

Taimikonhoidon ja ensiharvennuksen yhdistäminen

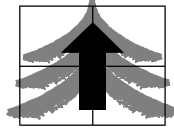
Jarmo Hämäläinen

Hannu Kalaja

Risto Lilleberg

Asko Poikela

Kaarlo Rieppo



Taimikonhoidon ja ensiharvennuksen yhdistäminen

Bioenergian tutkimusohjelman projekti 138

Jarmo Hämäläinen
Hannu Kalaja
Risto Lilleberg
Asko Poikela
Kaarlo Rieppo

Metsätehon raportti 61
24.8.1998

Konsortiohanke: Enso Oyj, Metsähallitus, Metsäliitto
Osuuskunta, UPM-Kymmene Oyj,
Yksityismetsätalouden Työnantajat r.y.

Asiasanat: taimikonhoito, ensiharvennus, energiapuun korjuu,
joukkokäsittely, ketjukarsinta

*Keywords: procurement of industrial and fuel wood,
cleaning , first thinning, multi-tree handling*

Summary in English

© Metsäteho Oy

Helsinki 1998

ALKUSANAT

Tutkimus kuuluu valtakunnalliseen Bioenergia-tutkimusohjelmaan. Projekti sai siihen liittyvää tukirahoitusta Tekesiltä yhteensä 240 000 mk.

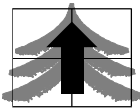
Metsäteho Oy oli kokonaisvastuussa projektin johtamisesta sekä tulosten laskennasta ja raportoinnista. Metsäntutkimuslaitos vastasi hakkeen raaka-aineominaisuuksien selvittämisestä ketjukarsinta-kuorinta-haketus-käsittelyissä. UPM-Kymmene Oyj järjesti koetyömaat tutkimusta varten ja osallistui korjuun käytännön järjestelyihin. Karelian Puu ja Metalli Oy vastasi keräily-kaatolaitteen kehittämistä ja asennuksesta kokeilua varten. Plustech Oy järjesti alustakoneen kokeiluun. Ketjukarsinta-kuorinta-haketus tehtiin Pertti Szepaniak Oy:n käsittely-yksiköillä Enso Oyj:n Uimaharjun ja Kaukopään tehdasalueilla.

Projektiin oli kutsuttu Metsätehon osakkaiden edustajista koostuva johtoryhmä. Ryhmään kuuluivat Jyri Schildt puheenjohtajana UPM-Kymmene Oyj, Erkki Hallman Metsähallitus, Kari Immonen Yksityismetsätalouden Työnantajat r.y., Antero Pasanen Enso Oyj ja Ari Vastamäki Biowatti Oy.

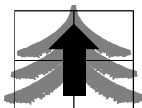
Metsätehosta projektiin osallistuivat Jarmo Hämäläinen (projektipäällikkö), Reima Liikkanen, Risto Lilleberg, Asko Poikela, Kaarlo Rieppo ja Markus Strandström. Metsäntutkimuslaitoksesta tutkimukseen osallistuivat Hannu Kalaja, Erkki Salo ja Veijo Salo.

SISÄLLYS

Kuvailusivut	4
1 JOHDANTO	6
2 TUTKIMUSMENETELMÄ JA AINEISTO	7
3 TULOKSET	8
3.1 Puunkorjuu.....	8
3.1.1 Korjuuolosuhteet.....	8
3.1.2 Korjuun tuottavuus	10
3.1.3 Korjuukustannukset.....	12
3.2 Kaukokuljetuksen kustannukset.....	12
3.3 Ketjukarsinta-kuorinta-haketus.....	14
3.3.1 Raaka-aineanalyysit	14
3.3.2 Haketuksen tuottavuus ja kustannukset	17
3.4 Hankintaketjun kokonaistuottavuus ja -kustannukset	19
3.4.1 Selluhakkeen tuotanto	19
3.4.2 Polttihakkeen tuotanto	21
3.4.2.1 Integroitu menetelmä.....	21
3.4.2.2 Pelkkä energiapuun korjuu.....	21
3.5 Puuntuotannolliset vaikutukset	22
3.5.1 Metsikön kehitys ja puuntuotannon talous	22
3.5.2 Ravinnekysymykset	24
4 TARKASTELU	24
KIRJALLISUUS	27
LIITE	



Julkaisija (nimi ja osoite) METSÄTEHO OY PL 194 00131 HELSINKI		Projektin tunnus/projektinumero Bioenergia 138	Paikka ja päiväys Helsinki 2.9.1998
Tekijä(t) Jarmo Hämäläinen Hannu Kalaja Risto Lilleberg Asko Poikela Kaarlo Rieppo		Toimeksiantaja(t) Bioenergian tutkimusohjelma	
Tekijä(t) Jarmo Hämäläinen Hannu Kalaja Risto Lilleberg Asko Poikela Kaarlo Rieppo		Projektin nimi Energia- ja ainespuun korjuu taimikonhoidon ja ensiharvennuksen yhdistelmässä	
Raportin nimi Taimikonhoidon ja ensiharvennuksen yhdistäminen			
Tiivistelmä Tavoitteena oli selvittää taimikon harvennuksen ja ensiharvennuksen yhdistämisen teknisiä ja taloudellisia edellytyksiä sekä vaikutuksia puuntuotantoon. Tutkimuskohteet olivat ensiharvennusvaihetta lähestyviä mänty- ja koivumetsäkohteita, joissa taimikon harvennus oli tekemättä. Lähtöpuuston tiheys oli noin 6 500 kpl/ha. Kohteet harvennettiin noin 1000 runkoon/ha, ja kaikki rinnankorkeusläpimitaltaan yli 2 cm:n mittaiset harvennuspuut pyrittiin korjaamaan talteen. Puusto hakattiin kokopuuna joukkokäsittelyperiaatteella toimivalla keräilykaatolaitteella. Hakkuun käyttötuntuotos oli männikössä 3,9 m ³ ja koivikossa 4,1 m ³ . Metsäkuljetuksen tuottavuus oli 5,5 m ³ käyttötunnissa. Korjuukustannukset olivat 112 mk/m ³ ja autokuljetuksen kustannukset 100 km:n kuljetusmatkalla 37 mk/m ³ . Kokopuut käsiteltiin ketjukarsinta-kuorinta-haketusmenetelmällä. Selluhakkeen saanto oli mäntyerissä 50 - 61 % ja koivuerissä 65 - 66 % koko biomassasta. Hakkeen kuoripitoisuus oli männyllä 0,3 - 2,7 % ja koivulla 2,1 - 3,6. Käsittelykustannukset olivat keskimäärin 31 mk/m ³ . Selluhakkeen tuotantokustannukset olivat 321 mk/m ³ ja energiaosittien 162 mk/m ³ (81 mk/MWh). Kun valtion tuet nuorten metsien hoitoon ja energiapuun korjuuseen otettiin huomioon, energiajakeen tuotantokustannukset pienenevät 53 mk/aan/MWh. Menetelmä vaikutti kehityskelpoiselta vaihtoehdolta harvennusemetsien käsittelyyn, mutta sen tuottavuutta on pystyttävä parantamaan merkittävästi. Hankintaketjun kaikissa vaiheissa arvioitiin olevan kehityspotentiaalia. Teknisen kehittämisen ohella tarvitaan tarkempaa tietoa selluhakkeen käyttöarvosta, kokopuukorjuun ravinnevaikutuksista ja menetelmän potentiaalisista soveltamiskohteista.			
Avainsanat (Avainsanat suomeksi ja englanniksi) Taimikonhoito, ensiharvennus, energiapuun korjuu, joukkokäsittely, ketjukarsinta		Luokitus ja/tai indeksointi (kirjasto täyttää)	
ISSN ja avainnimeke		ISBN	
Kokonaissivumäärä 29	Kieli Suomi	Hinta	Luottamuksellisuus
Julkaisun jakaja (nimi ja osoite) Metsäteho Oy PL 194 00131 HELSINKI		Lisätietoja Jarmo Hämäläinen (09) 132 5224 Kaarlo Rieppo (09) 132 5237	



Publisher (name and address) METSÄTEHO OY PL 194 FIN-00131 Helsinki Finland	Project code/project number Bioenergy 138	Date and place Helsinki 2.9.1998
	Commissioned by Bioenergy research programme	
Author(s) Jarmo Hämäläinen Hannu Kalaja Risto Lilleberg Asko Poikela Kaarlo Rieppo	Name of project Harvesting of energy wood and pulp wood in combined cleaning and first thinning.	
Title Combining cleaning and first thinning		
Abstract <p>The goal of the project was to find out the technical and economical preconditions for combining cleaning and first thinning and the impacts on wood production. The study was made on two stands close to first-thinning age, in which cleaning had been neglected. The initial stand-density was about 6 500 trees per hectare.</p> <p>The stands were thinned to a density of about 1 000 trees per hectare and all trees over 2 cm bhd were harvested. The tree stand was harvested with a multi-tree handling felling device. Cutting productivity in pine stands was 3.9 m³ and in birch stands 4.1 m³ per gross effective hour. The productivity in forwarding was 5.5 m³. The harvesting costs were 112 FIM/m³ in average. The truck transport costs were 37 FIM/m³ on a distance of 100 km.</p> <p>The whole-trees were processed with a flail-delimiting-debarking chipper. The yield of pulp chips in the pine lot was 50 – 61 % and in the birch lot 65 – 66 % of the total biomass. The bark content in the chip was 0.3 – 2.7 % for pine and 2.1 – 3.6 % for birch. On average the handling costs were 31 FIM/ m³.</p> <p>Production costs of pulp chips were about 320 FIM/m³. Production costs of the part going into energy production were 162 FIM/m³. When the state subsidies for young stand treatment and for energy wood harvesting were included in the calculations the production costs of energy wood decreased to 53 FIM/MWh. All phases of the production line seem to have developing potential.</p> <p>For the treatment of thinning forests the method seemed to be an alternative worth developing, but its productivity needs to be improved considerably. Besides the technical improvement there is a need of accurate knowledge of pulp chips utility values, whole-tree harvesting impact on nutrients and the stand types where to apply the method.</p>		
Keywords Procurement of industrial and fuel wood, cleaning , first thinning, multi-tree handling	Classification	
ISSN series title	ISBN	
Pages 29	Language Finnish	Price Confidentially
Distributed (name and address) Metsäteho oy PL 194 FIN-00131 Helsinki Finland	Further information Jarmo Hämäläinen +358 9 132 5224 Kaarlo Rieppo +358 9 132 5237	

1 JOHDANTO

Taimikonhoito- ja ensiharvennusrästit ovat mittavia, ja harvennuspuun korjuu on kallista huonosti hoidetuista, ylitiheistä metsistä. Toisaalta taimikon harvennusta pyritään nykyään lykkäämään metsänhoidollisistakin syistä mahdollisimman myöhäiseen vaiheeseen. Tapion ohjeissa suositeltava pituus on männiköissä 4 - 7 m ja kuusikoissa 4 - 5 metriä. Harvennuksen siirtäminen vaikeuttaa raivaussahatyön olosuhteita, mutta antaa samalla mahdollisuuksia vaihtoehtoisten menetelmien kehittämiseksi.

