

Kohti kustannustehokkaampaa puunkorjuuta – Puunkorjuuyrittäjän uusien toimintamallien simulointi

Kari Väätäinen, Minna Lappalainen, Antti Asikainen ja Perttu Anttila



JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO

Metlan työraportteja / Working Papers of the Finnish Forest Research Institute -sarjassa julkaistaan tutkimusten ennakkotuloksia ja ennakkotulosten luonteisia selvityksiä. Sarjassa voidaan julkaista myös esitelmiä ja kokouskoosteita yms.

Sarjassa ei käytetä tieteellistä tarkastusmenettelyä. Kirjoitukset luokitellaan Metlan julkaisutoiminnassa samaan ryhmään monisteiden kanssa.

Sarjan julkaisut ovat saatavissa pdf-muodossa sarjan Internet-sivuilta.

<http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/>
ISSN 1795-150X

Toimitus

Unioninkatu 40 A
00170 Helsinki
puh. 010 2111
faksi 010 211 2101
sähköposti julkaisutoimitus@metla.fi

Julkaisija

Metsäntutkimuslaitos
Unioninkatu 40 A
00170 Helsinki
puh. 010 2111
faksi 010 211 2101
sähköposti info@metla.fi
<http://www.metla.fi/>

| | | | |
|---|---------------------------|--|--------------------------|
| Tekijät Väätäinen, Kari, Lappalainen, Minna, Asikainen, Antti & Anttila, Perttu | | | |
| Nimeke Kohti kustannustehokkaampaa puunkorjuuta – puunkorjuuyrittäjän uusien toimintamallien simulointi | | | |
| Vuosi 2008 | Sivumäärä 52 s. | ISBN 978-951-40-2086-5 (PDF) 978-951-40-2087-2 (nid.) | ISSN 1795-150X |
| Yksikkö / Tutkimusohjelma / Hankkeet Joensuun toimintayksikkö / 3454 Puunhankinnan palveluliiketoiminnan kannattavuuden kehittäminen | | | |
| Hyväksynyt Jari Parviainen, Joensuun toimintayksikön johtaja, 12.3.2008 | | | |
| Tiivistelmä Metsäteollisuuden puunhankinnassa on tavoitteena lisätä kotimaista puunkorjuuta korvaamaan tuonti-puun vähenemistä. Kasvava energiapuunkorjuu lisää myös paineita uudistaa aines- ja energiapuun korjuukenttää. Metsäteollisuutta uhkaavan puu- sekä työvoimapulan torjumiseksi kaivataan uusia toimintamalleja puunkorjuussa, puunhankinnassa ja koko metsätaloudessa. <i>Kohti kustannustehokkaampaa puunkorjuuta – Puunkorjuuyrittäjän uusien toimintamallien simulointi</i> -tutkimus muodosti osan Jyväskylän yliopiston Kotimaisen puunhankinnan tulevaisuuden liiketoimintamallit - tutkimushankkeesta sekä Metlan Puunhankintayritysten palveluliiketoiminnan kannattavuuden kehittäminen - tutkimushankkeesta. Tutkimuksessa selvitettiin puunkorjuuyrityksen kannattavuuden parantamismahdollisuuksia korjuulogiikkaa tehostaen ja mittakaavaetuja hyödyntäen. Tutkimuksessa kartoitettiin tapaustutkimuksena puunkorjuun kustannukset todellisen yhden asiakkaan toimintamallin ja teoreettisen moniasiakkuuden osalta. Lisäksi muista toimintamalleista tarkasteltiin yrittäjän korjuuvarannon koon ja kiertonopeuden, oman koneenkuljetusauton siirtopalvelun tarjoamisen sekä suuremman vuotuisen korjuusuorituksen vaikutuksia korjuukustannuksiin. Tutkimus toteutettiin tapaustutkimuksena, jossa perusleimikkoaineisto koostui UPM:n, Metsäliiton ja Stora Enson Keski-Suomen alueen vuosina 2003 ja 2004 hakatuista kohteista. Perusleimikkoaineistosta valittiin kolme puunkorjuuyrittäjää, jotka edustivat yhden, kahden ja kolmen korjuuketjun yrittäjiä, joilla oli myös oma metsäkoneenkuljetusajoneuvo. Simulointitutkimuksen tulokset osoittivat, että korjuutoiminnan organisoiminen kahteen työvuoroon työvuorojoustoin (korjuusuorituksen kasvu), korjuukoneiden siirtopalvelun tarjoaminen muille korjuuyrittäjille sekä mahdollisimman pieneen toimintasäteeseen pyrkiminen useamman kuin yhden asiakkaan myötä avasivat selkeitä kustannussäästömahdollisuuksia kolmen korjuuketjun yrittäjän tapauksessa. Edelliset tekijät yhdistävässä toimintamallissa kolmen korjuuketjun yrittäjän korjuun yksikkökustannukset laskivat 7,2 % alkutilanteesta. Merkittävimmät kustannussäästöt toivat moniasiakkuus (3,3 %:n säästö) ja korjuusuorituksen kasvattaminen käyttämällä kahta työvuoroa (2,0 %). Jos saavutettu 7,2 prosentin kustannussäästö olisi kerrattavissa muissa vähintään saman kokoluokan yrityksissä (kolme korjuuketjua tai enemmän), kyseessä olisi noin 21 miljoonan euron teoreettinen tehostamispotentiaali puunkorjuussa. | | | |
| Asiasanat korjuukustannus, moniasiakkuus, liiketoimintamallit, simulointi, hakkuukone, kuormatraktori | | | |
| Julkaisun verkko-osoite http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2008/mwp073.htm | | | |
| Yhteydenotot Kari Väätäinen, Metsäntutkimuslaitos, Joensuun toimintayksikkö, Yliopistokatu 6, 80100 Joensuu. Sähköposti kari.vaatainen@metla.fi Minna Lappalainen, Jyväskylän yliopisto, taloustieteiden tiedekunta, PL 35, 40014 Jyväskylän yliopisto. Sähköposti minna.vesterinen@econ.jyu.fi | | | |
| Bibliografiset tiedot Väätäinen, K., Lappalainen, M., Asikainen, A. & Anttila, P. 2008. Kohti kustannustehokkaampaa puunkorjuuta – puunkorjuuyrittäjän uusien toimintamallien simulointi. Metlan työraportteja 73. 52 s. ISBN 978-951-40-2086-5 (PDF), ISBN 978-951-40-2087-2 (nid.). Saatavissa: http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2008/mwp073.htm | | | |
| Muita tietoja Tutkimuksen rahoittajat: Metsäntutkimuslaitos, Tekes, Koneyrittäjien liitto ry, Metsäteollisuus ry, Metsäliitto Osuuskunta, Stora Enso Metsä, UPM Metsä, Metsähallitus, Yksityismetsätalouden Työnantajat ry, MTK ry, Ponsse Oyj, John Deere Forestry Oy, OKO Oyj ja Metsämiesten säätiö | | | |

Sisällys

| | |
|--|-----------|
| 1 Johdanto | 5 |
| 1.1 Taustaa | 5 |
| 1.2 Puunkorjuun erityispiirteitä | 5 |
| 1.3 Ostajakeskittyneisyys strategiaratkaisuna | 7 |
| 1.4 Pysty- ja korjuuvarantojen määrä ja mittakaavaedut | 7 |
| 1.5 Metsäkoneiden siirtoja mahdollista tehostaa | 8 |
| 1.6 Korjuun kausiluonteisuuden vaikutukset | 8 |
| 1.7 Aikaisemmat tutkimukset | 9 |
| 1.8 Simulointitutkimuksen avaintekijät | 10 |
| 2 Aineisto ja menetelmät | 11 |
| 2.1 Leimikko- ja yrittäjäaineisto | 11 |
| 2.2 Simulointimalli | 13 |
| 2.2.1 Mallin yleinen toiminta | 13 |
| 2.2.2 Simuloinnin kulku ja pääelementit | 14 |
| 2.2.3 Ajanmenekkimallit | 19 |
| 2.2.4 Simuloinnin todennäköisyysjakaumat | 20 |
| 2.3 Puunkorjuun kustannuslaskenta | 21 |
| 2.3.1 Konekustannuslaskenta ja korjuun yksikkökustannukset | 21 |
| 2.4 Simulointiajot ja laskentatarkastelut | 21 |
| 2.4.1 Leimikkovaranto ja leimikoiden kiertonopeus | 22 |
| 2.4.2 Yrittäjän toimintasäde | 23 |
| 2.4.3 Metsäkoneiden siirtopalvelu | 23 |
| 2.4.4 Koneen vuotuinen käyttö | 23 |
| 2.4.5 Puunkorjuun tehostamismalli | 24 |
| 3 Tulokset | 25 |
| 3.1 Leimikkovaranto ja leimikoiden kiertoviive | 25 |
| 3.1.1 Yhden korjuuketjun yrittäjä | 25 |
| 3.1.2 Kahden korjuuketjun yrittäjä | 26 |
| 3.1.3 Kolmen korjuuketjun yrittäjä | 28 |
| 3.2 Yrittäjän toimintasäde | 30 |
| 3.3 Metsäkoneiden siirtopalvelu | 32 |
| 3.4 Koneen vuotuinen käyttö | 33 |
| 3.5 Korjuun tehostamismalli | 35 |
| 4 Tarkastelu | 37 |
| 4.1 Aineiston ja menetelmien tarkastelu | 37 |
| 4.1.1 Koneyrittäjien leimikko- ja korjuulohkoaineisto | 37 |
| 4.1.2 Simulointimalli | 38 |
| 4.1.3 Kustannuslaskenta | 39 |
| 4.2 Tulosten tarkastelu | 39 |
| 5 Päätelmät | 42 |
| Kirjallisuus | 45 |
| Liite 1 | 49 |
| Liite 2 | 50 |
| Liite 3 | 51 |
| Liite 4 | 52 |

1 Johdanto

1.1 Taustaa

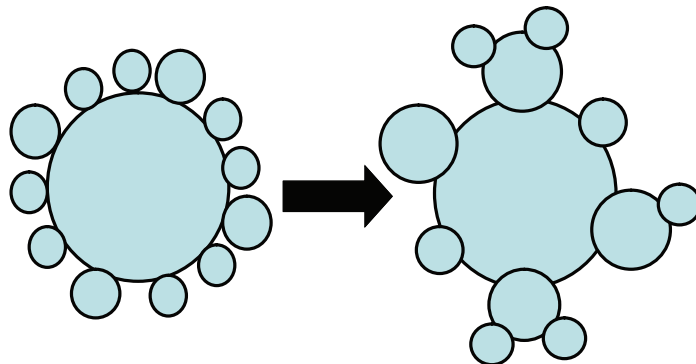
Kohti kustannustehokkaampaa puunkorjuuta – Puunkorjuuyrittäjän uusien toimintamallien simulointi oli Jyväskylän yliopiston taloustieteiden tiedekunnan sekä Metsätutkimuslaitoksen yhteistutkimus, joka toteutettiin 02/2007–01/2008. Tutkimus muodosti osan Jyväskylän yliopiston Kotimaisen puunhankinnan tulevaisuuden liiketoimintamallit - tutkimushankkeesta sekä Metlan Puunhankintayritysten palveluliiketoiminnan kannattavuuden kehittämisen - tutkimushankkeesta.

Yhteistutkimuksessa kartoitettiin tapaustutkimuksena puunkorjuun kustannukset todellisen yhden asiakkaan toimintamallin ja teoreettisen moniasiakkuuden osalta. Tutkimuksessa selvitettiin puunkorjuuyrityksen kannattavuuden parantamismahdollisuuksia korjuulogiikkaa tehostaen ja mittakaavaetuja hyödyntäen. Korjuuyritysten toiminnan tehostamispotentiaalin lisäksi tutkimuksella pyrittiin tuottamaan lisätietoa erilaisten puunhankinnassa harkittavien toimintamallien merkityksestä koko toimialan kehittämisen kannalta. Tutkimuksella kartoitettiin niin ikään relevantteja jatkotarkasteluaiheita käynnissä olevaan Metla-hankkeeseen.

Tutkimuksen yhteistyökumppaneina ja rahoittajina ovat toimineet Tekes, Koneyrittäjien liitto ry, Metsäteollisuus ry, Metsäliitto Osuuskunta, Stora Enso Metsä, UPM Metsä, Metsähallitus, Yksityismetsätalouden Työnantajat ry, MTK ry, Ponsse Oyj, John Deere Forestry Oy ja OKO Oyj. Edellisten lisäksi Metsämiesten säätiö on myöntänyt tutkimusapurahaa tutkimustyön toteutusta varten.

1.2 Puunkorjuun erityispiirteitä

Kotimainen raakapuun toimitusketju perustuu pitkälle perinteiseen tähtimalliseen toimittajarakenteeseen, jossa puuta jalostavilla suurilla metsäteollisuusyrityksillä on kullakin omat puunhankinnasta vastaavat metsäosastonsa (Mäkinen ym. 1997). Näiden metsäosastojen tehtäväkuvaan kuuluvat puun osto sekä puunkorjuun ja -kuljetuksen ohjaaminen. Varsinainen puunkorjuun sekä sen lähi- ja kaukokuljetuksen suorittaminen on ulkoistettu alan pk-yrityksille (Metsäsektorin suhdannekatsaus 2007-2008; Rummukainen, ym. 2003). Ilmaisu tähtimallinen toimittajarakenne perustuu siten mielikuvaan kuviosta, joka muodostuu suuresta joukosta pieniä, yhteen päähankkijaan suorassa toimittajasuhteessa olevista alihankkijoista (Lehtinen 2001, Spekman ym.1998).



Kuva 1. Urakoinnin kehityssuunta Högnäsin ja Vuorenpään (2004) mukaan. Iso ympyrä kuvaa asiakasta ja pienet palvelujen toimittajia.

Viime vuosina käyttöön otettujen laajavastuisten urakointimallien, alueyrittäjyyden ja avainyrittäjyyden myötä korjuu- ja kuljetusyritysten alueellista vastuuta ja tehtäväkokonaisuuksia on laajennettu (kuva 1), mutta nämä toimintamallit ovat edelleen pohjautuneet alalle tyypilliseen yhden asiakkaan toimintamalliin (Palander ym. 2006, Högnäs ym. 2004). Yhden asiakkaan toimintamalli tai toisin ilmaisten yrittäjäkunnan äärimmäinen ostajakeskittyneisyys (van Donk ym. 2007, van der Vaart ym. 2006) tarkoittaa käytännössä sitä, että kyseinen yrittäjä myy koko korjuu- ja/tai kuljetuskapasiteettinsa vain yhden asiakkaan käyttöön. Laajavastuisessa urakointimallissa korjuuyrittäjällä on tyypillisesti vapaus organisoida puunkorjuu sovitulle korjuusuoritteelle parhaakseen katsomalla tavalla, kunhan sovitut asiakastarpeet laadun ja aikataulun osalta täyttyvät. Yrittäjällä on pääsy asiakkaansa tietojärjestelmään, josta tämä näkee asiakkaan ostaman pystyvarannon määrän yrittäjän omalla toiminta-alueellaan. Yrittäjä sopii asiakkaansa kanssa yleensä kuukausittaisista toimitusmääristä sekä -ajoista, joihin yrittäjä pyrkii vastaamaan asiakkaan hankiman pystyvarannon puitteissa. Pystyvarannon määrä, laatu ja sijainti ovat siis asiakkaan eli metsäteollisuuden oman hankintaorganisaation hallittavia asioita.

Kotimaisessa puunkorjuussa ja -kuljetuksessa toimivien pk-yritysten yhden asiakkaan toimintamalli johtuu pääasiassa käytössä olevien tietojärjestelmien keskinäisestä integroimattomuudesta, toimialan perinteistä, asenteista sekä korjuun kausivaihteluista (Rekilä ja Räsänen 2008, Vesterinen 2006a). Kotimaisen puunhankinnan tulevaisuuden liiketoimintamallit - tutkimuksen mukaan metsäyhtiökohtaisten tietojärjestelmien on koettu tuottavan kilpailuetua markkinoilla, metsäalan yhteisen tietojärjestelmäpohjan hyötyjä ei ole pystytty osoittamaan ja toisaalta myös rahaa omanlaisen järjestelmän kehittämiseen on ollut (Vesterinen 2006). Kustannustehokkuutta on pitkään pystytty lisäämään yhtiöiden ja heidän yrittäjiensä välisen tietojärjestelmien vertikaalisen integraation avulla ja näin ollen tarvetta horisontaalisesti, toimialan läpi toteutettavalle kehitystyölle ei ole syntynyt. Käytännössä tämä on johtanut siihen, että mikäli korjuuyrittäjä haluaa tarjota samalla hakkuukoneella puunkorjuupalveluja useammalle kuin yhdelle asiakkaalle, yrittäjän täytyy asentaa hakkuukoneen tietokoneelle kovalevy kutakin asiakasta varten tarvittavan tiedonkäsitteilyn ja -siirron mahdollistamiseksi. Tämä luonnollisesti asettaa myös lisähaasteita hakkuukonetta käyttävälle henkilöstölle, sillä näiden tulee hallita kunkin asiakkaan keskenään erilaiset korjuuohjelmat sekä niiden koodistot. Niin ikään yrittäjän korjuukaluston operatiivinen ohjaus muodostuu haasteellisemmaksi yrittäjän tilauskannan rakentuessa useampien toisiinsa yhteen sopimattomien asiakkaiden tietojärjestelmien kautta. Käytännössä useammalle asiakkaalle korjuupalveluja myyvän yrittäjän tulee siis hallita tietojärjestelmäriippumattomasti eri asiakkaiden korjuukohteiden mielekäs ketjutus.

Metsäalan yritystoimintaa on leimannut asiakassuhteiden työsuhteenomaisuus, mikä on osaltaan vaikuttanut yrittäjien asiakasmäärän rajautumiseen pääosin yhteen. Laajavastuisen yrittäjyyden toimintamalli on tosin lisännyt asiakkaita, sillä uusimmassa yrittäjätutkimuksessa yrittäjistä jo 28 % ilmoitti urakoivansa pääasiakkaansa lisäksi myös muille (Rekilä ja Räsänen 2008). Työsuhteenomaisuutta kuvaa hyvin toimialalla yhä käytössä oleva tilityskäytäntö – yrittäjät eivät laskuta asiakastaan, vaan asiakas tilittää yrittäjille sovitun hintatason ja toimitettujen mittaustodistusten mukaisesti (Högnäs 2000). Metsäyhtiöt ovat kokeneet puunkorjuu- ja kuljetusyrittäjäkunnan olevan oman hankintaorganisaationsa jatke metsänomistajien suuntaan, jonka kokonaisvaltaisella työnjäljellä on hyvin tärkeä vaikutus puukauppojen syntyyn alueella. Toisaalta palvelunostajat ovat halunneet mahdollistaa raakapuun toimitusvarmuuden suosimalla vain yhden asiakkaan mallia. Toimintamallilla on pyritty varmistamaan, ettei yrittäjä puunkorjuun sesonkihuippuina muita asiakkaita palvellessaan jätä asiakasta pulaan.

1.3 Ostajakeskittyneisyys strategiaratkaisuna

Ostajakeskittyneisyyden (buyer-focus) on todettu olevan mielekäs strategiavaihtoehto erityisesti toimialoilla, joita leimaavat kysyntäepävarmuus määrien, valikoiman ja/tai toimitusaikojen osalta (van Donk ym. 2007, van der Vaart ym. 2006). Toimittajan sitoessa resurssinsa vain yhden asiakkaan palvelemiseen myös tämän reagoitukyky yksittäisen asiakkaan suhteen paranee. Kotimaisen puunhankinnan tulevaisuuden liiketoimintamallit – tutkimushankkeen aivoriihien yhteydessä merkittävänä tekijänä nostettiin esille koko raakapuun logistiikkaketjun kyky tarvittaessa kiihdyttää ja jarruttaa puunhankintaa kysynnän vaihteluiden mukaan (Lappalainen 2008).

Ostajakeskittyneisyys strategiaratkaisuna edellyttää sopijapuolten keskinäistä luottamusta, joka luo edellytykset toimittajan taloudellisesti kannattavalle yritystoiminnalle (van Donk ym.2007) Korjuu- ja kuljetusyrittäjien sekä teollisuuden hankintaorganisaatioiden välinen luottamusvaje on yksi merkittäviä toimialan tuloksentekeyttä rapauttavia tekijöitä (Vesterinen 2006 a). Puunkorjuuyritysten kannattavuus on heikko alan mediaaninettotuloksen ollessa vuonna 2006 n. 2,5 % liikevaihdosta (Koneyrittäjä-lehti 2007). Toimialan pitkään jatkunut heikko kannattavuus on syönyt erityisesti alan palkanmaksukykyä ja heikentänyt siten ammattitaitoisen työvoiman saatavuutta alalla (Kolström ym. 2005, Metsäalan tulevaisuusfoorumi 2005). Monitaitoisen sekä motivoituneen henkilöstön on todettu olevan keskeinen tekijä ostajakeskittyntä strategiaa noudattavan toimittajan yritystoiminnan reagoitukyvyille (van Donk ym. 2007). Metsäalan osalta tämä tarkoittaa väistämättä sitä, että ostajakeskittyneisyyttä tulee arvioida kriittisesti. Toimijaryhmien ollessa vahvasti toisistaan riippuvaisia, korjuuyrittäjien keskeisten reagoitukykyyn vaikuttavien taloudellisten, fyysisten ja henkisten resurssien puute voi muutoin johtaa tilanteeseen, joka heikentää puuta jalostavan teollisuuden globaalia kilpailukykyä.

1.4 Pysty- ja korjuuvarantojen määrä ja mittakaavaedut

Puunkorjuun kustannustehokkaaseen organisoimiseen vaikuttavat merkittävästi pysty- ja korjuuvarantojen määrä, laatu sekä sijainti. Korjuuyritysten ollessa eräänlaisia asiakkaidensa hankintaorganisaatioiden jatkeita, korjuuyritysten leimikoiden korjuujärjestys muodostuu asiakkaan hankkiman pystyvarannon koon sekä leimikoiden korjuukelpoisuuden ja korjuutarpeen mukaan. Puunhankinnan keskeisiä tekijöitä ovat osto-organisaation kannalta pystyvarannon määrä sekä korjuuyrittäjän kannalta yrittäjällä tiedossa olevan korjuuvarannon koko (ts. tietyllä hetkellä yrittäjällä tiedossa olevat korjuuseen tulevat leimikot). Osto-organisaation näkökulmasta pystyvarannon pitäisi olla mahdollisimman pieni pääomien sitoutumisen minimoimiseksi ja toisaalta taas korjuuyrittäjän kannalta korjuuvarannon tulisi olla riittävän suuri mahdollisimman pienellä maantieteellisellä säteellä korjuujärjestyksen optimoimiseksi ja konesiirtojen minimoimiseksi.

Simulointitutkimuksen esiselvitystyönä toteutetussa 15 korjuu- ja kuljetusyrittäjän puhelinhaastattelussa kävi ilmi, että hakkuuajankohdaltaan korjuuseen sopivan leimikkomäärän ts. korjuuvarannon vähyyks muodostaa selkeän pullonkaulan yrittäjille aiheuttaen ongelmia korjuun tehokkaaseen ohjaukseen muun muassa seisokkien muodossa. Niin sanottu kädestä suuhun eläminen ja toiminnan ennakoimattomuus aiheuttavat yrittäjille mm. lisääntyneitä siirtokustannuksia (Vesterinen 2007a). Myös Ala-Fossin ym. (2004) kyselytutkimuksessa korjuuyrittäjät pitivät pientä korjuuvarantoa ongelmana joustavalle ja tehokkaalle korjuulogistiikalle.

