibrating predicted diameter distribution with additional information. *Forest Science*. 46(3): 390–396.
- Kangas, A. & Maltamo, M. 2000. Percentile based basal area diameter distribution for Scots pine, Norway spruce and birch species. *Silva Fennica* 34(4): 371–380.
- Maltamo, M. 1997. Comparing basal area diameter distributions estimated by tree species and for the entire growing stock in a mixed stand. *Silva Fennica* 31(1): 53–65.
- , Kangas, A., Uuttera, J., Torniaainen, T. & Saramäki, J. 2000. Comparison of percentile based prediction methods and Weibull distribution in describing the diameter distribution of heterogeneous Scots pine stands. *Forest Ecology and Management* 133(3): 263–274.
- Mielikäinen, K. 1980. Structure and development of mixed pine and birch stands. *Communications Instituti Forestalis Fenniae* 99(3). 82 s.
- Päivinen, R. 1980. Puiden läpimittajakauman estimointi ja siihen perustuva puustotunnusten laskenta. *Folia Forestalia* 442:1–28.
- SAS 1993. SAS/ETS user's guide, version 6, second edition. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA. 1022 s.
- Schreuder, H.T. & Hafley, W.L. 1977. A useful bivariate distribution for describing stand structure of tree heights and diameters. *Biometrics* 33(3): 471–478.
- Siipilehto, J. 1999. Improving the accuracy of predicted basal-area diameter distribution in advanced stands by determining stem number. *Silva Fennica* 33(4): 281–301.
- Solmun maastotyöopas. 1997. Oksanen-Peltola, L., Paananen, R., Schneider, H. & Ärölä, E. (toim.). Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. Hakapaino Oy. 82 s.

Harvennuskertymän rakenne ja energia- puun määrä ensiharvennusmänniköissä

Vesa Tantt, Matti Sirén & Hannu Aaltio

I Tutkimustehtävä

Tutkimukselle asetettiin seuraavat tavoitteet:

- Selvittää hakkuukertymän määrä ja siihen vaikuttavat tekijät ensiharvennusmänniköissä.
- Selvittää hakkuukertymän jakautuminen aines- ja energiapuuhun erilaisilla ainespuun miniläpimittavaihtoehdoilla.
- Selvittää hakkuukertymän jakautuminen ajourille ja palstalle.
- Tutkia ajourien vaikutusta puuvalintaan.
- Selvittää nuoren metsän hoidon tukirahoitukseen oikeutettujen kohteiden osuus leimikoista.

2 Tutkimusaineisto ja –menetelmä

Tutkimusaineisto käsitti 66 ensiharvennusmännikköä, joiden mittaus ja rakenne on esitetty tämän julkaisun sivuilla 10–13.

Mitattujen runkojen aines- ja energiapuutilavuudet laskettiin Metsäntutkimuslaitoksen Koealojen puu- ja puustotunnusten KPL-laskentaohjelmalla (Heinonen 1994). Puuston tilavuuden laskennassa käytettiin Laasasenahon (1982) simultaaniyhtälöillä laadittuja runkokäyriä, joissa hyödynnettiin mitattuja puulaji-, rinnankorkeusläpimitta-, yläläpimitta- ja pituustunnuksia. Ainespuun minimiläpimittavaihtoehdot laskennassa olivat 0, 5, 7, 9, 11, 13 ja 15 cm sallitun pölkyn pituuden ollessa 2,7–5,0 metriä.

Hakkuupoistuman ja kasvatettavan puuston puukohtaiset oksamassat laskettiin Hakilan (1991) latvusmassayhtälöillä. Oksamassoihin sisältyy puiden kaikkien elävien ja kuolleitten oksien massa kaikkine osineen lukuun ottamatta lehtipuiden lehtiä. Käytetyt latvusmassayhtälöt olivat puulajeittain

$$\text{Mänty: } \ln y = 10,230 + 2,5478 \ln d - 0,0050869 h_e + 0,0057057 l s \quad [1]$$

$$\text{Kuusi: } \ln y = -9,3308 + 2,2742 \ln d + \frac{872,51}{h^2} + 0,013594 l s \quad [2]$$

$$\text{Koivu: } \ln y = -9,0521 + 2,0532 \ln d + 5,498 \cdot 10^{-5} (D + 180) l s \quad [3]$$

- y = latvuksen kuivamassa, kg
- d = rinnankorkeusläpimitta, mm
- h = puun pituus, dm
- h_e = elävän latvuksen alarajan etäisyys maan tasalta, dm
- ls = latvussuhde, %

Oksien energiapuomassat (kg/puu) muutettiin energiapuutilavuudeksi (m^3 /puu) jakamalla massat puuaineen kuivatuoretiheyksillä.

Nuorten metsien hoidon taloudellisuutta voidaan parantaa taimikon hoidolle ja nuoren metsän harvennukselle maksettavalla kestävän metsätalouden rahoituslain mukaisella tuella. Tukivaroja on mahdollista saada pääsääntöisesti kerran samalle alueelle puuston kiertoaikana. Toteutettavan hankkeen minimikoko on yksi hehtaari. Koealoista määritettiin nuoren metsän harvennuksen tukiehdot puustonsa puolesta täyttävät metsiköt. Harvennettavalle 2-kehitysluokan puustolle asetetut tukiehdot ovat männikössä seuraavat (Kamera... 2001):

- Kantoläpimitaltaan vähintään 4 cm:n puita on poistettava yli 1000 kpl/ha.
- Jäävän puuston pohjapinta-alalla painotetun rinnankorkeuskeskiläpimitan tulee olla hakkuun jälkeen alle 16 cm.
- Puuston valtapituuden on hoitotyön jälkeen oltava havupuustossa 10–14 m ja lehti-
puustossa alle 15 m. Mikäli korjattava puu käytetään kokonaan energiapuuksi, voi
valtapituus olla tätä suurempi.
- Kasvavia puita jätetään puulajista, kasvupaikasta ja puuston pituudesta riippuen 800–
1400 kpl/ha.

3 Tutkimustulokset

3.1 Aines- ja energiapuupoistumat

Koealojen puustojen kokonaisbiomassa oli keskimäärin 231,7 m^3 /ha, josta runkopuun osuus oli 195,9 m^3 /ha ja neulasten sekä oksien osuus 35,8 m^3 /ha. Poistettavien puiden biologinen ikä koko aineistossa oli keskimäärin 43 vuotta. Häme-Uusimaalla metsiköiden keski-ikä oli 32 vuotta, Keski-Suomessa 40 vuotta ja Etelä-Pohjanmaalla 57 vuotta. Etelä-Pohjanmaan selvästi muita korkeampi ikä johtui rämekehteistä, joita oli puolet alueella mitatuista metsiköistä. Mallileimauksessa kasvamaan jätettyjen puustojen valtapituus oli keskimäärin 14,1 metriä vaihteluvälin koko aineistossa ollessa 11,8–16,7 m. Latvussuhde koko aineistossa oli keskimäärin 43 % koealoittaisen vaihtelun ollessa 40–45 %.

Keskimääräiseksi biomassapoistumaksi koko aineistossa saatiin 115,9 m^3 ja 3474 puuta/ha, kun poistumaan luetaan kuuluvaksi kaikki yli 1,3 metriä pitkät leimauksessa ei kasvatettavat kokopuut. Häme-Uusimaan alueella kokonaispoistuma oli suurin (129,0 m^3 /ha) ja Etelä-Pohjanmaalla pienin (107,2 m^3 /ha). Keski-Suomessa kokonaispoistuma oli

107,8 m³/ha. Ainespuumitat täyttävien (pölkyn minimipituusvaatimus 2,7 metriä ja minimiläpimittavaatimus 7,0 cm) puiden biomassapoistuma oli keskimäärin 1125 puuta/ha ja 100,1 m³/ha, joka on 43 % kokonaisbiomassasta ja 46 % ainespuiden biomassasta. Taulukoissa 1–3 esitetään metsäkeskuksittain ainespuu- ja energiapuupoistumat eri minimiläpimittavaatimusta käytettäessä. Energiapuupoistumalla (m³/ha) tarkoitetaan yli 1,3 metriä pitkien ainespuumitat täyttämättömien puiden koko biomassaa sekä ainespuiden latvakappaleita ja oksia. Energiapuupoistuman runkoluku (puuta/ha) ja rungon keskikoko (dm³/puu) eivät sisällä ainespuurunkojen energiapuuositeita.

Käytettäessä 5 cm:n ainespuun minimiläpimittavaatimusta, 75 % kokonaispoistumasta täytti ainespuun mitat. Kun läpimittavaatimus oli 15 cm, ainespuuosuus oli vain 10 %. Käytettävän ainespuun minimiläpimitan vaikutus poistuman suhteelliseen jakautumiseen aines- ja energiapuuositteisiin esitetään kuvassa 1.

Taulukko 1. Aines- ja energiapuupoistumat eri minimiläpimittavaatimusta käytettäessä Häme-Uusimaan metsäkeskuksen alueella.

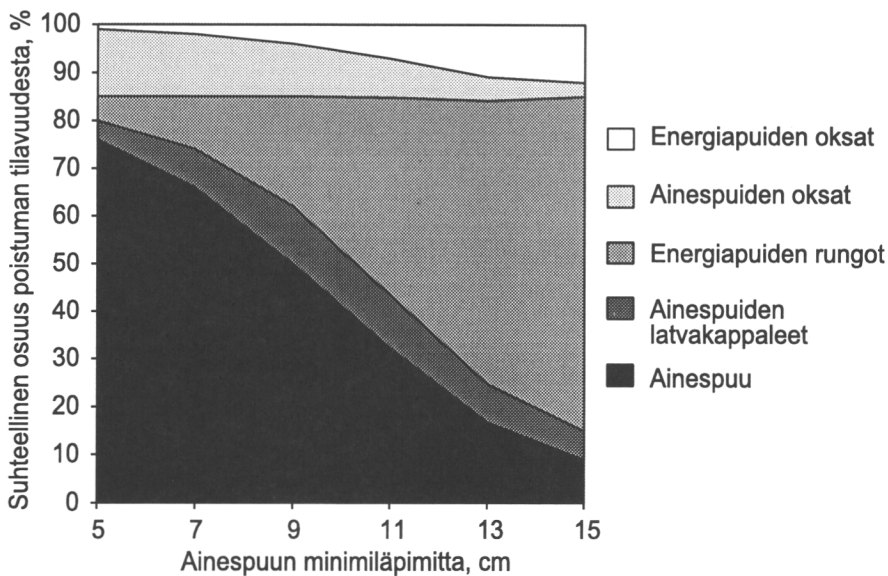
Minimi lpm, cm	Biomassapoistuma					
	Ainespuuta			Energiapuuta		
	puuta/ha	m ³ /ha	dm ³ /puu	puuta/ha	m ³ /ha	dm ³ /puu
MT, Kivennäismaa						
0	4405	113,5	26	0	20,5	0
5	1395	103,0	74	3009	31,0	3
7	1155	93,7	81	3250	40,3	4
9	895	77,8	87	3509	56,2	7
11	600	55,7	93	3805	78,4	12
13	273	30,2	111	4132	103,9	20
15	150	17,1	114	4255	116,9	24
VT, Kivennäismaa						
0	3561	109,5	31	0	20,3	0
5	1673	98,7	59	1888	31,1	4
7	1292	85,7	66	2269	44,1	7
9	827	64,2	78	2735	65,5	13
11	473	42,4	90	3088	87,3	20
13	215	23,4	108	3346	106,1	27
15	115	12,6	110	3446	117,1	30
VT:ä vastaava turvemaa						
0	2850	53,8	19	0	10,8	0
5	1200	42,9	36	1650	21,7	6
7	750	32,2	43	2100	32,4	9
9	350	19,1	54	2500	45,5	14
11	150	10,0	67	2700	54,6	18
13	0	0,0	0	2850	64,4	23
15	0	0,0	0	2850	64,4	23

Taulukko 2. Aines- ja energiapuupoistumat eri minimiläpimittavaatimusta käytettäessä Keski-Suomen metsäkeskuksen alueella.

Minimi lpm, cm	Biomassapoistuma					
	Ainespuuta			Energiapuuta		
	puita/ha	m ³ /ha	dm ³ /puu	puita/ha	m ³ /ha	dm ³ /puu
MT, Kivennäismaa						
0	4100	86,3	21	0	13,1	0
5	1450	75,5	52	2650	23,9	3
7	975	64,2	66	3125	35,2	5
9	725	50,2	69	3375	49,2	8
11	375	30,2	81	3725	69,2	14
13	150	13,7	91	3950	85,7	19
15	25	3,4	136	4075	96,0	23
VT, Kivennäismaa						
0	3054	93,0	30	0	16,3	0
5	1436	85,2	59	1618	24,1	3
7	1114	73,2	66	1941	36,1	6
9	759	54,5	72	2295	54,8	12
11	391	33,3	85	2664	76,0	21
13	168	17,3	103	2886	92,0	27
15	59	7,4	125	2995	101,9	32

Taulukko 3. Aines- ja energiapuupoistumat eri minimiläpimittavaatimusta käytettäessä Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueella.

Minimi lpm cm	Biomassapoistuma					
	Ainespuuta			Energiapuuta		
	puita/ha	m ³ /ha	dm ³ /puu	puita/ha	m ³ /ha	dm ³ /puu
MT, Kivennäismaa						
0	3183	98,6	31	0	18,1	0
5	1317	89,2	68	1867	27,4	4
7	1150	80,6	70	2033	36,0	5
9	800	62,5	78	2383	54,1	11
11	483	41,2	85	2700	75,4	18
13	167	19,4	116	3017	97,2	28
15	83	10,6	128	3100	106,0	31
VT, Kivennäismaa						
0	3227	113,5	35	0	18,7	0
5	1768	101,0	57	1459	29,1	4
7	1241	84,4	68	1986	45,8	9
9	800	62,2	78	2427	67,9	16
11	405	37,7	93	2823	92,5	24
13	182	19,8	109	3045	110,4	31
15	68	8,8	129	3159	121,4	36
VT:ä vastaava turvemaa						
0	3203	72,9	23	0	14,3	0
5	1339	63,5	47	1864	23,7	4
7	907	52,0	57	2296	35,2	7
9	521	36,8	71	2682	50,4	12
11	225	21,7	96	2979	65,5	18
13	111	13,7	123	3093	73,5	21
15	64	8,6	134	3139	78,6	23



Kuva 1. Käytettävän ainespuun minimiläpimitan vaikutus poistuman suhteelliseen jakautumiseen aines- ja energiapuuositteisiin.

