

KUITUPUUN KORJUU MUINA PUUTAVARALAJEINA

Tiina Kivilinna-Korhola

Opinnäytetyö
Maaliskuu 2013
Metsätalous

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tampere University of Applied Sciences

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Metsätalouden koulutusohjelma

TIINA KIVILINNA-KORHOLA:
Kuitupuun korjuu muina puutavaralajeina.

Opinnäytetyö 60 sivua, joista liitteitä 5 sivua
Maaliskuu 2013

Tutkimuksessa pohditaan kuitupuun hakkuuta muina puutavaralajeina. Leimikoista korjattavien puutavaralajien määrä on lisääntynyt tukki- ja kuitupuutavaralajeista erikoistukkeihin, pikkutukkiin, parruun sekä energiapuulajeihin. Kuitupuuta voitaisiin toimittaa energiapuuksi, jos hintaero kompensoituisi säästöinä korjuukustannuksissa. Tutkimusaineistona oli Junnikkala Oy:n erään hakkuukoneen puolentoista vuoden aikana hakkaamat pystyleimikot. Leimikoiden toteutuneet puutavaralajikertymät analysoitiin. Latvahukkapuusta kertyvän rankapuun määrän laskemista tai arvioimista selvitettiin sekä hakkuukonetiedostojen avulla että muilla menetelmillä. Tutkimuksessa hyödynnettiin Ponssen OptiOffice-ohjelmistoa sekä apterauksen tutkimisessa että latvarankapuun määrän arvioimisessa. Lopuksi tutkittiin, mikä vaikuttaa korjuukustannuksiin, kun toisaalta pikkutukki ja parru erotellaan, ja toisaalta kuitupuulajit latvarankapuineen yhdistetään sekarangaksi. Korjuukustannuksista ei voinut tehdä vertailevaan laskelmaa Junnikkalan käyttämällä korjuun hinnoittelulla. Siten korjuuseen vaikuttavia seikkoja pohditaan perustuen kahteen eri korjuun tuottavuustutkimukseen: Metsätehon konehakkuun ajankäytön tutkimus sekä Metlan sovellus ABC-mallista.

Pikkutukki ja parru ovat vakiintuneet Junnikkalan puutavaravalikoimaan. Ne kilpailevat apterauksessa kuitupuun kanssa. Simuloinnin todettiin yliarvioivan pikkutukin ja parrun määrän, joiden erottelu perustuu laatuun. Hakkuukonetiedostojen hyödyntäminen latvarangan määrän laskemisessa onnistuu. Muita tapoja arvioida latvarankapuun määrää ovat Laasasenahon taulukot ja yhtälöt, ForestCalc-ohjelmisto, Repolan biomassamallit ja METKA-maastolaskuri. Junnikkalan taksanlaskenta ei huomioi niitä tekijöitä, jotka muuttuisivat sekarangan korjuussa. Muutosta voidaan tarkastella korjuun tutkimusten perusteella. Tuottavuustutkimuksiin nojaten voidaan olettaa sekarangan korjuun olevan järkevää sopivissa kohteissa Pohjanmaalla.

Kuitupuun korjuussa kertyvän latvarankapuun määrän laskenta hakkuukoneella tai erillisellä ohjelmalla stm-tiedostojen perusteella olisi helppoa ohjelmoida. Metsätehon tutkimuksen avulla voi pohtia korjuuseen vaikuttavia seikkoja yleisesti, mutta ABC-mallia yrityskohtaisesti soveltamalla saataisiin laskettua eri puutavaralajien korjuun kustannukset. Kuitupuun korvaaminen muilla puutavaralajeilla kaipaisi uutta taksoitusta.

Asiasanat: puutavaralajit, apteraus, energiapuu, korjuukustannukset

ABSTRACT

Tampere University of Applied Sciences
Forestry Degree Program

TIINA KIVILINNA-KORHOLA:
Substitution of Pulpwood by Energywood and Other Timber Assortments.

Bachelor's thesis 60 pages, appendices 5 pages
March 2013

The purpose of this thesis was to study the substitution of pulpwood by other timber assortments. Today the amount of timber assortments has increased to several sawn timber assortments of each tree, small sawn timber, spar timber and new energywood assortments. Pulpwood could be delivered as energywood, if the difference in price was compensated in harvesting costs. The data were collected from one forest machine working for Junnikkala Oy in harvesting sites. The report sorted out how much small sawn timber, spar timber, mixed spar timber and top tree chips accumulates in logging areas as well as the amount of top tree chips that can be calculated or estimated with the forest machine files or by other techniques. This report used Ponsse's OptiOffice-software in studying bucking and in calculating the amount of top tree chips. Finally the costs change was examined when on the one hand the small sawn timber and spar timber are assorted, and on the other hand all pulpwood assortments including the top tree chips are mixed to one energywood assortment. It was not reasonable to calculate a comparison between the realized harvesting with control harvesting when using Junnikkala's pricing system. Instead the study analysed what has effect on costs by two reports about productivity in harvesting: Time used in harvesting by Metsäteho and applying activity-based costing on harvesting by Metla.

Small sawn timber and spar timber are part of Junnikkala's regular timber assortments. In bucking they compete with pulpwood. The yields of small sawn timber and spar timber are overestimated in simulation process, which does not see the quality that in reality determines assorting. It is possible to calculate the amount of top tree chips from forest machine files. There are also several other estimating models, like Laasasenaho's tables or taper curves, ForestCalc-software, Repola's biomassmodels and METKA-terrain-calculator. The findings indicate that the way Junnikkala prices harvesting is unfitted in pricing neither extra assortments nor harvesting of mixed energysparwood, because the model does not take into account those elements that have effect on productivity. But the effect can be assumed based on productivity surveys in harvesting. Harvesting mixed energy sparwood seems to be reasonable in proper stands in Northern-Bothnic.

Software that calculates the amount of top tree chips would be easy to program either into forest machines or as a separate software that reads stm-files later. Metsäteho's time use report helps to think over harvesting costs superficially, but applying activity-based costing on a company could give calculations on them. Substituting pulpwood by other timber assortments needs new type of pricing system.

Key words: timber assortment, bucking, energywood, harvesting costs

SISÄLLYS

<u>1</u>	<u>JOHDANTO</u>	<u>5</u>
<u>2</u>	<u>PUUTAVARALAJIT</u>	<u>8</u>
2.1	Ainespuu	8
2.1.1	Katkongan ohjaus	8
2.1.2	Hakkuukonemittauksen hyödyntäminen	9
2.2	Latvarankapuu	11
2.2.1	Laasasenahon runkokäyrä- ja tilavuussyhtälöt	11
2.2.2	Laasasenahon taulukot	12
2.2.3	Muita tapoja arvioida rankapuun määrää	13
<u>3</u>	<u>KORJUUKUSTANNUKSET</u>	<u>16</u>
3.1	Kustannusten tutkiminen	16
3.2	Junnikkalan taksanlaskenta	18
3.3	Hakkuun ja lähikuljetuksen tuottavuus	20
3.3.1	Konehakkuun tuottavuus	20
3.3.2	Lähikuljetuksen tuottavuus	21
3.4	Metsätehon ajankäyttö- ja tuottavuustutkimuksen mallinnus	23
3.5	ABC-malli	25
<u>4</u>	<u>AINEISTO JA MENETELMÄT</u>	<u>29</u>
4.1	Leimikot	29
4.2	OptiOfficen simulointi ja runkotietoselain	30
4.3	Latvarankapuun laskenta	31
<u>5</u>	<u>TULOKSET</u>	<u>37</u>
5.1	Ainespuun kertymät	37
5.2	Latvarankapuu	44
5.3	Korjuu	46
<u>6</u>	<u>POHDINTA</u>	<u>51</u>
	<u>LÄHTEET</u>	<u>54</u>
	<u>LIITTEET</u>	<u>56</u>
	Liite 1. Ainespuun kertymät leimikoissa	56
	Liite 2. Latvarankapuun määrä	58
	Liite 3. Sekarangan kertymää ja korjuun hinnoittelua	59

1 JOHDANTO

Hakkuissa korjattava puu jaotellaan perinteisesti tukki- ja kuitupuuksi. Nämä jakaantuvat useiksi eri puutavaralajeiksi puulajin, tukin laadun ja ostajan valmistusprosessien mukaisesti. Viime vuosikymmeninä leimikoilta kerättävien puutavaralajien määrä on kasvanut perinteisistä kuudesta (mät, mäk, kut, kuk, kot, kok) usein yli kymmeneen, kun edellisten lisäksi erotellaan eri tuotantolaitosten mitta- ja laatuvaatimusten mukaisesti useita erilaisia mäntytukkeja, vaneritukkia, pikkutukkia, parrua, tuoretta ja kuivaa kuusikuitua. Yksittäisen puutavaralajin korjuu voidaan kyseenalaistaa, jos korjuukustannukset ovat suuret, kertymä vähäistä ja puutavarasta saatava hinta suhteessa korjuukustannuksiin on riittämätön.

Kuitupuuta jatkojalostavilla metsäteollisuusyrityksillä on myös sahoja, joten niitä kiinnostavat kaikki puutavaralajit. Pelkästään sahateollisuutta harjoittavat yritykset puolestaan haluavat ostaa tukkia, mutta hakkuissa kertyy samalla huomattava määrä kuitupuuta. Sitä tulee tukkien kuitupuuosasta, kuitupuurungoista päätehakkuukuvioilla sekä tukkileimikoiden mukana tulevista harvennuskuvioista. Hyvälaatuisen pikkutukin ja parrun erottelulla kuitupuusta lisätään sahapuun määrää ja vähennetään kuitupuuta. Sahat eivät itse jatkojalosta kuitupuuta, vaan joutuvat myymään sen. Kuitupuu on edelleenkin energiapuuta arvokkaampaa, mutta hintaero on kaventunut. Lisäksi joiltain hakkuilta kertyy kuitupuuta varsin pieni kuutiomäärä, jolloin korjuukustannukset nousevat korkealle. Mikäli kuitupuu korjattaisiinkin sahattavina erikoispuutavaralajeina ja energiapuuna, voitaisiin kenties kannattavuutta parantaa.

Energiapuun korjuun tutkimukset ovat painottuneet nuoren metsän hakkuihin, joissa on vähän ainespuun kertymää, mutta toisaalta myös alamittaista kaadettavaa puuta sekä kertymää latvoista. Hakkuille on usein metsänhoidollista tarvetta, mutta ne eivät houkuttele puun ostajia. Korpilahti (1995) totesi sellunvalmistuksen kannattavuuden heikentyvän minimiläpimitan pienetessä 4 cm:iin. Ensiharvennuspuun korjuukustannukset ovat noin kolminkertaiset päätehakkuiden kuitupuun korjuukustannuksiin, joten sellun valmistaminen on edullisempaa myöhemmistä hakkuista saadulla kuitupuulla. (Korpilahti 1995, 6.) Sellun laatu on huonointa latvan nuorpuulla. Siten paperiteollisuuden tavoitteena ei ole ainespuun latvaläpimitan pienentäminen eikä järeiden leimikoiden kuitupuun hakettaminen.

Kärhä ym. vertasivat energiapuun korjuuta kokopuuna, integroituna kokopuuna ja integroituna rankapuuna ensiharvennuksessa. Rankapuun korjuun eduksi todettiin edullisemat kustannukset lähi- ja kaukokuljetuksessa sekä haketuksessa. Rankapuun kaukokuljetukseen sopii tavallinen puutavara-auto, sen murskaaminen on tehokasta käyttöpaikalla ja siitä syntyvä hake on laadukasta. Rankapuun korjuu sopii myös pehmeille maille, joissa oksia tarvitaan ajourille. Rankapuun korjuu sinänsä on kokopuuta kalliimpaa karsimiseen kuluvan ajan vuoksi. (Kärhä 2010.)

Tässä selvityksessä tarkastellaan vain rankapuuosan korjuuta energiapuuna, ei hakkuutähteiden, kokonaisen latvuksen eikä kantojen korjuuta. Metlan tutkimuksessa huomattiin hakkuutähteiden korjuun vievän ravinteita kasvupaikalta moninkertaisesti runkopuun korjuuseen verrattuna, neulasten mukana menetetään varsinkin typpeä, joka on kangasmailla kasvua rajoittava tekijä (Tamminen 2012). Asiantuntijoiden kiinnostus energiapuun korjaamiseen rankana kokopuukorjuun kustannuksella on kasvamassa (Leppistö 2012). Tähän vaikuttaa myös se, että hakkuutähteiden korjuu päätehakkuilta vaatii erillisen lähikuljetuksen hakkuutähteiden kuivumisajan jälkeen ja lisäksi korjuussa tarvitaan erikoiskalustoa autokuljetuksessa, paalaimia ym. Junnikkalan edustajan kanssa päätettiin jättää oksamassan arviointi selvityksen ulkopuolelle. (Hintsala 2012.)

Metsänhoitoyhdistys Salometsä on jo pitkään hakannut leimikoita itse kehittämällään tyylillä, jossa tukkipuu hakataan erikseen ja eri puulajien kuitupuu, latvahukkapuu ja oksat yhdistetään yhdeksi puutavaralajiksi. Pikkutukkia tai parrua ei ole eroteltu. Hakkuussa on karsittu latvaa kuljetuksen tiivistämiseksi samalla kun hakkuukone on käsitellyt rungon muutenkin, mutta on myös katkottu latvoja karsimatta. Korjuu on ollut tehokasta konehakkuun ja metsäkuljetuksen sujuessa joutuisasti, mikä puolestaan on nostanut energiapuusta maksettavan kantohinnan jopa yli kuitupuun hinnan. Tavanomainen hakkuun taksarakenne on heillä todettu huonosti sopivaksi integroituu energiapuun korjuuseen järeissä leimikoissa. (Pitkänen 2012.) MHY Salometsän hakkuista ei ole tutkimuksia eikä muutakaan eri puulajit sekarankana korjaavan ja latvarangan talteen ottavan hakkuun tutkimusta löytynyt. MHY Salometsän hakkuutapa on kuitenkin yksi esimerkki kuitupuun korvaamisesta, heidän tapauksessaan energiapuulla.

Tutkimuksen aineisto on saatu Junnikkala Oy:n yhdeltä hakkuukoneelta, ja käsittää sen reilun vuoden aikana hakkaamien päätehakkuiden ja myöhempien harvennusten leimikoita. Junnikkala Oy on Pohjois-Pohjanmaalla toimiva perheyrittys, jolla on sahat Kalajoella ja Oulaisissa. Yhtiön vuotuinen puunhankintakapasiteetti on noin 1 milj. m³, josta 600 000 m³ on pystykauppoja. Tukkia hankitaan yhteensä noin 500 000 m³.

Selvityksessä tarkastellaan kuitupuun korjuuta muina puutavaralajeina, joita ovat toteutuneissa hakkuissa pikkutukki ja parru sekä pohdinnan alla olevassa hakkuutavassa sekaranka, jossa eri puulajien kuitupuut latvoineen on yhdistetty yhdeksi puutavaralajiksi. Hakkuukoneelta hankittiin aineistoa toteutuneista hakkuista ja selvitettiin eri puutavaralajien kertymiä. Kokeillaan myös aineiston simulointia erilaisella apteerauksella, jotta saisi vertailua kuitupuun kertymästä ilman pikkutukkia ja parrua, toisaalta niiden kanssa. Sitten arvioidaan paljonko latvahukkapuusta kertyisi energiapuuta. Selvitetään latvarangan määrän voi arvioimista hakkuukonetiedostojen perusteella tai toisaalta Laasasenahon taulukoiden ja yhtälöiden tai uudempien menetelmien avulla. Lopuksi tarkastellaan, miten vaikuttavat korjuun kustannuksiin pikkutukin ja parrun erotteleminen ja toisaalta kuitupuun korjaaminen energiapuuna siten, että eri puulajien kuitupuut korjataan sekarankana. Tarkastellaan korjuun hinnoittelua Junnikkalan oman taksoituksen avulla. Pitkällä tähtäimellä korjuun kustannustaso muotoutuu työn tuottavuuden mukaan. Tuottavuutta on tutkittu konehakkuussa alalla paljon viitatussa Metsätehon konehakkuun ja metsäkuljetuksen aikatutkimuksessa (Kuitto, Keskinen, Lindroos, Oijala, Rajamäki, Räsänen & Terävä 1994) sekä uudemmassa Metlan puun hankintaan soveltamassa toimintoperäisessä kustannusten laskentatutkimuksessa (Nurminen, Korpunen & Uusitalo 2009).

2 PUUTAVARALAJIT

2.1 Ainespuu

2.1.1 Katkonnan ohjaus

Suomessa käytetään pääasiassa pohjoismaista koneellista puutavaralajimenetelmää. Siinä puun kaato, kasaus ja karsinta tehdään hakkuukoneella ja ajo kantavalla kuormatraktorilla. Sama korjuuketju toimii pääte- ja harvennushakkuilla. (Uusitalo 2003, 57.)

Hakkuukoneissa on mikrotietokonepohjainen tieto- ja viestintäjärjestelmä. Se voidaan jakaa koneen ja puunhankinnan ohjausjärjestelmiin. Puunhankinnan ohjausjärjestelmällä tarkoitetaan niitä puunkorjuun sovelluksia, joilla kone liitetään puunhankintayhtiön logistiseen ohjausjärjestelmään. Hakkuukoneen katkonnanohjauksella leimikoista saadaan tarvittavia puutavaralajeja oikeassa suhteessa. Lisäksi tukkien katkontaa ohjataan oikean pituisiksi ja laatusiksi. Ennen hakkuiden aloittamista metsäkonttorilta siirretään hakkuukoneelle työmaaohjeet ja katkontaohjeet. Hakkuukoneen ja puunhankintayhtiön väliseen tiedonsiirtoon on kehitetty standardimuotoiset (StanForD 1997) tiedostot, jotka määrittelevät tiedostojen tietosisällön ja rakenteen. (Uusitalo 2003, 147 – 150.)

Apt-tiedosto on apterauksen ohjaustiedosto. Se sisältää puutavaralajit ja niiden mitat sekä ohjeet rungon katkomiseksi, esimerkiksi jotkut tukkilajit tehdään tyvestä, kun taas toisia ei saa tehdä tyvestä. Annettuaan puutavaralajien mitat käyttäjä ohjaa hakkuuta arvottamalla puutavaralajit hinta- ja jakaumamatriiseilla.

Rungon katkonnan ohjauksessa säädellään rungon jakoa eri puutavaralajeihin ja ohjataan pölkkyjen läpimitta-pituus -jakaumaa puutavaralajien sisällä. Arvomatriisi eli hinतालista määrittelee tietyt mitat omaavan pölkyn arvon suhteessa muihin saman puutavaralajin pölkkyihin. Kullakin arvomatriisilla on perushinta, joka vaihtelee eri katkontayhdistelmillä $\pm 10\text{--}20\%$. Muut arvomatriisit hinnoitellaan niin, etteivät kahden eri puutavaralajin arvomatriisit mene päällekkäin. (Uusitalo 2003, 156.)

Hintamatriisissa annetaan kullekin puutavaralajille suhteellinen hinta, jolloin hakkuukone ehdottaa katkontaa niin, että puu katkotaan korkeimmat arvot tuottaviksi pölkkyiksi.

Esim. kuidun hinnan ollessa 20 - 90, arvo 90 on merkittynä toivotuille pituuksille ja arvo 20 sallitulle, mutta ei tavoitellulle pituudelle. Parrun arvoksi voidaan antaa 110 - 125. Näin valintatilanteessa kone ehdottaa parrun katkaisua kuitupuulle, joka täyttää parrun mitat. Oletetaan, että mäntyparrun pituus on 310 tai 340 cm ja mäntykuidun 255 - 495 cm. Syntyvät tilanteita, joissa parrun katkaisu puun latvassa jättäisi ainespuuta latvahukkapuuksi. Katkaisu kuitupuuksi ottaa puutavaran paremmin talteen, mutta toisaalta parru olisi arvokkaampaa kuin kuitupuu. Puutavaralajin suhteellinen hinta nousee vastaavasti aina kun puutavaralajin todellinen arvo nousee: pikkutukki arvotetaan 185 - 200, yleistukki 320 - 355, muu tukki 415 - 460 ja lopulta arvokkain oksaton järeä tyvitukki 440 - 460.

TAULUKKO 1. Hintamatriisin suhteelliset hinnat mänyllä erässä apt-tiedostossa

MÄNNYN PUUTAVARALAJIT			
Puutavaralaji	Latvaläpimitta	Pituus	suhteellinen arvo
Oulatyvi	152 – 197	380, 415, 512	440 – 460
Oulatukki	153 – 200	371, 400 – 520	415 – 460
JUN150	153 – 600	371, 400 – 580	320 – 360
pikkutukki	150 – 170	315	200
”-	123 – 140	370 – 520	185 – 200
parru	112 – 130	310, 340	110 – 125
Kuitu 500	63 – 700	255 – 495	70 – 90
”-	63 – 700	255	20

Jakauma- eli tavoitematriisilla ohjataan katkontaa puutavaralajin sisällä. Se kertoo pituuksien tavoitellun jakauman eli prosentuaalisen osuuden läpimittaluokittain. (Uusitalo 2003, 157.) Arvo- ja jakaumamatriisit ovat yleensä yhdenmukaiset niin, että tavoittelumpaa pituusläpimittayhdistelmää arvotetaan arvomatriisissa sitä enemmän, mitä suurempaa osuutta siihen tavoitellaan.

2.1.2 Hakkuukonemittauksen hyödyntäminen

Tutkimuksessa tarkasteltiin hakkuukoneelta haettuja leimikkotietoja. Prd-, apt- ja stm-tiedostot eivät ole havainnollisesti luettavissa tavallisilla toimisto-ohjelmilla. Niiden tietojen hyödyntäminen vaatii muita ohjelmia, kuten Ponsen OptiOffice, John Deeren SilviA tai erilliset purkuohjelmat.

Hakkuukonemittauksessa puutavara mitataan hakkuun yhteydessä koneen omalla mittalaitteella. Yhdellä mittauksella saadaan työmitta koneellisen korjuun taksan määrittämiseksi sekä luovutusmitta metsänomistajan kantorahan määrittämistä varten. Varastojen ja materiaalivirtojen ohjaus tehostuu hakkuukonemittauksen avulla. Lisäksi asiakaskohtaisia mitta- ja laatuvaatimusten toteuttaminen on joustavaa. Mittausjärjestelmä on oleellinen osa hakkuukoneen tieto- ja viestijärjestelmää seurattaessa tuottavuutta ja katkonnan ohjausta. (Uusitalo 2003, 151 – 152.)

