

Menetelmä ylitiheiden nuorten metsien harvennukseen

**Jarmo Hämäläinen
Asko Poikela
Kaarlo Rieppo**

**Metsätehon raportti 108
21.5.2001**

Menetelmä ylitiheiden nuorten metsien harvennukseen

Jarmo Hämäläinen
Asko Poikela
Kaarlo Rieppo

Metsätehon raportti 108
21.5.2001

Konsortiohanke: Metsähallitus, Metsäliitto Osuuskunta, Stora Enso
Oyj, UPM-Kymmene Oyj, Vapo Oy ja Yksityismet-
sätalouden Työnantajat r.y.

Asiasanat: ensiharvennus, kunnostushakkuu, kokopuun
korjuu, joukkokäsittely, energiapuun korjuu

© Metsäteho Oy

Helsinki 2001

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	KEHITETYT LAITTEET	7
3	TUTKIMUSMENETELMÄ JA AINEISTO	8
3.1	Korjuun aikatutkimus.....	8
3.2	Tiivistyskokeet	9
3.3	Ketjukarsinta-pienrumpukuorinta-haketus	10
4	TULOKSET	10
4.1	Korjuun tuottavuus	10
4.1.1	Työmenetelmät.....	10
4.1.2	Aikatutkimuksen tulokset.....	11
4.2	Korjuujälki.....	13
4.3	Korjuukustannukset.....	13
4.4	Tiivistyskokeet	14
4.4.1	Puristuspankko.....	14
4.4.2	Tiivistyskoura	15
4.5	Kaukokuljetuksen kustannukset.....	16
4.6	Ketjukarsinta-kuorinta-haketus	18
4.6.1	Raaka-aineanalyysit.....	18
4.6.2	Haketuksen tuottavuus ja kustannukset	20
4.7	Hankintaketjun kokonaistuottavuus ja -kustannukset	21
4.7.1	Selluhakkeen tuotanto.....	21
4.7.2	Polttihakkeen tuotanto.....	23
4.8	Potentiaaliset soveltamisolosuhteet	24
5	TARKASTELU	25
	KIRJALLISUUS	26

LIITE

TIIVISTELMÄ

Projektin tavoitteena oli kehittää energia- ja selluhakkeen tuotantomenetelmä, jolla voidaan tehostaa tiheiden ja pienirunkoisten harvennusemetsien käsittelyä. Karelian Puu ja Metalli Oy rakensi projektissa kokopuun korjuuseen tarkoitetun keräilykaatolaitteen sekä tiivistyslaitteet metsä- ja kaukokuljetusta varten. Projektissa selvitettiin menetelmän tuottavuutta ja tarkasteltiin tuotantoketjun kokonaiskustannuksia energia- ja ainespuukorjuun näkökulmista.

Projekti kuului Tekesin käynnistämään puuenergian teknologiaohjelmaan (1999 - 2003). Projektin toteutukseen osallistuivat Metsätehon ja rahoittajina olevien osakkaiden lisäksi Karelian Puu ja Metalli Oy, Plustech Oy, Metsäntutkimuslaitos, Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio ja alueelliset metsäkeskukset sekä Pertti Szepaniak Oy.

Korjuun aikatutkimus tehtiin kahdella mäntyvaltaisella kohteella, joilla taimikon harvennus oli jäänyt tekemättä. Puuston valtapituus oli noin 10 metriä ja lähtötiheys 3 100 – 3 800 runkoa hehtaarilla. Korjuussa poistettiin 1700 – 2 200 runkoa/hehtaari. Poistettujen puiden kokonaisbiomassa oli 52 – 60 kuutiometriä/hehtaari ja käyttöpuumäärä (minimiläpimitta 7 cm) noin puolet siitä.

Keräilykaatolaite ja tiivistyspankot asennettiin kokeilua varten kuormatraktoriin. Korjuuvaiheeseen sisältyivät hakkuu ja metsäkuljetus sekä kokopuiden katkenta kaukokuljetuspituuksiin. Metsätraktoriin asennetuilla puristuspankoilla kokopuukuorman koko voitiin kasvattaa noin 1,5-kertaiseksi tiivistämättömään verrattuna.

Korjuun tehotuntituotos oli 250 metrin metsäkuljetusmatkalla keskimäärin 2,7 m³. Tuotos vaihteli koealoittain 2,0 – 4,1 kuutiometriin. Korjuukustannukset koko korjattua biomassaa kohti olivat 155 markkaa kuutiometriltä (100 – 210 mk/m³).

Hakkuualueelle jäävistä puista vaurioituneita oli keskimäärin 2,8 prosenttia. Reilu puolet vaurioitui hakkuuvaiheessa ja vajaa puolet ajon aikana. Ajouran leveys hakkuualueella oli keskimäärin 4,0 metriä.

Kuorma-auton tiivistyskouralla pystyttiin kasvattamaan kokopuukuorman kokoa noin neljänneksellä. Kun tiivistäminen otettiin huomioon, kaukokuljetuskustannukset olivat 50 kilometrin matkalla 24 markkaa ja 100 kilometrin matkalla 35 markkaa neliömetriltä.

Sellu- ja energiapuu eroteltiin ketjukarsinta-pienrumpukuorinta-haketusmenetelmällä. Selluhakkeen saanto oli männyllä 54 – 56 % ja koivulla 55 % kokonaisbiomassasta. Hakkeen kuoripitoisuus oli männyllä reilut kaksi prosenttia ja koivulla lähes viisi prosenttia. Palakokojakaumaltaan hyväksytyin hakkeen osuus oli 85 – 87 %. Kokeilut tehtiin talvella puiden ollessa jäätyneitä. Tämä heikensi käsittelytulosta.

Aines- ja energiapuun erottelua kokeiltiin pienimuotoisesti myös korjuuvaiheessa. Menetelmässä ainespuun mitat täyttävät osapuupölkyt eroteltiin hakkuussa ja pidettiin erillään metsäkuljetuksen aikana.

Selluhakkeen tuotantokustannukset nousivat korkeiksi, 370 markasta 395 markkaan kuutiometriä kohti. Korjuun tuottavuudella oli ratkaiseva vaikutus menetelmän kannattavuuteen. Jos korjuun käyttötuntituotos saataisiin lisättyä 3–4 kuutiometriin, menetelmän kilpailukyky paranisi olennaisesti. Kokeilun aikana tämä taso saavutettiin yksittäisillä koealoilla, mutta keskimäärin jäätin selvästi tavoitteen alle.

Projektissa tarkasteltiin myös vaihtoehtoa, jossa hankalista korjuukohteista tuleva harvennuspuu ohjattaisiin kokonaan energiakäyttöön. Energiapuun kustannukset tuotantoketjulla, joka perustuu haketukseen käyttöpaikalla, olivat 50 kilometrin kuljetusäisyydellä 98 markkaa/MWh. Kun taimikonhoito-, energiapuun korjuu- ja haketustuki otettiin huomioon, päädyttiin 64 markkaan/MWh. Kustannustasoa voidaan pitää kilpailukykyisenä, kun lähtökohdaksi otetaan energiapuun käyttö esimerkiksi kunnallisissa voimaloissa tai sitä pienemmissä yksiköissä. Polttoaineen suurkanäytön mukaiseen tavoitetasoon, 45 markkaa/MWh, on vielä matkaa.

Yksityismetsien luonnonvaratietojärjestelmästä (Luotsi) poimitut tiedot antoivat suuntaa menetelmän potentiaalisille soveltamisolosuhteille. Noin puolet nuorten metsien käsittelypinta-alasta on sellaisia ensiharvennusvaihetta lähestyviä metsiä, joissa taimikon harvennus on jäänyt tekemättä tai on tehty liian lievästi. Mikäli puolet näistä metsistä olisi myös käytännössä kannattavasti korjattavissa, merkitsisi se noin 50 000 hehtaarin vuotuista käsittelyalaa ja suurusluokaltaan 1,5 – 2 miljoonan kuutiometrin biomassakertymää. Kilpailevia menetelmiä ovat lähinnä siirtelykaato miestyönä ja metsäkuljetus normaalilla kuormatraktorilla tai siirtelykaato ja palstahaketus pelkkää energiapuuta korjattaessa.

Kehitetyn menetelmän todellista kilpailukykyä ja soveltamisalueita koskeviin kysymyksiin ei saatu vielä tässä kokeilussa lopullisia vastauksia. Menetelmän tuottavuudesta ja toimivuudesta eri olosuhteissa tarvittaisiin pitempiaikainen seuranta tutkimus, jossa olisi mukana myös useampia kuljettajia. Kokeiltava kone tulisi varustaa pyörivähyttisellä ohjaamalla, jolloin edellytykset tuottavaan työskentelyyn olisivat mahdollisimman hyvät. Aineiston perusteella voitaisiin analysoida tarkemmin koneen kilpailukykyä eri olosuhteissa ja menetelmän käyttökelpoisuutta energia- ja ainespuun hankinnassa.

1 JOHDANTO

Hoitamattomien taimikoiden määräksi on arvioitu 450 000 hehtaaria ja rästiin jääneiden ensiharvennusten 400 000 hehtaaria. Laiminlyönnit vaikuttavat puunkorjuuolosuhteisiin ja puun saatavuuteen sekä lyhyellä että pitkällä aikavälillä.

Taimikonhoito tehdään pääosin raivaussahatyönä. Taimikon harvennus lopulliseen kasvatusiheyteen pyritään nykyään tekemään mahdollisimman myöhäisessä vaiheessa, vasta kun taimikko on 4 – 8 metrin pituinen. Tämä vaikeuttaa raivaussahatyötä, mutta mahdollistaa työn koneellistamisen ja energiapuun talteenoton. Koneellisia ratkaisuja taimikonharvennukseen ja energiapuun korjuuseen on kehitetty, mutta niitä ei ole vielä saatu taloudellisesti kannattaviksi.

Koneellinen ensiharvennus on kallista nykyisillä koneilla hoitamattomissa tai liian lievästi käsitellyissä kohteissa. Ylimääräinen pienpuusto haittaa hakkuuta olennaisesti, joten työmaat on raivattava ennen korjuuta. Ainespuukertymä jää tiheänä kasvavissa kohteissa pieneksi, koska ylitiheys on hidastanut puuston järeytymistä.

On tärkeää kehittää entistä tuottavampia nuorten metsien käsittelymenetelmiä, jotta käsittelyrästit saadaan puretuksi ja vuotuiset käsittelytarpeet hoidetuksi. Koneellisten menetelmien kehittäminen on olennaista myös sen tähden, että metsänhoitotöihin on tarjolla yhä vähemmän ammattitaitoista työvoimaa.

Nuorten metsien käsittelyn jakaminen ”esikaupalliseen” taimikonhoitoon ja kaupalliseen ensiharvennukseen perustuu perinteiseen teollisuuspuun käsitteeseen. Sitä mukaa kun energiapuun markkinat ja pienpuun korjuu- ja käsittelytekniikat kehittyvät, nuorten metsien käsittelyvaihtoehtoja voidaan tarkastella entistä joustavammin. Energiapuun käyttö on lisääntymässä, ja se on entistä useammin kysymykseen tuleva vaihtoehto harvennusmetsissä.