3.2 Poistuman jakautuminen leimikolla

Kuvassa 2 esitetään mittausleimikoiden keskimääräinen runkolukujakauma jaoteltuna kasvatettaviin puihin, uralta poistettaviin puihin ja uran ulkopuolelta poistettaviin puihin.

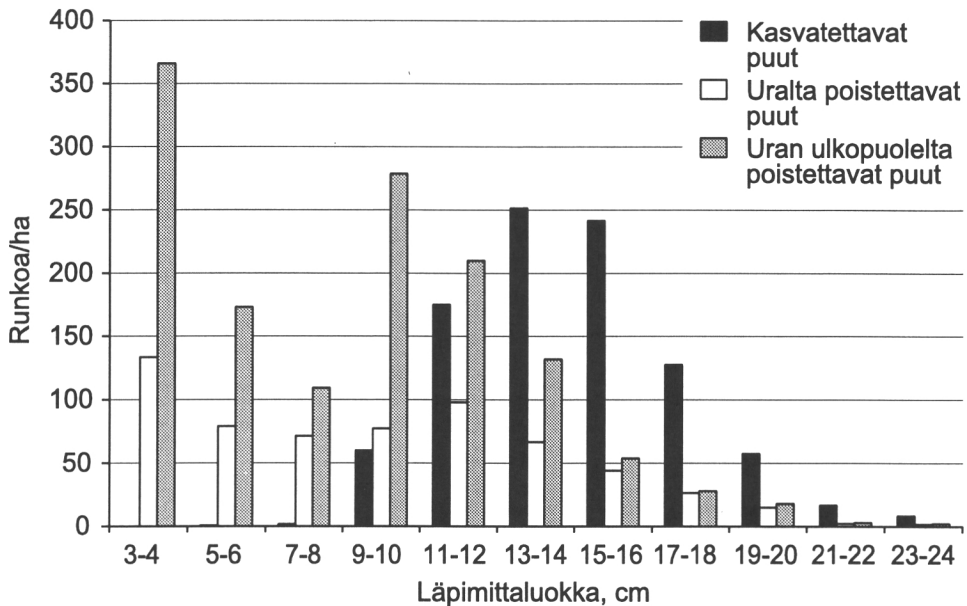
Huomattava osa poistumasta kertyy ajourilta, ja ajouraleveys vaikuttaa ainespuukertymän määrään voimakkaasti. Kun ajouraväli oli 20 metriä ja ajouraleveys SLU-menetelmällä (Björheden & Fröding 1986) 4,3 metriä, yli kolmannes poistumasta kertyi ajourilta (taulukko 4).

Taulukko 4. Poistuman jakautuminen ajourille ja palstalle. Ajouraväli 20 metriä ja uraleveys 4,3 metriä.

	Ajourilla		Palstalla	
	m ³ /ha	%	m ³ /ha	%
Ainespuu	27,9	36,8	48,0	63,2
Energiapuu	10,9	27,3	29,1	72,7
Koko biomassa	38,8	33,5	77,1	66,5

Taulukko 5. Ajourien vaikutus harvennuspoistumaan. Vaihtoehtoina uraleveys 3,7 metriä ja puhdas laatuharvennus ilman ajouria.

	Uraleveys 3,7 m	Ei ajouria
	Kertymä, m ³ /ha	
Ainespuuta	74,0	60,7
Energiapuu	39,5	36,3
Yhteensä	113,5	97,0

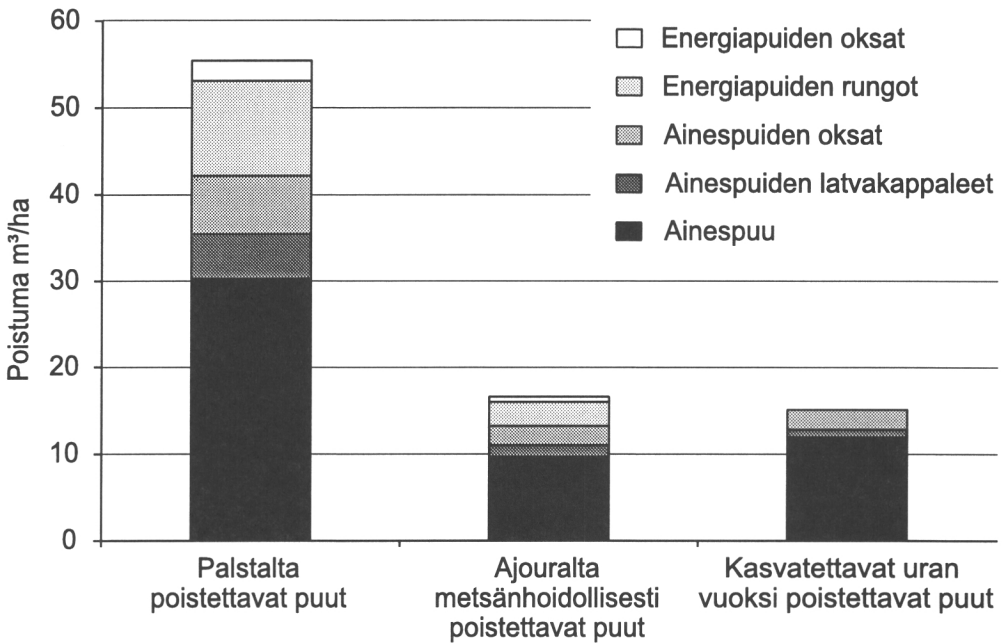


Kuva 2. Kasvatettavien puiden, uralta poistettavien puiden ja uran ulkopuolelta poistettavien puiden runkolukujakaumat. Rinnankorkeusläpimittaluokkaan 7–8 cm kuuluvat ja sitä pienemmät puut eivät täytä ainespuupölkylle asetettavia 7 cm:n läpimitta ja 2,7 m:n pituusvaatimusta.

Ajourien vaikutusta poistumaan tarkasteltiin vakioimalla kaikilla koealoilla ajouraleveydeksi 3,7 metriä. Toisena vaihtoehtona laskettiin poistuma puhtaalla laatuharvennuksella ilman ajouria. Ajouraleveyden vakioimisessa toimittiin jakamalla 3,7 metriä mitatulla leveydellä. Näin saadulla luvulla kerrottiin niiden puiden lukumäärä ja poistumaositteet, jotka sisältyivät puuluokkaan ajouran takia poistetut, laatuharvennuksessa kasvatettavaan jaksoon kuuluvat puut. Taulukossa 5 esitetään harvennuskertymä ja sen jakautuminen ajouraleveyden ollessa 3,7 metriä ja toisena vaihtoehtona puhtaassa laatuharvennuksessa ilman ajouria.

3.3 Poistuman rakenne turvemaidella

Etelä-Pohjanmaan turvemaiden keskimääräiseksi kokonaispoistumaksi saatiin 87,2 m³/ha. Käytettäessä 7 cm:n minimiläpimittaa kokonaispoistumasta 52,0 m³ (60 %) oli ainespuuta, 7,2 m³ (8 %) ainespuiden latvakappaleita, 11,3 m³ (13 %) ainespuiden oksia, 13,7 m³ (16 %) ainespuumitat täyttämättömiä runkoja ja 2,9 m³ (3 %) ainespuumitat täyttämättömien runkojen oksia. Turvemaidella mallileimauksen ajoura sijoitettiin noin kymmenen metrin päähän ojasta. Palstalta ja ajouralta poistettavien puiden aines- ja energiapuuositteet esitetään kuvassa 3. Ajouralta poistettavat puut luokiteltiin metsänhoidollisista syistä poistettaviin ja pelkästään uran vuoksi poistettaviin puihin. Vaihtoehtoisesti laskettiin poistuman määrä sijoitettaessa ajoura ojalinjalle, jolloin palstalle tehtiin laatuharvennus ilman ajouraa. Ilman ajouria tehtävä puhdas laatuharvennus vähentäisi ainespuupoistumaa yli 10 m³ hehtaarilla.



Kuva 3. Palstalta ja ajouralta poistettavien yli 1,3 metriä pitkien puiden aines- ja energia-puuositteet Etelä-Pohjanmaan turvemaamänniköissä, kun kaikki ainespuumitat täyttämättömät puut luetaan kuuluvan energiapuuksi. Kasvatettavat, uran vuoksi poistettavat puut on eritelty ajouralta metsänhoidollisesti poistettavista puista.

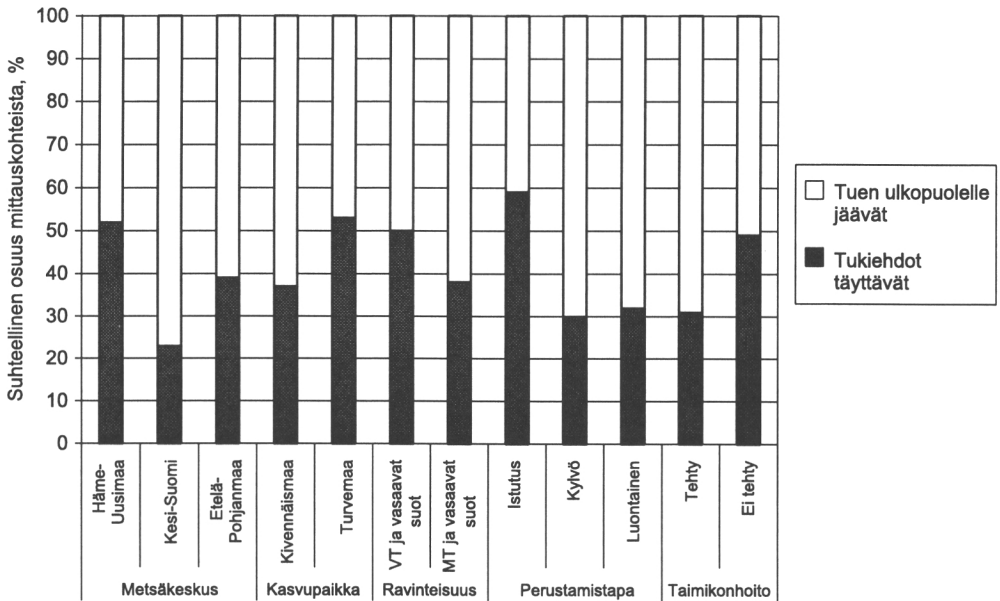
3.4 Nuoren metsän hoidon rahoitustukeen oikeutetut kohteet

Nuoren metsän hoidon rahoitustuen ehdot (Kemera...2001) täytti 41 % mitatuista leimikoista. Mikäli korjattava puu olisi käytetty kokonaan energiapuuksi olisi tukiehdot täytettäviä metsiköitä ollut 71 %. Rahoitusedellytyksistä 14 metrin valtapituusrajavaatimuksen täytti 48 %, 16 cm:n rinnankorkeusläpimittarajavaatimuksen 76 % ja 1000 rungon poistumavaatimuksen/ha 97 % kohteista. Mallileimauksen mukainen kasvamaan jätettävien puiden runkolukuvaatimus oli 85 %:ssa mitattuja metsiköitä tukiedellytysten mukainen. Voimakkaasta leimauksesta johtuen runkoluvulle asetettu ehto olisi ollut ainoana tuen saannin estävänä tekijänä 3 %:ssa kohteita. Tukiehtojen täytyminen erilaisissa kohteissa on esitetty kuvassa 4.

Nuoren metsän hoidon rahoitustukeen oikeutetuissa kohteissa puuston kokonaisbiomassa (sisältää kaikki pituudeltaan yli 1,3 metriä pitkien puiden tilavuuden oksineen ja neulasineen) oli 209,4 m³/ha. Kokonaisbiomassasta runkopuuta oli 174,9 m³/ha ja oksien biomassaa 34,6 m³/ha. Tukikohteiden energiapuupoistumiin ei laskettu mukaan rinnankorkeusläpimitaltaan alle 3,0 cm:n puita eikä runkojen ainespuuosuuden alueella kasvavia oksia. Leimauksen mukaisen poistuman runkotilavuudeksi saatiin 92,1 m³/ha, josta 7 cm:n minimiläpimittaa käytettäessä 13,9 m³/ha oli ainespuumitat täyttämättömien puiden runkotilavuutta. Nuoren metsän hoitotuelle asetetut puustovaatimukset täyttäneiden kohteiden aines- ja energiapuupoistumat eri minimiläpimittavaatimusta käytettäessä esitetään taulukossa 6.

Taulukko 6. Nuoren metsän hoidon rahoitustuen ehdot täyttäneiden kohteiden aines- ja energiapuupoistumat eri minimiläpimittavaatimusta käytettäessä. Energiapuupoistuma jaoteltuna ainespuumitat täyttämättömien puiden ja ainespuiden energiapuuositteiksi. Energiapuupoistumat eivät sisällä rinnankorkeusläpimitaltaan alle 3 cm:n puita eikä runkojen ainespuuosuudessa kasvavia oksia.