Maa- ja metsätalousministeriön ohjeissa määrätään, että hakkuukonemittauksessa puun tilavuus lasketaan pätkittäin (< 30 cm) katkaistun kartion tai lieriön kaavaa soveltaen. Rungon tai puutavarakappaleen tilavuus saadaan laskemalla yhteen pätkittäin kuutioitujen osatilavuuksien summa. Alkuperäisistä mitta-arvioista johdetaan runkokäyrä, josta on tasoitettu arvojen äkilliset muutokset, esim. oksakyhmyjen kohdalla. Kuutioinnissa puun läpimitta-arvot luetaan runkokäyrältä. (Uusitalo 2003, 153.)

Prd-tiedosto on tuotostiedosto, jonka hakkuukone muodostaa hakattujen runkojen mittaustiedoista ja katkonnasta. Se toimii pohjana varsinaiselle mittaustiedostukselle ja sitä käytetään koneen urakointikorvauksen laskennassa, eli työmittauksessa, sekä operatiivisen puunhankinnan ohjauksessa. (Uusitalo 2003, 151.)

Prd-tiedosto on siis yhteenvetotiedosto hakkuussa tuotetuista puutavaroista. Sen mittaustiedostuksena tulostettavasta osasta selviää myyjän, ostajan ja kuljettajan nimi, hakkuutapa, leimikon aloitus- ja lopetuspäivämäärät, koneen ja mittalaitteen tyyppi sekä leimikon tunnistetieto. Se muodostetaan myyjän nimen, leimikon aloituspäivämäärän sekä lopetuskellonajan mukaan, esimerkiksi Matti_Mononen-0101112-191053.prd. Prd-tiedosto kertoo tavaralajeittain kappalemäärät, juoksumetrit ja kuutiot. Samoin näkyvät sekä puulajeittain että runkolajeittain runkoluvut, pölkymäärä, juoksumetrit, keskijäreys ja kokonaiskuutiomäärä. Puulajeittain näkyvät myös keskiläpimitta sekä tukkirunkojen tukkiprosentti. Prd-tiedosto sisältää myös puulajeittain tarkat tiedot katkotuista pölkkyistä pituus-paksuus -taulukossa, mutta tätä osaa ei yleensä tulosteta.

Stm-tiedostot kertovat runkokohtaisia mittaustietoja. Kone mittaa katkottavan puun paksuutta 10 cm välein ja tallentaa tiedot sekä katkaistut pölkkyt pituuksineen puu- ja puutavaralajitunnuksilla. Stm-tiedostojen nimissä on päiväys, mutta ei leimikon tunnus-tietoja myyjän tai hakkuun ajankohdan mukaan.

Runkotiedostoja hyödynnetään tutkimuksissa sekä katkontaohjeiden testaamisessa katkontasimulaattorissa, kuten esim OptiOfficen simulaattorissa. Stm-tiedostoista voidaan muodostaa laajojakin runkopankkeja, joita voidaan simuloida erilaisilla katkonnan ohjauksilla. Esimerkiksi vaihtoehtoisissa apteissa toisessa on mukana tukki ja kuitu ja toisessa lisäksi pikkutukki.

Korjattaessa kuitupuu energiapuuna, voidaan hakkuussa ottaa talteen osa hukkapuiksi menevästä latvaosuudesta. Leimikoiden ainespuukertymä saadaan hakkuukoneelta, mutta päätettyjen leimikoiden latvahukkapuista kertyvä energiapuun määrä täytyy arvioida. Ponssen mittalaitetarkkuus riittää alimmillaan 5 cm katkaisuläpimittaan asti, joka voidaan asettaa minimiksi myös apt-tiedostossa. Siten 5 cm:ä ohuempi osuus latvasta jää huomioimatta. Tällöin ei simuloinnissakaan saada ohuimman latvan tilavuutta selville. Hakkuukonetiedostoja voidaan kuitenkin hyödyntää latvasta kertyvän energiapuun arvioimiseen hakkuukonetiedostojen antamien tietojen avulla.

Prd-tiedosto näyttää keskiläpimitan ja käyttöosan pituuden puulajeittain. Lisäksi se näyttää rungon käyttöosan puulajeittain sekä tukki- ja kuiturunkojen järeyden. Näillä arvoilla voidaan kuvitella keskimääräisesti leimikkoa puulajeittain edustavat puut, joille katsotaan hukkapuun määrä taulukoista tai lasketaan se runkokäyrä- tai tilavuusyhtälöllä. Käyttöosan pituuteen täytyy lisätä latvan pituus, jotta saadaan taulukoissa käytetty koko puun pituus. Tuloksen oikeellisuus vaihtelee sen mukaan, miten hyvin valitut keskimääräisen puun arvot kuvastavat leimikkoa ja onko puun pituus arvioitu oikein. Energiapuun määrän arvioimisessa voidaan siten käyttää useita menetelmiä, joista alla esitellään muutamia.

2.2 Latvarankapuu

2.2.1 Laasasenahon runkokäyrä- ja tilavuusyhtälöt

Tilavuuden arvioinnissa käytetään nykyään useimmiten tilavuusyhtälöitä. Jouko Laasasenaho on laatinut yhteen, kahteen ja kolmeen tunnuksen pohjautuvat tilavuusyhtälöt rungon tilavuuden määrittämiseksi. (Tapion taskukirja 2008, 277.)

Tutkimusaineistossa käytettiin sataa valtakunnan metsien inventoinnin lohkoa tasaisesti ympäri Suomea vuosilta 1968 - 72. Aineisto käsitti 2326 mäntyä, 1864 kuusta ja 863 koivua. Tilavuusyhtälöiden luetettavuutta arvioitiin vertaamalla yhtälön ennusteläpimittaa todellisiin mittaustuloksiin koerungoilla, jolloin huomattiin säävyöhykkeistä koskevia eroja erityisesti männyllä, mutta kaikilla puulajeilla pienillä rungoilla. Huomattiin myös, että runkokäyrämalli antaa tarkemman tuloksen, jos esim d mitataan kohdasta $1/3 * h$ kuin kohdasta $d_{1,3}$. (Laasasenaho 1982, 73 – 74.)

Laasasenaho on kehittänyt kolmet *tilavuusyhtälöt* jokaiselle pääpuulajille, jotka ovat mänty, kuusi ja koivu. Yhtälöt eroavat niille annettujen parametrien määrässä ja vastavasti tuloksen oikeaan osumisessa. Rinnankorkeusläpimitaan $d_{1,3}$ perustuva malli antaa puulajista riippuen 17,2 – 18,8 % keskivirheen. Rinnankorkeusläpimitaan $d_{1,3}$ ja pituuteen h perustuvien mallien keskivirheet ovat 7,2 – 8,5 %. Rinnankorkeusläpimitaan $d_{1,3}$, pituuteen h ja yläläpimitaan d_6 perustuvien mallien keskivirheet ovat kuusella 3,4 % sekä männyllä ja koivulla 3,5 %. (Tapion taskukirja 2008, 277.) Esimerkiksi kolmen mittaustunnuksen tilavuusyhtälö männylle:

$$v = 0,268621 * d^2 - 0,0145543 * d^2 * h - 0,0000478628 * d^3 * h^2 + 0,000334101 * d^2 * h^2 + 0,0973148 * (d^2 + d * d_6 + d_6^2) + 0,0440716 * d_6^2 * (h - 6) \quad (1)$$

jossa h = puun pituus, d = rinnankorkeusläpimitta ja d_6 = yläläpimitta

Runkokäyräyhtälöä voidaan käyttää tilavuusyhtälöiden sijasta. Se ilmaisee rungon läpimitan eri korkeuksilla. Runkokäyräyhtälö perustuu puulajiin, pituuteen, rinnankorkeusläpimitaan, metsikkötunnuksiin. (Tapion taskukirja 2008, 278.) Laasasenahon runkokäyräyhtälön avulla voidaan laskea halutun muuttujan suuruus (jokin läpimitta tai pituus), kun tunnetaan muut muuttujat (Laasasenaho 1982, 73).

2.2.2 Laasasenahon taulukot

Puiden tilavuuden arvioinneissa käytetään laajalti Jouko Laasasenahon taulukoita, joissa pääpuulajeille on merkitty tilavuus läpimittaluokittain useille pituuksille. Tapion taskukirjasta löytyvät myös Laasasenahon taulukot männyn, kuusen ja koivun tukki- ja kuitupuun osuuksista prosentteina rungon tilavuudesta. Taulukot antavat osuudet täysinä pro-

sentteina perustuen rinnankorkeusläpimittaan ja pituuteen. Tukki- ja kuitupuun ulkopuolelle jäävä osuus on latvahukkapuuta. Taulukon mukaan latvahukkapuun osuus on yli 20 cm:n havupuilla 2 % muuttuen vain silloin tällöin prosenttien pyöristyksistä johtuen johonkin suuntaan. Pienemmissä läpimitoissa hukkapuuosuus on suurempaa, kasvaen myös läpimittaluokan sisällä puiden pidentyessä. (Tapion taskukirja 2008, 284 - 286.)

Hukkapuun osuus on Laasasenahon taulukoissa laskettu latvan huippuun asti. Jos energiaranka katkaistaan 4 cm:n läpimitassa, pitää tämä osuus erottaa taulukon antamasta luvusta. Tapion taskukirjassa esitetyissä Laasasenahon taulukossa ei mainita ainespuuosan latvaläpimittaa.

Laasasenahon tutkimuksista löytyy myös taulukot latvahukkapuulle. Ne perustuvat kolmen mittaustunnuksen tilavuuskaavoihin (Laasasenaho 1983, 3). Taulukoiden käyttöalueena on koko Suomi. Männylle, kuuselle ja koivulle on annettu puun läpimittaan ja pituuteen perustuva latvahukkapuun tilavuus litran kymmenesosan tarkkuudella latvaläpimitan ollessa kuoren alta 5, 6 tai 7 cm. (Laasasenaho ym. 1983, 80 - 88.)

2.2.3 Muita tapoja arvioida rankapuun määrää

Muita rankapuun määrän arvioimisen menetelmiä ovat ainakin METKA-maastolaskuri, ForestCalc-ohjelmisto ja Repolan Biomassamallit.

METKA-maastolaskuri laskee kokopuun ja rangan kertymät ja keskitilavuudet puustotunnusten avulla. Laskuri nimetään myös harvennusmetsien energiapuun kertymien ja keskitilavuuksien laskentaohjelmaksi, mikä kertookin sille suunnitellut käyttökohteet. Laskuriin syötetään koaloilta kerätyt puustotunnukset: hakkuupoistuman runkoluku, puulajisuhteet, keskipituus, keskimääräinen rinnankorkeusläpimitta, latvussuhde ja työmaan pinta-ala. Laskuri laskee kokopuun ja rankapuun määrän kuviolla sekä niiden keskitilavuuden, lisäksi hakkuupoistuman pohjapinta-alan ja puiden keskimääräisen etäisyyden. (Kymäläinen 2005, 3 – 5.)

Laskuri on toteutettu Excel-tilukkolaskentaohjelmassa. Yhdelle välilehdelle syötetään puustotunnukset ja toiselta luetaan tulos eli kertymä m³/ha. Ohjelma laskee yhteen tavanomaisen ainespuuosuuden eli kuitupuun sekä latvahukkapuun latvaan asti ilmoit-

taessaan rankapuun kertymän. Ohjelma laskee mukaan alamittaiset rungot koealatietoihin pohjautuen. METKA-maastolaskuri ei huomioi tukkipuuosuutta. Kertymissä on mukana ainespuun mitat alittavan puun huomioiminen. Menetelmä lienee kehitetty energia-puuhakkuisiin, joissa käytetään hakkuukoneessa joukkokäsittelylaitetta. Menetelmä so-
pii ennakoarviointiin, hakerankakasat mitataan myöhemmin muilla menetelmillä, esi-
merkiksi pinossa tai painon mukaan. (Kymäläinen 2010.) Mittauksessa voi myös hyö-
dyntää hakkuukoneen mittalaitetta ja tietotekniikkaa paino-otantamenetelmällä, jossa
mitataan otantapalstakasojen tilavuus hakkuukoneella ja paino kuormainvaa`alla, sitten
mitataan koko erän massa ja lopuksi lasketaan muuntoluku, jolla saadaan energiapuulle
tilavuus (Lindblad 2011). Koska tämän tutkimuksen leimikot olivat päätehakkuita ja
myöhempiä harvennuksia, ei METKA-maastolaskuri soveltunut käytettäväksi ranka-
puun määrän arviointiin.

ForestCalc-ohjelmistossa on käytössä Laasasenahon sekä runkokäyrä- että tilavuusyhtä-
löihin perustuva laskenta yksittäisen puun tilavuuden laskemiseksi. Jälkimmäistä sovel-
lettaessa voidaan apuna käyttää ryhmittäisiä puutavaramääriä, joissa on eroa esim.
maantieteellisen sijainnin mukaan. *ForestCalcissa* on myös kuviotason simulointia, joka
pohjautuu metsiköistä otettuihin koealatietoihin. (*ForestCalc* 2013, 10.) Leimikkotason
latvahukkapuun, saatikka siitä hyödynnettäväksi otettavan alle 4 cm:n osuuden suoraa
laskentaa ohjelmassa ei ole. Puun tilavuuden laskentaohjelmalla voisi laskea yksittäisille
puille (prd:stä keskimääräiset puulajien tunnuks) hukkapuuosuutta ja kertoa sillä
tarvittava runkoluku.

Metlassa on laadittu *biomassamalleja* eri puulajeille ja rungonosille. Syötteenä käyte-
tään rinnankorkeusläpimittaa ja pituutta. Tuloksena saadaan rungon, kuoren, oksien,
neulasten, kannon ja juurten laskennallinen kuivamassa. Jokaiselle osiolla on laadittu
yhtälö puulajeittain. (Repola, Lindblad & Laitila 2011, 8-11.) Esimerkiksi männyllä
rungon puuaine:

$$\ln(\text{biomassa}) = b_0 + b_1 * (2 + 1,25 * d_{1,3}) /$$

$$((2 + 1,25 * d_{1,3}) + 14) + b_2 * h / (h + 12) \quad (2)$$

jossa $d_{1,3}$ = rinnankorkeusläpimitta ja h = puun pituus

Parametrit b saa taulukoista ja *biomassan* yksikkö on kg. Mallin tarvitsemat tiedot pys-
tytään määrittämään rungoittain hakkuukoneilla. Mikäli lisäksi latvussuhde on tiedossa,

voi oksille ja neulasille laskea tarkemmankin arvon toisilla kaavoilla. Lisäksi Repola on laatinut latvakartion biomassamallin tilanteeseen, jossa päätehakkuulta kerätään hakkuutähteet, joihin sisältyy latvakartio. Biomassa ilmoitetaan tässäkin kiloina, koska se sisältää oksat ja neulaset. (Repola ym. 2011, 12):

$$BIO_{latva} = V_{latva} / V_{runko} * (BIO_{puuaineen} + BIO_{kuori}) * puulajikerroin \quad (3)$$

Puun pituus hakkuukoneella on pituusennuste, joka laaditaan todellisen käyttöosan pituuden ja latvan pituusennusteen mukaan. Raportissa ei kerrota tarkasti, miten V_{latva} on laskettu. Metlan biomassamallit on kehitetty silmällä pitäen hakkuutähteiden ja kantojen keruuta. Eli hakkuukoneen tuottamia tunnuksia käytetään mallien syöttötietoina ja tulosten perusteella arvioidaan leimikosta kertyvää biomassaa, josta määrästä todellisuudessa jätetään metsänhoitosuosituksen mukaisesti noin kolmasosa palstalle. (Repola 2011.) Biomassamalli ei soveltunut käytettäväksi tässä selvityksessä.

3 KORJUUKUSTANNUKSET

3.1 Kustannusten tutkiminen

Tutkimuksessa tarkasteltiin korjuun kustannuksia kuitupuun korvautuessa muilla puutavaralajeilla, pikkutukilla, parrulla ja energiapuulla. Junnikkalan oma taksanlaskenta on sen tyyppinen, ettei sillä saa vertailevaa laskelmaa kuitupuun eri puutavaralajien kustannusvaikutukselle. Siten tutustuttiin puun korjuun tuottavuuteen vaikuttaviin tekijöihin sekä kahteen eri tuottavuuden huomioivaan laskelmaan: laajasti referoituun Metsätehon tutkimukseen vuodelta 1994 (Kuitto ym.) sekä uudempaan Metlassa kokeiltuun ABC-malliin (Nurminen ym. 2009). Tutustutaan kuitenkin aluksi metsäteknologian tutkimuksen yleiskäsitteisiin.

Metsäteknologian tutkimuksen tavoitteet liittyvät taloudellisuuteen (tuottavuus, kannattavuus), tekniikkaan (työmenetelmät, koneet, työorganisaatio) inhimillisiin tavoitteisiin (palkkaus, työolosuhteet, terveyshaitat) sekä yleisluontoisiin tavoitteisiin (ympäristöhaitat, asenteet) (Uusitalo 2003, 163 – 164).

Työn tutkimisessa käytetään käsitettä aika- ja tuotostutkimus. Aikatutkimuksessa määritetään työn vaatima panos (aika) mutta samalla tutkitaan useimmiten myös työn tuotosta. Työntutkimuksen ongelmana on tulosten yleistettävyys, koska työntekijän ominaisuudet ja ympäristö vaikuttavat työpanokseen. Vertaileva aikaututkimuksen periaatteena on vertailla samaa työntekijää samankaltaisissa olosuhteissa. On huomattu, että suhteellisten ajankäyttöarvojen suhteellinen hajonta on pienempi eri työntekijöiden, kuin eri työmenetelmien välillä. Uudelle työmenetelmälle voidaan siten määrittää tuottavuuslukuja tutkittujen työmenetelmien suhdelukujen perusteella. (Uusitalo 3002, 165 – 166.)

Aikatutkimus on kallista, joten työntutkimuksissa tyydytään usein pieniin otoksiin. Metsätyöntutkimuksessa keskitytään yleensä yksittäisen menetelmän tai työvaiheen tehoajan tai käyttöajan määrittämiseen, vaikka kokonaistyöaika on ratkaisevampaa urakoitsijan työn kokonaistuottavuuden tai kannattavuuden kannalta. (Uusitalo 3002, 166 – 167.)

Aikatutkimuksessa määritellään työmenetelmän tehollisen ajan käsite sekä sen suhde työn tekemisen kokonaisaikaan. Tehoaikaan lasketaan yleensä vain työn työvaiheet ja

käyttöaikaan sisällytetään alle 15 min keskeytykset. Tutkimuksen alussa kuvataan työmenetelmä ja jaetaan se eri työvaiheisiin. Valitaan työskentelykohteet ja määritetään työn tekemiseen vaikuttavat olosuhdetekijät. Valitaan henkilöt ja mittaustekniikka. Asiantuntevat tutkijat suorittavat tutkimuksen käyttäen apuna kelloa ja esimerkiksi videointia. Seurantatutkimuksella selvitetään käyttö- ja tehoajan suhteellista osuutta tuotanto-, työ- ja kokonaisajasta sekä muiden työn aputoimintojen ajanmenekki. (Uusitalo 2002, 167 - 169.) Seurantatutkimuksen perusteella voidaan laskea kerroin, jolla kerrotaan käyttöaika, joka puolestaan saadaan tehoajasta käyttöaikakertoimen avulla.

Menetelmätutkimus tarkastelee nykyistä tai ehdotettua työmenetelmää systemaattisesti tai kriittisesti. Tutkittavana voivat olla työprosessit, työliikkeet, työmaan rakenne, materiaalit, koneet, työskentelyolot tai inhimilliset tekijät. Metsätyöntutkimuksessa on käytetty vähän menetelmätutkimusta, vaikka se Uusitalon mukaan sopisi hyvin uusien työtekniikoiden ja koneiden kehittämiseen (2003, 169 – 170.)

Operaatiotutkimuksessa käytetään tieteellisiä menetelmiä järjestelmien ja toimivien systeemien kuvaamisessa. Sitä käytetään tutkimustarkoituksiin, resurssien suunnitteluun ja operatiiviseen ohjaukseen. Metsässä suoritettaville operaatioille on tyypillistä käytettävien resurssien rajallisuus ja tavoite minimoida kustannuksia tai maksimoida tuottoja. Metsäteknologian tutkimukseen liittyy usein allokatio-ongelmia ja operaatiotutkimusta onkin käytetty paljon. Lineaarista optimointia on sovellettu puunkuljetusten ohjailuun, koneketjujen valintaan ja tehdasvarastointiin. Dynaamista optimointia sovelletaan puun katkonnassa, jonoteoriaa tehdasvastaanotossa tavoiteoptimointia monitavoitteisissa tutkimusongelmissa. Operaatiotutkimuksen ongelmana on mallintaa käytännön ongelma, joka voi olla monimutkainen ja vaikutuksiltaan epästabiili. (Uusitalo 2003, 183 - 184.)

Konetyön kannattavuuden määrittely on eräs metsätyöntutkimuksen tutkimusaihe. Korjuun yksikkökustannus (€/m³) on eräs korjuun kokonaisvaltaisen kannattavuuden keskeisimmistä tekijöistä. Se lasketaan jakamalla koneen käyttötuntikustannus (€/h) koneen tuottavuudella (m³/h). Koneiden käyttöasteella on myös paljon merkitystä. Metsäkoneiden kustannukset jaetaan kiinteisiin ja muuttuviin. Kiinteitä kustannuksia laskettaessa huomioidaan poistot joihin vaikuttavat koneen hinta, koneen pitoaika ja jäännösarvo), pääoman korko, vakuutukset, työkustannuksista palkat sekä työn järjestelyn ja hallinnoinnin kustannukset. Muuttuvia kustannuksia aiheuttavat poltto- ja voiteluaineet, kor-

jaus- ja huoltokulut sekä kuljettajien kulkemis- ja ylläpitokorvaukset. (Uusitalo 2003, 177 – 178.)

3.2 Junnikkalan taksanlaskenta

Junnikkala taksanlaskentamallissa hinnoitellaan taksa konehakuulle ja lähikuljetukselle urakoitsijakohtaisesti. Kullekin urakoitsijalle määritellään sopimuskauden alkaessa kerroin, jolla taksataulukon luvut kerrotaan. Mallissa osapuolet seuraavat hakkuun ja ajon kannattavuutta omalta osaltaan ja sopivat kertoimesta ja erottelulisistä neuvottelussa.

Taksataulukko lähikuljetuksessa pohjautuu vuonna 1991 käytettyyn taksoitukseen, joka huomioi ajomatkan 100 m jaotuksella sekä puutavaralajiryhmät: havutukki, havukuitu, koivutukki ja koivukuitu. Harvennus- ja päätehakuulla on eri taksat. Lisäksi maksetaan lisiä pikkutukin ja parrun erottelusta sekä lyhyen kuidun eli kolmimetrisen koivun ajosta. Ajolle voidaan tarvittaessa maksaa muuta lisää. Pienin taksa on havutukilla ja suurin koivukuidulla. Ajokoneelle on myös määritelty siirtymiskorvaus leimikolle.