Tietyissä olosuhteissa saattaa tulla kysymykseen menettely, jossa nuori metsä harvennetaan vain kertaalleen, perinteisen taimikon harvennuksen ja ensiharvennuksen yhdistelmänä. Yhdistetyssä käsittelyssä voidaan korjata joko pelkkää energiapuuta tai energia- ja ainespuuta ja tarvittaessa kaataa osa pienimmästä puustosta maahan. Yhdistetyn käsittelyn alustava kokeilu Bioenergian tutkimusohjelmaan kuuluvassa hankkeessa antoi kiinnostavia tuloksia (Hämäläinen ym. 1998). Kokopuukorjuu sekä sellu- ja energiajakeen erottelu ketjukarsintapienrumpumenetelmällä onnistuivat hyvin, mutta menetelmän taloudellisuudessa oli toivomisen varaa. Tuotantoketjun vaiheiden kehittäminen näytti mahdolliselta, joten nämä kehitysmahdollisuudet katsottiin aiheelliseksi selvittää.

Projektin tavoitteena oli kehittää kilpailukykyinen energia- ja selluhakkeen tuotantomenetelmä, jolla voidaan tehostaa tiheiden ja pienirunkoisten harvennusmetsien käsittelyä. Projektissa rakennettiin kokopuun korjuuseen ja kuljetukseen tarkoitettuja laitteita, testattiin niiden teknistä toimivuutta ja tutkittiin menetelmän tuottavuutta ja kustannuksia.

2 KEHITETYT LAITTEET

Karelian Puu ja Metalli Oy rakensi uuden version kokopuukorjuuseen kehitetystä keräilykaatolaitteesta sekä kuorman tiivistyslaitteet kokopuun metsä- ja kaukokuljetusta varten. Keräilykaatolaitteen prototyyppeä oli aiemmin kokeiltu Bioenergiaohjelmaan kuuluvassa hankkeessa, ja laitetta kehitettiin siinä kertyneiden kokemusten pohjalta. Päämuutokset olivat laitteen mitoituksen suurentaminen ja rakenteen kehittäminen siten, että myös kokopuun kuormaus ja purku kävivät päinsä kaato-kasauksen lisäksi.

Metsä- ja kaukokuljetuskuorman tiivistysperiaatteita oli aiemmin testattu avohakkuualoilta saatavan hakkuutähteen korjuussa. Laiteratkaisuja kehitettiin sen pohjalta kokopuukorjuuta varten.



Keräilykaatolaite on tarkoitettu joukkokäsittelynä tehtävään koko- ja osapuukorjuuseen. Puu tai puuryhmä katkaistaan kiinteän terälevyn avulla giljoitinperiaatteella. Kun laitteella tartutaan kiinni puuhun, kourat painavat sen samalla terälevyä vasten, jolloin puu katkeaa. Katkaistut puut jäävät salpojen taakse vastinkappaletta vasten pystyyn, jolloin koura voidaan avata seuraavien puiden katkaisua varten.

Kuorma tiivistetään hydraulisesti toimivilla puristuspankoilla. Puristuspankkojen avulla kuormatila voidaan levittää metrin verran molempiin suuntiin. Kun pankot on levitetty ääriasentoon, kuormassa olevat puut levitetään kuormaimella koko kuormatilan alueelle ja pankot vedetään jälleen kiinni, jolloin kuorma tiivistyy. Kuormatilan pohja on ratkaisussa rakennettava tasaiseksi, jolloin metsätraktorin normaalin kuormatilan keskellä olevaa syvennystä ei voida hyödyntää.

3 TUTKIMUSMENETELMÄ JA AINEISTO

3.1 Korjuun aikatutkimus

Keräilykaatolaite ja metsäkuljetuskuorman tiivistyslaite asennettiin kokeilua varten Timberjack 1010 -kuormatraktoriin. Koneyksikkö toimi siten ns. yhdistelmäkonperiaatteella, eli sillä tehtiin sekä hakkuu että metsäkuljetus samalla kertaa. Tutkimuksessa kokeillut työmenetelmät on selostettu tarkemmin tulosten esittelyn yhteydessä.

Hakkuu- ja metsäkuljetusvaiheen tuottavuus selvitettiin aikatutkimuksella. Tutkimustyömaille perustettiin 20 x 60 metrin kokoiset koealat, joilta mitattiin puustotiedot ennen ja jälkeen hakkuun, korjuun ajanmenekki työnvaiheittain sekä korjuujälki. Korjuujäljestä selvitettiin puusto- ja juuristovaurioiden määrä, laatu ja syyt sekä ajourapainumat. Lisäksi mitattiin toteutunut ajouraleveys ja jäävän puuston määrä.

Maastoaineisto kerättiin kahdelta mäntyvaltaiselta kohteelta, joilla taimikon harvennus oli jäänyt tekemättä. Puuston valtapituus oli noin 10 metriä ja lähtötiheys 3 100 – 3 800 runkoa/hehtaari (taulukko 1).

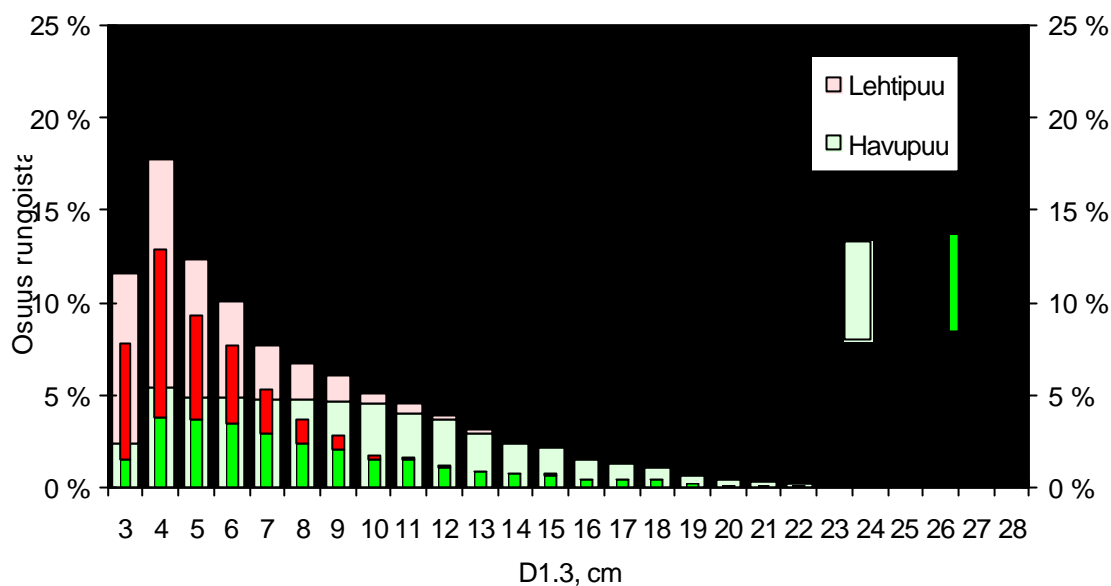
Korjuussa poistettiin 1 700 – 2 200 runkoa/hehtaari. Poistettujen puiden kokonaisbiomassa oli 52 – 60 kuutiometriä/hehtaari ja ainespuumäärä (minimiläpimitta 7 cm) noin puolet siitä (taulukko 2).

TAULUKKO 1 Tutkimuskohteiden puustotiedot.

Kohde	Pääpuulaji	Valtapituus, m	Lähtötiheys, kpl/ha (d _{1,3} >3 cm)	Lähtöpuusto, m ³ /ha (biomassa)	Lähtöpuusto, m ³ /ha (7 cm)
1	Mänty	9,8	3 740	135	78
2	Mänty	9,7	3 100	139	75

TAULUKKO 2 Poistuman tunnuksat.

Kohde	Poistuma, kpl/ha	Poistuma, m ³ /ha (biomassa)	Poistuma, m ³ /ha (7 cm)
1	2 220	51	24
2	1 660	57	30



Kuva 1. Puuston läpimittajakauma.

Harvennus tehtiin normaalina alaharvennuksena, joten eniten poistettiin puita, jotka olivat läpimitaltaan pienimpiä. Poistetuista rungoista 80 % oli sellaisia, joiden läpimitta rinnankorkeudelta oli alle 9 senttiä (kuva 1).

Kohteelle 1 perustettiin 18 koealaa ja kohteelle 2 neljä koealaa. Korjuun maastokokeet tehtiin Enossa loka-joulukuussa 1999. Kokeiden aikana oli lunta, loppuvaiheessa jo 20 - 30 senttimetriä.

3.2 Tiivistyskokeet

Kuormatraktorin puristuspankkojen ja kuorma-auton tiivistyskouran tiivistysvaikutuksesta tehtiin erilliskokeet. Tiivistystuloksen mittarina oli kuorman nettopaino, ja kokeet tehtiin käyttäen kahta punnitusvaakaa.

Metsätraktorikuorman tiivistyskokeet tehtiin joulukuussa 1999, jolloin lämpötila oli reilusti pakkasen puolella. Raaka-aine oli viisimetrisiksi katkottua mäntyä, jota ei tiivistetty korjuuvaiheessa.

Kaukokuljetuskuorman tiivistyskouraa kokeiltiin lokakuussa 2000. Koura oli asennettuna irtolavallisen kuorma-auton nosturiin. Irtolavan sisäpuolella oli kaksi pankkoparia. Pankkojen korkeus oli 2,45 metriä ja niiden välinen leveys 2,35 metriä. Lämpötila kokeiden aikana oli plussan puolella. Punnitukset tehtiin lähes puhtaalla männyllä, jonka metsurit olivat katkoneet viisimetrisiksi. Se oli siis kooltaan samanlaista kuin aiemmissa kokeissa. Raaka-aine oli kuljetettu metsäautotien varteen tavallisella metsätraktorilla ilman tiivistämistä.

3.3 Ketjukarsinta-pienrumpukuorinta-haketus

Kaksi puutavara-autokuormaa kokopuuta käsiteltiin Pertti Szepaniak Oy:n ketjukarsinta-pienrumpukuorinta-haketusasemalla Imatralla. Koe-erissä oli kaksi mäntyerää kohteelta 1, yksi koivuerä kohteelta 1 ja yksi mäntyerä kohteelta 2. Käsittelystä tehtiin aikatutkimus ja määritettiin hakkeen saanto, kuoripitoisuus ja palakokojakauma. Kokeilut tehtiin tammikuussa 2000. Puut olivat kokeilun aikana jäätyneitä.

4 TULOKSET

4.1 Korjuun tuottavuus

4.1.1 Työmenetelmät

Ensisijainen korjuumenetelmä perustui sellu- ja energiaositteiden erottamiseen toisistaan ketjukarsinta-rumpukuorintalaitteella. Jatkossa menetelmästä käytetään nimitystä *kokopuumenetelmä*.

Hakkuu ja metsäkuljetus tehtiin yhtenä työvaiheena. Hakkuuvaiheeseen kuului ajourien aukaisu ja niiden välisen alueen harvennus. Ajoura avattiin koneen edestä eteenpäin ajaen. Puut katkaistiin keräily-kaatolaitteella, koottiin muutaman puun nippuun ja tuotiin nosturilla pystyasennossa kuormatilaan, johon ne kaadettiin tyvipää sermiin päin.

Kun kuormatila oli täytynyt noin puolilleen, aukaistiin liukupankot, levitettiin nosturilla puut tasaiseksi kerrokseksi ja sen jälkeen puristettiin liukupankot kiinni. Tämä toistettiin joskus myös kuormatilan ollessa lähes täysi. Näin saatiin kuormatilaan sopimaan mahdollisimman paljon puuta kerralla.