Minimi lpm, cm	Nuoren metsän hoitokohteiden biomassapoistuma									
	Ainespuuta			Energiapuuta				Ainespuurungot		
	puita /ha	m ³ /ha	dm ³ /puu	Energiapuurungot		dm ³ /puu	Runko- puu	Oksat		
				Runkopuu	Oksat			m ³ /ha	dm ³ /puu	
0	2430	92,1	38	0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0
5	1552	81,4	52	878	6,5	1,0	9	4,2	6,7	7
7	1167	69,2	59	1263	13,9	2,3	13	9,0	9,1	16
9	720	50,5	70	1709	29,9	5,3	21	11,7	9,8	30
11	385	31,3	81	2044	49,6	8,8	29	11,2	8,2	50
13	146	14,8	101	2283	70,7	13,1	37	6,6	4,4	75
15	78	7,7	99	2352	78,8	14,7	40	5,6	2,7	106



Kuva 4. Tukiehtojen täytyminen mittauskohteissa.

4 Tulosten tarkastelu

Koaloilta mitatut biomassapoistumat olivat suuria kokonaispoistuman keskiarvon vaihdellessa alueittain välillä 107–129 m³/ha. Koaloilla tehty mallileimaus oli voimakas laatuharvennus, jossa poistettiin myös suuria huonompilaatuisia puita. Mallileimaus tehtiin käytännön hakkuutyötä jäljitellen ja se sisälsi keskimäärin 4,3 metrin levyisen ajouran. Ajouraväli mallileimauksessa oli 20 metriä. Ajourilta kertyi 37 % ainespuu- ja 27 % energiapuupoistumasta. Ajouraveyden alentaminen 3,7 metriin pienensi ainespuupoistumaa noin 2 m³ ja siirtyminen puhtaaseen laatuharvennukseen ilman ajouria yli 15 m³. Verrattaessa tuloksia aiemmissä tutkimuksissa todettuihin on otettava huomioon ajourien merkitys kertymään.

Laatuharvennuksen mallileimaus oli varsin voimakas. Mallileimauksen jälkeiset runkoluvut olivat pienempipuustoisissa kohteissa Tapion harvennusmallien runkolukuja alemmat (Hyvän... 2001). Ainespuumitat täyttävien puiden poistuma oli 43 % kokonaisbiomassasta ja 46 % ainespuumitat täyttävien puiden biomassasta. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio tarkistaa vuosittain yli 200 harvennusleimikon korjuujäljen. Vuosina 1997–1999 jäävän puuston määrässä oli huomautettavaa keskimäärin 16,0–18,3 %:ssa kohteista. Kuitenkin virheellisten, alle lakirajan olevien kohteiden osuus, on ollut vain noin prosentin luokkaa (Ranta 2000).

Käytetty ainespuun minimiläpimita vaikuttaa paljon poistuman jakautumiseen puutaralajeihin. Siirtyminen 7 cm:n läpimitasta 5 cm:n läpimitaan lisäsi ainespuupoistumaa 9,9–33,2 % metsätyypistä ja metsäkeskuksesta riippuen. Läpimitan vaikutus ainespuukertymään oli suurimmillaan turvemaiilla. Läpimitan alentaminen pienensi keskimääräistä ainespuurungon kokoa. Kivennäismaiden MT-männiköissä läpimitan alentaminen pienensi ainespuurungon keskikokoa 2–14 dm³ metsäkeskuksesta riippuen. Korpilahden ym. (1998) tutkimuksessa vastaava läpimitan muutos lisäsi Pohjois-Karjalassa VT-männiköiden ainespuukertymää 14,7 % ja MT-männiköiden ainespuukertymää 9,6 %. Etelä-Pohjanmaalla läpimitan lasku lisäsi ainespuukertymää 9–54 % suurimpien muutosten ollessa turvemaiilla.

Ylimartimo ym. (2001) tutkivat Pohjois-Savon ensiharvennusmänniköiden korjuukelpoisuutta turvemaiilla. Läpimitan alentaminen 7 cm:stä 5 cm:iin nosti ainespuuna korjattavien runkojen lukumäärän 1,5-kertaiseksi ja lisäsi ainespuukertymää 19 %. Korjattavan ainespuurungon keskikoko pieneni 31 %. Minimiläpimitan alentaminen pienensi korjuun laskennallista tuottavuutta 16 %.

Turvemaiilla ainespuun latvaläpimitan laskeminen vaikutti ainespuukertymään suhteellisesti enemmän kuin kivennäismailla. Turvemaiilla myös ajourien sijainti vaikuttaa kertymään. Mallileimauksen ajoura sijoitettiin saralle 10 metrin päähän ojasta. Kun ajoura laskennallisesti sijoitettiin ojan päälle ja saralla tehtiin puhdas laatuharvennus ilman ajouria, ainespuupoistuma pieneni yli 10 m³ hehtaarilla.

Nuoren metsän hoidon rahoitustuen ehdot täytti 41 % mitatuista kohteista. Kokonaan energiapuuksi korjattaessa ehdot täytti 71 % kohteista. Alueellisesti tukiehdot täyttäviä kohteita oli eniten Häme-Uusimaalla ja vähiten Keski-Suomessa. Turvemaiilla tukiehdot täyttyivät useammin kuin kivennäismailla.

Istutusmänniköt täyttivät tukiehdot useammin kuin kylvetyt ja luontaisesti uudistetut. Luontaisesti ja kylvämällä uudistetuissa kohteissa 14 metrin valtapituusrajan ylittymisen oli istutettuja kohteita selvästi useammin tukiehtojen täyttymisen esteenä. Istutta-

malla uudistetuissa kohteissa, jotka olivat kasvupaikaltaan lähes yksinomaan tuoreita kankaita, laatuharvennuksessa poistettiin luontaisesti ja kylvämällä uudistettuja kohteita runsaammin suurimpia huonolaatuisia puita, mikä osaltaan laskee näiden kohteiden rinnankorkeusläpimittaa ja valtapituutta.

Lähteet:

- Björheden, R. & Fröding, A. 1986. Ny rutin för gallringsuppföljning. In: Tänk till gallringsfrågan. Sveriges lantbruksuniversitet. Institutionen för skogsteknik. Uppsatser och Resultat 52:71–76.
- Hakkila, P. 1991. Hakkuupoistuman latvusmassa. Folia Forestalia 773. 24 s.
- Heinonen, J. 1994. Koealojen puu- ja puustotunnusten laskentaohjelma KPL. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 504. 79 s.
- Hyvän metsänhoidon suositukset. 2001. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. 95 s.
- Kemera-rahoitustuki. 2001, muutettu 18.9.2001 Koistinen, A. (WWW-dokumentti) <http://www.metsavastaa.net/index.cfm?docID=2400>
- Korpilahti, A., Varhimo, A., Backman, M. & Rieppo, K. 1998. Karsimattoman puun korjuu ensiharvennuksilta. Bioenergian tutkimusohjelma – Puupolttoaineen tuotantotekniikka – Projekt 137. Loppuraportti 33 s.
- Laasasenaho, J. 1982. Taper curve and volume for pine spruce and birch. Seloste: Männyn, kuusen ja koivun runkokäyrä- ja tilavuusyhtälöt. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 109. 74 s.
- Ranta, R. 1999. Metsänkäyttöilmoitusten ja hakkuiden tarkastukset vuonna 1999. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. Raportti. 9 s.
- Ylimartimo, M., Harstela, P., Korhonen, K.T. & Sirén, M. 2001. Ensiharvennuskohteiden korjuukelpoisuus ojitetuilla turvemaidilla. Metsätieteen aikakauskirja 2:253–263.

Energiapuun korjuuolojen parantamismahdollisuudet

Vesa Tantt, Matti Sirén, Hannu Aaltio & Kalle Kärhä

I Tutkimustehtävä

Vuonna 1999 metsähakkeen kaupallinen käyttö oli Suomessa 567 000 m³ ja kaupan ulkopuolella tapahtunut pienkäyttö arviolta 180 000 m³. Tavoitteena on nostaa käyttö 5 miljoonaan m³:iin vuoteen 2010 mennessä. Metsähakkeen raaka-ainepotentiaali on nykykäyttöön verrattuna 15–20-kertainen (Hakkila ym. 2001).

Metsähakkeen tuotantokustannuksiin vaikuttavat monet tekijät, kuten:

- Käytettävät tuotantomenetelmät.
- Leimikkotekijät; leimikkotyypit, korjuuajankohta, pinta-alaa ja leimikkoa kohti laskeutuva energiapuukertymä, energiapuun laatu (puulaji, kosteus), metsäkuljetusmatka sekä maaston kulkukelpoisuus.
- Leimikoiden sijainti toisiinsa nähden (leimikkoetäisyys).
- Energiapuun kaukokuljetusmatka.
- Hankinnan mittakaava ja organisointi sekä logistiikan toimivuus.

Uudistusalojen hakkuutähteestä on tullut merkittävin metsähakkeen raaka-aine. Hakkuun koneellistuminen ja hakkuukoneen työtekniikan sovittaminen tähteen talteenottoon ovat parantaneet hakkuutähteen hyödyntämismahdollisuuksia. Sen sijaan pienpuiden energiakäyttö ei ole 1990-luvulla kasvanut. Pienpuun energiakäytössä on kuitenkin painopiste siirtynyt karsitusta karsimattomaan puuhun (Hakkila ym. 2001).

Vartuneiden taimikonhoitokohteiden ja ensiharvennusten energiapuupotentiaalin hyödyntämisen esteenä ovat puiden pienestä koosta ja alhaisesta hehtaarikertymästä johtuvat korkeat korjuukustannukset. Metsähakkeen kasvava kysyntä ja kilpailu hakkuutähteestä lisäävät kuitenkin myös pienpuuhakkeen käyttötarvetta. Pienpuu- ja hakkuutädehakkeen tuotannon integroinnilla ja materiaalien keskittämisellä samoihin välivarastoihin voidaan saada kustannussäästöjä sekä tasata metsähakkeen vuodenaajoista johtuvaa laatuvariaatiota (Asikainen ym. 2001). Pienpuuhakkeen tuotannon metsänhoidollista ja työllistävää merkitystä ei myöskään pidä unohtaa.

Metsähakkeen saatavuus riippuu suoritettavista ainespuuhakkuista. Hakkeen tuotantomäärää nostettaessa joudutaan hankinnan mittakaavaa kasvattamaan joko hankinta-aluetta suurentamalla tai tehostamalla hankinta-alueen energiapuupotentiaalin talteenottoa. Tämä merkitsee kuljetus- ja leimikkotekijöiltään epäedullisempien kohteiden mukaan tuloa. Energiapuuta laajassa mittakaavassa korjattaessa pelkkä yksittäinen kuvio tai tilakohtainen leimikko ei ole tehokkaan toiminnan kannalta riittävä. Korjuun kustannustehokkuuteen ja samalla taloudellisesti korjuukelpoisen energiapuun määrään voidaan vaikuttaa kasvattamalla toimintakohteiden eli leimikoiden kokoa.

Tutkimuksen tehtävänä oli selvittää sekä leimikoiden tilakohtaisen keskittämisen että metsänomistajien yhteisleimikkojen vaikutusta metsähakkeen tuotantoon vertailemalla hakkeen tuotantokustannuksia ja energiapuupotentiaalin hyödyntämistä erilaisilla toimintavaihtoehdoilla.

2 Tutkimusaineisto ja –menetelmät

2.1 Korjuuolojen määrittäminen

Metsähakkeen toimituskustannuksiin vaikuttavia leimikkotekijöitä tarkasteltiin Orimattilassa sijaitsevalla alueella. Laskennan pohjana olivat vuoden 1999 tasolle päivitetty kolmen metsätalousalueen metsäsuunnitelma- ja kuviokarttatiedot sekä maanmittauslaitoksen tietokannat alueen tiestöstä. Tarkastelualueen pinta-ala välialueineen oli noin 15 000 hehtaaria (kuva 1), josta aluesuunnitelmissa olevat metsäkuviot kattoivat 3720 hehtaaria. Tarkasteluun kuuluvien 101 tilan keskimääräinen metsäpinta-ala oli 36,9 hehtaaria kuvion keskikoon ollessa 1,4 hehtaaria. Metsäpinta-alaltaan alle 20 hehtaarin tilojen osuus tilojen lukumäärästä oli 32 %, pinta-alaltaan 20–50 hehtaarin tilojen osuus 44 % ja pinta-alaltaan 50–120 hehtaarin tilojen osuus 24 %. Tilat jaettiin maantieteellisen sijaintinsa mukaan kymmeneen yhtä suureen yhteistyöalueeseen.



Kuva 1. Tarkastelualueen kuviokartta jaettuna yhteistyöalueisiin.

Seuraavana kymmenvuotiskautena alueelle oli ehdotettu kaupallista ainespuuhakkuuta yhteensä 1703 kuviolle ja 2509 hehtaarin alalle, joka oli 67 % suunnittelualan metsämaa-alasta. Vastaava pinta-alaosuus koko Metsäkeskus Häme-Uudenmaan alueella oli VMI 9:n mukaan 72 % (Korhonen ym. 2000). Ensiharvennusta oli ehdotettu 560 kuviolle ja 798 hehtaarille. Ehdotettu päätehakkua käsitteivät 398 kuviota ja 637 hehtaaria. Muuta harvennusta sekä ylispuiden poistoa oli seuraavalle kymmenvuotiskaudelle ehdotettu yhteensä 1064 ha alalle. Ehdotettu taimikonhoitoala oli 409 kuviolle ja 650 hehtaarille. Puulajivaltaisuuden perusteella tarkastelualan metsiköt soveltuivat hyvin sekä päätehakkuiden hakkuutähdepuun että nuorten harvennuskuvien pienpuun korjuuseen, sillä päätehakkupinta-alasta oli kuusivaltaisia 81 % ja mäntyvaltaisia 19 %. Ensiharvennuspinta-alasta oli mäntyvaltaisia 57 %, kuusivaltaisia 19 % ja lehtipuuvallaisia 24 %. Tarkastelualueelle ehdotetut hakkuut jakautuvat varsin tasaisesti ensimmäiselle ja toiselle viisivuotiskaudelle.