Puunkorjuuyritysten tarjoama palvelu kattaa tyypillisesti puun kaadon, karsinnan, asiakasmittoihin katkonnan, tavaralajeittaisen kasauksen sekä lähikuljetuksen leimikon reunaan. Palvelusisältö on käytännössä asiakassuhteesta riippumatta sama. Tämä mahdollistaa periaatteessa puunkorjuun mittakaavaetujen hakemisen toimintamallilla, jossa myydään korjuupalveluja kaikille tietyllä korjuuyrittäjän kannalta optimaalisella toimintasäteellä toimiville puunostajille. Arvioitaessa eri toimintamallien mielekkyyttä kotimaisessa raakapuun hankinnassa, on keskeistä tietää, millaisia kustannussäästöjä moniasiakkuudella puunkorjuuyrityksen näkökulmasta olisi mahdollisesti saatavissa. Tämän tiedon perusteella voidaan paremmin arvioida, edellyttääkö jalostavan teollisuuden globaali kilpailukyky äärimmäisen ostajakeskittyneitä toimittajia vai voidaanko riittävä toimitusketjun reagointikyky saavuttaa myös moniasiakkuuden myötä mittakaavaetuja hakien. Näiden vaihtoehtojen seurausten punnitseminen koko toimitusketjun kannalta on olennaisen tärkeää.

1.5 Metsäkoneiden siirtoja mahdollista tehostaa

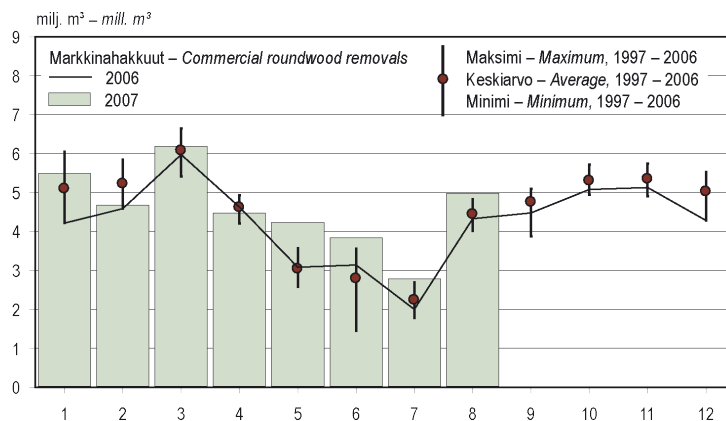
Korjuukoneiden siirtokustannusten osuuden on todettu olevan 6–12 % puunkorjuun kokonaiskustannuksista (Väätäinen ym. 2006a). Pienetkin korjuuyrittäjät turvautuvat konesiirroissa pääosin omaan siirtokalustoon, vaikka koneiden siirtopalveluja tarjoavia kuljetusyrittäjiä on useita. Yhden ja kahden korjuuketjun yrittäjillä oman koneenkuljetusajoneuvon vuotuinen käyttö on usein vähäistä siirtoauton ajotuntien jäädessä alle 600 tuntiin ja ajokilometrien alle 15–20 000 kilometriin. Koneensiirtoajoneuvon alhainen käyttöaste sekä pienten korjuuyrittäjien vähäinen vuotuinen korjuusuorite nostavat merkittävästi siirtokustannusten osuutta korjuun kokonaiskustannuksista (Väätäinen ym. 2006a).

Erilaisilla konesiirtojärjestelyillä olisi saavutettavissa kustannussäästöjä puunkorjuussa (Väätäinen et al. 2006a). Vaikka erilaisia järjestelyitä ja keinoja koneiden siirtoihin on käytännössä puunkorjuussa olemassa, vaihtoehtojen todellisista kustannusvaikutuksista ei ole selvää kuvaa. Koneensiirtokaluston tehokkaampaa käyttöä edistäviä keinoja voisi olla esimerkiksi koneenkuljetusajoneuvon yhteisomistus kahden tai useamman korjuuyrittäjän kesken, siirtokaluston vuokraus, alueyrittäjän tarjoamat siirtopalvelut osayrittäjille tai palvelun osto erilliseltä kuljetusyrittäjältä.

Korjuuyrittäjän myydessä palvelujaan vain yhdelle asiakkaalle korjuun mittakaavaetujen saavuttaminen muodostuu haasteelliseksi, sillä asiakkaiden ostaessa puuta yksityismetsistä, saman alueen hakkuukohteista kilpailevat myös muut puunjalostajat. Kunkin puunostajan ohjatessa hankintalogistiikkaansa, voi saman metsäautotien varrella käydä lyhyellä aikavälillä usean puunostajan palveluntoimittaja korjaamassa puita. Äärimmäisen ostajakeskittyntä toimittajastrategiaa noudattavassa puunhankinnassa syntyy näin merkittäviä kaluston siirtokustannuksia, kun samoilla tuotantovälineillä ei voida suorittaa lähekkäin sijaitsevia, eri asiakkaiden työmaakohteita. Toisaalta moniasiakkuuden toimintastrategiassa useammalle puunostajalle toimittaessa korjuuyrittäjälle olisi tarjolla useampia leimikoita kunkin puunostajan leimikkovarannoista, jolloin korjuuyrittäjällä olisi myös paremmat mahdollisuudet ketjuttaa leimikoita konesiirtoja minimoiden aiempaa pienemmällä toiminta-alueella.

1.6 Korjuun kausiluonteisuuden vaikutukset

Hakkuista yhä noin 60 % tehdään talvikautena loka-maaliskuussa, jonka seurauksena puunkorjuun kausiluonteisuus aiheuttaa rajoitteita kustannustehokkaalle puunkorjuukaluston käytölle (Kuva 2). Metsäkoneille/puunkorjuuyrittäjille ei ole tarjolla korjuutehtäviä tasaisesti ympäri vuoden, ja usein



Lähde: Metsäntutkimuslaitos, metsätalastollinen tietopalvelu – Source: Finnish Forest Research Institute

Kuva 2. Markkinahakkuut kuukausittain (Metsätalastollinen vuosikirja 2007).

korjuukausien ja seisokkien yllätyksellisyys tuo kannattavaan ja kestäväan yrittämiseen lisää epävarmuustekijöitä. Puunkorjuukaluston määrä ja työpanos on mitoitettu talven työhuippujen mukaan. Talvikuukausina käytetystä keskimääräisestä puunkorjuukalustosta vain noin 60 – 65 % on käytössä kevät- ja kesäkuukausina (huhti-syyskuu) (Metsätalastollinen vuosikirja 2007).

Puunhankinnan kausiluonteisuus johtaa koneiden vajaakäyttöön ja työvoiman työsuhteiden katkoihin. Osa korjuukalustosta joutuu seisomaan tai jäämään vajaalle käytölle muuna aikana, mikä aiheuttaa ongelmia työvoiman pysyvyyteen puunkorjuussa; seisokkien aikana moni metsäkoneen kuljettaja hakeutuu töihin esimerkiksi maanrakennusalalle (Kärhä ja Peltola 2004). Peruskoneelle tulisi löytää muuta käyttöä joutoajalle ja samalla kuljettajien työ- ja palkkausjaksot/olot muodostuisivat myös houkuttelevimmiksi. Korjuutoiminnan kannattavuuden lisäämiseksi, metsäkoneiden ympärivuotiseen työllistymiseen sekä ammattitaitoisen työvoiman pysyvyyden varmistamiseksi on tarjottu korjuukoneiden vuotuisen käyttömäärän kasvattamista muun muassa metsäkoneiden monikäyttöisyydellä hyödyntämällä peruskonetta muissa kuin puunkorjuun operaatioissa (Kärhä ja Peltola 2004).

1.7 Aikaisemmat tutkimukset

Liiketaloustieteen osalta tutkimuksen perusta rakentuu Silberstonin (1972) työhön mittakaavaetujen saavuttamisesta sekä Porterin (1991) näkemykseen arvoketjujen kiinnittymisestä toisiinsa. Porterin ohella Brewer ym. (2000), Simatupang (2002) ja Morgan (2004) ovat tutkineet arvoketjujen välisten optimoitujen ja koordinoitujen vertikaalisten sidosten mahdollistamaa pysyvää kilpailuetua. Puunhankinnan toimijaryhmien suuren keskinäisen riippuvuuden huomioiden liiketaloustieteen tutkimus, joka tarkastelee toimitusketjua yhtenä kokonaisuutena, on keskeistä. Toimitusketjun kokonaiskuvan hallinnan, yksikertaisuuden sekä toisaalta pirstaleisuuden merkitystä koko ketjun suorituskyvyn kannalta ovat tutkineet mm. van Hoek (1998), Holmberg (2000), de Souza ym. (2000), Simatupang ym. (2002), Lockamy ym. (2004), Yee ym. (2004), Morgan (2004), Chen ym. (2004), Perona ym. (2004) ja Hoole (2005). Toimitusketjussa esiintyvien arvoa tuottamattomien toimintojen tunnistamisen ja eliminoimisen aihealuetta koskevaa tutkimusta ovat tehneet Brewer ym. (2000) sekä Gunaserakan ym. (2001). Metsäalalle tyypillistä ostajakeskittynyttä toimittajastrategiaa ovat yleisemmin liiketaloustieteessä tutkineet van Donk ym. (2007) ja van der Vaart ym. (2006).

Metsäkoneyrittämistä on aikaisemmin tutkinut erityisesti Mäkinen (1997, 1999, 2001, 2002). Högnäs (2000) on väitöskirjassaan Kohti kumppanuutta metsäalan konetyö- ja kuljetusurakoinnissa – vaihdantakustannusteoriaan perustuva tarkastelu analysoinut kumppanuusmalleja puun korjuun ja kuljetuksen toimittajasuhteiden osalta. Ala-Fossi ym. (2004) selvittivät metsäkoneyrittäjien valmiutta ja näkemyksiä kokonaisvaltaiseen alueyrittäjyyteen Koillis-Suomessa sekä Rekilä ja Räsänen (2008) selvittivät puunhankinnan laajavastuista yrittäjyyttä. Puunhankinnan ja -korjuun skenaarioita ovat laatineet Rummukainen ym. (2003) sekä Kolström ym. 2005. Toimialan liiketoimintamalleja on analysoitu Lappalaisen (s. Vesterisen) toimesta Kotimaisen puunhankinnan tulevaisuuden liiketoimintamallit – tutkimushankkeen puitteissa (2006a, 2006b, 2007a, 2007b, 2008).

1.8 Simulointitutkimuksen avaintehdävät

Tutkimuksen ensisijaisena tavoitteena oli selvittää, voidaanko puunkorjuuyrityksen kannattavuutta parantaa yrityksen toimintasäteen pienentämisellä sekä asiakaskunnan laajentamisella verrattuna nykyisin vallalla olevaan yhden asiakkaan toimintamalliin. Tutkimuksessa toteutettiin kolme näkökulmaa: puuta ostavien asiakkaiden määrän lisääminen ja siten toiminta-alueen pieneminen, korjuuyrittäjällä käytössä olevan korjuukohdevarannon kasvattaminen sekä toisaalta myös yrityksen omistaman koneenkuljetusauton siirtopalvelujen tarjoaminen toiselle korjuuyritykselle.

Ajankohtaiseksi tarkastelun kohteeksi valittiin myös korjuuyrittäjän korjuukonekaluston vuotuisen käyttömäärän kasvun vaikutustarkastelut. Ympärivuotisesti tasaisemmin jakautuva korjuu pääosin kahteen työvuoroon keskittyvällä suuremmalla korjuusuoritteella oli myös tarkastelun kohteena.

Tutkimustehtävä on toteutettu vaiheittain seuraavien tutkimuskysymysten kautta:

- *Mikä on korjuuyrittäjän käytössä olevan korjuuvarannon määrän vaikutus korjuun kokonaiskustannuksiin?*
- *Mikä on korjuuyrittäjän asiakaskunnan laajentamisen (yhdestä kolmeen puunostajaan) vaikutus konesiirtojen kautta syntyviin korjuukustannuksiin?*
- *Mikä on siirtoajoneuvon käyttömäärän kasvun vaikutus siirtopalvelujen muodossa puunkorjuun kokonaiskustannuksiin?*
- *Mikä on korjuusuoritteen kasvun vaikutus puunkorjuun kokonaiskustannuksiin?*

Tutkimus kohdistui kolmen keskisuomalaisen korjuuyrittäjän todellisiin tilanteisiin, leimikkotietoihin (vuosina 2003–04 hakatut leimikot) ja muihin taustatietoihin. Perusteellisempi tarkastelu kohdistui kolmen korjuuketjun yrittäjään, jolla uusien toimintamallien analysoinnin oletettiin tuovan parhaiten esille vaihtoehtoisten toimintamallien erot. Lisäksi vähintään kolmen korjuuketjun kokoiset ja sitä suuremmat korjuuyrittäjät korjaavat arviolta noin 60 % koko Suomen vuosittaisesta korjuusuoritteesta (Jaakkola 2008). Tutkimuksessa mukana olleet yhden ja kahden korjuuketjun yrittäjät toivat toisistaan poikkeavien korjuusuoritteiden ja leimikkorakenteiden vaikutusten merkitykset korjuukustannuksiin. Erityisen mielenkiinnon kohteena oli omasta koneenkuljetusajoneuvosta aiheutuneet siirtokustannukset korjuuyrittäjillä, joilla vuotuinen korjuusuorite oli vähäinen (yhden ja kahden korjuuketjun yrittäjät).

2 Aineisto ja menetelmät

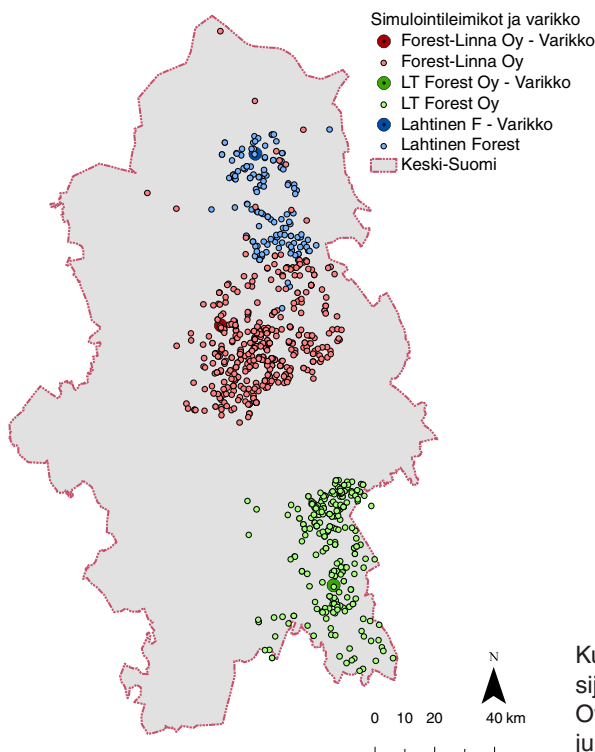
2.1 Leimikko- ja yrittäjäaineisto

Perusleimikkoaineisto koostui UPM:n, Metsäliiton ja Stora Enson Keski-Suomen alueen leimikkokohteista, jotka oli hakattu vuosina 2003 ja 2004. Kunkin puunhankkijan leimikkoaineistot sisälsivät korjuulohkoittaiset tiedot: koordinaattit, korjuuyrittäjä, hakkuuajankohta, leimikkotunus, hakkuutapa, hakkuumäärä, puulaji- ja puutavaralajikohtainen hakkuumäärä, metsäkuljetusmatka, pinta-ala sekä runkopoistumat. Näitä tietoja käytettiin mallissa muun muassa kohteiden välisten etäisyyksien ja siirtymisaikojen sekä kullakin hakkuukohteella toimivien koneiden ajanmenekkien laskennassa.

Leimikkoaineistosta valittiin kolme puunkorjuuyrittäjää, jotka korjasivat pääosin (vähintään 90 % hakkuista) Keski-Suomen alueella. Valitut korjuuyrittäjät edustivat yhden, kahden ja kolmen korjuuketjun yrittäjiä, joilla oli myös oma metsäkoneenkuljetusajoneuvo. Kuvassa 3 on esitetty tutkimukseen valitut korjuuyrittäjät, niiden keskuspaikat sekä korjatut leimikot vuosilta 2003 ja 2004. Lisäksi taulukossa 1 tuodaan esille korjuuyrittäjien konesiirtoja kuvaavia tekijöitä 2003–04.

Taulukko 1. Korjuuyrittäjien konesiirtojen olosuhteet.

| | Case-yrittäjät | | |
|---------------|------------------|---|--------------------------------|
| | Yksi korjuuketju | Kaksi korjuuketjua | Kolme korjuuketjua |
| Konesiirrot | oma siirtoauto | oma siirtoauto | oma siirtoauto |
| Kuka siirtää | yrittäjä itse | siirrettävän koneen kuljettaja tai yrittäjä | 80 % yrittäjä, 20 % huoltomies |
| Toimintasäde | 50 km | 60 km | 50 km |
| Siirron kesto | 2–3 h | ksm. 2 h | 2–4 h |
| Korjuuvaranto | ei ole | 2–3 leimikkoa | koneittain 1–10 leimikkoa |



Kuva 3. Korjuuyrittäjien keskuspaikat ja leimikoiden sijainnit. Lahtinen Forest – yksi korjuuketju, LT Forest Oy – kaksi korjuuketjua, Forest-Linna Oy – kolme korjuuketjua.

Tutkimuksen korjuuyrittäjien vuosina 2003 ja 2004 Keski-Suomen alueelta hakkaamien leimikoiden keskimääräisiä korjuutietoja on esitetty taulukossa 2. Kolmen korjuuketjun koneyrittäjän tapaukseen laadittiin myös teoreettinen leimikkoaineisto, joka muodostui kolmen suuren puunostajan perusleimikkoaineistosta (kuva 4). Aineistoon leimikot valittiin siten, että toimintasäde saatiin mahdollisimman pieneksi, mutta leimikkorakenne sekä kuukausittaiset hakkuutapajakaumat ja hakkuumäärät eivät saaneet juurikaan poiketa alkuperäisestä leimikkoaineistosta (taulukko 2). Lisäksi molemmista leimikkoaineistoista lasketun keskimääräisen runkokoon tuli olla mahdollisimman samalla tasolla. Siten leimikkotekijät eivät vaikuttaneet tuloksiin.

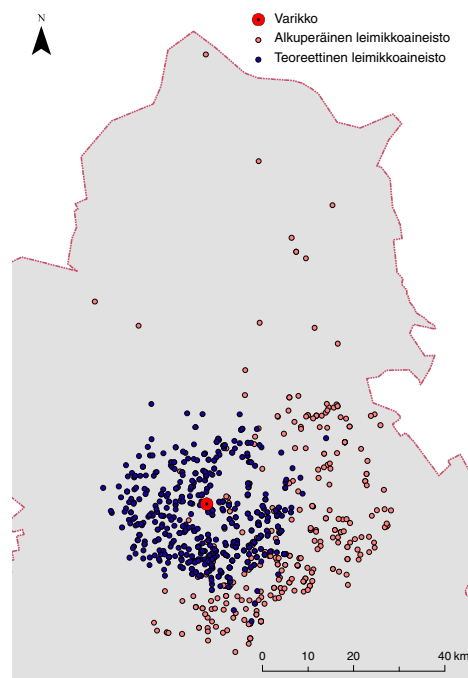
Taulukko 2. Leimikoiden keskitunnukset 2003–2004.

| | Case-yrittäjät | | | Teoreettinen aineisto |
|--|------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|
| | Yksi korjuuketju | Kaksi korjuuketjua | Kolme korjuuketjua | Kolme korjuuketjua |
| Leimikoiden määrä, kpl | 141 | 264 | 460 | 460 |
| Korjuumäärä ¹ , m ³ /vuosi | 36 552 | 32 705 | 41 049 | 41 022 |
| Leimikkokertymä, m ³ | 518,5 | 495,5 | 535,4 | 535,1 |
| Rungon keskikoko, m ³ | 0,199 | 0,287 | 0,217 | 0,216 |
| Pinta-ala, ha | 4,9 | 5,6 | 7,7 | 6,7 |
| Metsäkuljetusmatka, m | 281 | 267 | 278 | 280 |
| Poistuma, runkoa/ha | 601 | 424 | 485 | 520 |
| Harvennusten osuus ² , % | 32,8 | 22,7 | 28,4 | 28,5 |
| Lehtipuuosuus ² , % | 13,8 | 18,2 | 15,4 | 16,2 |
| Etäisyys varikolta ³ , km | 20,08 | 21,06 | 22,05 | 12,57 |

¹ todelliset leimikkoaineistojen kertymät lopullisia simulointiajoja hieman suuremmat.

² osuus kertymästä

³ linnuntie-etäisyys



Kuva 4. Kolmen korjuuketjun koneyrittäjän alkuperäisen ja teoreettisen leimikkoaineiston leimikoiden sijainnit.

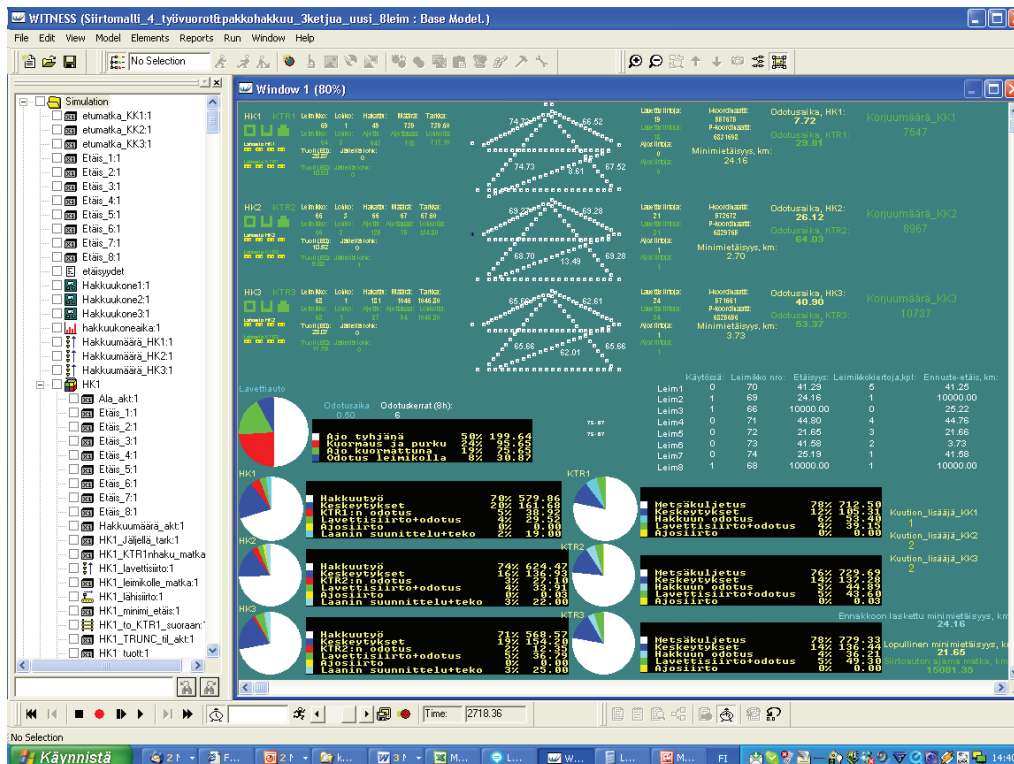
2.2 Simulointimalli

2.2.1 Mallin yleinen toiminta

Koneellisen puunkorjuun simulointimalli on laadittu WITNESS -simulointiohjelmalla (WITNESS 1998). Ohjelmassa on tekoälyn piirteitä, kuten automaattinen ohjelman luonti ja virheiden etsintä sekä graafinen interaktiivinen ohjelmointiliittymä. Mallin suunnittelu ja visualisointi ovat tekijän määrättävissä. Simulointimallien loogisen toiminnan varmistaminen, mallin verifiointi ja validiointi, toteutettiin useilla testiajoilla ja niistä saatujen tulosten analysoinneilla. Kuvassa 5 on esitetty koneellisen puunkorjuun simulointimallin visuaalinen kuvaus WITNESS -simulointiympäristössä.

