

Bioenergiakeskuksen julkaisusarja
(BDC-Publications)
Nro 15

**PAIKALLISEEN PK-YRITTÄJYYTEEN
POHJAUTUVAT ENERGIAPUUN
HANKINTAMALLIT
KUNNOSTUSOJITUSALUEILLA**

Okko Rahikainen
2005





**PAIKALLISEEN PK-YRITTÄJYYTEEN
POHJAUTUVAT ENERGIAPUUN HANKINTAMALLIT
KUNNOSTUSOJITUSALUEILLA**

Okko Rahikainen

Opinnäytetyö

Tammikuu 2005



**JYVÄSKYLÄN
AMMATTIKORKEAKOULU**



10.1.2005

Tekijä(t) RAHIKAINEN, Okko	Julkaisun laji Opinnäytetyö	
	Sivumäärä 50	Julkaisun kieli Suomi
	Luottamuksellisuus <input type="checkbox"/> Salainen saakka	
Työn nimi PAIKALLISEEN PK-YRITTÄJYYTEEN POHJAUTUVAT ENERGIAPUUN HANKINTAMALLIT KUNNOSTUSOJITUSALUEILLA		
Koulutusohjelma Maaseutuelinkeinojen Koulutusohjelma		
Työn ohjaaja VESISENAHO, Tero		
Toimeksiantaja(t) Metsäkeskus Keski-Suomi, Turvemaat Tuottamaan -hanke		
Tiivistelmä <p>Työssä tarkasteltiin ja vertailtiin turvemaiden energiapuun korjuuseen soveltuvia paikallisia toimintamalleja ja menetelmiä. Toimeksiantajana oli Metsäkeskus Keski-Suomen Turvemaat Tuottamaan -hanke. Tutkimusaineistoa kerättiin jäätyneen ja sulan maan aikaan toteutetuissa kenttäkokeissa. Talvella tutkittiin Valtran harvesterin ja pyöräkuormaaja-alustaisen hakkuukoneen työskentelyä latvaenergiapuu-, kuituenergiapuu- ja ainespuuhakkuumenetelmillä. Kesällä ja loppusyksyllä selvitettiin alle ainespuukokoisen energiapuun korjuuta karsittuna ja karsimattomana. Aineisto kerättiin miestyönä toteutetusta siirtelykaatohakkuusta ja tela-alustaisella Logbear-yhdistelmäkoneella tehdystä korjuusta. Lisäksi tutkimusosioissa määritettiin korjuujälki eri menetelmien koaloilta työskentelyn jälkeen.</p> <p>Latvojen tekeminen energiapuuksi ei lisännyt runkojen käsittelyaikaa merkittävästi, ja latvoihin kohdistuva hakkuukustannus jäi kohtuullisen pieneksi; halvimmillaan latvamenetelmässä pyöräkuormaaja-alustaisella kalustolla 0,43 €/m³. Sen sijaan alle ainespuukokoisten erillisten energiapuurunkojen hakkuu osoittautui huomattavan paljon kalliimmaksi kuin ainespuuhakkuuseen integroidusti tuotettavan latvaenergiapuun. Kuituenergiapuumenetelmässä korjuuvaurioriski kasvoi, koska jäävän puuston seassa oli vaikea liikutella kookkaita energiapuutaakkoja. Sulan maan aikaan hakkuu ja ajo suolla onnistuivat konetyöskentelynä tela-alustaisella kalustolla hyvin. Korjuuvauriot jäivät vähäisiksi. Kokopuuna korjuu osoittautui karsittuun energiapuuhun verrattuna muutaman euron halvemmaksi kuutiometriä kohden. Metsäkuljetuksessa pienet energiapuukappaleet hankaloittivat työskentelyä ja kuorma ei tiivistynyt kunnolla.</p> <p>Tulosten perusteella latvaenergiapuun korjuu integroidusti ainespuuhakkuun yhteydessä turvemailla on varsin perusteltua. Pienpuiden käsittely on huomattavasti kalliimpaa ja työläämpää. Korjattaessa energiapuuta oksineen kertymä on suurempi ja korjuukustannus pienempi. Kohteilla, missä kuitukertymä jää vähäiseksi, on työn helpottamiseksi ja kustannusten pienentämiseksi syytä tehdä kuitupuukin energiapuuksi.</p>		
Avainsanat (asiasanat) energiapuu, hake, hakkuu, korjuu, metsäkuljetus, polttopuu, siirtelykaato		
Muut tiedot		

10.1.2005

Author(s) RAHIKAINEN, Okko	Type of Publication Bachelor's Thesis	
	Pages 50	Language Finnish
	Confidential <input type="checkbox"/> Until _____	
Title LOCAL HARVESTING CHAINS FOR ENERGY WOOD PROCUREMENT FROM PEATLANDS		
Degree Programme Degree Programme in Agriculture and Rural Industries		
Tutor VESISENAHO, Tero		
Assigned by Forest Centre of Central Finland, Peatlands Productive -project		
Abstract <p>In this study energy wood harvesting on peatlands was discussed and compared with suitable, local, small-scale methods. The study material was gathered during frozen- and unfrozen seasons by field experiments. Valtra-harvester and wheel loader substructure-harvester were studied in wintertime working with top energy wood-, pulp energy wood- and merchantable wood methods. Harvesting energy wood by delimiting and nondelimiting methods was carried out in summer and late autumn. The material was gathered from the work of lumberjack felling piling and tracked Logbear combination machine harvesting. The study also included the evaluation of the logging quality of the different methods on the experiment areas.</p> <p>Making the tops into energy wood did not significantly increase the handling time, and the logging cost of these tops was reasonably low; in the top energy wood -method with a wheel loader harvester only 0.43 €/m³. The logging of stems smaller than merchantable stems alone proved out to be much more expensive than integrated production of both energy and merchantable wood. In the pulp energy wood -method the risk of logging damages increased, because of the moving of large energy wood loads between the living trees. Both logging and hauling succeeded well with a tracked vehicle in unfrozen season and the logging damages were minor. Nondelimiting harvesting of energy wood proved to be a few euros cheaper per cubic meter than delimiting harvesting. In forest haulage the handling of small energy wood bolts caused trouble and the load did not tighten properly.</p> <p>Based on the results, integrated harvesting of top energy wood and merchantable wood is quite reasonable. The handling of small diameter stems alone is remarkably more expensive and takes more effort. When harvesting energy wood with branches, the accrual is bigger and the harvesting cost lower. An area where the pulp wood accrual is small it is reasonable to cut the pulpwood to energy wood, which makes working easier and the costs diminish.</p>		
Keywords energy wood, chip, logging, harvesting, forest haulage, heat wood, felling-piling		
Other details		

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO.....	3
2 TAVOITTEET	5
3 TYÖN TOTEUTUS	6
3.1 TALVIAIKAINEN TOTEUTUS.....	7
3.1.1 Tutkimustyömaa.....	7
3.1.2 Tutkitut koneet ja menetelmät.....	9
3.1.3 Aika- ja tuotostutkimusten tekeminen.....	13
3.1.4 Jälkimittaukset ja korjuujäljen tarkastus	15
3.2 SULAN MAAN AIKAINEN TOTEUTUS	16
3.2.1 Tutkimustyömaa.....	16
3.2.2 Tutkitut koneet ja menetelmät.....	18
3.2.3 Aika- ja tuotostutkimus	20
3.2.4 Jälkimittaukset ja korjuujäljen tarkastus	24
4 TULOKSET	25
4.1 TALVIAIKAINEN TOTEUTUS.....	25
4.1.1 Puustokertymät.....	25
4.1.2 Hakkuun tuottavuus.....	28
4.1.3 Hakkuun kustannus	30
4.1.4 Energiapuun kustannukset.....	31
4.1.5 Korjuujälki	35
4.2 SULAN MAAN AIKAINEN TOTEUTUS	37
4.2.1 Siirtelykaadon tuottavuus ja kustannukset	37
4.2.2 Logbear-tutkimus	39
4.2.3 Korjuujälki	45
5 JOHTOPÄÄTÖKSET	47
5.1 Talviaikainen toteutus	47
5.2 Sulan maan aikainen toteutus.....	48
5.3 Paikalliset toimintamallit.....	49
LÄHTEET	50

KUVIOT

KUVIO 1. Kohteen sijainti Kyyjärven Peuralinnassa.....	7
KUVIO 2. Kohteen puusto ja puustomerkinnät.....	9
KUVIO 3. Tutkimusleimikko ja koealat.....	10
KUVIO 4. Tutkimuksessa käytetyt hakkuukoneet.....	11
KUVIO 5. Metsäkuljetuksessa käytetty kalusto.	12
KUVIO 6. Eri puutavaralajien kertymät eri menetelmien koealueilla.....	14
KUVIO 7. Energiapuupölkkyjen mittaus POMO-mittasaksilla.....	15
KUVIO 8. Toisen kenttäkoealueen sijainti Kyyjärvellä.	17
KUVIO 9. Leimikkokartta ja koealakuviot sulan maan aikaisissa toteutuksissa.....	18
KUVIO 10. Siirtelykaatoa kaatokahvoin varustetulla moottorisahalla.....	21
KUVIO 11. Logbear koealalla hakkuuvarustuksessa.	22
KUVIO 12. Logbear metsäkuljetusvarustuksessa ajamassa karsimatonta energiapuuta.	24
KUVIO 13. Lähtöpuuston ja poistuman runkolukusarja tutkimustyömaalla.....	26
KUVIO 14. Ylempänä saran A LATVA-pino ja alempana saran D KUEP-pino.....	27
KUVIO 15. Runkojen käsittelyajanmenekki eri menetelmillä ja koneilla.....	28
KUVIO 16. Hakkuun laskennalliset ajanmenekit runkoa kohti.....	29
KUVIO 17. Hakkuun keskimääräinen tuottavuus eri menetelmillä.	30

KUVIO 18. Hakkuun keskimääräiset kustannukset eri menetelmillä.....	31
KUVIO 19. Energiapuun hakkuun kannattavuus ilman tukia suhteessa myyntihintaan.....	33
KUVIO 20. Energiapuun hakkuun kannattavuus haketustuen kanssa suhteessa myyntihintaan.....	34
KUVIO 21. Energiapuun hakkuun kannattavuus haketus- ja korjuutuen kanssa suhteessa myyntihintaan.....	34
KUVIO 22. Korjuuvaurioitten jakautuminen eri menetelmin käsitellyillä koealoilla.	36
KUVIO 23. Poistuman tyyppi siirtelykaatokoealalla.....	38
KUVIO 24. Tutkimustyömaan lähtöpuuston ja poistuman runkolukusarja.....	39
KUVIO 25. Eri tavaralajien kertymät työmaalla ranka- ja kokopuumenetelmällä.....	40
KUVIO 26. Hakkuun laskennalliset ajanmenekit runkoa kohti tutkituilla menetelmillä.....	41
KUVIO 27. Runkojen käsittelyajanmenekki ranka- ja kokopuumenetelmällä.....	42
KUVIO 28. Metsäkuljetuksen ajanmenekit työvaiheittain eri tavaralajeilla.....	44
KUVIO 29. Tutkimustyömaa hakkuun jäljiltä.....	46

TAULUKOT

TAULUKKO 1. Työmaan puustotunnukset saroittain ennen käsittelyä.....	8
TAULUKKO 2. Hakkuun toteutuneet ajanmenekit runkoa kohti.....	13
TAULUKKO 3. Puustotunnukset saroittain hakkuun jälkeen.....	25
TAULUKKO 4. Aines- ja energiapuukertymät koealoittain.....	26
TAULUKKO 5. Puupolttoaineen tuotantokustannukset €/m ³ käytetyillä menetelmillä.....	32
TAULUKKO 6. Energiapuusta saatava tulos eri menetelmien osalta, myyntihinnalla 30 €/m ³	33

1 JOHDANTO

Energiapuun käyttö

Valtakunnallisessa energiapuun tuotannon ja käytön lisäämistavoitteessa nuoren metsän hoitokohteilta hankittavalla pienpuulla ja siitä tuotetulla polttohakkeella on merkittävä osuus. Pienpuuhake on monilta laatuominaisuuksiltaan (kosteus, palakoko, tuhkapitoisuus) selkeästi parempaa kuin päätehakkUILTA hankittava polttohake, minkä takia se sopii myös pienkäyttäjille. Pienkäytössä maksukyky polttohakkeesta on selkeästi parempi kuin suuremmilla kohteilla vaihtoehdoisen polttoainemuodon erilaisuuden takia.

Pienpuuhakkeen tuotanto ei ole suurista tavoitteista ja toiveista huolimatta lähtenyt samanlaiseen kasvuun kuin päätehakkuiden energiapuun tuotanto hakkuutähteestä ja kannoista. Suurten puupolttainetuottajien ja -käyttäjien näkökulmasta päätehakkuiden ja nuorten metsien energiapuu on tasaveroista. Tosiasia kuitenkin on, että pienpuuhakkeen tuotanto on monin verroin kalliimpaa ja laatu turhan hyvää näille suuri-ikäisille. Tämän takia pienpuuhakkeen käyttö ei edenne suurten käyttökohteiden myötä, vaan pienten paikallisten tuotanto- ja käyttöketjujen kautta.

Pienpuuhakkeen tuotantoon – erityisesti hakkuuseen – on kehitetty viime vuosina uusia teknisiä ratkaisuja, mutta mikään niistä ei ole osoittanut Työtehoseuran, Metsätehon tai Metsäntutkimuslaitoksen tutkimuksissa selkeää paremmuuttaan muihin tekniikoihin verrattuna. Järeisiin metsäkoneisiin perustuvat koneelliset joukkokäsittelytekniikat edellyttävät suuria vuotuisia tuotantomääriä ja niiden toiminnan kannattavuus edellyttää huomattavan järeää, jopa ainespuuksi kelpaavan kokoista puustoa. Miestyöhön perustuva siirtelykaatotekniikka on pienimmillä puustoilla edelleen kaikkein taloudellisin ratkaisu, mutta miestyönä energiapuun korjuu ei voi olla ympärivuotista ja pula metsureista vaikeuttaa korjuun lisäämistä.

Yhtymäkohdat muihin hankkeisiin

Keski-Suomessa meneillään olevassa Keski-Suomen metsäenergia II –projektin nuoren metsän hoito –osiossa painopiste on tiedotuksessa koneellisen joukkokäsittelytekniikan olemassa olostä sekä KEMERA-tuista tällaiseen toimintaan. Projektissa lähtö-

kohta on kuitenkin suuren puunhankkijan suuren mittakaavan toiminnassa eikä niinkään paikallisissa toimintamalleissa.

Nuoren metsän hoidon aihepiiristä tehdyt aiemmat tutkimukset ovat usein hakeneet yleisiä teknisiä ratkaisuja sovittamatta niitä paikalliseen toimintaympäristöön. Aiemmissa tutkimuksissa ei ole myöskään lähdetty tietoisesti hakemaan painopistealuetta energiapuun korjuuseen kunnostusojitusalueilta, vaan toiminta on painottunut kivennäismaa-alueille.

Turvemailla toimittaessa alueen metsäsektorin toimijoiden verkottuminen, johon tällä hankkeella voidaan toivottavasti saada lisäpotkua, on ensiarvoisen tärkeää. Tätä on korostettu myös mm. Keski-Suomen metsäohjelmassa (2001). Energiapuun korjuu kunnostusojituskohteilta ei saa olla irrallinen toimenpide, koska turvemailla toimintaketjuun kuuluu kunnostusojitus, nuoren metsän hoito sekä mahdollisesti vielä tuhkan palautus. Jotta kokonaisuus voidaan hoitaa tyylikkäästi ja kestävästi, on alueellisten toimijoiden, kuten lämpöyrittäjien, metsäkeskuksen, metsänhoitoyhdistyksen ja koneyrittäjien puhallettava samaan hiileen.

Keski-Suomen metsäohjelmassa vuosille 2001–2005 painotetaan myös, että energiapuun ”tutkimustoimintaan tulee edelleen panostaa ja painopisteen tulee olla pieniläpimittaisen ja kuitupuuksi kelpaamattoman harvennuspuun energiakäytössä” (Emt. 41–42). Lisäksi ”puuntuhkan käyttöä metsien ja erityisesti turvemaiden lannoituksessa lisätään” (Emt. 41). Tällä hankkeella haetaan ratkaisuja näihin molempiin metsäohjelman tavoitteisiin pääsemiseksi.

Keski-Suomen metsille on tunnusomaista nuorten 20–40 -vuotiaiden männiköiden suuri osuus. Myös kunnostusojitusalueiden suometsistä huomattava osa on juuri nuoria männiköitä. Suometsissä puuston keskitilavuus ja tukkiprosentti ovat selvästi pienempiä kuin kangasmaiden metsissä, minkä takia ne sopivat jopa kivennäismaakohteita paremmin energiapuuhankinnan piiriin. Suometsien tulevan hyödyntämisen kannalta työrästit taimikonhoito- ja ensiharvennusmäärissä sekä kunnostusojituksissa pitää saada kurottua umpeen.