Potentiaaliset energiapuun korjuuseen soveltuvat kohteet jaoteltiin päätehakku-, ensiharvennus- ja taimikonhoitokuvioihin. Ensiharvennuskuvioista poimittiin puuston keskiläpimitta-, runkoluku- ja hakkuukertymätietojen avulla kestävä metsätalouden rahoituslain (kemera) mukaisen 2-kehitysluokan nuoren metsän harvennuksen tukiehdot täyttävät kohteet. Tukiehdot täyttävien kohteiden löytäminen TASO-suunnitelmatietojen avulla ei ole metsäsuunnittelussa mitattavien muuttujien ja tukiehdossa käytettävien puustokriteereiden erilaisuudesta sekä metsäsuunnittelijakohtaisista eroista johtuen täysin yksiselitteistä. Tukiehdot täyttäviä kuvioita alueelle saatiin 174 ja ne kattoivat 29 % ensiharvennusalaista. Taimikonhoitokuvioista tarkasteluun poimittiin kestävä metsätalouden rahoituslain mukaiset taimikon hoidon tukiehdot täyttävät kuviot, joita oli 258 kappaletta ja 432 hehtaaria.

Kuviotietojen avulla laskettiin tarkastelualan energiapuupotentiaali ja eri leimikkovaihtoehtojen mukainen korjuukelpoinen energiapuukertymä. Energiapuupotentiaalilla tarkoitettiin alueen pääte- ja ensiharvennushakkuista sekä taimikonhoitokohteista kertyvää, mitta- tai laatuvaatimusten vuoksi teollisuuden ainespuuksi kelpaamatonta biomassaa. Päätehakkukuvioiden energiapuupotentiaali käsitti päätehakkuiden hakkuupoistuman latvusmassan, hukkarunkopuun sekä kuviotietojen polttopuuosuuden (kaava [1]). Puulajeittaiset hakkuupoistuman latvusmassakertoimet saatiin jakamalla latvusmassat (puun elävät oksat ja puolet neulasista) (Hakkila 1991) puuaineen kuivatuoretiheyksillä. Männylle käytettiin tiheyttä 385 kg/m³, kuuselle 400 kg/m³ ja lehtipuulle 500 kg/m³ (ks. Asikainen ym. 1999).

$$V_{lahde} = (V_{mä} 0,168 + V_{ku} 0,32 + V_{lp} 0,163) + (0,01(V_{mä} + V_{ku} + V_{lp})) + (V_{polt} (V_{mä} + V_{ku} + V_{lp})) \quad [1]$$

V_{lahde} = päätehakkukuvion energiapuupotentiaali, m³/ha

$V_{mä}$ = männyn ainespuukertymä, m³/ha

V_{ku} = kuusen ainespuukertymä, m³/ha

V_{lp} = lehtipuun ainespuukertymä, m³/ha

V_{polt} = polttopuun osuus kertymästä, %

Päätehakuualueiden korjuukelpoinen energiapuukertymä laskettiin vähentämällä energiapuupotentiaalista talteenotossa metsään jäävä osa talteenottokertoimella 0,65 ja jättämällä korjuun ulkopuolelle ekologisten rajoitteiden mukaiset kuviot (kuivahkot kankaat ja ravinteisuudeltaan sitä karummat maapohjat) sekä kertymältään korjuukelvottomiksi luokitellut kuviot. Korjuukelpoisuuden alaraja oli 35 m³ hehtaarilla ja 40 m³ leimikolla.

Ensiharvennus- sekä taimikonhoitokohteiden energiapuupotentiaali laskettiin Rantalan (1997) esittämällä logaritmisella regressiomallilla. Lehtipuulle käytettiin männyn mallia. Energiapuun irtotilavuus (i-m³) muutettiin kiintotilavuudeksi (m³) kertoimella 0,4. Regressiomalli irtotilavuudelle oli muotoa

$$\ln y = -11,1023 + 0,090127 D_{ppa} + 0,936714 \sqrt{H_{ppa}} + 3,262682 \log(RL) + 0,317485 PL \quad [2]$$

y = ensiharvennus- tai taimikonhoitokuvion energiapuupotentiaali, i-m³/ha

D_{ppa} = metsikön keskiläpimitta, cm

H_{ppa} = metsikön keskipituus, m

RL = runkoluku, kpl/ha

PL = pääpuulajia kuvaava valemuuttuja. $PL = 1$, kun pääpuulaji on kuusi, muulloin 0

Korjuukelpoista energiapuukertymää laskettaessa potentiaalista vähennettiin korjuussa metsään jäävä osa talteenottokertoimella 0,8, ekologisten rajoitteiden edellyttämät kuviot (kuivahkot kankaat ja sitä karummat maapohjat) ja hehtaarikertymältään korjuukelvottomat kuviot (hehtaarikertymä harvennuksissa alle 25 m³ ja taimikonhoitokohteissa alle 20 m³). Leimikkokohtaiseksi minimikertymärajoitteeksi asetettiin 40 m³.

Metsäkuljetusmatkan laskennassa käytettiin TASO-suunnitelmien kuviokartta-aineistoa ja maanmittauslaitoksen tietokantaa alueen tiestöstä. Digitaalisen kartta-aineiston perusteella kullekin korjuukuviolle laskettiin keskimääräinen etäisyys lähimpään tiehen ArcInfo-ohjelmistolla (ks. Pasanen ym. 1997 ja Asikainen ym. 1999). Kuviodien kohtisuora etäisyys tiehen muutettiin metsäkuljetusmatkaksi maastokuljetuskertoimella 1,4 (vrt. Viitala ym. 1999).

Kussakin vaihtoehdossa kaukokuljetusmatka laskettiin vastaamaan 100 000 m³ metsähaketta vuodessa käyttävän laitoksen raaka-aineen hankinnan keskimääräistä kaukokuljetusmatkaa. Laskenta suoritettiin leimikkovaihtoehtojen mukaisen energiapuutiheyden (m³/km²/a) avulla määrittämällä ympyrän muotoiselle hankinta-alueelle koko ja keskimääräinen kaukokuljetusmatka, kun energiapuu on tasaisesti hankinta-alueelle jakautuneena. Kohtisuora etäisyys muutettiin kaukokuljetusmatkaksi kaukokuljetuskertoimella 1,4 (vrt. Asikainen ym. 2001 ja Viitala ym. 1999).

Energiapuuvarojen hyödyntämistä tarkasteltiin kolmella alueen kuviotietoihin perustuvalla leimikkovaihtoehdolla, joissa korjattavat leimikot muodostuivat yksittäisistä korjuukuvioista, kunkin tilan korjuukuvioista ja useamman tilan korjuukuvioista muodostetuista yhteisleimikoista. Lisäksi tilakohtaiset leimikot jaettiin korjuun kiireellisuuden mukaan ensimmäisellä ja toisella viisivuotiskaudella tehtäviksi. Yhtenä kiireelli-

syysvaihtoehtona laskennassa käytettiin kaikkien hakkuiden ajallista keskittämistä samaan ajankohtaan. Näin alueelle saatiin leimikkotyypiltään ja korjuuajankohdaltaan kaikkiaan neljä erilaista energiapuun leimikkovaihtoehtoa (taulukko 1).

2.2 Tuotantokustannusten laskenta

Metsähakkeen tuotantoon muodostettiin kaksi logistiikaltaan yhteensopivaa energiapuun toimitusketjuvaihtoehtoa, sekä tienvarsivarastohaketukseen että palsta- ja käyttöpaikkahaketukseen perustuvat ketjut (kuva 2).

Laskennan lähtötietoina käytettyjen kuvioittaisten metsäsuunnitelmatietojen, digitaalisten kuvio- ja tiestökarttojen sekä tarkasteluun valittujen korjuuketjujen avulla alueelle muodostettiin korjattavat leimikot ja laskettiin kustannusmallien vaatimat leimikko- sekä korjuuketjukohtaiset muuttujat. Suunnitelmatiedoista johdettujen korjuumenetelmien mukaisten energiapuukertymien ja korjuuketjujen kustannusmallien avulla laskettiin alueelta korjattava kokonaisenergiapuumäärä ja siitä syntyvät tuotantokustannukset eri toimintavaihtoehdoilla (kuva 3).

Metsähakkeen tuotantokustannukset (mk/m^3) laskettiin toimitusketjuittain osavaiheiden summana. Laskentamalli on esitetty kaavoilla [3] ja [4]. Korjuukustannusten kohdentamisessa energiapuuositteelle pidettiin lähtökohtana toimintatapaa, jossa energiapuu korjataan hakkuuta lukuun ottamatta ainespuun korjuusta erillisenä toimenpiteenä. Laskennassa korjuukoneiden ja välivarastohakurin kustannukset jaettiin varsinaisiin työn tekemisestä syntyviin käyttökustannuksiin sekä siirtokustannuksiin (kuva 7 sivulla 49). Laskennassa käytetyt yksikkökustannukset on esitetty taulukossa 2.

$$k_1 = \frac{(y_1 + y_2 + y_3 + y_6 + y_7 + y_8 - y_9)}{z} \quad [3]$$

ja

$$k_2 = \frac{(y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + y_5 + y_6 + y_7 + y_8 - y_9)}{z} \quad [4]$$

k_1 = välivarastohaketukseen perustuvan toimitusketjun kustannukset, mk/m^3

k_2 = palsta- ja käyttöpaikkahaketukseen perustuvan toimitusketjun kustannukset, mk/m^3

y_1 = energiapuun hakkuukustannus, mk

y_2 = energiapuun metsäkuljetuskustannus, mk

y_3 = välivarastohaketus- ja käyttöpaikkamurskauskustannus, mk

y_4 = palstahaketuskustannus, mk

y_5 = hakkuutähteen paalauskuustannus, mk

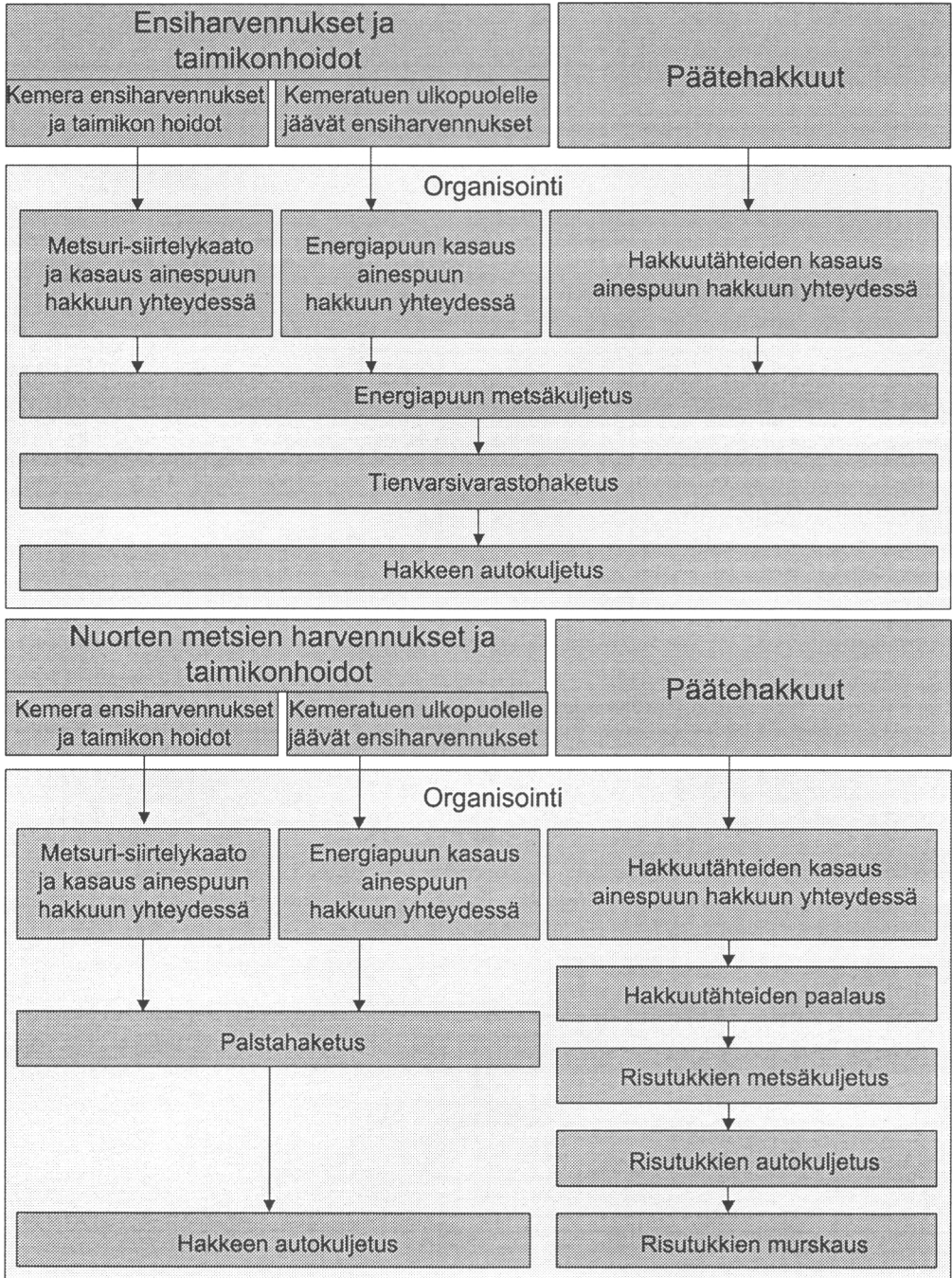
y_6 = energiapuun kaukokuljetuskustannus, mk

y_7 = koneiden siirtokustannukset, mk

y_8 = korjuun yleiskustannukset, mk

y_9 = kestävän metsätalouden rahoituslain mukainen tuki, mk

z = energiapuukertymä, $\text{m}^3/\text{korjuuketju}$



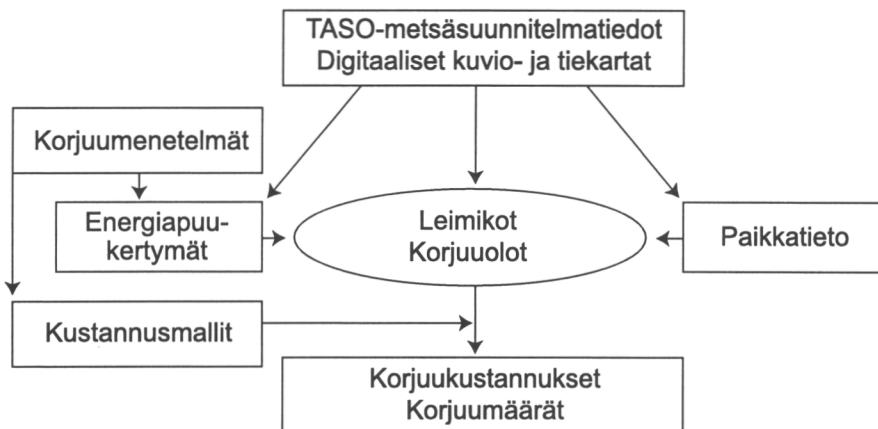
Kuva 2. Tienvarsivarastohaketuksen ja palsta- sekä käyttöpaikkahaketuksen perustuvat metsähakkeen toimitusketjut. Ensiharvennukset jaettuna kestävän metsätalouden rahoituslain mukaiset tukiehdot täyttäviin nuoren metsän hoitokohteisiin ja tukiehdot täyttämättömiin kohteisiin.