Puut ajettiin täyspitkinä välivarastolle, jossa ne katkottiin. Myös katkonta tehtiin keräilykaatolaitteella, jolla tartuttiin runkoihin noin viiden metrin päästä tyvestä ja rutistettiin latvat poikki. Katkonta oli käytännössä hankalaa, koska kuljettaja ei nähnyt päällimmäisten puiden katkaisun jälkeen katkaisukohtaa, vaan keräilykaatolaite täytyi asettaa siihen arvionvaraisesti.

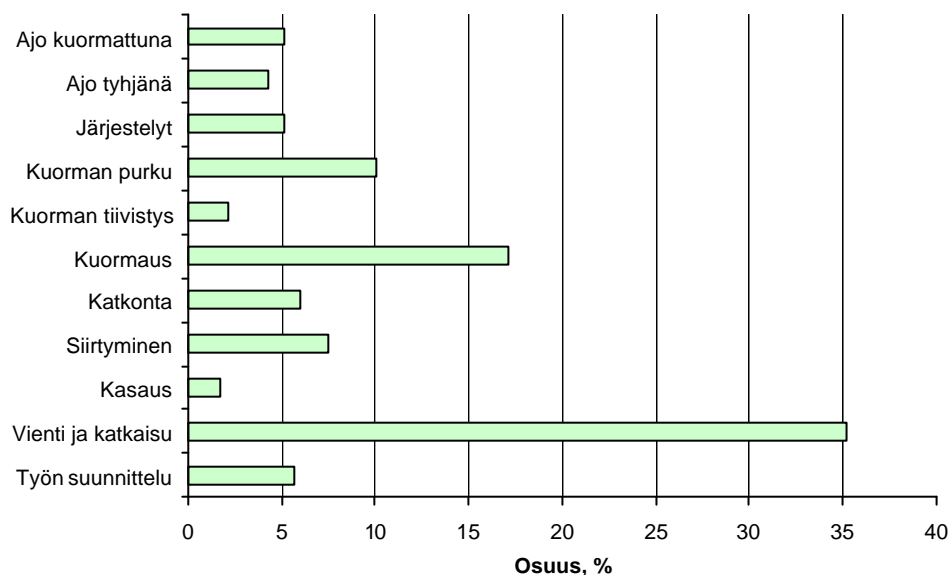
Toisena menetelmänä kokeiltiin ainespuun ja energiapuun erottamista jo korjuuvaiheessa. Jos rungosta näytti silmämääräisesti tulevan ainespuumitat täyttävä pölkky (latvaläpimitta vähintään 7 cm, pituus 5 m), katkaistiin runko tältä korkeudelta ja latvaosa vietiin kuormaan. Sen jälkeen tyvipölkky irrotettiin kannosta ja kuormattiin eri puolelle kuormatilaa. Jos rungosta arvioitiin tulevan apumitan mittainen ainespuupölkky (pituus vähintään 2,5 m), katkaistiin tällainen runko kokonaisuutena ja pyrittiin sijoittamaan kuormatilan ainespuupuolelle siten, että minimilatvaläpimitta sattuisi tulevaan, varastolla tehtävään katkaisukohtaan. Ne rungot, joista ei tullut yhtään ainespuuosuutta, sijoitettiin suoraan energiapuupuolelle. Jatkossa menetelmästä käytetään nimitystä *osapuumenetelmä*.

Näin eroteltujen osapuupölkkyjen osuus koko biomassasta oli 58 %. Kun tästä oletettiin oksien ja kuoren osuudeksi 25 % ja puuhävikiksi 5 %, saatiin selluosituksen määräksi 41 % koko biomassasta. Vertailun vuoksi: ketju-rumpumenetelmän saanto oli kokeilussa noin 55 %.

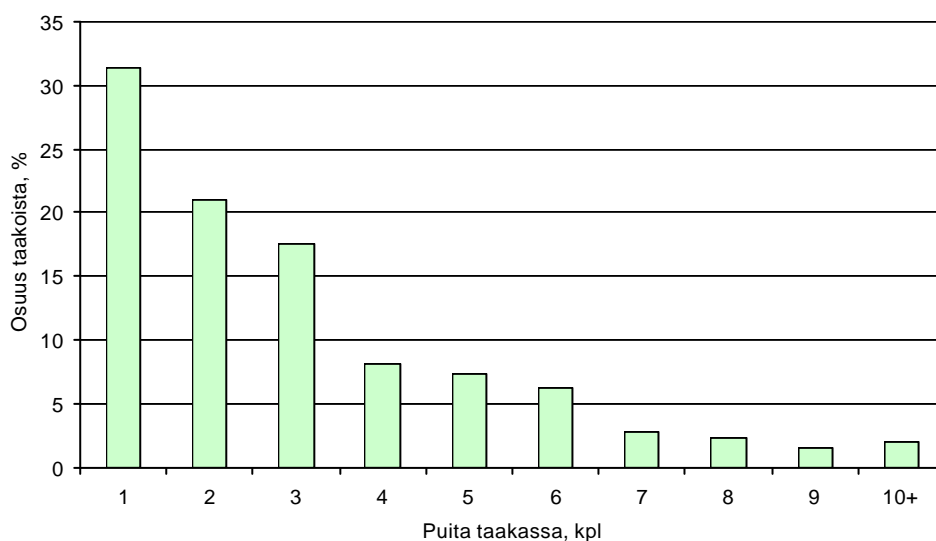
4.1.2 Aikatutkimuksen tulokset

Reilu kolmasosa korjuun tehoajasta kului keräilykaatolaitteen vientiin puiden tyvälle ja puiden katkaisuun (kuva 2). Toiseksi eniten, 17 % tehoajasta, kului puiden kuormaukseen. Kuorman purku vei kymmenesosan ja katkonta lisäksi 6 % ajasta. Kuorman tiivistys vei vain kaksi prosenttia tehoajasta.

Samaan keräilykaatotaakkaan pyrittiin saamaan useampia puuta. Lähes 70 % taakoista oli sellaisia, että niissä oli vähintään kaksi puuta (kuva 3). Keskimääräinen taakan koko oli 3,1 puuta.



Kuva 2. Korjuun tehoajanmenekin jakauma 250 metrin ajomatalla.



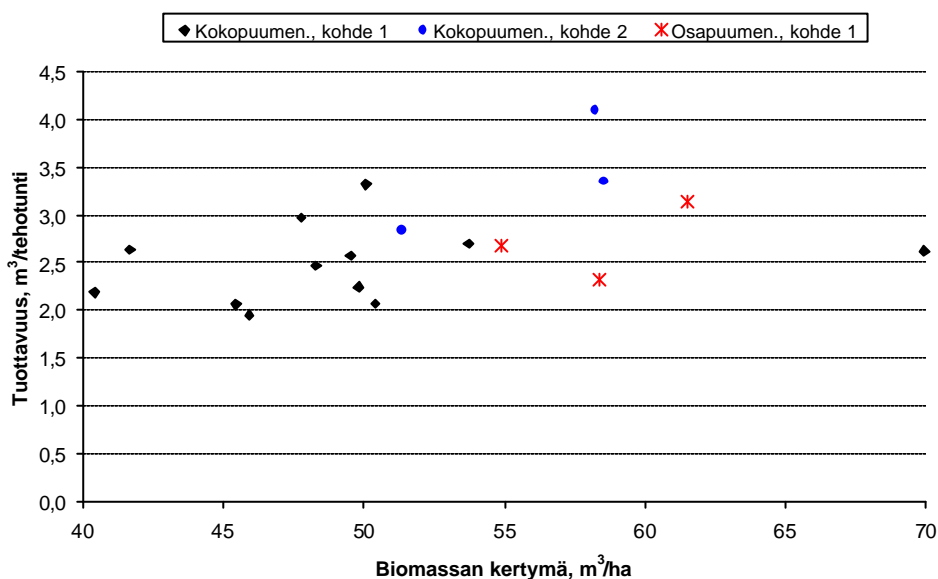
Kuva 3. Keräily-kaatotaakkojen jakauma puiden lukumäärän mukaan.

Korjuun tehotuntuotos oli keskimäärin 2,7 kuutiometriä, ja se vaihteli koeloitain 2,0 – 4,1 kuutiometriin. Tuottavuus sisältää hakkuu- ja metsäkuljetusvaiheet sekä kokopuiden katkonnan kaukokuljetuspituuksiin. Metsäkuljetusmatka vakioitiin laskelmissa 250 metriin.

TAULUKKO 3 Korjuun tuottavuus 250 metrin kuljetusmatkalla.

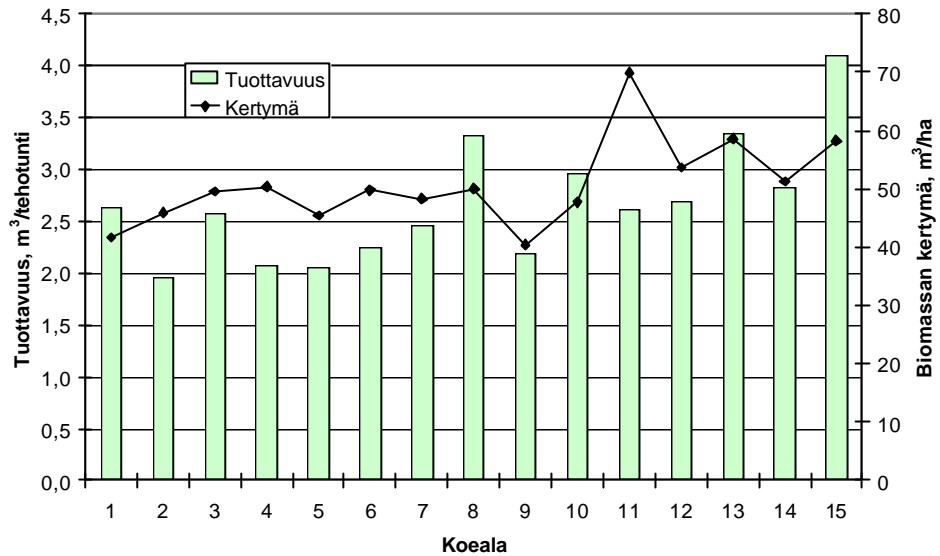
Kohde	Tuottavuus, m ³ /tehotunti	Biomassakertymä, m ³ /ha
1	2,5 (2,0 – 3,3)	51
2	3,5 (3,1 – 4,1)	57
Yhteensä	2,7 (2,0 – 4,1)	52

Korjuun tuottavuus parani korjuukertymän kasvaessa. Kokopuumenetelmä ja osapuumenetelmä eivät eronneet keskimääräiseltä tuottavuudeltaan toisistaan. Osapuumenetelmän koeloilla kertymät olivat kuitenkin suurempia, joten menetelmä lienee jonkin verran hitaampi kuin kokopuumenetelmä. Koeaineisto oli kuitenkin niin pieni, ettei eron suuruutta voitu tarkemmin määrittää (kuva 4).



Kuva 4. Korjuun tuottavuus korjuukertymän, työmenetelmän ja kohteen mukaan.