TAULUKKO 2. Ote lähikuljetuksen taksataulukosta

PÄÄTEHAKKUUN AJOTAKSA				
Ajomatka	Havutukki	Havukuitu	Koivutukki	Koivukuitu
<100	1.95	2.39	3.10	3.21
101-200	2.14	2.62	3.29	3.44
...				
701-800	3.64	4.38	4.76	5.26
Seur.100	.26	.31	.28	.32

Konehakuussa (taulukko 3) huomioidaan rungon järeys (koko leimikon keskiarvo) ja hakkuutapa. Harvennushakkuun taksat on 16 % korkeammat kuin avohakuulla. Taulukossa mainitaan lehtipuun taksan korjaukseksi +1,2 %, mutta sitä ei näytetä käytettävän. Alikasvoslisä on 1 – 5 %, jota kuitenkin maksetaan harvoin. Hakkuulle voidaan tarvittaessa maksaa muuta lisää. Hakkuukoneelle maksetaan siirtymiskorvausta leimikolle.

TAULUKKO 3. Ote konehakkuun taksataulukosta

KONEHAKKUUN TAKSAT				
Rungon järeys dm ³ /runko			PÄÄTEHAKKUU Havupuu+koivu	HARV.HAKKUU Havupuu+koivu
Alaraja	Yläraja			
40	50		12.50	14.50
	...			
141	150		5.12	5.94
	...			
241	265		3.79	4.40
	...			
351	390		3.22	3.74
	...			
901 ja yli			2.86	3.32

Leimikon hakkuusta ja kuljetuksesta maksetaan siis koneyrittäjälle taulukoiden ja ker-
toimen mukaisesti. Tämän lisäksi Junnikkala jakaa syntyneen konehakkuun kokonais-
kustannuksen eri puutavaralajiryhmille, joita ovat: havutukit (mänty- ja kuusitukki, pyl-
vää), koivutukki, pikkutukit (mänty- ja kuusipikkutukit), parrut (mänty- ja kuusiparrut),
havukuitu (mänty- ja kuusikuitu) ja koivukuitu (koivu-, lehti- ja haapakuitu). Junnikkala
ei erottele koivutukkia, sillä Pohjois-Suomessa ei ylipäättänsä korjata koivutukkia, koska
sen hehtaarikertymä on pientä ja vallitsevan hieskoivun laatu heikkoa sahattavaksi.

Puutavaralajiryhmille lasketaan ryhmittäinen keskijäreys, ja sitten siihen pohjautuen las-
kentayhtälöillä tilavuuskohtainen käsittelyaika kussakin puutavaralajiryhmässä sekä
niistä kertyvä kokonaiskäsittelyaika. Kunkin puutavaralajiryhmän käsittelyaika jaetaan
lopuksi kokonaiskäsittelyajalla ja kerrotaan leimikon konehakkuun kokonaiskustannuk-
sella, jolloin saadaan teoreettiset konehakkuun yksikkökustannukset €/m³ puutavaralaji-
ryhmille. Puutavaralajin yksikkökustannukseksi tulee siten ryhmän yksikkökustannus
eli mänty- ja kuusitukeille havutukin hinta, haapakuidulle koivukuidun hinta jne.
Ajokustannuksia ei jaeta puutavaralajeille, vaan ne merkitään suoraan taulukkotaksan
(kerroin, perustaksa ja lisät) ja kuutiomäärän mukaisesti. Konehakkuun ja lähi-
kuljetuksen yksikkökustannukset summataan, jolloin saadaan yhteiskustannus puutava-
ralajeittain. Näistä voidaan laskea konehakkuun ja lähikuljetuksen keskimääräiset kus-
tannukset koko leimikolle. Tulokseksi saadaan tietysti taulukoista alun perin katsotut
lähtöarvot, joihin urakoitsijan samaa korvaus perustuu. Puutavaralajikohtainen laskenta
toteutetaan siis vain kirjanpidollista seuranta varten.

3.3 Hakkuun ja lähikuljetuksen tuottavuus

3.3.1 Konehakkuun tuottavuus

Hakkuun tuottavuuteen vaikuttavat hakkuutapa (avohakkuu, harvennus ym.), puulaji, rungon koko, poistuma, poistettavien puiden tiheys, maastoluokka, lumen määrä ja vuodenaika. Lisäksi vaikuttavat puutavaran mittausmenetelmä, koneen käyttämä kasausmenetelmä, puuston kaksijaksoisuus, alikasvos, poistettavien puiden valintatapa ja jäävän puuston tiheys (Kuitto ym. 1994, 9). Vielä vaikuttavat hakkuukoneen tila työskennellä, mahdollisuus joukkokäsittelyyn, puutavaralajit, lajittelu, laadun huomioiminen puutavaran valmistuksessa, työn suunnittelu ja keskeytykset. Edellä mainituista vaikuttajista eniten merkitystä on hakkuutavalla, rungon koolla, poistuman tiheydellä ja puulajivaltaisuudella (Kuitto ym. 1994, 21).

Konehakkuun työvaiheet sekä ajan menekkiin ja siten tuottavuuteen vaikuttavat tekijät (Kuitto ym. 1994, 13 - 18):

- Siirtyminen: hakkuutapa, puuston tiheys, maasto, lumi, vuodenaika. Sisältää työn suunnittelua, leimausta ja alustavaa apteerausta.
- Monitoimiosan vienti ja puun kaato: hakkuutapa, poistettavien puiden tiheys, rungon koko. Sisältää leimausta ja alustavaa apteerausta.
- Karsinta ja katkonta: hakkuutapa, rungon koko, puulaji, puutavaralaji.
- Järjestelyt ja häiriöt: kasojen järjestelyn tarve, koneen toiminta, ym.
- Alikasvoksen poisto
- Keskeytykset: lyhyet korjaukset (teräketjut ym.), mittalaitteen kalibrointi, koneen juuttuminen, työn suunnittelu, kuljettajan tauot.

Hakkuukone kasaa kuitupuun sopiviin kourakasoisiin palstalle tai ajouralle. Tukit voidaan jättää hajalleen mutta mielellään yhdensuuntaisesti. Lajittelua voidaan helpottaa suihkuttamalla värimerkintöjä pölkkyihin. Hakkuukoneen kuljettajan taitavuus eri puutavaralajien kasojen sijoittelussa vaikuttaa lähikuljetukseen. (Uusitalo 2003, 77 - 79.)

Rungon koko suurenee, kun katkaisukodan minimiläpimitta pienenee. Tämä ei muuta työpisteiden määrää eikä siirtymisaikaa, mutta minimiläpimitan pienetessä kertymä kasvaa, jolloin siirtymisaika/m³ pienenee. Myöskään kaatoaika ei riipu minimiläpimitasta,

mutta aika/m³ vähenee rungon koon kasvaessa. Karsinnan ja katkonnan ajanmenekki riippuu karsintamatkasta ja katkaisujen määrästä. Minimiläpimitan pienetessä karsintamatka rungolla kasvaa. (Korpilahti, Varhimo, Keskinen & Lemmetty 1995, 2.)

Mikäli kuitupuuosaa kerätään energiapuuna, kuljettajan ei tarvitse tarkkailla ainespuun mittojen täyttymistä, mikä nopeuttaa hakkuuta.

Lajittelun lisääminen kasvattaa korjuun ajanmenekkiä. Lisäajanmenekki riippuu puutavaralajivalikoimasta. Toinen kuitulaji, esim. tyvikuitu kuiturangan lisäksi, nostaa ajanmenekkiä vain hiukan, jos kumpikaan niistä ei kilpaile samasta rungonosasta kolmannen puutavaralajin kanssa. Jos taas valikoimaan lisätään puutavaralaji, joka edellyttää laadun huomioimista, hakkuun ajanmenekki kasvaa merkittävästi. (Poikela & Alanne 2002, 5.) Pikkutukin ja parrun hakkuu siis lisää ajanmenekkiä.

Karsinta- ja katkonta työvaiheina ovat 20 % hitaampia lyhyttä kuitupuuta valmistettaessa. Päätehakuulla koivun kaataminen on hitainta ja männyn nopeinta ja harvennuksilla koivun nopeinta ja kuusen hitainta. (Kuitto ym. 1994, 15.) Pohjois-Suomessa tosin kaikki koivu menee päätehakuulla kuiduksi, joten sen kaatamisvaiheessa ei huomioida laatua, mikä nopeuttaa työskentelyä.

3.3.2 Lähikuljetuksen tuottavuus

Lähikuljetuksen ajanmenekkiin, ja siten tuottavuuteen vaikuttavat eniten hakkuutapa, ajomatka, puutavaralajit ja ajouranvarsitiheys. Lisäksi vaikuttavat maastoluokka, lumen määrä ja vuodenaika. (Kuitto ym. 1994, 10.)

Lähikuljetuksen työvaiheet sekä ajan menekkiin ja siten tuottavuuteen vaikuttavat tekijät (Kuitto ym. 1994, 24 - 26):

- Ajo tyhjänä: traktorin ajotekniset ominaisuudet, hakkuumenetelmä, kuljettajan ajotapa, vuodenaika (lumi, märkyys), ajomatka.
- Kuormaus: keskijäreys, kasojen koko ja uranvarsitiheys, hehtaarikertymä, järjestyksen miettiminen (sekakuormat), hakkuutapa (jäävän puuston varominen).
- Kuormausajo: koneen ajotekniset ominaisuudet, kuormatilan koko, vuodenaika, työpisteiden määrä, hakkuutapa, maastoluokka.

- Ajo kuormattuna: samat kuin tyhjänä ajossa sekä kuorman koko ja kuorman va-
jausaste.
- Purkaminen varastolla: lajittelun tarve (sekakuormat), purkamisen suunnittelu,
pölkkyjen ja kasojen järjestely, siirtyminen purkupaikalla, nosturin nostokyky.
- Keskeytykset: työn suunnittelu, työn organisoiminen, huollot, korjaukset, kuljet-
tajan tauot.

Minimiläpimitan pieneneminen nostaa järeyttä ja siten kertymää yhdestä työpisteestä, eli metsäkuljetuksen tuottavuus paranee. Kuorman tiheys kuitenkin pienenee, mikä hei-
kentää tuottavuutta. (Korpilahti 1995, 3.)

Puutavaralajivalikoiman lisäys laskee kuormausvaiheen tuottavuutta: kuormaustaakka
pienenee ja kuormattavien taakkojen määrä lisääntyy puutavaralajitiheyden laskiessa,
kun osa pölkkyistä nostetaan kuormaan yksitellen. Yksittäisestä työpisteestä kuormattava
määrä pienenee ja kuormausvaiheen aikainen ajo lisääntyy. Vajaakuormien määrä li-
sääntyy. Eri puutavaralajien sekakuormia ajettaessa purkutaakan koko pienenee ja kaso-
jen väliset siirtymiset lisääntyvät heikentäen purkuvaiheen tuottavuutta. Poikelan ym.
(2002) tutkimuksessa pääpuulajin metsäkuljetuksen ajanmenekki kasvoi 12 - 19 % lisät-
täessä ylimääräinen kuitupuutavaralaji valikoimaan. Tällöin kustannukset lisääntyivät
20 - 30 % kuitupuulle kohdistettuina. Tuloksia voidaan rinnastaa yleisemminkin lisä-
puutavaralajien vaikutukseen lähikuljetuksen ajankäytössä, joskin tutkimuksen teon
aikana oletettiin lajittelun muuttuvan tulevina vuosina harjaantumisen myötä tehok-
kaammaksi. (Poikela 2002, 5.)

Kuormausaikaan vaikuttavat työpisteen koko, kuormattava puutavaralaji, hakkuutapa ja
vuodenaika. Työpisteessä kuluu myös aikaa työn suunnitteluun, muuhun työhön ja jär-
jestelyyn. Työpisteen kokoon vaikuttavat hakkuutapa, kuormassa ajettavat puutavaralajit
ja niiden kuutiomäärä ajouran pituusyksikköä kohti eli tiheys m³/100 m. Puutavaralaji-
tiheyteen vaikuttavat puutavaralajiosuus, kokonaiskertymä, ajouraväli ja erikseen kulje-
tettavat puutavaralajit. (Kuitto ym. 1994, 23 – 25.) Pikkutukin ja parrun korjuu lisää
suunnitteluun tarvittavaa aikaa ja pienentää puutavaralajitiheyttä. Kaikkien kuitujen
hakkuu sekahakkeeksi vähentää suunnittelu-aikaa ja lisää työpisteen kokoa.

Kuorman koko vaikuttaa merkittävästi kuljetuksen tuottavuuteen. Kokoon vaikuttavat
puu- ja puutavaralaji: tukki > pitkä kuitu > lyhyt kuitu. Koivu vie havupuuta enemmän

tilaa kuormassa, sen kuormat ovat 75 – 80 % havupuutavaralajien kuormista. (Kuitto ym. 1994, 23.) Siten eri puulajien kuitupuun hakkuu sekarankana pienentää kuormaa.

3.4 Metsätehon ajankäyttö- ja tuottavuustutkimuksen mallinnus

Konehakkuun ja metsäkuljetuksen urakoinnissa käytettiin valtakunnallisia ohjemaksuja vuoteen 1991 asti (Kuitto ym. 1994, 31). Tähän pohjautuu Junnikkalan käyttämä taksanlaskenta. Nykyään saadaan tarkkoja tietoja hakkuukoneiden kustannus- ja tuottavuus-seurannasta, mutta tarvitaan kuitenkin tutkimukseen ja tilastoihin perustuvaa tietoa silloin kun toteutuneita tietoja ei ole (Kuitto ym. 1994, 31).

Metsätehon tutkimuksessa ajankäytön seurantaan ja hakkuutuloksiin pohjautuen laadittiin mallit tuottavuuteen vaikuttavista tekijöistä. Sekä konehakkuuseen että lähikuljetukseen saadaan laskettua yksikköhinta tuntikustannusten ja tuottavuuden perusteella. Tuntikustannus annetaan harkinnan mukaan, esimerkiksi hakkuukoneelle 70 €/h ja metsätraktorille 55 €/h. Tuottavuuden ja tuntikustannuksen avulla lasketaan yksikköhinta (Kuitto ym. 1994, 31):

$$\text{Yksikköhinta (eur/m}^3\text{)} = \text{Tuntikustannukset (eur/h)} / \text{Tuottavuus (m}^3\text{/h)} \quad (4)$$

Konehakkuussa tuottavuuden laskennassa huomioidaan rungon koko, siirtymis- ja käsittelyaika sekä maastokerroin. Siirtymisen sekä puiden käsittelyn tehoajoista saatu kokonaistehoaika muutetaan käyttötuntituotokseksi. Kerroin k_1 muuttaa tehoajan käyttöajaksi lisäämällä keskimääräiset 15 min keskeytykset, k_2 on tutkimuksessa käytetty tutkimuksen ja sen seurantatutkimuksen korjauskerroin ja k_{maasto} on maastoluokkakerroin. (Kuitto ym. 1994, 32.)

$$T_{\text{hakkuu}} = (\text{Järeys} * 60) / ((\text{Siirtymisaika} / k_{\text{maasto}} + \text{Käsittelyaika}) * k_1 * k_2) \quad (5)$$

Siirtymisaika lasketaan poistuman tiheyden (min/r) ja kerrointen avulla. Poistuman tiheyden (r/ha) laskennassa huomioidaan rungon järeys (m³) sekä kertoimet, joihin vaikuttavat hakkuutapa (pääte- vai harvennushakkuu) ja maantieteellinen sijainti, Etelä-

vaiko Pohjois-Suomi. Käsittelyajassa (min/r) huomioidaan rungon järeys sekä hakkuutavan ja puulajin määrittämät kertoimet. (Kuitto ym. 1994, 31-32.)

Metsäkuljetuksen tuottavuuden laskenta on jaettu kuormauksen, kuormausajon, kuormattuna- ja tyhjänäajon sekä purkamisen tehoaikojen laskennaksi ja niiden summaamiseksi kokonaistehoajan menekiksi, joka muunnetaan käyttötuntituotokseksi. (Kuitto ym. 1994, 34.)

$$T_{\text{ajo}} = 60 / ((\text{Työvaiheet}) * k_4 * k_5) \quad (6)$$

$$\text{Työvaiheet (min/m}^3\text{)} = \text{kuormaus} + \text{kuormausajo} + \text{kuormattuna ajo} + \text{tyhjänä ajo} + \text{purkamisaika} \quad (7)$$

Kerroin k_4 muuttaa tehoajan käyttöajaksi lisäämällä keskimääräiset 15 min keskeytykset ja k_5 on tutkimuksessa käytetty tutkimuksen ja sen seuranta tutkimuksen korjauskerroin, koska seuranta tutkimuksessa ajanmenekki oli suurempi kuin tutkimuksessa.

Puutavaralajitiheys vaikuttaa merkittävästi tuottavuuteen. Ajouranvarsitiheyden laskennassa huomioidaan puutavaralajiosuudet, kokonaiskertymä, ajouraväli ja erikseen kuljettavat puutavaralajit. Yleensä puutavaralaji kuljetetaan muiden puutavaralajien yhteydessä sekakuormana silloin, kun sen kertymä on pieni. Kuormausajan laskennassa huomioidaan tiheys sekä kerrointen avulla hakkuutapa ja puutavaralajin tyyppi: tukki, pitkä ja lyhyt kuitu sekä lehtipuulle korotuskertoimet em. tyypeille. Kuormausajon ajan laskennassa huomioidaan kuorman koko, työpisteen koko, maastoluokasta riippuva ajonopeus ja kuormausajon matka, joka lasketaan kuorman koosta ja ajouravarsitiheydestä. Kuormausajon matka lyhenee ajouravarsitiheyden kasvaessa. (Kuitto ym. 1994, 34.)

$$\text{Kuormausajomatka (m)} = \text{Kuorma (m}^3\text{)} / (100 * \text{Ajouravarsitiheys (m}^3\text{/100m)}) \quad (8)$$

$$\text{Kuormattuna-ajomatka} = \text{Keskikuljetusmatka} - \text{Kuormausajomatka} / 2 \quad (9)$$

$$\text{Tyhjänäajomatka} = 2 * \text{Keskikuljetusmatka} - \text{Kuormattuna-ajomatka} \quad (10)$$

Kuormattuna ja tyhjänä ajon ajanmenekki lasketaan niiden ajomatkoista, jotka lasketaan leimikon keskikuljetusmatkan ja edellä lasketun kuormausajomatkan ja maastoluokka-kerrointen avulla. Purkamisaika lasketaan kuorman koon sekä lehti- ja havupuun ja puutavaralajin tyyppin (tukki, pitkä ja lyhyt kuitu) huomioivien kerrointen perusteella. (Kuitto ym. 1994, 33 – 35.)

3.5 ABC-malli

ABC tulee englanninkielestä ”An activity-based cost” (ABC) management system. Mallin avulla tunnistetaan liiketalousprosesseja ja tuotetaan tietoa kustannusten alkuperästä sekä syy-seuraussuhteista. Toisin sanoen se erottelee tietyn tuotteen aiheuttamat kustannukset. Mallia sovelletaan tulevien kustannusten arvioimiseen sekä toisaalta toteutuneiden kustannusten kohdentamiseen tuotannon jälkeen. Metsäntutkimuslaitoksessa sovellettiin mallia puutavaralajimenetelmään (vrt. muualla maailmassa yleinen karsitun rungon kuljetus kokonaisena jalostuspaikalle) jakamalla puun hankinta tehtaalte kolmeen prosessiin: hakkuu, lähi- ja kaukokuljetus. Tarkoituksena oli kohdistaa kustannukset puutavaralajeille ja -erille. (Nurminen ym. 2009, 848 – 849.)

Perinteisessä kustannuslaskennassa summataan kiinteät ja muuttuvat kustannukset ja jaetaan ne tuotantomäärien suhteessa tuotannon lajikkeille. Laskentatapa soveltuu tuotantoon, jossa muuttuvien kustannusten osuus on suuri ja lajikkeiden määrä pieni. ABC-mallissa selvitetään resurssit ja kustannustekijät sekä se, missä suhteessa eri toiminnot käyttävät niitä. (Nurminen ym. 2009, 848.)

Hakkuulla ja lähikuljetuksella resurssit ja kustannustekijät jaettiin kiinteisiin kuluihin (poistot, korkokulut ym.), palkkakuluihin (palkka, lisät, matkakulut ym.) ja toimintokuluihin (polttoaine, ketjut, korjaus, huolto ym.). Kaukokuljetuksella kulut jaettiin ajasta, etäisyydestä ja nosturin käytöstä riippuviin kuluihin. Ajasta riippuvat kulut (poistot, korkokulut, vakuutukset, verot, hallinto, huolto ja palkkakulut) lasketaan vuotta ja kuljetustuntia kohden, kun taas etäisyydestä riippuvat kulut (polttoaine, öljyt, korjaus ja renkaat) kohdennetaan kuormalle. (Nurminen ym. 2009, 849 – 850.)