Taulukko 1. Leimikkovaihtoehtojen muodostaminen korjuun kiireellisyyden ja leimikon kuviomäärän mukaan.

	Korjuun kiireellisyys	Leimikon kuviomäärä
Leimikko 1	1. ja 2. viisivuotiskausi erillään	1 kuvio
Leimikko 2	1. ja 2. viisivuotiskausi erillään	1 tilan kuviot
Leimikko 3	1. ja 2. viisivuotiskausi yhdessä	1 tilan kuviot
Leimikko 4	1. ja 2. viisivuotiskausi erillään	yhteistyöalueen kuviot

Taulukko 2. Korjuukustannusten laskennassa käytetyt yksikkökustannukset.

Kustannuserä	Yksikkökustannus
Energiapuun siirtelykaato ja kasaaminen metsurityönä, mk/pv	757
Energiapuun hakkuukustannus koneellisessa ensiharvennuksessa, mk/m ³	55
Energiapuun hakkuukustannus koneellisessa päätehakuussa, mk/m ³	2
Metsätraktorin käyttötuntikustannus, mk	300
Hakeharvesterin käyttötuntikustannus, mk	521
Hakkutähdepaalaimen käyttötuntikustannus, mk	400
Välivarastohakkurin käyttötuntikustannus, mk	726
Välivarastohaketuskustannus, mk/m ³	31
Risutukkien murskauskustannus, mk/ m ³	13
Hakeauto, ajotuntikustannus mk/h ja kuormaus- sekä purkukustannus mk/h	455 ja 320
Vaihtolava-auto, ajotuntikustannus mk/h ja kuormaus- sekä purkukustannus mk/h	450 ja 315
Puutavara-auto, ajotuntikustannus mk/h ja kuormaus- sekä purkukustannus mk/h	416 ja 281



Kuva 3. Energiapuun tuotannon laskentamalli.

Korjuuvaihtoehtoille laskettiin energiayksikköä (mk/MWh) kohti lasketut kustannukset. Männyn hakkuutähdehakeesta saadaan 2,0 MWh energiaa kiintokuutiometristä, kuusen sekä lehtipuun hakkuutähdehakeesta 2,2 MWh, männyn sekä kuusen pienpuuhakeesta 1,9 MWh ja lehtipuun pienpuuhakeesta vastaavasti 2,2 MWh (koivu 2,3 MWh ja harmaaleppä 1,7 MWh) kosteuden ollessa 40 % (Hakkila ym. 1996). Kokonaiskustannukset laskettiin kaavalla

$$Mk_{MWh} = \frac{k}{(2,0z_{MaHakkuut} + 2,2z_{KuHakkuut+LpHakkuut} + 1,9z_{MaPienp+KuPienp} + 2,2z_{LpPienp})} \quad [5]$$

Mk_{MWh} = kustannukset käyttöpaikalla, mk/MWh

k = tuotantokustannukset, mk

$z_{MaHakkuut}$ = männyn hakkuutähdekertymä, m^3

$z_{KuHakkuut+LpHakkuut}$ = kuusen ja lehtipuun hakkuutähdekertymä, m^3

$z_{MaPienp+KuPienp}$ = männyn ja kuusen pienpuukertymä, m^3

$z_{LpPienp}$ = lehtipuun pienpuukertymä, m^3

Metsurityönä ainespuun hakkuun yhteydessä tehtävä ainespuurunkojen latvusten kasaamisen ja tätä pienempien puiden siirtelykaadon kustannukset laskettiin metsäalan työehtosopimuksen ja palkkamääräysten mukaan (Metsäalan...2000). Metsurin palkkana käytettiin suoran urakkapalkan mukaista kokonaispalkkaa (mk/työpäivä). Varsinaiseen työpalkkaan ja moottorisahakorvaukseen lisättiin sekä työnantajan lakisääteiset että muut palkan sivukustannukset kertoimella 1,73. Työn tuottavuus määriteltiin ensiharvennuskohteissa 50 dm^3 ja taimikonhoidoissa 30 dm^3 runkokoolle.

Ensiharvennuksissa koneellisen ainespuun hakkuun yhteydessä tehtävän hakkuutähdeiden kasoihin hakkaamisen ja ainespuun mitta- sekä laatuvaatimukset täyttämättömien puiden siirtelykaadon ja kasaamisen kustannuksena laskennassa käytettiin Poikelan & Riepon (1995) määrittelemää 21 mk/MWh, joka korjattiin keskimääräisen koneellisesti suoritettun harvennushakkuun kustannuskehityksen mukaisesti vastaamaan vuoden 2000 tasoa. Päätehakuussa hakkuutähteen kasoihin puimisesta johtuvat ainespuun korjuuta vaikeuttavat tekijät (esim. Jäkälä & Mäkinen) 2000) huomioitiin käyttämällä päätehakuiden energiapuun hakkuukustannuksena 2 mk/m^3 .

Ainespuun hakkuun yhteydessä suoritettun energiapuun hakkuun kustannukset laskettiin kaavalla

$$y_1 = \left(z_{kemera} \cdot \frac{757}{Mska} \right) + 55 z_{ensih} + 2 z_{paafeh} \quad [6]$$

y_1 = energiapuun hakkuukustannus, mk/tuotantoketju

z_{kemera} = kemera-kohteiden energiapuukertymä, m^3

z_{ensih} = kemera-ehdot täyttämättömien ensiharvennusten energiapuukertymä, m^3

z_{paafeh} = hakkuukoneella hakattavien päätehakuiden energiapuukertymä, m^3

$Mska$ = energiapuun siirtelykaadon ja kasaamisen tuottavuus, ensiharvennukset

$10,8 \text{ m}^3/\text{työpäivä}$ ja taimikonhoidot $8,0 \text{ m}^3/\text{työpäivä}$

Päätehakkuiden hakkuutähteen ja taimikonhoitojen sekä harvennusten pienpuun metsäkuljetuksen kustannukset laskettiin kaavalla [7], jossa metsäkuljetuksen tuottavuus on määritetty metsäkuljetusmatkan funktiona (kuva 4) Asikaisen ym. (2001) regressiomallilla. Metsätraktorin tehotuntuottavuus muutettiin käyttötuntuottavuudeksi kertomalla tehotuntuottavuus seurantatutkimuksen mukaista ajanmenekin lisäystä vastaavalla kertoimella (Kuitto ym. 1994). Risutukkien metsäkuljetuksen kustannusfunktio laadittiin laskemalla kustannustaso 300 metrin metsäkuljetusmatkalle ja määrittämällä kuljetusmatkan vaikutus kustannuksiin hakkuutähteen kustannusmallista johtamalla. Metsäkuljetuksen käyttötuntuottavuutena käytettiin 40 risutukkaa (vrt. Andersson ym. 2000). Kuorman kokona käytettiin 20 risutukkaa risutukin koon ollessa 0,55 m³ (vrt. Asikainen ym. 2001).

$$y_2 = z_{\text{hakkuut+pienp}} \left(\frac{300}{0,75(10,18 - 0,015x_1 + 0,42x_2 + 0,21x_3)} \right) + z_{\text{risut}}(0,019x_1^2 + 10,21) \quad [7]$$

y_2 = energiapuun metsäkuljetuskustannus, mk/tuotantoketju

$z_{\text{hakkuut+pienp}}$ = metsäkuljetettava hakkuutähde- ja pienpuukertymä, m³

z_{risut} = metsäkuljetettava risutukkikertymä, m³

x_1 = metsäkuljetusmatka, m

x_2 = kuormakoko, risutukit 11 m³, päätehakkuiden irtorisu 8 m³, kemera-kohteiden pienpuu 5 m³

x_3 = ajouranvarsitiheys, m³/100 m

Välivarastohaketuksen yksikkökustannuksena oli laskennassa 31 mk/m³. Käyttöpaikalla tapahtuvassa murskauksessa ja haketuksessa käytettiin Asikainen ym. (2001) määrittelemää 13 mk/m³, johon kustannustasoon päästään vuotuisen haketusmäärän ollessa 100 000–165 000 m³. Haketus- ja murskaukuskustannukset laskettiin kaavalla

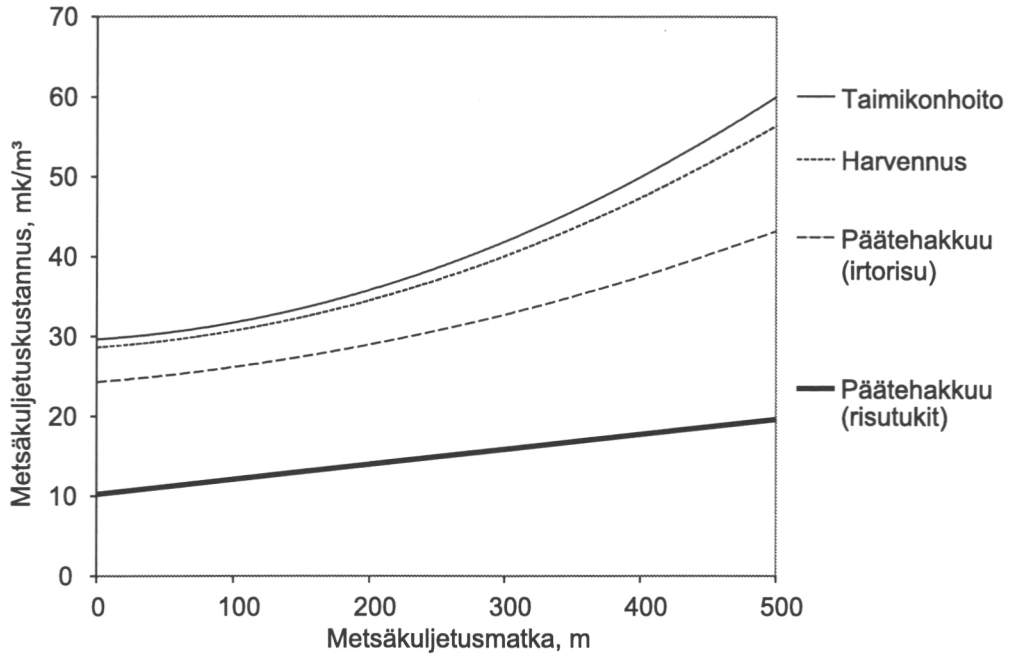
$$y_3 = 31z_{\text{väliv}} + 13z_{\text{käyttöp}} \quad [8]$$

y_3 = energiapuun välivarastohaketus ja käyttöpaikkamurskaukuskustannus, mk/tuotantoketju

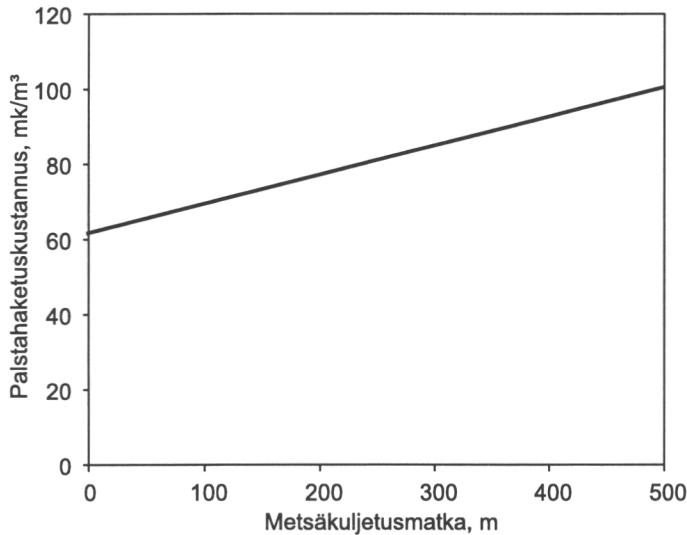
$z_{\text{väliv}}$ = välivarastolla haketettava energiapuu, m³

$z_{\text{käyttöp}}$ = käyttöpaikalla murskattava energiapuu, m³

Palstahaketuksen kustannuksiin vaikuttavat suuresti korjuukertymä, metsäkuljetusmatka ja palstahakkurin käyttöaste. Palstahaketuksen tuottavuus hakkuutähdettä korjattaessa on tutkimusten mukaan ollut 15–20 i-m³/käyttötunti (esim. Brunberg 1991, Laurila & Vesisenaho 1997, Asikainen ym. 2001). Taimikonhoidon sekä harvennusten pienpuun palstahaketuksen tuottavuustaso (7 m³/käyttötunti) johdettiin Poikelan & Riepon (1995) ja Hämäläinen ym. (1997) tutkimuksista. Palstahaketukselle laadittiin kustannusfunktio metsäkuljetusmatkan funktiona (kuva 5). Palstahaketuksen kustannukset laskettiin metsäkuljetusmatkan funktiona kaavalla [9].