Aineistosta tarkasteltiin myös tuottavuuden kehitystä hakkuutyön edetessä. Aikaututkimus toteutettiin verraten lyhyen kuljettajan harjoitteluajan jälkeen. Oli oletettavissa, että tuottavuus paransi harjaantumisen myötä. Näin vaikuttikin käyvän, mutta työhön tottumisen ja korjuukertymän vaikutuksia ei kyetty luotettavasti erottamaan toisistaan (kuva 5).



Kuva 5. Korjuun tuottavuus koealojen hakkuujärjestyksen ja korjuukertymän mukaan.

4.2 Korjuujälki

Korjuuvauriot jäivät kohtuulliselle tasolle. Jäävistä puista vaurioituneita oli keskimäärin 2,8 %. Puustovauriot vähenivät hieman kokeen alusta loppua kohti. Kohteella 1 vaurioprosentti oli 2,9 ja kohteella 2 vastaavasti 2,7. Vauriot olivat runkovaurioita. Juuristovaurioita ja ajourapainauksia ei syntynyt, sillä maa oli kokeiden aikana roudassa ja lumen peittämä.

Runkovauriot sijaitsivat keskimäärin vajaan kahden metrin korkeudella juurenniskasta. Kolme neljäsosaa niistä oli pintavaurioita. Vaurioista reilu puolet aiheutui hakkuuvaiheessa ja vajaa puolet ajon aikana.

Yli puolessa tapauksista puustovaurion aiheuttajaksi arvioitiin keräily-kaa-tolaite, ja vajaaseen neljännekseen synä oli puutavara sen kuormausvaiheessa. Seuraavaksi eniten vaurioita, noin 14 %, aiheutti puutavarakuorma metsäkuljetusvaiheessa. Muut syyt aiheuttivat yhteensä vain noin kymmenesosan vaurioista.

Ajouran leveys oli keskimäärin 4,0 metriä SLU-menetelmällä mitattuna. Puustoa jäi eri koealoilla 900 – 1 300 runkoa hehtaarille ja pohjapinta-alana laskettuna 12 – 18 neliometriä hehtaarille.

4.3 Korjuukustannukset

Korjuukustannusten laskennassa alustakoneeksi oletettiin keskikokoinen kuormatraktori, jonka käyttökustannukset ovat 270 markkaa tunnissa. Keräilykaatolaitteen ja puristuspankkojen tuoma lisä oli 40 markkaa, eli käyttökustannukset olivat yhteensä 310 markkaa tunnissa.

Aikatutkimuksessa saavutettu keskimääräinen tehoajanmenekki (0,37 h/m³) muunnettiin käyttötuntituotokseksi puunkorjuun tuottavuustutkimuksiin perustavalla seurantakertoimella 1,35. Tällöin keskimääräiseksi käyttötuntituotokseksi tuli 2,0 kuutiometriä (1,5 – 3,1 m³). Metsäkuljetusmatkaksi oletettiin 250 metriä. Näillä perusteilla lasketut korjuukustannukset olivat keskimäärin 155 markkaa kuutiolta (taulukko 4).

TAULUKKO 4 Korjuukustannukset kokonaisbiomassaa kohti laskettuna (kuljetusmatka 250 metriä).

Kustannukset keskimäärin	Kustannusten vaihteluväli eri koealoilla
mk/m ³	
155	100 – 210

4.4 Tiivistyskokeet

4.4.1 Puristuspankko

Raaka-aine kuormattiin ensin tiivistämättä puristuspankoilla varustetun metsätraktorin kuormatilaan ja kuorman paino punnittiin. Tämän jälkeen osa kuormasta purettiin pois, loppu kuorma tiivistettiin ja kuormatila kuormattiin täyteen. Tiivistetyn kuorman paino punnittiin. Toisella kuormalla meneteltiin muuten samoin, mutta tiivistys tehtiin kahdessa vaiheessa.

Lisäksi tehtiin koe katkomattomalla tavaralla. Tällöin tiivistys tehtiin myös kaksi kertaa kuormaa kohti. Tiivistämättömiä kuormia punnittiin kolme ja tiivistettyjä kaksi.

Kokeet osoittivat, että puristuspankoilla metsätraktorikuorman koko voidaan suurentaa noin puolitoistakertaiseksi tiivistämättömään verrattuna (taulukko 5).

TAULUKKO 5 Puristuspankolla tehdyn tiivistyksen vaikutus metsätraktorikuorman kokoon.

Koe	Kuormia	Tiivistysaste
1. Katkottu puutavara, yksi tiivistys	1	1,57
2. Katkottu puutavara, kaksi tiivistystä	1	1,53
3. Katkomaton puutavara, kaksi tiivistystä (keskiarvotulos)	2	1,53

4.4.2 Tiivistyskoura

Puutavara-auton tiivistyskouran toimintaperiaate on seuraavanlainen: Kouraan otetaan puutavaraa tavalliseen tapaan. Kuormausvaiheessa kouran leukojen päissä olevat piikit käännetään esiin (tämän sivun kuvassa esillä) ja koura painetaan aiemmin kuormattujen runkojen väliin. Tämän jälkeen kouran leukoja avataan samalla kouraa nostaen, jolloin kuormatilassa ollut puutavara tiivistyy. Ylösnoston aikana kourassa olevaa puutavaraniippua painetaan kouran hydraulilevyllä alaspäin (kuvassa levy alhaalla). Näin on tarkoitus saada uusi puutavaraniippu jäämään aiemmin kuormattujen niippujen väliin. Tiivistystä voidaan tehdä myös kouralla puutavaraa päältä painaen. Koura soveltuu hyvin painamiseen, kun se pidetään avattuna ja sisälevy alas työnnettynä. Tällöin koura on hyvin vakaa ja painaminen tehokasta.



Punnitukset tehtiin lähes puhtaalla mäntyraaka-aineella, jonka metsurit olivat katkoneet viisimetrisiksi. Tiivistämättömiä kuormia punnittiin kolme ja tiivistettyjä viisi. Kukin kuorma tehtiin aina uudella raaka-aineella. Kuormakorkeutena oli pankkojen ylälaita. Tiivistämättömät kuormat kuormattiin normaalisti välttämättä painamista kouralla. Tämä siksi, että tiivistyskouran paino ja koko olivat selvästi suurempia kuin tavallisessa puutavarakourassa. Tiivistettyjen kuormien teossa käytettiin kouran tiivistysominaisuuksia ja lisäksi painettiin kasaa kouralla.

Tiivistyskouralla voitiin suurentaa autokuorman kokoa noin neljänneksellä tiivistämättömään verrattuna (taulukko 6).

TAULUKKO 6 Tiivistyskouralla tehdyn tiivistyksen vaikutus autokuljetuskuorman kokoon.

Tiivistysaste keskimäärin	Vaihteluväli
1,24	1,05 – 1,45

4.5 Kaukokuljetuksen kustannukset

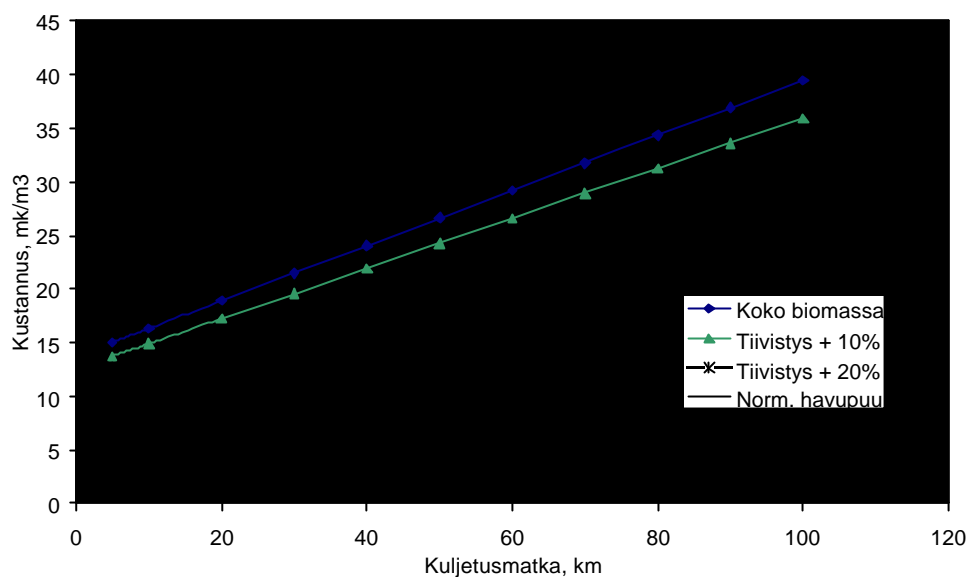
Ensimmäisessä vaihtoehtolaskelmassa oletettiin, että kaukokuljetuskuorman koko ja sen perusteet ovat samat kuin tätä hanketta edeltävässä tutkimuksessa. Siinä oletettiin, että kuormatilaa oli korotettu 20 cm ja perävaunuun oli tehty pienempien pyörien takia 10 cm lisäkorotus ja että perävaunuun sopii kaksi nippua (Hämäläinen ym. 1998).

Näin puutavarakuorman kiintotilavuudeksi tuli 44,9 kuutiometriä (33,2 tonnia) kokopuuta. Tutkimuksessa tehtyjen puustomittausten mukaan tästä noin 78 % oli runkopuuta, 71 % ainespuuta, jonka läpimitta on vähintään 5 senttimetriä, ja 58 % ainespuuta, jonka läpimitta on vähintään 7 senttimetriä.

Kuljetuskustannukset laskettiin autokuljetuksia varten laaditulla laskentaohjelmalla. Ajoneuvoyhdistelmän hankintahinta arvioitiin noin 150 000 markkaa tavanomaista puutavara-autoa kalliimmaksi. Kuormausaikaan lisättiin aiempiin osapuun autokuljetuksen tuottavuustutkimuksiin perustuen 30 minuuttia, mikä tarkoittaa pelkän kuormausyöskentelyajan kaksinkertaistumista. Tämä onkin hyvin todennäköistä, varsinkin jos kuormaa pyritään tiivistämään mahdollisimman tehokkaasti nosturiin asennetulla erikoiskouralla. Kuorman purkamisaika (tehdaspään viipyminen) oletettiin lisäksi neljänneksen pidemmäksi kuin normaalissa puutavaran autokuljetuksessa.

Kuvassa 6 on esitetty kaukokuljetuskustannukset koko biomassalle kohdistettuna. Kuljetuskustannukset olivat 50 kilometrin kuljetusmatkalla 27 markkaa ja 100 kilometrin matkalla 40 markkaa kuutiometriltä. Tällöin ajoneuvoyhdistelmän kantavuudesta jäi hyödyntämättä noin 16 prosenttia, mikä edellyttäisi 19 prosentin tiivistämistä.

Puutavaran tiivistyskouralla saavutettiin keskimäärin 24 prosentin tiivistyminen. Tiivistyskouran avulla olisi mahdollista hyödyntää auton kantavuus kokonaan. Mikäli käytännössä päästäisiin 15 prosentin tiivistymiseen, olisivat kokonaisbiomassalle kohdistetut kustannukset 50 kilometrin matkalla 23 markkaa ja 100 kilometrin matkalla 34 markkaa kuutiometriltä.