Nurminen ym. (2009) kohdentavat hakkuu- ja lähikuljetuskustannukset tietylle puutavaralajille k seuraavasti (autokuljetukseen liittyvää laskentaa ei tutkita tässä tar-

kemmin): leimikkotasolla hakkuukoneen ja metsätraktorin tuntikustannus on vakio. Siinä huomioidaan vuosittainen käyttötuntimäärä sekä vuosittaiset kiinteät, palkka- ja toiminnalliset kulut. Koneen käyttötuntikustannus osoitetaan tärkeimmille työvaiheille samassa suhteessa kuin ne kuluttavat aikaa. Koneen siirtyminen leimikossa, asettautuminen kaatoon, kaato, lajittelu, puomin takaisin veto, siistiminen ja järjestely lasketaan runkokohtaisesti. Karsinnan ja katkonnan ajanmenekki lasketaan pölkkykohtaisesti ja lisätään runkokohtaiseen ajankäyttöön. Saatu tehoaika muutetaan kertoimella käyttöajaksi, joka sisältää keskeytykset ym. Saatu käyttöaika kerrotaan käyttötuntikustannuksella, minuuteiksi jakaen. Kustannus tietyn puutavaralajin k sisältävän rungon hakkuulle saadaan siis: (Nurminen ym. 2009, 851 – 855.)

$$C_{stem} \text{ €/r} = ((Aika \text{ min/r}) * \text{käyttötuntikerroin}) * Kustannus \text{ €/h/60} \quad (11)$$

Summataan kaikkien puutavaralajin k sisältämien runkojen hakkuukustannukset ja jaetaan ne kertyneellä kuutiomäärällä V_k , niin saadaan k :n yksikkökustannus:

$$C_{cut} \text{ €/m}^3 = (\sum C_{stem} \text{ €}) / V_k \text{ m}^3 \quad (12)$$

Lähikuljetuksessa yhden puutavaralajin kuorman kustannus lasketaan:

$$C_{forw_single} \text{ €/m}^3 = ((Aika \text{ min}) * \text{käyttötuntikerroin}) * Kustannus \text{ €/h/60} \quad (13)$$

Aika lasketaan huomioiden ajo tyhjänä, kuormauksen aikana ja kuormattuna sekä puutavaralajin k kuormaus- ja purkuaika. Vastaavasti saadaan yksikkökustannus sekakuormille $C_{fm} \text{ €/m}^3$ laskemalla kuormaus- ja purkuajat n_k puutavaralajien kuljettamisessa. Lajittelun hinta $C_{sorting_k}$ puutavaralajille k saadaan sekakuorman ja puhtaan kuorman yksikkökustannusten erotuksesta, sekakuormina ajettujen kuormien kuutiomäärästä V_m sekä puutavaralajin k sisältämien kuormien kappalemäärästä n_k ja kertymästä V_k :

$$C_{sorting_k} = ((C_{fm} - C_{forw_single}) * V_m) / (n_k * V_k) \quad (14)$$

Puutavaralajin k lähikuljetuksen yksikkökustannus sekakuormassa C_{forw_mixed} €/m³ saadaan siten summaamalla puhtaan kuorman ajon yksikkökustannus ja lajittelun hinta:

$$C_{forw_mixed} = C_{forw_single} + C_{sorting_k} \quad (15)$$

Tietyn puutavaralaji k :n lähikuljetuksen yksikkökustannus C_{forw_k} leimikkotasolla saadaan puhtaiden kuormien ja sekakuormien yhteismääristä:

$$C_{forw_k} = (C_{forw_mixed} * V_{forw_load} * n_{mixed_loads} + C_{forw_single} + V_{forw_load} * n_{single_loads}) / V_k \quad (16)$$

Nurminen ym. (2009) sovelsivat mallia yhteen leimikkoon. Malli antoi hakkuussa halvemmat yksikkökustannukset järeitä rungonosia käyttäville puutavaralajeille, koska tuottavuus m³/h on niillä korkea. Vastaavasti kuitupuun ja pikkutukin hakkuu oli kallista. Lähikuljetuksessa kuitupuulle laskettu kallis yksikkökustannus johtui pienestä kuorman koosta. Lähikuljetuksessa tyvestä otettujen erikoistukkien kuljetus oli kallista verrattuna perustukkilaadun kuljetukseen, koska niiden määrä kokonaisuutena jäi pieneksi. Leimikon kaikkien puutavaralajien laskennallinen keskiarvo ei sattunut kohdalleen yhdellekään puutavaralajille, mikä korostaa mallin käytön tarpeellisuutta. (Nurminen ym. 2009, 864.) Parhaiten keskiarvo vastasi perustukkilaatua, jota korjattiinkin määrällisesti eniten.

Hakkuun ja lähikuljetuksen kokonaiskustannukseksi saatu yksikköhinta vastasi hyvin toimijoilta saatuja tietoja maksetuista taksoista, mutta se jakautui eri tavalla. Mallissa hakkuukustannus oli 43 % ja lähikuljetuksen 57 % kokonaiskustannuksista 7,21 €/m³, mutta käytännössä maksetaan päinvastaisessa suhteessa. Näin tutkimus vahvisti sitä käsitystä, että lähikuljetusta alihinnoitellaan suhteessa hakkuuseen ja että heikon tuottavuuden harvennukset kompensoidaan tuottavimmilla avohakkuilla. (Nurminen ym. 2009, 865.)

Nurminen ym. pohtivat ABC-mallia soveltaessaan, onko oikein erotella rungon yläosan kuitupölkkyjen ja alaosan tukkien kustannukset toisistaan, koska koko runko hyödynnetään joka tapauksessa. Tekijät ovat kuitenkin tyytyväisiä siihen, miten malli osoitti selvästi puutavaralajien hankinnan kustannuseron korjuun tuottavuuden mukaisesti. He nostavat esille sen, että puutavaralajien hankinnassa tulisi kiinnittää huomiota sen saata-

vuuteen: onko kyseessä erikoispuutavaralaji, jota saa vain tietyistä leimikoista, vaiko yleinen kaikkialta kertyvä puutavaralaji, jonka kertymä työn alle tulevassa leimikossa on pieni. Tämän pohjalta ABC-mallin soveltuisi hyvin laskemaan toimintojen tai koko logistisen järjestelmän tehokkuutta. (Nurminen ym. 2009, 865.)

4 AINEISTO JA MENETELMÄT

4.1 Leimikot

Aineisto haettiin Junnikkalan sahalle urakoivan Veljekset Kellola Oy:n hakkuukoneelta, tyyppiä Ponsse Ergo 8W. Koneetta oli kuljettanut sama kuljettaja, Mikko Kellola. Hakkuukoneelta haettiin hakattujen leimikoiden tiedostot zip-pakattuina sekä lisäksi leimikoissa käytetyt apt-tiedostot. Päätyneiden leimikoiden zip-pakettien siirto usb-tikulle on Ponssen hakkuukoneessa tehty käyttäjälle kohtalaisen helpoksi. Yksittäiset päätyneet leimikot voi myös avata käyttöliittymässä ja siirtää niistä tarvittut tiedostot, mutta menetelmä on hidas. Leimikoista kertyneiden puutavaralajien tutkimisessa tarvitaan esimerkiksi prd-, apt- ja stm-tiedostoja.

Kerätty aineisto jaettiin hakkuutavan mukaan. Pääosa leimikoista oli päätehakkuita ja myöhempiä harvennuksia, mutta myös muutama ensiharvennus, erikoishakkuu, siementai suojuspuuasentoon hakkuu ja ylispuiden poisto oli tehty. Tämä kuvastaa sitä, miten Junnikkala keskittyy järeisiin leimikoihin, joista kertyy sahattavaa puuta, mutta kylkiäisenä tulee aina jonkin verran erikoishakkuu- tai ensiharvennuskuvioita. Kuudesosa leimikoista oli koneyrittäjän Junnikkalalle hakkaamia isäntien hankintaleimikoita. Tarkasteluun valittiin myöhemmät harvennukset ja avohakkuut (liite 1):

TAULUKKO 4. Tarkasteltavat leimikot

LEIMIKOT HAKKUUTAVOITTAIN			
Hakkuutapa	m3	% kuutioista	leimikoita kpl
Myöhempi harvennus	9,378	22	30
Avohakkuu	33,867	78	58
Yhteensä	43,245	100	88

Yksittäisistä leimikoista poimittiin tunnistetieto, hakkuutapa ja puolajeyttain kuutiomäärät, keskijäreys, keskiläpimitta, tukkipuuosuus sekä kertyneet puutavaralajit. Tiedot kerättiin laskentaohjelman OpenOffice Calc laskentataulukkoon (vrt. Microsoftin Excel), siten että jokainen leimikko oli omalla rivillään (ks. liite 1 puutavaralajeista). Näin aineiston tutkiminen oli helpompaa yhdessä taulukossa.

4.2 OptiOfficen simulointi ja runkotietoselain

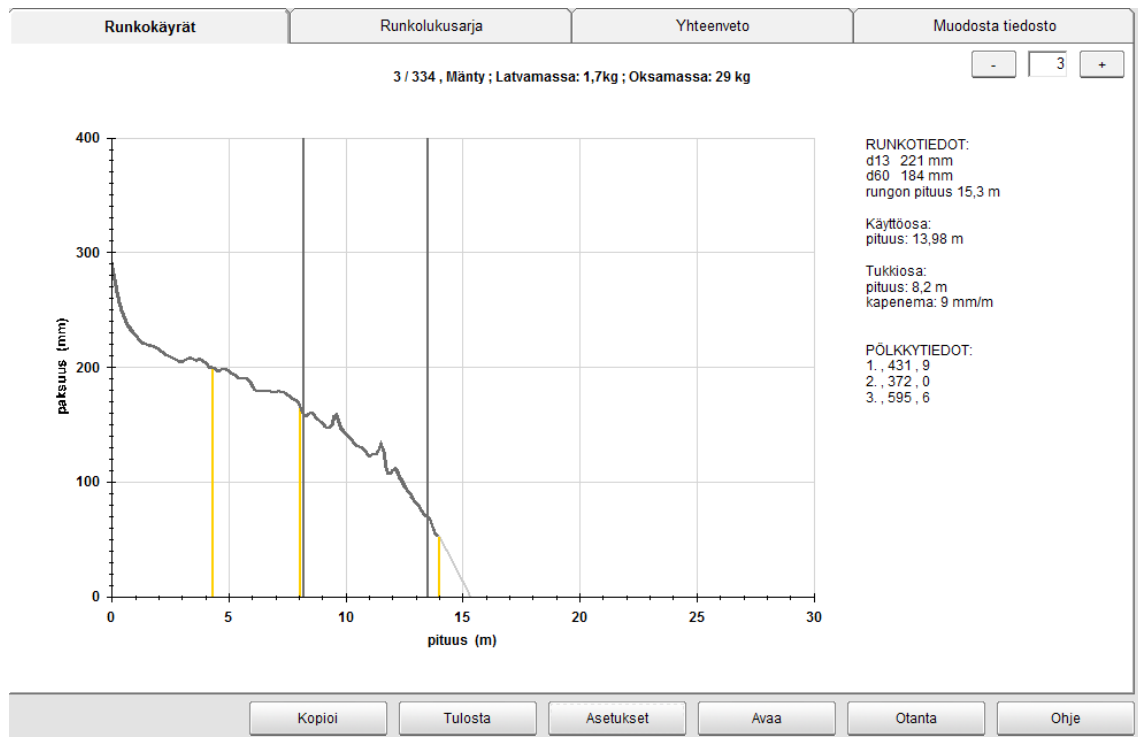
OptiOfficea käytetään apteraustiedostojen tekemisessä ja lukemisessa, simuloinnissa ja hakkuun tulosten tarkastelussa sekä raportoinnissa. Ohjelmistosta löytyy useita seurantatyökaluja koneiden käyttötietojen ja leimikoiden kertymien tarkasteluun. Tutkimuksessa käytettiin OptiOfficea prd- ja apt-tiedostojen avaamiseen ja katseluun sekä prd-tiedostojen tallentamiseen htm-tiedostoksi, jolloin niistä sai ohjelmallisesti poimittua tietoja taulukkoon. (Uudemmissä hakkuukoneissa valittavana on xml-pohjainen tallennus, jolloin hakkuukonetiedostojen jatkokäsittely tutkimuksissa on helppoa.) OptiOfficen runkotietoselainta käytettiin apuna laskettaessa muutamasta leimikosta puiden latvahukkapuusta kertyvän rankapuun määrää.

Hakkuukone tallentaa mittaustulokset ascii-muotoisiin stm-tiedostoihin. Leimikosta tallentuu usein monta stm-tiedostoa. OptiOffice-simuloinnissa leimikon stm-tiedostot muutetaan Ponssen binäärimuotoiseksi runkopankiksi, jonka hakkuuta voidaan jälkepäin simuloida eri apteilla. Samaa aptia käyttäneet stm-tiedostot voidaan yhdistää samaan runkopankkiin. (Vilkman 2012.) Simuloinnin tulosta voidaan tarkastella sekä koko aineiston koosteena että rungoittain. Rungon simuloinnin tuloksissa ovat vierekkäin toteutunut ja simuloinnin ehdottama katkonta (kuva 2). Katkonnoista näkyvät pölkkyjen pituudet, latvaläpimitat, tilavuudet ja ainespuuosuuden yhteispituus.

Simulointi ehdottaa katkaisua niin, että rungon hinta olisi mahdollisimman korkea. Ohjelma tietää runkoprofiilin ja hintamatriisit. Eri katkontavaihtoehdot listataan, lasketaan tukkien tilavuudet, lasketaan tukkien arvo ja valitaan parhaan arvon tuottama katkonta. Simulointi ei huomioi laatua. Näin sen antama tulos on teoreettinen, sillä puutavaralajit erotetaan toisistaan sekä mittojen että laadun perusteella. Simulointitulosta ei voida verrata todelliseen hakkuutulokseen, vaan lähinnä simuloinnissa verrataan eri apteja toisiinsa (Vilkman 2012). Aptia muutetaan ohjaamaan hakkuuta tuotantolaitoksen kysynnän mukaisesti.

OptiOfficen *runkotietoselain*-osio avaa yhden tai useamman stm-tiedoston, jolloin puita voi tarkastella yksitellen näytöllä (kuva 1). Rungosta kerrotaan katkottujen pölkkyjen tilavuudet sekä rungon tiedot: d_{1,3}, d_{6,0}, puun pituus, käyttö- ja tukkiosan pituudet sekä kapenema. Käyttö- ja tukkiosan pituudet ovat todellisia hakkuun yhteydessä stm-tiedos-

toon tallennettuja mittoja. Hakkuukone mittaa runkoa 5 cm latvaläpimitaan asti (Vilkman 2012). Rungon pituus on arvio, joka on laskettu jollain runkokäyräyhtälöllä.



KUVA 1. Rungon profiili ja latvaennuste runkotietoselaimessa

Runkotietoselain arvioi puun latva- ja oksamassan ilmoittaen sen kiloina, jonka määrä kuutioina riippuu käytetystä tiheysarvosta. Runkotietoselaimesta voidaan tulostaa eri muodoissa tiedostoja, joihin on poimittu stm-tiedostoista tiettyjä asioita. Esimerkiksi tässä tutkimuksessa tulostettiin leimikon puustotiedot csv-tiedostoon ja laskettiin sen avulla latvahukkapuusta kertyvän rangan määrää.

4.3 Latvarankapuun laskenta

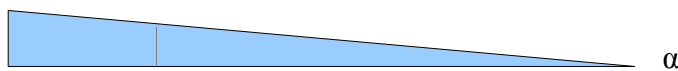
Latvarankapuun kertymiä arvioitiin kolmessa koeleimikossa sekä Laasasenahon taulukoiden avulla että hakkuutiedostojen avulla laskemalla (liite 2). Koska valmista ohjelmaa latvapuun määrän arvioimiseksi hakkuukonetiedostojen avulla ei ole, tutkimuksessa kokeiltiin itse sen laskentaa muutamasta pienestä leimikosta.

Prd-tiedostoja voidaan hyödyntää energiapuun määrittämisessä siten, niiden antamien puulajikohtaisten keskiarvojen oletetaan edustavan keskimääräisiä mediaanipuita. Käyt-

töosan pituuden avulla arvioidaan puun pituus. Pituuden ja läpimitan avulla saadaan Laasasenahon taulukoilla ja yhtälöillä latvasta kertyvä energiapuumäärää. Tiedot voidaan myös syöttää ForestCalc-ohjelmaan, jonka tilavuuslaskenta pohjautuu Laasasenahon yhtälöihin, mutta jossa on lisäksi leimikon maantieteellisen sijainnin perusteella tehtävä korjaus. Repolan biomassamalleissa on mukana hakkuutähteet, joten sovelluskohde on eri kuin tässä selvityksessä. Sinänsä se on malleista ainut, joka on suunniteltu hyödyntämään hakkuukonetiedostoja. METKA-maastolaskurin käyttö ei soveltunut tähän selvitykseen.

Laasasenahon tilavuustaulukot ilmoittavat koko puun, ja hukkapuutaulukot koko latvan tilavuuden. Laskettaessa latvarangan määrää latvahukkapuusta on taulukon arvoista vähennettävä alle 4 cm:n vahvuinen ohuin risu latvasta. Junnikkala käyttää ainespuun minimimittoina männylle 63 mm sekä kuuselle ja koivulle 60 mm. Oletetaan Tapion taskukirjan taulukoissa käytetyn 6 cm:n latvaläpimittaa ja piirretään latva kartiona:

$$D = 6 \text{ cm} \quad d = 4 \text{ cm}$$



$$h_{ranka} + h_{risu} = h_{latva}$$

KUVIO 1. Latvakartio

Lasketaan tietäen, että

$$\sin \alpha = D/2 / h_{latva} \text{ ja myös } \sin \alpha = 4 \text{ cm}/2 / h_{risu}$$

$$\Rightarrow D/2 / h_{latva} = 4 \text{ cm}/2 / h_{risu}$$

$$\Leftrightarrow h_{risu} = (4 \text{ cm} * h_{latva})/D \quad | \text{ sij. } D = 6 \text{ cm}$$

$$\Leftrightarrow h_{risu} = 2/3 * h_{latva} \Rightarrow h_{ranka} = 1/3 * h_{latva} \quad (17)$$

Latvarangan tilavuuden suhde koko latvaan saadaan katkaistun kartion tilavuuden suhteella kartion tilavuuteen:

$$V_{ranka} / V_{latva} = [1/12 * \pi * h_{ranka} * (D^2 * Dd * d^2)] /$$

$$[1/3 * \pi * (D/2)^2 * h_{latva}]$$

$$\Leftrightarrow [1/12 * \pi * 1/3 * h_{latva} * (D^2 * Dd * d^2)] / [1/3 * \pi * (D/2)^2 * h_{latva}]$$

$$\begin{aligned} \text{sijoitetaan } D = 6 \text{ cm ja } d = 4 \text{ cm} \\ \Rightarrow V_{ranka} / V_{latva} = 0,7 \end{aligned} \quad (18)$$

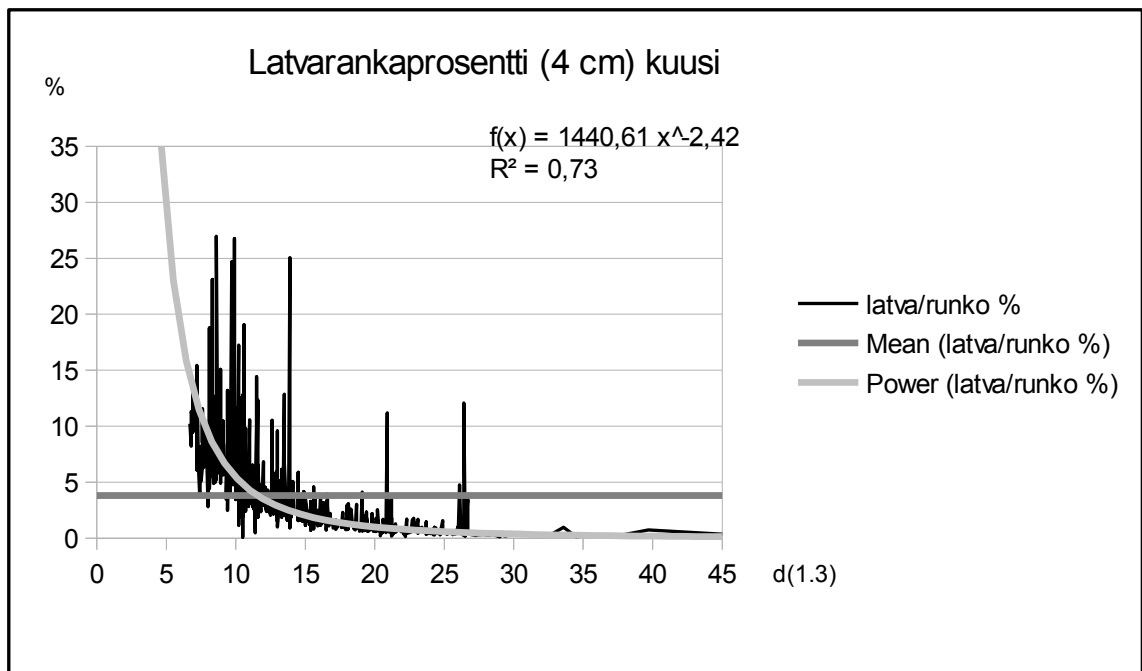
Latvarankapuun määrä saadaan karkeasti kertomalla Laasasenahon ainespuutaulukosta päätelty hukkapuuprosentit tai hukkapuutaulukoiden ilmoittamat tilavuudet kertoimella 0,7.

Latvarangan määrää laskettiin *hakkuukonetiedostojen* ja OptiOfficen runkotietoselaimen avulla. Koelaskentaan valitusta leimikosta tulostettiin csv-laskentatiedosto, joka tallennettiin ods-*taulukkolaskentatiedostoksi*. Csv-tiedosto näyttää jokaisen rungon indeksin, puulajitunnuksen, rinnankorkeusläpimitan $d_{1.3}$, yläläpimitan d_6 ja puun arvioitun pituuden. Simuloimalla leimikkoa sen omalla aptilla, saattoi tarkastella toteutunutta hakkuuta, josta merkittiin ylös kunkin puun käyttöosan pituus ja ainespuun katkaisuläpimitta. Joidenkin puiden pituusarvio puuttui, jolloin se merkittiin runkotietoselaimen avulla. Kuljettaja on voinut tehdä pölkyn alamittaisesta rungosta tai puu on ollut haara-puu, oksakymyn vuoksi ylöspäin levenevä tms., jolloin simulointiohjelma ei osaa käsitellä sitä. Epäkelpojen runkojen ainespuun katkaisukohtaa ei nähnyt tiedostoista, koska ne eivät olleet mukana simuloinnissa, joten se arvioitiin runkotietoselaimen näytöltä kyseisen puun profiilista.