Kuva 4. Päätehakkuun hakkuutähteen ja risutukkien sekä ensiharvennuksen ja taimikonhoidon energiapuun metsäkuljetuskustannukset metsäkuljetusmatkan funktiona. Ajouranvarsitiheys oli päätehakkuun hakkuutähteellä $12 \text{ m}^3/100 \text{ m}$ ajouraa, risutukeilla $12 \text{ m}^3/100 \text{ m}$ ajouraa, ensiharvennuksen pienpuulla $7 \text{ m}^3/100 \text{ m}$ ajouraa ja taimikonhoidon pienpuulla $5 \text{ m}^3/100 \text{ m}$ ajouraa. Kuormankoko vastaavasti 8 m^3 , $11,5 \text{ m}^3$ ja 5 m^3 .



Kuva 5. Taimikonhoitokohteiden sekä ensiharvennusten pienpuun palstahaketuskustannus metsäkuljetusmatkan funktiona.

$$y_4 = z_{\text{palstah}}(0,083x + 60,78) \quad [9]$$

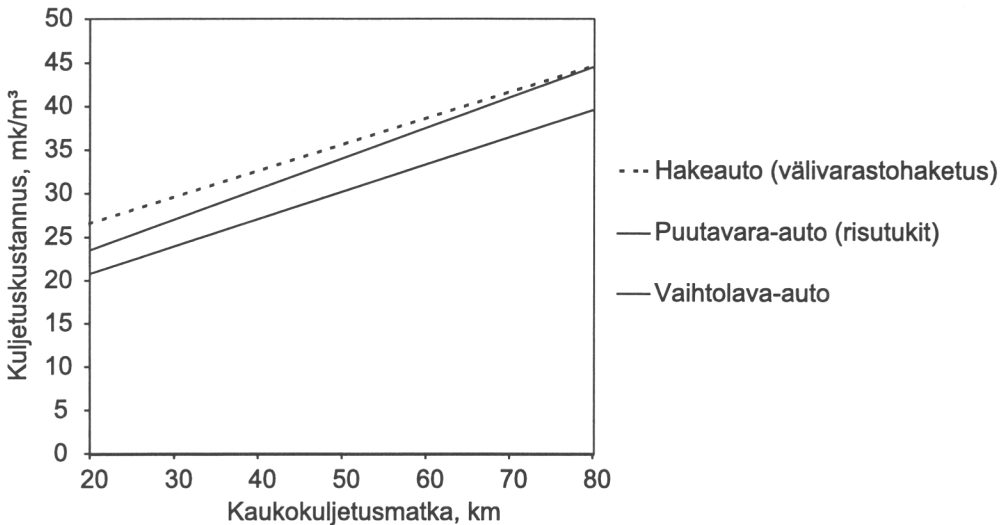
y_4 = energiapuun palstahaketuskustannus, mk/tuotantoketju
 z_{palstah} = palstahaketettävien kohteiden energiapuukertymä, m³
 x = metsäkuljetusmatka, m

Hakkuutähteen paalaamisen ja metsäkuljetuksen tuottavuudesta sekä kustannuksista ei ole olemassa laajaa tutkimustietoa. Ruotsissa Andersson ym. (2000) saivat risutukkien paalaamisen tuottavuudeksi vihreällä hakkuutähteellä 20,3–31,0 paalia/käyttötunti paalin keskikoon ollessa 501–537 kg. Hakkuutähteen paalaus-kustannukset määritettiin Asikainen ym. (2001) tekemän tutkimuksen mukaan, jossa Fiberback 370 -paalaimen tuottavuus vihreää hakkuutähdettä paalattaessa on kuusella 22,8 kpl/tehotunti ja männylä 22,2 kpl/tehotunti risutukkien keskikoon ollessa 0,59 m³ ja 0,44 m³. Lehtipuuhakkuutähteelle käytettiin samaa paalaamiskustannusta kuin männylle. Tehotuntituottavuus muutettiin käyttötuntituottavuudeksi kertoimella 0,8. Hakkuutähteen paalaamiskustannukset laskettiin kaavalla

$$y_5 = 37z_{ku} + 52z_{mä+lp} \quad [10]$$

y_5 = hakkuutähteen paalaus-kustannukset, mk
 z_{ku} = paalattava kuusihakkuutähdde, m³
 $z_{mä+lp}$ = paalattava mänty- ja lehtipuuhakkuutähdde, m³

Hakkeen ja risutukkien kaukokuljetuskustannusfunktiot (kuva 6) johdettiin puutavara-auton tyhjänä- ja kuormattuna-ajon ajanmenekkiin sekä kuormaamisen ja purkami-



Kuva 6. Hakkeen kaukokuljetuskustannukset vaihtolava-autolla ja puoliperävaunurekalla sekä hakkuutähddepaalien kaukokuljetuskustannukset puutavara-autolla. Kuorman koko vaihtolava-autolla 42 m³, puoliperävaunurekalla 44 m³ ja puutavara-autolla 37 m³.

sen ajanmenekkiin perustuen (vrt. Asikainen ym. 2001). Kaukokuljetuskustannukset laskettiin kaavalla

$$y_6 = z_{vaihtol}(0,31m + 14,53) + z_{hakea}(0,302m + 20,49) + z_{puutav}(0,35m + 16,504) \quad [11]$$

y_6 = palstahaketuksessa energiapuun kaukokuljetuskustannus, mk/tuotantoketju
 $z_{vaihtol}$ = palstahaketuksessa vaihtolava-autolla kuljetettava hake, m³
 z_{hakea} = välivarastohaketuksessa hakeautolla kuljetettava hake, m³
 z_{puutav} = puutavara-autolla kuljetettavat risutukit, m³
 m = kaukokuljetusmatka, km

Varsinkin välivarastohaketukseen ja palstahaketukseen perustuvassa tuotannossa ongelmallisia ovat kuuman korjuun aiheuttamien odotusten lisäksi siirrot, joihin liittyy jokaisesta työmaan aloittamisesta sekä lopettamisesta syntyvä ylimääräinen työ. Korjattua energiapuumäärää kohti laskettu siirtojen lukumäärä on riippuvainen työmaiden koosta ja yksittäiseen siirtoon kuuluva aika siirtomatka-alueesta. Siirtomatkaan vaikuttavat toiminta-alueen koko ja työmaiden ketjuttamisen onnistuminen.

Metsätraktorille, hakeharvesterille, hakkuutähdepaalaimelle ja välivarastohakkurille laadittiin kaavassa [12] esitetty malli, jonka avulla määriteltiin siirtokustannukset siirtomatkan funktiona (kuva 8). Koneiden käyttökustannusten muodostuminen on esitetty kuvassa 7. Jokaisen työmaan aloittamiseen (ajo lavetilta ja leimikon aloitus) ja lopettamiseen (siirron valmistelu ja ajo lavetille) liittyvien toimenpiteiden kustannuksena käytettiin koneen puolen tunnin käyttötuntikustannusta (vrt. Asikainen ym. 2001 ja Asikainen ym. 1999). Siirtomatkan ollessa 2 km tai sen alle laskettiin leimikkokoneiden väliset metsätraktorin, hakeharvesterin ja hakkuutähdepaalaimen siirrot tehtäväksi ajamalla ja sitä pitemmät siirrot lavettisiirtotona. Kuorma-autoalustaisen välivarastohakkurin kaikki siirrot tehtiin ajamalla. Ajamalla tehtävien siirtojen kustannus laskettiin koneen ajonopeudesta ja siirtomatka-alueesta syntyvästä ajanmenekistä käyttötuntikustannuksen avulla. Leimikkokoneiden ollessa yli 2 km määritettiin metsätraktorille, hakeharvesterille ja hakkuutähdepaalaimelle lavettisiirtokustannus, joka muodostui kiinteästä osasta (200 mk/siirto) ja siirtomatka-alueesta muodostuvasta osasta (10 mk/km) siirtomatkan 20 km ylittävältä osalta.

$$y_7 = \sum (0,5Ktku + s_1 \left(Ktku \frac{Smat}{Snop} \right) + s_2(200 + 10(Slat - 20))) \quad [12]$$

y_7 = metsätraktorin, hakeharvesterin ja paalauslaitteen siirtokustannukset, mk/tuotantoketju

s_1 = 1 jos siirtomatka on ≤ 2 km, muulloin 0

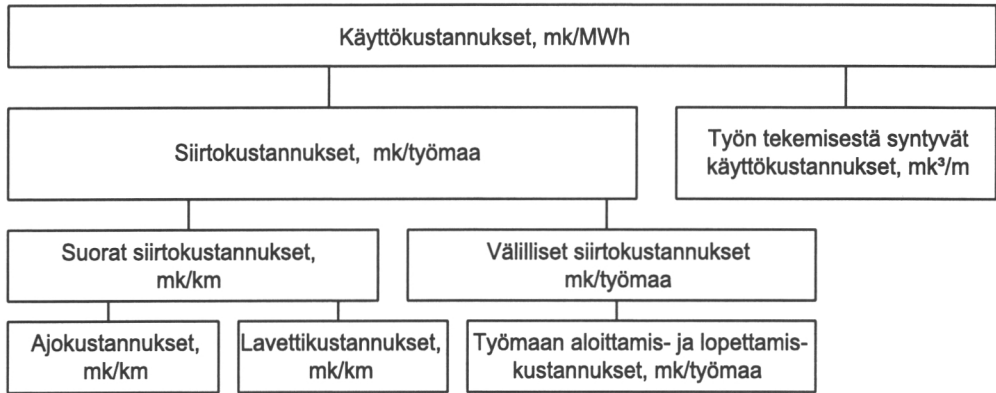
s_2 = 1, jos siirtomatka on > 2 km, muulloin 0

$Ktku$ = siirrettävän koneen käyttötuntikustannus, mk

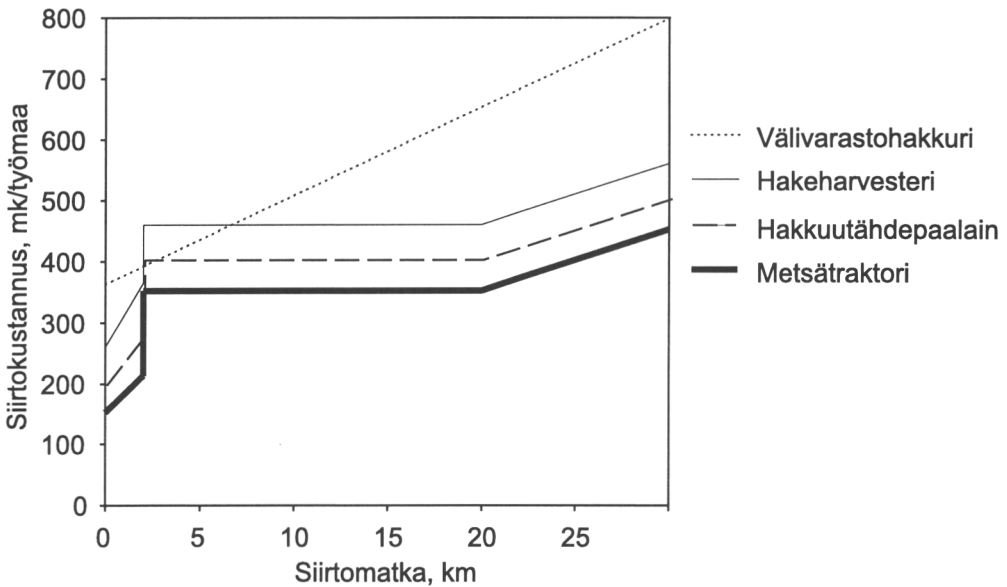
$Smat$ = siirtomatka ajamalla, km

$Snop$ = koneen ajonopeus siirrossa, km/h

$Slat$ = lavettisiirtomatka, km, $Slat = 20$ jos $Slat$ on alle 20 km



Kuva 7. Metsätraktorin, hakeharvesterin, hakkuutähdepaalaimen ja välivarastohakkurin käyttökustannusten muodostuminen.



Kuva 8. Metsätraktorin, hakeharvesterin, hakkuutähdepaalaimen ja välivarastohakkurin siirtokustannus (mk/työmaa) siirtomatkan funktiona. Siirtokustannukset sisältävät työmaan aloittamisesta ja lopettamisesta syntyvät kustannukset.