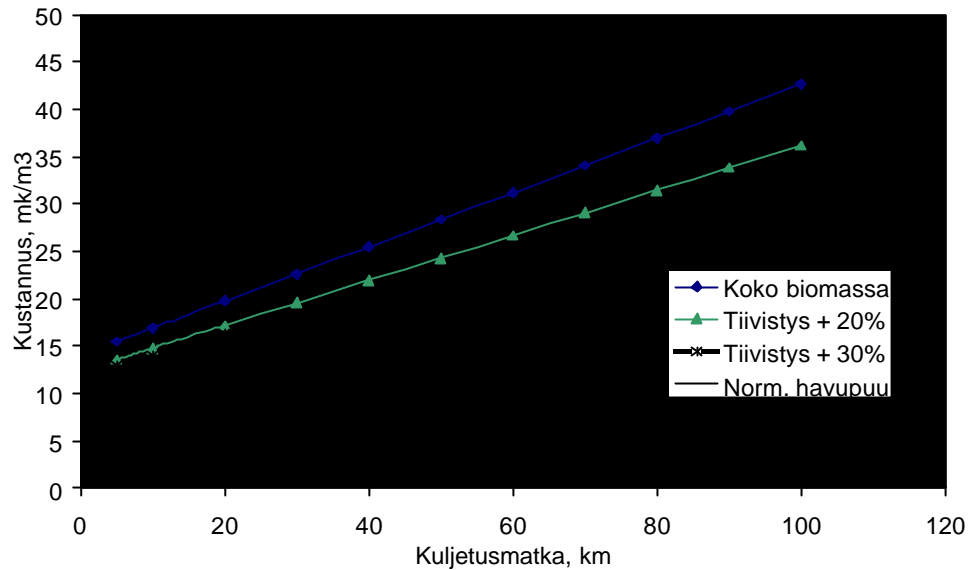


Kuva 6. Kokonaisbiomassalle kohdistetut kaukokuljetuskustannukset erikoisvarusteisella puutavara-autolla. Tarkastelussa ovat matka ja tiivistysasteet. Vertailuna tavaralajimenetelmällä korjattu havuainespää.

Koska tiivistyskouran kokeissa saavutettu 24 prosentin tiivistyminen johtaa edellä määritellyllä erikoisvarusteisella autolla jo ylikuormaan, laskettiin vaihtoehdoksi kaukokuljetuskustannukset tavanomaisen puutavara-auton mitoilla. Edelleen oletettiin kuitenkin perävaunuun mahtuvan kaksi puutavaranippua. Puutavarakuorman kiintotilavuudeksi tuli näin 40,6 kuutiota (30 tonnia).

Kokonaisbiomassalle kohdistetut kaukokuljetuskustannukset olivat tällöin 50 kilometrin kuljetusmatkalla 28 markkaa ja 100 kilometrin matkalla 43 markkaa kuutiometriltä. Kantavuudesta jäi näin hyödyntämättä 22 prosenttia. Tämän vajakuksen hyödyntäminen edellyttäisi 28 prosentin tiivistämistä.

Mikäli 25 prosentin tiivistyminen saavutettaisiin, olisivat kokonaisbiomassalla kohdistetut kustannukset 50 kilometrin matkalla 23,5 markkaa ja 100 kilometrin matkalla 35 markkaa kuutiometriltä (kuva 7).

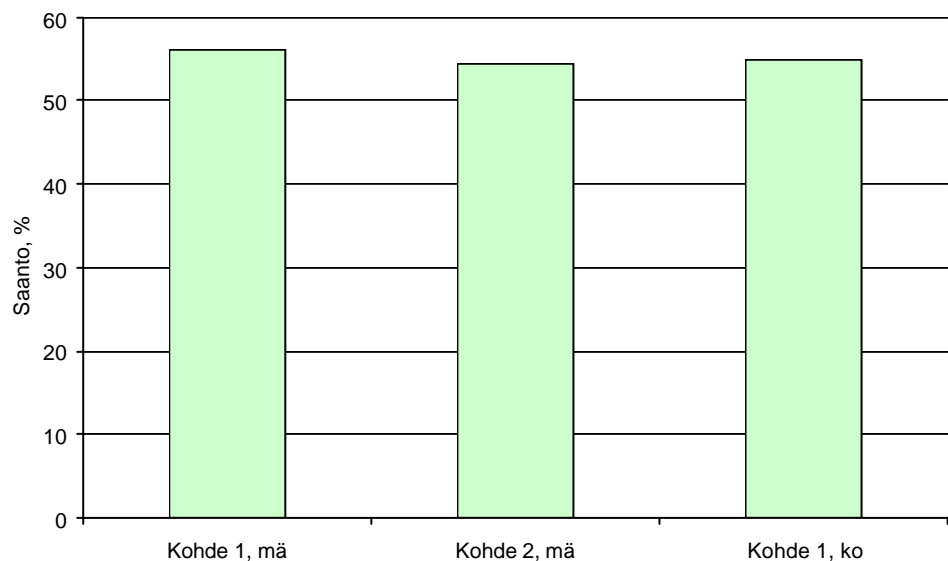


Kuva 7. Kokonaisbiomassalle kohdistetut kaukokuljetuskustannukset muuten normaalilla mutta lisälaidoin varustetulla puutavara-autolla. Tarkastelussa matka ja tiivistysasteet. Vertailuna tavaralajimenetelmällä korjattu havuainespä.

4.6 Ketjukarsinta-kuorinta-haketus

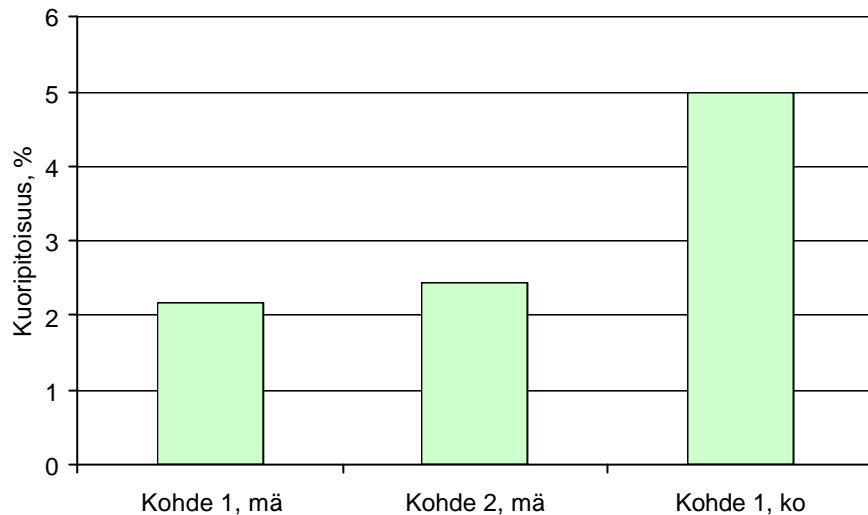
4.6.1 Raaka-aineanalyysit

Ketjukarsinta-kuorinta-haketuksessa selluhakkeen saanto tehtaalle tuodusta kokonaisbiomassasta oli kohteen 1 männyllä 54,3 % ja kohteen 2 männyllä 56,4 %. Koivulla saanto oli vastaavasti 54,9 % (kuva 8).



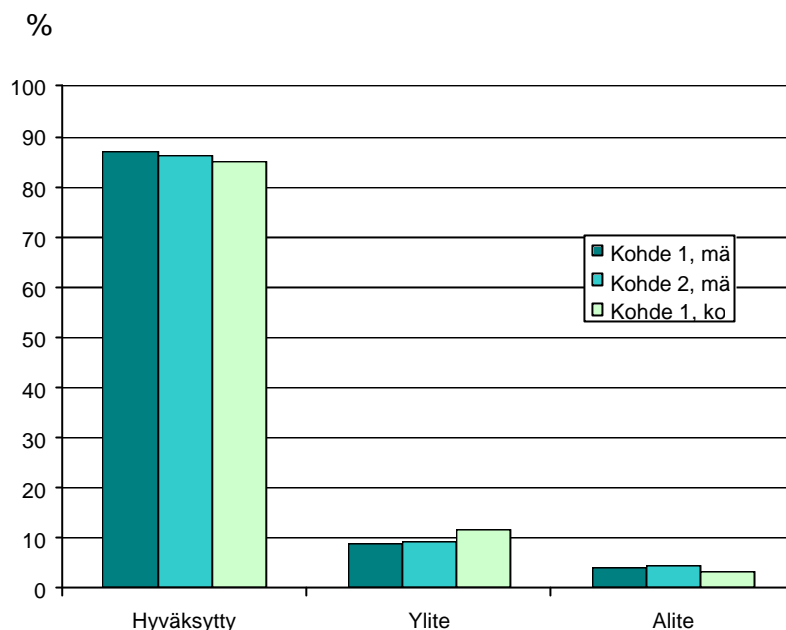
Kuva 8. Selluhakkeen saanto ketjukarsinta-kuorinnassa tuoremassoista määritettynä.

Kokeilun aikaan pakkasta oli lähes kymmenen astetta, ja edellisenä päivänä pakkasta oli ollut vielä parikymmentä astetta. Näin ollen kuorintaolosuhteet olivat vaikeat, ja tämä heikensi kuorintatulosta. Männyllä hakkeen kuoripitoisuudet olivat reilut kaksi prosenttia ja koivulla lähes viisi prosenttia (kuva 9). Nämä ylittivät selvästi selluhakkeen kuoripitoisuudelle asetetun yleisen yhden prosentin rajan.



Kuva 9. Hakkeen kuoripitoisuus ketjukarsinta-kuorinnassa.

Ketju-rumpumenetelmään sisältyy seulonta, jossa käytetään 45 millimetrin ja 7 millimetrin reikäverkkoja. Kuvassa 10 on esitetty seulonnan jälkeinen hakkeen palakokojakauma. Männyllä hyväksytyyn hakkeen – eli kolmentoista ja seitsemän millin reikäverkoille jääneen hakkeen – osuus oli 86 – 87 % ja koivulla 85 %. Aiemmissa käsittelylaitoksen seurantatutkimuksessa on 87 % hakkeesta ollut tavoitemitat täyttävää, joten tässä saavutettua tulosta voidaan pitää yllättävänkin hyvänä, kun otetaan huomioon puun pieni koko.



Kuva 10. Hakkeen palakokojakauma koe-erittäin.

4.6.2 Haketuksen tuottavuus ja kustannukset

Kuorinta-haketuksen käyttötuntituotos hakkeena oli männyllä kohteen 1 puilla 22,8 m³ ja kohteen 2 puilla 19,2 m³ eli keskimäärin 20,8 m³. Kohteen 1 koivulla käyttötuntituotos oli 10,8 m³. Edellisessä kokeilussa vuonna 1997 käyttötuntituotos oli 17,8 m³ haketta eli siihen verrattuna tuotos oli keskimäärin 17 prosenttia korkeampi. Edelleen jäätin kuitenkin merkittävästi siitä 38 neliömetrin käyttötuntituotoksesta, joka oli saavutettu ketju-rumpumenetelmällä aiemmissa koesarjoissa osapuulla. Todennäköistä onkin, että raaka-aineen ominaisuuksien ohella tottumattomuus tällaisen raaka-aineen käsittelyssä pienensi tuotosta edelleen.