Keski-Suomen metsäohjelman mukaan ”turvemaiden hakkuissa kiinnitetään huomiota toimenpiteiden oikeaan järjestykseen. Tavoitteena ovat laajat harvennuskeskittymät,

jotka toteutetaan eri toimijoiden tiiviissä yhteistyössä. Hakkuu ja korjuu tehdään pääsääntöisesti maan ollessa jäätyneenä ja samassa yhteydessä tehdään tarpeelliset kunnostusojitukset. Metsäalan toimijoiden suunnitelmallista yhteistyötä tulee ojitushankkeiden yhteydessä lisätä. Kunnostusojitustavoite ohjelmakaudelle on 8 000 ha/v. Tästä yksityisluontoisten metsien osuus on 5 500 ha.” (Keski-Suomen metsäohjelma 2001, 27.) Tältä yksityismetsien alueelta saatava energiapuumäärä voisi moninkertaistaa pienpuuhakkeen tuotannon Keski-Suomessa.

2 TAVOITTEET

Työn tilaaja oli Metsäkeskus Keski-Suomen Turvemaat Tuottamaan –hanke, joka on metsäalan toimijoiden yhteinen kehittämishanke, jonka tavoitteena on lisätä turvemaiden kunnostukseen liittyviä töitä ja eri osapuolten yhteistyötä töiden toteutuksessa.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on kehittää Keski-Suomen alueella energiapuun hankinnan paikallisia PK-yrittäjyyteen pohjautuvia toimintamalleja erityisesti kunnostusojitusalueille. Työn avulla pyritään tunnistamaan ja vertailemaan pienpuun korjuuseen parhaiten soveltuvia paikallisia toimintamalleja sekä tekemään niitä alueellisesti tunnetuiksi ja tätä kautta osaltaan edistää pienpuuhakkeen käyttöä pienten paikallisten tuotanto- ja käyttöketjujen kautta.

Koska pienpuun korjuussa energiapuuksi valtion yksityismetsiin myöntämät kestävän metsätalouden rahoituslain mukaiset tuet ovat keskeisessä merkityksessä toiminnan kannattavuudelle, rajataan selvityskohteiksi vain yksityismetsät.

3 TYÖN TOTEUTUS

Työn alkuvaiheessa haettiin talviaikaisten kenttäkokeiden toteuttamiseen sopiva alue pohjoisen Keski-Suomen soisilta alueilta (Kyyjärvi). Kohteen piti olla kooltaan riittävän suuri (n. 5 ha) työmenetelmien opettelua ja niiden vertailua varten, hyvien kulku-yhteyksien varrella menetelmien esittelyn vuoksi sekä toiminnan talouden kannalta KEMERA-rahoituskelpoista. Energiapuun toimituskohteena oli Kyyjärven kunnan lämpölaitos, jonka energian tuotannosta huolehtii Kyyjärven energiaosuuskunta. Kohdevalinnassa tehtiin yhteistyötä Metsäkeskuksen, Kyyjärven MHY:n ja Luonnonvarainstituutin kesken. Talven kokeiden jälkeen kesäaikaiseen toteutukseen sopiva kohde valittiin tarjolla olleista osuuskunnan jäsenten tarjoamista leimikoista touko-kesäkuun aikana. Erinäisten toiminnallisten ja aikataulullisten ongelmien ja vaiheiden johdosta osa kesäaikaisiksi tarkoitetuista kenttäkokeista jouduttiin toteuttamaan vasta loppusyksyn-alkutalven vaihteessa. Näin ollen ennakkoon rajatusta tutkimuskoealueestakin käsiteltiin koemielessä pienempi ala kuin alun perin oli tarkoitus.

3.1 TALVIAIKAINEN TOTEUTUS

3.1.1 Tutkimustyömaa

Tutkimusalue sijaitti Kyyjärven kunnan Möksyn kylällä yksityisen metsänomistajan maalla lähellä Peuralinnantietä (KUVIO 1). Tutkimusleimikko oli iältään noin 70-vuotiasta suomännikköä ja pinta-alaltaan noin 4,6 hehtaaria. Kohteella oli 7 sarkaa, joista puisin ja muita puustoltaan järeämpi jätettiin tutkimusalueen ulkopuolelle.



KUVIO 1. Kohteen sijainti Kyyjärven Peuralinnassa.

Tutkittavan leimikon puuston tiheys ennen harvennusta oli keskimäärin 1670 runkoa/ha ja puuston pohjapinta-ala 18,4 m²/ha. Keskipituus ennen harvennusta oli 11,4 metriä ja keskiläpimitta 13,9 cm. Puumäärä oli keskimäärin 107,7 m³/ha. Taulukossa 1. esitetään vastaavat luvut saroittain laskettuna. Alue oli aiemmin syksyllä ennakkoraivattu, raivauksessa oli poistettu läpimitaltaan alle neljän-viiden senttimetrin paksuisia runkoja. Työmaan puustotunnukset määritettiin koeloilta ennakkomittausten avulla.

TAULUKKO 1. Työmaan puustotunnukset saroittain ennen käsittelyä.

SARKA	r/ha	m ² /ha	h, m	d _{1,3} ; cm	m ³ /ha
A	1390	15,8	11,4	14,3	93,3
B	1790	16,9	10,9	12,6	95,7
C	1620	17,3	11,2	13,5	100,9
D	1700	19,3	11,5	14,4	113,7
E	1730	17,7	11,2	13,4	102,2
F	1790	23,6	11,5	14,7	141,0

Ennakkomittaukset suoritettiin viikolla kahdeksan helmikuussa 2004. Alue jaettiin saroittain kuuteen osaan, joissa jokaiselle osalle tuli 5 linjakoealaa, yhteensä 30 kpl. Koealat mitattiin lankamittalaitteella. Yksittäisen koealan koko oli 40 x 5 metriä ja koealaväli 35 metriä. Ojasta ojaan ulottuvalta viisi metriä leveältä koealalinjalta mitattiin rinnankorkeusläpimitta 2 cm:n tarkkuudella eteen sattuvalta puolelta jokaisesta puusta. Pituuskoepuita mitattiin puolen metrin tarkkuudella tasaisin välein, kaikkiaan 65 kpl. Kaikkiin koealojen mitattuihin puihin merkittiin spraymaalilla symbolit kuvaamaan läpimittaluokkaa, niiden tunnistamisen helpottamiseksi työn myöhemmissä vaiheissa (KUVIO 2). Lumen alla ollutta pientä alikasvosta ei voitu mittauksessa lukea. Ennakkomittaukset tehtiin yhteistyönä Metsäkeskus Keski-Suomen kanssa. Ennen kenttäkokeita sarkojen koealoista valittiin puustoltaan vertailukelpoisia aloja aika- ja tuotostutkimuksia varten.



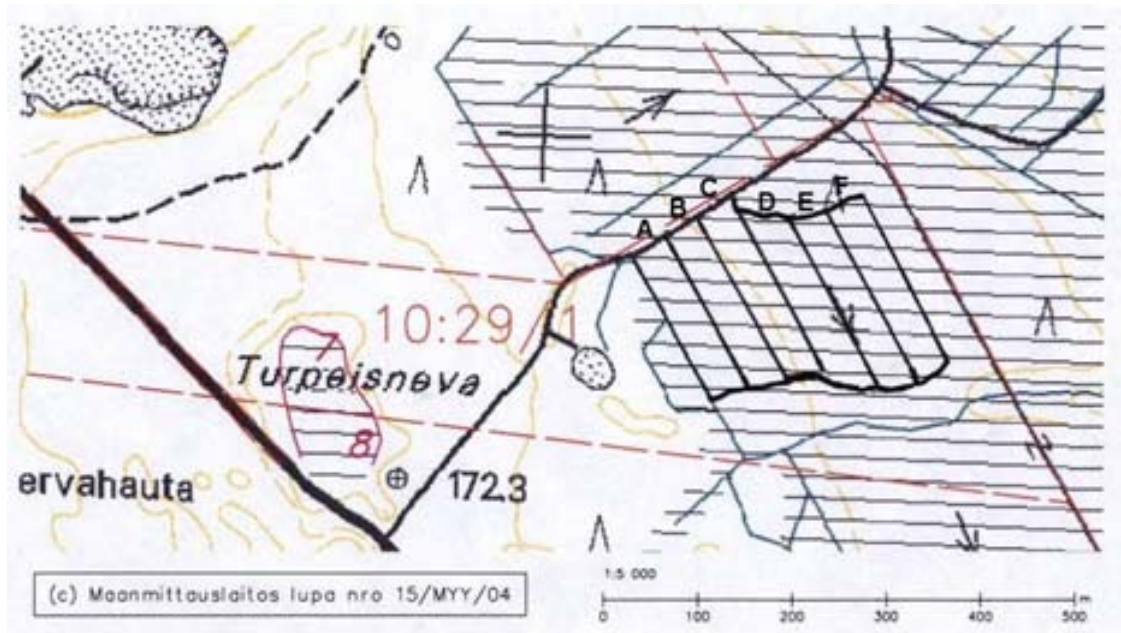
KUVIO 2. Kohteen puusto ja puustomerkinnät

3.1.2 Tutkitut koneet ja menetelmät

Tutkimuksessa verrattiin seuraavia kolmea hakkuumenetelmää:

1. Normaali ainespuuhakkuu, jossa hakataan tukkia, pikkutukkia, parrua ja kuitupuuta + latva energiapuuksi puoleenväliin karsien = LATVA
2. Sahatavarahakkuu, jossa hakataan tukkia, pikkutukkia ja parrua + kuitu- ja latvaosa energiapuuksi = KUEP
3. Pelkkä ainespuuhakkuu = AP

Menetelmää yksi käytettiin tutkimustyömaan saroilla A ja B, menetelmää kaksi saroilla C ja D, sekä menetelmää kolme saroilla E ja F (KUVIO 3). Hakkuukoneitten kuljettajille tutuin käytetyistä menetelmistä oli menetelmä yksi. Raportin myöhemmissä kohdissa ainespuu + latvaenergiapuu-menetelmää kutsutaan LATVA-, kuituenergiapuu-menetelmää KUEP- ja ainespuumenetelmää AP-menetelmäksi. Hakkuun jälkeen alueelle levitettiin puutuhkaa, saralle B tuhkalannoitus jätettiin tekemättä alueen mahdollisia tulevia tarkasteluja ja tutkimuksia varten.



KUVIO 3. Tutkimusleimikko ja koealat

Tutkimustyömaalla verrattiin kahta erillistä hakkuukonetta. Molemmat koneet työkentelivät kolmella edellä mainitulla tutkittavalla hakkuumenetelmällä. Tutkimuksessa mukana olleet koneet olivat paikallisen kyyjärveläisen PK-yrittäjän kalustoa. Tutkittavat koneet olivat: 1) Valtran runko-ohjattava, malli 9600, hakkuupäällä Keto 51 ja kuormaimen ulottuvuudella 8,5 metriä sekä 2) yrittäjän itse kehittänyt pyöräkuormaajan päälle rakennettu hakkuukone, jossa hakkuupäänä oli Patun ja Farmin yhdistelmä ja kuormaimen ulottuvuus oli 7,5 metriä (KUVIO 4). Pyöräkuormaaja-alustaista hakkuukonetta ajoi tutkimuksen ajan yrittäjä itse ja linkku-Valtraa toinen työntekijä. Metsäkuljetuskalustona pyöräkuormaajamoton perässä oli Valtran metsäperävaunulla varustettu maataloustraktori ja linkku-Valtran perässä Timberjack 810 -ajokone (KUVIO 5).



KUVIO 4. Tutkimuksessa käytetyt hakkuukoneet.



KUVIO 5. Metsäkuljetuksessa käytetty kalusto.

3.1.3 Aika- ja tuotostutkimusten tekeminen

Kenttätutkimukset tehtiin 15.–19.3.2004. Aika- ja tuotostutkimuksilla oli tarkoitus selvittää vertailtavien koneiden ja hakkuumenetelmien työn tuottavuutta sekä ajankäytön jakaantumista eri työvaiheisiin. Metsäkuljetuksen tutkimus rajattiin työn ulkopuolelle, koska aiheesta on olemassa riittävästi aiempaa tietoa ja sen osuus kokonaiskorjuukustannuksista on hakkuuta pienempi ja kustannusvaihtelu vähäisempää.

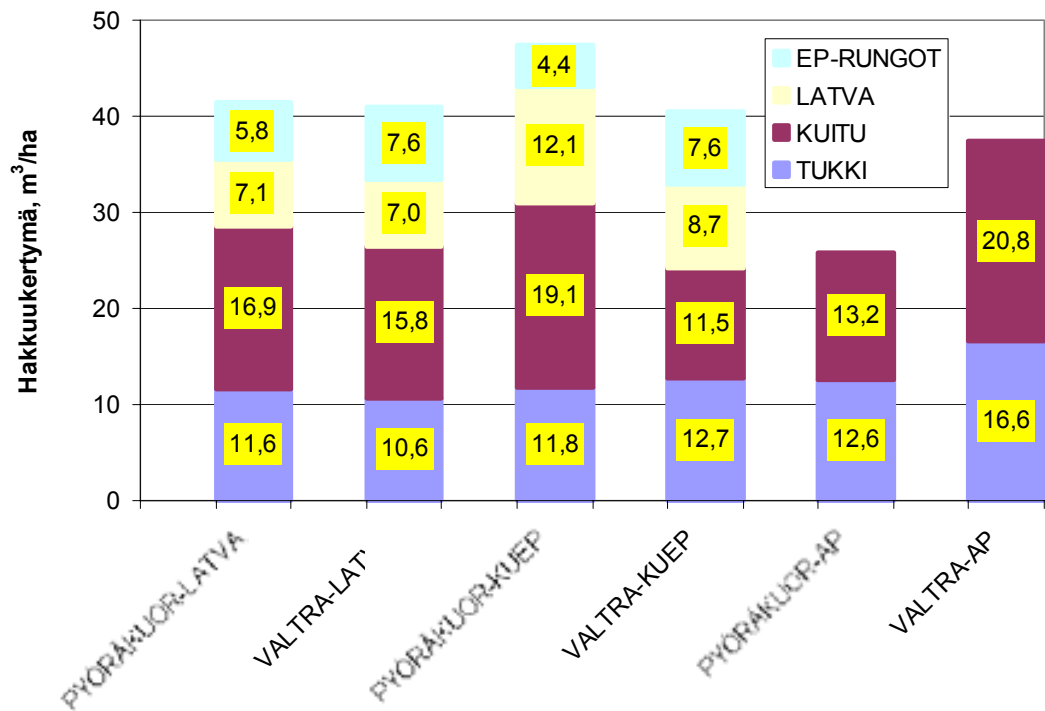
Hakkuun aikatutkimuksessa jokaista tutkittavaa työskentelymenetelmää kohden oli viisi erillistä koealaa. Koealat määräytyivät kaadettujen puiden perusteella, yhdeltä tutkimuskoealalta kaadettiin aina noin kaksikymmentä runkoa. Aikatutkimusaineistot kerättiin Husky Hunter 16 – tiedonkeruulaitteelle asennetulla SIWORK-aikatutkimusohjelmalla. Koealoilta määritettiin työskentelyyn menevä aika, josta eroteltiin rungoille vientiin kulunut aika ja runkojen käsittelyaika sekä siirtoihin ja keskeytyksiin kulunut aika.

Keskimääräisissä vienti- ja siirtoajoissa ei ollut merkittäviä eroja eri menetelmien ja koneiden välillä. Huomionarvoista on, että runkojen kokonaisajanmenekin osalta ei ole isoja eroja AP- ja LATVA-menetelmien välillä, joten latvojen tekeminen energiapuuksi ei vaikuttanut juurikaan kokonaisajanmenekkiin. Taulukossa 2 KUEP-menetelmässä ainespuurungoilla tarkoitetaan tukkipuurunkoja ja energiapuurungoilla kuitu- ja alle ainespuukokoisia runkoja. Ainespuumenetelmässä ajanmenekkiin on lisätty raivausaika, jolla tarkoitetaan aikaa mikä keskimäärin kului ainespuuksi kelpaamattomien ”raivauspuiden” käsittelyyn yhtä ainespuurunkoa kohti.

TAULUKKO 2. Hakkuun toteutuneet ajanmenekit runkoa kohti.

s/r	PYÖRAKUORMAAJA					VALTRA				
	LATVA		KUEP		AP	LATVA		KUEP		AP
	AP	EP	AP(tukit)	EP		AP	EP	AP(tukit)	EP	
Vienti	6,6	6,2	7,4	6,1	6,1	6,5	6,2	6,4	6,5	5,7
Käsittely	22,8	10,0	25,6	14,7	17,6	24,5	12,1	30,2	16,2	17,3
Siirto	2,2	2,2	1,8	1,8	2,5	2,4	2,4	2,2	2,2	3,1
Raivaus					2,1					6,4
YHT. s/r	31,6	18,4	34,8	22,6	28,3	33,4	20,7	38,8	24,9	32,5

Jokaisen tutkimusotoksen jälkeen hakkuukoneelta tulostettiin mittalista, jotta saataisiin selville eri puutavaralajien kertymät työn tuotoksen määrittämiseksi. Kuviossa 6 esitetään puutavaralajien kertymät hehtaaria kohti eri koealoilta. Koeala F erosi muista koealoista hieman ja sillä tukki- ja kuitukertymä oli muita koealoja suurempi.



KUVIO 6. Eri puutavaralajien kertymät eri menetelmien koealueilla.