Metsätehossa on selvitetty viime vuosina energiapuun korjuuta varttuneista taimikoista. Tutkimuksissa on selvitetty uusien taimikonhoito-ohjeiden mukaisten työkohteiden olosuhteita ja kokeiltu vaihtoehtoisia korjuutekniikoita energiapuun talteenotossa. Koemetsiköt on harvennettu noin 2000 taimen tiheyteen ja korjuuta varten on avattu ajourat. Kokopuukertymät ovat olleet tuossa vaiheessa noin 30 - 60 m³/ha. Puustoisimmissa kohteissa koneellinen energiapuun korjuu on osoittautunut kilpailukyiseksi vaihtoehdoksi tavanomaiselle raivaussahatyölle (Metsätehon katsaukset 2/1995, 7/1996 ja 5/1997).

Taimikonhoito-ohjeiden mukainen harvennuspituus ei kuitenkaan vaikuta olevan vielä yläraja - ainakaan kaikissa tapauksissa. Osalla em. tutkimusten kohteista voitiin todeta, että huolimatta korkeasta poistettavan puuston määrästä, kohteilla ei vielä ollut välitöntä hoidon tarvetta. Kasvatettava puusto oli pituudeltaan muutaman metrin edellä lähinnä lehtipuustosta koostuvaa poistettavaa puustoa. Sellaisissa tapauksissa olisi ilmeisesti mahdollista siirtää metsikön käsittelyä vielä jonkin verran eteenpäin. Siinä vaiheessa saattaisi olla perusteltua tehdä taimikonhoito ja ensiharvennus samalla kertaa ja ottaa talteen sekä energia- että ainespuuta.

Edellä kuvatut tapaukset koskevat hyvin hoidettuja metsiä, joissa kasvatusta on systemaattista ja valtapuuston kunnosta on huolehdittu. Vastaavan tyyppisiä, mutta rakenteeltaan epämääräisempiä kohteita syntyy myös silloin kun tarpeelliset taimikonhoitotyöt on kokonaan laiminlyöty tai tehty liian lievinä, jolloin puusto ei järeidy tarpeeksi kannattavaa ensiharvennusta varten. Kyse on tuolloin lähinnä kunnostushakkuuluonteisista käsittelyistä.

Projektin tavoitteena oli selvittää taimikon harvennuksen ja ensiharvennuksen yhdistämisen teknisiä ja -taloudellisia edellytyksiä sekä vaikutuksia puuntuotantoon. Pienikokoisen puuston rungoittainen käsittely on kallista, joten kokopuukorjuu joukkokäsittelylaitteella ja tehdaskäsittely ketju-karsinta-kuorinta-haketusmenetelmällä otettiin kokeiltavaksi tekniikaksi.

2 TUTKIMUSMENETELMÄ JA AINEISTO

Tutkimuskohteina oli kaksi ensiharvennusvaihetta lähestyvää metsikköä, joissa puuston runkoluku oli olennaisesti suurempi kuin korjuuolosuhteiltaan hyvässä ensiharvennusleimikossa. Toinen niistä oli koivuvaltainen ja toinen mäntyvaltainen (taulukko 1).

TAULUKKO 1

Tutkimuskohteiden olosuhteet.

Kohde	Koe-aloja	Kasvupaikka	Ikä, v	Pääpuulajin valtapituus, m	Kokonais-tiheys, kpl/ha
Männikkö	18	VT	33	11,9	6 525
Koivikko	4	MT	30	15,3	6 500

Molemmat kohteet olivat luontaisesti uudistettuja. Kummallakaan niistä ei ollut tehty taimikon harvennusta pientä männikön osa-alueita lukuunottamatta.

Koetyömaille perustettiin 10 x 50 m:n kokoiset koeruudut tutkimusaineiston keräystä varten. Koealojen puusto korjattiin koneellisesti. Puiden kaato ja kasaus tehtiin Sakari Monosen (Karelian Puu ja Metall Oy) kehittämällä keräily-kaatolaitteella, joka on tarkoitettu pienikokoisten puiden joukkokäsittelyä tapahtuvaan kokopuukorjuuseen. Laitte oli prototyyppi, joka kehitettiin alunperin pienikokoisen, varttuneista taimikoista saatavan energiapuun korjuuseen. Laitte asennettiin Timberjack 0470 (Motokärppä)-hakkuukoneeseen, joka oli varustettu 5,5 metrin kuormaimella. Metsäkuljetus tehtiin keskikokoisella Rottne Blondin -kuormatraktorilla. Hakkuusta ja metsäkuljetuksesta tehtiin aikatutkimukset.

Kohteet harvennettiin ensiharvennusvaihetta vastaavaan tiheyteen eli noin 1 000 runkoon/ha. Kaikki rinnankorkeusläpimitaltaan yli 2 cm:n mittaiset harvennuspuut pyrittiin korjaamaan talteen. Puut korjattiin kokopuuna, ja havu- ja lehtipuut pidettiin korjuussa erillään.

Kokopuut käsiteltiin ketjukarsinta-kuorinta-haketusmenetelmällä. Käsittelyerät muodostettiin siten, että yksi koe-erä koostui kahden tutkimuskoealan saman puulajin puista, ja erän tavoitekoko oli 10 m³. Koe-erä oli yhteensä 13, joista puhtaita mäntyeriä oli 9 ja koivueriä 2. Lisäksi oli yksi kuusivaltainen sekahavupuuerä ja yksi sekalehtipuuerä.

Kaksi koe-erää (yhdistettynä) käsiteltiin Imatralla Enso Oyj:n Kaukopään tehdasalueella sijaitsevalla Pertti Szepaniak Oy:n ketjukarsinta-pienrumpu- asemalla. Asema koostuu pölkkyjen syöttölaitteistosta, 2-rumpuisesta ketjupiiskaimesta, pienrummista, laikkahakkurista, seulasta sekä hake-, puru- ja oksa-kuorijätteen kuljettimista. Laitteistolla voidaan käsitellä sekä osapuuta että karsittua puutavaraa. Tätä laitteistoa käyttävää menetelmää nimitetään jäljempänä ketju-rumpumenetelmäksi.

Muut koe-erät käsiteltiin siirrettävällä Peterson Pacific -ketjukarsinta-kuorinta-haketuslaitteella Uimaharjun tehdasalueella. Laite on kytketty puoliperävaunutyypillisesti vetoautoon, ja siihen kuuluu kolmirumpuinen ketjupiiskain ja laikkahakkuri. Tästä käytetään jäljempänä nimitystä ketjumenetelmä.

Molemmat menetelmät tuottavat selluhaketta ja oksa-kuorimursketta edelleen käsiteltynä polttokäyttöön. Ketju-rumpumenetelmän etu ketjumenetelmään verrattuna on se, että sillä karsinta-kuorintaprosessi voidaan hallita paremmin ja käsittely on kokonaisuutena hellävaraisempaa, koska kuorinta tehdään kahdessa vaiheessa, ensin ketjupiiskoin ja sitten pienrummulla. Ketjumenetelmän etu on puolestaan siirrettävyys, joten sen käyttö on joustavampaa.

Kummallakin menetelmällä tehdyistä kokeista selvitettiin hakkeen saanto, kuoripitoisuus ja palakokojakauma. Ketju-rumpumenetelmästä selvitettiin lisäksi kuorinnan ja seulonnan puunhävikit. Kaikista kokeista tehtiin aikatutkimukset. Ketju-rumpumenetelmästä selvitettiin vain prosessointiajanmenekki. Ketjumenetelmästä tehtiin tarkempi työvaiheittainen aikatutkimus. Prosessointiajanmenekit muutettiin käyttöajanmenekeiksi ja käyttötuntituottavuuksiksi aiemmin tehtyihin laajempiin aineistoihin perustuvien muuntoluvuin.

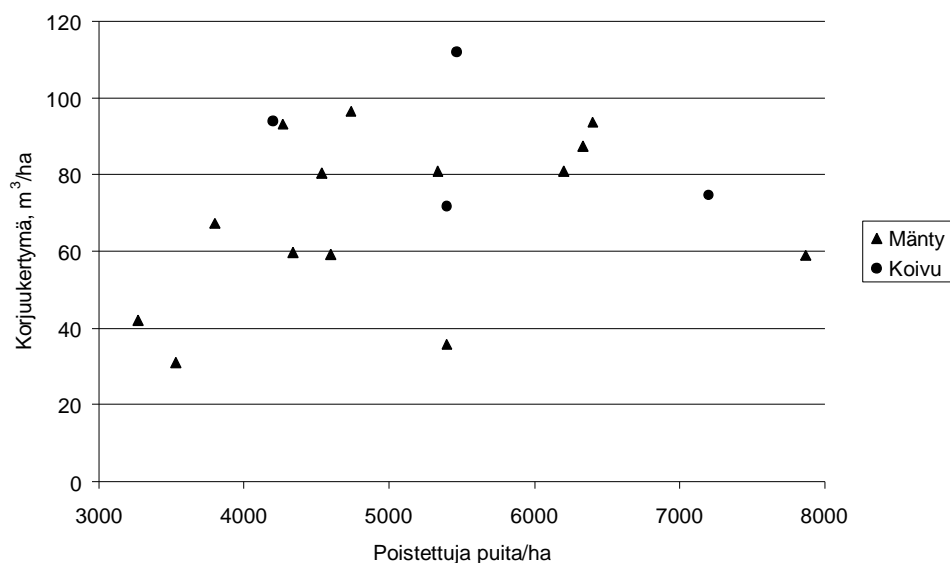
Korjuuketjun, kaukokuljetuksen ja karsinta-kuorinta-haketuksen kustannukset laskettiin Metsätehossa olevien kustannusperusteiden ja laskentamallien avulla. Puuston mittaustietojen pohjalta simuloitiin metsikön jatkokasvatusta ja tarkasteltiin menetelmän kokonaistaloudellisuutta koko puuntuotantoketjun kannalta. Kokopuukorjuun ravinnevaikutuksista tehtiin kirjallisuusselvitys.