Haketuskustannukset olivat männyllä 41 markkaa hakekiintokuutiometriä kohden. Koivulla vastaavat kustannukset olivat 68 markkaa hakekiintokuutiometrilta. Haketuskustannukset olivat korkeat suhteellisen alhaisen tuottavuuden takia. Ketju-rumpumenetelmällä, jolla tuotantokäytössä on ajettu yk-sinomaan karsittua mäntykuitupuuta, ovat raaka-aineen käsittelykustannukset alle 20 mk/hakekiintokuutiometri.

Kokeilutulosten perusteella ketju-rumpumenetelmän vuosituotos olisi keskeytyvässä kaksivuorotyössä männyllä 57 000 ja koivulla 34 000 hakekiintokuutiometriä.

4.7 Hankintaketjun kokonaistuottavuus ja -kustannukset

4.7.1 Selluhakkeen tuotanto

Kokeilun tulosten perusteella tarkasteltiin selluhakkeen tuotantokustannuksia. Vertailumenetelmänä oli normaali koneellinen hakkuu tavaralajimenetelmällä. Laskelman perustana olivat seuraavat kertymätiedot:

Kertymätiedot	Kokopuu- korjuu	Osapuu- korjuu (min. n. 7 cm)	Tavaralaji- korjuu (min. 7 cm)
	m ³ /ha		
Korjuukertymä	52	30	24
Selluhaketta	30	21	20
Polttojaetta	22	9	4

Kustannuslaskelmissa kokopuukorjuun käyttötuntituotoksena käytettiin 2,0 kuutiometriä ja osapuukorjuun tuotoksena 1,8 kuutiota.

Kantohinnaksi oletettiin 70 mk/m³ laskettuna seitsemän senttimetrin minimiläpimitan mukaiselle puumäärälle.

Selluhakkeen tuotannon yhteydessä syntyvästä energiapuusta oletettiin maksettavan 35 markkaa/MWh (70 mk/m³) hakkeen tuotantopaikalla. Polttojae vaatii vielä kuljetuksen käyttöpaikalle ja murskauksen ennen käyttöä.

Selluhakkeen tuotantokustannukset olivat kaikilla tarkastelluilla menetelmillä kalliit (taulukko 7). Kokopuu- tai osapuukorjuuseen perustuvat menetelmät eivät vaikuta kannattavilta kokeissa saavutetulla tuottavuudella. Esimerkkityömaan korjuun kannattavuus tavanomaisella tavaralajimenetelmällä olisi tosin myös kyseenalainen. Hyvästä ensiharvennusleimikosta tuotettavan selluhakkeen kustannukset ovat normaaliin tavaralajimenetelmään perustuvassa hankinnassa noin 260 – 270 markkaa kuutiometriltä.

TAULUKKO 7 Hankintaketjun kokonaiskustannukset menetelmittäin.

Kustannuserä	Kokopuu	Osapuu	Tavaralaji
	mk/m ³ 1)	mk/m ³ 1)	mk/m ³ 2)
Kantohinta	32	63	70
Hakkuualan raivaus	-	-	24
Hakkuu	-	-	89
Metsäkuljetus	-	-	25
Korjuu yhdistelmäkoneella	155	172	-
Kaukokuljetus (100 km)	35	35	33
Kuorinta ja haketus	24	20	17
Yleiskustannukset	13	13	20
– energiahyvitys	-29	-21	-13
Yhteensä	230	283	266
Yhteensä, mk/selluhakekuutiometri	Kokopuu	Osapuu	Tavaralaji
	396	372	324

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

Korjuuvaiheen tuottavuus vaikuttaa ratkaisevasti menetelmän kannattavuuteen. Jos korjuun käyttötuntituosta pystyttäisiin nostamaan 3 – 4 kuutiometriin, menetelmän kilpailukyky paranisi olennaisesti (taulukko 8). Kokeilun aikana tämä määrä saavutettiin yksittäisillä koelaloilla, mutta keskimäärin jäätin selvästi sen alle.

TAULUKKO 8 Korjuun tuottavuuden vaikutus selluhakkeen tuotantokustannuksiin kokopuumenetelmässä.

Käyttötuntituotos, m ³		
2	3	4
Korjuukustannukset, mk/m ³		
155	103	78
Selluhakkeen tuotantokustannukset, mk/m ³		
396	307	263

4.7.2 Polttohakkeen tuotanto

Integroitu menetelmä

Selluhakkeen tuotantotarkasteluissa käytettiin energiapuuositteelle vakiohyvitystä, 35 markkaa/MWh, ja loput hankinta- ja käsittelykustannuksista kohdennettiin kokonaan selluhakkeelle. Asiaa tarkasteltiin myös toisin päin eli energiapuun hankinnan näkökulmasta. Kun selluhakkeen hinnaksi oletettiin 270 markkaa kuutiolta ja loput kustannuksista kohdistettiin polttojakeelle, päädyttiin energijakeen hinnassa 123 markkaan megawattituntia kohti. Se oli lähes kolminkertainen verrattuna polttohakkeen suorkäytölle asetettuun tavoitetasoon, joka on 45 markkaa/MWh.

Valtio tukee nuorten metsien hoitoa ja energiapuun korjuuta kestävän metsätalouden rahoituslain mukaisesti. Kun nuorten metsien hoitotuki (665 mk/ha) kohdistettiin koko korjuukertymälle ja energiapuutuki (30 mk/m³) ja haketusuki (25 mk/m³) energijakeelle, niiden yhteisvaikutus energiapuun hintaan oli 30 markkaa/MWh. Näin energijakeen hinnassa päädyttiin 93 markkaan/MWh. Kuljetusmatkan lyheneminen 50 kilometriin pienensi kustannuksia noin 15 markkaa megawattitunnilta.

Pelkkä energiapuun korjuu

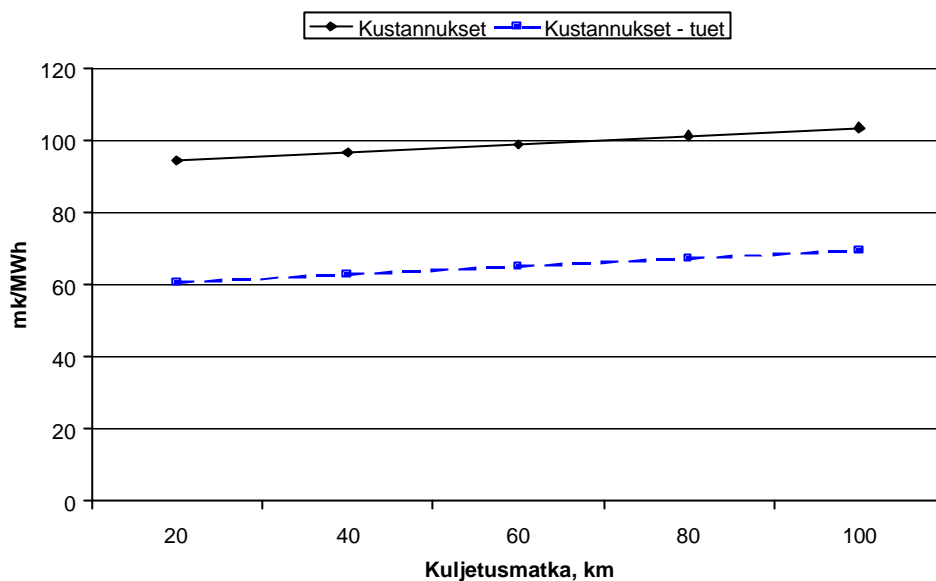
Yhtenä vaihtoehtona ylitieään, ainespuukertymältään pienen kohteen harvennuksessa on, että harvennuspuu korjataan kokonaan energiapuuksi. Kokeilutulosten perusteella tarkasteltiin laskennallisesti kokopuukorjuuseen ja käyttöpaikalla haketukseen perustuvan hankintaketjun kustannuksia.

TAULUKKO 9 Energiapuun hankinnan kokonaiskustannukset 50 km:n kuljetusmatkalla. Yhdistelmäkorjuu ja haketus käyttöpaikalla.

Korjuu	Kauko- kuljetus (50 km)	Käyttö- paikalla haketus	Yleis- kustan- nukset	Yhteensä		
				mk/m ³		mk/MWh
155	23	10	8	196	98	64

Energiapuun tuotantokustannukset jäivät hieman pienemmiksi kuin integroidussa korjuussa. Vertailussa on huomattava, että energiapuulle ei oletettu maksettavan kantohintaa. Hakkeen hinta käyttöpaikalla oli 50 kilometrin kuljetusetäisyydellä 196 markkaa/m³ eli 98 markkaa/MWh (taulukko 9). Jos energiapuun korjuu- ja taimikonhoito- ja haketusuki ovat käytettävissä, niiden vaikutus on noin 34

markkaa/MWh. Kuljetusmatkan piteneminen 100 kilometriin lisäsi kustannuksia noin viisi markkaa/MWh (kuva 11).



Kuva 11. Energiahakkeen tuotantokustannukset kuljetusmatkan mukaan.

4.8 Potentiaaliset soveltamisolosuhteet

Menetelmän mahdollisia soveltamiskohteita yksityismetsissä selvitettiin yhteistyössä Tapion ja metsäkeskusten kanssa. Tiedot poimittiin metsäkeskuskohtaisesti luonnonvaratietojärjestelmän (Luotsi) tietokannoista, jotka kattoivat vuoden 2000 lopussa keskimäärin 13,3 prosenttia (6,2 – 20,9 %) yksityismetsien metsämaan pinta-alasta. Aineistosta tarkasteltiin sellaisia kohteita, joiden puuston keskipituus oli 8 – 14 metriä. Tiedot yleistettiin koko metsäkeskus- ja maakohtaisiksi edellä mainittujen kattavuuslukujen perusteella.

Riukuvaiheen puustojen ja nuorten harvennusemetsien kokonaisuudeksi yksityismetsissä saatiin noin 3,5 miljoonaa hehtaaria, mikä on 29 % metsämaan pinta-alasta. Harvennushakkuualaksi lähimmän viiden vuoden aikana tuli keskimäärin 150 000 hehtaaria/vuosi ja vastaavaksi ainespuukertymäksi 4,3 miljoonaa kuutiometriä/vuosi. Hakkuukertymä oli keskimäärin 29 m³/ha. Noin 70 prosenttia kertymästä tuli mäntyvaltaisista metsistä. Kangasmaiden osuus hakkuupinta-alasta oli 71 prosenttia ja hakkuukertymästä 75 prosenttia (taulukko 10). On huomattava, että hakkuuehdotukset eivät sisällä ns. nuorten metsien kunnostuksen pintaaloja eivätkä kertymiä.

TAULUKKO 10 Nuorten harvennusmetsien kokonaismäärä ja vuotuinen hakkuutarve pääpuulajin ja metsämaan alaryhmän mukaan.