Puunkorjuun simulointimalli koostuu yhdestä, kahdesta tai kolmesta korjuuketjusta (hakkuukonekuormatraktori) sekä niitä kuljettavasta koneenkuljetusautosta (Kuva 5). Puunkorjuun simulointimalli on rakennettu loogisesti konekonseptien toimintoja jäljitellen. Simulointimallilla korjataan malliin syötetty leimikkosuma malliin asetetun simulointiajan kuluessa. Mallin tuloksena saadaan muun muassa kunkin korjuuketjun koneen työaikajakaumat sekä päätyövaiheiden ajanmenekit. Jokaisen korjuuketjun korjuumäärä tallentuu tulosteeseen. Lisäksi koneenkuljetusajoneuvon toiminnasta tallentuu myös työaikajakauma, työvaiheiden ajanmenekit ja ajettu kokonaiskilometrämäärä.

Simuloinnin alussa malli lukee kahdesta kahdeksaan leimikkoa korjuuyrittäjän aktiiviseen korjuukohdevarantoon. Kussakin leimikkotietueessa on olosuhdetiedot enintään neljältä korjuulohkolta. Leimikon jokaiselta korjuulohkolta on tallennettu korjuulohkon hakkuukertymä, keskirunkokoko, pinta-ala, poistuman runkotiheys, metsäkuljetusmatka ja lehtipuuosuus. Korjuutietomuuttujia käytetään sekä hakkuukoneen että kuormatraktorin korjuutyön ajanmenekin määrittämiseen regressiomallien avulla. Leimikkotietueessa kunkin korjuulohkon sijaintitiedot on esitetty koordinaatteina. Sijaintitiedon avulla ohjataan koneiden siirtoja leimikolta toiselle sekä lasketaan koneenkuljetusajoneuvon kulkema matka ja siihen kulunut aika.



Kuva 5. Puunkorjuun simulointimallin visuaalinen ympäristö WITNESS-simulointiohjelmassa.

Hakkuukone- ja kuormatraktorielementteihin on asetettu korjuutyön keskeytysjakauma, josta määrittyy jokaiselle korjuukoneelle keskeytyksen pituus. Keskeytysten välinen aika määräytyy vastaavasti keskeytysaikavälijakaumalla. Hakkuukoneelle ja kuormatraktorille on erikseen omat keskeytysjakaumat (vrt. Väätäinen ym. 2007).

Simuloinnissa korjuuketjun hakkuukone ja kuormatraktori toimivat kaiken aikaa samana ketjuna, eikä siten toinen koneista voi siirtyä korjaamaan toisen korjuuketjun koneen kanssa. Puunkorjuulle on asetettu työvuoroasete, joka perustuu viikkotason työvuorojärjestelyyn ja ensisijaisesti yhden työvuoron vuorokausirytmiiin. Mallin työvuoro-ohjauksessa otetaan kuitenkin huomioon korjuuketjun epätasapaino, jolloin joko hakkuukoneen tai kuormatraktorin jäädessä työn tuottavuudessa toisen koneen jälkeen pidemmäksi aikaa, määräytyy jälkeen jäävälle koneelle joko uusi 8 tunnin työvuoro tai muuten hieman pidempi työvuoro. Työvuoronohjausjärjestelmä on säädettävissä tapauskohtaisesti tutkimuksen tarpeiden mukaisesti. Korjuuketjun toiminnassa hakkuukone ei kuitenkaan voi edetä yhtä leimikkoa kuormatraktoria edemmäksi, joten sellaisissa tapauksissa hakkuukone odottaa jo hakatulla leimikolla hetkeen kunnes kuormatraktori on siirretty samalle korjuukohteelle. Toiminta on myös siirtojen kannalta järkevää, sillä kuormatraktorin siirron jälkeen siirtoauto on heti käytettävissä hakkuukoneen siirtoon uudelle leimikolle.

Koneenkuljetusajoneuvo siirtyy korjuukohteelle hieman ennen hakkuun loppumista. Simulointimallin asetteena on hetki, jolloin hakattavaa tai ajettavaa on jäljellä enää 10 kuutiometriä. Näin ollen koneenkuljetusajoneuvo pyrkii saapumaan paikalle ajoissa, ettei turhia siirron odotuksia tulisi metsäkoneille. Simulointihetkellä, jolloin tarkistetaan siirtoauton tarve loppumassa olevan korjuukohteen metsäkoneille, tarkastetaan korjuuseen tarjolla olevat leimikot ja niiden siirtoetäisyydet juuri valmistuvasta kohteesta. Jos siirtoetäisyys vapaana olevalle hakkuukohteelle on alle 2 kilometriä, ei siirtoautoa kutsuta paikalle, vaan koneet siirretään seuraavalle korjuukohteelle ajaen.

Simulointiin voidaan asettaa toiminto, joka etsii leimikkopankista lähimmän leimikon, jonne hakkuukone voidaan seuraavaksi siirtää. Tällä toiminnolla pyritään minimoimaan metsäkoneiden siirtoja. Korjuukohteen valintaan leimikkopankista voidaan asettaa raja, jolla estetään joidenkin leimikoiden viipyminen aktiivileimikkopankissa liian kauan.

Simulointimallilla voidaan korjata kaikki malliin luetut korjuukohteet, jonka jälkeen simulointi pysähtyy. Mallilla voidaan myös simuloida ennalta määrättyyn simulointiaikaan asti, jonka jälkeen malli tallentaa tavoiteaikaan asti kerätyt simulointitiedot. Samaa simulointiajoa voidaan toistaa useita kertoja, jolloin mallin todennäköisyysjakaumat tuottavat satunnaisuuden perusteella vaihtelevia satunnaislukusarjoja ja siten samankin simulointiasetteen eri toistojen tulokset poikkeavat hieman toisistaan. Simulointiskenaarioiden toistoista saduista tuloksista lasketaan lopuksi keskiarvot sekä analysoidaan toistojen keskihajonnat ja luottamusvälit.

2.2.2 Simuloinnin kulku ja pääelementit

Simuloinnin aloitustoiminnot

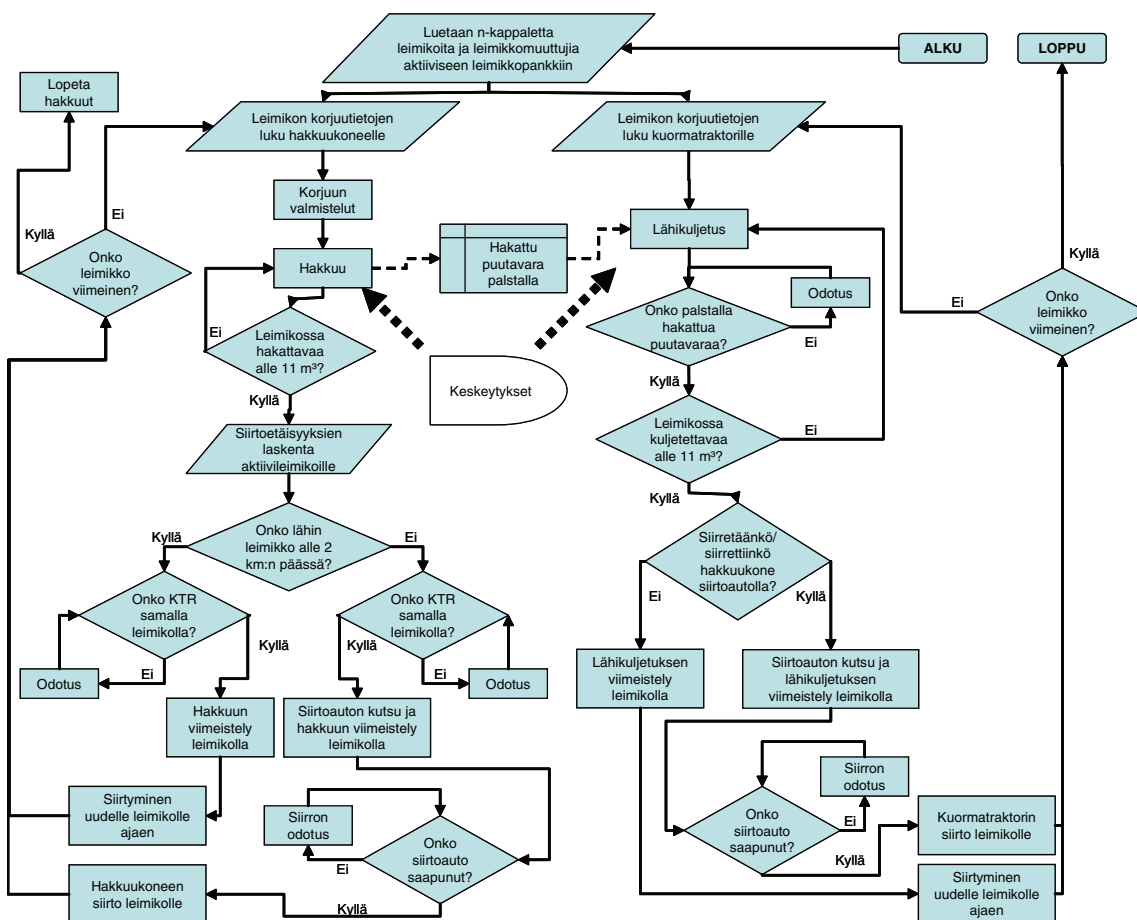
Simuloinnin alkutoimintona simulointimalli lukee korjattavan leimikkosuman taulukkomuodossa. Esimerkki leimikkosumasta on esitetty liitteessä 1. Leimikon jokaisella korjuulohkolla on korjuuolosuhdetietojen lisäksi paikkatiedot koordinaatteina (Liite 1). Korjattavasta leimikkosumasta luetaan koneyrityksen aktiiviseen korjuukohdevarantoon kahdesta kahdeksaan leimikkoa asetteen mukaisesti. Simuloinnin alussa korjuuketjuille valitaan järjestyksessä ensimmäiset leimikot aktiivileimikkopankista. Simuloinnin edetessä kun leimikko on korjattu, seuraavat leimikot määräytyvät joko leimikoiden välisten etäisyyksien tai malliin määritetyn leimikkokiertoarjon mukaisesti.

Erillinen leimikoiden paikkatietotaulukko ohjaa siirtoajoneuvon saapumista korjatulle leimikolle. Leimikoiden paikkatietotaulukon avulla voidaan jo ennen korjuun päättymistä kohteella määrittää siirtotapa; metsäkoneiden siirto joko ajaen tai siirtoajoneuvolla. Simuloinnin alussa tallentuu myös koneenkuljetusajoneuvon varikon sijaintitiedot koordinaatteina. Tämän tiedon avulla malli voi laskea tyhjänäajon etäisyydet sekä ajanmenekit varikolta korjatulle kohteelle ja uudelta kohteelta takaisin varikolle.

Simulointi alkaa tilanteesta, jossa korjuuketjujen koneet ovat jo ensimmäisillä leimikoillaan. Hakkuukonetyö alkaa leimikon korjuun suunnittelusta. Simuloinnin alussa kuormatraktorit ovat myös paikalla aloittaen puutavaran ajon tilanteessa, jossa simulointimalliin alussa määrätty hakkuumäärä on hakattu valmiiksi. Näin ollen kunkin korjuukoneen siirto ensimmäiselle korjattavalle leimikolle ei ole mallinnettu simulointiin.

Korjuuketjun toiminnot: Hakkuukone

Puunkorjuun simulointimallin korjuuketjun toiminta on esitetty kuvan 6 toimintakaaviossa. Hakkuukone tuottaa kokonaisia kuutiometrejä hakkuun simuloinnissa, jossa yhden kuutiometrin hakkuuseen kuluva aika määritetään hakkuun ajanmenekkimallilla. Kullekin tuotetulle kuutiometrille tuotantoaika lasketaan korjuulohkokohtaisesti leimikon korjuulohkojen olosuhdetietojen avulla. Hakkuun edetessä tapahtuu keskeytyksiä keskeytys- ja keskeytysaikavälijakaumien ohjaamina.



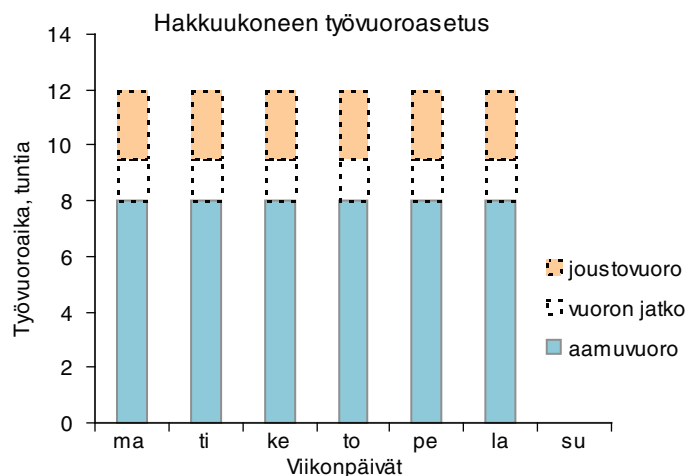
Kuva 6. Hakkuukone – kuormatraktori ketjun toimintakaavio puunkorjuun simulointimallissa

Jokaisen leimikon alussa hakkuukoneen siirron jälkeen toteutuu korjuuta valmistelevia toimenpiteitä, kuten leimikon korjuun yleistä suunnittelua, katkontatietojen aktivointia, hakkuulaitteen kalibrointia, puuvarastoalueen ja varikon perustamista tms. Jokaiselle leimikolle korjuuta valmisteleviin toimenpiteisiin määritettiin yksi tunti.

Hakkuukonetyö noudattaa hakkuukoneen työvuorojärjestystä, joka perustuu viikkotyövuoroon. Viikossa on kuusi 8 tunnin työvuoroa. Tässä tapauksessa työvuoro koostuu työmaallaoloajasta, joten kuljettajan työmatkat hakkuukohteelle ja takaisin eivät kuulu simuloinnissa määräytyvään työvuoroon. Simulointimallin työvuoro on myös muuttuva; ts. korjuutilanteissa, joissa korjuukoneiden välinen tuottavuuden epätasapaino pidempiaikainen tai leimikon korjuu on juuri loppumassa ennen työvuoron loppua, hakkuukoneen tai kuormatraktorin työvuoro voi muuttua (kuva 7). Esimerkiksi tilanteessa, jossa leimikkoa on hakkaamatta 10 m³ ja työvuoroa on jäljellä alle 0,5 tuntia, hakkuukoneelle määräytyy lisäaikaa 1,5 tuntia normaalin työvuoron jatkoksi. Annetussa lisäajassa hakkuu saadaan viimeisteltyä kohteella ja hakkuukone järjestettyä valmiiksi siirtoa varten. Keskeytysten tai heikon tuottavuuden esiintyessä hakkuuta ei silti voida lopettaa työvuoron jatkon aikana, jolloin viimeistely jää seuraavan työvuoron alkuun.

Hakkuukoneelle määrätyn lisäajan turvin myös koneenkuljetusajoneuvolla on useimmiten riittävästi aikaa saapua kohteelle ja siirto voidaan toteuttaa joko lisäajalla tai sen päätteeksi uudelle hakkuukohteelle. Jos hakkuukoneella ei ole ehditty hakkaamaan leimikkoa edes lisäajan puitteissa, koneenkuljetusajoneuvo jää työvuoron päätteeksi leimikolle. Tällaisissa tilanteissa työvuoron jälkeinen odotusaika siirtoautolla ei kuitenkaan tallennu siirtoauton odotusaikaan leimikolla.

Toinen työvuoron jousto tapahtuu tilanteessa, jossa korjuuketjun toiminta on koneiden tuottavuuksien suhteen epätasapainossa siten, että kuormatraktori joutuu odottamaan hakkuukoneen työsuoritetta. Tilanteessa, jolloin leimikkoa on jäljellä vähintään 40 m³ ja kuormatraktorille ei ole ajettavaa puuta leimikolla (kuormatraktori aivan hakkuukoneen perässä), ja lisäksi hakkuukoneen tuottavuus on kuormatraktorin tuottavuutta pienempi, asetetaan hakkuukoneelle 4 tunnin lisätyövuoro. Työvuorojouston avulla koneketjun korjuutoimintaa tasapainotetaan ja samalla koneiden tuottavuuseroista johtuvaa odotusaikaa kuormatraktorilla voidaan pienentää. Myös kuormatraktorin työvuorojärjestelyihin on asetettu vastaavanlainen toiminto, jos vastaavasti kuormatraktori jää liiaksi hakkuun suoritteesta.



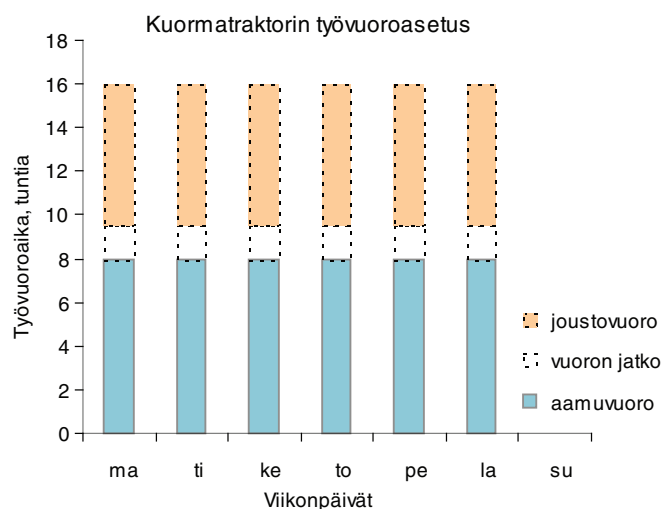
Kuva 7. Hakkuukoneen työvuoroasetus simuloinneissa. Joustovuoro aktivoituu korjuun epätasapainotilanteissa ja vuoron jatko määräytyy leimikon korjuun loppuvaiheessa.

Korjuuketjun toiminnot: Kuormatraktori

Kuormatraktorin kuutiometrikohtainen ajanmenekki määräytyy leimikon korjuulohkon olosuhdetietojen mukaisesti ajanmenekkimallin ohjaamana. Kuormatraktori aloittaa toiminnan simuloinnin alussa hetkellä, kun hakkuukone on hakannut palstalle yhden kuorman verran puutavaraa. Kuormatraktori toteuttaa puutavaran lähikuljetusta silloin, kun palstalla on hakattua puutavaraa valmiina kuljetettavaksi, kun kuormatraktori on työvuorossa ja kun metsäkuljetus ei ole keskeytynyt.

Kun leimikon hakattu puumäärä on kuljetettu tienvarsivarastoon, kuormatraktori siirretään uudelle korjuukohteelle, jonne kyseisen korjuuketjun hakkuukone on jo siirretty. Myös kuormatraktorin siirtoa varten siirtoauto kutsutaan paikalle tilanteessa, jossa puutavaraa on kuljetettavana enää 10 kuutiometriä. Jos normaali työvuoro (8 h) loppuu juuri ennen viimeisen kymmenen kuutiometrin metsäkuljetusta, tulee myös kuormatraktorille lisätyövuoro käyttöön (1,5 tunnin lisäaika) (kuva 8). Tämä lisäaika sisältää siis jäljellä olevan puumäärän metsäkuljetuksen leimikolta tienvarsivarastoon sekä siirron valmistelut.

Kuormatraktorille merkittävin työvuorojousto tulee tilanteessa, jossa hakkuukone on selvästi kuormatraktoria edellä ja korjuun epätasapainotila jatkuu hakkuukohteella. Jos hakkuukohteella on hakattua puutavaraa kuljetettavaksi tien varteen yli 140 m³, kuormatraktoriyöille tulee normaalivuoron jälkeen uusi 8 tunnin iltavuoro (kuva 8). Tämän työvuorojouston avulla metsäkuljetus ei jää jälkeen liikaa hakkuusta, ja siten kuormatraktorin alhaisemmasta tuottavuustasosta johtuvia hakkuukoneen odotuksia voidaan vähentää.



Kuva 8. Kuormatraktorin työvuoroasetus simuloinneissa. Joustovuoro aktivoituu korjuun epätasapainotilanteissa ja vuoron jatko määräytyy leimikon korjuun loppuvaiheessa.

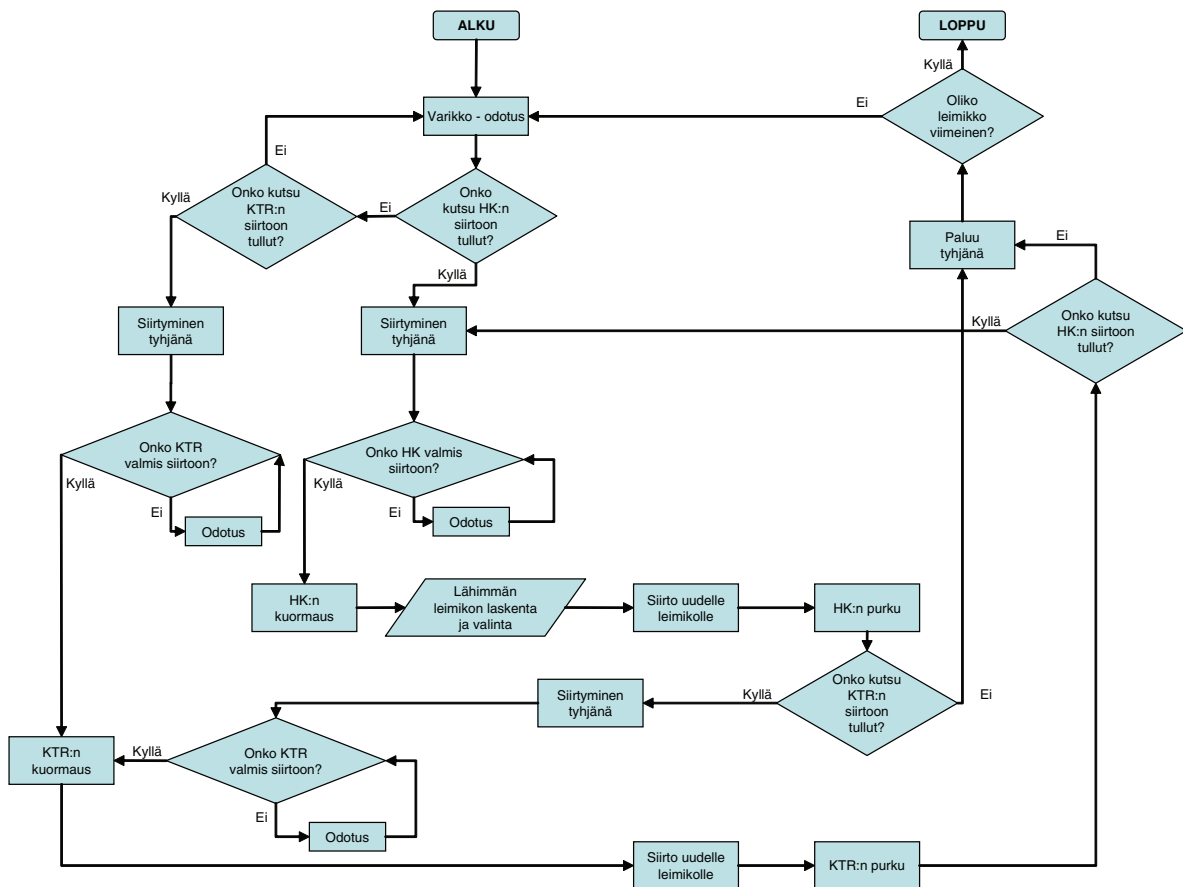
Siirrot: Koneenkuljetusajoneuvo

Koneenkuljetusajoneuvon keskuspaikan ts. varikon sijainti on määritetty koordinaateilla. Varikon sekä leimikoiden sijaintitietojen avulla lasketaan koneenkuljetusauton siirtymiset varikolta leimikolle ja leimikolta takaisin varikolle. Tilanteessa, kun siirtoauto ei ole toteuttamassa konesiirtoa, siirtoauto odottaa varikolla kutsua seuraavaan konesiirtoon. Koneenkuljetusauto siirtyy heti korjatulle hakkuukohteelle, kun kohteelta on tullut kutsu kuljetusautolle. Jos siirtoetäisyys seuraavalle leimikolle on alle kaksi kilometriä, siirtoautoa ei kutsuta paikalle vaan siirto tapahtuu ajaen. Muissa tapauksissa siirtoauto kutsutaan paikalle hieman ennen leimikon hakkuun loppumista. Kuvassa 9 on esitetty koneenkuljetusajoneuvon toimintakaavio simulointimallissa.