Kenttäkokeissa määritettiin energiapuun korjuukoelaoilta myös energiapuun määrä. Hakkuun jälkeen tutkimusaloilta mitattiin energiapuiden tilavuus Pomo-mittasaksien MOTOTARKASTUS-ohjelmalla metrin pätkissä (KUVIO 7). Mittauksessa energiapuun eroteltiin kahteen erilliseen tavaralajiin kuuluvaksi, rungon ainespuuosan jälkeiseksi latvaenergiarangaksi ja alle ainespuukokoiseksi tai ainespuuksi kelpaamattomaksi energiapuurungoksi. Energiapuista määritettiin myös oksabiomassan määrä punnitsemalla karsittujen oksien massa otantarungoista.



KUVIO 7. Energiapuupölkkyjen mittaus POMO-mittasaksilla.

3.1.4 Jälkimittaukset ja korjuujäljen tarkastus

Korjuujäljen tarkastus tehtiin yhteistyönä Metsäkeskus Keski-Suomen kanssa. Hakkuun jälkeiset puustotunnukset määritettiin samoilta linjakoealoilta, joita käytettiin ennakkomittauksissakin. Lisäksi tutkimusalueelta määritettiin systemaattisesti sijoitetuilta ympyräkoealoilta korjuujälki. Korjuujäljen mittauksissa alue jaettiin hakkuutavan mukaan kolmeen eri kuvioon, joista jokaiselta kuviolta mitattiin 10 kpl koealoja, yksittäisen koealan kerroin oli 100 eli säde oli 5,64 m. Ympyräkoealoilta laskettiin rinnankorkeusläpimitaltaan yli 7 cm paksujen elävien puiden lukumäärä puulajeittain. Vaurioituneet puut eriteltiin vaurioiden ja niiden sijainnin perusteella runko- ja juurivaurioihin. Vaurioprocentti laskettiin vaurioituneiden puiden ja kaikkien luettujen puiden suhteena.

Koelamittausten yhteydessä määritettiin myös ajouraväli, uraleveys ja urapainamat. Ajouravälin mittauksessa mitattiin lyhin koealan keskipisteen kautta kulkeva suora

koealan molemmin puolin kulkevien lähimpien ajourien raiteiden keskikohtien välille. Uramittausten lähtöpisteestä uralta rajattiin uraleveyden mittaamiseksi viiden metrin ja urapainaumien arvioimiseksi viidentoista metrin matkat molempiin suuntiin uraa. Uraleveyden määrittämisessä rajatulta 10 metrin jaksolta mitattiin uran oikealta ja vasemmalta puolelta lähimmän puun kyljen kohtisuora etäisyys uran raiteiden keskele. Urapainaumien mittauksessa 30 metrin matkalta arvioitiin yli 10 senttiä syvien urapainaumien pituus metreinä, kriteeriksi riitti, jos jompikumpi raiteista oli yli 10 senttiä syvä. Alle 50 cm pituisia painaumuja ei huomioitu. Uraleveyden ja urapainaumien mittauksen lähtöpiste oli koealan keskipistettä lähimpänä sijaitsevan ajouran raiteiden keskikohta. Yhteenvedona uratiedoista laskettiin mittausten keskimääräinen uraväli ja -leveys sekä urapainaumien prosenttiosuus.

3.2 SULAN MAAN AIKAINEN TOTEUTUS

3.2.1 Tutkimustyömaa

Tutkimusalue sijaitsi noin 8 km:n ajomatkan päässä Kyyjärven keskustasta yksityisen metsänomistajan maalla Ritalammen liepeillä (KUVIO 8). Suolla kasvava puusto oli pääosin pienehköä männikköä, jonka seassa kasvoi muutamia koivuja. Hakkuukonehakkuuna tutkitun kuvion pinta-ala oli 0,54 hehtaaria, puuston tiheyden ollessa ennen harvennusta keskimäärin 3222 runkoa/ha ja puuston pohjapinta-alan 13,4 m²/ha. Keskipituus ennen harvennusta oli 10,3 metriä ja keskiläpimitta 11,5 cm. Puumäärä oli keskimäärin 69,4 m³/ha. Puustotunnukset määritettiin työmaalta hyvissä ajoin ennen hakkuuta ennakkomittausten avulla.



KUVIO 8. Toisen kenttäkoe kohteen sijainti Kyyjärvellä.

Ennakkomittauksiin käytettiin aikaa kolme päivää elokuun kahdella ensimmäisellä viikolla. Tutkimusalat rajattiin viidelle ensimmäiselle saralle tieltä päin katsottuna. Koealat tehtiin vastaavaan tapaan kuin talvellakin, linjakoealat mitattiin lankamittalaitteella. Ensimmäinen sarka (A) oli muita huomattavasti leveämpi ja sen toiselle puoliskolle rajattiin työskentelyalue siirtelykaatoa varten. Seuraaville neljälle saralle vedettiin kullekin neljä linjakoealaa. Yksittäisen koealan koko saralla B oli 40 m x 2,6 m, saralla C 37 m x 2,6 m, saralla D 40,5 m x 2,6 m ja saralla E 39 m x 2,6 m sarkojen leveydestä riippuen. Koealaväli oli 17 metriä. Ojasta ojaan ulottuvilta 2,6 metriä leveiltä koealalinjoilta mitattiin rinnankorkeusläpimitta 2 cm:n tarkkuudella eteen sattuvalla puolella joka puusta, pituuskoepuut mitattiin puolen metrin tarkkuudella, aivan saman tapaan kuin talven toteutuksissa. Rinnankorkeusläpimitta mitattiin kaikista puista, jotka olivat kantoläpimitaltaan vähintään neljä senttimetriä.

Ideana oli tutkia kahta erillistä hakkuukonetta, joista molemmille oli varattuna koealueet kahdelta ”omalta” saraltaan ennakkomittausten jälkeen. Siirtelykaatoon oli pieniä vaikeuksia löytää työlle tekijä, joten koeala jätettiin tarkoituksella pienemmäksi.

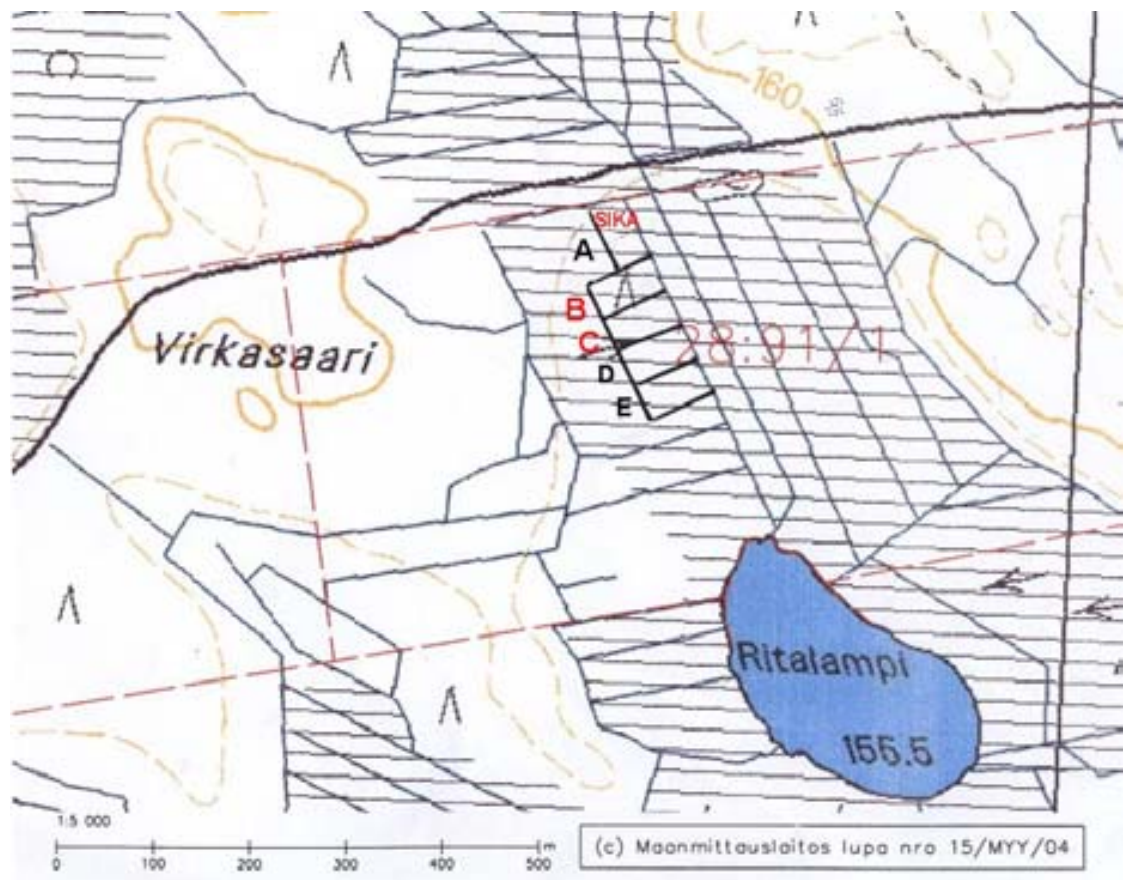
Kakkosiosiossa tarkoituksena oli selvittää onnistuuko työskentely soilla kesäaikaan ja onko toiminnallisesti järkevää tehdä energiapuuta karsittuna vai karsimattomana.

3.2.2 Tutkitut koneet ja menetelmät

Tutkimuksessa verrattiin seuraavia kolmea hakkuumenetelmää:

1. Ainespuuhakkuu, jossa hakataan tukkia, parrua ja kuitupuuta + latvat ja alमितaiset energiapuiksi karsittuna = RANKA
2. Ainespuuhakkuu, jossa hakataan tukkia, parrua ja kuitupuuta + latvat ja alमितaiset energiapuiksi karsimattomana = KOKOPUU
3. Siirtelykaatohakkuu miestyönä, kuitu ainespuuksi erotellen = SIKÄ

Menetelmää yksi käytettiin tutkimustyömaan saralla B ja menetelmää kaksi saralla C, siirtelykaatotyöskentely toteutettiin saralle A rajatulla 35 m x 35 m kokoisella alalla (KUVIO 9).



KUVIO 9. Leimikkokartta ja koealakuviot sulan maan aikaisissa toteutuksissa.

Tutkimustyömaalla oli alun perin tarkoitus vertailla kahta hakkuukonetta, joista toinen oli talven toteutuksissa käytetty Valtran hakkuukone. Suunnitelmia jouduttiin kuitenkin muuttamaan jo ensimmäisten kenttäkoekokeiluiden (elo-syyskuun vaihde) jälkeen. Normaalia sateisemman kesän jälkeen ei ollut pyöräalustaisella kalustolla toivoakaan selviytyä työmaalla. Valtra upposi heti palstalle mentäessä ja sukelsi mahaan myöten turpeeseen. Kun suon pinta rikkoontui, niin kone hautautui entistä syvemmälle paksuun turvekerrokseen, kun sitä yritettiin saada kulkemaan. Painojakauma edesauttoi myös uppoamista, takapäähän kohdistuu suurehko paino puomin ja hakkuupään johdosta. Loppujen lopuksi Valtra oli vedettävä pois suosta tela-alustaisella Åkermanin kaivinkoneella, jolla operaatio saatiin nipin napin onnistumaan ilman suurempia vaurioita. Kävi varsin selväksi, että paikallisella kalustolla työmaalle ei ollut asiaa, ongelmana oli myös metsäkuljetuksen järjestäminen sulan maan aikaan. Vaikka hakkuu olisi saatu onnistumaan kesäaikaan, niin metsäkuljetus olisi siirtynyt myöhempään ajankohtaan. Jos puut jätettäisiin odottamaan ajoa jäätyneen maan aikaan, niin ne jäättyisivät maahan kiinni ja näin ollen kuormatessa puiden mukana tulisi myös maainesta sekaan, mikä vaurioittaisi hakkurin teriä.

Tehtäväksi muodostuikin saada paikalle kalustoa, jolla voitaisiin onnistuneesti suorittaa hakkuu ja metsäkuljetus sulan maan aikaan. Erinäisten vaiheiden jälkeen työmaalle ilmestyi pieni ja näppärä, ensiharvennuksiin ja erityisesti turvemailla työskentelyyn soveltuva tela-alustainen Logbear FH4000 -yhdistelmäkone, jolla onnistuu sekä hakkuu että ajo. Hakkuun jälkeen kone muuntuu kätevästi harvesterista ajokoneeksi vaihtamalla hakkuupään tilalle puutavarakoura ja asettamalla kuormatilan etusermi ja pankot paikoilleen. Hakkuukokeessa Logbearia ajoi soinilainen metsäkoneyrittäjä, joka hakkasi koealat kahdella edellä mainitulla metodilla. Kuljettajalla oli vankka kokemus käytettävästä kalustosta, karsitun ja karsimattoman energiapuun hakkuusta kokemusta ei sen sijaan juurikaan ollut aikaisemmin kertynyt. Kuormaimen (Logbear 235) ulottuvuus koneessa oli 5,5 metriä, hakkuupäänä käytössä oli Keto Forst Epecin mittalaitteella. Koska kyseessä oli yhdistelmäkone, oli tarkoituksenmukaista talven toteutuksista poiketen tutkia myös metsäkuljetusosio. Puiden ajovaiheessa konetta kuljetti edellä mainitun hakkuumiehen lisäksi kyseisen kaluston kehittäjä, Logbear Oy:n toimitusjohtaja.

3.2.3 Aika- ja tuotostutkimus

Siirtelykaato-hakkuu

Miestyönä käsitellyltä koealalta saatiin ensimmäisenä talteen varsinaista materiaalia. Siirtelykaadolla tarkoitetaan kaatokahvoilla varustetulla moottorisahalla tehtävää työmenetelmää, jossa puu siirretään metsäkuljetuksen edellyttämään kourakasaan kaatuvan puun liikettä hyväksi käyttäen heti kaatosahauksen jälkeen. (Kärhä 2002, 17.) Kaatokahvatyöskentelyssä (KUVIO 10) käsiteltiin noin 0,12 hehtaarin kokoinen ala. Koe toteutettiin 1.9.2004, sää oli sateinen etenkin aamupäivästä, mikä kastelikin metsurin kokolailla läpimäräksi. Metsurina kokeessa toimi keski-ikäinen mieshenkilö, jolla oli aikaisempaa kokemusta siirtelykaatotyöskentelystä muutaman hehtaarin verran. Työ käsitti ajouran hakkuun ja urien välisen alueen harvennuksen. Energiapuurungot käsiteltiin kaatokahvoin, kuiturunkoja tehtäessä kahvat irrotettiin. Siirtelykaadon aikatutkimusaineisto kerättiin samaisella maastomikrolla, jota käytettiin talven toteutuksissa. Työajoista eroteltiin siirtyminen puulta toiselle sekä käsittelyaika, joka sisälsi sahauksen, karsinnan, katkonnan ja kasauksen. Lisäksi eroteltiin apuajat ja keskeytykset. Apuaikoihin laskettiin kuuluvaksi suunnittelu, kahvojen irrotus ja paikalleen asennus, tankkaus ja viilaus sekä kantoläpimitaltaan alle neljä cm paksujen räippien käsittelyyn kulunut raivausaika. Tutkimuksessa käytetty moottorisaha oli Husqvarna 238, vuosimallia -86, iskuilavuus 50 cm^3 , paino noin 5 kg. Sahassa oli Apuri-kaatokahvat, painoltaan 2,6 kg.



KUVIO 10. Siirtelykaatoa kaatokahvoin varustetulla moottorisahalla.

Metsurityön tutkimusalan mäntyvaltaisen puuston tiheys ennen harvennusta oli 3122 runkoa/ha ja puuston pohjapinta-ala 13,1 m². Keskipituus ennen käsittelyä oli 9,8 metriä ja keskiläpimitta 10,6 cm. Hehtaaria kohti puumäärä oli keskimäärin 66,0 m³. Poistettava puusto koostui pääosin alle ainespuumittaisista rungoista. Energiapuun lisäksi kuitu pyrittiin ottamaan tarkasti talteen omana tavaralajinaan.

Työn tuottavuuden selville saamiseksi alalta mitattiin hakkuun jälkeen kertynyt puumäärä Pomo-mittasaksien MOTOTARKASTUS-ohjelmalla. Mitattavana oli kolme eri tavaralajia, kuitupöllit, kuitujen ep-latvat ja energiarungot. Lisäksi energiapuista selvitetiin oksamassan osuus punnitsemalla karsittujen oksien massa otantarungoista.

Logbear-hakkuu

Tutkimuksen kakkososion kenttäkokeet saatiin kuin saatiinkin toteutettua sulan maan aikaan. Aika- ja tuotostutkimusaineisto hakkuun osalta kerättiin 10.–11.11.2004. Ensimmäisenä kenttäkoepäivänä kone (KUVIO 11) työskenteli RANKA-hakkuun koealalla ja teki energiapuun karsittuna. Vastaavasti toisena päivänä työskentely tapahtui KOKOPUU-hakkuun koealalla ja energiapuuta tehtiin karsimattomana tavarana. Noin kahden metrin levyinen kone työskenteli yksittäisillä koealasarjoilla kolmella ajouralla.



KUVIO 11. Logbear koealalla hakkuuvarustuksessa.