3 TULOKSET

3.1 Puunkorjuu

3.1.1 Korjuuolosuhteet

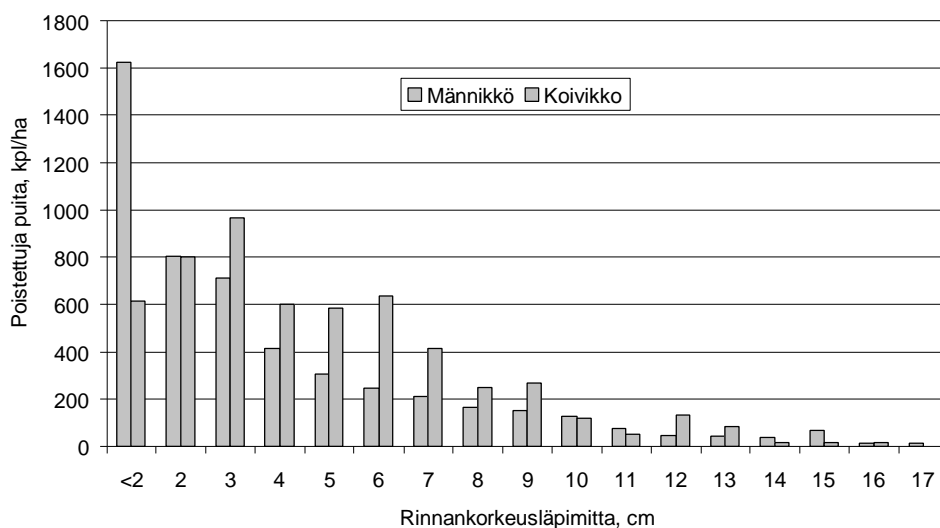
Poistettujen puiden lukumäärä ja korjuukertymä vaihtelivat eri koealoilla huomattavasti. Poistettavia runkoja oli 3 000 - 8 000 kpl/ha ja korjuukertymä 30 - 110 m³/ha (kuva 1). Koemetsiköt olivat puulajisuhteiltaan varsin puhtaita: pääpuulajin osuus kertymästä oli mäntykohteilla keskimäärin 91 % ja koivukohteilla 80 %. Koealojen olosuhteet on kuvattu yksityiskohtaisemmin liitteessä. Korjuu toteutettiin syyskuussa 1997.



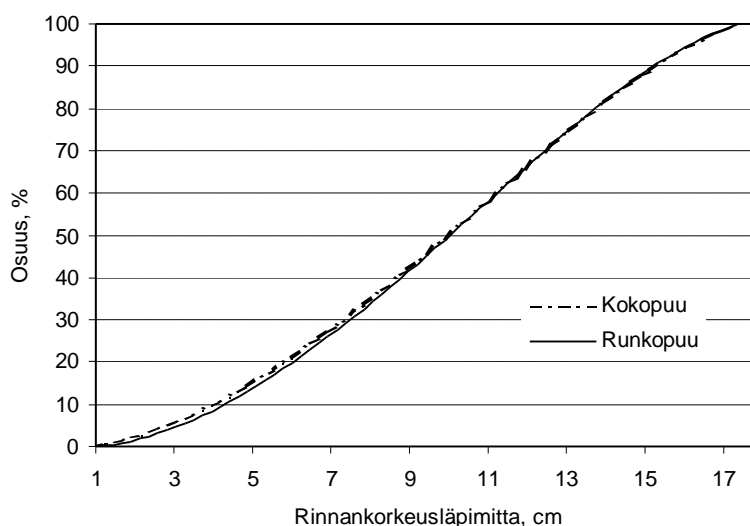
Kuva 1. Koealojen tiheys ja korjuukertymä pääpuulajin mukaan.

Männiköstä poistettiin keskimäärin 5 060 ja koivikosta 5 570 runkoa/ha. Poistetuissa puissa oli runsaasti pieniläpimittaisia runkoja, joita ei normaalissa ensiharvennuksessa hakata (kuva 2). Rinnankorkeusläpimitaltaan alle 9 cm:n runkojen osuus oli männikössä 89 % ja koivikossa 87 %. Niiden osuus tilavuudesta oli pienempi, esimerkiksi männikössä alle 9 cm:n rungoista kertyi noin 35 % tilavuudesta (kuva 3).

Hyvinkin pieniä runkoja korjattiin tarkoituksella, jotta ketju-karsinta-kuorinnan tuloksesta ohuen kokopuun käsittelyssä saataisiin kokemusta. Käytännössä sovellettava minimiläpimitta olisi todennäköisesti suurempi.



Kuva 2. Poistettujen puiden läpimittajakauma.



Kuva 3. Poistettujen puiden tilavuuden kertymä rinnankorkeusläpimitan mukaan männikössä.

3.1.2 Korjuun tuottavuus

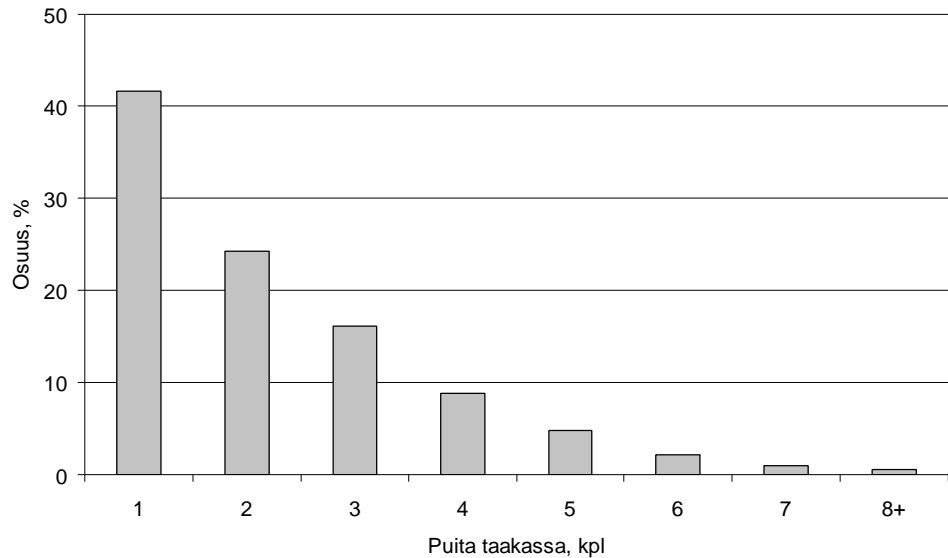
Hakkuuvaiheeseen kuului ajourien aukaisu ja niiden välisen alueen harvennus. Puut katkaistiin keräily-kaatolaitteella, koottiin muutaman puun nippuihin ja kaadettiin urasta pois päin harvennetulle alueelle.

Noin puolet hakkuun tehoajasta kului kouran vientiin puiden tyvelle ja puiden katkaisuun. Kasauksen osuus oli runsas kolmannes ja työpisteiden välisen siirtymisen osuus noin 10 % (taulukko 2).

Samaan kaatotaakkaan pyrittiin keräämään useampia puita. Noin 60 % taakoista oli sellaisia, että niissä oli vähintään kaksi puuta (kuva 4). Keskimääräinen taakan koko oli 2,3 puuta.

TAULUKKO 2 Hakuun tehoajanmenekin jakauma.

Vienti ja katkaisu	Kasaus	Siirtyminen	Muu	Yhteensä
Osuus, %				
49	36	11	4	100



Kuva 4. Kaatotaakkojen jakauma puiden lukumäärän mukaan.

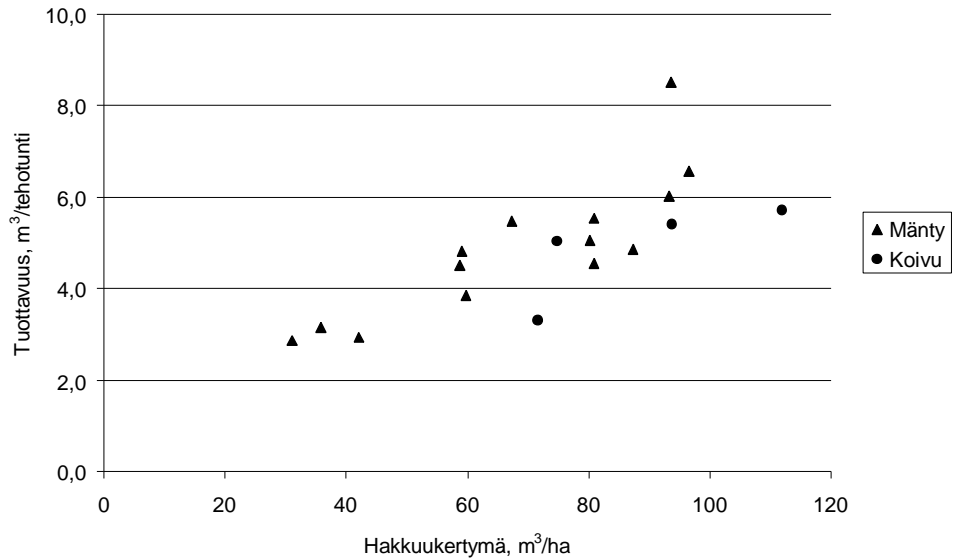
Ajourilta poistettavien järeimpien puiden kaato oli hankalaa, koska hakkuulaite oli alunperin suunniteltu pienikokoisten puiden käsittelyyn. Osa niistä jouduttiin ensin katkaisemaan 4 - 5 m:n korkeudesta ja vasta sen jälkeen maan tasalta. Pitkien puiden kaatoa vaikeutti lisäksi se, että harventamaton alue alkoi heti koealojen ulkorajalta, noin 5 m:n päässä uran keskeltä.