Simulointitapauksissa on oletettu, että joko korjuuyrittäjä itse tai erillinen huoltomies toteuttaa konesiirrot. Kunkin korjuuyrittäjätapauksen simuloinneissa korjuukoneiden siirrot voidaan toteuttaa korjuukoneiden työvuorojen aikana. Näin ollen hakkuukoneen tai kuormatraktorin ollessa iltavuorossa ja siirtotarpeen tullessa vuoron päätteeksi koneenkuljetusajoneuvo saapuu leimikolle siirtämään koneen uudelle leimikolle. Tässä toimintatavassa koneenkuljetusauto on aina käytettävissä konesiirtoon, jos kone on valmiina siirrettäväksi ja työvuoroa on vielä jäljellä.

Jos kuljetusauton kutsu tulee tilanteessa, jolloin kuljetusauto on juuri siirtymässä aiemman kutsun lähettäneen koneen sijaintipaikalle tai on siirtämässä toista konetta uudelle kohteelle, kuljetusauto siirtyy heti uudelta korjuukohteelta suoraan seuraavalle korjuukohteelle. Näin ollen kuljetusauto ei kulje seuraavalle kohteelle varikon kautta. Ainoastaan tilanteessa, jossa kuljetusauto on jo matkalla varikolle, kutsun käydessä kuljetusauto käy ensin varikolla. Korjuu epätasapainotilanteessa, jossa kuormatraktori on juuri siirretty jo hakatulle korjuukohteelle, koneenkuljetusajoneuvolla voidaan samalla kertaa siirtää hakkuun jo suorittanut hakkuukone uudelle leimikolle.

Siirtoauton nopeus määritettiin puutavara-autojen kaukokuljetustutkimuksen nopeusmallien avulla (Liite 2). Erillistä tutkimusta metsäkoneenkuljetusajoneuvojen siirtonopeuksista ei ollut saatavilla. Metsäkoneen kuormaus ja purkaminen määritettiin kukin kestämään 20 minuuttia. Metsäkoneen kuormausaika muodostuu pääasiassa koneen ajosta siirtoautoon sekä koneen sidonnasta. Muut metsäkoneiden siirtoja valmistelevat toimenpiteet tulkittiin kuuluviksi konekeskeytyksiin ja siten simulointien konekeskeytysjakaumiin.



Kuva 9. Koneenkuljetusajoneuvon toimintakaavio puunkorjuun simulointimallissa.

2.2.3 Ajanmenekkimallit

Hakkuukoneen ja kuormatraktorin korjuun ajanmenekkimallit laadittiin kattamaan koko korjuutyötä hakkuukohteella. Hakkuukoneen hakkuutyön ajanmenekkimallilla lasketaan yhdelle hakatulle kuutiometrille kuluva aika. Kuormatraktorin lähikuljetustyön ajanmenekille laadittiin vastaavanlainen malli. Sekä hakkuutyön että metsäkuljetuksen ajanmenekkimallit perustuvat päätyövaihekohtaisiin malleihin hakkuukoneelle ja kuormatraktorille, jotka on kerätty/muokattu Kuiton ym. (1994), Sirénin (1998), Rynäsen ja Rönkön (2001), Väkevän ym. (2001), Väätäisen ym. (2005a) ja Nurmisen (2006) tutkimuksista. Päätyövaihekohtaiset ajanmenekkimallit on esitetty yhteisesti muun muassa Väätäisen ym. (2007) tutkimuksessa. Hakkuukoneen sekä kuormatraktorin ajanmenekkimallit perustuvat pääosin puunkorjuun yleiskone-kokoluokkaan. Tässä kuormatraktorille laaditussa yhteismallissa kuorman poikkipinta-alana käytettiin arvoa 4,7 m³. Lisäksi kuorman keskipituus vaihteli 4,0 ja 4,7 metrin sekä pinotiiviyserroin 0,56:n ja 0,71:n välillä hakkuutavan ja puulajin ohjaamana (Väätäinen ym. 2007).

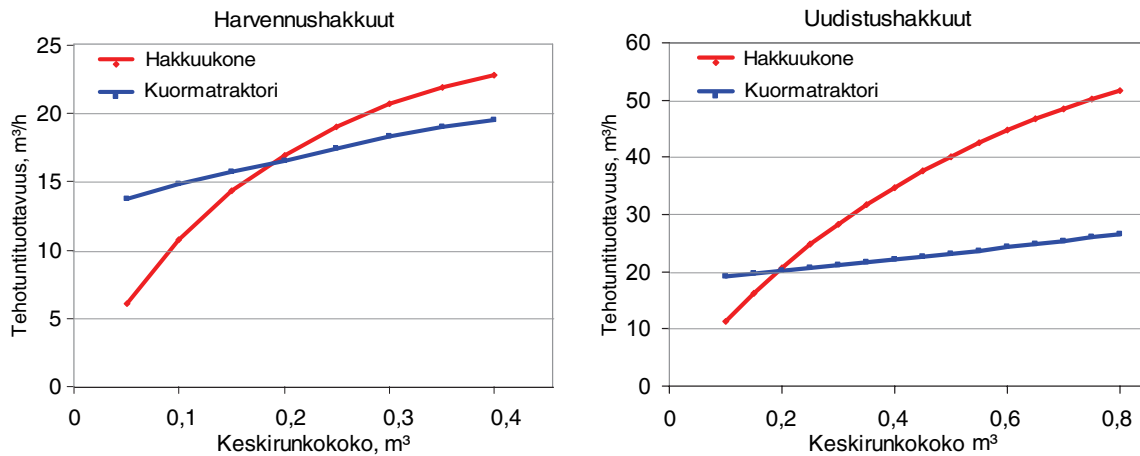
Puunkorjuun simulointimalliin valitut ajanmenekkimallit hakkuukoneelle ja kuormatraktorille selittivät yli 90 % yksittäisten päätyövaihemallien yhteisvaihtelusta (Taulukko 3). Hakkuukoneen ja kuormatraktorin korjuutyölle laadittiin omat ajanmenekkimallit sekä harvennushakkuille että uudistushakkuille. Harvennushakkuut sisälsivät ensiharvennukset sekä muut harvennushakkuut. Uudistushakkuut koostuivat pääosin päätehakkuista, siemenpuuhakkuista sekä ylispuiden poistohakkuista. Edellä esitettyjen puunkorjuun ajanmenekkimallien avulla laaditut tehotuntituottavuuskäyrät hakkuukoneelle ja kuormatraktorille on esitetty leimikon keskirunkokoon funktiona kuvaparissa 10.

Taulukko 3. Korjuutyön ajanmenekkimallien tilastolliset suuret hakkuukoneelle ja kuormatraktorille. Mallit ovat muotoa $y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + \dots + b_n \cdot x_n$.

| Korjuukone ja hakkuutapa | R ² | F-arvo | p | n | Termit* | Kerroin-estimaatti | Sd-error | t-arvo | p |
|------------------------------------|----------------|---------|--------|------|----------------|--------------------|----------|---------|--------|
| Hakkuukone -harvennushakkuu | 98,9 | 39580,8 | <0,001 | 851 | b ₀ | 1,712 | 0,016 | 106,685 | <0,001 |
| | | | | | 1/V | 0,446 | 0,002 | 252,525 | <0,001 |
| | | | | | T | -0,001 | 0,000 | -35,110 | <0,001 |
| Hakkuukone -uudistushakkuut | 90,1 | 5219,3 | <0,001 | 1146 | b ₀ | 0,682 | 0,015 | 45,376 | <0,001 |
| | | | | | 1/V | 0,500 | 0,005 | 97,038 | <0,001 |
| | | | | | T | 0,00042 | 0,000 | -15,367 | <0,001 |
| Kuormatraktori -harvennushakkuu | 90,9 | 2844,7 | <0,001 | 851 | b ₀ | 4,204 | 0,022 | 187,641 | <0,001 |
| | | | | | M | 0,002 | 0,000 | 83,735 | <0,001 |
| | | | | | V | -2,782 | 0,091 | -30,679 | <0,001 |
| | | | | | K | -0,007 | 0,000 | -22,759 | <0,001 |
| -uudistushakkuut | 92,1 | 3321,7 | <0,001 | 1146 | b ₀ | 2,853 | 0,020 | 139,999 | <0,001 |
| | | | | | M | 0,002 | 0,000 | 102,652 | <0,001 |
| | | | | | K | -0,002 | 0,000 | -37,602 | <0,001 |
| | | | | | V | -0,758 | 0,031 | -24,205 | <0,001 |
| | | | | | Lp*V | 0,275 | 0,077 | 3,591 | <0,001 |

* Korjuutyön ajanmenekkimallien termit ja yksiköt:
 b₀ = vakiotermi
 V = rungon keskikoko leimikolla, m³
 1/V = rungon keskikoon käänteisluku, m³

T = hakkuun runkopoistuma, runkoa/ha
 M = metsäkuljetusmatka, m
 K = hehtaarikohtainen kertymä, m³/ha
 Lp*V = Lehtipuuosuuden ja rungon keskikoon yhdysvaikutus, m³



Kuvapari 10. Hakkuukoneen ja kuormatraktorin tehontuottavuudet harvennushakkuu- ja uudistushakkuukohteille rungon keskikoon funktiona (mallien muut muuttuja-arvot vaihtelivat rungon koon suhteen leimikkoaineiston havaintojen määrääminä).

Koska simuloinnin ajanmenekkimallit pohjautuvat puunkorjuun aikatutkimuksista laadituista malleista, tehotuntiajat korjattiin vastaamaan paremmin puunkorjuun todellista tilannetta. Hakkuun tehotuntiaikaa korjattiin kertoimella 1,25 ja vastaavasti metsäkuljetuksen tehotuntiaikaa kertoimella 1,2. Konekeskeytysjakaumista määräytyneistä keskeytysajoista alle 15 minuutin keskeytykset otettiin mukaan koneiden käyttötuntiaikoihin.

2.2.4 Simuloinnin todennäköisyysjakaumat

Teoreettiset keskeytysjakaumat ohjasivat korjuutyön keskeytyksiä korjuukoneilla. Konetyön keskeytysajoille sekä keskeytysten välisille ajoille laadittiin omat todennäköisyysjakaumat niiden pohjautuessa aiemmin esitettyihin konetyönkeskeytysjakaumiin (vrt. Väätäinen ym. 2007). Konetyön keskeytyksiin määritettiin sisältyvän kaikki korjuutyön keskeytykset, jotka eivät sisällyneet koneen teholliseen työaikaan. Keskeytykset koostuvat konerikkojen/-huoltojen lisäksi kahvi-/ruokatauoista sekä muista työmaakeskeytyksistä. Taulukossa 4 on esitetty konetyön keskeytysten todennäköisyysjakaumien mallit sekä niiden parametrit.

Taulukko 4. Hakkuutyön sekä metsäkuljetuksen keskeytysjakaumien keskitunnukset sekä simuloinneissa käytetyt todennäköisyysjakaumat.

| Keskeytysmuoto: | Keskiarvo, tuntia | Keskihajonta, tuntia | Todennäköisyysjakauma |
|--------------------------------------|-------------------|----------------------|-----------------------|
| Hakkuun keskeytykset | 0,33 | 0,60 | Lognormaali |
| Metsäkuljetuksenkeskeytykset | 0,30 | 0,45 | Lognormaali |
| Keskeytysten väli hakkuussa | 1,64 | 1,32 | EkspONENTTI |
| Keskeytysten väli metsäkuljetuksessa | 2,2 | 1,77 | EkspONENTTI |

2.3 Puunkorjuun kustannuslaskenta

2.3.1 Konekustannuslaskenta ja korjuun yksikkökustannukset

Koneiden kustannuslaskenta perustui yleisesti käytettyyn metsäkoneiden kustannuslaskentatapaan, jossa koneen kiinteät kustannukset jaetaan koneen käyttöajalle (vuosille) ja muuttuvat kustannukset lasketaan kustannuksiin suoraan vuotuisen käyttötuntimäärän perusteella (Mäkelä 1984). Liitteessä 3 on esitetty korjuukoneiden kustannuslaskennassa käytettyjä arvoja. Kustannustekijät vastaavat marraskuun 2007 hintatasoa.

Hakkuukoneen ja kuormatraktorin hankintahinnat ovat kolmen eri laitevalmistajan (Komatsu Forest, Ponsse ja John Deere) keskiarvohintoja koneista, jotka vastasivat hakkuukoneilla kevyttä yleiskoneluokkaa ja kuormatraktoreilla yleiskoneluokkaa (Väätäinen ym. 2007). Vuoden 2006 hankintahintataso korjattiin Tilastokeskuksen julkaisemilla Metsäalan konekustannusindekseillä. Hintoihin on lisätty keskimääräisen varustetason (telat, GPS ym.) kustannukset, jotka olivat hakkuukoneelle 12 000 € ja kuormatraktorille 8 000 € (alv 0 %).

Korjuukoneiden kuljettajien palkka määräytyi kustannuslaskennassa tuntiperustaisena. Palkkataso vastasi myös marraskuun 2007 keskipalkkatasoa hakkuukoneen sekä kuormatraktorin kuljettajilla (Liite 3). Toimintolaskennan mukaisesti koneenkuljetusajoneuvoa käyttäneen kuljettajan palkkakustannus sivukuluneen otettiin huomioon korjuun kustannuslaskennassa. Palkkakustannusten laskennassa konesiirron kustannuksiin ohjattiin koneenkuljetusauton käyttötunneista lasketut palkkakulut. Siirtokustannukset koneenkuljetusajoneuvolla laskettiin myös marraskuun 2007 hintatasolla. Kustannustekijät sekä käytetyt arvot on esitetty liitteessä 4.

Kahden vuoden leimikkoaineiston simulointien jälkeen jokaisessa koneyrittäjätapauksessa vuotuinen työaikarakenne ja työvaiheajat tallennettiin. Vuotuisten osatyöaikojen (tehotuntiaika, käyttötuntiaika, työmaa-aika, siirtoaika) avulla laskettiin hakkuukoneelle sekä kuormatraktorille konetyön käyttötuntikustannukset. Korjuun yksikkökustannukset (€/m³) laskettiin konekustannuslaskurilla sekä konekustannustietojen että simulointiajojen korjuukoneiden ajanmenekkitietojen ja korjuumäärien avulla. Näin ollen hakkuukoneille, kuormatraktoreille sekä koneenkuljetusajoneuvolle voitiin osoittaa korjuun yksikkökustannukset.

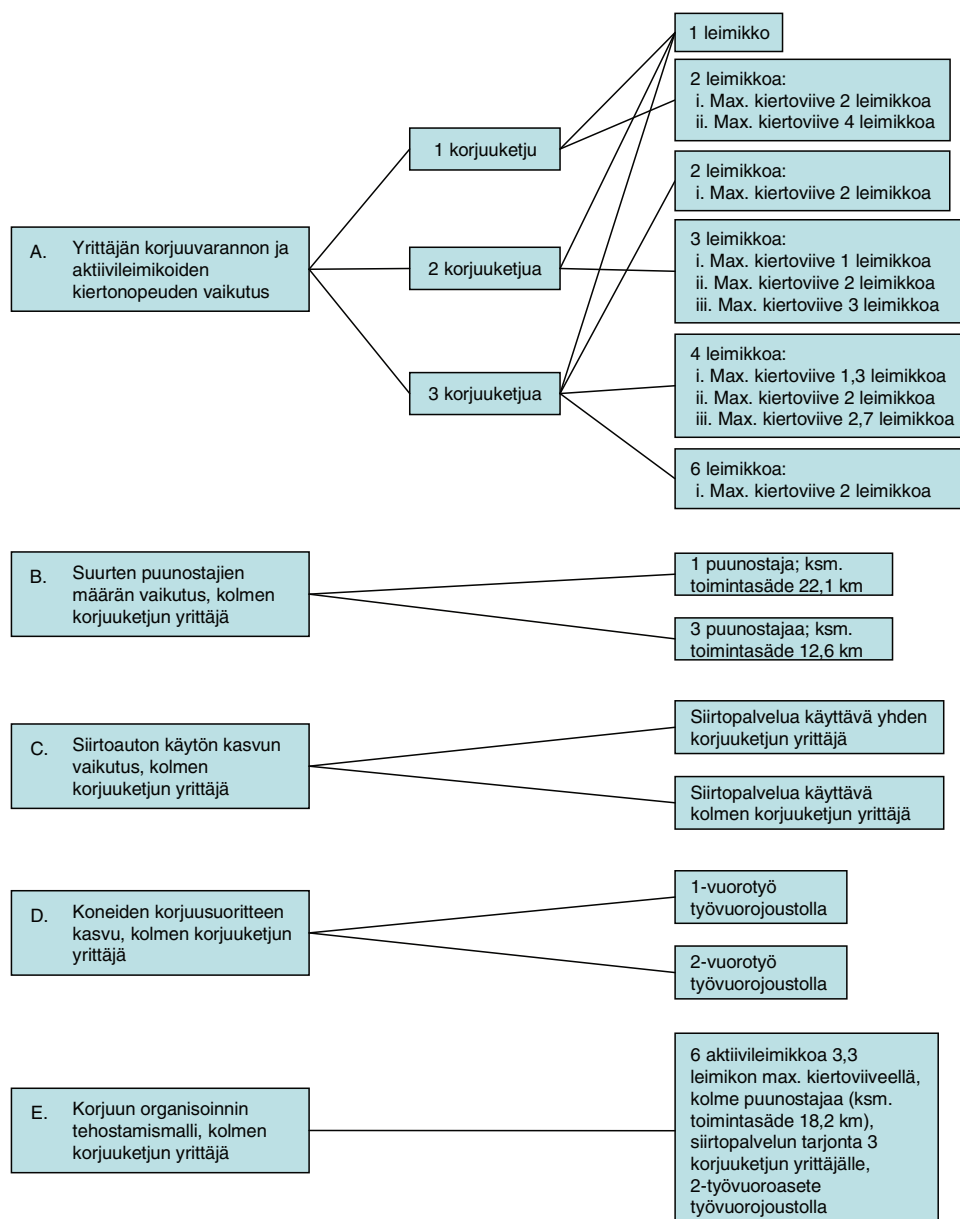
2.4 Simulointiajot ja laskentatarkastelut

Puunkorjuun simulointimallilla tarkasteltiin tutkimuksen viittä perustavoiteasetantaa, ts. eri korjuutilanteiden vaikutusta korjuuyrittäjän korjuukustannuksiin (Kuva 11). Kaikissa simulointitarkasteluissa oli mukana konesiirtojen minimointiasete lukuun ottamatta yhden leimikon leimikkovarantotarkastelua. Toisin sanoen kunkin korjuuketjun seuraavaksi hakkuukohteeksi valittiin aktiivileimikkopankin tarjolla olevista leimikoista lähin, ellei leimikkopankissa ollut leimikkoa, joka määräytyy pakolla hakattavaksi erillisen leimikon kiertoviiveasetuksen mukaisesti.

Jokaiselle simuloidulle korjuutilannevaihtoehdolle esitettiin puukorjuun keskimääräiset yksikkökustannukset, jotka olivat viiden simulointiajon keskiarvoja. Kukin simulointiajo vastasi kahden vuoden korjuusuoritetta. Lisäksi korjuukoneiden sekä koneenkuljetusajoneuvon käyttöasteet sekä tuntikustannukset esitettiin. Konesiirtojen tunnuksista tallentuivat muun muassa keskimääräinen siirtomatka leimikolta leimikolle, siirtomatka varikolta leimikolle sekä keskimääräiset ajokerta-ajat siirroille.

2.4.1 Leimikkovaranto ja leimikoiden kiertonopeus

Korjuutilanteessa A tarkasteltiin korjuuyrittäjän leimikkovarannon (yrittäjällä etukäteen tiedossa olevien korjuukohteiden) sekä leimikoiden kiertoviiveen vaikutusta korjuukustannuksiin. Korjuutilannevaihtoehtoja tarkasteltiin jokaisen kolmen korjuuyrittäjän osalta erikokoisilla leimikkoasetteilla. Lisäksi aktiivileimikoiden maksimaalinen kiertoviiveasetus vaikutti kunkin aktiivileimikon valintanopeuteen korjuuta varten. Esimerkiksi kolmen korjuuketjun, kuuden aktiivileimikon ja 4 leimikon maksimaalisen kiertoviiveen tapauksessa aktiivileimikkopankkiin juuri tullut leimikko voi viipyä enintään 12 korjuukiertoa, mikä tekee yhtä korjuuketjua kohden keskimäärin 4 kierrosta. Kuvassa 11 esitetyt leimikoiden maksimaaliset korjuukiertonopeudet esittävät siis yhtä korjuuketjua kohden lasketun leimikon maksimikiertoviiveen.



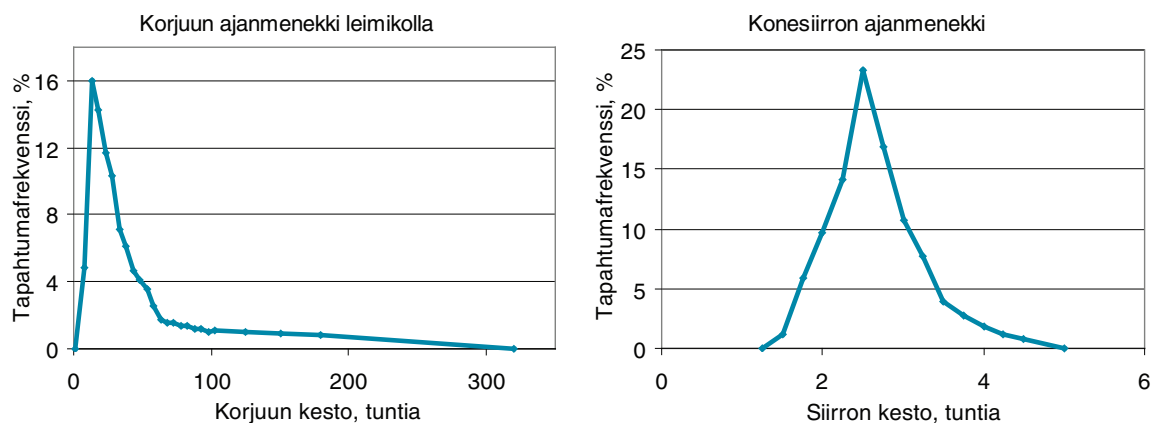
Kuva 11. Puunkorjuun simulointimallilla tutkitut korjuutilannevaihtoehdot. Kaikissa simulointitarkasteluissa on mukana konesiirtojen minimointiasete lukuun ottamatta yhden leimikon leimikkovarantotarkastelua.