Molempia tutkittuja menetelmiä kohden käytettiin viittä koealaa, jotka määräytyivät samaan tapaan kuin aikaisemmassakin osiossa, eli yksi tutkimusotos käsitti aina noin kaksikymmentä runkoa. Aikaisemmin tehdystä tutkimusosioista poiketen Logbear-aika-aineistot kerättiin sekuntikellolla mutta työvaiheet eroteltiin samalla lailla viennin, käsittelyyn, siirtoihin ja keskeytyksiin kuuluvaksi kuin talvellakin. Samalla toimintamallilla myös tässä osiossa jokaisen tutkimusotoksen jälkeen mittalaitteelta tuostettiin kappaletuloste, jotta saatiin puutavaralajien kertymät selville työn tuotoksen

määrittämistä varten. Energiapuiden osalta korjuukoealoilta rankojen tilavuus saatiin hakkuukoneen mittalaitteelta ja kokopuiden tilavuus määritettiin Pomo-mittasaksilla. Tilavuuteen lisättiin tuttuun tapaan otannalla oksabiomassan määrä punnitsemalla karsitut oksat. Energiapuu eroteltiin jälleen ainespuuosan jälkeiseksi latvaenergiapuuksi tai alle ainespuukokoiseksi energiapuurungoksi kuuluvaksi.

Hakkuussa energiapuiden osalta ranka karsittiin latvaläpimitaltaan noin 2–3 senttimetriin asti, loppupätkä jätettiin metsään. Kokopuumenetelmässä energiajakeen oksia ei karsittu, ellei siihen ollut pakottavaa tarvetta metsäkuljetusta ajatellen.

Logbear-ajo

Metsäkuljetustutkimus tehtiin koealoilta 16.11.2004. Koe käsitti kolmen eri tavaralajin (kuitu, ranka, kokopuu) erikseen ajon. Kustakin tavaralajista kerättiin yhden kuorman aineisto. Kunkin tavaralajin metsäkuljetuksessa (KUVIO 12) mitattiin ajoaika- ja matka lähtöpaikalta koealalle, kuormaamiseen kulunut aika ja kuljettu matka sekä ajoaika ja matka varastopaikalle ja kuorman purkuaika. Työvaiheista eroteltiin myös keskeytykset. Kuorman järjestelyyn mennyt aika, jota esiintyi etenkin energiapuiden kohdalla, on lisätty kuormausaikaan. Kaikista valmiista kuormista määritettiin kuorman koko. Kuitukuorman aikana ohjaamossa istui eri mies kuin ranka- ja kokopuu-kuorman aikana.



KUVIO 12. Logbear metsäkuljetusvarustuksessa ajamassa karsimatonta energiapuuta.

Kukin tavaralaji oli ajon jälkeen omassa kasassaan ja puutavara mitattiin pinosta. Lisäksi energiapuiden kappalemäärä laskettiin ranka- ja kokopuupinosta. Tämä sen takia, koska tiedossa oli keskimääräiset energiapuiden yksikkötilavuudet. Yksikkötilavuudet kerrottiin lasketuilla kappalemäärillä ja saatua tulosta verrattiin pinomittaustulokseen. Näin saatiin selville rangan ja kokopuun kiintötilavuuskerroin eli energiapuun pinomitan korjauskerroin.

3.2.4 Jälkimittaukset ja korjuujäljen tarkastus

Hakkuun jälkeiset puustotunnukset määritettiin samoilta koelajinjoilta, joita käytettiin ennakkomittauksissakin. Korjuujäljen mittauksissa molempien tutkimuksessa käytettyjen menetelmien koelakuvioilta määritettiin hakkuun jälkeen vaurioituneet puut ja ajourapainamat. Metsäkuljetuksen jäljiltä molemmat koelat käytiin uudestaan läpi ja määritettiin puustovauriot ja ajourapainamat ajon jälkeen. Tutkimusalueelta mitattiin lisäksi ajouraleveys. Yhteenvetona tiedoista laskettiin hakkuun aikana syntyneet korjuuvauriot ja ajovaiheessa syntyneet korjuuvauriot.

4 TULOKSET

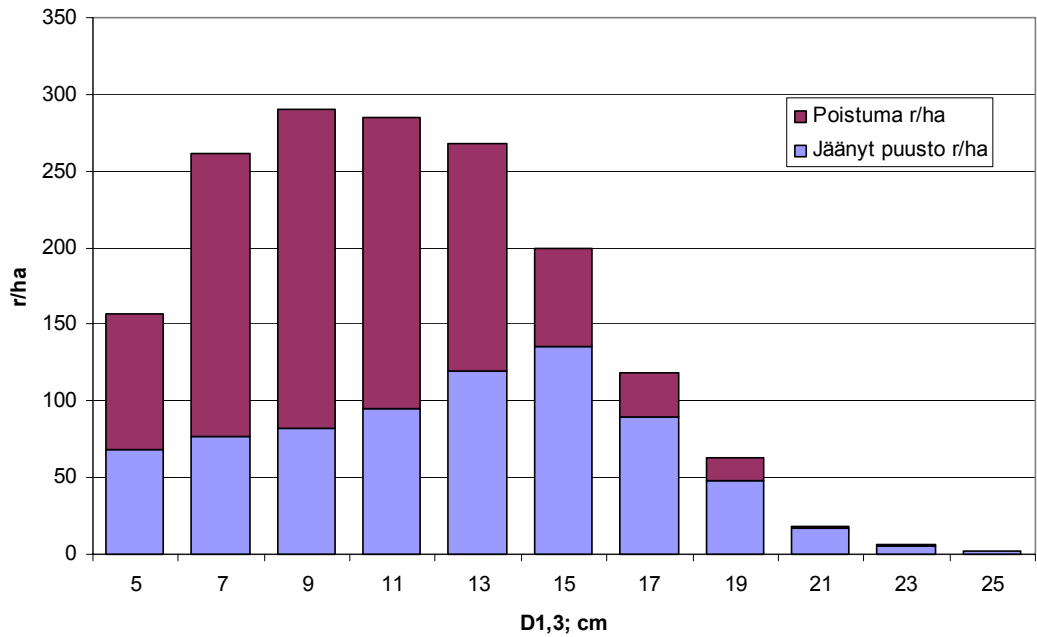
4.1 TALVIAIKAINEN TOTEUTUS

4.1.1 Puustokertymät

Harvennuksen jälkeen runkoluku koealoilla oli keskimäärin 738 runkoa/ha, joten hakkuussa poistui 932 r/ha. Pohjapinta-ala oli hakkuun jälkeen 10,1 m²/ha, keskiläpimitta 15,4 cm ja keskipituus 11,8 metriä. Yhdessä raivauspuuston kera kohde täyttää siis KEMERA-tuen kriteerit sarkaa A lukuun ottamatta, jolla jäävän puuston keskiläpimitta ylittää 16 cm. Puumäärä kuviolla hakkuun jälkeen oli keskimäärin 61,2 m³/ha. Taulukossa 3 on esitetty vastaavat luvut saroittain eriteltynä. Kuviossa 13 on esitetty poistuman tyyppi tutkimustyömaalla.

TAULUKKO 3. Puustotunnukset saroittain hakkuun jälkeen.

SARKA	r/ha	m²/ha	h, m	d_{1,3}, cm	m³/ha
A	640	10,1	12,3	17,0	62,0
B	670	7,9	11,3	13,5	46,0
C	730	10,1	11,7	15,2	61,6
D	720	10,4	11,9	15,8	63,2
E	960	10,6	11,6	14,8	62,8
F	730	11,8	11,9	15,8	73,0



KUVIO 13. Lähtöpuuston ja poistuman runkolukusarja tutkimustyömaalla.

Taulukossa 4 on esitetty tutkimustyömaan aines- ja energiapuukertymät eri saroilta. Ainespuukertymät on saatu hakkuukoneen mittalaitteelta ja energiapuukertymät mitausten ja laskentojen kautta. Energiapuut ajettiin erillisiin pinoihin ja mitattiin saroittain pinomittauksena (KUVIO 14), jonka tulos on ilmoitettu myös taulukossa, (käytetyt kiintotilavuusprosentit saran A ja B pinoissa 30, saran C ja D pinoissa 40). Koeala F erosi hieman muista koealoista ja sillä tukki- ja kuitukertymä oli muita koealoja suurempi.

TAULUKKO 4. Aines- ja energiapuukertymät koealoittain.

SARKA	TUKKI	KUITU	LATVA	EP-RUNGOT	AP Yht. m ³	EP Yht. m ³	Pinomitta m ³
A	7,9	11,5	4,8	4,0	19,4	8,8	11,7
B	7,2	10,7	4,8	5,1	17,9	9,9	10,8
C	8,1	13,0	8,2	3,0	8,1	24,2	27,1
D	10,9	9,9	7,5	6,5	10,9	23,9	26,2
E	10,9	11,3	0	0	22,2	0	0
F	14,2	17,9	0	0	32,1	0	0
					110,6	66,8	75,8

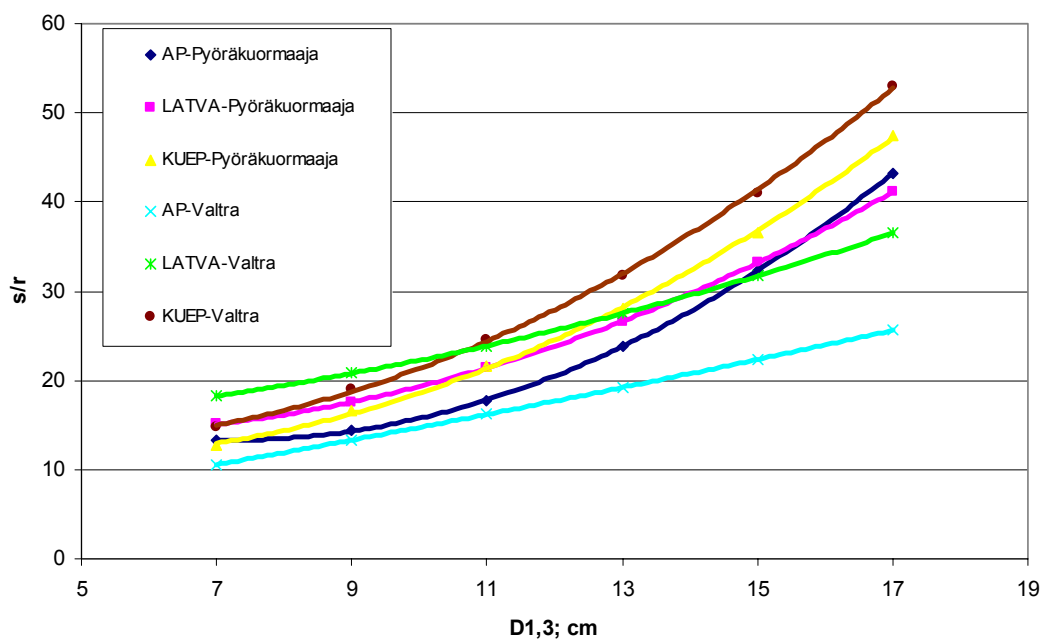


KUVIO 14. Ylempänä saran A LATVA-pino ja alempana saran D KUEP-pino.

4.1.2 Hakkuun tuottavuus

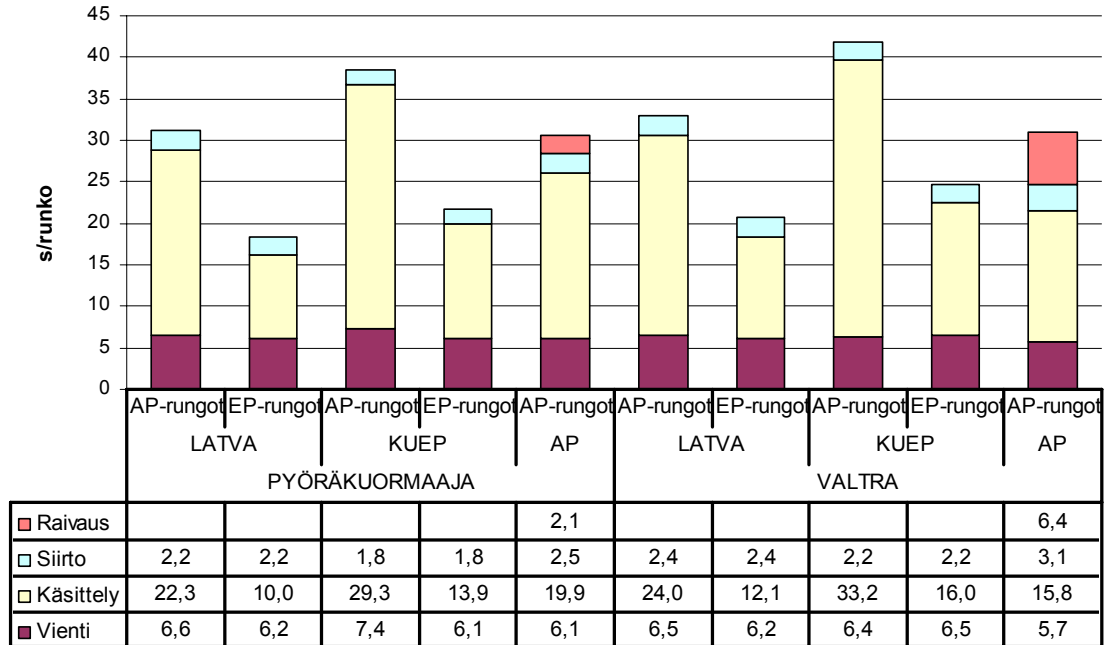
Kuviossa 15 on esitetty runkojen käsittelyajanmenekki eri menetelmillä. Pyöräkuormaaja-alustaisen hakkuukoneen runkojen käsittelyajassa ei juuri ollut merkittävää eroa AP- ja LATVA-menetelmien välillä eikä latvojen tekeminen energiapuuksi vaikuttanut merkittävästi käsittelyaikaan. Valtran osalta latvan tekeminen energiapuuksi lisää käsittelyaika suhteessa enemmän kuin pyöräkuormaajakoneella verrattuna ainespuumenetelmään. Tämä saattaa osin johtua siitä, että paikoin latva hiukan takertui kuormaimen hydraulikkaletkuihin hakkuupäätä käännettäessä käsittelyn loppuvaiheessa.

Kuituenergiapuu-menetelmässä pyöräkuormaaja-alustainen kone näyttäisi suoriutuvan runkojen käsittelyssä tulosten valossa myös hivenerivakammin kuin Valtra. Pyöräkuormaaja-alustaisella koneella järeämpiä runkoja tehdessä käsittelyaika kasvaa selvästi Valtran vastaavaa aikaa jyrkemmin. Valtran osalta rungon koko ei aiheuta niin suurta päänvaivaa kuin pyöräkuormaajakoneelle, jolta tuntuu järeimmissä rungoissa hiukan puhti hiipuvan. Toisaalta läpimitaltaan pienempiä runkoja tehdessä pyöräkuormaajakoneen runkoihin kohdistuva käsittelyaika on pienempi kuin Valtran vastaava. Se johtuneekin osaltaan siitä, että pyöräkuormaajakoneella latvojen käsittely sujuu hivenerivakammin kuin Valtralla.



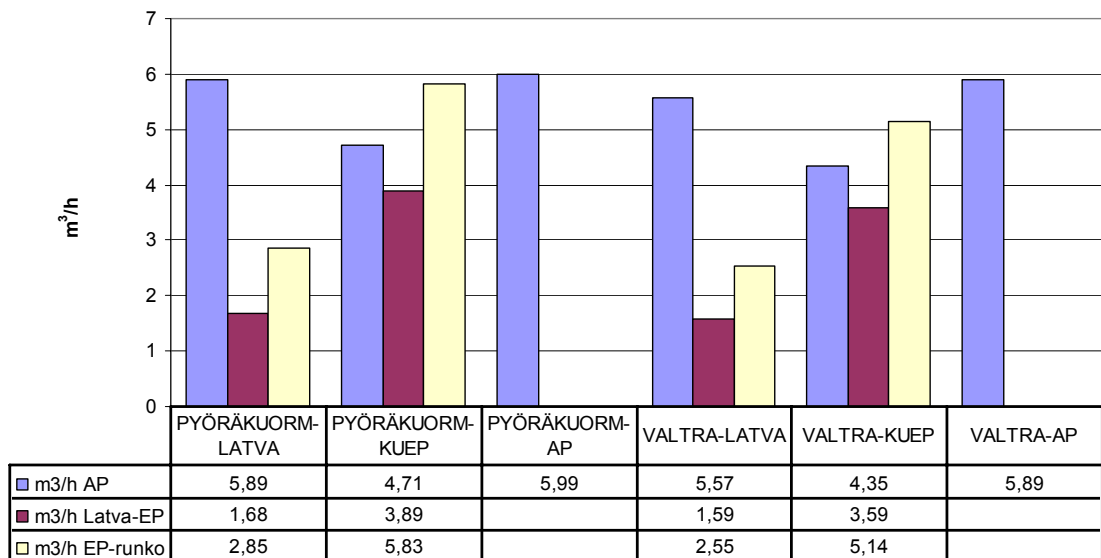
KUVIO 15. Runkojen käsittelyajanmenekki eri menetelmillä ja koneilla.

Puustomittausten pohjalta lasketulle kohteen poistuman keskimääräiselle runkolukusarjalle määritettiin ajanmenekifunktioiden kautta käsittelyajanmenekit runkoa kohti, jotta saatiin eri menetelmät asetettua vertailukelpoiseen tilanteeseen. Kuviossa 16 on esitetty hakkuun laskennalliset ajanmenekit runkoa kohti.