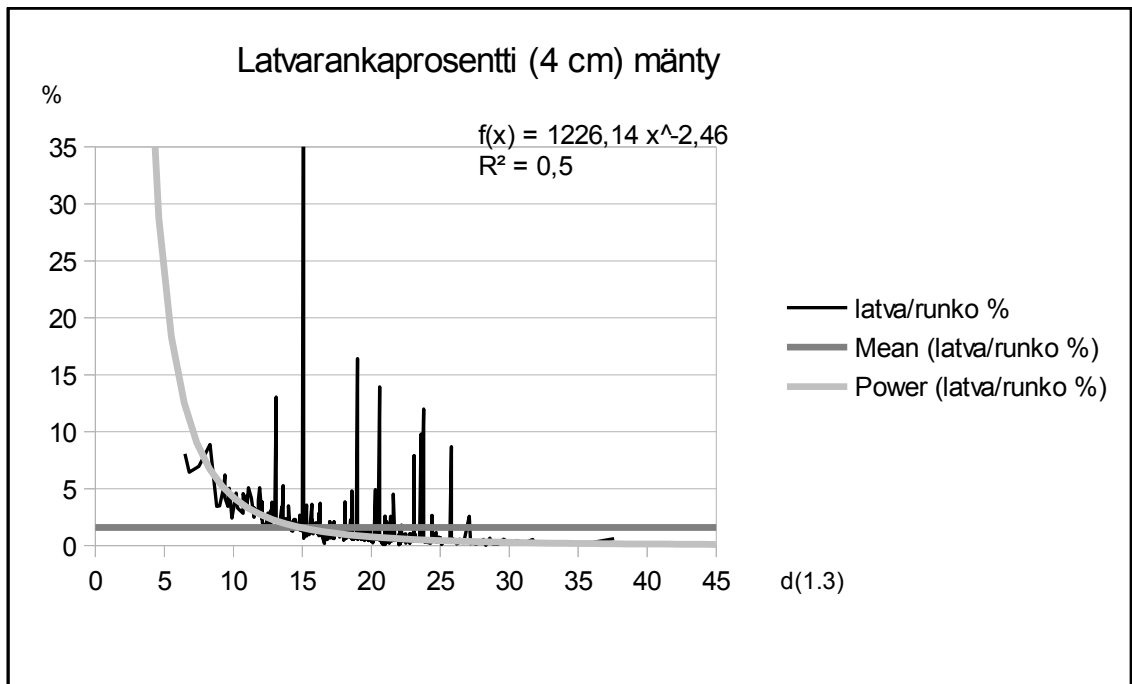
Näin kaikille rungoille saatiin kutakuinkin oikeat arvot puuttuviin kohtiin ja kaikki leimikon rungot saatiin mukaan latvahukkapuun määrän arviointiin. Kullekin rungolle laskettiin Laasasenahon kolmen mittaustunnuksen tilavuusyhtälön avulla (yhtälö 1) puun tilavuus, johon latvarangan osuutta verrattiin, jolloin saatiin latvahakkeen suhde rungon tilavuuteen prosentteina. Latvarankapuun tilavuus laskettiin puun pituuden, käyttöosan (tukki + kuitu) pituuden ja ainespuun katkaisuläpimitan perusteella, kun katkaisuläpimitta on 4 cm:

$$\begin{aligned} h_{latva} &= h_{puu} - h_{käyttöosa} \\ h_{latva} &= h_{ranka} + h_{risu} \\ h_{risu} &= (4 * h_{latva}) / D \\ V_{ranka} &= 1/12 * \pi * h_{ranka} * (D^2 * Dd * d^2) \\ D &= \text{ainespuun katkaisuläpimitta, } d = 4 \text{ cm} \end{aligned} \quad (19)$$

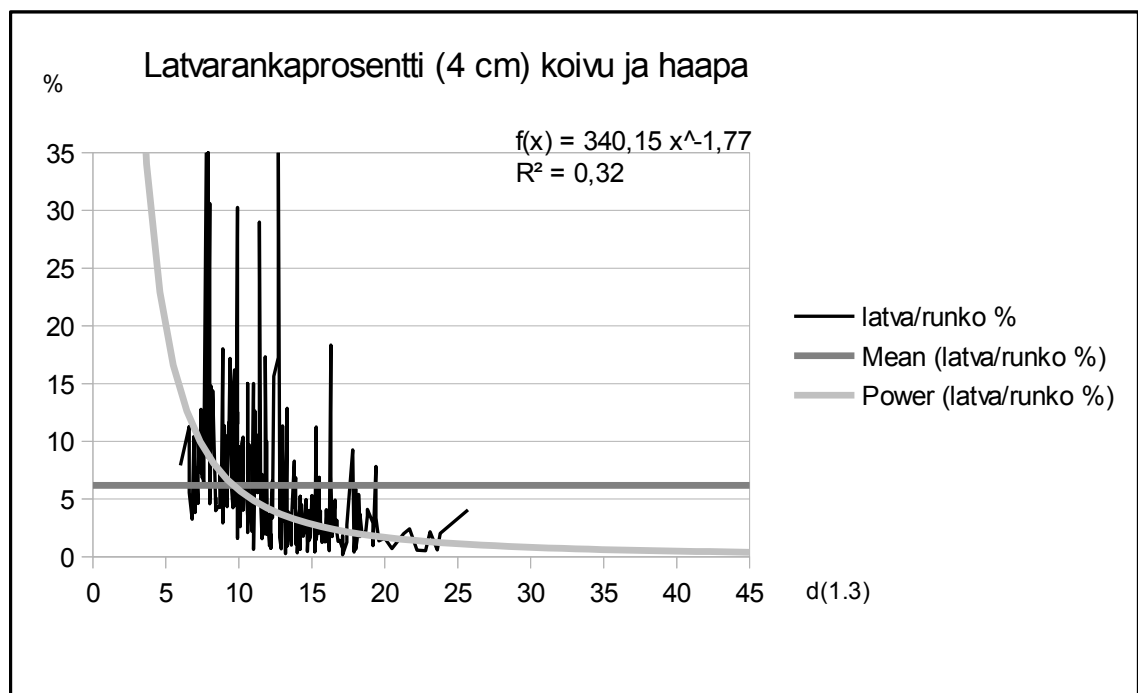
Kolmen koeleimikon puut yhdistettiin, ryhmiteltiin männylle, kuuselle ja koivulle, johon haapa yhdistettiin. Näille piirrettiin OpenOffice Calc -laskentaohjelmalla käyrä kuvastamaan läpimitan x ja latvarankaprosentin y suhdetta (potenssikäyrä $y = a * x^m$). Kun esitetään pistejoukko (x_i, y_i) käyränä $y = f(x)$, pisteen x_i arvo y_i poikkeaa yleensä käyrän arvosta $f(x)$. R kuvastaa koko sovituksen virhettä. Kuusia koepuina oli 649, mäntyjä 423 ja koivuja ja haapoja 234. Käyrästä näkyy se, miten toteutuneissa hakkuissa latvan katkaisukohta on usein paksumpi kuin ainespuun minimiläpimitta (kuviot 2 - 4).



KUVIO 2. Kolmesta koeleimikosta laskettu latvarangan määrä kuusella



KUVIO 3. Kolmesta koeleimikosta laskettu latvarangan osuus mänyllä



KUVIO 4. Kolmesta koeleimikosta laskettu latvarangan osuus koivulla ja haavalla

Kertymien laskenta jokaiselle leimikolle hakkuukonetiedoista ei olisi ollut mielekäs-
 tä. Laskenta pitäisi oikeastaan toteuttaa ohjelmalla, jolle syötetään stm-tiedostot ja joka
 laskee latvapuun määrän jokaiselle rungolle ja edelleen yhteen puulajeittain. Vaikka las-
 kennan toteutuksen ohjelmoiminen stm-tiedoista ei liene vaikeaa, ohjelmointi ei ollut

nyt tarkoituksena, vaan lähinnä kokeilla sitä, miten hakkuukonetiedostojen hyödyntäminen onnistuu. Aikaa vievää olisi myöskään ollut lähteä arvioimaan jokaiselle leimikolle puulajeittain keskimääräisiä mediaanipuita, joille olisi selvitetty latvarangan määrä taulukoista tai joidenkin ohjelmistojen avulla. Jotta saataisiin yhtenäisellä menetelmällä kaikille leimikoille latvasta kertyvän energiapuun määrä, tehtiin koeleimikoiden arvojen perusteella taulukot, joista laskentaohjelman avulla poimittiin leimikoille puulajeittain rinnankorkeusläpimitan perusteella latvarankaprosentti. Käyrän oikeellisuus ei sinänsä ole niin oleellista tässä tutkimuksessa, koska jos hakkuukonetiedostojen perusteella saataisiin latvarangan määrä ohjelmallisesti, se laskettaisiin jokaiselle rungolle erikseen kyseisen rungon runkokäyräyhtälöllä. Nyt siis käytettiin koeleimikoiden prosentteja muiden leimikoiden latvarangan määrän arvioimiseen.

TAULUKKO 5. Latvarankaprosentin käyristä johdettu taulukko

LATVARANKAPROSENTTI				
d(1.3)	mänty	kuusi	koivu	kaikki
10	4.2	5.4	5.8	5.4
11	3.3	4.3	4.9	4.3
12	2.7	3.5	4.2	3.4
13	2.2	2.9	3.6	2.8
14	1.8	2.4	3.2	2.3
15	1.6	2.0	2.8	1.9
16	1.3	1.7	2.5	1.6
17	1.1	1.5	2.3	1.4
18	1.0	1.3	2.0	1.2
19	0.9	1.1	1.9	1.1
20	0.8	1.0	1.7	0.9
21	0.7	0.9	1.6	0.8
22	0.6	0.8	1.4	0.7
23	0.5	0.7	1.3	0.7
24	0.5	0.7	1.2	0.6
25	0.4	0.6	1.1	0.5
26	0.4	0.5	1.1	0.5
27	0.4	0.5	1.0	0.4
28	0.3	0.4	0.9	0.4
29	0.3	0.4		0.4

Koeleimikoista laskettiin latvarangan määrä ainespuuosuuden ja 4 cm:n katkaisukohdan välillä. Tiedossa on leimikosta kertynyt ainespuu, joten latvarangan osuus saadaan:

$$\text{latvaranka}\% = 100 * \text{latvaranka} / (\text{ainespuu} + \text{latvaranka}) \quad (20)$$

Käänteisesti laskien voidaan tällä prosentilla kertoa leimikon todellinen hakkuukertymä, jolloin saadaan kertynyt latvarangan määrä kuutioina. Tutkimuksessa laskenta tehtiin puulajeittain leimikon prd-tiedoista näkyvien puulajien keskiläpimittojen mukaan.

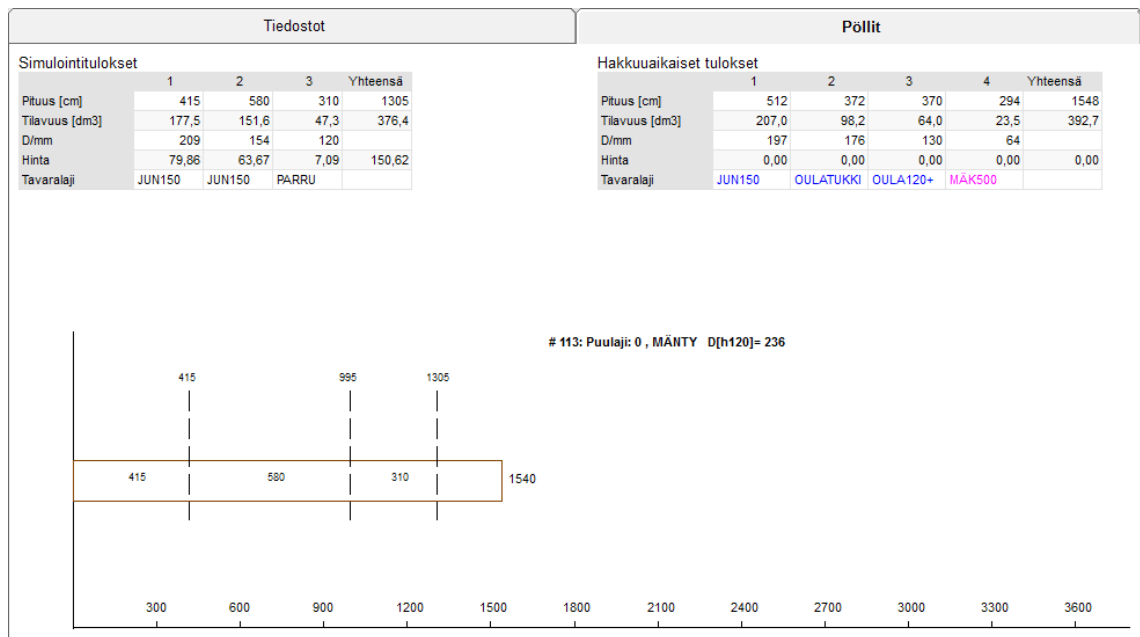
5 TULOKSET

5.1 Ainespuun kertymät

Puun katkontaa puutavaralajeiksi tarkasteltiin OptiOfficen simuloinnissa keskittyen kuitupuun, pikkutukin ja parrun apteeraukseen. Simuloinnin luonteesta johtuen todettiin, että on viisainta luopua ajatuksesta toteuttaa vertailevia simulointeja, ja sen sijaan on antoisampaa tarkastella toteutuneita puutavaralajikertymiä. Leimikoiden puutavaralajiryhmien kertymistä tehtiin kuviot männyn ja kuusen pääte- ja harvennushakkuille. Niistä näkyy havainnollisesti rungon järeyden ja puutavaralajien suhde.

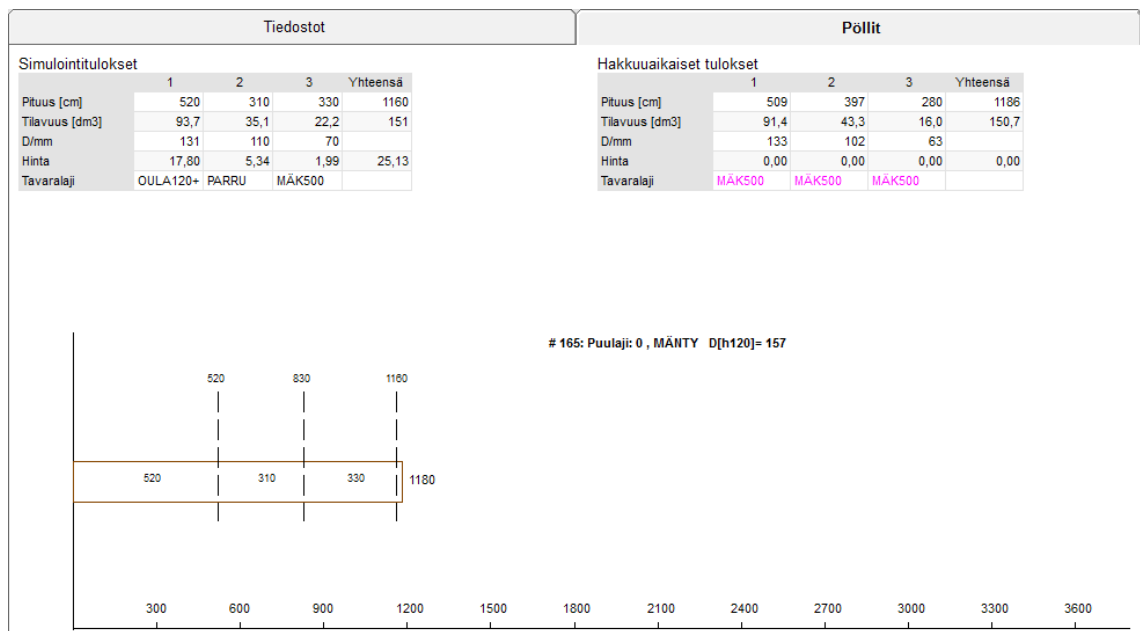
Toteutuneista hakkuista todettiin, että leimikoiden apteja oli vaihdettu useasti markkina-tilanteen mukaan. Aptin muutos koski pääasiassa arvomatriisin muutosta tai esimerkiksi parrun tyyppin vaihtoa. Junnikkala ei käytä jakaumamatriisia.

Kuitupuun mittaisesta puusta voidaan katkoa paitsi kuitupuuta, myös parrua tai pikkutukia. Kone (hakkuukone tai simulaattori) ehdottaa matriisien ja rungon mittojen perusteella parhaimman hinnan tuottavaa katkontaa. Kuvassa 2 simulointi ehdottaa katkaistavaksi kaksi tukkia (yhteensä 915 cm) ja parrun 12 cm:n latva-läpimitalla 13,05 m ainespuun mitassa. Kuljettaja on tehnyt kaksi tukkia (yhteensä 884 cm), pikkutukin ja kuidun 6,4 cm:n latvaläpimitalla 15,48 m mittaan asti.



KUVA 2. Puun katkominen laadun mukaan ja tarkasti ainespuu talteen ottaen

Mittaus ei taltioi lenkoutta, lahoja oksia jne, jotka estävät rungon katkomisen sahattaviksi puutavaralajeiksi. Kuvassa 3 simulointi ehdottaa pikkutukin ja parrun katkaisua, mutta kuljettaja on katkonut puun kuiduksi, koska ilmeisesti puun huono laatu on estänyt sen käytön sahapuuna.



KUVA 3. Laadun vaikutus pikkutukin ja parrun kertymään

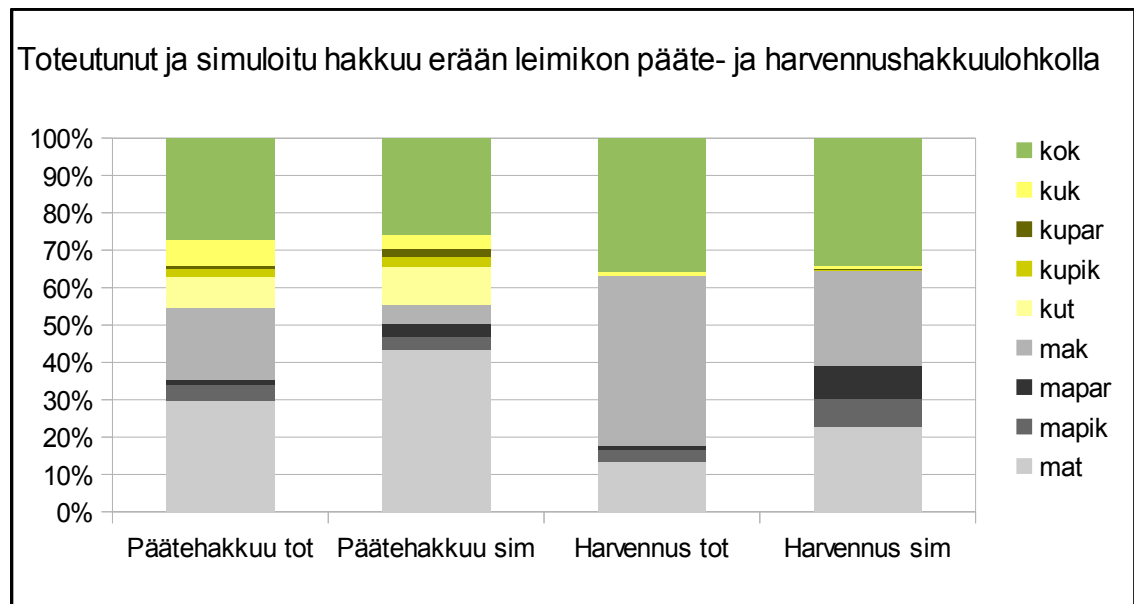
Simuloitaessa hakattuja leimikoita jälkeensä leimikon omalla aptilla, tulokset eroavat huomattavasti toteutuneista kertymistä. Tukeilla simuloinnin tulos vaihtelee leimikon laadusta riippuen. Toisinaan simulointi antaa aika lähelle toteutunutta vastaavan tuloksen, toisinaan merkittävä osa kuitupuusta siirtyy simuloinnissa tukiksi. Pikkutukeilla ja parrulla ero on aina merkittävä. Simulointituloksia seurattaessa huomio kiinnittyi siihen, että simulointi valitsee usein pikkutukin tai parrun, vaikka ainespuuta päätyisi hukkapuuksi jopa pari metriä. Kuljettaja taas säännönmukaisesti katkaisee puun ainespuun minimimitaan asti. Kuljettaja siis saattaa valita mieluummin 4,95 m kuidun kuin 3,1 m parrun joko hyödyntääkseen koko ainespuun tai siksi, että em. valintatilanteessa puu on latvassa parrun ohuella mitalla liian heikkolaatuista sahattavaksi. Latvaläpimitat ovat pikkutukilla 12,3 cm ja parrulla 11,0 tai jopa 8,5 cm, joten niissä ei saa olla minkäänlaista laatuviikaa, ei lievintäkään lenkoutta, paksuja oksia tms.

Näin simulointi ehdottaa pikkutukkia ja parrua aina, kun ne mittojen puolesta olisivat mahdollisia, koska ne on hintalistassa hinnoiteltu kuitupuuta korkeammalle, mutta käytännössä niitä ei voi hakata. Simuloitaessa erään leimikon pääte- ja harvennushakkuulohkot niissä käytetyillä apteilla, saatiin taulukon 4 mukaiset tulokset. Nimikettä puutavaralajiryhmä käytetään tässä, koska männyllä hakattiin kolmea ja kuusella kahta eri tukkilaatua, jotka on alla yhdistetty mänty- ja kuusitukeiksi.

TAULUKKO 6. Puutavaralajien jakautuminen eräällä leimikolla toteutuneessa hakkuussa ja saman leimikon samalla aptilla tehdyssä simuloinnissa

TOTEUTUNEET JA SIMULOIDUT HAKKUUT ERÄÄN LEIMIKON LOHKOILLA										
Lohko \ pti ryhmät	mat	mapik	mapar	mak	kut	kupik	kupar	kuk	kok	yht
Päätehakkuu tot	113	17	5	74	31	8	3	27	103	381
Päätehakkuu sim	161	13	13	19	38	9	8	14	96	372
Harvennus tot.	10	2	1	35	0	0	0	1	27	76
Harvennus sim	17	5	6	18	0	0	0	1	25	72

Asia nähdään havainnollisemmin piirrettynä kuvioista 5. Päätehakkuulla simulointi laskee toteutuneita kertymiä enemmän tukkia ja parrua ja harvennuksella kaikkia sahattavia puutavaralajeja:



KUVIO 5. Puutavaralajien suhteellinen osuus toteutuneessa hakkuussa ja saman leimikon samalla aptilla tehdyssä simuloinnissa

Alkuperäinen aikomus tutkimuksessa oli korvata kuitupuu muilla puutavaralajeilla olettaen, että leimikoista olisi kerätty tukki- ja kuitulaadut. Simuloinnin avulla olisi tarkasteltu pikkutukin ja parrun kertymiä sekä arvioitu latvahukkapuusta kertyvän energia-puun määrää. Toteuma olikin niin päin, että pikkutukki ja parru ovat Junnikkalalla osa vakiintunutta puutavaralajivalikoimaa. Simuloinnin todettiin sopivan huonosti tähän yhteyteen, koska laatu määrittää pikkutukin ja parrun erottelun. Tuloksena olisi saatu liikaa pikkutukkia ja parrua sillä aptilla, jossa ne ovat mukana, verrattuna toiseen aptiin, jossa on vain tukki ja kuitu. Sen sijaan tiedossa olivat toteutuneet pikkutukin ja parrun kertymät, joita voidaan tarkastella suhteessa kuitupuuhun eri tavoin.