2.4.2 Yrittäjän toimintasäde

Korjuutilanteessa B selvitettiin puunostajamäärän vaikutus korjuun kustannuksiin kolmen korjuuketjun yrittäjätapauksessa. Kolmen puunostajan simulointiskenaariolle koostettiin uusi leimikko-pankki, joka vastasi korjuumäärältään, hakkuutaparakenteeltaan sekä muilta korjuuominaisuuksiltaan riittävän hyvin alkuperäistä leimikkorakennetta kuukausitasolla. Merkittävimpänä erona perustilanteeseen oli se, että leimikkokohteet kolmen puunostajan tilanteessa olivat merkittävästi alkuperäistä vaihtoehtoa lähempänä. Alkuperäisessä yhden puunostajan tilanteessa keskimääräinen linnuntie-etäisyys varikolta leimikolle oli 22,1 kilometriä, kun taas vaihtoehdoissa kolmen puunostajan tilanteessa se oli 12,6 kilometriä.

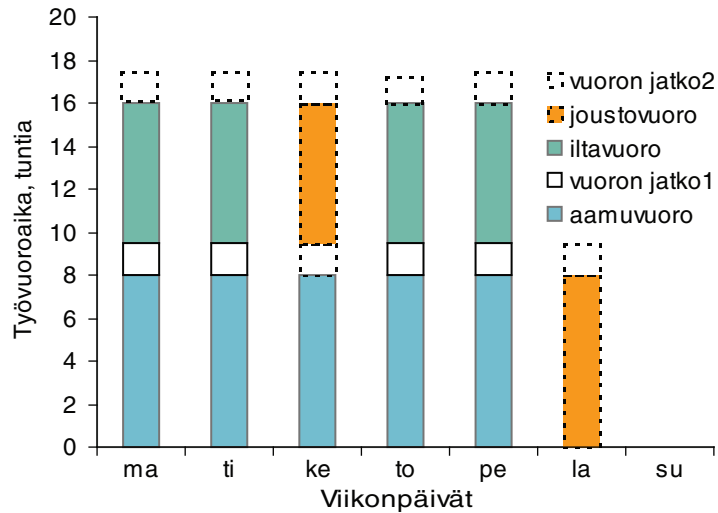
2.4.3 Metsäkoneiden siirtopalvelu

Koneenkuljetusajoneuvon käytön lisäyksen vaikutusta korjuuyrittäjän korjuukustannuksiin tarkasteltiin korjuutilanteessa C, jossa kolme korjuuketjua omistava korjuuyrittäjä tarjosi siirtopalvelua vaihtoehtoisesti joko yhden tai kolmen korjuuketjun koneyrittäjälle. Simulointimalleissa vieraan korjuukaluston siirtotarpeen määräytyminen ja siirtojen kesto toteutettiin teoreettisilla ajanmenekijakaumilla (Kuvapari 12). Ajanmenekijakaumien laadintaa varten kerättiin laaja havaintomäärä puunkorjuumallin simuloinneista kolmen korjuuketjun yrittäjän tilanteesta. Kerätyn aineiston perusteella laadittiin teoreettiset ajanmenekijakaumat leimikon korjuun kestolle sekä konesiirtojen ajanmenekille. Simulointitarkastelussa korjuuyrittäjällä oli käytössä yksi koneenkuljetusajoneuvo.



2.4.4 Koneen vuotuinen käyttö

Korjuutilanteessa D simuloitiin koneiden vuotuisen käyttömäärän muutoksen vaikutusta korjuukustannuksiin, kun korjuuyrittäjällä oli käytössä kolme korjuuketjua. Vaihtoehtona perustilannetta edustavalle yhden työvuoron järjestelmälle oli kahden työvuoron järjestelmä (kuva 13). Molempiin työvuorojärjestelmiin sisällytettiin myös työvuorojoustot, joilla pyrittiin tasapainottamaan korjuuketjujen toimintaa.



Kuva 13. Työvuoroasete simuloinnin kahden työvuoron järjestelmässä sekä hakkuukoneelle että kuormatraktorille.

Hakkuukoneen ollessa työvuoron päättyessä tilanteessa, jossa leimikkoa on jäljellä vähintään 40 m³ ja kuormatraktori on aivan hakkuukoneen perässä sekä hakkuukoneen tuottavuus on kuormatraktorin tuottavuutta pienempi, hakkuukoneelle asetettiin joko 1,5 tunnin työvuoron jatko tai keskiviikolle ja lauantaille 8 tunnin joustovuoro. Keskiviikon joustovuoro vastasi 8 tunnin iltavuoroa ja lauantain joustovuoro 8 tunnin aamu vuoroa. Vastaavasti jos kuormatraktori on jäänyt hakkuukoneen suorituksesta jälkeen yli 140 kuutiometrin verran työvuoron päättyessä, kuormatraktorille määräytyi keskiviikolle ja lauantaille 8 tunnin joustovuoro. Lisäksi tilanteissa, jossa leimikkoa on hakkaamatta tai puutavaraa ajamatta 10 m³ ja työvuoroa on jäljellä alle 0,5 tuntia, lisäaikaa määräytyy kyseessä olevalle koneelle 1,5 tuntia normaalin työvuoron jatkoksi. Annetussa lisäajassa hakkuu tai metsäkuljetus saadaan lopetettua ja metsäkone saadaan järjestelyä siirtoa varten.

2.4.5 Puunkorjuun tehostamismalli

Puunkorjuun tehostamismalliin on yhdistetty edellä mainittuja korjuun tehostamiskeinoja. Tehostamismallissa näitä ovat kuuden leimikon korjuukohdevaranto 2,7 leimikon kiertoviivemaksimilla, määritelty toimintasäde (korjuuta kolmelle puunostajalle), siirtopalvelun tarjoaminen toiselle kolmen korjuuketjun yrittäjälle sekä suuri vuotuinen korjuumäärä perustuen kahden työvuoron käyttöön.

3 Tulokset

3.1 Leimikkovaranto ja leimikoiden kiertoviive

3.1.1 Yhden korjuuketjun yrittäjä

Yhden korjuuketjun tapauksessa yrittäjän leimikkovarannon kasvaessa yhdestä kahteen leimikkoon korjuutoiminnassa ei todettu merkittäviä muutoksia (Taulukko 5). Hakkuukoneen käyttöaste sekä vuotuinen korjuumäärä kasvoi hieman leimikkovarannon kasvaessa. Siirtojen odotuksen osuus hakkuun kokonaistyöajasta oli 0,15–0,23 % ja metsäkuljetuksen työajasta 1,46–1,52 %. Koneiden siirtoaika (kuormaus, purku ja koneen siirto) koneenkuljetusajoneuvolla oli 2,6–2,8 % hakkuun ja metsäkuljetuksen kokonaistyöajoista.

Taulukko 5. Korjuukoneiden keskiarvotunnukset yhden korjuuketjun yrittäjän simuloineista leimikkovarannon ja leimikoiden kiertoviiveen vaihdellussa. (HK = hakkuukone, KTR = kuormatraktori, KK = korjuuketju, KA = käyttöaste)

| | 1 leimikko | | 2 leim: max. KV 2 ¹ | | 2 leim: max. KV 4 ¹ | |
|---------------------------------------|------------|-------|--------------------------------|-------|--------------------------------|-------|
| | HK | KTR | HK | KTR | HK | KTR |
| Käyttötuntiaika, h/vuosi/KK | 2284 | 2232 | 2283 | 2230 | 2284 | 2231 |
| KA työvuoroajalle, % | 80,87 | 82,20 | 80,87 | 82,05 | 81,36 | 82,39 |
| KA kalenteriajalle, % | 26,08 | 25,47 | 26,07 | 25,46 | 26,07 | 25,47 |
| Siirrot ja siirron odotus, % | 2,90 | 4,25 | 2,79 | 4,23 | 2,81 | 4,20 |
| Korjuumäärä, m ³ /vuosi/KK | 35 430 | | 35 415 | | 35 423 | |
| Tuntikustannus, €/h | 82,9 | 59,4 | 82,8 | 59,4 | 82,7 | 59,3 |
| Keskittuottavuus, m ³ /h | 15,52 | 15,87 | 15,52 | 15,87 | 15,52 | 15,87 |
| Yksikkökustannus, €/m ³ | 5,34 | 3,74 | 5,33 | 3,74 | 5,33 | 3,74 |

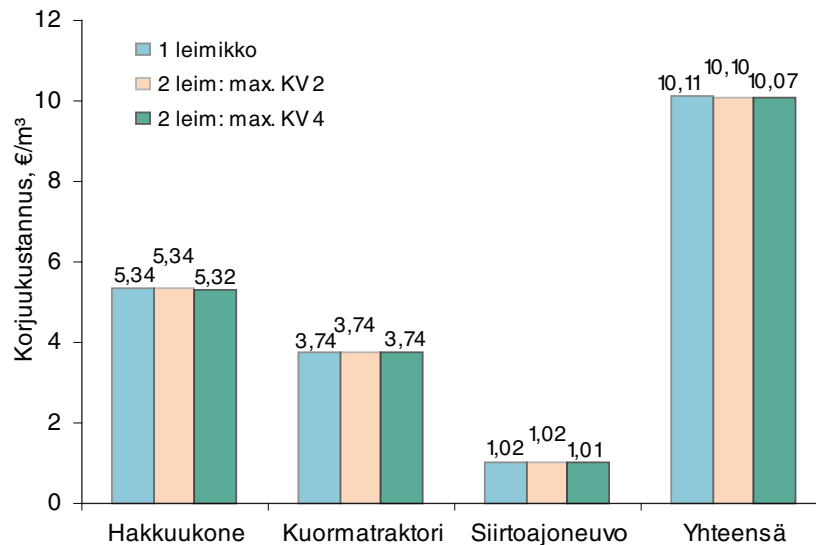
¹ max. KV = Korjuuyrittäjän aktiivileimikkopankissa olevien leimikoiden maksimikiertoviive, jolloin viimeistään leimikko tulee korjuuseen

Yhden korjuuketjun yrityksessä oman koneenkuljetusajoneuvon käyttö jäi hyvin vähäiseksi. Korjuukoneiden siirtoihin, siirron kaikki eri vaiheet mukaan lukien (siirtyminen varikolta, kuormaus, kuormattuna ajo, purku ja paluu varikolle), kului vuodessa aikaa 309–316 tuntia (Taulukko 6). Kahden leimikon korjuuvarannolla ja konesiirtoja minimoiden leimikoiden väliset konesiirrot lyhenivät vain hieman. Yhden korjuuyrittäjän tapauksessa aktiivileimikoiden kiertoviiveellä ei havaittu olevan merkittävää vaikutusta yksikkökustannuksiin (Kuva 14).

Taulukko 6. Koneenkuljetusajoneuvon keskiarvotunnukset yhden korjuuketjun yrittäjän simuloineista leimikkovarannon ja leimikoiden kiertoviiveen vaihdellussa. (KA = käyttöaste)

| | 1 leimikko | 2 leim: max. KV 2 ¹ | 2 leim: max. KV 4 ¹ |
|------------------------------------|-----------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| | KA kalenteriajalle, % | 3,60 | 3,59 |
| Käyttötuntiaika, h/vuosi | 316 | 315 | 309 |
| Lavettisiirtojen määrä, kpl/vuosi | 129 | 131,4 | 128,4 |
| Ajosiirtojen määrä, kpl/vuosi | 7,0 | 5,4 | 7,0 |
| Koneen siirtomatka, km/siirto | 21,78 | 19,59 | 19,19 |
| Konesiirron ajomatka, km | 79,24 | 75,47 | 76,52 |
| Ajokerran kesto, h | 2,45 | 2,40 | 2,41 |
| Tuntikustannus, €/h | 104,5 | 103,9 | 105,8 |
| Yksikkökustannus, €/m ³ | 1,02 | 1,02 | 1,01 |

¹ max. KV = Korjuuyrittäjän aktiivileimikkopankissa olevien leimikoiden maksimikiertoviive, jolloin viimeistään leimikko tulee korjuuseen



Kuva 14. Yhden korjuuketjun koneyrittäjän korjuukustannukset leimikkovarannon ja leimikoiden kiertoviiveen vaihdellessa. (max. KV = leimikoiden kiertoviivemaksimi leimikkovarannossa leimikoina)

3.1.2 Kahden korjuuketjun yrittäjä

Kahden korjuuketjun koneyrittäjän leimikkoaineiston simuloinnissa vuotuiset konetunnit olivat vähäisiä (hakkuukone: 1564–1570 h, kuormatraktori: 1866–1868 h), johtuen vähäisestä vuotuisesta korjuumäärästä ja keskimääräistä suuremmasta runkojäyrydestä (ks. taulukko 2 sivulla 12). Koneyrittäjätapauksessa havaitaan jo selvemmin leimikkovarannon ja leimikoiden kiertoviiveen vaikutus korjuutoimintaan (Taulukko 7). Siirtoaikojen sekä siirtojen odotusaikojen väheneminen paransi koneiden käyttöasteita lisäten työmaallaolotunteja. Siirtojen odotuksen osuus hakkuun kokonaistyöajasta oli 0,46–0,58 % ja metsäkuljetuksen kokonaistyöajasta 1,28–1,66 %. Koneiden siirtoaika koneenkuljetusajoneuvolla oli 3,57–4,21 % hakkuun kokonaistyöajasta ja 3,15–3,7 % metsäkuljetuksen kokonaistyöajasta. Konesiirtojen sekä siirtojen odotusten osuudet pienenevät simulointiskenaarioissa, joissa koneiden siirtomatkat putosivat alkuperäisestä (taulukko 7).

Verrattaessa yhden leimikon korjuuvarantoa kolmen leimikon varantoon kiertoviiveen ollessa kolme leimikkoa, käyttöasteet kasvoivat hakkuukoneella 0,7 prosenttiyksikköä ja kuormatraktorilla noin 1 %-yksikön. Lisäksi leimikkovarannon leimikoiden kiertoviiveen kasvu yhdestä kolmeen paransi korjuukoneiden korjuun tunnuslukuja (taulukko 7).

Koneenkuljetusajoneuvon käyttöön leimikkovarannolla ja siirtojen minimoinnilla oli selvä vaikutus. Kolmen leimikon korjuuvarannon tilanteessa leimikkokiertoiviiveen ollessa kolme leimikoiden välinen siirtomatka pieneni noin 11 kilometrillä verrattaessa yhden leimikon korjuuvarantoon (Taulukko 8). Vastaavassa vertailussa koneenkuljetusauton kokonaissiirtoaika sekä siirron yksikkökustannus putosivat lähes 12 % ja 6,2 %.

Leimikkovarannon sekä leimikoiden kiertoviiveen vaikutukset erottuvat yhden korjuuketjun koneyrittäjä tilanteeseen verrattuna jo selvemmin kahden korjuuketjun yrittäjätapauksessa. Leimikon maksimaalisesta kiertoviiveestä riippuen korjuuvarannon kasvaessa yhdestä leimikosta kolmeen korjuun yksikkökustannukset putoavat 0,1–0,9 % (0,01–0,08 €/m³) (Kuva 15). Myös leimikon kiertoviiveen kasvulla oli korjuukustannuksia vähentävä vaikutus yrittäjän koko korjuukalustoon.

Taulukko 7 Korjuukoneiden keskiarvotunnukset kahden korjuuketjun yrittäjän simuloinneista leimikkovarannon ja leimikoiden kiertoviiveen vaihdellessa. (HK = hakkuukone, KTR = kuormatraktori, KK = korjuuketju, KA = käyttöaste)

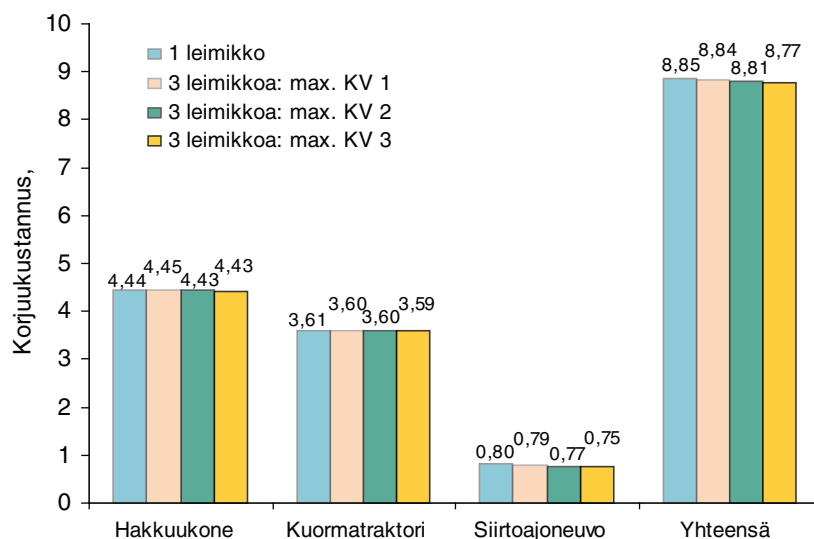
| | 1 leimikko | | 3 leimikkoa: max. KV 1 ¹ | | 3 leimikkoa: max. KV 2 ¹ | | 3 leimikkoa: max. KV 3 ¹ | |
|---------------------------------------|------------|-------|--|-------|--|-------|--|-------|
| | HK | KTR | HK | KTR | HK | KTR | HK | KTR |
| Käyttötuntiaika, h/vuosi/KK | 1570 | 1868 | 1568 | 1867 | 1567 | 1866 | 1564 | 1867 |
| KA työvuoroajalle, % | 78,68 | 82,48 | 78,92 | 83,07 | 78,98 | 82,94 | 79,40 | 83,45 |
| KA kalenteriajalle, % | 17,92 | 21,33 | 17,90 | 21,31 | 17,89 | 21,30 | 17,85 | 21,31 |
| Siirrot ja siirron odotus, % | 4,76 | 5,36 | 4,46 | 4,91 | 4,36 | 4,95 | 4,15 | 4,43 |
| Korjuumäärä, m ³ /vuosi/KK | 31 324 | | 31 311 | | 31 290 | | 31 312 | |
| Tuntikustannus, €/h | 88,6 | 60,4 | 88,6 | 60,3 | 88,4 | 60,3 | 88,4 | 60,2 |
| Keskituottavuus, m ³ /h | 19,96 | 16,75 | 19,90 | 16,76 | 19,94 | 16,76 | 19,98 | 16,77 |
| Yksikkökustannus, €/m ³ | 4,44 | 3,61 | 4,45 | 3,60 | 4,43 | 3,60 | 4,43 | 3,59 |

¹ max. KV = Korjuuyrittäjän aktiivileimikkopankissa olevien leimikoiden maksimikiertoviive, jolloin viimeistään leimikko tulee korjuuseen

Taulukko 8. Koneenkuljetusajoneuvon keskiarvotunnukset kahden korjuuketjun yrittäjän simuloinneista leimikkovarannon ja leimikoiden kiertoviiveen vaihdellessa. (KA = käyttöaste)

| | 1 leimikko | | 3 leimikkoa: max. KV 1 ¹ | | 3 leimikkoa: max. KV 2 ¹ | | 3 leimikkoa: max. KV 3 ¹ | |
|------------------------------------|-----------------------|------|--|------|--|------|--|------|
| | KA kalenteriajalle, % | 7,30 | | 7,12 | | 6,87 | | 6,62 |
| Käyttötuntiaika, h/vuosi | 639 | | 623 | | 602 | | 580 | |
| Lavettisiirtojen määrä, kpl/vuosi | 125,55 | | 124,85 | | 123,9 | | 123,05 | |
| Ajosiirtojen määrä, kpl/vuosi | 0,50 | | 1,20 | | 1,90 | | 3,10 | |
| Koneen siirtomatka, km/siirto | 31,17 | | 27,27 | | 24,24 | | 20,06 | |
| Konesiirron ajomatka, km | 87,95 | | 84,92 | | 81,12 | | 77,28 | |
| Ajokerran kesto, h | 2,55 | | 2,50 | | 2,43 | | 2,36 | |
| Tuntikustannus, €/h | 71,66 | | 72,20 | | 73,05 | | 74,04 | |
| Yksikkökustannus, €/m ³ | 0,80 | | 0,79 | | 0,77 | | 0,75 | |

¹ max. KV = Korjuuyrittäjän aktiivileimikkopankissa olevien leimikoiden maksimikiertoviive, jolloin viimeistään leimikko tulee korjuuseen



Kuva 15. Kahden korjuuketjun koneyrittäjän simuloitien korjuukustannukset leimikkovarannon ja leimikoiden kiertoviiveen vaihdellessa. (max. KV = leimikoiden kiertoviivemaksimi leimikkovarannossa leimikoina)

3.1.3 Kolmen korjuuketjun yrittäjä

Kolmen korjuuketjun yrittäjän tilanteessa tarkasteltiin erillisesti korjuuvarannon leimikon kiertoviiveen ja leimikkomäärän vaikutusta korjuukustannuksiin. Kuten kahden korjuuketjun koneyrittäjän tilanteessa, niin myös tässäkin korjuukohdevarannon leimikoiden kiertoviiveellä on vaikutus korjuuketjun ja siirtoajoneuvon yksikkökustannuksiin (taulukot 9 ja 10). Siirtojen odotuksen osuus hakkuun kokonaistyöajasta oli 0,64–0,75 % ja metsäkuljetuksen kokonaistyöajasta 2,28–2,52 %. Koneiden siirtoaika koneenkuljetusajoneuvolla oli 2,95–3,34 % hakkuun kokonaistyöajasta ja 2,96–3,25 % metsäkuljetuksen kokonaistyöajasta. Konesiirtojen sekä siirtojen odotusten osuudet pienenevät simulointiskenaarioissa, joissa koneiden siirtomatkat putosivat alkuperäisestä (taulukko 9).

Riittävän korjuukohdevarannon ja leimikoiden riittävän kiertoviiveen avulla leimikoita voidaan paremmin ketjuttaa kullekin korjuuketjulle konesiirtoja ja siirtomatkoja minimoiden. Koneiden leimikoiden välinen siirtomatka väheni yhden leimikon korjuukohdevarantilanteesta yli 10 kilometrillä neljän leimikon korjuukohdevarantoon (varannossa 2,7 leimikon kiertoviivemaksimi). Samalla leimikoiden väliset koneella-ajosiirrot lisääntyivät hieman (taulukko 10). Vastaavassa vertailussa siirtoajoneuvon kustannus korjatulle puukuutiometrille pieneni 8 %:lla. Korjuutoiminnan kustannussäästöistä yli puolet muodostuu siirtoajoneuvon kustannussäästöistä (Kuva 16). Kokonaiskustannussäästö yhden leimikon ja neljän leimikon välisen korjuukohdevarannon välillä oli enimmillään kuitenkin vain 0,6 % (0,06 €/m³).