KUVIO 16. Hakkuun laskennalliset ajanmenekit runkoa kohti.

Keskimäärin energialatva-menetelmässä ainespuuhakkuun tuottavuus oli lähes yhtä suuri kuin pelkässä ainespuuhakkuussakin, noin $6 \text{ m}^3/\text{h}$. Ilman raivausajanmenekkiä ainespuun tuottavuus olisi ollut AP-menetelmässä selvästi parempi, etenkin Valtran osalta. Energiapuun hakkuun tuottavuus oli suurin KUEP-menetelmä, jossa ainoastaan tukit hakattiin ainespuuksi ja loppuosa ja tukiksi kelpaamattomat rungot menivät energiapuuksi. Koneiden välillä ei ollut suuria eroja tuottavuudessa, yhtäläisten menetelmien osalta aines- ja energiapuun keskimääräiset tuottavuudet olivat melko lähellä toisiaan (KUVIO 17).



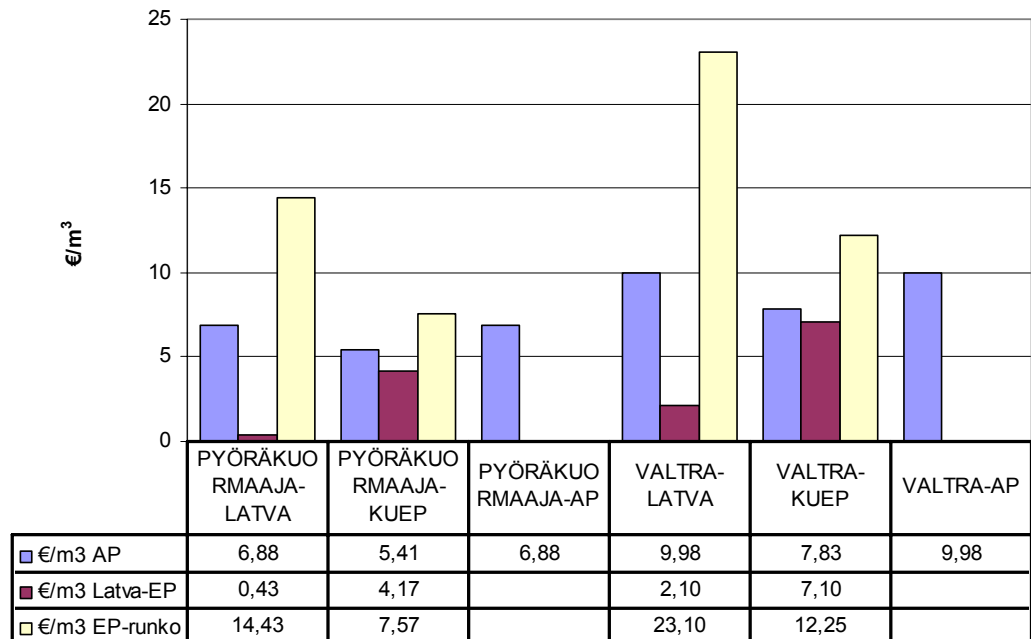
KUVIO 17. Hakkuun keskimääräinen tuottavuus eri menetelmillä.

4.1.3 Hakkuun kustannus

Hakkuukustannusten laskennassa on käytetty yrittäjän ilmoittamia käyttötuntihintoja, pyöräkuormaaja-alustaisen hakkuukoneen kohdalla 35 €/h ja Valtralla 50 €/h (ALV 0). Käyttöaikaan on oletettu kuuluvan tehoajan lisäksi 15 % keskeytyksiä. Kustannukset on laskettu erikseen erilliskäsiteltäville energiapuurungoille ja ainespuun kanssa samoista rungoista integroidusti tuotettavalle latvaenergiapuulle. Laskennan perusteena oli ainespuun hakkuukustannuksen vakioiminen ainespuuhakkuukoalojen tulosten pohjalta.

Alle ainespuukokoisiin runkoihin tarttuminen lisää kustannuksia pienestä rungon koosta johtuen, kun taas ainespuuosan jälkeiseen latvaan kohdistuva kustannus ei ole lähelläkään erillisiin läpimitaltaan pieniin energiapuihin kohdistuvaa kustannusta. Latvan tekeminen energiapuuksi on tulosten valossa suositeltavaa. Kuituenergiapuumenetelmässä energiapuurunkojen käsittelyn kustannukset ovat pienemmät johtuen suuremmasta rungon koosta, mutta ainespuukertymä jää tällöin pieneksi. Ainespuuhakkuun kustannus oli pyöräkuormaajakoneella 6,88 €/m³ ja Valtralla 9,98 €/m³. Latvaenergiapuun osalle kohdistuva kustannus LATVA-menetelmässä oli pyöräkuormaajalla 0,43 €/m³ ja Valtralla 2,10 €/m³ kun taas erikseen käsiteltävien alle ainespuuko-

koisten energiainkujen kustannukseksi tuli huomattavasti korkeampi hinta, pyöräkuormaajalla 14,43 €/m³ ja Valtralla 23,10 €/m³ (KUVIO 18).



KUVIO 18. Hakkuun keskimääräiset kustannukset eri menetelmillä.

4.1.4 Energiapuun kustannukset

Taulukossa 5 on laskettu energiapuun tuotantokustannukset ilman tukia ja tuen kanssa. Kuituenergiapuumenettelmissä kantohinnan osuus on määritetty energiapuuksi siirtyneelle kuitupuuosuudelle kokonaisenergiamäärästä käyttämällä sen arvona 10 €/m³. Hakkuukustannuksina on käytetty tutkimuksesta saatuja arvoja, metsäkuljetuksen hintana on käytetty ”tavallisella” energiapuulla kuutta euroa kuutiometriä kohden ja kuituenergiapuulla viittä euroa. Haketuksen + kaukokuljetuksen hintana on käytetty 10 €/m³, energiapuun korjuutuki on 7 €/m³ ja haketustuki 1,70 €/i-m³ (Tuet metsänhoitotöihin 2004). Lisäksi Kyyjärvellä on mahdollista saada nuoren metsän hoitotukea 252,60 €/ha käytettäessä tilan ulkopuolista työvoimaa ja maanomistajan omana työnä 162 €/ha (Emt.). Energiapuun energiasisältönä laskelmissa on käytetty 1,875 MWh/m³. Menetelmien perässä oleva numero yksi kuvaa aina pyöräkuormaajalustaista hakkuukonevaihtoehtoa ja numero kaksi aina Valtran hakkuukonevaihtoehtoa. Erityisesti LATVA-menetelmän tuotantokustannukset ovat varsin kilpailukykyi-

set. Yleinen mielipide on, että nuorten metsien metsähakkeen hinta ei saisi nousta käyttöpaikalle toimitettuna yli 10 euron/MWh (Nuoret metsät energiapuuvarantona 2004).

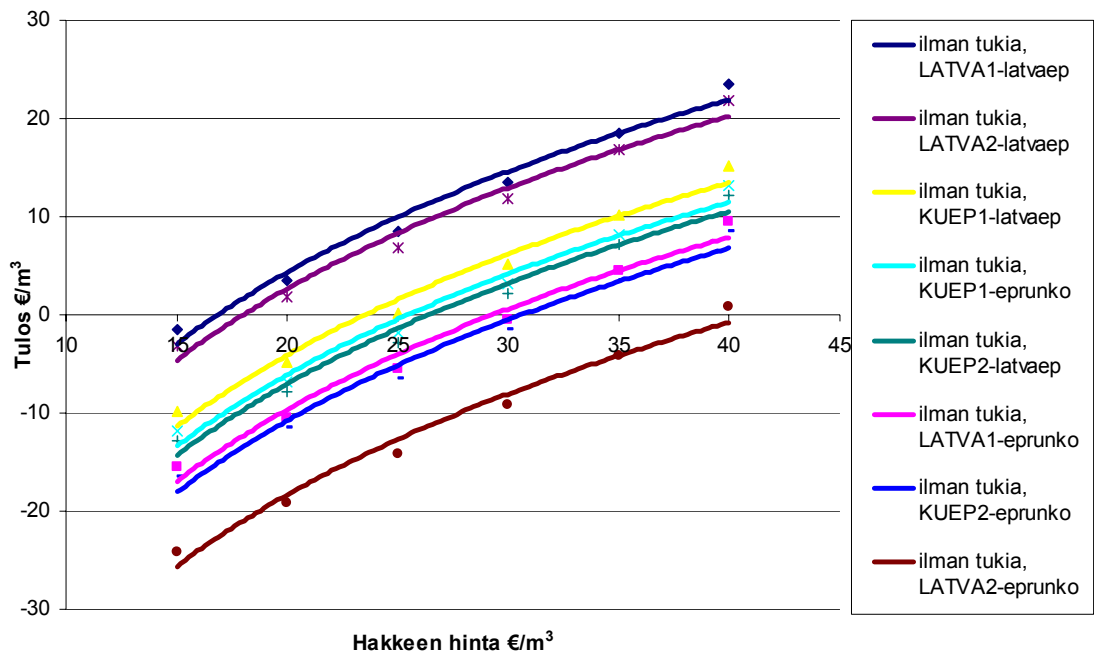
TAULUKKO 5. Puupolttoaineen tuotantokustannukset €/m³ käytetyillä menetelmillä.

€/m ³	Latva1		Kuep1		Latva2		Kuep2	
	latva	ep	latva	ep	latva	ep	latva	ep
Kuitu, kantohinta	0	0	5,70	4,30	0	0	5,70	4,30
Hakkuu	0,43	14,43	4,17	7,57	2,10	23,10	7,10	12,25
Metsäkuljetus	6	6	5	5	6	6	5	5
Tienvarsihinta	6,43	20,43	14,87	16,87	8,1	29,1	17,8	21,55
Haketus+kaukokuljetus	10	10	10	10	10	10	10	10
Käyttöpaikkakustannus	16,43	30,43	24,87	26,87	18,1	39,1	27,8	31,55
€/MWh	8,76	16,23	13,26	14,33	9,65	20,85	14,83	16,83
Tuet								
Energiapuun korjuutuki	7	7	7	7	7	7	7	7
Haketustuki	4,25	4,25	4,25	4,25	4,25	4,25	4,25	4,25
<i>Tuet yhteensä</i>	<i>11,25</i>	<i>11,25</i>	<i>11,25</i>	<i>11,25</i>	<i>11,25</i>	<i>11,25</i>	<i>11,25</i>	<i>11,25</i>
Tuettu hinta	5,18	19,18	13,62	15,62	6,85	27,85	16,55	20,30
€/MWh	2,76	10,23	7,26	8,33	3,65	14,85	8,83	10,83

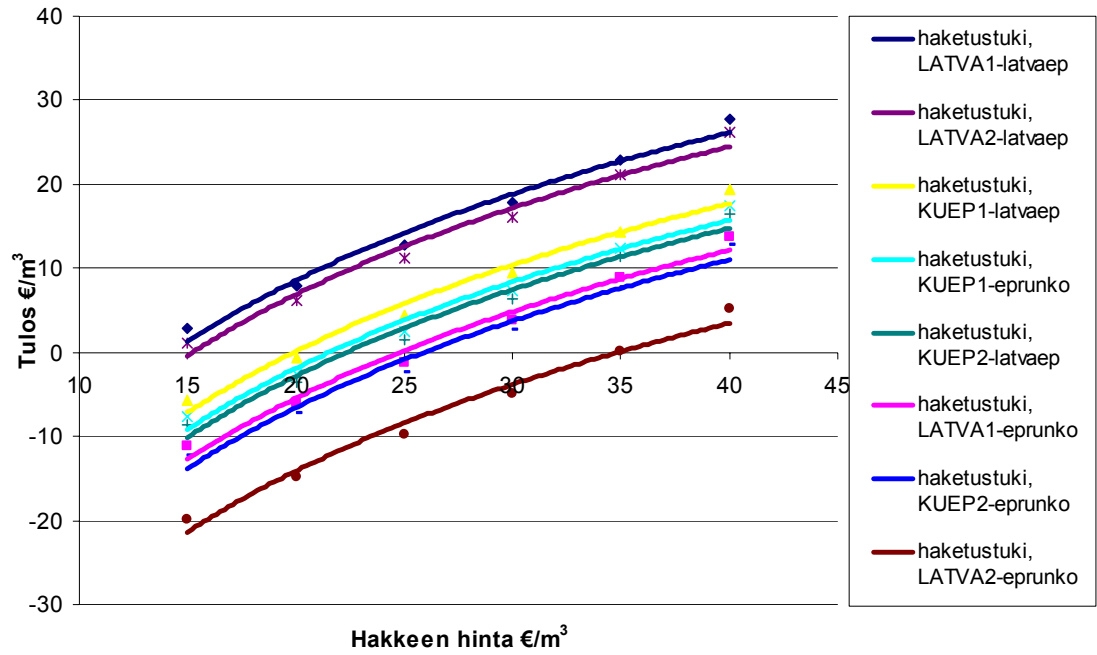
Kyyjärvellä yleinen toimintamalli on, että energiaosuuskuntaan kuuluvat metsäkoneyrittäjät saavat työskentelemiltään leimikoilta käsiteltävän energiapuun itselleen ja toimittavat sen eteenpäin lämpölaitokselle. Näin ollen metsänomistajaa ei veloiteta energiapuun hakkuusta ja ajosta, mutta metsänomistaja saa energiapuun korjuutuen (7 €/m³) ikään kuin kantorahatulona energiapuusta. Koneyrittäjillä on myös haketuskaulus, jolla puut saadaan hakettua, kun se on ajankohtaista. Leimikon energiapuutili ja haketustuki menevät konemiehille. Taulukossa 6 on tarkasteltu energiapuuhakkuun kannattavuutta käyttöpaikkakustannuksen ja hakkeesta maksettavan hinnan suhteena. Energiasta maksettavana hintana taulukossa on 30 €/m³, mikä vastaa suurin piirtein Kyyjärven tasoa. Taulukko toimii samalla herkkyysanalyysinä, jossa energiapuusta maksettavaa hintaa muuttamalla nähdään syntyvä tulos eri hakkuumetodeilla ja tukivaihtoehdoilla. Herkkyysanalyysin kautta laaditut kaaviot esitetään kuvioissa 19, 20 ja 21. Tutkittujen energiapuumenetelmien kannattavuutta on vertailtu kolmessa tukitasossa, ilman tukia, haketustuella (Kyyjärven toimintamalli) ja tilanteessa, jossa energiapuun korjaaja saa sekä haketustuen että korjuutuen. Hakkeesta maksettavalla kolmenkymppin hinnalla ja haketustuella ainoastaan Valtralla erilliskäsiteltävät energiarungot eivät anna positiivista tulosta. Taulukosta ja kuvioista näkee hyvin, että ilman tukia pienten erilliskäsiteltävien energiapuiden tekemisessä tulee auttamatta takkiin.

TAULUKKO 6. Energiapuusta saatava tulos eri menetelmien osalta, myyntihinnalla 30 €/m³.

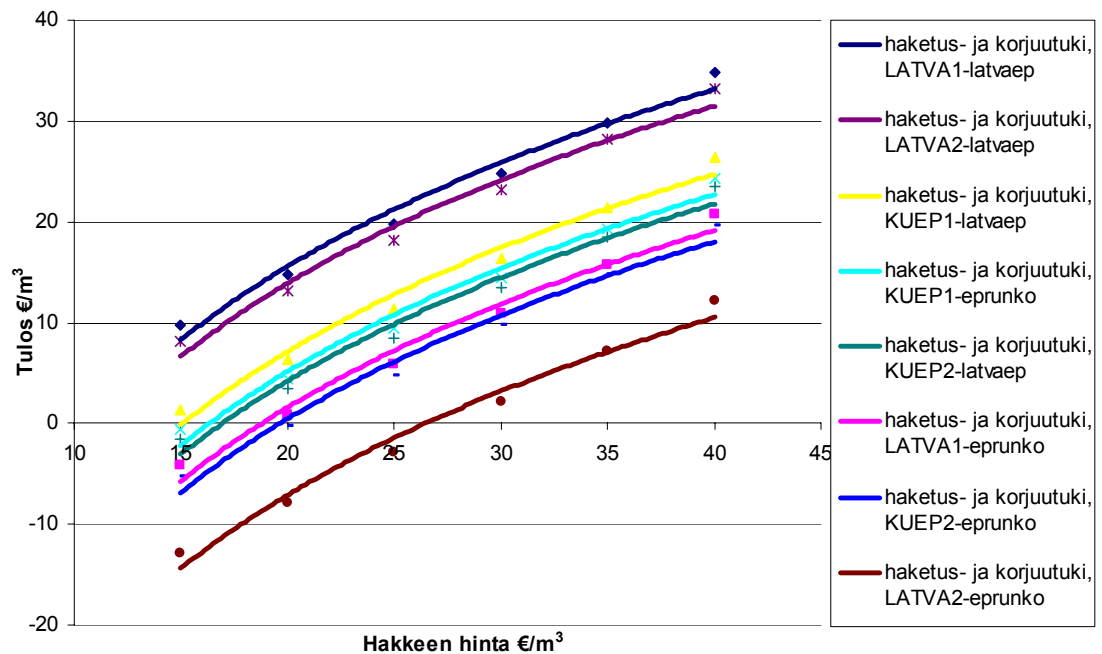
€/m ³	Latva1		Kuep1		Latva2		Kuep2	
	latva	ep	latva	ep	latva	ep	latva	ep
Kuitu, kantohinta	0	0	5,70	4,30	0	0	5,70	4,30
Hakkuu	0,43	14,43	4,17	7,57	2,10	23,10	7,10	12,25
Metsäkuljetus	6	6	5	5	6	6	5	5
Tienvarsihintaa	6,43	20,43	14,87	16,87	8,10	29,10	17,80	21,55
Haketus+kaukokuljetus	10	10	10	10	10	10	10	10
Käyttöpaikkakustannus	16,43	30,43	24,87	26,87	18,10	39,10	27,80	31,55
Myyntihinta	30	30	30	30	30	30	30	30
Tulos ilman tukia	13,57	-0,43	5,13	3,13	11,90	-9,10	2,20	-1,55
Tulos haketustuella	17,82	3,82	9,38	7,38	16,15	-4,85	6,45	2,70
Tulos haketus- ja korjuutuella	24,82	10,82	16,38	14,38	23,15	2,15	13,45	9,70



KUVIO 19. Energiapuun hakkuun kannattavuus ilman tukia suhteessa myyntihintaan.