Parrun kerääminen on suoraan kuitupuun kertymästä pois, koska se on mitoiltaan liian pientä tukiksi tai pikkutukiksi. Pikkutukin kerääminen vähentää jonkin verran tukin saantia, mutta vaikutus riippuu siitä, millä arvoilla pikkutukki on painotettu hintamatriisissa. Jos sen arvo on merkitty tarpeeksi suureksi, se kilpailee osittain tukin kanssa. Hakkuukone voi tällöin ehdottaa lyhyttä tukkia ja sen jatkeeksi pikkutukkia. Tällöin osa pikkutukiksi päätyvästä puusta olisi voinut olla osa pitkää tukkia, joka on arvokkaampaa myyjälle. Toisaalta myyjä saa korkeamman hinnan pikkutukista, joka muuten olisi tukkia pienemmältä osaltaan kuidun arvoista. Simuloinnissa kokeiltiin hinnoitella pikkutukki yhtä korkealle kuin tukki, jolloin tuloksena oli lähinnä pikkutukin mittaisten

ohuiden tukkien määrän kasvu tukkien kustannuksella, ei juurikaan kuitupuun vähene-
minen. Se ei olisi hyvä kehityssuunta sahan toiminnalle. Pikkutukin mitat ja hinta muo-
toutuvat jokaisen sahalaitoksen tuotannon tavoitteiden mukaisesti.

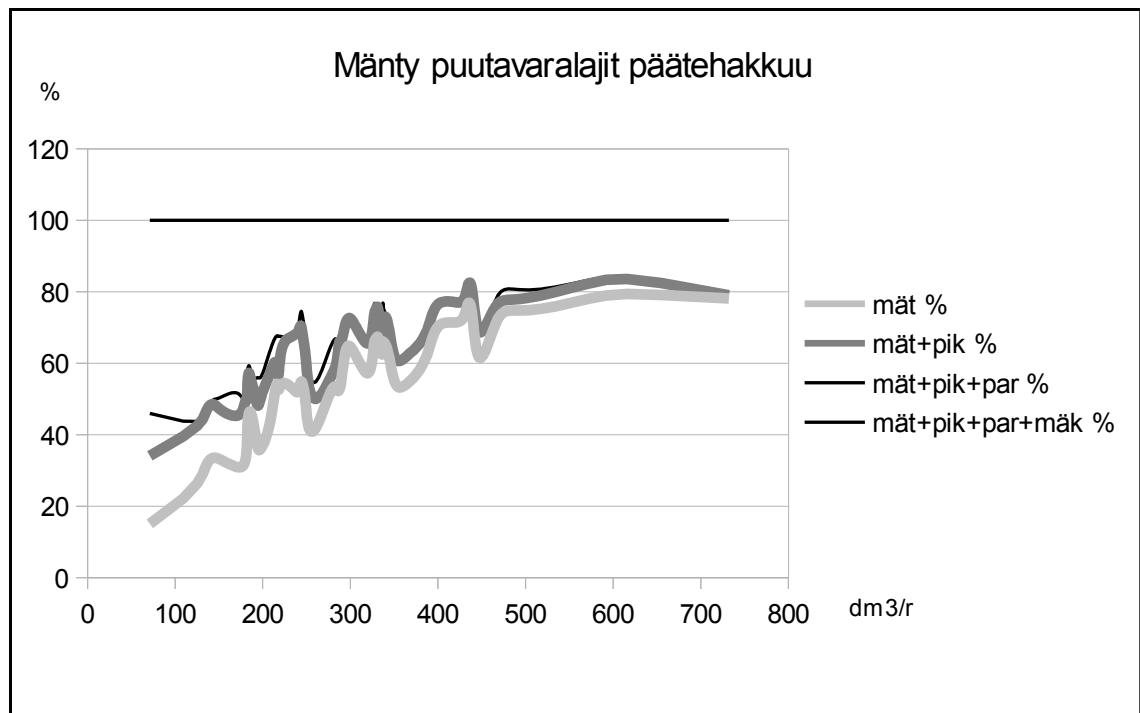
Puutavaralajien kertymiä tarkasteltaessa huomattiin, kuinka leimikoista oli hakattu pää-
sääntöisesti useita puutavaralajeja:

- mäntytukki (OULATYVI, OULATUKKI, JUN150)
- mäntypikkutukki
- mäntyparru (ei kaikilta leimikoilta)
- mäntykuitu
- kuusitukki (JUNTYYVI, JUN)
- kuusipikkutukki
- kuusiparru (ei kaikilta leimikoilta)
- kuusikuitu
- koivukuitu
- haapatukki (kahdella leimikolla)
- haapakuitu

Järeyden mukaan puutavaralajiryhmiä oli kertynyt kuvioiden 6 - 9 mukaisesti. Puutava-
ralajien osuuksia ei ole painotettu leimikoiden kuutiomäärillä. Kuvioista saa kuitenkin
havainnollisesti suuntaviivaa siitä, miten sahapuuta leimikoista kertyy. Tulokset ovat
erityisen mielenkiintoisia siksi, että ne vastaavat todellisia laatuun perustuvia hakattuja
määriä.

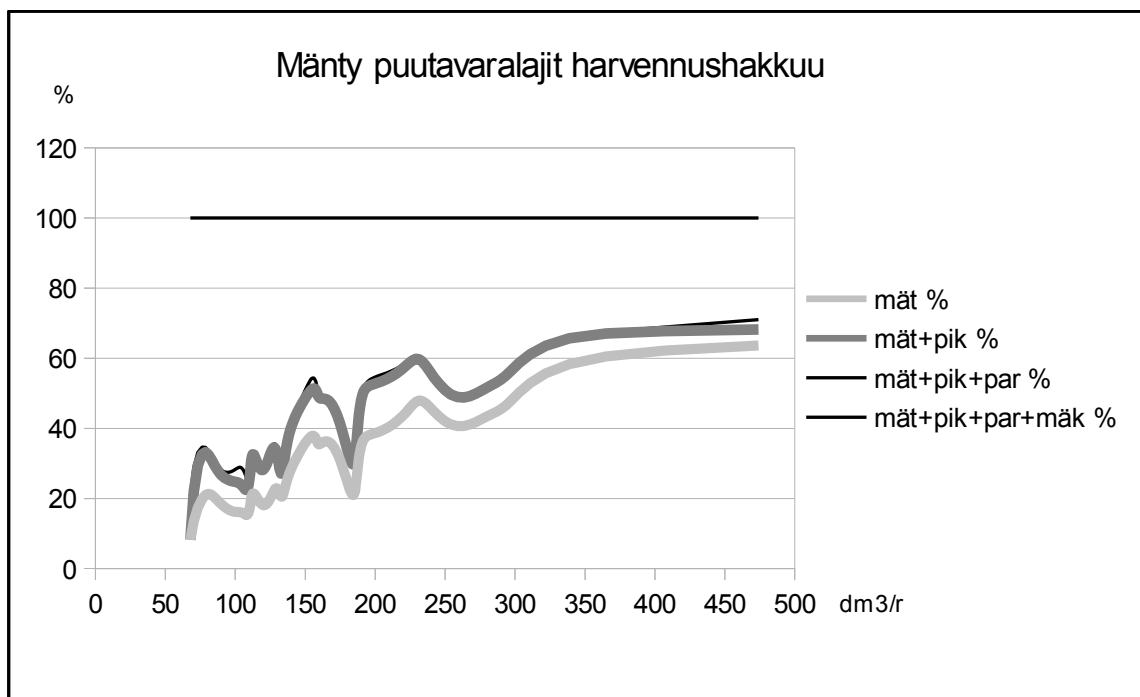
Männyllä sahapuuprosentti vaihtelee leimikoittain enemmän kuin kuusella, kuten ku-
vioista 6 ja 8 huomataan. Aineiston epätasaisuus kuitenkin kuvastaa todellisia leimikoi-
ta. Esimerkiksi samalla keskijäreydellä tukkipuuprosentti voi vaihdella välillä 11 - 60
%. Leimikko on voinut olla suolla tai huonolle laadulle on muita syitä.

Männyllä kertyy päätehakuulla (kuvio 6) kuitupuuta 150 litran keskijäreydellä noin 50
%, 300 litrassa 30 % ja 400 litran jälkeen 20 %. Päätehakuuleimikoissa pikkutukin ker-
tymä vaihtelee suuresti leimikoittain. Päätehakuulla parrua ei juuri tule yli 300 litran
leimikoista. Tämä johtuu rungon nopeasta kapenemisesta järeillä rungoilla (kuva 4).



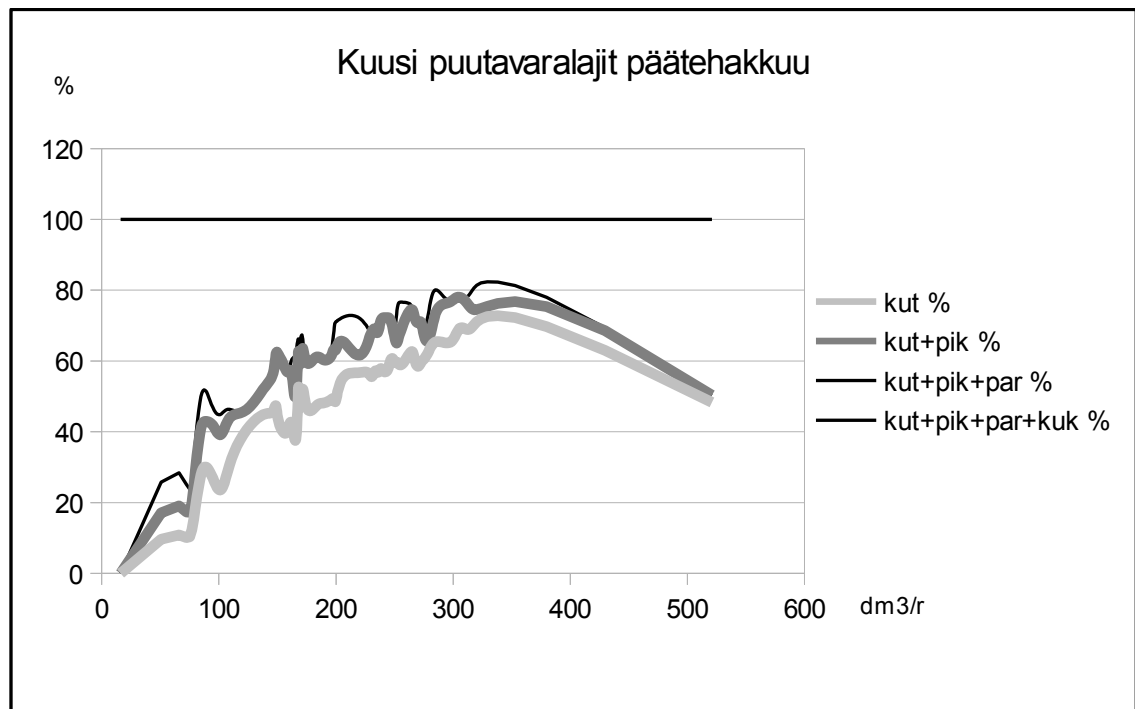
KUVIO 6. Puutavaralajien kertymä männyllä päätehakkuulla 58 leimikossa

Mäntykuitupuuta kertyy harvennuksilla alle 150 litran keskijäreydellä myös noin 50 %, mutta järeimmillä rungoilla hieman enemmän kuin päätehakkuilla. Kuvioista 7 näkyy hyvin leimikoiden epätasaisuus. Pikkutukkia kertyy tasaisesti keskijäreysten mukaan. Sen osuus on 250 litran jälkeen alle 10 %:iin. Parrun kertymä on vähäistä.



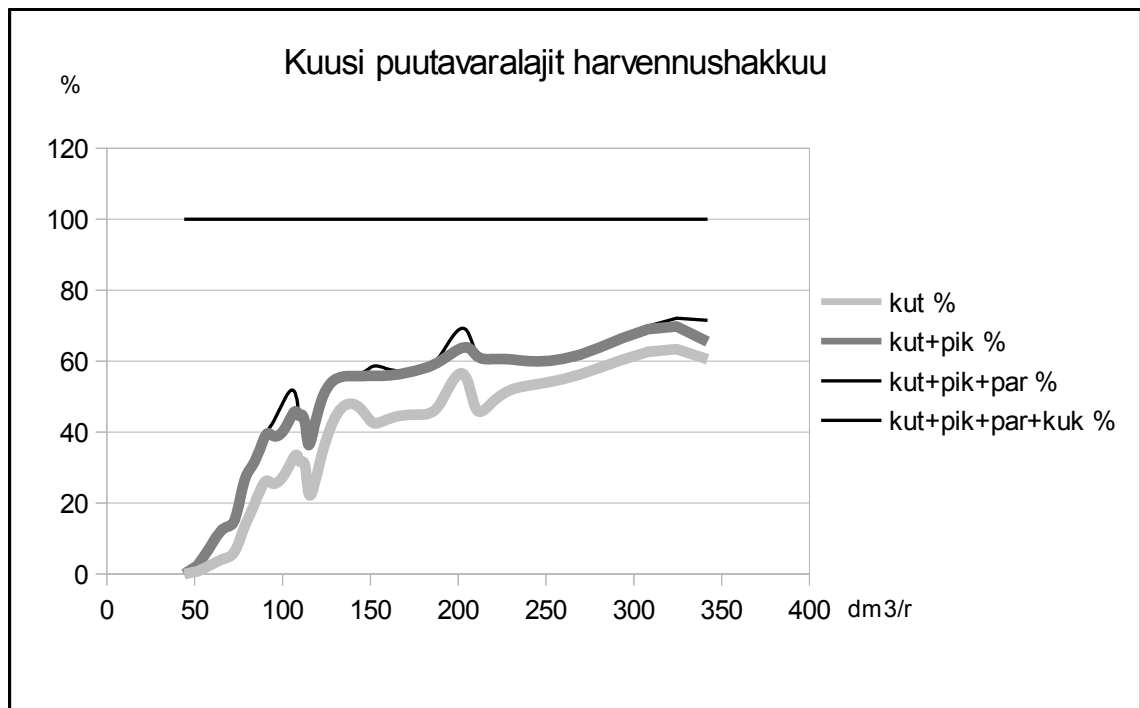
KUVIO 7. Puutavaralajien kertymä männyllä harvennushakkuulla 30 leimikossa

Päätehakkuilta kertyy aluspuuna olevaa pientä kuusta, josta lähtee vähän sahapuuta. Päätehakuuleimikoiden kuusitukkiprosentti laskee järeyden kasvaessa kuviossa 8, koska otokseen on sattunut pari leimikkoa, joissa järeät kuuset ovat olleet huonolaatuisia. Karkeasti sanottuna päätehakuulla kuusikuitupuuta kertyy yli 40 % 150 litran keskijäreyteen asti. Päätehakuulla kuitupuun osuus vakiintuu hieman yli 20 %:iin 300 litran jälkeen. Kuusella pikkutukkia kertyy tasaisemmin kuin männyllä, noin 15 %. Parrun kertymä vaihtelee leimikoittain.



KUVIO 8. Puutavaralajien kertymä kuusella päätehakuulla 58 leimikossa

Harvennuksilla (kuvio 9) kertyy kuusikuitupuuta yli 40 % 250 litraan asti ja osuus vakiintuu 30 %:iin 300 litran jälkeen. Kuusella pikkutukkia kertyy tasaisesti, yli 15 % 225 litran keskijäreyteen saakka ja senkin jälkeen 10 %. Parrun kertymä vaihtelee leimikoittain.



KUVIO 9. Puutavaralajien kertymä kuusella harvennushakkuulla 30 leimikossa

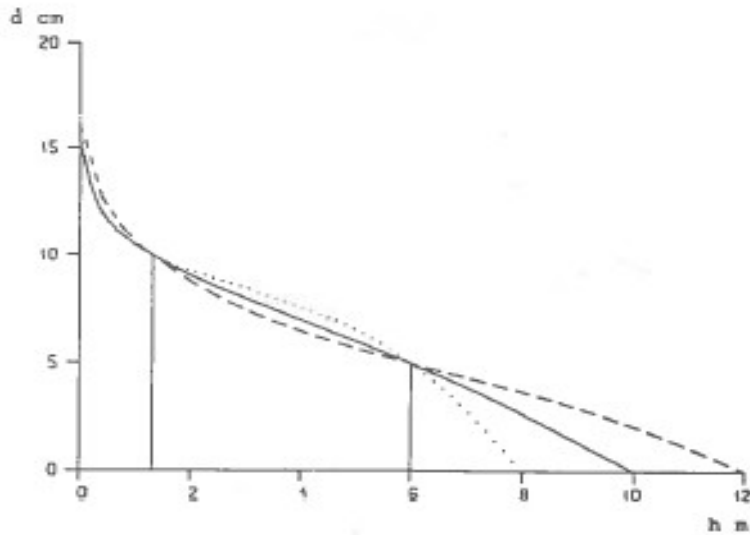
Pikkutukkia kertyy tasaisesti kaikilta leimikoilta, eli se on yleensä mukana apteissa. Parrua sen sijaan ei kerätä kaikilta leimikoilta, mikä osaltaan selittää sen epätasaisen kertymän.

5.2 Latvarankapuu

Ohjelmallisesti on helppoa laskettaa latvarangan määrä hakkuukoneella tai jälkeinpäin tietokoneella tässä käytettyä menetelmää mukaillen. Leimikoista voidaan laskea latvarangan määrä tietyllä katkaisuläpimitalla ainespuun teosta tulevien hakkuukone-tiedostojen perusteella. Kun kuitua kerätään rankana, hakkuukone mittaa sen 5 cm:iin asti ja loppuosan määrä saadaan tietokoneelta ilman erillistä työpanosta maastossa. Laskennassa käytetty katkaistun kartion kaava ei ole tarkka, mutta se ei ole tässä oleellista. Samoin nyt käytettiin prd-tiedostojen antamia puulajeittaisia keskiläpimittoja, joilla saadaan liian suuri latvarankapuun määrä, koska keskiläpimitta korostaa pieniä puita, joiden latvan tilavuus on suhteellisesti suurempi kuin tukkipuilla.

Oma laskenta perustuu OptiOfficen arviointiin puiden pituudesta. Jos ajatellaan sen perustuvan Laasasenahon runkokäyräyhtälöihin, pituusarvioita voidaan pitää luotettavina. Hakkuussa puuta ei aina katkaista ainespuun minimiläpimitaan, vaan rangan maksimi-

mitan täytyessä aiemmin jää latvahukkapuuhun ainespuuta. Toisaalta kuljettaja katkoo puuta joskus hiukkasen alamittaan. Tässä mielessä hakkuukonetiedostoihin perustuva latvarangan määrän arvioiminen tuntuu tarkimmalta.



KUVA 4. Männyn runkokäyrien vertailuesimerkki $d = 10$ cm, $d_6 = 5$ cm ja $h = 8, 10$ ja 12 m (Laasasenaho ym. 1983, 4)

Laasasenahon taulukoihin latvahukkapuun määrästä perustuva arvio on aika yhtäläinen oman mittauksen tulosten kanssa (liite 2). Laasasenaholla hukkapuuta kertyy enemmän pienissä läpimittaluokissa (kuva 4). Tämä johtunee ainakin kahdesta syystä: Laasasenahon aineisto käsittää koko Suomen, jolloin puut ovat keskimäärin tasaisemman mallisia kuin Pohjois-Pohjanmaan rannikolla. Omassa latvarangan osuuden laskennassa käytettiin katkaistun kartion kaavaa, jossa muotolukuna on $1/3$ eli $0,33$, kun se puilla yleensä on $0,45 - 0,55$. (Puun tilavuuden peruskaava $V = g * h * f$). Toisaalta Laasasenaholla puu katkeaa aina ainespuun minimimitassa, mutta todellisuudessa usein sitä paksumpana. Sen vuoksi olisi luullut oman laskennan tulosta taulukoita isommaksi.

Päättehakuuleimikoilla keskiläpimitta on yleensä niin suuri, että hukkapuun osuus on Tapion taskukirjan Laasasenahon taulukoissa puun pituudesta riippumatta todennäköisesti 2% , josta hakettavaa kertyisi $0,7 * 2\% = 1,4\%$ (ks. yhtälö 18). Tässä aineistossa päättehakuilla 54:llä leimikolla 57:stä männyn keskiläpimitta oli 14 cm tai enemmän,

jolloin latvahukkapuusta kertyisi haketta enintään $0,7 * 3 \% = 2,1 \%$. Harvennushakkuilla noin puolella leimikoista keskiläpimitta oli 11 - 15 cm, jolloin hukkapuuta jää 9 - 4 %, josta hakepuuta olisi 6,3 - 3,6 %.

5.3 Korjuu

Junnikkalan käyttämä taksanlaskentamalli ei huomioi tuottavuutta. Toisin sanoen, vaikka eri kuitupuulajit korjataan sekarankana, jolloin työpisteestä kertyy kolmen puulajin puut, tiheyden kasvu ei muuta urakoitsijan taksaa.

Junnikkalan taksanlaskentamallissa puutavaralajien laatu ja määrä vaikuttaa lähikuljetuksessa eri tavoin. Havukuidun taksa on havutukin taksaa 20 – 22 % korkeampi. Koivutukin taksahinta on suurempi kuin havutukin, mutta sillä ei ole merkitystä Pohjois-Suomessa. Koivukuidun taksa on havukuidun taksaa 22 – 34 % korkeampi. Olettakaamme, että urakoitsija kuljettaisi koivukuidun havukuidun hinnalla. Jos leimikon kaikki kuitupuu kerättäisiin sekarankana, siitä aiheutuisi Junnikkalan taksanlaskentamallissa yritykselle ainoastaan se säästö, joka syntyy ajettaessa koivukuitua havukuidun taksalla eli ajomatkasta riippuen päätehakkuulla 17 % - 26 % ja harvennuksilla 10 % – 16 %. Urakoitsijalle puolestaan jäisi kaikki se hyöty, jonka puutavaralajien väheneminen tuottaa nopeutuvana työnä. Sekarangan korjuusta kentältä saadut kokemukset viittaavat siihen, että työn nopeutuminen on huomattavaa (Pitkänen 2012). Toisaalta koivun ajaminen havun seassa pienentää koneurakoinnin tuottavuutta pienentämällä kuormakokoa.