Taulukko 9. Korjuukoneiden keskiarvotunnukset kolmen korjuuketjun yrittäjän simuloinneista leimikkovarannon ja leimikoiden kiertoviiveen vaihdellessa. (HK = hakkuukone, KTR = kuormatraktori, KK = korjuuketju, KA = käyttöaste)

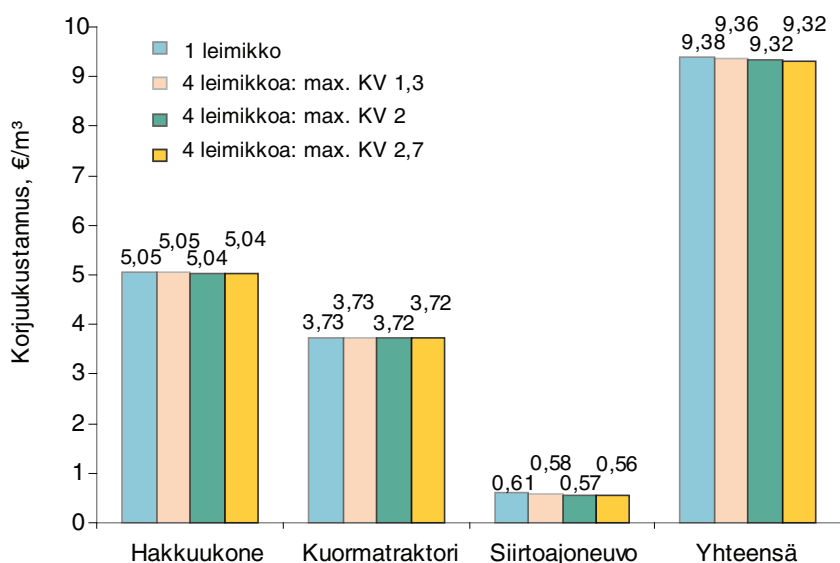
| | 1 leimikko | | 4 leimikkoa: max. KV 1,3 ¹ | | 4 leimikkoa: max. KV 2 ¹ | | 4 leimikkoa: max. KV 2,7 ¹ | |
|------------------------------------|------------|-------|--|-------|--|-------|--|-------|
| | HK | KTR | HK | KTR | HK | KTR | HK | KTR |
| Käyttötuntiaika, h/vuosi/KK | 2429 | 2484 | 2433 | 2482 | 2434 | 2485 | 2436 | 2485 |
| KA työvuoroajalle, % | 79,92 | 79,44 | 79,98 | 79,46 | 80,24 | 79,69 | 80,42 | 79,79 |
| KA, kalenteriajalle, % | 26,85 | 28,36 | 27,77 | 28,34 | 27,78 | 28,37 | 27,81 | 28,37 |
| Siirrot ja siirron odotus, % | 4,09 | 5,78 | 3,84 | 5,56 | 3,60 | 5,23 | 3,57 | 5,20 |
| | 39 799 | | 39 761 | | 39 790 | | 39 794 | |
| Tuntikustannus, €/h | 82,6 | 59,7 | 82,6 | 59,7 | 82,4 | 59,5 | 82,4 | 59,5 |
| Keskituottavuus, m ³ /h | 16,36 | 16,01 | 16,35 | 16,01 | 16,35 | 16,01 | 16,34 | 16,01 |
| Yksikkökustannus, €/m ³ | 5,05 | 3,73 | 5,05 | 3,73 | 5,04 | 3,72 | 5,04 | 3,72 |

¹ max. KV = Korjuuyrittäjän aktiivileimikkopankissa olevien leimikoiden maksimikiertoviive (korjuuketjua kohden), jolloin viimeistään leimikko tulee korjuuseen

Taulukko 10. Koneenkuljetusajoneuvon keskiarvotunnukset kolmen korjuuketjun yrittäjän simuloinneista leimikkovarannon ja leimikoiden kiertoviivemaksimin vaihdellessa. (KA = käyttöaste)

| | 1 leimikko | 4 leimikkoa: max. KV 1,3 ¹ | 4 leimikkoa: max. KV 2 ¹ | 4 leimikkoa: max. KV 2,7 ¹ |
|------------------------------------|-----------------------|--|--|--|
| | KA kalenteriajalle, % | 13,30 | 12,57 | 12,20 |
| Käyttötuntiaika, h/vuosi | 1165 | 1101 | 1069 | 1044 |
| Lavettisiirtojen määrä, kpl/vuosi | 147,5 | 144,3 | 143,5 | 142,5 |
| Ajosiirtojen määrä, kpl/vuosi | 1,73 | 4,73 | 5,67 | 6,47 |
| Koneen siirtomatka, km/siirto | 33,78 | 29,46 | 26,01 | 23,48 |
| Konesiirron ajomatka, km | 91,06 | 86,30 | 81,78 | 79,84 |
| Ajokerran kesto, h | 2,63 | 2,54 | 2,48 | 2,44 |
| Tuntikustannus, €/h | 56,67 | 57,35 | 57,38 | 57,70 |
| Yksikkökustannus, €/m ³ | 0,61 | 0,58 | 0,57 | 0,56 |

¹ max. KV = Korjuuyrittäjän aktiivileimikkopankissa olevien leimikoiden maksimikiertoviive, jolloin viimeistään leimikko tulee korjuuseen



Kuva 16. Kolmen korjuuketjun koneyrittäjän simulointien korjuukustannukset leimikkovarannon ja leimikoiden kiertoviiveen vaihdelta. (max. KV = leimikoiden kiertoviivemaksimi leimikkovarannossa leimikoina)

Seuraava tarkastelu avaa korjuukohdevarannon ja leimikkokiertoiviiveen yhteisvaikutusta korjuutoimintaan. Korjuuyrittäjän korjuukohdevarannon kasvu ei paranna korjuun kannattavuutta, ellei leimikkovarannon kasvaessa leimikoiden kiertoviivemaksimi myös kasva. Kahden leimikon kiertoviivemaksimilla korjuukohdevarannon ollessa kuusi leimikkoa korjuun kustannukset alkavat nousta verrattaessa vastaavaan neljän leimikon varannon tilanteeseen (taulukot 11, 12 ja kuva 17). Näin ollen lyhyellä leimikkokierrolla leimikkovarannon ollessa suuri kohteet ”vanhenevat” nopeammin ja siten konesiirtojen minimointiin perustuva kohteiden ketjuttaminen korjuuketjuille ei toimi tehokkaasti.

Taulukko 11. Korjuukoneiden keskiarvotunnukset kolmen korjuuketjun yrittäjän simuloinneista leimikkovarannon vaihdelta, kun leimikoiden maksimaalinen kiertoviive on 2 leimikkoa per korjuuketju. (HK = hakkuukone, KTR = kuormatraktori, KK = korjuuketju, KA = käyttöaste)

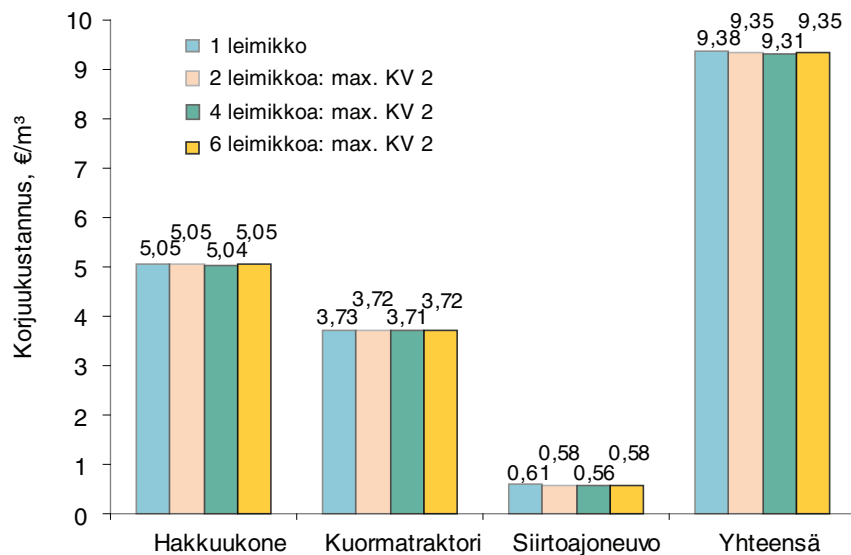
| | 1 leimikko | | 2 leimikkoa: max. KV 2 ¹ | | 4 leimikkoa: max. KV 2 ¹ | | 6 leimikkoa: max. KV 2 ¹ | |
|------------------------------|------------|-------|--|-------|--|-------|--|-------|
| | HK | KTR | HK | KTR | HK | KTR | HK | KTR |
| Käyttötuntiaika, h/vuosi/KK | 2352 | 2484 | 2435 | 2485 | 2434 | 2485 | 2436 | 2485 |
| KA työvuoroajalle, % | 79,92 | 79,44 | 79,97 | 79,74 | 80,24 | 79,69 | 80,16 | 79,69 |
| KA kalenteriajalle, % | 26,85 | 28,36 | 27,80 | 28,37 | 27,78 | 28,37 | 27,81 | 28,37 |
| Siirrot ja siirron odotus, % | 4,09 | 5,78 | 3,67 | 5,24 | 3,60 | 5,23 | 3,82 | 5,57 |
| Korjuumäärä, m³/vuosi/KK | 39 799 | | 39 796 | | 39 790 | | 39 803 | |
| Tuntikustannus, €/h | 82,6 | 59,7 | 82,5 | 59,6 | 82,4 | 59,5 | 82,5 | 59,6 |
| Keskituottavuus, m³/h | 16,36 | 16,01 | 16,35 | 16,01 | 16,35 | 16,01 | 16,35 | 16,01 |
| Yksikkökustannus, €/m³ | 5,05 | 3,73 | 5,05 | 3,72 | 5,04 | 3,72 | 5,05 | 3,72 |

¹ max. KV = Korjuuyrittäjän aktiivileimikkopankissa olevien leimikoiden maksimikiertoiviive (korjuuketjua kohden), jolloin viimeistään leimikko tulee korjuuseen

Taulukko 12. Koneenkuljetusajoneuvon keskiarvotunnukset kolmen korjuuketjun yrittäjän simuloinneista leimikkovarannon vaihdellessa, kun leimikoiden maksimaalinen kiertoviive on 2 leimikkoa per korjuuketju. (KA = käyttöaste)

| | 1 leimikko | 2 leimikkoa: max. KV 2 ¹ | 4 leimikkoa: max. KV 2 ¹ | 6 leimikkoa: max. KV 2 ¹ |
|------------------------------------|------------|--|--|--|
| KA kalenteriajalle, % | 13,30 | 12,50 | 12,25 | 12,67 |
| Käyttötuntiaika, h/vuosi | 1165 | 1095 | 1073 | 1110 |
| Lavettisiirtojen määrä, kpl/vuosi | 147,5 | 145,8 | 144,1 | 144,3 |
| Ajosiirtojen määrä, kpl/vuosi | 1,73 | 3,53 | 5,67 | 4,73 |
| Koneen siirtomatka, km/siirto | 33,78 | 27,40 | 26,00 | 29,83 |
| Konesiirron ajomatka, km | 91,06 | 84,02 | 81,73 | 86,66 |
| Ajokerran kesto, h | 2,63 | 2,50 | 2,48 | 2,57 |
| Tuntikustannus, €/h | 56,67 | 57,24 | 57,29 | 57,11 |
| Yksikkökustannus, €/m ³ | 0,61 | 0,58 | 0,56 | 0,58 |

¹ max. KV = Korjuuyrittäjän aktiivileimikkopankissa olevien leimikoiden maksimikiertoviive, jolloin viimeistään leimikko tulee korjuuseen



Kuva 17. Kolmen korjuuketjun koneyrittäjän simuloitien korjuukustannukset leimikkovarannon vaihdellessa, kun samalla leimikoiden maksimaalinen kiertoviive on 2 leimikkoa per korjuuketju. (max. KV = leimikoiden kiertoiviemaksimi leimikkovarannossa leimikoina)

3.2 Yrittäjän toimintasäde

Teoreettisessa tilanteessa kolmen korjuuketjun koneyrittäjä korjasi puuta kolmelle suurelle puunostajalle siten, että kukin hakkuukone pystyi siirtymään seuraavalle lähimmälle leimikolle ilman puunostajarajoitetta. Teoreettinen leimikkoaineisto oli koottu korjuuyrittäjän keskuspaikkaa lähinnä olevista leimikoista kolmen puunostajan leimikkotietokannoista. Leimikkorakenne korjuuolosuhteineen vastasi hyvin yrittäjän alkuperäistä leimikkoaineistoa (ks. sivu 12, taulukko 2). Siirron odotusten ja siirtoaikojen pieneneminen paransivat korjuukoneiden käyttöasteita noin 0,5–1,5 %:lla ja samalla myös koneiden tuntikustannukset laskivat hieman (taulukko 13). Vaikutus korjuun yksikkökustannuksiin hakkuukoneella oli -1,8 % ja kuormatraktorilla -3,5 %.

Taulukko 13. Korjuukoneiden keskiarvotunnukset kolmen korjuuketjun yrittäjän simuloinneista korjuun toimintasäteen pudotessa 22,05 km:stä 12,57 km:iin. (HK = hakkuukone, KTR = kuormatraktori, KK = korjuuketju, KA = käyttöaste)

| | Normaali tila 6 leimikkoa: max. KV 2 ¹ | | Pieni toimintasäde 6 leimikkoa: max. KV 2 ¹ | | Pieni toimintasäde 6 leimikkoa: max. KV 4,7 ¹ | |
|---------------------------------------|---|-------|--|-------|--|-------|
| | HK | KTR | HK | KTR | HK | KTR |
| Käyttötuntiaika, h/vuosi/KK | 2436 | 2485 | 2430 | 2479 | 2434 | 2485 |
| KA työvuoroajalle, % | 80,16 | 79,69 | 80,68 | 81,24 | 80,78 | 81,27 |
| KA kalenteriajalle, % | 27,81 | 28,37 | 27,74 | 28,30 | 27,78 | 28,37 |
| Siirrot ja siirron odotus, % | 3,82 | 5,57 | 3,27 | 4,72 | 2,98 | 4,30 |
| Korjuumäärä, m ³ /vuosi/KK | 39 803 | | 39 813 | | 39 825 | |
| Tuntikustannus, €/h | 82,5 | 59,6 | 81,3 | 57,6 | 81,2 | 57,5 |
| Keskituottavuus, m ³ /h | 16,35 | 16,01 | 16,39 | 16,05 | 16,37 | 16,05 |
| Yksikkökustannus, €/m ³ | 5,05 | 3,72 | 4,96 | 3,59 | 4,96 | 3,58 |

¹ max. KV = Korjuuyrittäjän aktiivileimikkopankissa olevien leimikoiden maksimikiertoviive (korjuuketjua kohden), jolloin viimeistään leimikko tulee korjuuseen

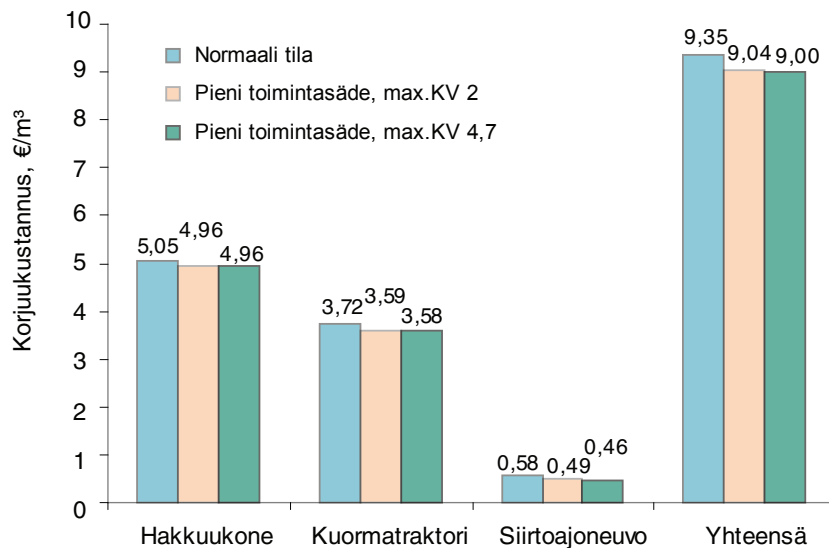
Merkittävä säästö korjuutoiminnassa perustilanteeseen nähden tuli koneenkuljetusajoneuvon käytöstä, jossa konesiirron siirtomatka leimikolta toiselle pieneni puolella ja kokonaisajomatka noin 45 % (Taulukko 14). Pienen toimintasäteen skenaariossa metsäkoneilla ajosiirtojen määrä leimikolta yllättäen väheni. Tämän selittää pääasiassa teoreettisessa leimikkoaineiston täysin satunnainen leimikkojärjestys, kun taas korjuuyrittäjän todellisesti hakatut leimikot oli ketjutettu ja siten leimikkojärjestys suosi paremmin hyvin lyhyitä siirtoja. Korjattua puukuutiometriä kohden koneenkuljetusajoneuvon kustannussäästö oli noin 16 % verrattaessa alkuperäiseen tilanteeseen.

Taulukko 14. Koneenkuljetusajoneuvon keskiarvotunnukset kolmen korjuuketjun yrittäjän simuloinneista korjuun keskimääräisen toimintasäteen pudotessa 22,05 km:stä 12,57 km:iin. (KA = käyttöaste)

| | Normaali tila 6 leimikkoa: max. KV 2 ¹ | | Pieni toimintasäde 6 leimikkoa: max. KV 2 ¹ | | Pieni toimintasäde 6 leimikkoa: max. KV 4,7 ¹ | |
|------------------------------------|---|-----|--|-----|--|-----|
| | HK | KTR | HK | KTR | HK | KTR |
| KA kalenteriajalle, % | 12,67 | | 11,04 | | 10,22 | |
| Käyttötuntiaika, h/vuosi | 1110,25 | | 967 | | 896 | |
| Lavettisiirtojen määrä, kpl/vuosi | 144,27 | | 147,3 | | 147,0 | |
| Ajosiirtojen määrä, kpl/vuosi | 4,73 | | 0,40 | | 1,60 | |
| Koneen siirtomatka, km/siirto | 29,83 | | 22,20 | | 13,95 | |
| Konesiirron ajomatka, km | 86,66 | | 56,61 | | 47,19 | |
| Ajokerran kesto, h | 2,57 | | 2,19 | | 2,03 | |
| Tuntikustannus, €/h | 57,11 | | 55,49 | | 55,74 | |
| Yksikkökustannus, €/m ³ | 0,58 | | 0,49 | | 0,46 | |

¹ max. KV = Korjuuyrittäjän aktiivileimikkopankissa olevien leimikoiden maksimikiertoviive, jolloin viimeistään leimikko tulee korjuuseen

Teoreettisessa toimintaympäristössä leimikoiden sijaitessa keskuspaikkaa lähempänä ja leimikoiden välisten siirtymien pudotessa noin puoleen puunkorjuun kokonaiskustannussäästö oli 3,3 % (Kuva 18). Kuormatraktorille kustannussäästöä tuli 0,13 €/m³, kun taas hakkuukoneelle ja siirtoajoneuvolle hieman vähemmän (0,09 €/m³). Erytisesti kuormatraktorilla korjuun toiminta-aikaa kertyi enemmän juuri siirtoaikojen pudotessa ja siten siirron odotusten vähetessä. Tällaisia olivat etenkin tilanteet, jossa sekä hakkuukone että kuormatraktori suoriutuvat leimikon puunkorjuusta samanaikaisesti, jolloin kuormatraktori joutui odottamaan ensin hakkuukoneen siirtoajan ja siirtoajoneuvon paluunajan takaisin leimikolle.



Kuva 18 Kolmenkorjuuketjun koneyrittäjän simulointien korjuukustannukset korjuun toimintasäteen pudotessa 22,05 km:stä 12,57 km:iin.

3.3 Metsäkoneiden siirtopalvelu

Tilanteessa, jossa kolmen korjuuketjun yrittäjä tarjoaa koneensiirtopalvelua toiselle korjuuyrittäjälle, koneiden siirtojen odotusajat kasvavat perustilanteesta (Taulukko 15). Tarjottaessa siirtopalvelua kolmen korjuuketjun yrittäjälle perusyrittäjän hakkuukoneiden siirron odotusajat kasvavat 0,5 prosenttiyksikköä ja kuormatraktoreiden 0,6 prosenttiyksikköä. Siirtojen odotusten kasvu puottaa vastaavan määrän koneiden käyttöasteita. Kuitenkaan koneiden yksikkökustannukset eivät muuttuneet merkittävästi.

Koneiden siirtopalvelutilanteessa kustannussäästöä saadaan vain koneensiirtoajoneuvon käyttömäärän kasvun myötä (Taulukko 16). Korjatulle kuutiometrille säästöä koneenkuljetusajoneuvon käytössä saadaan 0,10 €, joka on noin 17 % siirtokustannuksista.

Korjuun todellisiin kokonaiskustannuksiin siirtopalvelun tarjonta vastaavankokoiselle korjuuyrittäjälle vastaavilla konesiirtomäärillä tuottaa kustannussäästöä noin yhden prosentin verran, jos siirtokustannukset jaetaan ajokilometrien mukaisesti molemmille yrittäjille (Kuva 19).

Taulukko 15. Korjuukoneiden keskiarvotunnukset kolmen korjuuketjun yrittäjän tilanteessa, jossa yrittäjä tarjoaa siirtopalvelua yhden tai kolmen korjuuketjun yrittäjälle. (HK = hakkuukone, KTR = kuormatraktori, KK = korjuuketju, KA = käyttöaste)

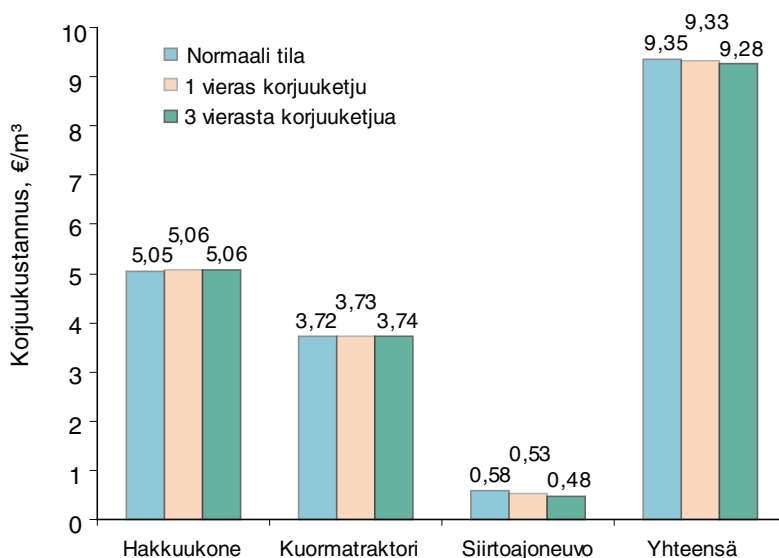
| | Normaali tila 6 leimikkoa: max. KV 2 ¹ | | 1 vieras korjuuketju 6 leimikkoa: max. KV 2 ¹ | | 3 vierasta korjuuketjua, 6 leimikkoa: max. KV 2 ¹ | |
|------------------------------|---|-------|--|-------|--|-------|
| | HK | KTR | HK | KTR | HK | KTR |
| Käyttötuntiaika, h/vuosi/KK | 2436 | 2485 | 2440 | 2489 | 2440 | 2489 |
| KA työvuoroajalle, % | 80,16 | 79,69 | 79,67 | 79,20 | 79,63 | 79,06 |
| KA kalenteriajalle, % | 27,81 | 28,37 | 27,85 | 28,41 | 27,86 | 28,42 |
| Siirrot ja siirron odotus, % | 3,82 | 5,57 | 4,06 | 5,68 | 4,35 | 6,20 |
| Korjuumäärä, m³/vuosi/KK | 39 803 | | 39 825 | | 39 844 | |
| Tuntikustannus, €/h | 82,5 | 59,6 | 82,6 | 59,7 | 82,6 | 59,8 |
| Keskituottavuus, m³/h | 16,35 | 16,01 | 16,33 | 16,00 | 16,33 | 16,00 |
| Yksikkökustannus, €/m³ | 5,05 | 3,72 | 5,06 | 3,73 | 5,06 | 3,74 |

¹ max. KV = Korjuuyrittäjän aktiivileimikkopankissa olevien leimikoiden maksimikiertoviive, jolloin viimeistään leimikko tulee korjuuseen

Taulukko 16. Koneenkuljetusajoneuvon keskiarvotunnukset kolmen korjuuketjun yrittäjän tilanteessa, jossa yrittäjä tarjoaa siirtopalvelua yhden tai kolmen korjuuketjun yrittäjälle. (KA = käyttöaste)

| | Normaali tila 6 leimikkoa: max. KV 2 ¹ | 1 vieras korjuuketju 6 leimikkoa: max. KV 2 ¹ | 3 vierasta korjuuket- jua, 6 leimikkoa: max.KV 2 ¹ |
|------------------------------------|---|--|---|
| KA kalenteriajalle, % | 12,67 | 16,55 | 24,43 |
| Käyttötuntiaika, h/vuosi | 1110,25 | 1450 | 2140 |
| Konesiirrot vieraalle, h/vuosi | - | 353,1 | 1051,2 |
| Lavettisiirtojen määrä, kpl/vuosi | 144,27 | 143,73 | 144,57 |
| Ajosiirtojen määrä, kpl/vuosi | 4,73 | 5,53 | 4,87 |
| Koneen siirtomatka, km/siirto | 29,83 | 30,07 | 29,77 |
| Konesiirron ajomatka, km | 86,66 | 86,66 | 86,11 |
| Ajokerran kesto, h | 2,57 | 2,54 | 2,51 |
| Tuntikustannus, €/h | 57,11 | 52,79 | 48,19 |
| Yksikkökustannus, €/m ³ | 0,58 | 0,53 | 0,48 |

¹ max. KV = Korjuuyrittäjän aktiivileimikkopankissa olevien leimikoiden maksimikiertoviive, jolloin viimeistään leimikko tulee korjuuseen



Kuva 19. Kolmen korjuuketjun koneyrittäjän simulointien korjuukustannukset tarjottaessa koneiden siirtopalvelua yhden tai kolmen korjuuketjun yrittäjälle.