KUVIO 20. Energiapuun hakkuun kannattavuus haketustuen kanssa suhteessa myyntihintaan.



KUVIO 21. Energiapuun hakkuun kannattavuus haketus- ja korjuutuen kanssa suhteessa myyntihintaan.

4.1.5 Korjuujälki

Tutkimuskohteen ajourapainauksen tulosten perusteella voisi päätellä, ettei latvojen keräämisellä tai keräämättä jättämisellä ollut merkitystä painaumiin, koska painaumi- en osuus kuvioilla hakkuutavasta huolimatta on melko lähellä toisiaan. Eniten vaurioi- ta ja urapainauksia on syntynyt kuviolle, jolla kuitupuu hakattiin energiapuuksi. Kuituenergiapuun menetelmän osalla korkeita vauriolukemia voisi ehkä osin selittää sillä, että energiapuutaakat lienevät kookkaampia ja siten niiden liikuttelun suhteen kuor- matessa on oltava erityisen tarkkana, etteivät ne kolhi pystypuita.

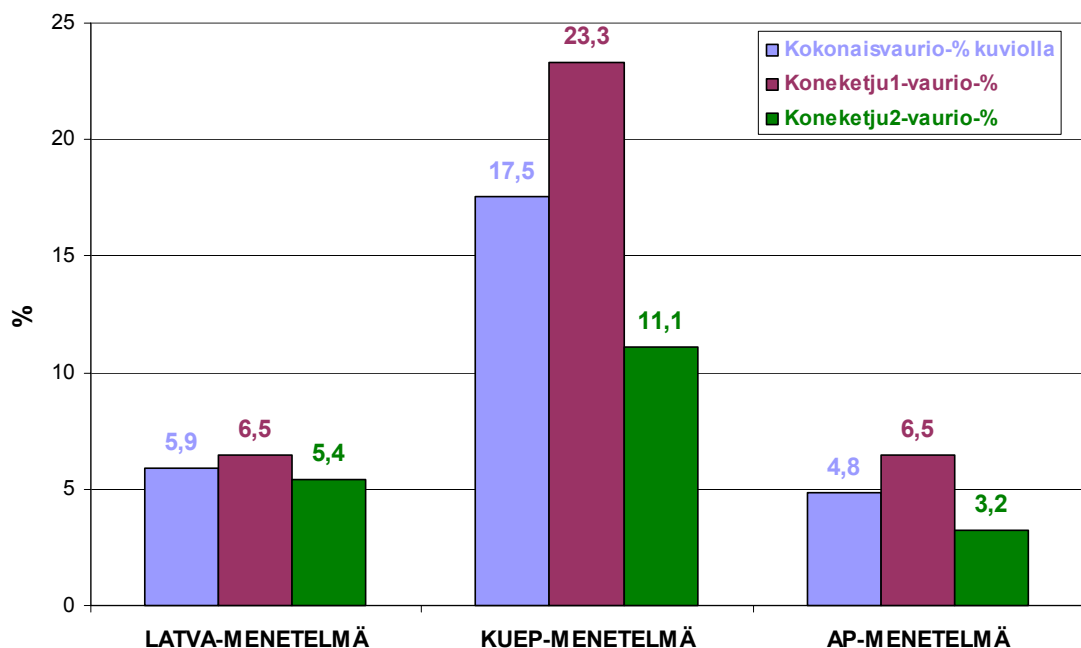
Suurin osa painaumista, arviolta noin 80 % on aiheutunut tuhkanlevityskoneen jäljiltä. Viikolla, jona hakkuu ja tuhkanlevitys suoritettiin lämpötila pyöri nollassa paikkeilla ja vettä tihusti muutamana päivänä, eikä yöpakkasiakaan juuri ollut. Kuvion osalla, johon tuhkaa ei levitetty, ei painauksia juurikaan ollut syntynyt. Paikoin oli myös hie- man hankalaa todeta uralla olevan tuhkan muodostamien epätasaisuuksien johdosta onko painauma suurempi kuin 10 cm ja siten onko kyseessä painauma vai ei.

Runko- ja juurivauriot

Puu katsottiin korjuun seurauksena vaurioituneeksi, kun puuaines oli rikkoontunut tai puun kuori oli rikki nilakerrokseen saakka yhdestä tai useammasta kohdasta yhteensä yli 12 neliösenttimetrin laajuudelta ja puuaineen pintaa oli samalla paljastunut yli yh- den neliösenttimetrin laajuudelta. Juurissa otettiin huomioon vain vauriot, jotka olivat enintään yhden metrin päässä rungon keskipisteestä. Alle kaksi senttimetriä paksujen juurien vaurioita ei otettu huomioon. Puu katsottiin vaurioituneeksi myös silloin, kun siinä oli puun kuoren rikkonut viilto tai viiltoja yhteensä yli 50 cm:n matkalla.

Juurivaurioita ei havaittu yhdenkään kuvion koaloilla, joten kokonaisvauriopro- sentiksi kuvioilla muodostui sama kuin runkovaurioiden osuus prosentteina. Latva- menetelmällä hakatulla kuviolla runkovaurioita oli 5,9 %, kuituenergiapuun menetelmän kuviolla runkovaurioiden määrä oli 17,5 % ja ainespuun menetelmällä hakatulla kuviolla runkovaurioita oli 4,8 %. Korjuujäljen tulosten tarkemmassa ana- lysoinnissa tarkasteltiin miten runkovaurioiden osuus jakautuu kahden eri tutkitun koneketjun osalta. Osoittautui, että latva-menetelmän kuviolla runkovauriot jakautui- vat melko tasan pyöräkuormaajamoton-maataloustraktori metsäperävaunuyhdistelmän ja Valtran hakkuukoneen-Timberjackin ajokone kesken.

Koneketjulla 1 (pyöräkuormaaja + traktori metsäperävaunulla) vaurioita syntyi 6,5 % ja koneketjulla 2 (Valtra + TJ810-ajokone) 5,4 %. Sen sijaan kuituenergiapuun menetelmän kuviolla pyöräkuormaaja + traktori metsäperävaunulla korjuuketjulla runkovaurioita oli 23,3 % ja Valtra + ajokone korjuuketjulla 11,1 %. Ainespuun menetelmässä runkovauriot jakautuivat siten, että pyöräkuormaaja + traktori metsäperävaunulla ketjulla runkovaurioita oli 6,5 % ja Valtra + ajokone ketjulla 3,2 % (KUVIO 22). Valtakunnallisissa korjuujäljen tarkistuksissa vuonna 2003 runkovaurioiden osuus oli 2,3 % ja juurivaurioiden 0,5 % runkoluvusta, vaurioprocentin ollessa yhteensä 2,8 %. Täysin koneellisesti korjatuissa kohteissa vaurioiden määrä oli 3,1 prosenttia runkoluvusta. (Ranta 2004, 4.) Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion tutkimusten mukaan energiapuuharvennuskohdeilla puustovaurioita oli keskimäärin 7 %:ssa rungoista (Äijälä 2004, 12). Vaurioiden osalta korjuujäljen kokonaisarvostelussa arvosanaksi muodostuu hyvä silloin, kun vaurioprocentti on pienempi kuin viisi (Ehdotus korjuujäljen kokonaisarvosteluksi ohje 2004).



KUVIO 22. Korjuuvaurioiden jakautuminen eri menetelmin käsitellyillä koealoilla.

Ajourat

Ajourien keskimääräinen etäisyys oli latva-menetelmän kuviolla 19,3 metriä, kuituenergiapuu-menetelmän kuviolla 20,2 metriä ja ainespuu-menetelmän kuviolla 20,4

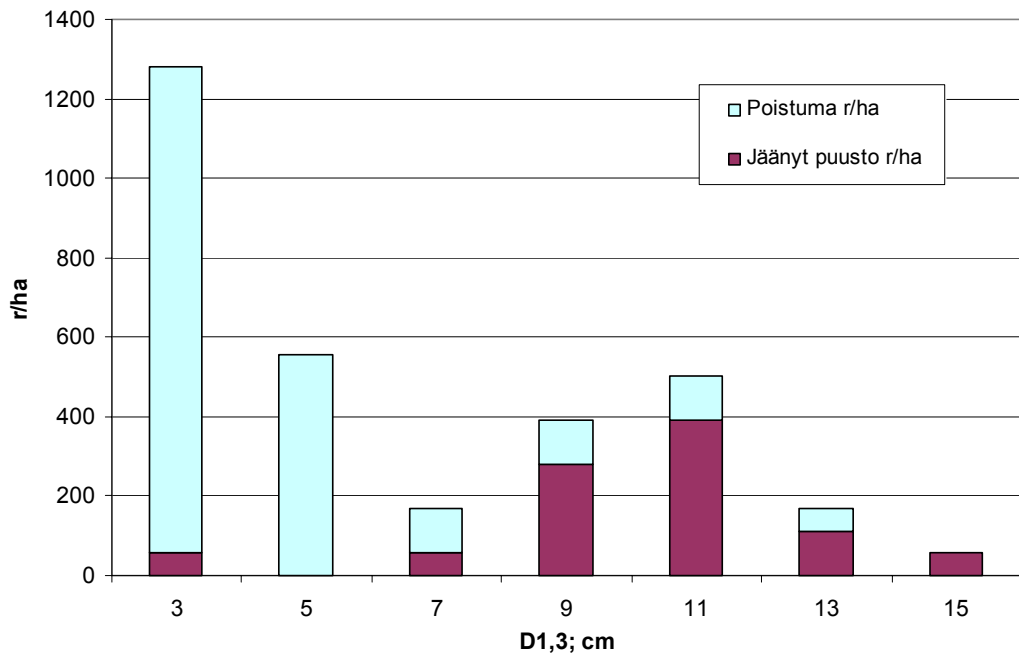
metriä. Metsänhoitosuosituksen mukainen ajouraväli on 20–30 metriä, vuonna 2003 ajourien keskimääräinen etäisyys oli valtakunnan tasolla 21,8 metriä (Ranta 2004, 5). Ajourien keskimääräinen leveys oli latva-menetelmällä hakatulla kuviolla 41,1 desimetriä, kuituenergiapuu-menetelmän kuviolla 45,4 desimetriä ja ainespuu-menetelmän kuviolla 40,6 desimetriä. Yhtenä hyvän korjuujäljen kriteerinä on pidetty kohteen keskimääräisen uraleveyden jäämistä alle 45 desimetrin, vuonna 2003 keskimääräinen ajourien leveys oli 41,3 dm (Ranta 2004, 6).

Yli 10 cm syvien ajourapainaumien osuus ajourien pituudesta oli latva-menetelmän kuviolla 5,3 %, kuituenergiapuu-menetelmän kuviolla 7,0 % ja ainespuu-menetelmällä hakatulla kuviolla 6,8 %. Valtakunnallisesti vuonna 2003 yli 10 cm syvien ajourapainaumien osuus ajouraverkoston pituudesta oli ennätysellisesti vain 0,9 %, pidemmän ajan keskiarvona määrä on noin kahden prosentin luokkaa (Ranta 2004, 7).

4.2 SULAN MAAN AIKAINEN TOTEUTUS

4.2.1 Siirtelykaadon tuottavuus ja kustannukset

Hakkuun jälkeen siirtelykaatokoealalla oli 948 runkoa hehtaarilla, pohjapinta-alan ollessa 8,2 m²/ha, hakkuussa poistui siis 2174 r/ha (KUVIO 23). Keskiläpimitta oli 11,1 cm ja keskipituus 10,1 cm, puumäärän ollessa 44,5 m³/ha.



KUVIO 23. Poistuman tyyppi siirtelykaatokoelalla.

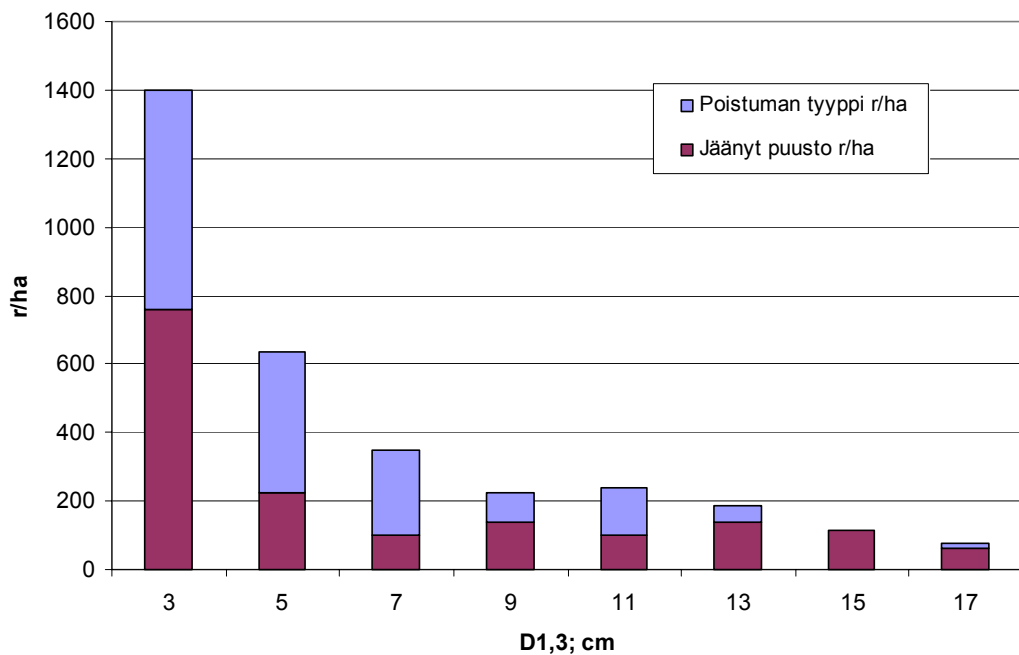
Tuottavuus laskettiin erikseen energiapuulle ja kuitupuulle. Eri työvaiheista siirtyminen puulle vei aikaa keskimäärin 3,7 sekuntia/runko, alle ainespuumittaisten energiapuiden käsittelyyn aikaa kului 9,2 s/r ja vastaavasti ainespuuiden käsittelyyn 47,2 s/r. Apu-aikojen työajanmenekki oli 6,2 sekuntia runkoa kohden. Energiapuiden osalta hakkuun tuottavuus siirtelykaadolla oli 1,3 m³/h, keskimääräisen rungon koon ollessa oksineen 7 dm³. Vastaavasti kuiturunkojen osalta tuottavuus puun keskimääräisen koon ollessa oksineen noin 34 dm³ oli 2,1 m³/h, josta ainespuun osuus 1,4 m³/h ja latvaenergiapuun osuus 0,7 m³/h. Parempaan tuottavuuteen pääsyä rajoitti energiarunkojen pieni koko. Mikäli koko ala olisi tehty energiapuiksi, tuottavuus olisi noussut korkeammaksi, nyt energiapuukertymä koostui lähinnä rinnankorkeusläpimitaltaan 3–5 cm:n paksuisesta ennakkoraivauspuustosta, kun kuitu otettiin tarkasti talteen. Leimikkotekijöistä ja hakkuutavasta riippuen siirtelykaadon tuottavuus on aiemmissä tutkimuksissa ollut 1–4 m³/tehotunti.

Metsurityön kustannuksena on käytetty hintaa 20 €/h, jolloin energiapuiden osalta hakkuukustannukseksi muodostuu 15,38 €/m³, mikä on lähellä aiempien tutkimusten kustannusta vastaavalla rungon koolla (mm. Kärhä 2002, 43). Kuiturunkoja tehdessä hakkuun kustannukseksi muodostuu 9,52 €/m³. Siirtelykaato moottorisahalla on aivan

pätevä keino energiapuun korjuuseen, kunhan vaan valitsee kohteen oikein. Yksinomaan pelkkää pientä ”räippäpuuta” ei ole kannattavaa tehdä, jos haluaa päästä korkeaan tuottavuuteen. Hyviä kohteita ovat helppokulkuiset harvennuskypsät nuoret metsät, joissa kuitupuun kertymä on pieni.