Hakkuun tehotuntituotos oli männikössä keskimäärin 4,5 m³ ja koivikossa 4,7 m³ (taulukko 3). Korjattavan rungon keskikoko oli huomattavan pieni normaaliin ensiharvennukseen verrattuna. Koneellisesti korjattavassa ensiharvennusleimikossa rungon koko on tavallisesti yli 50 dm³ ja tuotos tavaralajimenetelmällä rungon koon mukaan 7 – 12 m³ tehotunnissa.

Hakkuun tuottavuus riippui selvimmin hakkuukertymästä (kuva 5). Taustalla vaikuttivat poistettavien puiden lukumäärä ja koko, mutta tunnusten vaikutuksia ei pystytty tarkemmin selvittämään aineiston pienuuden takia.

TAULUKKO 3 Hakkuun tuotos ja rungon keskikoko.

Kohde	Hakkuutuotos, m ³ /tehotunti	Vaihteluväli, m ³ /tehotunti	Rungon koko, dm ³
Männikkö	4,5	2,9 – 8,5	10
Koivikko	4,7	3,3 – 5,7	14



Kuva 5. Hakkuun tuottavuus kertymän mukaan.

Metsäkuljetus tehtiin keskikokoisella Rottne Blondin -metsätraktorilla. Kuljetusta varten kokopuuniput jouduttiin katkaisemaan metsurityönä kuljetuspituuteen, koska kummassakaan koneessa ei ollut nippujen katkaisulaitetta. Kuorman keskikoko oli runkokuuna mitaten $2,5 \text{ m}^3$ ja kokopuuna $3,3 \text{ m}^3$. Kuorman kokoa ei yleensäkään saada karsimattomalla puutavaralla riittävän suureksi ilman tiivistyslaitteita.

Kuorman pienestä kiintotilavuudesta johtuen metsäkuljetuksen tuottavuus jäi alhaiseksi ja oli keskimäärin $4,1 \text{ m}^3$ runkokuuta käyttötunnissa ja $5,5 \text{ m}^3$ kokokuuta käyttötunnissa. Tavanomainen kuljetustuotos ensiharvennusvaiheen tavaralajikorjuussa on $8 - 10 \text{ m}^3$ ainespuuta käyttötunnissa.

3.1.3 Korjuukustannukset

Hakkuukustannukset laskettiin koko korjattua biomassaa kohti. Alustakoneeksi oletettiin pienikokoinen hakkuukone, jonka kustannukset ovat $260 \text{ mk/käyttötunti}$. Käyttötuntituotoksen laskennassa alle 15 minuutin keskeytysten osuudeksi oletettiin aiempien tutkimusten perusteella 12% . Hakkuukustannukset olivat keskimäärin 65 mk/m^3 ($35 - 103 \text{ mk/m}^3$).

Metsäkuljetuksen kustannuslaskelmissa käytettiin kuormatraktorin kustannuksina $260 \text{ mk/käyttötunti}$. Keskituotoksen perusteella lasketut metsäkuljetuksen kustannukset olivat 47 mk/m^3 . Korjuun kokonaiskustannuksiksi tuli näin keskimäärin 112 mk/m^3 .

3.2 Kaukokuljetuksen kustannukset

Kaukokuljetuskuorman koko laskettiin tutkimuksessa mitattujen kokopuunippujen paino- ja tilavuustietojen perusteella. Tuoremassoista

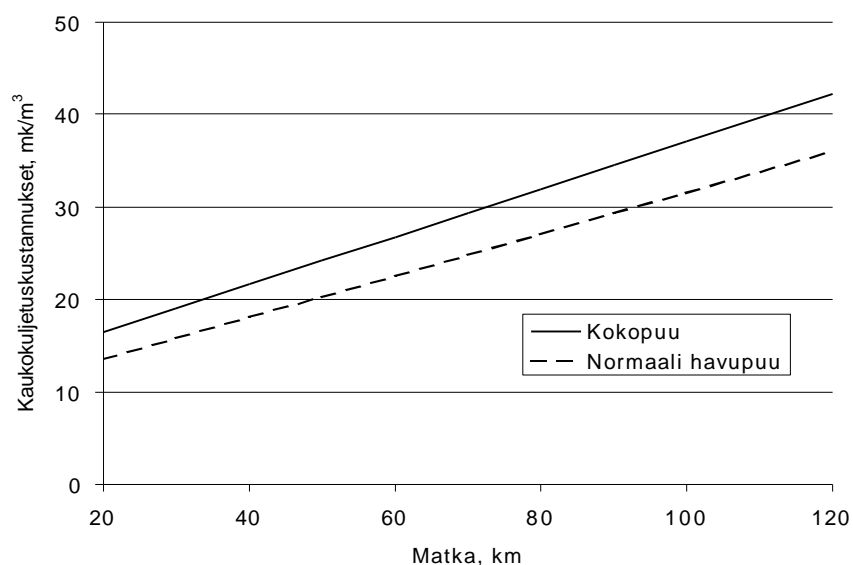
johdettuja kiintotilavuuksia laskettaessa otettiin huomioon 1.8.1997 voimaan tulleiden uusien ajoneuvomääräysten mahdollistama 20 cm:n korotus kuormatilaan. Perävaunun kuormatila korotettiin tämän lisäksi vielä 10 cm:llä. Tämä lisäys saavutettaisiin varustamalla perävaunu tavanomaista pienemmillä renkailla. Lisäksi oletettiin, että uusia ajoneuvomääräyksiä (25,25 metrin kokonaispituus tai 2 metrin takaylitys) hyväksi käyttäen perävaunuun voidaan lastata kaksi nippua kuljetuspituuteen katkaistua kokopuuta.

Puutavarakuorman kiintotilavuudeksi saatiin 44,9 m³ (33,2 t) kokopuuta. Tutkimuksessa tehtyjen puustomittausten mukaan tästä noin 80 % oli runkopuuta, 67 % 5 cm:n minimiläpimitan täyttävää ainespuuta ja 52 % 7 cm:n minimiläpimitan täyttävää ainespuuta.

Kuljetuskustannukset laskettiin puutavaran autokuljetuksen kustannusten laskentaohjelmalla. Ajoneuvoyhdistelmän hankintahinta arvioitiin noin 150 000 mk suuremmaksi kuin tavanomaisen puutavara-auton hinta. Kuorman purkausvaiheen (tehdaspään viipyminen) ajanmenekki oletettiin lisäksi neljänneksen korkeammaksi kuin normaalissa puutavaran autokuljetuksessa.

Kokonaisbiomassalle kohdistetut kuljetuskustannukset olivat 50 km:n kuljetusmatkalla 23 mk/m³ ja 100 km:n matkalla 37 mk/m³ (kuva 6). Kustannukset olivat 15 - 20 % suuremmat kuin tavaralajimenetelmällä korjatun ainespuun kuljetuskustannukset.

Ajoneuvoyhdistelmän kantavuudesta jäi hyödyntämättä noin 16 %. Kuorman tiivistyslaitteistoilla voidaan tutkimusten mukaan saavuttaa maksimikantavuuden edellyttämä tiiviys. Toistaiseksi ei kuitenkaan ole sopivia käytännön ratkaisuja tiivistyslaitteiksi.



Kuva 6. Kokonaisbiomassalle kohdistetut kaukokuljetuskustannukset matkan mukaan. Vertailuna tavaralajimenetelmällä korjattu havuainespuu.

3.3 Ketjukarsinta-kuorinta-haketus

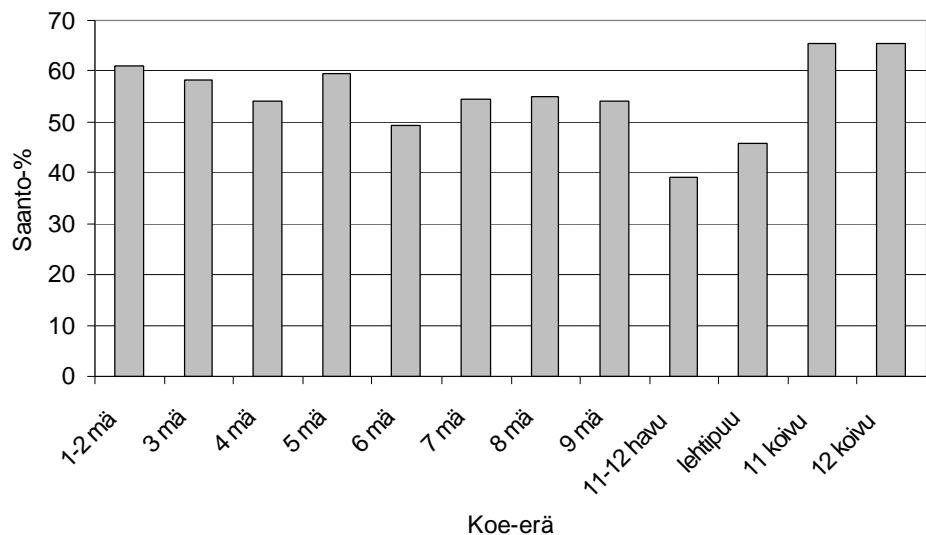
3.3.1 Raaka-aineanalyysit

Selluhakkeen saanto ketju-rumpumenetelmällä oli 61 % kokonaisbiomassasta, kun raaka-aineena oli mänty. Ketjumenetelmällä vastaavat arvot olivat männyllä 50 - 60 %. Koivulla saanto nousi 65 - 66 %:iin. Lehtipuukoosteella se oli 46 %, ja pääasiassa kuusta sisältäneellä havupuukoosteella saanto jäi hieman alle neljäkymmenen prosentin (kuva 7).