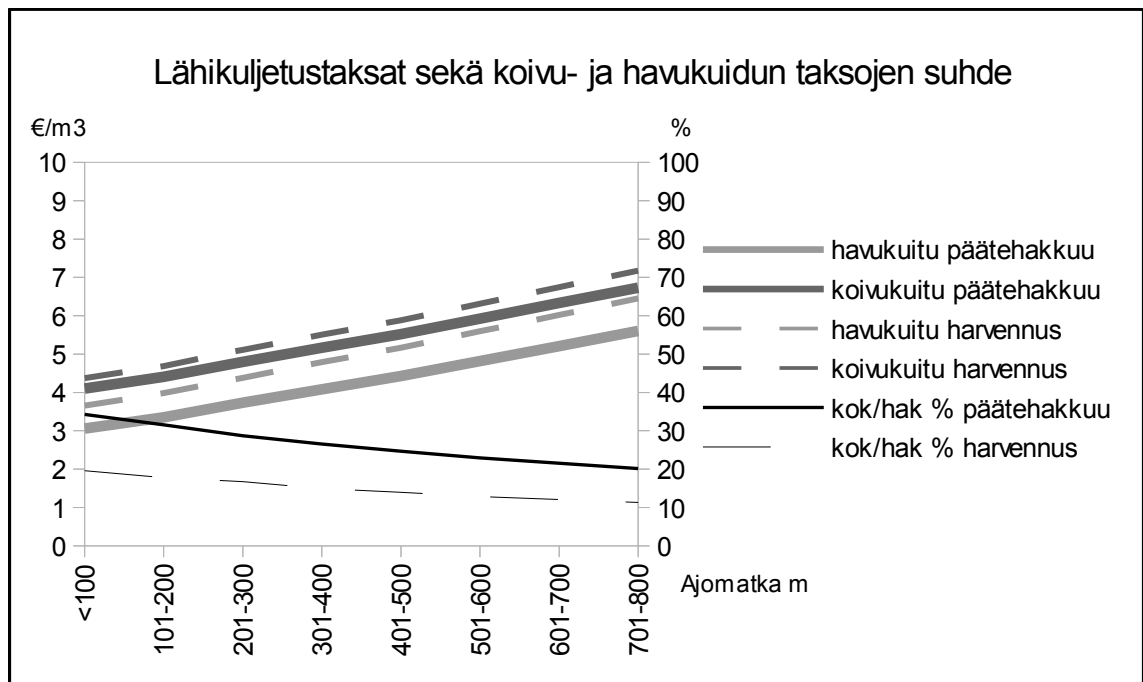
Jotkut ostajat haluavat kuitua lyhyellä mitalla, joka ei täytä traktorin kuormatilaa yhtä tehokkaasti kuin pitempi ranka, mikä kompensoidaan lisäkorvauksella 0,15 €/m³. Lyhyellä koivukuidulla lisäys on ajomatkasta riippuen 3 – 5 % kummallakin hakkuutavalla. Ajomatkan kasvaessa korvaus suhteellisesti pienenee, koska taksa kasvaa. Sekarangan korjuussa säästettäisiin lyhyen kuidun ajosta maksettava 0,15 €/m³ korvaus.

Jos leimikosta kerätään latvarankaa, runkojen keskijäreys nousee, jolloin konehakkuun taksa alenee. Selvityksessä 15:sta leimikossa 88:sta järeys nousi taksataulukossa seuraavaan luokkaan (liite 3). Tällä ei kuitenkaan ole suurta vaikutusta lopullisiin kustannuksiin. Taksa halpenee pienillä rungoilla enemmän kuin isoilla: järeiden kasvaessa 79

dm³ → 83 dm³ taksa alenee 1,28 * 1,05 €/m³ (12,07 → 11,02 €/m³) ja järeyden kasvaessa 264 dm³ → 267 dm³ taksa alenee 1,28 * 0,18 €/m³ (4,86 → 4,68 €/m³).

Pikkutukin ja parrun erottelua ei ole huomioitu perinteisessä puutavaralajien ryhmitteilyssä. Junnikkalan urakoitsijalle tilitetään niistä erottelulisää lähikuljetuksessa 0,22 €/m³ pikkutukille ja 0,42 €/m³ parrulle. Esimerkiksi päätehakuulla 300 m ajomatkan havukuidun taksalla 2,91 €/m³ (harvennushakuulla 3,42 €/m³) lisäys on pikkutukilla 8 % (6 %) ja parrulla 14 % (12 %). Erottelun hinta tulee suoraan lisäkorvauksen ja kuutiomäärän tulona. Junnikkalan taksanlaskennalla ei pystytä tarkkaan seuraamaan, kuinka hyvin erikoispuutavaralajien erottelun vaivannäkö tulee korvattua urakoitsijalle lisäker-toimilla. Ajomatka ei vaikuta korvaukseen, joten mitä lyhempi lähikuljetusmatka on, sitä premman korvauksen yrittäjä saa erottelusta.

TAULUKKO 7. Lähikuljetuksen taksat eräällä urakoitsijalla Junnikkalan mallissa sekä koivu- ja havukuidun taksojen suhde pääte- ja harvennushakuulla



Liitteeseen 3 on koottu selvityksessä olleiden leimikoiden peruskorjuukustannukset, jotka eivät täysin vastaa toteutuneita kustannuksia, koska kaikkia lisiä (alikasvoslisä, muu lisä hakkuussa ja muu lisä ajossa) ei huomioitu selvityksessä. Sekarangan korjuu on laskettu samalla taksoituksella siten, että koivukuitu on ajettu havukuidun hinnalla, lyhyen kuidun korjuulisää ei ole maksettu ja konehakkuussa on käytetty latvarangan nostamaa

isompaa järeyttä. Laskenta ei edellä mainituista syistä tuo todellista tietoa korjuun tuottavuudesta, mikä on hyvä pitää mielessä tuloksia tarkasteltaessa.

Metsätehon konehakkuun ja lähikuljetuksen tuottavuustutkimuksen tulosten kaavoista on tehty Excel-laskentaohjelma (Tanttu, V. 2004). Tässä selvityksessä ei kuitenkaan käytetty sitä leimikoiden tuottavuuden ja korjuukustannusten laskennassa. Ohjelman soveltaminen on hankalaa leimikoissa, joissa korjataan useita puutavaralajeja, koska ohjelmaan ei voi syöttää pieniä kertymiä m³/ha. Leimikkoaineistossa koivu- ja havukuitujen hehtaariohtaiset kertymät olivat liian pieniä, jolloin kaavat antoivat negatiivisia tuotoslukuja. Laskentaa voitaisiin tehdä esimerkiksi kaksinkertaistamalla ajouranvarsitiheys kuormausajon funktiossa arvosta x arvoon 2x ja vertaamalla alkuperäistä ja muutettua yhtälöä toisiinsa, mutta se vaatisi laskentaohjelmiston, kuten Matlabin käyttöä. Lisäksi Kuiton ym. (1994) tutkimuksesta on aikaa ja konekalusto on muuttunut, mikä oletettavasti muuttaisi kaavoissa käytettyjä kertoimia. Tutkimus on kuitenkin hyvä pohja analysoida miten pikkutukin, parrun ja energiapuuna kerättävän sekahakkeen korjuu vaikuttaisi eri kohtiin työskentelyssä ja siten tuottavuuteen.

Pikkutukin ja parrun erottelu korjuussa tietenkin heikentää tuottavuutta. Miten tämän voi perustella? Konehakkuun tuottavuuden laskemisessa huomioidaan rungon koko, siirtymis- ja käsittelyaika sekä maastokerroin, näihin vaikuttaneet hakkuutapa, sijainti Suomessa ja puulaji. Näistä rungon koko ja käsittelyaika muuttuvat tarkastelussa. Runkoluku säilyy samana ja koska pikkutukia ja parrua otetaan sekä tukki- että kuiturungoista, on hankalaa arvioida määrällistä vaikutusta. Ainakin kuidulle yksistään laskettu tuottavuus heikkenee, kun kuituosuus pienenee eroteltaessa pikkutukki ja parru.

Siirtymisen työvaihe sisältää myös työn suunnittelua, poistettavien puiden valintaa ja osin pystyvuon apteerausta. Työnvaihe karsinta ja katkonta sisältää paitsi nimensä mukaiset toimet, myös koneellisen mittauksen, pölkkyjen tavanomaisen katkonnan ja lopulliset apteerauspäätökset. (Kuitto ym. 1994, 14.) Metsätehon mallissa ei aikoinaan huomioitu erikoispuutavaralajeja, joten niiden vaikutus ei ole tuottavuusyhtälöiden ker-toimissa mukana. Apteerauksen hidastuminen on päivänselvää, mutta tarkka vaikutus tuottavuuteen pitäisi tutkia uudestaan uusilla koneilla ja tämän päivän kuljettajilla, jotka ovat harjaantuneita hakkaamaan useita puutavaralajeja.

Kuitupuun korjaaminen rankana latvarangan kanssa suurentaa hiukan rungon kokoa parantaen tuottavuutta. Järeys pysyy kuitenkin samassa kokoluokassa. Poistuman tiheyden funktiossa tavoitellaan laskennan tulokseksi r/ha. Kuiton ym. (1994) tutkimuksen funktioissa käytetään kuitenkin entisten seurantatutkimusten perusteella laskettuja tiheysarvoja, jotka eivät tässä muutu puutavaralajien yhdistämisessä. Tässä kohtaa kuitenkin tuottavuus kasvaa hakkuukoneen saadessa yhdestä paikasta kolmen puulajin kuitupuun.

Metsäkuljetuksessa laskettiin yhteen ajat: kuormaus + kuormausajo + kuormattuna ajo + tyhjänä ajo + purkamisaika. Kuormaukseen ja kuormausajoon vaikuttaa työpisteen koko, joka lasketaan ajouranvarsitiheydestä. (Kuitto ym. 1994, 34-35.) *Työpisteen koko pienenee puutavaralajien lisääntyessä ja lisääntyy kuitujen yhdistämisessä sekä latvarangan lisäyksellä.* Tällä on eniten kustannusvaikutusta sekä pikkutukin ja parrun erotelussa että eri kuitupuulajien yhdistämisessä.

Kuorman koko pienenee, jos koivuja ajetaan havun joukossa tai jos latvaläpimitta pienenee 4 cm:iin. Kuorman koko vaikuttaa käänteisesti purkamisaikaan. Myös purkamisessa lehtipuu hidastaa työskentelyä ja oletettavasti näin kävisi puulajien yhteiskuormilla. Purkamisaikaan varmastikin vaikuttaa kasojen määrä varastopaikalla, mutta Metsätehon tutkimuksessa ei oltu huomioitu varastointia.

ABC-mallin soveltaminen puun hankintaan (Nurminen ym. 2009) osoitti järkeenkäyviä tuloksia: pienten erien erotteleminen lähikuljetuksessa on kallista, rungon järeys vaikuttaa tuottavuuteen jne. Nämä asiat on tiedetty kentällä. Kiinnostavinta tutkimuksessa olikin se, kuinka se antoi nämä tulokset ja kuinka sitä voitaisiin käyttää tietyn tuotantolaitoksen puutavaralajijakauman määrittelyn apuna. ABC-mallin soveltaminen Junnikkalan hakkuisiin olisi hyvä ajatus. Mallilla saataisiin suuntaa pikkutukin ja parrun erotteluksen, mutta myöskin sekaran korjuun kustannusten arvioimiseen.

Nurmisen ym. (2009) pohdintaa vasten peilaten pikkutukki ja parru edustavat Junnikkalan puunhankinnassa puutavaralajeja, joita ”saa vain tietyistä leimikoista”. Näin siksi, että niissä kuitupuusta erotellaan hyvälaatuinen sahattava osa, josta saha on kiinnostunut. Toisaalta pikkutukki erotellaan lähes kaikista leimikoista, ja parru useimmista, joten niistä on tullut osa vakiintunutta puutavaralajivalimoimaa, eikä niiden erottelamista harmita leimikkokohtaisesti. Pienissä leimikoissa saadun sahapuun korjuukustannus nousee korkealle. Käytännössä varmastikin useissa leimikoissa korjuun kustannusvaikutus ylitt-

tää kannattavuusrajan. Eri puulajien kuitupuut puolestaan ovat aina mukana puutavara-lajivalikoimassa, vaikka yrityksellä itsellään ei ole niille käyttöä. Tämä kuitenkin johtuu metsänmyyjien ja puunostajien välisen puukaupan yleisistä käytännöistä.

6 POHDINTA

Kuitupuun korvaus muilla puutavaralajeilla on mielenkiintoinen ajatus, mutta sen kannattavuus ei ole itsestään selvää Pohjanmaalla. Junnikkalan hakkuissa kuitupuuta kertyi merkittävän paljon, vaikka siitä oli erotettu pikkutukki sekä useissa leimikoissa parru. Pikkutukin ja parrun erottelulla pienikokoinen hyvälaatuinen puu päätyy sahattavaksi, eikä paperiteollisuuteen tai poltettavaksi energiaksi. Junnikkalan vakiokäytäntö on erotella pikkutukki ja parru aina kun leimikon laatu sekä parrun osalta kertymä sen sallivat. Pikkutukki erotellaan lähes kaikissa leimikoissa, mutta parrua ei. Parrun kertymä vähentää suoraan kuitupuun määrää. Myös pikkutukki vähentää pääasiassa kuitupuuta, mutta voi mennä limittäin tukkisaannon kanssa. Kuitupuun määrän vähentäminen on erityisen tärkeää silloin, jos kuitupuuta korjataan alemman arvoisena energiapuuna. Pikkutukin ja parrun erottelu on kustannuslisa ja kertymät ovat usein pieniä. Jos suuntaus tulevina vuosina on pienentää puutavaralajivalikoimaa ja pikkutukki tai parru jätetään erottelematta, kuitupuun kertymät lisääntyvät entisestään.

Simuloinnissa tukin, pikkutukin ja parrun kertymät ovat liian suuria verrattuna toteutuneisiin määriin. Sahapuun erottelu perustuu laatuun, kun taas simulointi huomioi vain mitat. Näin luovuttiin siitä alkuperäisestä tutkimussuunnitelmasta, jossa leimikoita olisi simuloitu eri apteilla, joista toisessa olisi kertynyt tukkia ja kuitua, kun taas toisessa tukkia, pikkutukkia, parrua ja energiapuuta. Tulokset olivat kuitenkin mielenkiintoisia sellaisinaan: paljonko erikoispuutavaralajeja leimikoista käytännössä kertyy, ja miltä erikoiset rungot näyttävät simuloinnissa ja runkotietoselaimessa.

MHY Salometsän hakkuilta, joissa kuitupuuta korjataan sekarankana, on hyvät käytännön kokemukset. Vastaavan tyyppistä hakkuutapaa kannattaisi kokeilla Pohjois-Pohjanmaallakin paikallisiin olosuhteisiin soveltaen. Etelä-Suomessa erotellaan koivutukki, mikä vähentää ratkaisevasti koivukuidun määrää. Lisäksi rungon järeys etelässä on suurempi, jolloin latvaan jää suhteellisesti vähemmän kuitupuuta, joskin sitä voi kertyä hehtaarikohtaisesti paljon verrattuna Pohjois-Suomeen. Lisäksi Pohjois-Pohjanmaalla rungon keskijäreys on huomattavasti Salon seutua pienempää, jolloin rungoissa on pikkutukin kokoluokan kuitupuuosaa enemmän kuin Etelä-Suomen järeissä päätehakkuuleimikoissa. Salossa ei eroteltu pikkutukkia ja parrua, mikä on nopeuttanut korjuuta.

Mitä pienempi rungon keskijäreys leimikossa on, sitä suurempi on latvarangan osuus suhteellisesti, mutta ei määrällisesti, koska puutkin ovat pienempiä ja leimikon kokonaiskertymä hehtaarilta on silloin usein pienempi. Yhden leimikon latvarangan määrä on joka tapauksessa pieni ja hakkeen arvo vähäinen, joten käytetty prosentti on lähes yhdentekevää leimikkokohtaisesti. Asiaan tulee mielenkiintoa ja merkitystä, kun latvarangan hyödyntämistä tarkastellaan vuositason tasolla. Esimerkiksi 1 % Junnikkalan vuotuisesta pystykauppojen puunhankintakapasiteetista on 6000 m³. Jos jatkossa viriää säännönmukainen hakkeen keräys leimikoilta, on merkitystä sillä, käytetäänkö 1, 2, 3 vai 4 %:n kerrointa kertomaan tiedetty ainespuun määrä jälkikäteen.

Kuitupuun hakkuu energiapuuna ei saisi aiheuttaa mitään ylimääräisiä kustannuksia integroidussa korjuussa. Siksi sen mittausmenetelmän pitäisi perustua nykyisiin hakkuukonetiedostoihin. Kaikki muu massapuun määrän arviointi koeloiheen, joiden mittauksesta tulee palkkakustannuksia, on saatua puumäärän lisäystä ajatellen liian kallista. Pitäisi sopia kaupan perusteeksi kelpuutettavat tavat määrittellä latvarangan määrä. Uusiin hakkuukonemalleihin voi pienellä vaivalla muuttaa ohjelmistoa laskemaan latvarangan määrä stm-tiedostojen perusteella annetulla latvaläpimitalla. Hakkuukoneet ovat pitkäikäisiä ja niiden ohjelmistoversiot vaihtelevat vanhoista uusiin sekä eri valmistajien välillä. Hakkuukonetiedostot kuitenkin ovat standardimuotoisia. Käytössä olevia koneita varten tulisi kirjoittaa ohjelma, joka laskee jälkeenpäin latvarangan määrän, kun sille annetaan parametreinä stm-tiedostot ja katkaisuläpimitta. Hakkuukoneiden mittalaitteiden tarkkuus loppuu nykyään ainakin joillakin koneilla 5 cm:iin ja olisi iso muutos lähteä muuttamaan laitteistoa. Yhtä hyvä ja luotettava tulos saadaan ohjelmallisesti.

Laasasenahon taulukoita ja puusto-ohjelmia, kuten ForestCalc ym., voidaan käyttää latvarankapuun määrän laskennassa määrittelemällä leimikkoon prd-tiedostojen avulla puulajeittain keskimääräiset tunnuspuut, joille on kuitenkin arvioitava puun kokonaispituus. Keskiarvotietoihin perustuvat tunnuspuut sopivat paremmin tai huonommin kuvaamaan koko leimikkoa, sillä keskiarvossa pienet puut painottuvat. Laasasenahon taulukoiden tilavuusarvoilla lasketut tulokset vastasivat aika hyvin oman koelaskennan tuloksia.

Selvityksessä ei saatu leimikoittain laskelmaa siitä, miten kuitupuun korvaaminen muilla puutavaralajeilla vaikuttaa kustannuksiin, joten tältä osin tulos oli pettymys. Junnik-

kalan käyttämä taksanlaskenta perustuu Metsätehon 1990-luvun alun tutkimuksiin. Hinnoittelun perusteena ovat hakkuutapa, rungon koko, ajomatka, puutavaralajiryhmä sekä metsäkuljetuksessa erottelulisät ja hakkuussa alikasvoslisä. Nämä tekijät eivät oleellisesti muutu vaihtoehtoisessa korjuun mallissa, jossa kaikki eri puulajien kuituosat yhdistetään energiarankapuuksi. Rungon koko nousee hieman latvasta mukaan otettavan rangan osan verran, mutta sen vaikutus kustannuksiin on pieni. Lyhyen kuidun erottelun lisä jäisi pois. Lehti- ja havukuitupuun yhdistyisivät, jolloin niille maksettaisiin jotain soveltavaa taksaa. Sen erotus alkuperäisiin taksoihin muuttaisi kustannuksia suoraan kuutiomäärien suhteessa.

Kaukokuljetuksessa pikkutukin ja parrun erottelu lisää kustannuksia, koska niiden erottelu lisää pienten kasojen määrää. Kuitupuun sekakorjuu sen sijaan laskisi kaukokuljetuksen hintaa suurempina kasoina. Se myös lisäisi ajallista liikkumavaraa, sillä energiapuun ajolla ei ole sitä tiukkaa aikataulua kuin esim. kuusikuitupuulla.

Myös Metsätehon (Kuitto ym. 1994) konehakkuun ja lähikuljetuksen tuottavuustutkimus on vanha. Vaikka siitä saa opetusmielessä käsityksen ajankäyttöön vaikuttavista seikoista, se perustuu oman aikansa kalustoon ja käytäntöihin sekä työskentelyyn. Puutavaralajeina on huomioitu tukki ja kuitu, ei pikkutukkia ja parrua. Kuljettajien tottuneisuus useiden puutavaralajien apteeraukseen on nykyään parempaa ja kalustokin on kehittynyt.

Metlan puun hankintaan soveltama ABC-malli vaikuttaa hyvältä menetelmältä puutavaralajien todellisen kustannusvaikutuksen selvittämiseksi. Sitä kannattaisi kokeilla Junnikkalalla muutamassa leimikossa.

Pienten kuitupuuerien korjuun yksikkökustannukset nousevat korkeiksi, silloin kun ne lasketaan tuottavuuden mukaan. Tuottavuutta pitäisikin ajatella, vaikkei käytetty taksanlaskenta sitä huomioisi. Todelliset kustannukset tulisi kuitenkin osoittaa laskelmilla. Viime kädessä on huomioitava kannattavuus, johon vaikuttaa kustannusten lisäksi puutavararvo. Pikkutukin ja parrun arvo on kuitupuuta korkeampi, kun taas energiapuun arvo on sitä huomattavasti matalampi. Hakettavan sekarangan korjuuta puulajeittaisen kuitupuun korjuun sijasta voisi ohjata korjuukustannuksiltaan kalleimpiin kohteisiin.

LÄHTEET

ForestCalc versio 4.4. Ojelman käyttöohjeet. Tulostettu 24.1.2013

http://www.forestcalc.com/ForestCalc_Ohjeet_1.pdf

Hintsala, J. 2012. Junnikkala Oy:n korjuuesimies. Haastatteluja 2012. Haastattelija Kivilinna-Korhola, T. Oulu.

Korpilahti, A, Varhimo, A. Keskinen, S. & Lemmetty, J. Mäntykuitupuun minimiläpimitan vaikutus puunhankintaan ja sellunvalmistukseen. Metsätehon katsaus 11/1995.

Kuitto, J., Keskinen, S., Lindroos, J., Oijala, T., Rajamäki, J., Räsänen, T. & Terävä, J. 1994. Puutavaran koneellinen hakkuu ja metsäkuljetus. Metsätehon tiedotus 410.

Kymäläinen, M. 2010. METKA-hanke. Luettu 5.12.2012. http://www.mhy.fi/kantahame/METKA-hanke/fi_FI/tutkimustulokset/METKA-maastolaskuriohje.ppt

Kärhä, K. Mutikainen, A., Keskinen S. & Petty Aaron. Integroidusti vai erilliskorjuuna – koko- vai rankapuuna? Metsätehon tuloskalvosarja 2/2010.

Laasasenaho, J. 1982. Taper curve and volume functions for pine, spruce and birch = Männyn, kuusen ja koivun runkokäyrä- ja tilavuussyhtälöt. Hki : Metsäntutkimuslaitos.

Laasasenaho, J. & Snellman, C-G. 1983. Männyn, kuusen ja koivun tilavuustaulukot / Volymtabeller för tall, gran och björk. Metsänarvioimisen tutkimusosasto. Metsäninventoinnin tutkimussuunta. Hki : Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 113.

Lepistö, T. metsänhoitaja ja Pohjois-Pohjanmaan metsäkeskuksen energia-asiantuntija. 2012. Haastattelu 10.10.2012. Haastattelija Kivilinna-Korhola, T. Oulu.

Lindblad, J. 2011. Energiapuun määrä ja laatu – Bioenergiaa kannattavasti Hämeessä. Seminaariesitys 30.11.2011, Hämeenlinna.