4.2.2 Logbear-tutkimus

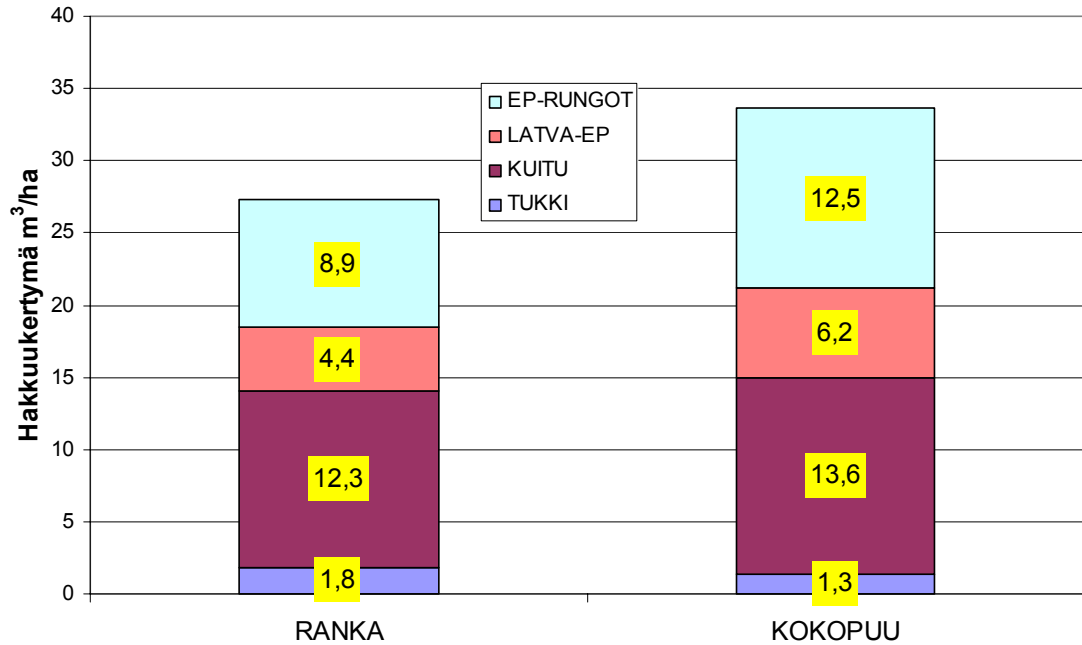
Harvennuksen jälkeen runkoluku työskentelykoelalla oli keskimäärin 1636 r/ha, josta poistuman määrä oli 1586 r/ha. Pohjapinta-ala oli 8,4 m²/ha, keskiläpimitan ollessa 13,1 cm ja keskipituuden 10,8 metriä. Hakkuun jälkeinen koelakuvion puumäärä oli keskimäärin 45,8 m³/ha. Kuviossa 24 on näkyvillä tutkimustyömaan poistuman tyyppi runkolukusarjan muodossa.



KUVIO 24. Tutkimustyömaan lähtöpuuston ja poistuman runkolukusarja.

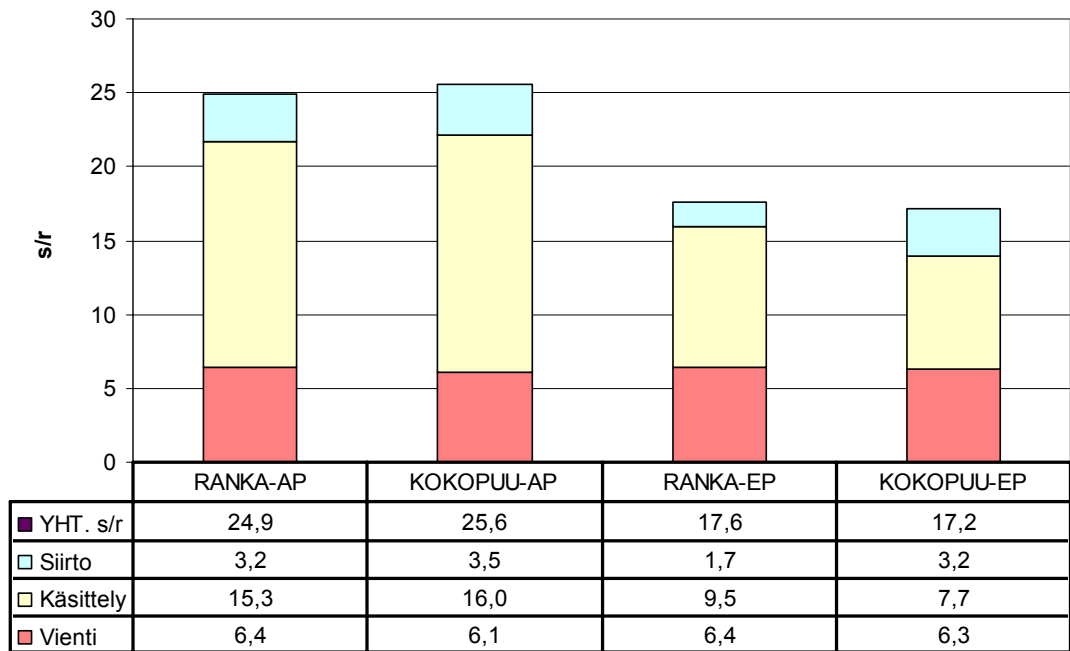
Kuviossa 25 on esitetty tutkimustyömaan puustokertymät eri tavaralajeilla hehtaaria kohti. Koelajen puusto oli hyvin samankaltaista. Tehtäessä energiapuu karsimattomana, kertymä on noin 40 % suurempi kuin tehtäessä karsittua energiapuu. Tosin tämä tulos ei ole täysin vertailukelpoinen, sillä kokopuusaralla pienempiä runkoja

otettiin enemmän talteen kuin rankasaralla, jossa ”tikkupuustoa” lahmaantui myös enemmän hakkuun alle. Latvaenergiapuulla kertymä on noin 33 % suurempi tehtäessä karsimatonta tavaraa.



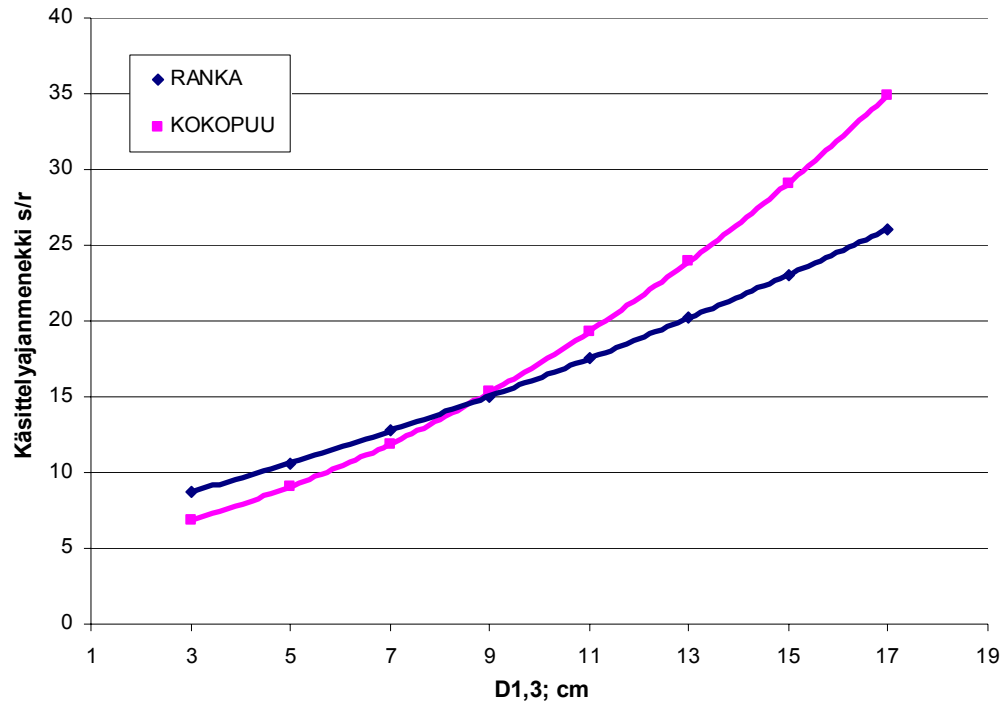
KUVIO 25. Eri tavaralajien kertymät työmaalla ranka- ja kokopuumenetelmällä.

Poistuman runkolukusarjan pohjalta määritetyissä hakkuun laskennallisissa ajaneikeissä (KUVIO 26) ei ollut dramaattista eroa ranka- ja kokopuumenetelmien välillä. Vienti- ja siirtoajat olivat melko vakiot. Ainespuurunkojen käsittely sujui kenttäkoekokemusten pohjalta jouhevammin rankamenetelmässä. Kokopuumenetelmässä ainespuurunkojen käsittely vie hieman kauemmin aikaa, syynä on latvakappaleen loppukäsittely. Karsimatonta latvaa on hankalampi kuljetella jäävän puuston seassa kourakasalle kuin karsittua. Yksittäisiä energiarunkoja tehdessä kokopuumenetelmä on nopeampi.



KUVIO 26. Hakkuun laskennalliset ajanmenekit runkoa kohti tutkituilla menetelmillä.

Yksittäisten runkojen käsittelyajanmenekistä (KUVIO 27) käy ilmi, että rungon koon kasvaessa rankana käsittely on kokopuumenetelmää nopeampi vaihtoehto. Pienillä rungoilla kokopuuna käsittely on vaivattomampaa, kun ei tarvitse sahauksen jälkeen kuin tiputtaa runko kouraisutaakkaan. Poikkeustapauksina kookkaammat energiarungot, jotka eivät kelpaa ainespuuksi, ne joudutaan katkaisemaan kahteen osaan, jotta metsäkuljetuksessa niiden käsittely on helpompaa. Isommilla rungoilla käsittelyaika kasvaa kokopuumenetelmässä jyrkemmin verrattuna rankaan, tämä selittyy sillä että järeimmillä rungoilla oksat paksunevat ja etenkin pitkäköjen latvakappaleiden liikuttelu on vaivalloista pystypuiden seassa verrattuna karsittuun latvaan. Karsittuna rankana hakkuu sujui koealalla todella vaivattomasti järeilläkin rungoilla. Menetelmien keskimääräiset tuottavuudet tällä työmaalla olivat käytännössä samansuuruiset ainespuun osalta, sitä syntyi noin $4 \text{ m}^3/\text{h}$ (ranka 4,0, kokopuu 3,9). Latvaenergiapuun tuottavuus karsittuna rankana tehtäessä on keskimäärin n. $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$ ja vastaavasti karsimattoman latvaenergian tapauksessa n. $1,9 \text{ m}^3/\text{h}$. Erilliskäsiteltävillä energiarungoilla tuottavuus rankana on n. $1,8 \text{ m}^3/\text{h}$ ja kokopuuna n. $2,1 \text{ m}^3/\text{h}$.



KUVIO 27. Runkojen käsittelyajanmenekki ranka- ja kokopuumenetelmällä.

Työskentely onnistui erittäin hyvin molemmilla menetelmillä. Huomionarvoista on, että vaikka käsiteltiin merkittävä määrä suhteellisen pieniäkin runkoja, niin teräketju ei lähtenyt hakkuun aikana kertaakaan pois päältä. Kokopuumenetelmässä oleellista oli huomata, että kokopuukappaleiden käsittely onnistui paljon paremmin tiltin asetuksia muuttamalla. Tässä menetelmässä on helpompi liikutella kokopuuta pystyasennossa metsän seassa ja viedä se energiataakalle, kuin jos se sahauksen jälkeen heti kaatuisi. Karsimatonta tavaraa tehdessä on fiksumpaa käyttää tilityä, niin että puu pysyy pystyasennossa sahauksen jälkeenkin. Tällä tavoin ehkäistään huomattavassa määrin jäävän puuston seassa tapahtuvaa ”räpiköimistä”

Hakkuutyön käyttötuntikustannuksena Logbearilla on käytetty yrittäjän ilmoittamaa 65 €/h (ALV 0). Rankamenetelmässä ainespuurunkoja hakattaessa hakkuukustannus tällä kohteella oli keskimäärin 12 €/m³. Vastaavasti kokopuumenetelmässä ainespuuhakkuun kustannus oli 11 €/m³. Tuloksista voidaan todeta, että ainespuuhakkuussa tehtäessä latvaosa karsimattomana hakkuukustannus on euron verran pienempi kuin jos latva karsittaisiin. Käytännössä ajankäytön kannalta on aivan sama käsitteelläkö latvan vai ei, lisäkertymä tulee tavallaan kuin kaupan päälle, latvaan ei kohdistu erilli-

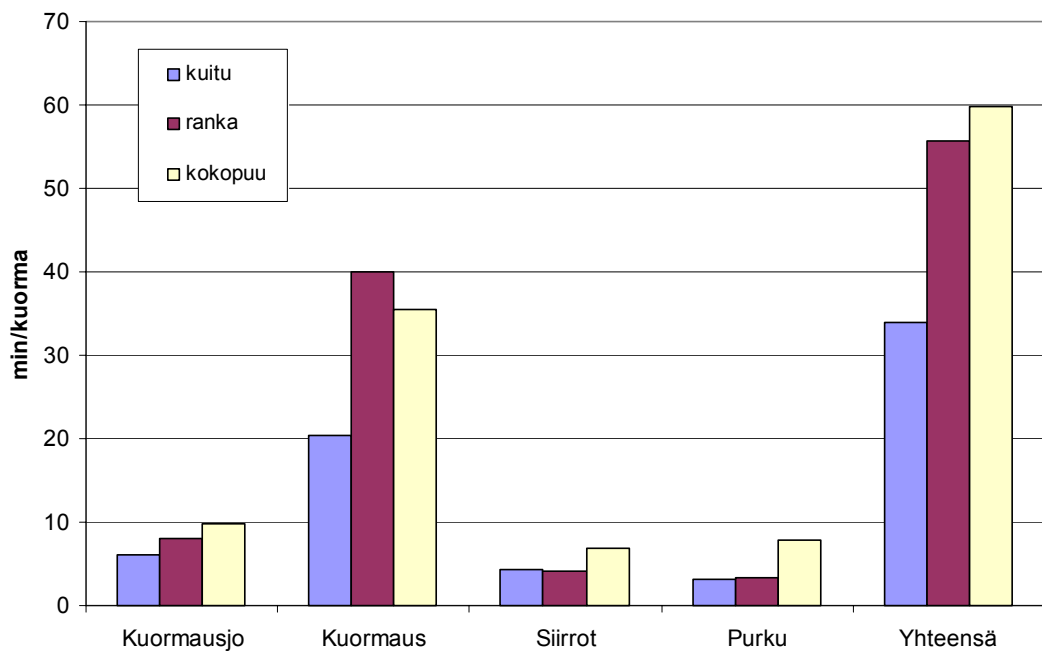
siä työvaiheita kun viennit ja siirrot jo sisältyvät toimenpiteeseen. Erillisillä energiaringoilla tilanne on aivan toinen; ”tikkupuita” käsitellessä kustannukset nousevat kohtuuttoman suuriksi, rankamenetelmässä hakkuukustannus on pyöreästi 35 €/m³ ja kokopuuna tehtäessä 31 €/m³. Tulosten perusteella alle ainespuukokoisten runkojen tekeminen karsimattomana on hakkuukustannuksiltaan neljä euroa halvempaa kuin rangaksi hakkaaminen. Energiapuu kannattaa siis loppujen lopuksi tehdä karsimattomana, niin säästää kustannuksissa ja kertymä on suurempi. Toisessa vaakakupissa karsittuna tekemistä puoltaa ravinteiden jääminen metsään ja rankojen helpompi käsittely ajovaiheessa. Kannattaa kuitenkin myös huomioida kohteen maasto-oloja, painavammilla koneilla pehmeillä pohjilla työskenneltäessä lienee varsin perusteltua karsia oksat ajouralle painumien ehkäisemiseksi.

Metsäkuljetus

Puiden ajo Logbearilla onnistui kohteella, uppoamisia ja pahoja ”rypemisiä” ei tapahtunut ojien ylityksissäkään. Kuviossa 28 on esitetty työmaan metsäkuljetuksen ajanmenekit työvaiheittain eri tavaralajeilla. Kuitukuorman ajoi eri kuski kuin energiapuukuormat. Energiapuukuormilla työtahti oli verkkaisempi ja siten tulokset eivät täysin vastaa koko totuutta, vaan koneella päästään parempaan tuotokseen. Kuitukuorman kuski oli otteissaan rivakampi. Sekä rankojen että kokopuiden ajossa oli omat erityispiirteensä. Rankojen osalta korkea kuormausajanmenekki selittyy sillä, että kouraisutaakat olivat pieniä, minkä johdosta pahimmillaan jouduttiin tarttumaan ja nostelemaan kuormaan vain paria-kolmea rankaa kerrallaan. Lisäksi muutamat rangat olivat suhteellisen lyhyitä ja niiden asetteleminen kuormaan oli paikoin vaivalloista. Pienet taakat lyhyillä rangoilla aiheuttavat sen, että ne ovat sikin sokin ja putoilevat sekä sojottavat kuormasta. Kokopuulla kuormausaika lisää paikoin pitkien energiakappaleiden nostelemien kyytiin. Puutavarakouralla tilityä ei voitu hyödyntää pystyasennossa ja jäävän puuston seassa pitkien kokopuukappaleiden käänteleväminen ei oikein onnistu.