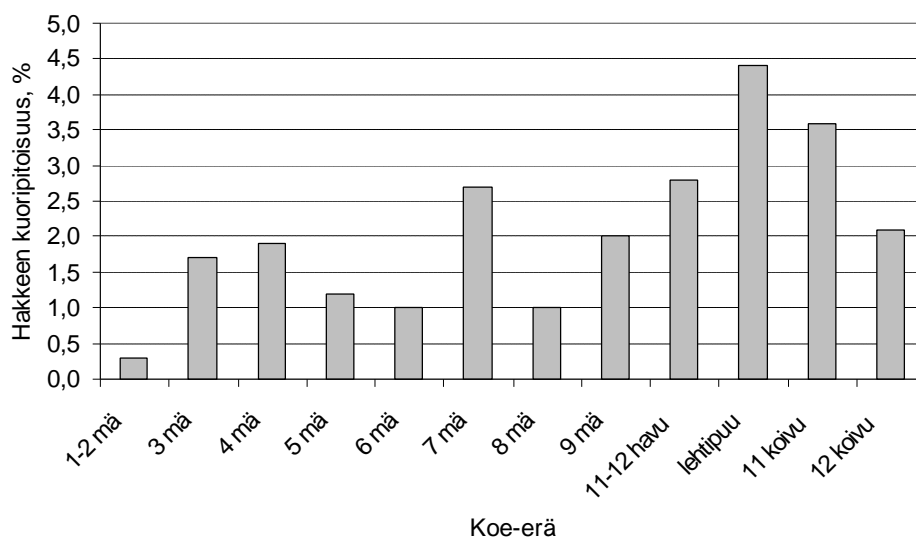
Vertailuna voidaan todeta, että kesäolosuhteissa ketju-rumpumenetelmällä on saatu ensiharvennuskokoisella, latvaläpimitaltaan viiteen senttimetriin katkotulla, mäntyosapuulla 65,7 %:n, kuusiosapuulla 46,8 %:n ja koivuosapuulla 81,1 %:n saannot.

Kokeiden aikana puu ei ollut jäässä, joten kuorintaolosuhteet olivat hyvät. Ketju-rumpumenetelmällä kuorintatulos oli puun pienestä koosta huolimatta erinomainen. Hakkeen kuoripitoisuus oli vain 0,3 %. Tulos täyttää hyvin selluhakkeen kuoripitoisuudelle asetetun yleisen yhden prosentin rajan.

Ketjumenetelmällä ei päästy niin hyvään kuorintatulokseen kuin ketju-rumpumenetelmällä. Enimmillään kuorta jäi mäntyhakkeeseen 2,7 %, mutta alimmillaan kuoripitoisuus oli yksi prosentti eli oltiin hyväksytyllä rajalla. Muut puulajit olivat mäntyä ongelmallisempia (kuva 8).



Kuva 7. Selluhakkeen saanto ketjukarsinta-kuorinnassa kuivamassoista määritettynä. Erä '1-2 mä' käsitelty ketju-rumpumenetelmällä, muut erät ketjumenetelmällä.



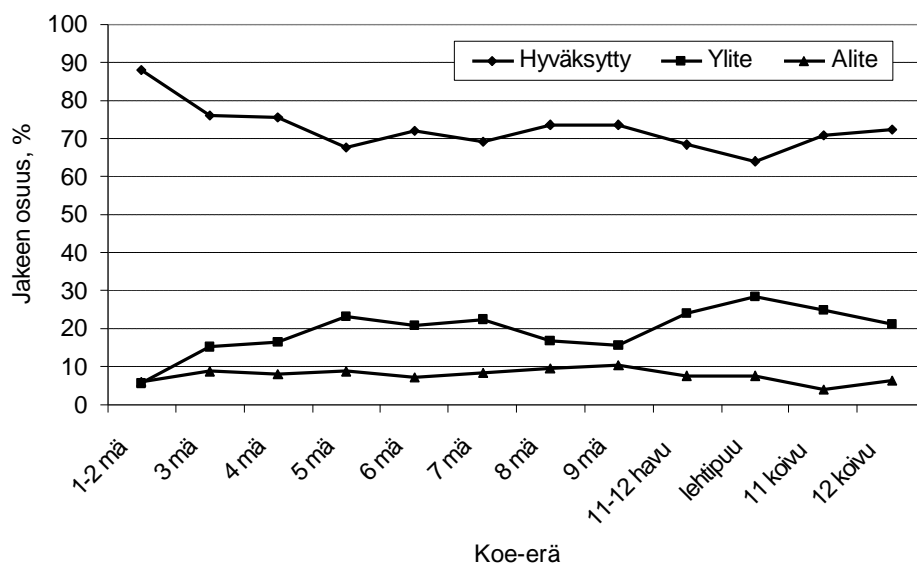
Kuva 8. Hakkeen kuoripitoisuus ketjukarsinta-kuorinnassa. Erä '1-2 mä' käsitelty ketju-rumpumenetelmällä, muut erät ketjumenetelmällä.

Ketjumenetelmän ongelmana on ollut myös normaalilla ensiharvennuspuulla kuoripitoisuuden jääminen liian suureksi. Hyvissä olosuhteissa mäntyhakkeella on päästy 1 - 2 %:n kuoripitoisuuteen. Ketju-rumpumenetelmällä sen sijaan on varsinkin kesäolosuhteissa saavutettu hyvin lupaavia tuloksia. Yleensä männyllä päästään noin 0,5 %:n kuoripitoisuuteen.

Ketju-rumpumenetelmään sisältyy seulonta, jossa käytetään 45 mm:n ja 7 mm:n reikäverkkoja. Näin menetelmällä saadaan samastakin hakkeesta palakokojakaumaltaan parempi tulos kuin seulattomalla ketjumenetelmällä. Alitteen (< 7mm) seulominen pienentää hakkeen saantoa, mutta tästä huolimatta ketju-rumpumenetelmän hakesaanto oli parempi kuin männyllä yhdessä ketjumenetelmään perustuneessa kokeessa (kuva 7). Puun seulontahävikki oli 2,8 %. Lisäksi puuainesta häviää jonkin verran myös karsinta-kuorinnassa. Tässä kokeessa hävikki oli 1,3 %.

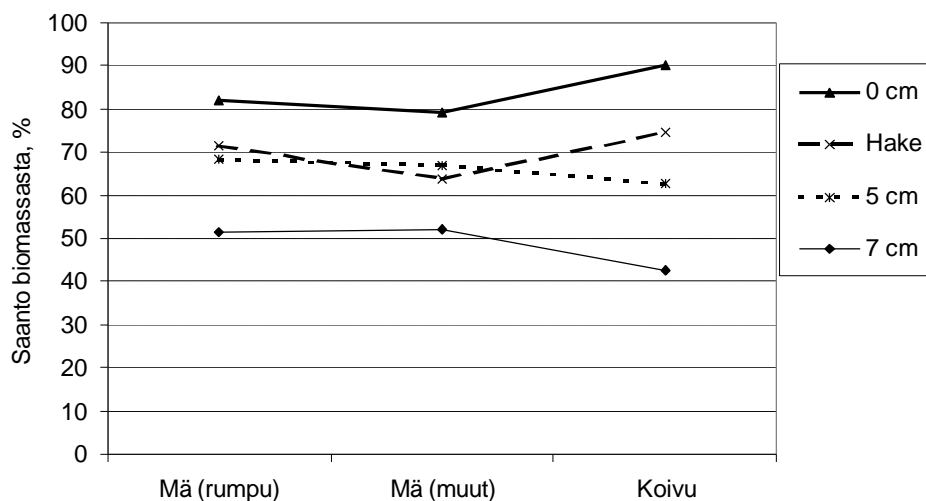
Sellun valmistuksen kannalta tavoiteltava palakoko on 7 - 45 mm. Tavoitemitat täyttävän hakkeen osuus oli ketju-rumpumenetelmällä 88,1 %, kun se ketjumenetelmällä vaihteli mäntykokeissa välillä 68 - 76 % (kuva 9). Koivulla vastaavan hakkeen osuus oli 71 - 72 %, havupuusekoituksella 68 % ja lehtipuusekoituksella 64 %.

Metsäntutkimuslaitoksen tekemässä vuoden kestäneessä seurantatutkimuksessa ketju-rumpumenetelmällä tehdystä hakkeesta 87 % oli tavoitemitat täyttävää, joten tässä kokeessa saatiin samalla menetelmällä yhtä hyvää haketta.



Kuva 9. Hakkeen palakokojakauma koe-erittäin. Erä '1-2 mä' käsitelty ketju-rumpumenetelmällä, muut erät ketjumenetelmällä.

Hakesaantoa verrattiin eri kriteerien mukaiseen puumäärään. Selluhakkeen saanto oli männyllä saamaa luokkaa ja koivulla suurempi kuin 5 cm:n minimiläpimittaa vastaava kuorellisen runkopuun määrä. Hakkeen tilavuus oli 1,2 - 1,8-kertainen 7 cm:n läpimittaa vastaavaan runkopuuhun verrattuna. Tarkastelussa hakkeeseen on lisätty kuoriosuus vertailukelpoisuuden takia (kuva 10).



Kuva 10. Selluhakkeen ja eri minimiläpimittoja vastaava kuorellisen runkopuun saanto kokonaisbiomassaan verrattuna. Hakkeeseen lisätty kuoriosuus.