Alaryhmä	Tunnus	Kuusi	Lehtipuu	Mänty	Yhteensä
Kankaat	Kokonaisala, ha	551 751	202 409	1 816 844	2 571 004
	Hakkuuala, ha/v	19 537	9 918	76 181	105 637
	Hakkuukertymä, m3/v	653 154	249 320	2 339 240	3 241 714
	Hakkuukertymä, m3/ha	33	25	31	31
Ojitetut suot	Kokonaisala, ha	107 066	143 866	706 127	957 059
	Hakkuuala, ha/v	4 200	9 886	29 091	43 177
	Hakkuukertymä, m3/v	122 585	241 135	693 252	1 056 972
	Hakkuukertymä, m3/ha	29	24	24	24
Yhteensä	Kokonaisala, ha	658 817	346 275	2 522 971	3 528 063
	Hakkuuala, ha/v	23 737	19 804	105 273	148 813
	Hakkuukertymä, m3/v	775 739	490 455	3 032 492	4 298 686
	Hakkuukertymä, m3/ha	33	25	29	29

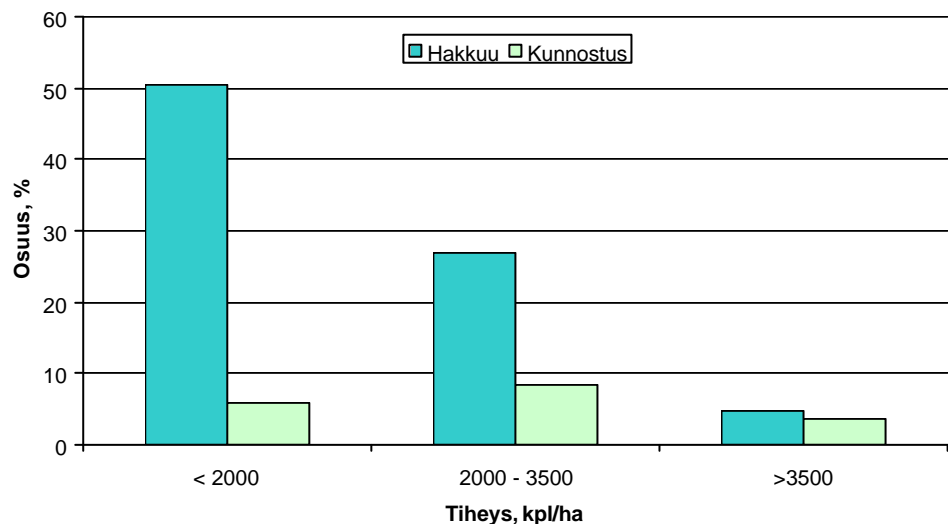
Harvennusolosuhteita selvitetiin tarkemmin neljän metsäkeskuksen – Etelä-Pohjanmaan, Pohjois-Pohjanmaan, Kainuun ja Etelä-Savon – alueilla. Ne edustavat noin 35 prosenttia yksityismetsien metsämaan pinta-alasta. Harvennuskohteet poimittiin keskipituus- ja tiheysluokittain siten, että koko maan aineistosta poiketen myös keskipituusluokka 14 - 16 metriä ja nuoren metsän kunnostukset otettiin mukaan. Käsittelyn kiireellisyysluokista otettiin mukaan kolme luokkaa: kiireellinen, 1 – 5 vuotta metsäsuunnittelun valmistumisesta ja 6 - 10 vuotta metsäsuunnittelman valmistumisesta.

Nuorten metsien kokonaismäärä jakautui melko tasaisesti eri pituusluokkiin. Valtaosa pinta-alasta (83 %), hakkuualasta (62 %) ja -kertymästä (61 %) asettui tiheysluokkaan alle 2 000 runkoa/hehtaari. Kunnostushakkuiden tarve kohdistui selvimmin tiheimpiin ja keskipituudeltaan lyhimpiin kohteisiin (taulukko 11). Kunnostushakkuiden pinta-ala oli noin 20 % varsinaisten harvennusten pinta-alasta.

TAULUKKO 11 Nuorten harvennusmetsien kokonaismäärän ja käsittelytarpeen jakauma puuston pituuden ja tiheyden mukaan neljän esimerkkimetsäkeskuksen alueella.

Tiheysluokka, kpl/ha	Tunnus	Pituusluokka, m				
		8-10	10-12	12-14	14-16	Yht., %
		Osuus, %				
< 2000	Kokonaisala, ha	17	20	24	22	83
	Hakkuuala, ha/v	15	26	17	4	62
	Kunnostushakkuuala, ha/v	15	13	5	1	33
	Hakkuukertymä, m3/v	11	24	20	6	61
2000 - 3500	Kokonaisala, ha	6	5	2	1	14
	Hakkuuala, ha/v	13	13	5	1	33
	Kunnostushakkuuala, ha/v	27	15	3	1	47
	Hakkuukertymä, m3/v	11	14	8	2	34
> 3500	Kokonaisala, ha	1	1	0	0	3
	Hakkuuala, ha/v	3	2	1	0	6
	Kunnostushakkuuala, ha/v	12	5	2	1	20
	Hakkuukertymä, m3/v	2	2	1	0	5
Yhteensä	Kokonaisala, ha	24	26	27	23	100
	Hakkuuala, ha/v	31	41	23	5	100
	Kunnostushakkuuala, ha/v	53	34	10	3	100
	Hakkuukertymä, m3/v	24	40	28	7	100

Kehitetyn menetelmän ensisijaisia käyttöalueita olisivat kunnostushakkuukohteet sekä tiheet (> 2 000 runkoa/ha) ensiharvennuskohteet. Niiden korjuu tavanomaisilla tavaralajimenetelmillä on kalleinta. Lisäksi niissä pieniläpimittaisen, energia-puuksi soveltuvan puun osuus on suurin. Sellaisten kohteiden määrä näyttäisi olevan noin puolet nuorten metsien käsittelyalasta (kuva 12). Jos puolet siitä – eli neljännes koko käsittelyalasta – olisi korjuukelpoista, menetelmän vuotuinen potentiaali yksityismailla olisi noin 50 000 ha/vuosi. Tämä vastaisi suuruusluokaltaan 1,5 – 2 miljoonan kuutiometrin biomassakertymää.



Kuva 12. Nuorten metsien hakkuu- ja kunnostuskohteiden jakauma lähtöpuuston tiheyden mukaan yksityismetsissä.

5 TARKASTELU

Projektin tavoitteena oli kehittää edelleen korjuumenetelmää, jota oli aiemmin tutkittu Bioenergiaohjelmaan kuuluvassa pilottiprojektissa (Hämäläinen ym. 1998). Menetelmän jatkokehittämisessä onnistuttiin parantamaan tekniikkaa, mutta tuottavuus jäi edelleen alle tavoitteiden.

Paranneltu versio keräilykaatolaitteesta oli aiempaa luotettavampi ja soveltui hyvin kookkaidenkin puiden ja puunippujen katkaisuun ja käsittelyyn. Myös kuorman purku onnistui kouralla asianmukaisesti. Kouran käyttö puiden katkaisuun kuormatilassa oli sitä vastoin hankalaa.

Puristuspankkoihin perustuva metsäkuljetuskuorman tiivistyslaite osoittautui toimivaksi ratkaisuksi myös harvennuspuun korjuussa. Vastaavaa laitettahan käytetään hakkuutähteiden korjuussa päätehakkuualoilta. Tiivistäminen onnistui normaalilevyisillä ajourilla, kävi nopeasti ja tiivistysvaikutus oli merkittävä.

Aiemmassa kokeilussa keräilykaatolaite oli asennettu pieneen hakkuukoneeseen ja metsäkuljetus hoidettu erikseen kuormatraktorilla. Tässä kokeilussa laite asennettiin kuormatraktoriin eli korjuu tehtiin ns. yhdistelmäkonperiaatteella, mikä osoittautuikin toimivaksi. Puita voitiin harventaa normaalilla 20 metrin uravälillä, eikä merkittäviä ulottuvuus- tai näkyvyysongelmia ollut. Uran avaaminen edestä onnistui yllättävänkin hyvin, mutta nipun siirto koneen edestä kuormatilaan oli melko hidasta tavanomaisella kuormatraktorin nosturi- ja ohjaamoratkaisulla.

Autokuljetuskuorman tiivistyslaite osoittautui kiinnostavaksi ja toteuttamiskelpoiseksi ratkaisuksi. Tiivistystulokset olivat varsin hyviä, mutta täyttä varmuutta itse tiivistysmekanismin osuudesta tiivistystulokseen ei pienessä kokeessa kuitenkaan saatu. Itse tiivistyskoura auttaa tiivistyksessä paljon, sillä sen koko ja rakenne soveltuvat kuorman paineluun toisin kuin normaali koura.

Kokopuun ketju-karsinta-pienrumpukuorinta-käsittelykokeet vahvistivat aiemman tutkimuksen tuloksia. Sellujakeen erottelu näyttää onnistuvan pienestäkin puusta, mutta puun jäätyminen heikentää tulosta merkittävästi. Käsittelyn tuottavuus oli tässä kokeilussa aiempaa parempi.

Ainespuun erottelu myös korjuuvaiheessa osapuumenetelmällä osoittautui mahdolliseksi. Erottelumenetelmä ei tietenkään noudata minimiläpimittaa niin tarkasti kuin normaali tavaralajimenetelmä. Menetelmän etuja kokopuumenetelmään verrattuna ovat, että osapuuta voidaan käsitellä normaaleissa kuorimarummuissa ja pelkkä energiapuusa voidaan kuljettaa metsästä suoraan lähimmälle käyttöpaikalle.

Pienikokoisesta puusta saadun selluhakkeen käyttömahdollisuudet ja -arvo ovat yritys- ja tehdaskohtaisia asioita. Nuoren harvennuspuun kuituominaisuudet eivät yleisesti ottaen ole yhtä hyviä vartuneemmista metsistä saataviin, järeämpiin kuitupuihin verrattuna. Viimeaikaisten tutkimustulosten mukaan normaaleja minimilä-

pimittoja pienempien harvennuspuiden ominaisuudet eivät kuitenkaan poikkea ratkaisevasti normaalikokoisten ensiharvennuspuiden ominaisuuksista (Korpilahti 1998).

Ylitiheiden harvennuskohteiden korjuu pelkästään energiapuuksi saattaa olla perusteltu vaihtoehto kohteissa, joissa ainespuukertymä jää pieneksi. Tutkitulla korjuumenetelmällä päästään pelkässä energiapuun korjuussa jo varsin kilpailukykyisiin kustannuksiin, kun lähtökohdaksi otetaan energiapuun käyttö esim. kunnallisissa voimaloissa tai niitä pienemmissä yksiköissä. Polttoaineen suurlähtöön mukaisesta tavoitetasosta, 45 markkaa/MWh, jäädään sitä vastoin selvästi.

Korjuuvaiheen tuottavuudella on ratkaiseva merkitys niin energia- kuin selluhakkeenkin tuotantoketjuissa. Mikäli korjuumenetelmällä saavutettaisiin tuotantoketjun mukaan 3 – 4 kuutiometrin käyttötuntituotos, menetelmän kilpailukyky parani olennaisesti. Tavoite saavutettiin kokeilussa muutamilla koealoilla, mutta keskimäärin jäätin selvästi sen alle. Kuljettajan rutinoituminen työhön vie aikansa, ja maksimaalista tasoa ei kokeilussa liene saavutettu. On huomattava, että vain yhteen kuljettajaan perustuviin tuottavuustietoihin sisältyy aina epävarmuutta.

Korjuuvaiheen tuottavuuden lisääminen tekniikkaa kehittämällä olisi ilmeisesti mahdollista. Pyöriväohjaamoinen alustakone nopeuttaisi todennäköisesti sekä taakan ottoa että sen siirtoa kuormatilaan. Myös puiden katkontaan kuljetuspituuksiin lienee kehitettävissä tehokkaampi ratkaisu, joka olisi asennettavissa kuormatilaan tai kouraan.