Kuitu- ja rankakuorman aineistot kerättiin saralta B ja siten kokopuukuorman korkeampi siirtoajanmenekki selittyy sillä, että kuvio oli pidemmän ajomatkan päässä, lisäksi täydellä kuormalla yhdessä ojan ylityksessä oli hiukan vaikeuksia, mikä lisäsi kokonaisaika. Kokopuukuorman korkeampi kuormausajon ajanmenekki johtuu siitä, että kuorman perässä oli ylitettä pitkien kokopuiden ansiosta. Tämän seikan takia, joutuu etenkin kaarteissa kikkailemaan, ettei huiski liikaa jäävien puiden runkoja. Kokopuilla oli myös korkein kuorman purkamisen ajanmenekki. Eniten tähän vaikutti

varastopaikka, puut kuormattiin tieltä ojan päälle ja ojan toisella puolella alkoi metsä. Täten ongelmia aiheutti se, miten saada pitkien kokopuukappaleiden latvoja sopimaan jäävän puuston sekaan. Purku oli sen takia vaivalloista. Kuormausajoissa on mukana kuormien järjestelyyn kuluneet ajat, joita tarvittiin etenkin energiapuukuormilla. Kokopuu ei tiivistynyt ja rankoja jouduttiin asettelemaan kuormaan paremmin. Saatujen tulosten valossa tämäntyyppisellä kohteella olisi kuitu ehdottomasti puitava energiapuuksi. Sitä kautta metsäkuljetus onnistuisi paremmin ja se olisi tuottavampaa. Nyt käytetyllä menetelmällä energiapuiden ajo on aivan liian kallista.



KUVIO 28. Metsäkuljetuksen ajanmenekit työvaiheittain eri tavaralajeilla.

Energiapuukuormien ollessa pinossa niistä laskettiin kalikoitten kappalemäärä ja kerrottiin se myöhemmin keskikoolla ja verrattiin tulosta pinomittaustulokseen. Tätä kautta saatiin osviittaa ovatko nykyiset yleisesti käytetyt energiapuun kiintotilavuuskertoimet tällä kohteella käyttökelpoisia. Rangan osalta kiintotilavuusprosentiksi saatiin 39 %, mikä on lähellä ohjearvoa ja siten ihan käypä korjauskerroin. Kokopuulla sen sijaan kiintotilavuusprosentiksi saatiin 13, kun yleisesti kokopuun pinomitan kehystilavuuden korjauskerroin on ohjeissa ollut 25 %:n luokkaa. Pieni määrä ohutta

kokopuuta ei tiivisty yhtään, joten normaali kerroin 25 % on liian suuri oikean tuloksen määrittämiseksi, jos puumäärä on hyvin pieni.

4.2.3 Korjuujälki

Tutkimusalalta luettiin korjuuvauriot hakkuun jälkeen ennen metsäkuljetusta ja uudemman kerran kun puut oli ajettu koealalta pinoon. Tällä kalustolla korjuuvauriot jäivät varsin vähäisiksi. Karsimattoman energiapuun kuviolla vaurioita oli enemmän, mikä vahvisti aiempaa käsitystä siitä, että kokopuuna korjuussa vaurioita syntyy herkemmin, johtuen pidempien ja oksaisten energiakappaleiden käsittelystä. Vaikka kohteella työskentely tapahtui pehmeällä pohjalla, niin kummallakaan koepalstalla ei havaittu ajourapainauksia hakkuun jäljiltä. Rankamenetelmän kuviolla runkovaurioita oli hakkuun jäljiltä 0,58 %, juurivaurioita ei ollut syntynyt. Metsäkuljetusosiossa vaurioita tuli enemmän kuin hakkuussa, juurivaurioprocentiksi muodostui 0,39 ja runkovaurioprocentiksi 0,96. Kokonaisvaurioprocentiksi tällä alalla muodostui 1,93, josta hakkuun osuus oli 0,58 % ja metsäkuljetuksen 1,35 %. Ajourapainauksien osuus puiden ajamisen jäljiltä oli 2,35 % ajouraverkoston pituudesta. Verrattuna yleiseen tasoon, korjuujälki oli erittäin hyvä. Valtakunnallisesti vaurioitten määrä on ollut Tapion selvityksen mukaan 2,8 % (runkovauriot 2,3 % ja juurivauriot 0,5 %), täysin koneellisesti korjatuissa kohteissa vaurioiden määrä on ollut keskimäärin 3,1 % runkoluvusta (Ranta 2004, 4). Energiapuuharvennuskohdeilla puustovaurioita on ollut keskimäärin 7 %:ssa rungoista (Äijälä 2004, 12).

Kokopuumenetelmän kuviolla juurivaurioita ei ollut aiheutunut lainkaan mutta kokonaisuutena vaurioita oli syntynyt hiukan enemmän kuin rankamenetelmässä. Hakkuussa runkovauriota oli 1,10 % ja ajossa 2,19 %. Tälle alalle kokonaisvaurioprocentiksi muodostui siis 3,29 %, mikä on varsin lähellä yleistä tasoa. Metsäkuljetuksessa syntyneiden ajourapainauksien osuus oli 2,58 % ajourien pituudesta. Verrattaessa urapainauksia viime vuosien yleiseen tasoon, molempien menetelmien osalta tulos on erittäin hyvä, varsinkin kun muistetaan, että korjuu tapahtui suolla. Sekä ranka- että kokopuumenetelmän kuvioilla painumat olivat lähinnä syntyneet kaarteissa, mikä on ymmärrettävää kun kyseessä on runko-ohjattava telakone. Ajouraleveys jäi tällä kalustolla alle kolmen metrin. Keskimääräinen uraleveys karsitun energiapuun koealalla oli 29,0 desimetriä ja karsimattoman energiapuun alalla 29,6 desimetriä. Verrattaessa

puuston tiheyteen (jääneitä ”tikkupuita” ei huomioitu) voidaan todeta, että käytännössä kohteella ei voida katsoa olevan ajouria ollenkaan, sillä ajourien keskimääräinen leveys on pienempi kuin jääneiden runkojen etäisyys toisistaan. Kuviossa 29 on näkymä koealalta hakkuun jälkeen.



KUVIO 29. Tutkimustyömaa hakkuun jäljiltä.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

5.1 Talviaikainen toteutus

Pyöräkuormaaja-alustainen hakkuukone soveltuu hyvin pieniläpimittaisiin harvennuskohteisiin, järeimmillä rungoilla käsittelyajat kasvavat huomattavasti. Valtran hakkuukoneella sen sijaan kookkaampienkin runkojen käsittely onnistuu paremmin. Latvaenergiapuu-menetelmän käytöstä hakkuumiehillä on vankkaa kokemusta ja se on heidän yleinen työskentelymenetelmänsä. Tämän tyyppisillä kohteilla näillä miehillä ja koneilla latvaosan hakkaaminen energiakäyttöön on suositeltavaa pelkän ainespuuhakkuun sijasta, jos energiapuulle on markkinoita.

Erillisiin alle ainespuukokoisiin runkoihin tarttuminen ja käsittely erikseen on hiukan kyseenalaista urakoitsijan kannalta korkeista kustannuksista johtuen. Vaikka kuituenergiapuumenetelmässä saadaankin eniten energiapuuta talteen, niin vähäisen ainespuukertymän johdosta metsänomistajan tili jää laihaksi. Lisäksi soilla kasvavat puut eivät välttämättä ole laadultaan kummoisia, joten energiapuuksi menisi KUEP-menetelmässä luultavasti huomattavan järeitäkin runkoja, jotka eivät täytä tukin laatuvaatimuksia. Lisäksi pitkien rankojen kanssa temppuilu lisäänee pystyputten vaurioriskiä. Kuitupuun hakkaaminen energiapuuksi puoltaisi paikkaansa ehkä sellaisissa hoitamattomissa metsissä, joissa kuitupuun osuus on vähäinen. Yleisenä suosituksena on pidetty, että jos kuitukertymä jää alle 20 m³/ha (Airaksinen, Alakangas, Alanen, Kainulainen, Puhakka, Siponen & Soini 2001, 13), on kannattavampaa korjata koko leimikko energiapuuksi.

Jos kuitu otetaan talteen energiapuuna, metsänomistajille tulisi maksaa kantorahaa energiaksi siirtyvän kuituerän suuruuden mukaan. Metsänomistajat tuskin mielellään luopuvat kuidusta täysin ilmaiseksi. Tilanne on toinen, mikäli metsänomistaja myy itse energiapuun lämpölaitokselle. Käytännössä tällöin kannattaa aina pistää kuitu energiaksi, sillä kuutiometriä kohden saatava noin kolmenkymmenen euron (haketetuna n. 20 €) hinta on merkittävästi enemmän kuin kuidusta maksettava kantohinta. Haketus- ja kaukokuljetuspalveluidenkin ostamisen jälkeen käteen jää vielä sievoinen summa. Toki lopulliseen tulokseen vaikuttaa vielä oleellisesti mille taholle energiapuun korjuutuki suunnataan, puiden korjaajalle vai energiapuun myyvälle metsän-

omistajalle. Työskentelyn kannalta pienien kuitukertymien erottelun sijaan energia-puuksi hakattuna ne nopeuttavat ja helpottavat hakkuu- ja metsäkuljetustyötä.

5.2 Sulan maan aikainen toteutus

Logbear yhdistelmäkoneella turvemaidella työskentely onnistuu hienosti. Kuormattuna-kin pintapaine on edessä vain noin 150 g/cm^2 ja perävaunussa noin 450 g/cm^2 (Logbear Oy). Koneella onnistuu puikkelehtiminen melko näppärästi ahtaistakin väleistä ilman riskiä korjuuvaurioista. Logbearin etuna on myös varmuus, olipa kesä tai talvi, niin korjuutyö onnistuu ongelmallisillakin kohteilla ympäri vuoden.

Integroidussa energiapuun korjuussa ainespuuosan jälkeisen latvan karsimatta jättäminen säästää hakkuukustannuksia euron verran kuutiometriä kohden verrattuna karsittuun tavaraan. Alle ainespuukokoisilla erilliskäsittävillä energiarungoilla rankana tekeminen osoittautui 4 €/m^3 kalliimmaksi kuin kokopuuna hakkaaminen. Joskaan, näiden keppien korjuu ei ole oikein kannattavaa ilman joukkokäsittelyä laitteita. Vertailuna joukkokäsittelyyn (TJ 1270 kouralla 745 ja Valmet 901 kouralla 945 saksi) rangan korjuukustannukset ovat olleet Metsäntutkimuslaitoksen ja Työtehosteuran tutkimuksessa 3–5 € enemmän kuin kokopuun (Heikkilä & Tantt 2004). Logbearissa olisi mielenkiintoista jatkossa kokeilla Keto Forst Energy -hakkuulaitetta vastaavilla kohteilla, koska mm. Kärhän (2004, 4) mukaan se on varsin tehokas ja kilpailukykyinen hakkuulaite ensiharvennuksien energiapuukorjuussa.

Siirtelykaatona tehtävänä alle ainespuumittaisten runkojen tekeminen tulee halvemmaksi verrattuna tutkimuksessa käytettyihin koneisiin. Tosin miestyönä tehtävässä energiapuun hakkuussa poistuman keskikoon tulisi olla Kärhän (2002, 7) mukaan yli 10 dm^3 . Energiapuiden osalta tutkimuksessa ilmeni lieviä hankaluuksia metsäkuljetuksessa. Kokopuu tulee olla katkottuna sopivaan metsäkuljetuspituuteen ja rankakasoista kannattaa pyrkiä tekemään kohtalaisen suuria, niin niitä on helpompi ja nopeampi kuormata. Tosin tämäntyyppisillä kohteilla, missä kuitukertymä on vähäinen, tulee ehdottomasti kustannusten pienentämiseksi puida kuitu energiapuuksi. Järeämpi tavara jäməköittää kourakasoja ja helpottaa myös oksineen kerätyn pienen energiapuun tiivistymistä kuormaan. Jos kokopuu on pientä, se ei tiivisty juuri ollenkaan. Pieniläpimittaisesta karsimattomasta energiapuusta tehdyn pinon kehystilavuuden

ohjearvon mukainen kiintotilavuusprosentti ei välttämättä anna likimainkaan oikeaa pinotilavuustulosta, johtuen normaalia huonommasta tiivistymisestä.

5.3 Paikalliset toimintamallit

Kyyjärven toimintamalli on tulostenkin valossa varsin onnistuneella pohjalla. Latvojen korjuu energiaksi ja kuidun korjaaminen energiapuuna on aivan järkeenkäypää toimintaa. Etuna tämäntyyppisessä pienyrittäjyydessä on, että kooltaan ja poistumaltaan pienempienkin leimikoiden teko kannattaa, toisin sanoen paikallisella kalustolla kannattaa lähteä vähän ”heikompiinkin” kohteisiin. Jos kyseessä olisi vaikka parin hehtaarin palsta, jolla poistuma on vähäinen, tekijää ei saattaisi hirveästi urakka kiinnostaa, mutta kun tehdään myös energiapuuta, kertymää saadaan lisää ja poistuma on aivan toisenlainen, niin johan rupeaa kiinnostamaan. Pienten energiarunkojen hakkaaminen on siinä mielessä perusteltua, että niitä pitää yleensäkin poistaa saadakseen hehtaarituen. ”Alikasvosräippien” suhteen suositeltava tapa toimia on kuitenkin suorittaa ennakkoraivaus miestyönä ennen varsinaista hakkuuta, varsinkin jos hehtaarituki ohjautuu metsänomistajalle.

Jos maalailtaan hiukan tulevaisuuteen, niin talvet tulevat mahdollisesti muuttumaan entistä leudommiksi ja suot eivät välttämättä kannata talviaikaankaan järin hyvin. Paikallisella kalustolla korjuu sulan maan aikaan suopohjilla on enemmän tai vähemmän kyseenalaista. Tela-alustaiselle kalustolle olisi varmasti käyttöä ympäri vuoden, esim. Logbear saattaisi pidemmän päälle osoittautua edulliseksi ratkaisuksi, samassa pakeetissa kun on sekä harvesteri että ajokone. Hinta ei ole läheskään isojen yhdistelmäkooneiden luokkaa, kuten Voutilainen (2003, 40–41) artikkelissaan toteaa.

Ravinnetappioiden osalta energiapuiden korjuussa turvemailta ei viimeisimpien tietojen mukaan ole syytä huolestua, koska tutkimusten mukaan iso osa hakkuutähteiden ravinnevaroista huuhtoutuu hakkuiden jälkeen vesistöihin, eikä jää puuston käyttöön. Energiapuumenetelmien käyttö pelkän ainespuuhakkuun sijaan tarjoaa koneyrityksille lisätyötä ja kertymää. Metsäenergian käytölle on muutenkin kovat kasvutavoitteet, lämpöyrityksyys on yleistynyt, yksityisiä lämpölaitoksia ja osuuskuntia on perustettu, mistä Kyyjärvi on malliesimerkki. Metsäenergia-alan PK-yritystoiminnan kehittämiseen tulevaisuudessa on edellytyksiä olemassa kunhan yrittäjät löytävät toisensa ja kysyntä ja tarjonta kohtaavat.

LÄHTEET

Airaksinen, L., Alakangas, E., Alanen, V.-M., Kainulainen, S., Puhakka, A., Siponen, T. & Soini, R. 2001. Hakelämmitysopas. Helsinki, Joensuu: Motiva, Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu.

Ehdotus korjuujäljen kokonaisarvosteluksi. 2004. Arvosteluohje. Metsäkeskus Keski-Suomi.

Heikkilä, J. & Tantt, V. 2004. Luento ja esitysmateriaali (Karsitun energiapuun korjuuvaihtoehdot ja kustannustekijät) Lämmöntuotanto puupolttoaineista -seminaarissa Härmän kuntokeskuksessa Ylihärmässä 30.11.2004.

Keski-Suomen metsäohjelma 2001–2005. 2001. Metsäkeskus, julkaisu 4/2001.

Kärhä, K. 2002. Nuoren metsän hoitotyön pienteknologia. Työtehoseuran julkaisuja 387. Helsinki: Tammer-Paino Oy.

Kärhä, K. 2004. Keto Forst Energy ja Valmet 945 saksi -hakkuulaitteet energiapuun hakkuussa. Metsätehon katsaus 1.

Logbear Oy. Mainosesitys.

Nuoret metsät energiapuuvarantona. 2004. [Viitattu 8.12.2004.] Puuenergian teknologiaohjelman tuloksia. <http://www.tekes.fi/julkaisut/nuoretmetsat.pdf>

Ranta, R. 2004. Harvennushakkuiden korjuujäljen tarkastukset v. 2003. [Viitattu 18.5.2004 & 19.11.2004] Tapio metsänhoitopalvelut. Raportti 16.4.2004. <http://www.metsavastaa.net/tiedostot/dokumentit/198/metsavastaa%5Fkorjuuj%5F2003%2Epdf>.

Tuet metsänhoitotöihin. 2004. Metsäkeskus Keski-Suomi. <http://www.metsakeskus.fi/ks/tukitaul.htm>.

Voutilainen, J. 2003. Ajourattoman harvennuksen vikkellä yhdistelmäkon. Koneviesti 51, 8, 36–41.

Äijälä, O. 2004. Energiapuuharvennusten korjuujälkeä parannettava. Bioenergia 1/2004, 12–13.