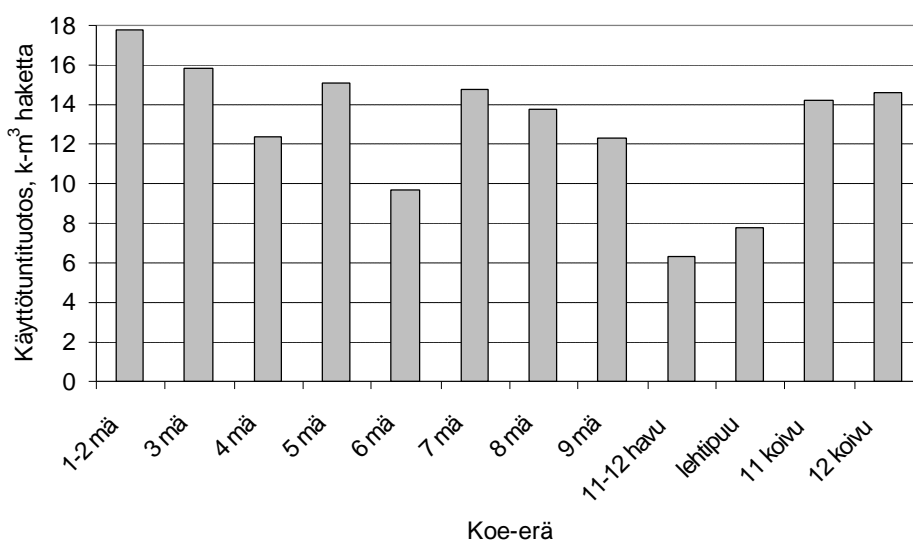
3.3.2 Haketuksen tuottavuus ja kustannukset

Ketjumenetelmän tutkimusaineistosta laskettiin työvaiheittaiset ajanmenekit. Prosessointi jaettiin viiteen työvaiheeseen: taakan otto, syötön auttaminen, järjestely, prosessoinnin aikainen odotus ja siivous. Ketjukarsinta-kuorinta oli sujuvaa, koska pääosa prosessointiajasta, 80 - 90 %, oli taakan ottoa. Prosessoinnin ajanmenekki oli pienimmillään männyllä noin 100 cmin/i-m³. Kuusivaltaisen havupuerän prosessointi oli yli kaksi ja puoli kertaa hitaampaa.

Käyttötuntituotokset jäivät vielä melko alhaisiksi. Paras tulos, 18 k-m³ haketta käyttötunnissa, saavutettiin ketju-rumpumenetelmällä. Ketjumenetelmällä parhaat tulokset saatiin männyllä ja koivulla (kuva 11).

Aiempien selvitysten perusteella on ketjumenetelmällä tehdasvarastolla päästy mäntyosapuulla noin 37 - 43:een ja mäntykuitupuulla 43 - 51:een hakekiintokuutiometriin käyttötunnissa. Vastaavasti ketju-rumpumenetelmällä on käyttötuntituotos ollut mäntyosapuulla noin 38 ja karsitulla mäntykuitupuulla noin 55 k-m³ haketta käyttötunnissa kesäolosuhteissa. Nyt tehdyissä kokeissa jäätin selvästi näistä arvoista. Tuottavuus paranisi todennäköisesti huomattavasti, kun kokopuun käsittelystä olisi enemmän kokemusta.

Ketjukarsinta-kuorinta-haketuksen käyttötuntikustannukset määritettiin menetelmistä aiemmissa projekteissa kehitetyillä laskentamalleilla. Laskennoissa on oletettu, että ketjumenetelmää käytetään terminaali- tai tehdasvarastoilla ja yksikköä joudutaan siirtämään noin kerran kuukaudessa. Ketju-rumpumenetelmän laitteisto toimii aina samalla käyttöpaikalla. Ketjumenetelmän käyttötuntikustannukset ovat noin 750 markkaa ja ketju-rumpumenetelmän vastaavasti runsaat 800 markkaa.

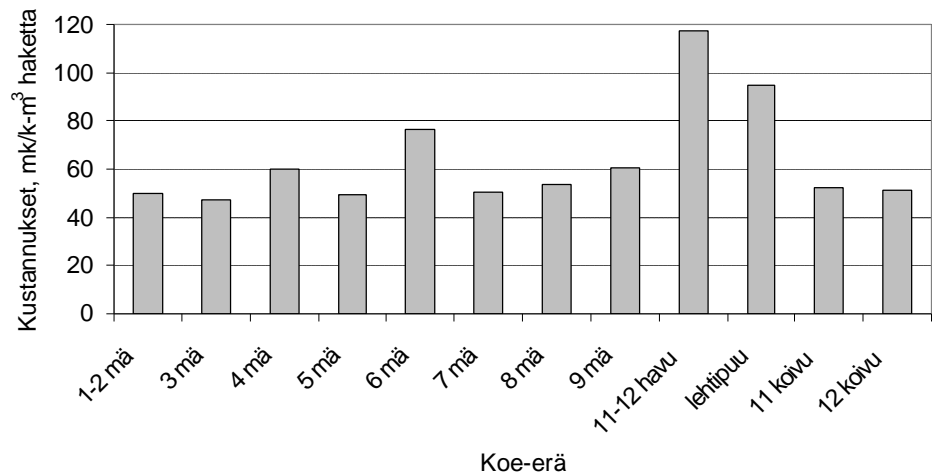


Kuva 11. Käyttötuntituotokset ketjukarsinta-kuorinnassa. Erä '1-2 mä' käsitelty ketju-rumpumenetelmällä, muut erät ketjumenetelmällä.

Ketju-rumpumenetelmällä haketuskuukustannuksiksi muodostui 50 markkaa hakekiintokuutiometriä kohden. Ketjumenetelmällä päästiin männyllä parhaimmillaan hieman tämän alle, 47 markkaan/hakekiintokuutiometri. Heikoimmassa mäntyerässä kustannukset nousivat 76 markkaan/hakekiintokuutiometri (kuva 12). Kustannuksia verrattaessa on muistettava, että ketju-rumpumenetelmällä saatiin samasta raaka-aineesta suurempi saanto ja laadultaan parempaa haketta.

Kummallakin menetelmällä haketuskuukustannukset jäivät korkeiksi. Aiemmissä selvityksissä on ketjumenetelmän haketuskuukustannuksiksi saatu osapuulla noin 20 mk/hakekiintokuutiometri. Vastaavasti ketju-rumpumenetelmällä, jolla tuotantokäytössä on ajettu yksinomaan karsittua mäntykuitupuuta, ovat raaka-aineen käsittelykustannukset alle 20 mk:n/hakekiintokuutiometri. Mikäli tuottavuus ketju-rumpumenetelmällä nousisi 30 % nyt saavutetusta tasosta eli 23 m³:iin käyttötunnissa, olisivat käsittelykustannukset 39 mk/hakekiintokuutiometri.

Ketjumenetelmällä kaikkien mäntykokeiden käyttötuntituotos oli keskimäärin 12,8 m³ käyttötunnissa. Jos tuotos paranisi 30 % eli noin 17 m³:iin käyttötunnissa, olisivat käsittelykustannukset 44 mk/hakekiintokuutiometri.



Kuva 12. Ketjukarsinta-kuorinta-haketuksen kustannukset. Erä '1-2 mä' käsitelty ketju-rumpumenetelmällä, muut erät ketjumenetelmällä.

3.4 Hankintaketjun kokonaistuottavuus ja -kustannukset

3.4.1 Selluhakkeen tuotanto

Kokeilun tulosten perusteella tarkasteltiin selluhakkeen tuotantokustannuksia. Kokopuukorjuu oletettiin tehtäväksi pienellä alustakoneella ns. hakkuu-uria käyttäen ja metsäkuljetus kuormatraktorilla noin 20 m:n uravälillä. Vertailumenetelmänä oli normaali koneellinen hakkuu tavaralajimenetelmällä. Laskelman perustana olivat seuraavat kertymätiedot:

Kertymätiedot	Yhdistelmäkä sittely	Tavaralajikorjuu (min. 7 cm) m ³ /ha
Korjuukertymä	55	22
Selluhaketta	34	19
Polttojaetta	21	3

Tarkastelussa lähdettiin siitä, että selluhakkeen tuotannon yhteydessä syntyvälle energiapuuositteelle on käyttöä, ja siitä oletettiin maksettavan 35 mk/MWh (70 mk/m³) hakkeen tuotantopaikalla. Polttojae vaatii vielä kuljetuksen käyttöpaikalle ja murskauksen ennen käyttöä.

Tuottavuuslukuina käytettiin tutkimuksen keskituotoksia: mäntykokopuun hakkuu 3,9 m³/h, metsäkuljetus 5,5 m³/h ja ketju-pienrumpukäsittely 18 m³/h. Kaukokuljetuksen kustannuksina käytettiin kokopuulle 37 mk/m³ ja karsitulle kuitupuulle 32 mk/m³ (kuljetusmatka 100 km).

Kantohinnaksi oletettiin 70 mk/ m³ laskettuna 7 cm:n minimiläpimitan mukaiselle puumäärälle.

Molemmissa vaihtoehdoissa selluhakkeen tuotantokustannukset olivat korkeat, 321 - 330 mk (taulukko 4). Esimerkkityömaan korjuu tavaralajimenetelmällä olisi ilmeisesti kannattamatonta. Yhdistelmäkäsitteilyn kustannukset olivat samaa tasoa. Tavanomaisesta ensiharvennusleimikosta tuotettavan selluhakkeen kustannukset ovat tavaralajimenetelmään perustuvassa hankinnassa noin 250 - 260 mk/m³.

TAULUKKO 4 Hankintaketjun kokonaiskustannukset.

Kustannuserä	Yhdistelmäkäsittely		Tavaralajikorjuu	
	mk/ha	mk/m ³ 1)	mk/ha	mk/m ³ 2)
Kantohinta	1 563	28	1 563	70
Hakkuualan raivaus	-	-	550	25
Hakkuu	3 667	67	2 411	108
Metsäkuljetus	2 600	47	603	27
Kaukokuljetus (100 km)	2 035	37	714	32
Kuorinta ja haketus	1 678	31	201	9
Yleiskustannukset	700	13	446	20
– Energiahyvitys	-1 456	-26	-227	-10
Yhteensä	10 785	196	6 260	280
Yhteensä, mk/selluhake-m³	321		330	

- 1) Koko biomassalle laskettuna
- 2) Minimiläpimitan täyttävälle runkopuulle laskettuna

Korjuussa, metsäkuljetuksessa ja tehdaskäsittelyssä todettiin olevan huomattavasti kehittämispotentiaalia. Taulukossa 5 on tarkasteltu niissä tapahtuvan tuottavuuden nousun vaikutusta selluhakkeen hintaan.