Nurminen, T., Korpunen, H. & Uusitalo, J. 2009. Applying the Activity-Based Costing to Cut-to-Length Timber Harvesting and Trucking. Silva Fennica 43(5): 847–870.

Pitkänen, O. Metsänhoitoyhdistys Salometsän toiminnanjohtaja. Puhelinhaastattelu 5.12.2012. Haastattelija Kivilinna-Korhola, T.

Poikela A. & Alanne H. 2002. Puutavaran lajittelu korjuun yhteydessä. Metsätehon raportti 135.

Repola, J., Lindblad, J. & Laitila, J. 2011. Latvusmassan ja kantopuun määrän arviointi hakkuukonemittauksessa. Metlan työraportteja 215.

Tamminen, P., Kukkola, M., Lindroos, A-J., Saarsalmi, A. & Smolander, A. 2012. Hakkuutähteiden korjuu ei ole ongelmattonta: pohjoismaisen koesarjan mukaan hakkuutähteiden korjuu alensi puiden kasvua. Luettu 22.1.2013. <http://www.metla.fi/uutiskirje/bio/2012-02/uutissivu-3.html>

Tanttu, V. 2004. Excel-taulukko konehakkuun ja lähikuljetuksen yksikköhintojen laske-
miseksi. Kehittyvä puun hankinta/Ramk -kurssin harjoituksissa 2012.

Tapion taskukirja. Rantala, S. (toim.) 2008. 25. painos. Hämeenlinna: Metsäkustannus
Oy.

Uusitalo, J. 2003. Metsäteknologian perusteet. 1. painos. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö
Metsälehti.

Vilkman, H. Metsänhoitaja (Ponsse Oyj). 2012. Haastattelu 26.6.2012. Haastattelija
Kivilinna-Korhola, T. Vieremä.

LIITTEET

Liite 1. Ainespuun kertymät leimikoissa

1(2)

ID	ht.	pa	matka	mat	mapik	mapar	mak	ma yht	kut	kupik	kupar	kuk	ku yht	kok	hak+hat	yht
1	harv	2.2	150	10	2	1	35	48				1	1	27		76
2	harv	3.7	150	136	30	5	167	338				1	1	37		376
3	harv	5	100	57	19		55	131	27	10		21	59	56	6	252
4	harv	2.1	150	5	2		11	17	40	12		35	87	5	4	114
5	harv	5.5	150	145	53		164	361	4	1		7	13	12	1	387
6	harv	2.2	250	8	5		15	28	4	5		16	25	32	11	96
7	harv	12.4	300	34	31	9	151	225	6	4		12	22	43		290
8	harv	6.1	150	70	32		106	208	81	33		81	194	101		504
9	harv	3.4	250	89	12		46	147	8	2		8	17	9		174
10	harv	2	450	26	6		51	84	24	3		19	47	69		200
11	harv	1.3	100	1			2	4	23	10	3	23	59	39	1	102
12	harv	3.4	100	75	29	7	94	204	47	15		44	106	3	1	314
13	harv	3.1	300	20	4		12	36	9	4		17	30	27		93
14	harv	sis yllä	300	3	1		16	20	4	2		18	24	17		60
15	harv	13.8	350	217	66	30	207	520	27	11	5	32	74	30	2	626
16	harv	1.6	150	8	5		59	71				2	3	32		105
17	harv	3.3	250	18	7		31	56	9	1		6	16	19		91
18	harv	1.9	100	47	4		25	77	67	8		25	100	17	2	195
19	harv	6.2	300	101	31		119	251	11	1		7	20	34	1	306
20	harv	2.9	150	83	14		69	166	29	7		29	65	6		236
21	harv	5	150	29	12	13	97	151	9	4	4	18	36	21	2	210
22	harv	0.8	400	5	2		41	48		1		3	4	4		55
23	harv	6.9	300	128	61		292	481				3	3	89	1	573
24	harv	6	300	44	35		260	339	20	12		51	83	35	19	476
25	harv	2.5	700	14	12		40	67	9	6		12	27	5	10	109
26	harv	21.9	600	452	32	20	205	709	165	13	17	78	273	52	2	1037
27	harv	2	300	20	13		51	84						2		86
28	harv	4	600	80	26		120	226	3			3	6	4	3	239
29	harv	1	450	3		5	30	37	1				1	16		54
30	harv	26.9	400	71	16	5	366	459	107	27	8	152	294	1176	11	1939
Harvennus				2000	562	96	2936	5593	737	191	37	724	1689	2019	77	9378

ID	ht.	pa	matka	mat	mapik	mapar	mak	ma yht	kut	kupik	kupar	kuk	ku yht	kok	hak+hat	yht	
31	avo		3	150	113	17	5	74	208	31	8	3	27	69	103		381
32	avo		2	250	197	27		66	290	120	31		58	208	58	16	573
33	avo		1.9	150	44	14		26	84	84	17		29	130	10	2	226
34	avo		0.8	450	19	7		41	67	3			3	5	6		79
35	avo		4	200	219	26		95	340	117	26		55	198	23	6	568
36	avo		6.9	650	170	15		56	241	573	93		210	876	35	8	1160
37	avo		3.1	450	71	4		24	98	380	119		192	691	2	3	793
38	avo		0.4	150	14	10		32	56								56
39	avo		3.3	350	190	18		55	263	160	20		68	248	14	4	529
40	avo		2	260	3			3	7	93	41	25	87	245	87	47+31	416
41	avo		4.9	250	23	2		12	37	446	130		276	851	185	141	1214
42	avo		8.6	250	498	47		190	735	51	31		103	186	95	6	1022
43	avo		2.4	150	122	29		77	228	18	10		19	47	13	1	289
44	avo		2	100	43	7	5	33	88	21	6	10	26	63	4		155
45	avo		2.4	100	124	37	16	62	239	32	5	3	8	48	12	1	299
46	avo		0.7	100	15	3	1	10	30	26	8	3	14	52	10	1	92
47	avo		8.2	500	207	75		316	599	109	59		172	341	146	37	1122
48	avo		2.1	250	231	14		46	291	29	2		8	39	23	21	374
49	avo		1.6	250	133	14		48	195	62	12		27	101	28		323
50	avo		6.3	750	338	43		146	527	70	26		85	182	42	5	756
51	avo		3.3	450	14	3	3	17	37	189	62	39	133	424	85	23+9	577
52	avo		1.5	600	20	6	2	7	35	1			1	3	9		47
53	avo	sis yllä			25	12	10	37	83	2	1	1	5	9	18		110
54	avo		6.9	200	450	55		221	726	219	40		105	364	271	141	1501
55	avo		7.7	250	27	12		50	89	48	22		43	113	17	3	222
56	avo	sis yllä yläh			48	10		27	85	86	15		29	130	7	2	224
57	avo		7.3	150	394	172	105	357	1028	4	2	1	6	13	114		1156
58	avo		1.5	300	9	1		4	14	64	16		55	134	35	6	189
59	avo		0.4	100	60	11		43	113						1		115
60	avo		1	100	44		3	9	57	89		14	21	124	8		189
61	avo		2.2	250	100	11		61	172	58	11		54	122	162		456
62	avo		1.2	250	11	14	9	40	75					1			76
63	avo		2	300	138	18		39	195	13	2		7	21	47		264
64	avo		0.8	250	76	25		50	151						1		152
65	avo		2.6	150	336		61	94	491	20		7	9	36	21	3	551
66	avo		0.5	600	19	10		33	61	1			1	1	2		65
67	avo		9.4	650	419	139		340	897	307	99		236	642	144	74	1756
68	avo		3	150	229	21	20	106	376	251	60	34	110	455	7		838
69	avo		1.4	1200	204	13		35	253	1			1	3	1		257
70	avo		11.9	500	211	16		64	291	780	172		328	1280	527	294	2393
71	avo		1.2	200	110	12	7	28	157	2	1	1	4	8			165
72	avo		4.9	250	181	14		60	255	338	42		100	481	49	31	816
73	avo		3.2	350	61	12	3	43	118	57	9		31	96	114	37	366
74	avo		14.7	250	643	97		372	1112	1			1	3	237	11	1363
75	avo		3.9	300	104	45		132	280	66	11		25	102	16	6	405
76	avo		0.6	700	8	4		11	23	28	6		13	47	3	13	86
77	avo		2.4	150	210	22	3	50	285	45	6		23	74	13	2	374
78	avo		4.2	450	129	32		137	298	34	7		22	62	65	4	429
79	avo		7.9	500	659	31	11	109	810	411	14	34	89	549	17	38	1414
80	avo		3.5	300	157	82	3	220	462	8	2		8	18	17		496
81	avo		14.5	600	1392	188		582	2161	128	10		77	215	23	2	2401
82	avo		1.4	100	108	34		58	200	1				1	10	1	212
83	avo		2	650	126	1	50	88	264	11		3	4	17	15		297
84	avo		7.9	250	102	10	1	89	201	534	120		436	1090	445	38	1774
85	avo		2.6	450	220		47	90	357	69		15	23	107	53	7	524
86	avo		2.1	150	33	5		26	64	134	18		83	236	41		341
87	avo,erik.		8	250	14			4	18	283	61		158	501	49		569
88	avo		2.4	450	70	23	30	90	213	18	6	5	12	41	15		268
Avohakkuu				9934	1567	396	5234	17131	6721	1461	197	3722	12101	3560	966	33867	
Yhteensä				11934	2128	492	8169	22723	7458	1652	234	4446	13790	5579	1152	43245	

Liite 2. Latvarankapuun määrä

LATVARANKAPROSENTTI

Laasasenahon latvahukkapuuprosentista (Tapion taskukirja) laskettuna, leimikkoaineiston omassa laskennassa sekä Laasasenah kolmessa leimikossa

puulaji	kpl puulaji	m3	keski lpm	Keskipituus *)	Käyttöosa **	TT Laas.	0,7*TT Laas.
A							
ma	269	67,513	197	13,9	12,0	2	1,4
ku	9	5,209	267	15,2	11,6	2	1,4
ko	55	6,271	142	10,7	8,5	2	1,4
Yht ***	333	78,993	190	13,4			
B							
ma	120	29,750	187	14,2	12,0	2	1,4
ku	261	51,958	171	12,9	10,5	3	2,1
ko+ha	101	10,999	135	11,3	8,5	6	4,2
yht	482	92,707	167	12,9			
C							
ma	34	5,674	155	14,3	11,5	3	2,1
ku	379	49,351	137	12,6	9,6	5	3,5
ko+ha	78	4,826	111	10,2	6,9	11	7,7
yht	491	59,851	134	12,3			

* ennustettu pituus runkotietoselaimesta tulostetusta csv-tiedostosta

** juoksumetrit/puulaji prd-tiedostosta

*** yksi suuri kuusi hylättiin aineistosta

TT Laas.: Laasasenahon taulukko tukki- ja kuitupuuprosentista Tapion taskukirjassa

Laas. Taul. 6 cm: Laasasenahon taulukot 1983 latvahukkapuu dm3 (6 cm latvalpm)

V(puu) Laas.: Laasasenahon taulukot puun tilavuudesta Tapion taskukirjassa koko puu dm3

jatkuu...

puulaji	lh% laskenta	lh% käyrältä	lh% puulajeittain	Laas. Taul. 6 cm	0,7*Laas. Taul	V(puu) TT Laas	lh% Laas.
A							
ma	1.0	0.9	0.8	2.7	1.9	219	0.9
ku	1.0	0.4	0.5	3.0	2.1	374	0.6
ko	1.0	2.3	3.2	3.8	2.7	78	3.4
Yht ***							
B							
ma	2.1	1.1	0.9	2.9	2.0	198	1.0
ku	2.1	1.4	1.5	3.9	2.7	143	1.9
ko+ha	2.1	2.3	3.2	3.8	2.7	78	3.4
yht							
C							
ma	1.6	1.6	1.3	3.5	2.5	142	1.7
ku	1.6	2.3	2.4	4.7	3.3	101	3.3
ko+ha	1.6	4.3	4.9	4.6	3.2	45	7.2
yht							

Liite 3. Sekarangan kertymää ja korjuun hinnoittelua

1(2)

ID	ht	Puutavaralajit m3								Korjuu toteutunut			Sekaranka m3				Korjuu sekaranka			
		tukit	pikut	parru	hak	kok	m3	järeys	€ hak	€ ajo	yht	latva	hake	yht	järeys	€ hak	€ ajo	yht	ero	
1	harv	10	2	1	36	27	76	81	839	324	1163	2,9	66	79	84	839	301	1139	23	
2	harv	136	30	5	168	37	376	201	2375	1490	3864	5,3	210	382	204	2375	1463	3838	26	
3	harv	85	29		77	63	252	172	1728	957	2685	4,5	144	257	175	1728	904	2632	53	
4	harv	44	14		46	10	114	172	782	449	1230	2,2	58	116	175	782	442	1224	7	
5	harv	149	54		171	13	387	169	2647	1506	4153	6,0	189	393	172	2647	1497	4144	9	
6	harv	12	10		31	43	96	79	1158	448	1606	4,1	78	100	83	1058	416	1474	132	
7	harv	41	35	9	162	43	290	64	3951	1298	5249	11,1	217	301	67	3951	1260	5211	38	
8	harv	151	64		186	102	504	158	3657	2043	5700	11,2	299	515	161	3657	1963	5620	80	
9	harv	97	14		54	9	174	235	1023	741	1764	2,1	65	176	238	1023	734	1757	7	
10	harv	51	9	1	71	69	200	202	1262	1073	2335	3,5	143	203	205	1262	1013	2275	60	
11	harv	24	10	3	25	39	102	105	964	398	1363	3,0	68	105	108	964	370	1334	28	
12	harv	121	44	7	138	4	314	189	2052	1128	3179	4,8	147	319	192	2052	1125	3177	3	
13	harv	29	8		29	27	93	123	784	423	1208	2,5	59	96	126	784	399	1184	24	
14	harv	6	3		35	17	60	83	666	278	944	2,0	53	62	86	666	263	929	15	
15	harv	244	77	35	239	32	626	134	5016	2950	7966	13,9	285	640	137	5016	2922	7939	28	
16	harv	8	5		60	32	105	152	765	444	1209	2,1	94	107	155	765	417	1182	27	
17	harv	27	8		37	19	91	144	691	404	1094	2,0	58	93	147	691	390	1080	14	
18	harv	115	12		50	19	195	287	1060	702	1762	2,5	71	198	291	1060	689	1748	13	
19	harv	112	32		126	35	306	150	2323	1330	3653	6,0	167	312	153	2217	1305	3522	131	
20	harv	112	20		98	6	236	219	1489	913	2402	3,3	107	239	222	1386	909	2295	107	
21	harv	38	16	18	115	24	210	100	2121	852	2972	6,2	145	216	103	1976	832	2808	165	
22	harv	5	3		44	4	55	97	560	267	827	1,5	49	57	99	560	264	824	3	
23	harv	128	61		295	89	573	120	5063	2537	7600	13,7	397	587	123	4828	2472	7300	300	
24	harv	64	48		310	55	476	99	4818	2106	6925	12,9	378	489	102	4489	2066	6555	369	
25	harv	23	18		52	15	109	127	921	655	1576	2,5	70	112	130	921	644	1565	11	
26	harv	617	46	37	283	54	1037	379	4963	5598	10561	8,0	345	1045	382	4963	5551	10514	47	
27	harv	20	13		51	2	86	80	1039	372	1411	2,4	56	89	82	949	371	1320	92	
28	harv	84	26		122	7	239	156	1735	1304	3039	4,0	134	243	159	1735	1298	3034	6	
29	harv	4		5	30	16	54	65	736	293	1030	2,1	48	56	68	736	280	1016	14	
30	harv	178	43	13	518	1186	1939	119	17128	10081	27209	54,8	1760	1994	122	16334	9233	25567	1642	

jatkuu

2(2)

ID	ht	Puutavaraajit m3							Korjuu toteutunut			Sekaranka m3				Korjuu sekaranka			
		tukit	pikut	parru	hak	kok	m3	järeys	€ hak	€ ajo	yht	latva	hake	yht	järeys	€ hak	€ ajo	yht	ero
31	avo	144	25	8	101	103	381	237	1929	1306	3235	5,3	209	386	241	1929	1181	3110	125
32	avo	317	58		124	74	573	271	2679	1987	4666	8,0	206	581	275	2679	1902	4581	85
33	avo	128	31		54	12	226	261	1096	680	1775	2,7	69	228	265	1096	666	1761	14
34	avo	22	7		44	6	79	236	400	337	737	,7	51	80	239	400	329	729	8
35	avo	336	52		150	29	568	251	2760	1710	4470	6,8	187	575	254	2760	1679	4439	31
36	avo	743	108		265	43	1160	315	5252	5358	10610	13,2	321	1173	318	5252	5309	10561	48
37	avo	450	123		215	4	793	257	3852	3105	6957	9,8	229	803	260	3852	3100	6952	5
38	avo	14	10		32		56	129	405	175	580	1,1	33	57	131	385	175	560	20
39	avo	349	38		123	18	529	304	2396	1911	4307	5,8	147	535	307	2396	1891	4287	20
40	avo	127	41	25	89	134	416	168	2458	1620	4077	9,5	233	426	172	2458	1463	3920	157
41	avo	468	132		287	327	1214	201	6839	4513	11352	23,2	637	1237	205	6603	4164	10767	585
42	avo	550	78		293	101	1022	162	6384	3532	9916	18,0	412	1040	164	6384	3416	9800	116
43	avo	140	39		96	13	289	192	1627	881	2508	3,9	114	293	194	1627	867	2494	14
44	avo	64	12	15	59	4	155	186	873	445	1318	1,7	65	157	188	873	440	1313	5
45	avo	155	42	19	70	13	299	248	1454	837	2290	3,4	86	303	251	1454	821	2275	15
46	avo	41	11	4	24	11	92	191	520	270	789	1,5	37	94	194	520	257	776	13
47	avo	317	134		489	183	1122	111	8549	4877	13426	28,3	700	1151	114	8549	4655	13204	222
48	avo	259	17		54	44	374	452	1402	1269	2670	2,7	101	377	455	1402	1218	2620	51
49	avo	195	26		75	28	323	320	1465	1101	2565	3,0	106	326	323	1397	1067	2464	102
50	avo	408	70		231	47	756	229	3829	3850	7679	8,9	287	764	232	3829	3797	7626	53
51	avo	212	65	42	151	108	577	150	3784	2508	6292	13,9	273	591	154	3607	2377	5984	309
52	avo	21	6	2	8	9	47	181	266	219	485	,8	18	48	184	266	207	473	12
53	avo	26	13	11	42	18	110	150	720	528	1248	1,9	62	112	153	687	505	1191	57
54	avo	668	95		326	412	1501	230	7607	5020	12627	24,2	762	1525	234	7607	4584	12192	435
55	avo	75	34		93	20	222	133	1530	785	2315	5,0	118	227	136	1530	763	2293	22
56	avo	134	25		56	9	224	235	1134	745	1878	2,8	68	226	238	1134	735	1869	9
57	avo	398	174	106	363	114	1156	184	6512	3745	10257	16,6	494	1173	187	6512	3607	10119	138
58	avo	72	16		59	41	189	166	1117	701	1817	4,0	104	193	170	1117	651	1768	49
59	avo	60	11		43	1	115	333	496	315	811	,8	45	116	335	496	314	810	1
60	avo	133		18	30	8	189	327	817	521	1338	2,0	40	191	330	817	511	1328	10
61	avo	158	21		115	162	456	227	2309	1783	4092	7,6	284	463	231	2309	1586	3895	197
62	avo	11	14	9	41		76	71	787	273	1060	2,1	43	78	73	787	272	1060	
63	avo	151	20		46	47	264	255	1281	927	2208	3,3	96	267	258	1281	876	2158	51
64	avo	76	25		50	1	152	235	769	506	1275	1,5	52	153	237	769	505	1274	1
65	avo	356		68	103	24	551	298	2496	1687	4183	5,4	133	556	301	2496	1659	4155	29
66	avo	20	10		33	2	65	173	385	295	680	,9	37	66	175	385	292	677	3
67	avo	725	238		575	217	1756	162	10969	8597	19566	36,1	829	1792	166	10969	8347	19316	250
68	avo	480	81	53	217	8	838	280	3923	2516	6439	10,1	234	848	284	3923	2507	6430	9
69	avo	206	14		36	1	257	416	1013	1238	2250	1,5	39	259	419	1013	1236	2249	2
70	avo	991	189		391	821	2393	257	11621	10631	22252	38,7	1251	2431	261	11621	9733	21354	898
71	avo	112	13	8	32		165	282	775	485	1260	1,5	34	167	285	775	485	1259	
72	avo	520	56		160	80	816	374	3368	2765	6132	7,1	248	824	378	3368	2679	6046	86
73	avo	117	21	3	74	152	366	197	2062	1566	3628	6,9	232	373	200	2062	1402	3464	164
74	avo	644	97		374	248	1363	239	6906	4883	11789	17,9	640	1381	242	6619	4617	11236	553
75	avo	170	56		157	23	405	214	2203	1400	3603	5,5	185	411	217	2203	1375	3578	24
76	avo	35	10		24	17	86	190	485	429	914	1,6	42	88	194	485	410	895	19
77	avo	255	27	3	73	14	374	300	1692	1103	2795	3,8	92	377	303	1692	1087	2780	15
78	avo	163	39		159	69	429	170	2534	1831	4365	7,4	235	437	173	2534	1756	4290	76
79	avo	1070	45	45	199	55	1414	414	5567	5498	11065	12,4	266	1426	418	5567	5435	11002	63
80	avo	165	83	3	228	17	496	132	3425	1729	5153	8,7	254	505	135	3425	1708	5133	20
81	avo	1520	197		659	25	2401	291	10875	10228	21103	20,6	704	2422	294	10875	10197	21072	31
82	avo	109	34		58	11	212	264	1029	586	1616	2,1	71	214	267	992	575	1567	49
83	avo	136	1	53	92	15	297	218	1615	1466	3081	3,6	110	301	221	1615	1447	3062	19
84	avo	636	130	1	524	483	1774	193	9990	6659	16649	33,9	1041	1808	197	9990	6142	16132	517
85	avo	288		62	114	60	524	246	2544	2198	4742	6,7	180	530	250	2544	2125	4668	74
86	avo	167	23		109	41	341	248	1656	1075	2731	4,2	155	345	251	1656	1031	2687	44
87	avo	297	61		161	49	569	252	2764	1953	4717	8,3	219	577	255	2764	1901	4664	53
88	avo	88	29	35	102	15	268	175	1584	1138	2723	3,9	121	272	177	1584	1120	2704	18
		19432	3780	726	12615	6692	43245					696,1	20003	43941					