Asikaisen ym. (2001) mukaan metsähakkeen ja puupolttoaineen hankinnan organisaatiokustannuksiksi on arvioitu 4–5 mk/MWh. Leimikkovaihtoehdossa, jossa työmaat muodostuivat yksittäisistä korjuukuvioista, yleiskustannukset määritettiin tätä vastaavalle tasolle (8 mk/m³). Muiden leimikkovaihtoehtojen yleiskustannukset korjattua energiapuukuutiometriä kohti määritettiin jakamalla korjuukuvioihin perustuvan toimintamallin kokonaiskustannukset kyseisellä energiapuukertymällä. Näin leimikkokokoa kasvattamalla voidaan organisaatiokuluissa saada säästöjä korjattua puumäärää kohti laskettuna. Yleis- ja organisaatiokustannukset laskettiin kaavalla

$$y_8 = 8z_{leimikko1} \quad [13]$$

y_8 = yleiskustannukset, mk/tuotantoketju

$z_{leimikko1}$ = tuotantoketjun energiapuukertymä leimikoiden muodostuessa kuvioista, m³

Metsätalouden kestävän rahoituslain mukaan tukea sai vuonna 2001 Metsäkeskus Häme-Uusimaan alueella vieraalla työvoimalla suoritettuun nuoren metsän harvennukseen 1250 mk/ha ja taimikonhoitoon 750 mk/ha. Energiapuun korjuutukea oli mahdollista saada 40 mk/m³ ja hakkeen käyttäjälle maksettavaa haketustukea 10 mk/i-m³ eli noin 25 mk/m³. Edellytyksenä haketustuelle on 20 m³:n hankekohtainen vähimmäiskertymä ja energiapuun energiakäyttöön luovuttaminen (Kemera... 2001). Energiapuun korjuulle asetetut tukiehdot täyttävissä kohteissa kokonaiskustannuksista vähennettiin energiapuun korjaamisesta ja haketuksesta muodostuvat tukien mukaiset kustannusosuudet. Tukien suuruus laskettiin kaavalla

$$y_9 = z_{kemera}(40 + 25) \quad [14]$$

y_9 = kemera-tuet, mk

z_{kemera} = kemera-tukiehdot täyttävien kuvioiden energiapuukertymä, m³

3 Tulokset

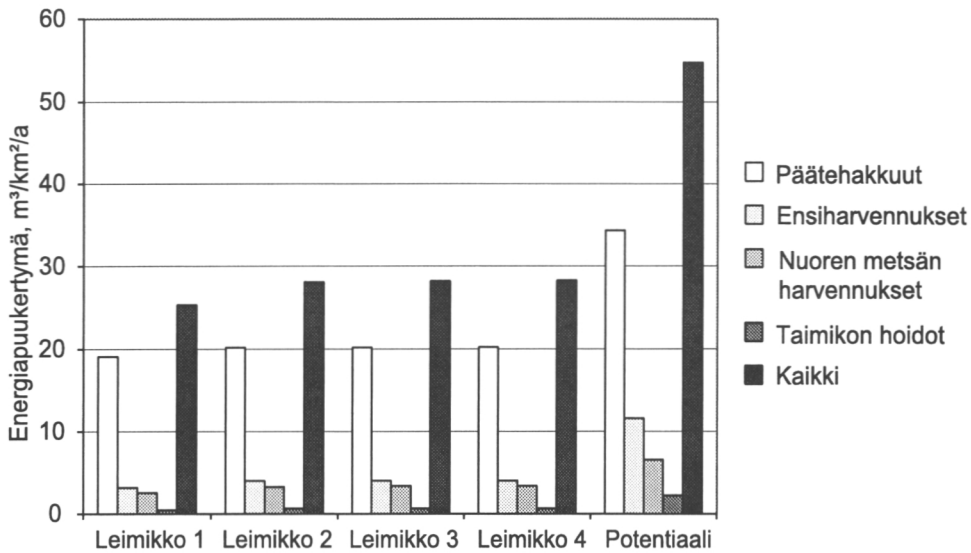
3.1 Energiapuupotentiaali ja korjuukelpoinen energiapuukertymä

Tarkastelualueen seuraavan kymmenvuotiskauden energiapuupotentiaaliksi saatiin 82 098 m³, josta 63 % kertyi päätehakkuualoilta, 21 % ensiharvennuksista, 12 % nuorten metsien hoidosta ja 4 % taimikonhoidosta (taulukko 3). Päätehakkuualojen hakkuutähteen osuus leimikkovaihtoehtojen korjuukelpoisesta energiapuukertymästä oli 72–76 %, ensiharvennusten 12–14 %, nuorten metsien harvennusten 10–12 % ja taimikon hoitojen 2 %.

Koko hankinta-alueen pinta-alasta laskettu potentiaalinen energiapuukertymä oli 55 m³/km²/a korjuukelpoisten leimikkovaihtoehtojen energiapuukertymän ollessa 26–28 m³/km²/a (kuva 9).

Taulukko 3. Alueen energiapuupotentiaali sekä eri leimikkovaihtoehtojen energiapuukertymä hakkuutavoittain.

	Potentiaali	Leimikkovaihtoehdot			
		Leimikko 1	Leimikko 2 m ³	Leimikko 3	Leimikko 4
Päätehakkuu	51 511	28 661	30 275	30 305	30 325
Ensiharvennus	17 396	4 810	5 962	5 994	6 006
Nuoren metsän harvennus	9 851	3 839	4 904	5 041	5 081
Taimikonhoito	3 340	676	948	948	981
Kaikki hakkuutavat	82 098	37 986	42 089	42 288	42 393



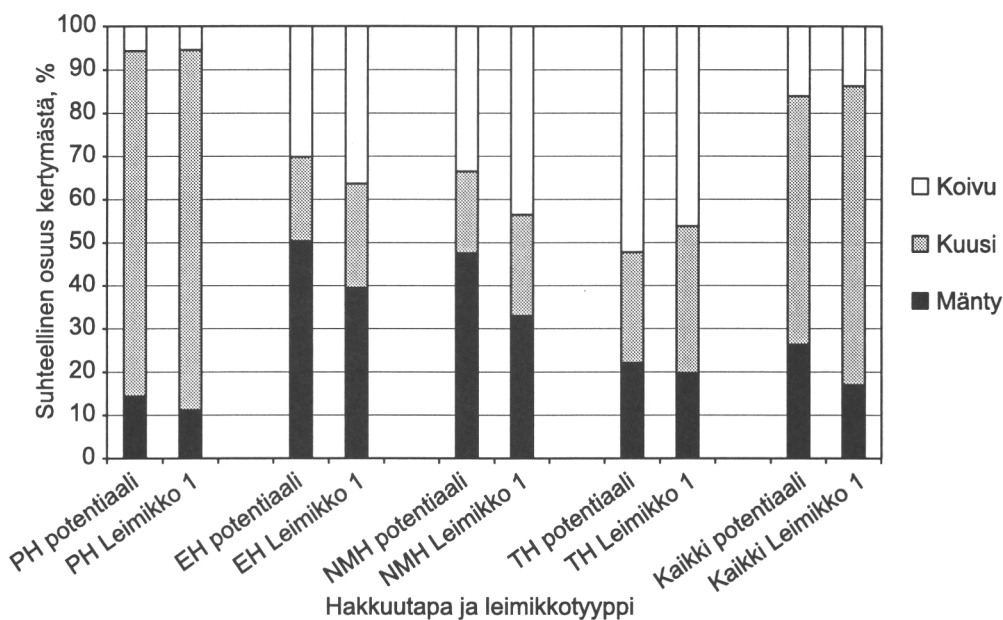
Kuva 9. Tarkastelualueen päätehakkuiden, ensiharvennusten, nuoren metsän harvennusten ja taimikonhoitojen energiapuupotentiaalin ja eri leimikkovaihtoehtojen energiapuukertymä $m^3/km^2/a$.

Päätehakkuiden energiapuukertymästä valtaosa oli kuusta. Ensiharvennusten ja nuorten metsien harvennusten energiapuukertymästä valtaosa oli mäntyä ja lehtipuuta. Taimikonhoitokohteiden kertymästä noin puolet oli lehtipuuta (kuva 10).

Leimikoiden lukumäärä oli 321 kpl leimikkovaihtoehdossa 1, 154 kpl vaihtoehdossa 2, 90 kpl vaihtoehdossa 3 ja 20 kpl vaihtoehdossa 4. Leimikon keskimääräinen koko oli vaihtoehdosta riippuen $118 m^3-2120 m^3$. Hehtaarikohtainen kertymä laski leimikkoja suurempiin yksiköihin keskitettäessä. Leimikkokohtainen kertymä sitä vastoin kasvoi, joka johtui ensisijaisesti päätehakuuleimikoiden selvästä suurenemisesta. Pienpuun korjuussa leimikkokertymä sitä vastoin oli samaa suuruusluokkaa kuvio- ja tilakohtaisissa leimikkovaihtoehdoissa. Hehtaari- ja leimikkokertymät olivat taulukon 4 mukaiset.

Taulukko 4. Alueen energiapuupotentiaalin kertymä (m^3/ha) sekä eri leimikkovaihtoehtojen keskimääräinen energiapuukertymä (m^3/ha ja $m^3/leimikko$) hakkuutavoittain. Leimikkokertymä on laskettu leimikoista, joissa on kyseisellä hakkuutavalla hakattuja kuvioita.

	Potentiaali m^3/ha	Leimikkovaihtoehdot							
		Leimikko 1		Leimikko 2		Leimikko 3		Leimikko 4	
		m^3/ha	$m^3/leimikko$	m^3/ha	$m^3/leimikko$	m^3/ha	$m^3/leimikko$	m^3/ha	$m^3/leimikko$
Päätehakkuu	81	63	133	62	218	62	341	62	1516
Ensiharvennus	33	39	102	36	90	36	115	36	300
Nuoren metsän harvennus	42	38	78	38	82	38	80	38	254
Taimikonhoito	8	29	75	27	56	28	53	28	49
Kaikki hakkuutavat	44	54	118	52	273	51	470	51	2120



Kuva 10. Energiapuupotentiaalin ja yksittäisistä kuviosta muodostuvan vaihtoehdon (leimikko 1) korjuukelpoisen energiapuukertymän jakautuminen puulajeittain. PH = päätehakkuu, EH = ensiharvennus, NMH = nuoren metsän harvennus, TH = taimikon hoito ja Kaikki = kaikki hakkuutavat.

3.2 Tuotantokustannukset

Tuotantoketjujen metsähakkeen tuotantokustannukset käyttöpaikalle toimitettuna olivat tienvarsivarastohaketukseen perustuvassa korjuuketjussa 6 % ja palsta- sekä käyttöpaikkahaketukseen perustuvassa tuotantoketjussa 4 % alhaisemmat keskitettäessä korjuu yksittäisistä kuvioleimikoista yhteisleimikoihin. Metsähakkeen tuotantokustannusten muodostuminen on esitetty taulukoissa 5–8.

4 Tulosten tarkastelu

Metsähakkeen tuotantoketjujen kustannukset muodostuvat tuotantoketjun osien summasta. Kustannusmalleja tehtäessä joudutaan tekemään valintoja koneiden, laitteiden ja menetelmien välillä, joiden tuottavuus ja sisäinen kustannusrakenne saattavat olla erilaisia. Lisäksi toimintaketjujen osien väliset suhteet aiheuttavat tarkkojen kokonaiskustannusten määrittämiseen epävarmuutta mm. odotusaikojen muodossa. Tutkimukselle asetetun tavoitteen mukaisesti tuloksissa pyrittiin saamaan esille leimikoiden tilakohtaisen keskittämisen ja yhteisleimikkojen vaikutusta metsähakkeen tuotantoon eri toimintavaihtoehdoilla, ei absoluuttisia tuotantomenetelmien välisiä kustannuseroja.

Metsähakkeen tuotantokustannukseksi käyttöpaikalle toimitettuna saatiin päätehakkuissa 50,5–55,1 mk/MWh, joka on selvästi korkeampi kuin keskimääräinen hakkuutähteestä valmistetun metsähakkeen markkinahinta (44 mk/MWh) vuonna 1999 (Hakkila ym. 2001). Tämä johtuu laskennassa huomioon otetuista yleiskustannuksista sekä siitä,

Taulukko 5. Metsähakkeen tuotantokustannusten rakenne leimikkovaihtoehdossa 1.

	Metsähakkeen tuotantokustannukset, mk/MWh									
	Tienvarsivarastohaketukseen perustuva ketju					Palsta- ja käyttöpaikka-haketukseen perustuva ketju				
	PH	EH	NMH	TH	Kaikki	PH	EH	NMH	TH	Kaikki
Hakkuu	1,0	27,4	34,5	45,9	8,6	1,0	27,4	34,5	45,9	8,6
Paalaus						21,1				15,9
Metsäkuljetus	16,9	22,8	20,8	21,1	18,1	8,6				6,5
Palstahaketus							45,3	42,1	41,1	10,8
Haketus ja murskaus	17,1	17,6	18,1	18,4	17,3	6,5				4,9
Kaukokuljetus	15,1	15,1	15,0	14,8	15,1	13,9	12,3	12,2	12,0	13,5
Yleis-	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
kustannukset										
Kemera-tuet			31,4	31,0	3,8			31,4	31,0	3,8
Kustannukset yht.	54,1	87,0	60,9	73,2	59,3	55,1	89,0	61,4	72,1	60,3

Taulukko 6. Metsähakkeen tuotantokustannusten rakenne leimikkovaihtoehdossa 2.

	Metsähakkeen tuotantokustannukset, mk/MWh									
	Tienvarsivarastohaketukseen perustuva ketju					Palsta- ja käyttöpaikka-haketukseen perustuva ketju				
	PH	EH	NMH	TH	Kaikki	PH	EH	NMH	TH	Kaikki
Hakkuu	1,0	27,4	34,5	46,2	9,7	1,0	27,4	34,5	46,2	9,7
Paalaus						20,5				14,8
Metsäkuljetus	16,0	21,9	19,6	20,4	17,3	8,1				5,8
Palstahaketus							44,1	40,5	39,9	11,9
Haketus ja murskaus	15,9	16,6	16,6	17,2	16,1	6,5				4,6
Kaukokuljetus	14,9	14,9	14,8	14,7	14,9	13,7	12,1	12,0	11,9	13,3
Yleis-	3,6	3,6	3,6	3,5	3,6	3,6	3,6	3,6	3,5	3,6
kustannukset										
Kemera-tuet			31,4	31,1	4,4			31,4	31,1	4,4
Kustannukset yht.	51,4	84,4	57,7	70,8	57,3	53,4	87,2	59,2	70,4	59,3

Taulukko 7. Metsähakkeen korjuukustannusten rakenne leimikkovaihtoehdossa 3.