Ketjukarsinta-käsittelyn tuottavuus paransi todennäköisesti, jos kokopuuta käsiteltäisiin laitoksella enemmän. Sen vaikutus kokonaiskustannuksiin on kuitenkin korjuuvaihetta selvästi pienempi.

Energiapuun korjuuta nuorista harvennusmetsistä on kokeiltu myös Ruotsissa. Ruotsissa kehitetty EnHar-laite (Timberjack 720) on vastaaventyyppinen, pienikokoisen energiapuun korjuuseen tarkoitettu keräilykaatolaite. SkogForskin tutkimuksessa (Eriksson & Rytter 2000) laite asennettiin kuormatraktoriin, ja työmenetelmä oli samanlainen kuin tässä tutkimuksessa. Tutkimuskohteet olivat tiheitä lehtipuuvaltaisia harvennusmetsiköitä, joissa puuston pituus oli 6 – 14 metriä. Poistettavien puiden keskiläpimitta oli kohteittain 6,9 – 9,2 cm, ja energiapuuta kertyi 91 – 223 i-m³/ha. Hakuvaiheen tehotuntituotos oli kohteittain 70 – 91 puuta. Tässä tutkimuksessa poistettavien puiden keskiläpimitta oli 6,5 cm ja hakuvaiheen tehotuntituotos 112 puuta.

Toisessa tutkimuksessa (julkaisussa Brunberg ym. 1998) EnHar oli asennettuna juontopihdeillä varustettuun Terri 2000 -koneeseen. Kokeilussa, joka tehtiin viivästyneessä taimikonhoitokohteessa, poistuman keskiläpimitta oli noin viisi senttimetriä. Keräilykaadon ja varsinaisten ajourien varteen tehdyn laahusjuonnon tuottavuus oli 180 – 210 puuta tehotunnissa. Puut olivat pieniä, joten tilavuudella

mitattu tuottavuus jäi 1,6 – 3,7 kuutiometriin tehotunnissa. Varsinaisissa ensiharvennusolosuhteissa laitetta ei tiettävästi ole kokeiltu.

Puustosta ja muista koeolosuhteista, kuljettajista yms. mahdollisesti aiheutuvat erot tuottavuuksissa vaikeuttavat ruotsalaisten koetulosten vertailua tähän tutkimukseen. Tulokset eivät näin ollen anna edellytyksiä arvioida luotettavasti vaihtoehtoisten laiteratkaisujen kilpailukykyä. Tuoreimmissa ruotsalaisarvioissa koneellisen energiapuun korjuun tuottavuuden tulisi parantua noin 25 %, jotta se olisi kilpailukyinen viivästyneissä taimikonhoitokohteissa.

Energiapuun korjuun ravinnekysymykset ovat nousseet viime aikoina keskustelun kohteeksi. Joissain tutkimuksissa energiapuun talteenotto harvennusmetsistä on aiheuttanut huomattavia kasvutappioita (Jacobsson ym. 1999). Metsäntutkimuslaitos laatii parhaillaan tutkimuskoostetta energiapuuhun liittyvistä ravinnekysymyksistä (Nurmi ym. 2000). Kooste valmistuu keväällä 2001. Ravinnekysymykset ja niitä koskevat suositukset on luonnollisesti otettava menetelmän soveltamisessa huomioon. Ongelman tarkastelussa kokopuun korjuun aiheuttamat ravintappiot tulisi kyetä suhteuttamaan – optimikäsittelyn lisäksi – myös harvennusten laiminlyöntiin ja siitä aiheutuviin menetyksiin.

Yksityismetsien Solmu-metsäsuunnittelujärjestelmästä poimitut tiedot antoivat suuntaa menetelmän potentiaalisista soveltamisolosuhteista. Sellaisia ensiharvennusvaihetta lähestyviä metsiä, joissa taimikon harvennus on jäänyt tekemättä tai on tehty liian lievänä, on noin puolet käsittelypinta-alasta. Osa niistä olisi sopivia kohteita kehitetyn tyyppiselle menetelmälle. Mikäli puolet potentiaalista – noin 50 000 hehtaaria/vuosi – olisi myös käytännössä kannattavasti korjattavissa, merkitsisi se 200 – 250 koneyksikön vuotuista työmäärää. Kilpailevia menetelmiä ovat lähinnä siirtelykaato miestyönä ja metsäkuljetus normaalilla kuormatraktorilla tai palstahaketus silloin, kun korjataan pelkkää energiapuuta.

Kehitetyn menetelmän todelliseen kilpailukykyyn ja soveltamisalueisiin liittyviin kysymyksiin ei vielä tässä kokeilussa saatu lopullista vastausta. Menetelmällä vaikuttaa kuitenkin olevan potentiaalia, ja todelliset mahdollisuudet kannattaakin selvittää. Sen tuottavuudesta ja toimivuudesta eri olosuhteissa tarvittaisiin pitempi-aikainen ja useampiin kuljettajiin perustuva seuranta-aineisto. Kokeiltava kone tulee varustaa pyörivällä ohjaamalla, jolloin edellytykset tuottavaan työskentelyyn olisivat mahdollisimman hyvät. Aineiston perusteella voitaisiin analysoida tarkemmin koneen kilpailukykyä eri olosuhteissa ja menetelmän roolia energia- ja ainespuun hankinnassa.

KIRJALLISUUS

- Brunberg, B., Andersson, G., Nordén, B. & Thor, M.** 1998. Uppdragsprojekt Skogsbränsle – slutrapport. Redogörelse 6/1998. SkogForsk.
- Eriksson, P. & Rytter, L.** 2000. Bränsleuttag med drivare – ett alternativ till sen röjning i lövbestånd. Resultat 4/2000. SkogForsk.
- Hämäläinen, J., Kalaja, H., Lilleberg, R., Poikela, A. & Rieppo, K.** 1998. Energia- ja ainespuun korjuu ensiharvennuksen ja taimikonhoidon yhdistelmässä. Bioenergian tutkimusohjelman julkaisuja 21, s. 187 – 196. Jyväskylän teknologiakeskus.
- Jacobsson, S., & Kukkola, M.** 1999. Skogsbränsleuttag i gallring ger kännbara tillväxtförluster. Resultat 13/1999. SkogForsk.
- Korpilahti, A.** 1998. Karsimattoman puun korjuu ensiharvennuksilta. Bioenergian tutkimusohjelman julkaisuja 21, s. 197 – 206. Jyväskylän teknologiakeskus.
- Nurmi, J.** 2000. Biomassan tehostetun talteenoton seurannaisvaikutukset metsässä. Puuenergian teknologiaohjelman vuosikirja 2000, s. 293 – 295. VTT.

Nuorten harvennusemetsien määrä ja vuotuinen hakkuutarve yksityismetsissä metsäkeskuksittain ja puuston keskipituusluokittain. Tiedot on poimittu metsäkeskusten luonnonvaratietojärjestelmän (Luotsi) tietokannoista. Nuorten metsien kunnostus ei sisälly lukuihin.

Metsäkeskus	Tunnus	Puuston keskipituus, m			
		8 - 10	10 - 12	12 - 14	Yhteensä
Rannikko	Pinta-ala, ha	45 071	55 858	63 062	163 991
	Hakkuuala, ha	1 436	3 441	4 309	9 185
	Hakkuukertymä, m ³	33 749	110 183	159 805	303 738
	Hakkuukertymä, m ³ /ha	24	32	37	33
Lounais-Suomi	Pinta-ala, ha	47 695	59 406	74 652	181 753
	Hakkuuala, ha	1 567	3 995	4 801	10 363
	Hakkuukertymä, m ³	37 444	121 808	174 141	333 393
	Hakkuukertymä, m ³ /ha	24	30	36	32
Häme-Uusimaa	Pinta-ala, ha	40 844	41 874	46 190	128 908
	Hakkuuala, ha	787	2 034	2 772	5 593
	Hakkuukertymä, m ³	21 298	67 528	108 954	197 781
	Hakkuukertymä, m ³ /ha	27	33	39	35
Kaakkois-Suomi	Pinta-ala, ha	39 872	51 127	52 099	143 098
	Hakkuuala, ha	1 039	3 284	3 506	7 829
	Hakkuukertymä, m ³	23 124	99 363	126 988	249 474
	Hakkuukertymä, m ³ /ha	22	30	36	32
Pirkanmaa	Pinta-ala, ha	34 673	50 517	60 149	145 339
	Hakkuuala, ha	1 007	3 246	3 922	8 175
	Hakkuukertymä, m ³	22 257	100 201	140 342	262 800
	Hakkuukertymä, m ³ /ha	22	31	36	32
Etelä-Savo	Pinta-ala, ha	54 883	66 718	70 715	192 316
	Hakkuuala, ha	1 251	4 375	4 781	10 408
	Hakkuukertymä, m ³	30 873	150 711	192 618	374 202
	Hakkuukertymä, m ³ /ha	25	34	40	36
Etelä-Pohjanmaa	Pinta-ala, ha	103 759	114 196	126 706	344 661
	Hakkuuala, ha	4 527	7 031	5 853	17 411
	Hakkuukertymä, m ³	65 057	166 662	189 682	421 401
	Hakkuukertymä, m ³ /ha	14	24	32	24
Keski-Suomi	Pinta-ala, ha	56 381	76 490	76 700	209 571
	Hakkuuala, ha	1 318	4 930	4 473	10 721
	Hakkuukertymä, m ³	30 202	145 510	161 529	337 241
	Hakkuukertymä, m ³ /ha	23	30	36	31
Pohjois-Savo	Pinta-ala, ha	74 554	80 090	77 351	231 995
	Hakkuuala, ha	2 331	5 017	3 988	11 337
	Hakkuukertymä, m ³	52 031	143 642	134 114	329 787
	Hakkuukertymä, m ³ /ha	22	29	34	29
Pohjois-Karjala	Pinta-ala, ha	61 963	73 360	79 824	215 147
	Hakkuuala, ha	1 183	3 669	3 700	8 552
	Hakkuukertymä, m ³	24 257	117 928	139 640	281 825
	Hakkuukertymä, m ³ /ha	21	32	38	33
Kainuu	Pinta-ala, ha	102 431	95 531	68 745	266 706
	Hakkuuala, ha	2 715	4 671	2 309	9 695
	Hakkuukertymä, m ³	45 208	119 262	78 818	243 288
	Hakkuukertymä, m ³ /ha	17	26	34	25
Pohjois-Pohjanmaa	Pinta-ala, ha	199 682	228 402	246 139	674 223
	Hakkuuala, ha	7 163	10 685	5 871	23 719
	Hakkuukertymä, m ³	117 513	259 961	181 127	558 602
	Hakkuukertymä, m ³ /ha	16	24	31	24
Lappi	Pinta-ala, ha	188 564	205 686	236 105	630 354
	Hakkuuala, ha	5 305	6 576	3 946	15 826
	Hakkuukertymä, m ³	104 250	177 868	123 034	405 153
	Hakkuukertymä, m ³ /ha	20	27	31	26
Koko maa	Pinta-ala, ha	1 050 372	1 199 255	1 278 435	3 528 063
	Hakkuuala, ha	31 629	62 953	54 231	148 813
	Hakkuukertymä, m ³	607 264	1 780 628	1 910 793	4 298 686
	Hakkuukertymä, m ³ /ha	19	28	35	29