Kymmenen prosenttiyksikön parannus em. vaiheiden tuottavuudessa merkitsisi 5 - 10 prosentin alennusta selluhakkeen tuotantokustannuksissa. Tuottavuuden pitäisi kohentua korjuussa ja tehdaskäsittelyssä noin 30 %, jotta kustannuksissa päästäisiin tavanomaiselle selluhakkeen hintatasolle.

TAULUKKO 5 Korjuun ja tehdaskäsittelyn tuottavuuskehityksen vaikutus selluhakkeen tuotantokustannuksiin. Lähtötaso 321 mk/m³.

Vaihe	Tuotosparannus		
	10 %	20 %	30 %
	Tuotos, m ³ /h		
Hakkuu	4,3	4,7	5,1
Metsäkuljetus	6,0	6,6	7,2
Ketjukarsinta	20	21,6	23,4
Selluhakkeen hinta, mk/m ³			
Yhteensä	300	282	267

3.4.2 Polttohakkeen tuotanto

3.4.2.1 Integroitu menetelmä

Selluhakkeen tuotantotarkasteluissa käytettiin energiapuuositteelle vakiohyvitystä, 35 mk/MWh, ja loput hankinta- ja käsittelykustannuksista kohdennettiin kokonaan selluhakkeelle. Asiaa voidaan tarkastella myös toisin päin eli energiapuun hankinnan näkökulmasta. Kun oletetaan selluhakkeen hinnaksi 260 mk/m³ ja kohdistetaan loput kustannuksista polttojakeelle, päädytään energijakeen hinnassa 81 mk:aan megawattituntia kohti (162 mk/m³). Se on merkittävästi korkeampi kuin Bioenergiaohjelmassa esitetty tavoitetaso, joka on polttoaineen suurkäytössä 45 mk/MWh.

Valtio tukee kestävän metsätalouden rahoituslain mukaisesti nuorten metsien hoitoa ja energiapuun korjuuta. Tutkimuksessa tarkasteltiin tuen vaikutusta integroidussa korjuussa. Kun nuorten metsien hoitotuki (550 mk/ha) kohdistettiin koko korjuukertymälle ja energiapuutuki (30 mk/m³) energijakeelle, niiden yhteisvaikutus energiapuun hintaan oli 28 mk/MWh. Näin energijakeen hinnassa päästiin tasoon 53 mk/MWh.

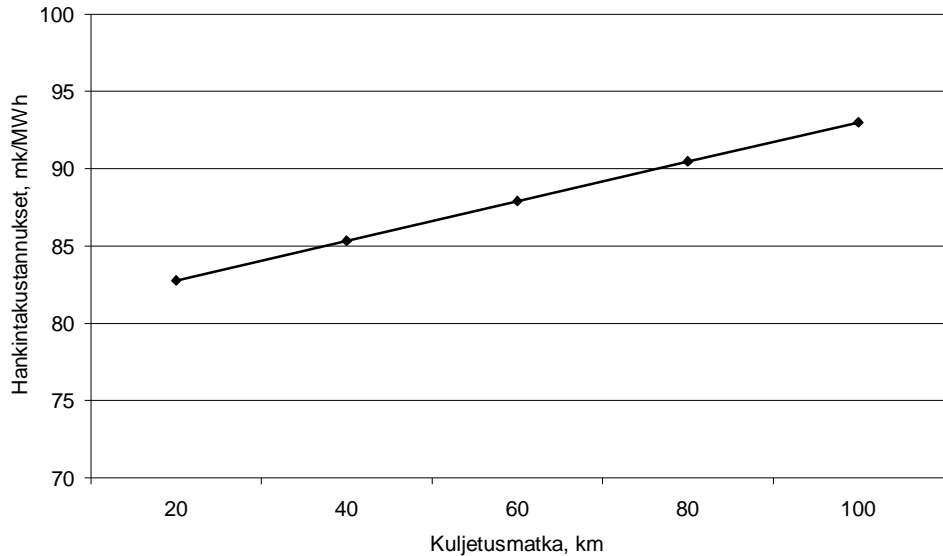
3.4.2.2 Pelkkä energiapuun korjuu

Yhtenä ylitieiden harvennusmetsien käsittelyvaihtoehtona on puun korjuu yksinomaan energiakäyttöön. Korjuun kokeilutulosten perusteella tarkasteltiin laskennallisesti koneelliseen keräilykaatoon ja varastohaketukseen perustuvan energiapuun hankinnan kustannuksia.

Kustannukset muodostuivat korkeammaksi kuin integroidussa korjuussa. Hakkeen hinta käyttöpaikalla oli 100 km:n kuljetusetäisyydellä 185 mk/m³ eli 93 mk/MWh (taulukko 6). Kuljetusmatkan lyheneminen 50 km:iin pienensi kustannukset 85 mk:aan megawattituntia kohti (kuva 13). Jos energiapuunkorjuuseen ja taimikonhoitoon myönnettävät valtion avustukset ovat käytettävissä, niiden vaikutus on noin 20 mk/MWh.

TAULUKKO 6 Energiapuun hankinnan kokonaiskustannukset 100 km:n kuljetusmatkalla. Koneellinen keräilykaato ja varastohaketus.

Korjuu	Haketus	Kauko- kuljetus (100 km)	Organisaat io	Yhteensä	Yhteensä, mk/MWh
mk/m ³					
112	25	40	8	185	93



Kuva 13. Energiapuun hankintakustannukset keräilykaatoon ja varastohaketukseen perustuvassa menetelmässä kuljetusmatkan mukaan.

Keräilykaadon ja metsäkuljetuksen pieni tuottavuus aiheuttivat sen, että energiapuun hinta muodostui tavoitetasoa korkeammaksi. Korjuun tuottavuuden pitäisi parantua noin 30 %, jotta päästäisiin lyhyillä, alle 50 km:n kuljetusmatkoilla, 45 mk:n/MWh tasoon. Edellytyksenä on siinäkin tapauksessa se, että valtion tuet ovat käytettävissä.

Varastohaketukseen perustuvaa menetelmää voidaan soveltaa myös pienten lämpölaitosten polttoainehuollossa. Niissä metsähakkeen hintakilpailukyky on parempi ja hankintaketjun tuottavuusvaatimus vastaavasti lievempi kuin suuri käytössä. Lämpölaitosten käytännössä maksama hinta kokopuuhakkeesta on noin 50 - 80 mk/MWh.

3.5 Puuntuotannolliset vaikutukset

3.5.1 Metsikön kehitys ja puuntuotannon talous

Taimikonhoidon puuntuotannollinen seuraus on puuston kasvun nopeutuminen ja kasvun kohdistuminen selvästi pienempään puujoukkoon kuin sellaisessa metsikössä, jossa taimikonhoitoa ei ole tehty. Taimikonhoidon avulla voidaan siten vaikuttaa merkittävästi runkojen järeytymiseen. Metsikön jatkokehitystä ajatellen ensiharvennuksella on samansisältöinen tavoite eli kasvun keskittäminen haluttuihin runkoihin ja järeyskehityksen nopeuttaminen.

Tutkimuksessa tehtiin suuntaa antavia laskelmia siitä, kuinka taimikonhoidon ja ensiharvennuksen yhdistäminen vaikuttaa metsikön tulevaan kehitykseen, ensiharvennuskustannuksiin ja puuntuotannon talouteen. Laskelmien

lähtökohtana olivat mäntyvaltaisen esimerkkitapauksen puustotiedot. Koealan lähtötiheys oli 5 900 runkoa/ha. Tarkastelu tehtiin metsikkösimulaattorilla, ja laskentavaihtoehdot olivat:

Perus: Ensiharvennus Tapion kasvatusmallien edellyttämässä ajan-
kohdassa. Taimikonhoito oletettiin tehdyksi tiheyteen 2
000 runkoa/ha.

Yhdistelmä: Yhdistetty taimikonhoito ja ensiharvennus tiheyteen 1 000
runkoa/ha (kokeilussa käytetty menetelmä).

Taimikonhoidon ja ensiharvennuksen yhdistäminen johtaa simuloinnin mukaan kahteen harvennuskertaan ja 97 vuoden iällä tapahtuvaan päätehakkuuseen. Seuraava harvennus on tarpeen noin 25 vuoden kuluttua. Koko kiertojalle lasketut käsittelykustannukset (korko 0 %) ovat yhdistelmäkäsittelyssä saman suuruiset kuin perusvaihtoehdossa (taulukko 7).

Kokonaistuotos jää yhdistelmäkäsittelyssä noin 5 % pienemmäksi kuin perusvaihtoehdossa. Järeytyminen on yhdistelmäkäsittelyssä kuitenkin nopeampaa, joten tukkipuukertymä ja taloudellinen tuotto ovat hiukan suurempia kuin perusvaihtoehdossa (taulukko 8).

Laskelmat lievemmästä yhdistelmäkäsittelystä (1 400 runkoa/ha) viittasivat siihen, että tuolloin jouduttaisiin kolmen harvennuskerran kasvatusohjelmaan. Puuntuotos ja taloudellinen tuotto näyttivät tuolloin jäävän pienemmäksi kuin muissa vaihtoehdoissa.

TAULUKKO 7 Harvennusohjelma ja käsittelykustannukset kiertoaikana.

Käsittely	Harvennukset	Päätehakkuu	Käsittely- kustannukset, mk/m ³ 1)
	Metsikön ikä, v		
Perus	46, 65	97	86
Yhdistelmä	35, 59	97	86

1) Sisältää korjuu-, kaukokuljetus- ja kuorinta-haketuskustannukset sekä Perus-vaihtoehdossa taimikon harvennuskustannukset.

TAULUKKO 8 Käsittelyvaihtoehtojen puuntuotos.