3.4 Koneen vuotuinen käyttö

Kolmen korjuuketjun yrittäjätilanteessa koneiden vuotuisen käyttömäärän kasvua tarkasteltiin skenaariossa, jossa korjuukoneet toimivat kahdessa työvuorossa. Mukana ollut työvuorojousto pyrki vähentämään koneiden tuottavuuseroista johtuvia odotusaikoja. Työvuorojoustoista huolimatta korjuuketjun toisen koneen heikommasta tuottavuudesta johtuvia koneodotuksia tuli perustilanteeseen nähden 1,5–2,5 prosenttiyksikköä enemmän (taulukko 17). Tämän vuoksi koneiden käyttöasteet laskivat muutamia prosentteja. Toisaalta vuotuiset kiinteät kulut jakaantuivat suuremmalle korjuumäärälle, jolloin kustannussäästöä tuli hieman tässä muodossa. Vaihtoehtoinen tarkastelutapa osoittaa 2-työvuorojärjestelmän edun tilanteessa, jossa paremmalla työvuorojoustolla päästäisiin koneiden odotusajoissa samalle tasolle perustilanteeseen nähden.

Kasvava koneiden käyttö lisää vastaavasti koneenkuljetusauton käyttöä ja siten siirtokustannus korjattua puukuutiometriä kohden putoaa 10,3 % (0,06 €/m³).

Kokonaiskustannussäästö korjattua puukuutiometriä kohden oli 2,0 % (0,19 €/m³) perustilanteeseen nähden (kuva 20). Jos koneiden ohjaus ja työvuorojousto toimisi tehokkaammin, säästöä kuutiometrille tulisi toisessa tapauksessa 0,31 €.

Taulukko 17. Korjuukoneiden keskiarvotunnukset kolmen korjuuketjun yrittäjän simuloinneista perustilanteessa sekä lisääntyneen konekäytön tilanteessa. (HK = hakkuukone, KTR = kuormatraktori, KK = korjuuketju, KA = käyttöaste)

| | Normaali tila 6 leimikkoa: max. KV 2 ¹ | | 2-vuorotyö 6 leimikkoa: max. KV 2 ¹ | | 2-vuorotyö 6 leimikkoa ² : max. KV 2 ¹ | |
|---------------------------------------|---|-------|--|-------|--|-------|
| | HK | KTR | HK | KTR | HK | KTR |
| | Käyttötuntiaika, h/vuosi/KK | 2436 | 2485 | 3361 | 3427 | 3444 |
| KA työvuoroajalle, % | 80,16 | 79,69 | 77,73 | 78,18 | 79,95 | 79,81 |
| KA kalenteriajalle, % | 27,81 | 28,37 | 38,37 | 39,12 | 39,32 | 39,83 |
| Siirrot ja siirron odotus, % | 3,82 | 5,57 | 4,02 | 5,14 | 3,9 | 5,40 |
| Toisen koneen odotus, % | 0,49 | 6,04 | 3,01 | 8,17 | 0,5 | 6,0 |
| Korjuumäärä, m ³ /vuosi/KK | 39 803 | | 54 935 | | 56 114 | |
| Tuntikustannus, €/h | 82,5 | 59,6 | 81,6 | 58,1 | 80,6 | 57,5 |
| Keskituottavuus, m ³ /h | 16,35 | 16,01 | 16,35 | 16,02 | 16,35 | 16,02 |
| Yksikkökustannus, €/m ³ | 5,05 | 3,72 | 4,99 | 3,63 | 4,93 | 3,59 |

¹ max. KV = Korjuuyrittäjän aktiivileimikkopankissa olevien leimikoiden maksimikiertoviive (korjuuketjua kohden), jolloin viimeistään leimikko tulee korjuuseen

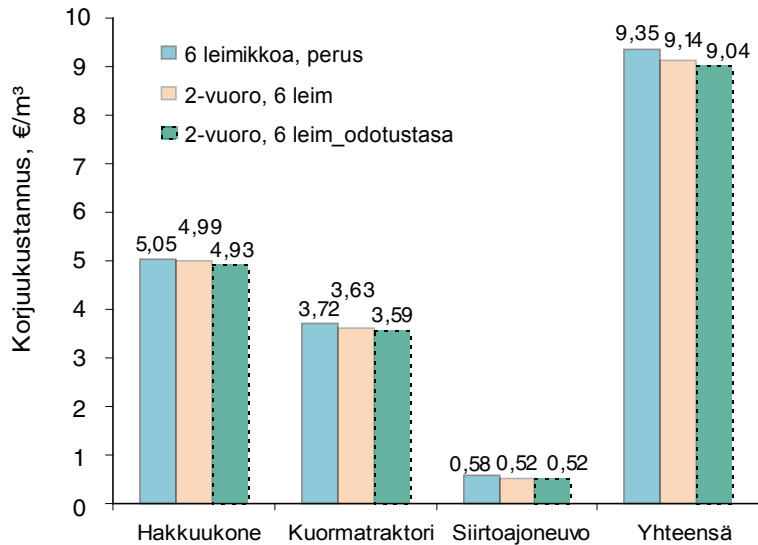
² Tuottavuusepätasapainosta johtuvat koneiden odotusajat samalla tasolla kuin perustilanteessa

Taulukko 18. Koneenkuljetusajoneuvon keskiarvotunnuksia kolmen korjuuketjun yrittäjän simuloinneista perustilanteessa sekä lisääntyneen konekäytön tilanteessa. (KA = käyttöaste)

| | Normaali tila 6 leimikkoa: max. KV 2 ¹ | 2-vuorotyö 6 leimikkoa: max. KV 2 ¹ | 2-vuorotyö 6 leimikkoa ² : max. KV 2 ¹ |
|------------------------------------|---|--|--|
| | KA kalenteriajalle, % | 12,67 | 17,17 |
| Käyttötuntiaika, h/vuosi | 1110 | 1504 | 1534 |
| Lavettisiirtojen määrä, kpl/vuosi | 144,3 | 198,5 | 202,5 |
| Ajosiirtojen määrä, kpl/vuosi | 4,73 | 4,80 | 4,90 |
| Koneen siirtomatka, km/siirto | 29,83 | 30,42 | 30,42 |
| Konesiirron ajomatka, km | 86,66 | 86,07 | 86,07 |
| Ajokerran kesto, h | 2,57 | 2,52 | 2,52 |
| Tuntikustannus, €/h | 57,11 | 52,27 | 51,99 |
| Yksikkökustannus, €/m ³ | 0,58 | 0,52 | 0,52 |

¹ max. KV = Korjuuyrittäjän aktiivileimikkopankissa olevien leimikoiden maksimikiertoviive, jolloin viimeistään leimikko tulee korjuuseen

² Tuottavuusepätasapainosta johtuvat koneiden odotusajat samalla tasolla kuin perustilanteessa



Kuva 20. Kolmen korjuuketjun koneyrittäjän simulointien korjuukustannukset perustilanteessa sekä lisääntyneen konekäytön tilanteessa. Skenaariossa 6 leim_odotustasa korjuukoneiden odotusajat vastaavat perustilannetta.

3.5 Korjuun tehostamismalli

Korjuun tehostamismallissa kolmen korjuuketjun koneyrittäjän toimintaan liitettiin edellisissä simulointiskenaarioissa havaittuja korjuun tehostamiskeinoja. Tämä korjuuyrittäjän tehokorjuumalli sisälsi korjuukohdevarannon kuudella leimikolla ja kahden leimikon maksimikiertoviivellä, pienemmän toimintasäteen (teoreettinen leimikkoaineisto), korjuukoneiden siirtopalvelun tarjoamisen kolmen korjuuketjun yrittäjälle sekä korjuutoiminnan 2-vuorotyönä työvuorojoustolla.

Työvuorojousto kahden työvuoron järjestelmässä ei kyennyt riittävästi poistamaan koneiden tuottavuuseroista johtuneita odotusaikoja, jolloin koneiden käyttöasteet putosivat hieman (taulukko 19). Toisaalta konesiirron keskimääräinen ajanmenekki putosi perustilanteeseen nähden yli puolella tunnilla vähentäen siten koneiden siirron ja siirron odotusten ajanmenekkiä. Hakkuukoneen korjuun yksikkökustannus putosi 4,2 % (0,21 €/m³) ja kuormatraktorin 5,9 % (0,22 €/m³) vastaavasti.

Taulukko 19. Korjuukoneiden keskiarvotunnukset kolmen korjuuketjun yrittäjän simuloinneista perustilanteessa ja korjuun tehostamistilanteessa. (HK = hakkuukone, KTR = kuormatraktori, KK = korjuuketju, KA = käyttöaste)

| | Normaali tila | | Tehokorjuumalli | |
|---------------------------------------|---|--------------------------|---|----------------------------|
| | 6 leimikkoa: max. KV 2 ¹ HK | KV 2 ¹ KTR | 6 leimikkoa: max. KV 2,7 ¹ HK | KV 2,7 ¹ KTR |
| Käyttötuntiaika, h/vuosi/KK | 2436 | 2485 | 3372 | 3452 |
| KA työvuoroajalle, % | 80,16 | 79,69 | 79,00 | 79,83 |
| KA kalenteriajalle, % | 27,81 | 28,37 | 38,49 | 39,40 |
| Siirrot ja siirron odotus, % | 3,82 | 5,57 | 3,70 | 4,55 |
| Korjuumäärä, m ³ /vuosi/KK | | 39 803 | | 55 359 |
| Tuntikustannus, €/h | 82,5 | 59,6 | 79,6 | 56,0 |
| Keskituottavuus, m ³ /h | 16,35 | 16,01 | 16,44 | 16,02 |
| Yksikkökustannus, €/m ³ | 5,05 | 3,72 | 4,84 | 3,50 |

¹ max. KV = Korjuuyrittäjän aktiivileimikopankissa olevien leimikoiden maksimikiertoviive (korjuuketjua kohden), jolloin viimeistään leimikko tulee korjuuseen

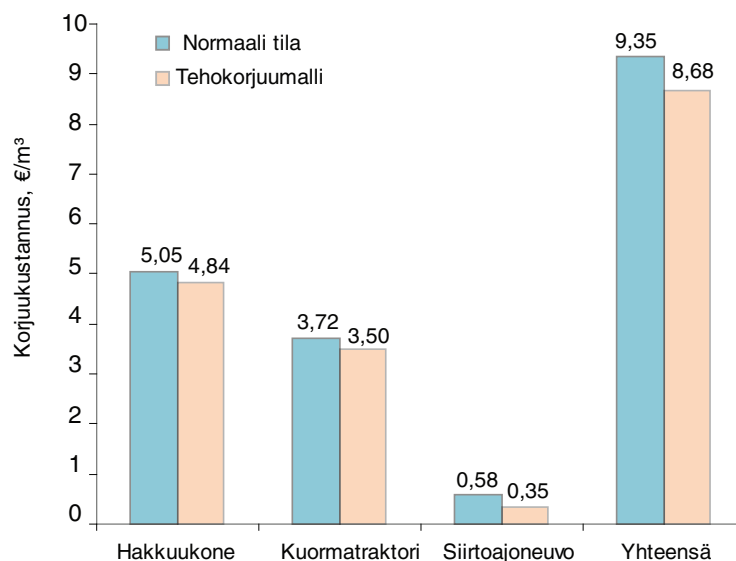
Pienemmän toimintasäteen johdosta koneenkuljetusauton ajomatka oman korjuukaluston siirrolle oli noin 38 kilometriä perustilannetta pienempi (taulukko 20). Leimikoiden välinen keskisiirtymä putosi 29,8 kilometristä 15,8 kilometriin. Siirtopalvelutoiminnan turvin koneenkuljetusauton käyttömäärän kasvu pudotti merkittävästi siirtoauton tuntikustannuksia. Korjattua puukuutiometriä kohden konesiirtokustannus putosi 39,7 % (0,23 €/m³).

Tehostetussa korjuutoimintaskenaariossa kolmen korjuuketjun yrittäjän korjuukustannussäästö hakutulle puukuutiometrille oli 7,2 % (0,67 €/m³) alkuperäiseen tilanteeseen verrattuna (Kuva 21). Jos toiminnan säästö suhteutetaan yrittäjän vuotuisen korjuusuoritteeseen tehostetussa korjuutilanteessa, kokonaiskustannussäästö 166 077 m³:n vuotuisella suoritteella perustilaan nähden olisi 111 270 € vuodessa.

Taulukko 20. Koneenkuljetusajoneuvon keskiarvotunnukset kolmen korjuuketjun yrittäjän simuloineista perustilanteesta ja korjuun tehostamistilanteesta. (KA = käyttöaste)

| | Normaali tila 6 leimikkoa: max. KV 2 ¹ | Tehokorjuumalli 6 leimikkoa: max. KV 2,7 ¹ |
|------------------------------------|---|---|
| KA kalenteriajalle, % | 12,67 | 22,88 |
| Käyttötuntiaika, h/vuosi | 1110 | 2005 |
| Lavettisiirtojen määrä, kpl/vuosi | 144,3 | 204,4 |
| Ajosiirtojen määrä, kpl/vuosi | 4,73 | 1,80 |
| Koneen siirtomatka, km/siirto | 29,83 | 15,74 |
| Konesiirron ajomatka, km | 86,66 | 48,37 |
| Ajokerran kesto, h | 2,57 | 1,98 |
| Tuntikustannus, €/h | 57,11 | 43,13 |
| Yksikkökustannus, €/m ³ | 0,58 | 0,35 |

¹ max. KV = Korjuuyrittäjän aktiivileimikkopankissa olevien leimikoiden maksimikiertoviive, jolloin viimeistään leimikko tulee korjuuseen



Kuva 21. Kahden korjuuketjun koneyrittäjän simuloitien korjuukustannukset leimikkovaranon ja leimikoiden kiertoviiveen vaihdella.

4 Tarkastelu

4.1 Aineiston ja menetelmien tarkastelu

4.1.1 Koneyrittäjien leimikko- ja korjuulohkoaineisto

Tutkimuksen koneyrittäjien leimikkoaineistot kuvasivat keskimääräisesti hyvin Keski-Suomen alueen perusleimikoiden leimikkorakennetta ja korjuuolosuhteita, erityisesti hakkuutaparakenteen, rungon keskikoon ja keskimääräisen leimikkopoistuman perusteella. Tuloksia voidaan yleistää myös laajemmin muuhun Suomeen, missä alueet vastaavat Keski-Suomen ja erityisesti tutkimuksen koneyrittäjien korjuuolosuhteita. Tutkimusta olisi kuitenkin perusteltua laajentaa leimikkorakenteeltaan toisistaan poikkeavien alueiden ja niiden korjuuyrittäjien tilanteisiin, jolloin eri toimintatapojen kustannussäästöpotentiaalia voisi ennustaa kattavammin ja luotettavammin.

Lähempää vertailua Keski-Suomea maantieteellisesti ja rakenteellisesti poikkeavilla korjuualueilla voitiin tehdä koneiden siirtoetäisyyksissä ja harvennusosuuksissa. Pohjois-Pohjanmaalla ja eritoten Lapissa konesiirtokustannusten merkitys on Keski-Suomea suurempi. Väätäisen ym. (2007) tutkimuksessa Pohjois-Pohjanmaan Stora-Enson leimikkoaineistossa keskimääräinen leimikoiden välinen etäisyys korjuuyrittäjillä oli noin 30,5 km ja vastaavasti Saimaan korjuualueella 18,3 km. Keski-Suomen yrittäjätapauksissa keskimääräiset siirtoetäisyydet vaihtelivat 19–33 kilometrin välillä. Saimaan korjuualueella harvennuskohteiden osuus kokonaiskertymästä oli 26 % ja Pohjois-Pohjanmaalla 38,5 % (Väätäinen ym. 2007). Vuonna 2006 koneellisen puunkorjuun puumäärästä harvennuskohteita oli 32 % (10 % ensiharvennusta, 22 % muuta harvennusta) (Kariniemi 2007). Tämän tutkimuksen koneyrittäjillä harvennuskohteiden osuudet vaihtelivat 23–33 % välillä.

Koneyrittäjien lopulliset leimikkoaineistot muokattiin tutkimustarkoitukseen sopiviksi siten, että jokaisen korjuulohkon hakkuuajankohdan ja sijainnin avulla määritettiin operatiiviset hakkuukohteet. Esimerkiksi samalla leimikkotunnuksella olleet, mutta aivan eri ajankohtana korjatut korjuulohkot eriytettiin omiksi operatiivisiksi korjuukokonaisuuksiksi. Toisaalta eri leimikoiksi määritetyt, mutta hakkuuajankohdaltaan vastaavat ja toistensa vieressä olevat leimikot yhdistettiin samaksi operatiiviseksi hakkuukohteeksi. Leimikkoaineistossa korjuulohkoittain esitetty hakkuuajankohta määräsi korjuujärjestyksen lopullisessa leimikkoaineistossa. Korjuulohkojen strukturoinnin avulla korjuutoiminta sekä kohteiden korjuujärjestykset simulointiympäristössä vastasivat paremmin toteutunutta korjuuta.

Simulointiskenaariossa, jossa korjuuyrittäjien leimikkovarannon kokoa sekä leimikoiden kiertonopeutta muuttamalla selvitettiin kustannusvaikutuksia, yrittäjittäin valitut leimikkovarantojen koot perustuivat yrittäjiltä haastateltuun todelliseen tilanteeseen. Kahden ja kolmen korjuuketjun koneyrittäjän tilanteessa leimikkovarannon koon ja leimikoiden kiertoviiveen vaihtelulla ei ollut enää suurta vaikutusta konesiirtoihin, kun koneiden siirtoja leimikolta toiselle pyrittiin minimoimaan. Merkittävänä selittäjänä tälle oli korjuukohteiden onnistunut ketjutus alkuperäisessä korjuuaineistossa. Toisaalta kolmen korjuuketjun koneyrittäjän teoreettisen leimikkoaineiston leimikot olivat täysin satunnaisesti sijoittautuneina, jolloin konesiirtoja minimoidessa erilaisilla asetteilla havaittiin jo selvemmät vaikutukset alkuperäiseen leimikkoaineistoon nähden.

4.1.2 Simulointimalli

Tutkimuksessa käytetty diskreettiaikasimulointi on menetelmänä tehokkaimmillaan monimutkaisten prosessien mallittamisessa (Asikainen 1995, Oinas ja Sikanen 1997, Asikainen 1998, Asikainen ja Nuuja 1999, Väätäinen ym. 2000, Asikainen 2001, Väätäinen ym. 2005b, Väätäinen ym. 2007). Koneellisen puunkorjuun tutkimuksiin simulointimenetelmää on käytetty myös aiemmin (Asikainen 1995, Oinas ja Sikanen 1997, Talbot ym. 2003, Väätäinen ym. 2007) Hankkeessa valmistettu puunkorjuun simulointimalli antoi mahdollisuuden ottaa huomioon koneelliseen puunkorjuuseen kiinteästi kuuluvia toimintoja ja elementtejä. Puunkorjuumallissa käytettyjä elementtejä olivat muun muassa korjuuketjun koneiden tuottavuuseroista johtuvat koneodotukset, työvuorojärjestelyt ja -joustot, konesiirtoihin liittyvät interaktiot, todelliset leimikko-olosuhteet ja leimikoiden sijainnit sekä yrittäjän korjuukohteiden ohjaus/ketjutus korjuukohdevarannon avulla.

Kussakin simulointiskenaariossa simuloitiin viisi toistoa satunnaistekijöiden ja niistä tuloksiin johtuvien vaihteluiden huomioon ottamiseksi. Tuloksissa esitettiin kunkin viiden simulointitoiston keskiarvotulokset. Puunkorjuun yksikkökustannuksissa toistojen vaihtelun merkitys oli lopulta vähäinen keskihajonnan ollessa 0,5 %. Näin ollen vähäisetkin erot korjuun kustannuksissa eri skenaarioissa olivat tilastollisesti toisistaan poikkeavia.

Korjuukoneiden ajanmenekit laskettiin koneellisen puunkorjuun viimeisimmistä korjuututkimuksista laadittujen mallien pohjalta muodostetuilla yhdistelmämallilla. Sekä hakkuukoneelle että kuormatraktorille erikseen laaditut yhdistelmämallit ennustivat kullakin korjuulohkolla korjuun ajanmenekin hakatulle kuutiometrille selittävimpien muuttujien avulla. Korjuun yhdistelmämallit helpottivat simulointimallin laadintaa ja sen toimintaa samalla heikentämättä juurikaan mallien tarkkuutta alkuperäisiin malleihin verrattuna. Tutkimuksessa laaditut korjuun ajanmenekkien kokonaisuudet hakkuukoneelle ja kuormatraktorille ovat nopeita ja käyttökelpoisia muihinkin tarpeisiin ennustettaessa korjuun kestoja erilaisissa korjuuolosuhteissa.

Leimikoiden valintajärjestykseen ja valintahetkeen vaikuttava asete määritettiin tilanteisiin, joissa metsäteollisuuden puunhankinnan puolajitarpeiden ennakkotavoitteessa ilmenee äkillisiä muutoksia ja joissa nopeasti muuttuvat korjuuolosuhteet vaikuttavat leimikoiden ohjaukseen korjuun edetessä. Simuloinneissa leimikon kiertoviivemaksimilla leimikko määrättiin hakkuuseen korjuukohdevarannosta, mikäli leimikko ylitti asetetun kiertoviiverajan. Asetteella pyrittiin siis kuvaamaan todellisessa puunkorjuussa kaiken aikaa tapahtuvia muutoksia puutavaralajitarpeessa ja korjuuolosuhteissa, ja siten niiden vaikutusta leimikoiden ohjauksen ja ketjutuksen tehokkuuteen.

Skenaariossa, jossa kolmen korjuuketjun korjuuyrittäjän tarjotessa siirtopalveluja toiselle vastaavankokoiselle korjuuyrittäjälle, omien koneiden siirrot tulivat etusijalle konesiirtojen ohjauksen tilanteissa, joissa molemmilla koneyrittäjillä oli konesiirtotarvetta samanaikaisesti. Näin ollen vieraan koneyrittäjän korjuukalusto joutui odottamaan konesiirtoja omaa kalustoa kauemmin (vieraan konekaluston keskimääräinen odotusaika oli noin 4 % työajasta).