	Metsähakkeen tuotantokustannukset, mk/MWh									
	Tienvarsivarastohaketukseen perustuva ketju					Palsta- ja käyttöpaikka-haketukseen perustuva ketju				
	PH	EH	NMH	TH	Kaikki	PH	EH	NMH	TH	Kaikki
Hakkuu	1,0	27,4	34,5	46,2	9,8	1,0	27,4	34,5	46,2	9,8
Paalaus						20,2				14,4
Metsäkuljetus	15,8	21,6	19,4	20,0	17,1	7,7				5,5
Palstahaketus							43,8	40,3	39,6	11,9
Haketus ja murskaus	15,7	16,2	16,3	16,7	15,8	6,5				4,6
Kaukokuljetus	14,9	14,9	14,8	14,7	14,9	13,7	12,1	12,0	11,9	13,2
Yleis-	3,6	3,6	3,6	3,5	3,6	3,6	3,6	3,6	3,5	3,6
kustannukset										
Kemera-tuet			31,4	31,1	4,5			31,4	31,1	4,5
Kustannukset yht.	50,9	83,6	57,1	69,9	56,7	52,7	86,9	59,0	70,1	58,7

Taulukko 8. Metsähakkeen korjuukustannusten rakenne leimikkovaihtoehdossa 4.

	Metsähakkeen tuotantokustannukset, mk/MWh									
	Tienvarsivarastohaketukseen perustuva ketju					Palsta- ja käyttöpaikka-haketukseen perustuva ketju				
	PH	EH	NMH	TH	Kaikki	PH	EH	NMH	TH	Kaikki
Hakkuu	1,0	27,3	34,5	46,4	9,8	1,0	27,3	34,5	46,4	9,8
Paalaus						19,7				14,0
Metsäkuljetus	15,6	20,9	18,6	18,8	16,8	7,3				5,2
Palstahaketus							42,9	39,5	38,6	11,8
Haketus ja murskaus	15,4	15,4	15,3	15,3	15,4	6,5				4,6
Kaukukuljetus	14,9	14,9	14,8	14,7	14,9	13,7	12,1	12,0	12,0	13,2
Yleis-	3,6	3,6	3,5	3,5	3,6	3,6	3,6	3,5	3,5	3,6
kustannukset										
Kemera-tuet			31,4	31,3	4,5			31,4	31,3	4,5
Kustannukset yht.	50,5	82,1	55,3	67,4	56,0	51,7	85,9	58,2	69,3	57,7

ettei kuvioden korjuukelpoisuutta määritettäessä käytetty metsäkuljetusmatkarojoitetta. Näin keskimääräiset metsäkuljetusmatkat ja -kustannukset nousivat korkeiksi.

Metsässä tehtävän hakkuutyön kustannukset nostavat pienpuusta korjattavan energiapuun tuotantokustannukset kannattamattomalle tasolle. Kuitenkin valtion lähinnä metsänhoidollisista syistä metsätalouden rahoituslain tarkoittamille kohteille maksama rahallinen tuki mahdollistaa energiapuun korjuun myös osalla näistä kohteista. Energiapuun kasaamisesta ja metsäkuljetuksesta maksettavaksi tueksi saatiin keskimäärin 19 mk/MWh ja haketustueksi 12 mk/MWh. Kunnostettavan alueen pinta-alan perustuvaa tukea ei laskelmissa otettu huomioon, mutta sen vaikutus hakkeen hintaan käyttöpaikalla olisi ollut 13–16 mk/MWh.

Leimikkovaihtoehdosta riippuen tarkastelualueen energiapuupotentiaalista 46–52 % täytti asetetut korjuukelpoisuusehdot. Keskittämällä energiapuun korjuuta kuviokohtaisista leimikoista tilakohtaisiin on mahdollista saada suurempi osa energiapuupotentiaalista kannattavan korjuun piiriin. Laskelman mukaisissa olosuhteissa korjuukelpoinen energiapuumäärä kasvoi 11 % siirryttäessä kuviokohtaisista leimikoista tilakohtaisiin. Tilojen muodostamisessa yhteisleimikoissa energiapuukertymä oli 12 % kuviokohtaisia leimikoita suurempi. Päätehakkualojen hakkuutähteen korjuussa kokonaiskertymä kasvoi 6 %. Pienpuun korjuussa toiminnan keskittäminen lisäsi korjuukelpoisten kuvioden määrää selvemmin, kertymä kasvoi korjuutavoittain 25–45 %.

Metsähakkeen hinta tuotantopaikalle toimitettuna oli yhteisleimikoissa välivarastohaketukseen perustuvalla tuotantoketjulla 6 % ja palsta- sekä käyttöpaikkahaketukseen perustuvalla tuotantoketjulla 4 % pienempi kuin kuvioleimikoissa. Välivarastohaketusketjun kustannussäästöt muodostuivat palsta- ja käyttöpaikkahaketusketjua suuremmiksi, koska siinä päästiin hyödyntämään hakkuutähteen ja pienpuun korjuun integrointia samalle välivarastolle. Saatava kustannusetu oli pienpuunkorjuussa päätehakkuiden hakkuutähteen korjuuta suurempi. Koko tuotantoketjua tarkasteltaessa on otettava huomioon, että toimintaa keskitettäessä pienpuun suhteellinen osuus kokonaiskertymästä suurenee. Tämä pienentää keskittämisestä muuten saatavaa kustannusetua, mutta saattaa samalla parantaa hakkeen laatua. Lisäksi kokonaiskertymältään pienten kuvioden leimikkotekijät saattavat olla suuria kuvioita epäedullisemmat.

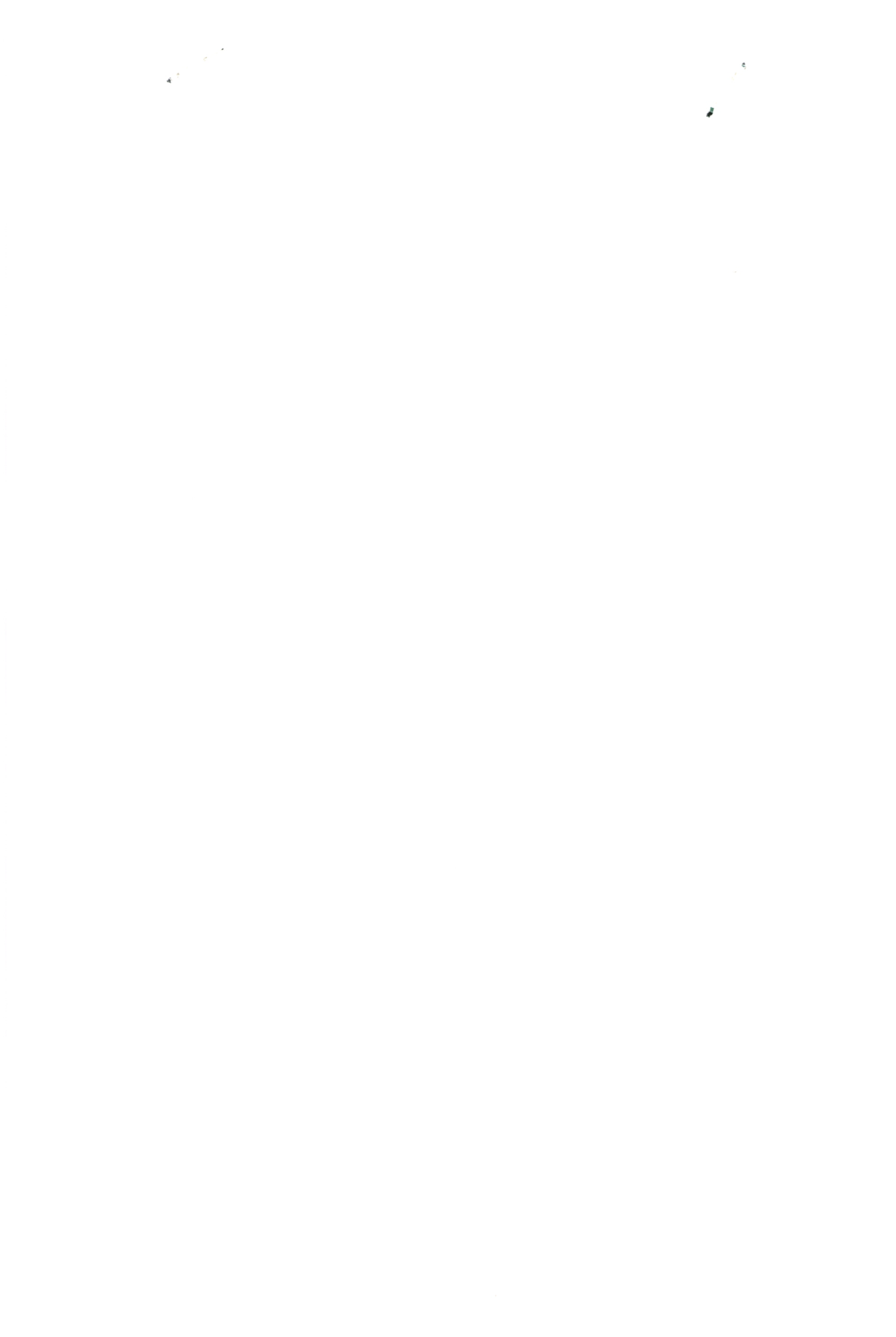
Tarkastelussa otettiin huomioon keskittämisestä saatavista eduista ainoastaan hankinnan yleiskustannuksiin ja koneiden sekä laitteiden siirtoon kohdistuvat kustannusmuutokset. Toimintakohteita suurennettaessa saadaan ajankäyttöä tehostettua ja sitä kautta säästöjä myös muissa työvaiheissa, kuten kaukokuljetuksessa lyhentyvien odotusaikojen ja pienten varastojen hakemisen muodossa. Näiden tekijöiden selvittäminen edellyttää tuotannon osien ajankäytön ja logistiikan toimivuuden tarkkaa mittaamista.

Lähteet:

- Andersson, G., Nordén, B., Jirjis, R. & Åstrand, C. 2000. Buntning kan sänka kostnaderna för skogsbränsle. SkogForsk resultat 8. 41 s.
- Asikainen, A., Ranta, T., Laitila, J. & Hämäläinen J. 2001. Hakuutähdehakkeen kustannustekijät ja suurimittakaavainen hankinta. Joensuun yliopiston metsätieteellisen tiedekunnan tiedonantoja 131. 107 s.
- , & Nuuja, J. 1999. Palstahaketuksen ja hakkeen kaukokuljetuksen simulointi. Metsätieteen aikakauskirja 3: 479–490.
- Brunberg, B. Tillvaratagande av skogsbränsle – träddeklar och trädrester. Skogsarbeten, Redogörelse 5. 54 s.
- Hakkila, P. 1991. Hakuuipoistuman latvusmassa. Folia Forestalia 773. 24 s
- , & Fredriksson, T. 1996. Metsämme bioenergian lähteenä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 613. 92 s.
- , Nousiainen, I. & Kalaja, H. 2001. Metsähakkeen käyttö Suomessa. Tilannekatsaus vuodesta 1999. VTT Tiedotteita. 39 s.
- , Nurmi, J. & Kalaja, H. 1998. Metsänuudistusalojen hakuutähde energialähteenä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 684. 68 s.
- Hämäläinen, J., Lilleberg, R., Poikela, A. & Rieppo, K. 1997. Energiapuun korjuu taimikosta Chipset hakeharvesterilla. Metsäteho. Katsaus 5. 6 s.
- Ikäheimo, J. & Asikainen, A. 1999. Polttohakkeen tuotantomenetelmien tuottavuus ja kustannukset. Metsätieteen aikakauskirja 3: 491–503.
- Jäkälä, M. & Mäkinen, P. 2000. Metsäkoneyrittäjät energiapuun korjuussa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 778. 20 s.
- Kemera-rahoitustuki. 2001, muutettu 18.9.2001 Koistinen, A. (WWW-dokumentti) <http://www.metsavastaa.net/index.cfm?docID=2400>
- Korhonen, K.T., Tomppo, E., Henttonen, H., Ihalainen, A., & Tonteri, T. 2000. Hämeen-Uudenmaan metsäkeskuksen alueen metsävarat 1965-99. Julkaisussa: Häme-Uusimaa. Metsävarat 1965-99, hakkuumahdollisuudet 1999-2028. Metsätieteen aikakauskirja 3B: 489–566.
- Kuitto, P.-J., Keskinen, S., Lindroos, J., Oijala, T., Rajamäki, J., Räsänen, T. & Terävä, J. 1994. Puutavaran koneellinen hakkuu ja metsäkuljetus. Metsätehon tiedotus 410. 38 s.
- Laurila, P. & Vesisenaho, T. 1997. Chipset-hakeharvesterin demonstrointi. Bioenergian tutkimusohjelma, Vuosikirja 1996, Osa 1, Puupolttoaineen tuotantotekniikka. Jyväskylän Teknologia-keskus Oy: 251–257.
- Metsäalan palkkaus. 1999. Koulutusaineisto. VIII Painos. Metsäpalkkauksen kehittämisen projektiryhmä. 50 s.
- Pasanen, K., Vesterlin, V., Keskimölä, A., Soimasuo, J. & Tokola, T. 1997. Alueellisten energiapuuvarojen analysointimenetelmä. Metsätieteen aikakauskirja 1: 25–35.
- Poikela, A. & Rieppo, K. 1995. Chipset 536 C-hakeharvesteri polttoraaka-aineen hankinnassa. Metsäteho. Katsaus 8. 10 s.
- Rantala, J. 1997. Havupuuvaltaisten varttuneiden taimikoiden ja nuorien kasvatusener-

giapuun kokonaiskertymät Mikkelin ympäristössä. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta. Pro gradu -tutkielma. 66 s.

Viitala, E-J & Uotila, E. 1999. Optimaalinen titeheys yksityismetsätalouden kannalta. Metsätieteen aikakauskirja 2: 167–179.



ISBN 951-40-1817-6
ISSN 0358-4283
Hakapaino Oy 2002