Käsittely	Tukkipuuta	Kuitupuuta	Yhteensä	Tuotto, mk/ha
	m ³ /ha			
Perus	247	189	436	76 200
Yhdistelmä	269	142	411	78 100

3.5.2 Ravinnekysymykset

Kokopuun korjuun vaikutuksista puuston kasvuun ja maan ravinnetasapainoon tehtiin kirjallisuusselvitys. Asiasta on tehty useitakin tutkimuksia ensiharvennusmetsien käsittelyn näkökulmasta. Nuoremman, taimikonhoitopuuston poistamisen vaikutuksista ei sen sijaan ole juurikaan tuloksia.

Harvennuspuston latvus sisältää noin 1/3 biomassasta mutta 2/3 puuston maanpäällisen osan ravinteista. Tällä perusteella kokopuukorjuu voisi johtaa merkittävään ravinnehävikkiin tavalarajimenetelmällä tehtyyn korjuuseen verrattuna. Seurauksena voisi olla maan tuotospotentiaalin taantuminen.

Tutkimustulokset tuotosvaikutuksista ovat olleet ristiriitaisia. Eräissä suomalaisessa kokeessa hakkuutähteiden keruu vähensi ensiharvennusmännikössä vain hieman puuston kasvua 15 vuoden tarkastelujaksolla. Kuusikossa kasvu pieneni 10 vuoden tarkastelujaksolla 10 %. Eron syyksi todettiin suurempi ravinteita sitovan biomassan poistuma kuusen hakkuussa (Kukkola ja Mälkönen 1997).

Ruotsalaisessa tutkimuksessa männikön kasvu väheni 7 - 12 % (Andersson 1983). Norjassa Tveite (1983) havaitsi kasvun vähenevän 5 - 6 vuoden jaksolla männikössä 7 % ja kuusikossa 11 %. Jacobsonin ym. (1996) tutkimuksessa havupuumetsiköiden pohjapinta-alan kasvu laski toisilla kohteilla ja lisääntyi toisilla kohteilla (-15 - +25 %). Tutkimuksissa on kiinnitetty huomiota siihen, että ravinnemenetysten vaikutukset eivät välttämättä ilmene kasvussa heti, vaan ne saattavat tulla esiin vasta pitkällä viipeellä.

Suosituksena on esitetty, että energiapuun korjuussa tulisi poistaa vain osa latvusmassasta. Lämpimitaltaan alle 5 cm:n latva oksineen on suositeltu jätettäväksi metsään. Viljavilla mailla jättövaatimus voi olla lievempi. Köyhillä kanervakankailla sekä rämeillä latvusmassaan ei tulisi kajota lainkaan (Hakkila ym. 1995).

4 TARKASTELU

Kokeilu osoitti, että menetelmällä on mahdollista korjata sellu- ja energiapuuta tiheistä harvennusmetsistä. Selluhakkeen laatu oli hyvä, mutta hinta muodostui korkeaksi hyvän ensiharvennusleimikon tuotantoketjuun verrattuna. Se oli kuitenkin kilpailukykyinen vastaavista, vaikeista olosuhteista tavanomaisella korjuutekniikalla tuotettuun hakkeeseen verrattuna. Sellun raaka-ainetta kertyi merkittävästi enemmän kun normaalissa tavalarajikorjuussa. Lisäraaka-aine kertyi latvoista ja pienilämpimittaisista rungoista. Hakkeen ominaisuudet ja käyttöarvo sellunvalmistuksen kannalta vaativat jatkotutkimuksia.

Selluhakkeen korkea hinta aiheutui erityisesti siitä, että korjuun ja tehdaskäsittelyn tuottavuudet jäivät alhaisiksi. Energiahyvitys ja lisäraaka-aine eivät riittäneet kompensoimaan kokopuun hankinnassa ja käsittelyssä syntyviä lisäkustannuksia. On kuitenkin ilmeistä, että hakkuu- ja kuljetusvaiheiden teknisellä kehittämisellä pystytään parantamaan tuottavuutta. Hakkuulaite sekä metsä- ja kaukokuljetuskuorman tiivistyslaitteet vaativat kehittämistä ja jatkotutkimuksia.

Pienikokoisen puun käsittelyyn tarkoitettuja keräilykaatolaitteita on kehitetty myös muualla pohjoismaissa. Ruotsalaisessa bioenergiaohjelmassa on kokeiltu muutamia laitteita taimikoissa ja ensiharvennusemetsissä. Alustavissa kokeiluissa tuottavuudet ovat jääneet jonkin verran alhaisemmiksi kuin tässä kokeilussa (Brunberg ym. 1998).

Hakkuuvaiheen jatkokehittelyyn kuuluu myös työmenetelmä- ja peruskonekysymyksiä. Kokeilussa käytettiin alustakoneena pientä hakkuukonetta, jossa puomin ulottuvuus oli noin 5 m, mikä edellyttää ns. hakkuu-urien käyttöä. Toisena vaihtoehtona voisi olla korjuun yhdistelmäkone, jossa keräilykaato ja metsäkuljetus tapahtuvat samalla koneella 20 m:n uraväliä käyttäen. Jälkimmäisen menetelmän soveltamisessa saattaa olla näkyvyysongelmia tiheissä metsissä, mutta sitä olisi tarpeen kokeilla käytännössä.

Korjattavan puun minimiläpimitalla voidaan vaikuttaa hakkuun tuottavuuteen. Toisaalta se liittyy kysymyksiin selluhakkeen ominaisuuksista ja ravinnetaloudesta, jotka ovat olennaisia menetelmän soveltamisessa. Pienimmät puut, joita ei katsota aiheelliseksi korjata, voidaan jättää pystyyn tai kaataa maahan esim. kaatopään lisälaitteella.

Pelkän energiapuun korjuuta kannattanee harkita tiheiden harvennusemetsien käsittelyssä etenkin, jos metsä on jo kärsinyt ylitihedestä, jolloin ainespuukertymä jää pieneksi. Koneelliseen keräilykaatoon ja varastohaketukseen perustuva menetelmä ei ole kokeilussa saavutetulla tuottavuustasolla kilpailukykyinen menetelmä. Siirtelykaatoon ja palstahaketukseen perustuvalla ketjulla päästään kilpailukyisempään energiahakkeen hintaan vastaavissa olosuhteissa (Hämäläinen ym. 1997). Yleisesti ottaen energiapuun hankintakustannukset varttuneista taimikoista ja kunnostushakkuista jäävät nykyisillä menetelmillä vielä liian korkeiksi. Valtion avustukset nuorten metsien hoitoon ja energiapuun korjuuseen parantavat menetelmien soveltamedellytyksiä merkittävästi.

Puuntuotantoketjun kokonaistalouden kannalta yhdistelmäkäsittely näyttää kiinnostavalta vaihtoehdolta. Edellytyksenä on, että valtapuusto ei ole kärsinyt harventamattomuudesta ja kestää voimakkaan käsittelyn. Lievempi harventaminen voisi tulla kysymykseen jo riukuuntuneissa metsissä. Puuntuotantovaikutuksia on kuitenkin tarpeen tarkastella yksityiskohtaisemmin. Kiinnostavia kysymyksiä ovat mm. vaihtoehtoisten harvennusvoimakkuuksien vaikutukset sekä erilaisia taimikkovaiheen

tilanteita edustavien tapausten simulointi menetelmän soveltamisalueiden selvittämiseksi.

Kokopuukorjuun ravinnevaikutukset on otettava vakavasti huomioon menetelmän jatkokehittelyssä. Tuotosvaikutuksista saadut tutkimustulokset ovat osin ristiriitaisia, ja taimikonhoitovaihetta ei ole sanottavasti tutkittu. Asia vaatii lisäselvityksiä, jotta puulaji- ja kasvupaikkarajauksia voitaisiin tarkentaa.

Menetelmän potentiaalisia soveltamisalueita ovat ensiharvennusvaihetta lähestyvät nuoret metsät, joissa korjuukertymä ja rungon koko ovat liian pieniä kannattavaa ensiharvennusta ajatellen. Sellaisia ovat nykyisin ns. käsittelyrästtit ja taimikonhoitovaiheessa liian lievästi harvennetut kohteet tai muuten pieniläpimittaiset korjuukohteet, esimerkiksi turvemaakoivikot. Tulevaisuudessa yhdistelmäkäsittely voisi olla osa normaalia puuntuotantoketjua tilanteissa, joissa valtapuuston tasapainoinen kehitys voidaan turvata korkeasta nuoruusvaiheen runkoluvusta huolimatta. Kasvatusmalli sopii erityisesti ns. laatukasvatuksen yhteyteen, jossa pitkään jatkuvalla tiheällä kasvatusasennolla pyritään vähentämään männyn oksikkuutta. Samalla yhdistelmäkäsittely parantaisi taimikon harvennuksen koneellistamismahdollisuuksia.

KIRJALLISUUS

- Andersson, S-O.** 1983. Helträdsutnyttjande vid gallring och dess effekt på trädens tillväxt. Skogsfakta 1:18-23.
- Brunberg, B., Andersson G., Norden, B & Thor, M.** 1998. Uppdragsprojekt Skogsbränsle – slutrapport. Forest bioenergy fuel – final report of commissioned project. Stiftelsen Skogsbrukets Forskningsinstitut. Redogörelse 6/1998.
- Hakkila, P., Kalaja, H., & Saranpää, P.** 1995. Etelä-Suomen ensiharvennismänniköt kuitu- ja energialähteinä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 582.
- Hämäläinen, J., Lilleberg, R., Poikela, A. & Rieppo, K.** 1997. Energiapuun korjuu taimikosta Chipset-hakeharvesterilla. Metsätehon katsaus 5/1997.
- Jacobsson, S., Kukkola, M., Mälkönen, E., Tveite, B. & Möller, G.** 1996. Growth response of coniferous stands to whole-tree harvesting in early thinnings. Scand. J. For. Res. 11:50 – 59.
- Kukkola, M. & Mälkönen, E.** 1997. The role of logging residues in site productivity after first thinning of Scots pine and Norway spruce stands. Teoksessa: Hakkila, P., Heino, M. & Puranen, E. (toim.). Forest management for bioenergy. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 640. S. 230 – 237.
- Tveite, B.** 1983. Heiltretynning – fare for tilveksstap. Aktuelt fra statens fagtjeneste for landbruket 3:98 – 105.