Korjuutoiminnan tehostamismallissa kolmen korjuuketjun yrittäjän tilanteessa korjuukustannuksia vähentävinä toimintoina oli kuuden leimikon korjuuvaranto, konesiirtopalvelun tarjonta toiselle kolmen koneketjun yrittäjälle, korjuusuoritteiden lisäys vastaamaan kahden työvuoron toimintaa sekä korjuupalveluiden tarjonta kolmelle puunostajalle. Annettujen lähtötietojen puiteissa tätä simulointiskenaariota ja sen tuloksia voidaan yleistää kuuden korjuuketjun koneyrittäjään, joista kolme toimivat kahdessa työvuorossa (noin 3 400 käyttötuntia/vuosi) ja loput alkuperäisen työsuoritteiden mukaisesti (noin 2 450 h/vuosi).

4.1.3 Kustannuslaskenta

Konekonseptien hankintahinnat perustuivat Väätäisen ym. (2006) tutkimuksessa esitettyihin yleiskokoluokan korjuukoneiden listahintoihin, jotka korjattiin marraskuun 2007 tilanteeseen tilastokeskuksen julkaisemilla Metsäalan konekustannusindekseillä. Todelliset hankintahinnat ovat noin 5–10 % listahintoja pienemmät vaihdellen tapauskohtaisesti. Kustannusvertailun perustuesa yleiseen ajankohtaistettuun perushintatasoon korjuun kustannusrakenne ja kustannustekijöiden osuudet ovat verrannollisia.

Korjuukoneiden osalta kuljettajien kokonaistyöajalle laskettiin palkkakustannukset. Siirtoajoneuvo käytti joko yrittäjä itse, huoltomies tai erillinen kuljettaja. Tältä osin palkkakustannus laskettiin vain siirtoajoneuvon siirtotehtäviin kuuluville tunneille. Laskentatapa perustui toimintolaskentaan, jossa selvitetään, mitä eri resursseja eri toiminnot käyttävät, ja paljonko niistä aiheutuu kustannuksia (Tomperi 2004).

Kasvaneen korjuusuoritteiden skenaariossa metsäkoneiden laskennallisen käyttöiän käyttötunnit täyttyivät perustilannetta nopeammin, jolloin koneiden vaihtohetki aikaistui noin 1,5 vuodella. Muuttunut tilanne otettiin huomioon kustannuslaskennassa siten, että koneiden jäännösarvoa lisättiin 23 %:sta 25,5 %:iin. Samat käyttötuntimäärät omaavista korjuukoneista vuosimalliltaan uudemmalla koneen jälleenmyyntihinta on hieman suurempi kuin vuosimalliltaan vanhemmalla (Järvinen 2008). Korjuun yksikkökustannukseen koneen jäännösarvon kasvulla oli noin 0,5 %:n vaikutus hakkuukoneella ja noin 0,3 %:n kuormatraktorilla.

4.2 Tulosten tarkastelu

Tutkimuksen korjuuyrittäjille simuloitujen korjuusuoritteiden ja niistä lasketut korjuukustannukset olivat hieman suurempia kuin vuoden 2006 keskimääräiset koneellisen puunkorjuun kustannukset. Koneellisen korjuun yksikkökustannukset olivat 8,83 €/m³ vuonna 2006 (Kariniemi 2007). Vastaavasti Väätäisen ym. (2007) puunkorjuun simulointitutkimuksessa vuoden 2006 kustannustasolle lasketut korjuukustannukset olivat Saimaan korjuualueella keskimäärin 8,5–9,1 €/m³ ja Pohjois-Pohjanmaan korjuualueella 12,8 - 13,2 €/m³ keskikokoluokan korjuuketjulla. Esitettyihin korjuukustannuksiin vaikuttavin tekijä, rungon keskikoko, oli Saimaan alueella 0,36 m³ ja Pohjois-Pohjanmaalla 0,16 m³ (Väätäinen ym. 2007). Korjuun kokonaiskustannukset ovat nousseet viimeisen kahden vuoden aikana keskimäärin 7–8 % (MEKKI, tilastokeskus).

Yhden korjuuketjun koneyrittäjän siirtokustannuksen osuus korjuun kokonaiskustannuksista korjatulle puukuutiometrille oli noin 10 % (1,02 €/m³). Vuotuisen korjuusuoritteiden kasvaessa 35 430 m³:stä 119 410 m³:iin siirtokustannukset putosivat 1,02 eurosta 0,6 euroon kuutiometriltä. Siirtokustannusten osuus korjuukustannuksista Väätäisen ym. (2006a) tutkimuksen mukaan oli 6–10 %. Korjuusuoritteiden ollessa 35 000 m³ vuodessa siirtokustannus korjatulle puukuutiometrille oli 0,80 € ja 70 000 m³ vuotuisella korjuusuoritteella 0,52 €, kun siirtoajoneuvon kuljettajan palkkakustannusta ei ollut mukana kustannuksissa. Siirtoajoneuvon kuljettajan palkkakustannus hakatulle kuutiometrille oli 0,22 € (Väätäinen ym. 2006a).

Korjuuyrittäjätapausten sekä simulointiskenaarioiden mukaisesti koneen kokonaistyöajasta itse koneiden siirron osuus leimikolta toiselle (ml. lastaus, siirto ja purku) vaihteli 2,6 %:sta 4,2 %:iin. Yrittäjäkohtaisesti siirtoajan osuuteen vaikutti leimikoiden väliset siirtomatkat ja siirtojen määrä. Aiemmissa koneellisen puunkorjuun tutkimuksissa siirtoajan osuus korjuukoneen kokonais-

työajasta on vaihdellut 2,5 %:sta 2,8 %:iin (Kuitto ym. 1994, Kärhä ym. 2007). Tuoreimmassa Kärhän ym. (2007) tutkimuksessa yrittäjien arvioima siirtoaika siihen liittyvine valmisteluineen hakkuukoneella oli keskimäärin 2,8 tuntia ja kuormatraktorilla 2,1 tuntia. Vastaavasti simulointitutkimuksen korjuuyrittäjätapausten perustilanteissa keskimääräinen siirtoaika korjuukoneella vaihteli 2,4 tunnista 2,6 tuntiin. Toisaalta siirtotapahtumaan liittyvää siirtojen odotusaikaa ei ole tutkittu aikaisemmin, joten simuloinneista saatuja siirron odotusaikoja ei voida arvioida perusteellisemmin tutkimustietoon verraten.

Siirron odotusajat olivat pienimmät yhden korjuuketjun yrittäjän tilanteessa, jossa siirron odotusajan suhde kokonaistyöajasta oli hakkuukoneella noin 0,2 % ja odotetusti kuormatraktorilla hakkuukonetta suurempi, noin 1,5 %. Kahden ja kolmen korjuuketjun yrittäjillä siirron ja siirtovalmistelujen alkamisen odotusajat kasvoivat hakkuukoneella enimmillään aina 0,75 %:iin ja kuormatraktorilla 2,5 %:iin. Konemäärän kasvu lisäsi koneiden siirron odotusaikoja, sillä siirtoajoneuvolle tuli enemmän siirtotehtäviä ja siten koneet joutuivat useammin odottamaan siirrosta vapautuvaa siirtoautoa. Ilmiön vaikutus havaittiin erityisesti simulointiskenaariossa, jossa kolmen korjuuketjun korjuuyrittäjä tarjosi siirtopalveluja vastaavan kokoiselle yrittäjälle (ks. sivu xx.).

Korjuukoneiden toiminnalliset käyttöasteet ts. koneiden käyttöaikojen suhteet kokonaistyöaikaan olivat 78,6–83,5 %:n välillä yrittäjätapausten perustilanteissa. Aiemmissä tutkimuksissa korjuukoneiden toiminnalliset käyttöasteet ovat vaihdelleet 74 %:sta 88 %:iin koneityypin ja korjuumenetelmän mukaisesti (Kuitto ym. 1994, Väkevä ym. 2001, Siren ja Aaltio 2003, Kärhä ym. 2006). Koneityöalojen suhdanneselvitysten mukaan viimeisen kahden vuoden aikana (2006–2007) korjuukoneiden käyttöasteet ovat olleet 80–85 % (Jaakkola 2007a). Kuormatraktorin normaalia alhaisemmat käyttöasteet aiheutuivat simuloinnissa tapahtuvasta korjuutyön ja odotusten erottelusta, jossa kuormatraktorin odottaessa hakkuukonetta ja sen suoritetta aika kirjautui odotusaikaan. Tätä hakkuukoneen ja kuormatraktorin tuottavuuden epätasapainosta johtuvaa odotusaikaa oli kuormatraktorilla skenaariokohtaisesti 3–8 %. Hakkuukoneella vastaava odotusaika oli selvästi pienempi (0,3–2,3 %). Tuloksissa esitetyt koneiden käyttöaikojen suhteet kalenteriaikaan toivat esille konekäytön piilevän toimintapotentialin ja teoreettisen mahdollisuuden lisätä merkittävästi koneiden käyttötunteja.

Simuloinneissa aktiivisena ollut työvuorojoustoasete kuitenkin vähensi merkittävästi tuottavuusepätasapainosta aiheutuvia koneodotuksia. Väätäisen ym. (2007) puunkorjuun vaihtoehtoisten konekonseptien simulointitutkimuksessa korjuuketjun keskimääräinen käyttöaste ilman koneiden tuottavuusepätasapainoja korjaavia toimenpiteitä oli 73 % Saimaan korjuualueella ja 79 % Pohjois-Pohjanmaan korjuualueella. Vastaavasti optimaalisessa korjuutilanteessa, jossa korjuuketjun koneiden tuottavuuden epätasapainotilat voitaisiin eliminoida, korjuuketjun yhteiskäyttöaste olisi ollut 85,5 % molemmilla korjuualueilla (Väätäinen ym. 2007).

Korjuuyrittäjän urakoidessa yhden sijasta kolmelle puunostajalle keskimääräinen toimintasäde pieneni kolmen korjuuketjun yrittäjän tapauksessa 22 kilometristä 12,6 kilometriin. Alkuperäisen korjuusuorituksen saavuttamiseksi riittävä leimikkomäärä olisi kertynyt noin 10 kilometrin toimintasäteeltä. Toisaalta alkuperäistä vastaavan leimikkorakenteen muodostaminen pakotti valitsemaan sopivia leimikoita kauempaakin. Puunkorjuun kokonaiskustannussäästö pienen toimintasäteen teoreettisessa leimikkoaineistossa oli 3,3 % korjuuyrittäjän alkuperäiseen tilanteeseen nähden. Kustannussäästöpotentiaali kulminoitui konesiirtoihin; konesiirtokustannukset vähenivät siirtomatkojen ja siirron kestojen pudotessa ja korjuukoneiden kustannussäästö koostui koneiden käyttöasteiden kasvusta.

Toisiaan lähellä olevia leimikkoryppäitä oli alkuperäisessä aineistossa enemmän kuin satunnaisesti laaditussa teoreettisessa leimikkoaineistossa. Tätä selittää muun muassa ajosiirtojen määrä, joka alkuperäisessä tilanteessa oli noin 5 siirtoa ja tehostetussa toimintasädemallissa 0,5 siirtoa korjuuketjulle vuodessa. Merkittävää kustannussäästöä skenaariotarkasteluun toi koneenkuljettajien työmatkakustannusten pieneneminen noin 40 %:lla. Tehostetun toimintasäteen tilanteessa koneenkuljettajien työmatkoille oletuksena oli se, että myös työmatkojen pituudet pienenivät samassa suhteessa kuin toimintasäde, sillä perusoletuksena oli käytetty kuljettajien asumista korjuuyrittäjän keskuspaikan lähellä.

Pääosin kahdessa konetyövuorossa toiminut suuren korjuusuoritteen skenaariomalli tuotti 2 %:n kustannussäästön korjuuyrittäjän alkuperäiseen tilanteeseen nähden. Kahden konetyövuoron skenaariossa vuotuinen konekäyttö kasvoi alkuperäisestä 39 % (ksm. 2450 tunnista 3 400 tuntiin). Koneiden käyttömäärä tarkastelussa vastaisi keskimäärin kahta työvuoroa viidelle päivälle viikossa vuoden 43 viikon aikana, kun keskimääräisenä koneiden vuotuisena seisokkiaikana pidettiin vuoden 2006 keskimääräistä yhdeksän viikon seisokkiaikaa (Jaakkola 2007a). Metsätehon vuonna 2000 keräämässä puunkorjuuyrittäjien kalustoon liittyvässä tilastossa yli 9 kuukautta vuodessa korjaavista hakkuukoneista 60 % toimi kahdessa vuorossa vuotuisen työkuukausimäärän ollessa 10,7 kk ja korjuumäärän noin 36 636 m³ keskimäärin. Vastaavat arvot kuormatraktoreilla olivat 54 %, 10,8 kk ja 37 544 m³ (Alanne 2001). Kahden työvuoron käyttö korjuuketjulla tuo haasteita koneiden ohjaukselle ja leimikoidenketjutukselle, sillä työvuorojousto on helpompi toteuttaa yhden konetyövuoron menetelmässä.

5 Päätelmät

Tutkimukseen laadittu koneellisen puunkorjuun simulointimalli mahdollisti erilaisten korjuun toimintamallien luotettavan vertailtavuuden tutkimukseen määritellyssä toimintaympäristössä. Tuloksia yleistettäessä laajemmin tulee ottaa huomioon tutkimuksen korjuuyrittäjien korjuun olosuhteet leimikkorakenteineen sekä simulointimallin erityispiirteet ja rajoitteet. Tuloksia esitettäessä pääosin korjuun kustannussäästöinä tulee ottaa huomioon myös muita simuloituihin toimintatapoihin liittyviä kustannusvaikutuksia, joita ei ollut tutkimuksessa mukana. Esimerkiksi samassa hakkuukoneessa käytettävän useamman kuin yhden puunhankkijan tietojärjestelmän ja korjuuohjelman käytön sujuvuuteen, ajankäytön muutoksiin ja lisäkustannuksiin ei otettu kantaa tässä tutkimuksessa.

Simulointitutkimuksen tulokset osoittivat, että korjuutoiminnan organisoiminen kahteen työvuoroon työvuorojoustoin, korjuukoneiden siirtopalvelun tarjoaminen muille korjuuyrittäjille sekä mahdollisimman pieneen toimintasäteeseen pyrkiminen useamman kuin yhden asiakkaan myötä avasivat selkeitä kustannussäästämahdollisuuksia kolmen korjuuketjun yrittäjälle. Erityisesti näiden tekijöiden yhdistäminen samanaikaiseksi toimintamalliksi toi merkittävästi lisää kustannustehokkuutta puunkorjuuseen. Tehokkaamman toiminnan myötä saavutettavien hyötyjen kohdentaminen ja jakaminen ovat luonnollisesti mahdollisia monin eri tavoin. Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää puunkorjuuyrityksen kannattavuuden parantamismahdollisuuksia, minkä vuoksi tulosten osoittamaa tehostamispotentiaalia tarkastellaan erityisesti korjuuyrityksen näkökulmasta.

Simulointiskenaarioiden perusteella voitiin osoittaa eri toimintamallien kustannussäästöjen kulminoituvan konesiirtojen yleiseen problematiikkaan – korjuuyrittäjän koneenkuljetusajoneuvon käytöasteen kasvattamiseen sekä konesiirtojen pituuksien ja määrien vähentämiseen. Siirtokustannus korjatulle kuutiometrille väheni yhdestä eurosta 0,35 euroon, kun koneenkuljetusajoneuvon käyttö kasvoi yhden korjuuketjun siirtomäärästä kuuden korjuuketjun siirtoihin. Kuuden korjuuketjun tilanteessa yhden koneenkuljetusauton käytöllä ei ollut merkittävää lisäystä siirtojen odotuksiin korjuukoneilla, vaan vaikutukset olivat vain 1-4 senttiä korjatulle kuutiometrille. Selvästi merkittävämpää oli korjuuyrittäjän toimintasäteen pieneneminen ja sitä myötä konesiirtoaikojen merkittävä väheneminen, mikä lisäsi korjuukoneiden käyttöastetta samalla laskien korjuukustannuksia. Korjuuketjun koneiden siirtojen odotusaikoja sekä itse siirtoaikoja vähentämällä voidaan merkittävästi vaikuttaa korjuutoiminnan kustannustehokkuuteen.

Koneyrittäjän riittävän suuri korjuuvaranto tuo myös mahdollisuudet tehokkaampaan leimikoiden ketjuttamiseen ja konesiirtojen minimoimiseen. Tutkimuksessa yrittäjätapausten leimikkoaineistot olivat jo suhteellisen hyvin ketjutettuja, eikä merkittävää kustannussäästöä enää saatu järjestämällä korjuuseen tulevia leimikoita korjuuvarannon kokoa ja leimikoiden kiertoviivettä muuttamalla. Skenaariotarkasteluissa kahden ja kolmen korjuuketjun yrittäjillä leimikoiden välinen siirtomatka lyheni kuitenkin enimmillään noin 10 kilometriä ja kustannussäästöä koitui 0,06–0,08 €/m³ alkupe räiseen tilanteeseen nähden. On tärkeää tuoda esille myös riittävän korjuuvarannon merkitys korjuukoneiden hallitussa ja kustannustehokkaassa ohjauksessa sopivimmille leimikoille (Ala-Fossi ym. 2004, Jylhä ym. 2006, Kärhä ym. 2007, Väättäinen ym. 2007). Pientä korjuuvarantoa on pidetty ongelmana joustavalle ja tehokkaalle korjuulogiikalle aiheuttaen muun muassa koneille seisokkeja (Ala-Fossi 2004, Vesterinen 2007a). Tätä kustannussäästöpotentiaalia koneiden ohjauksen muodossa ei simulointitutkimuksessa otettu huomioon.

Tehostetun korjuutoimintamallin tilanteessa kolmen korjuuketjun koneyrittäjällä saavutetulla 7,2 %:n kokonaiskustannusten alenemalla on yritysten toimintakykyyn merkittävä vaikutus, sillä se parantaa suoraan samassa suhteessa yrityksen liikevoittoa. Alan mediaaninettotuloksen ollessa n.

2,5% tarkoittaa 7,2%:n kustannussäästö usean alan yrityksen kohdalla vähintäänkin ns. viivan alle jäävän tuloksen kaksinkertaistumista. Metsäteollisuuden ja metsäsektorin toimintaedellytystyöryhmän 15.2.2008 julkaistussa väliraportissa todetaan, että puute työvoimasta ja osaamisesta puunkorjuussa ovat muodostuneet pullonkauloiksi. Raportissa niin ikään peräänkuulutetaan välittömiä toimenpiteitä palkkauksen tason, pätkätoiden sekä vaikeiden työolojen suhteen (Metsäteollisuuden ja metsäsektorin... 2008). Tutkimuksen osoittama 7,2 % kokonaiskustannussäästö mahdollistaisi karkeasti arvioiden jopa 20 % lisäyksen yrityksen palkanmaksukykyyn, kun yrityksen henkilöstökustannukset (ilman kilometrikorvauksia ja päivärahoja) muodostavat n. 35 % yrityksen kokonaiskustannuksista.

Tutkimuksessa tarkastellun kolmen korjuuketjun koneyrittäjän tehostetussa korjuun toimintamallissa 7,2 %:n säästö kokonaiskustannuksissa vastaisi yrityksen liikevoiton kasvua noin 111 300 eurolla vuotuisella 166 077 m³:n korjuumäärällä. Summa on huomattava yksittäisen yrityksen näkökulmasta, mutta peilattaessa tulosta laajemmin kotimaisen raakapuun hankintaan ja sen kehitykseen, kyse on mittavista lukemista. Maassamme korjataan vuosittain raakapuuta koneellisesti n. 53 milj. m³, josta yrittäjätapausta vastaavien kolmen ketjun tai sitä suurempien yritysten toimesta korjataan arviolta 60 % (Jaakkola 2008). Tämän tutkimuksen tulokset ovat luonnollisesti suuntaa-antavia, mutta mikäli oletetaan, että kolmen korjuuketjun yrittäjätapausten osalta saavutettu 7,2 %:n kustannussäästö olisi kerrattavissa muissa vähintään saman kokoluokan yrityksissä Suomessa, kyseessä olisi noin 21 miljoonan euron tehostamispotentiaali.

Tutkimuksen tuloksia arvioitaessa on myös hyvä huomioida, että esitetyn tehostamispotentiaalini lisäksi korjuuyritysten pienempi toimintasäde voi vähentää merkittävästi koneenkuljettajien päivittäisiä työmatkoja parantaen myös siten työviihtyvyyttä. Metsäalan tulevaisuusfoorumin raportissa Globalisaation suunta ja metsäalan vaihtoehdot (2007; Osa II Suomen metsäsektorin kehityssuunnat) on todettu seuraavaa: ”historia on näyttänyt monta kertaa, että taloudellisesti menestyvä sektori on suosittu”. Tutkimuksen osoittama kannattavuuden parantamismahdollisuus lisää myös yritysten resursseja panostaa omaan kehitystoimintaansa (esim. henkilöstön koulutus, palveluiden ja prosessien kehittäminen ulkopuolisen yhteistyökumppanin kanssa) ja avaa näin uusia väyliä toimialan imagon kohentamiseen. Tämä puolestaan osaltaan edesauttaa kotimaisen raakapuun saatavuuden toimitusvarmuutta tulevaisuudessa.

Tutkimuksessa ei ole otettu huomioon eri puunostajien erilaisista tietojärjestelmistä aiheutuvia haasteita, mikä antaa nykytilanteeseen nähden ruusuisemman kuvan säästömäärien mahdollisuuksista. Juuri asiakkaiden tietojärjestelmien yhteensopimattomuutta on pidetty yhtenä suurimmista esteistä moniasiakkuuden toteutumiseksi puunkorjuussa (Niemi ym. 2005, Vesterinen 2006, Rekilä ja Räsänen 2008). Tutkimuksen teoreettisen tarkastelun lähtökohtana oli oletamus, että korjuuyrityksen henkilöstö pystyi toimimaan yhden tai useamman tietojärjestelmän käytöllä kaikkien asiakkaiden hakkuukohteissa ilman ylimääräisiä viiveitä tai katkoja korjuutoiminnassa. On kuitenkin selvää, että moniasiakkuuden myötä olisi mahdollista toteuttaa korjuuyrittäjän näkökulmasta nykyistä kustannustehokkaampaa puunkorjuuta. Tutkimuksen tulokset antavat siten merkittävän syyn saattaa metsäalan tietojärjestelmien kehitystyötä kohti yhtäläisiä standardeja. Niin ikään tarve yrittäjälähtöiselle toiminnanohjausjärjestelmälle, johon voidaan kytkeä useita asiakasjärjestelmiä, on tämän tutkimuksen tulosten myötä selkeä. Räsänen (2005) mukaan koneurakoinnin toimintamallien voimakkaassa muutoksessa informaation hallinta ja tietojärjestelmien kehitys ei ole seurannut yrittäjien liiketoiminnan vaatimuksia ja muutoksia, ja informaatiojärjestelmien standardoimiselle olisi sijaa.

Tutkimustuloksia arvioitaessa on syytä kiinnittää huomiota korjuuyritysten väliseen kilpailutilanteeseen, millä on luonnollisesti vaikutusta toimintasäteen pienentämismahdollisuuksiin ja siitä saatavaan hyötyyn. Toisaalta tarjotessaan palveluitaan vain yhdelle asiakkaalle, korjuuyritykset kilpailevat yhtä lailla itselleen sopivimmasta toiminta-alueesta sekä hakkuukohteista – niiden sijoittuminen yrittäjän toimipisteestä nähdessä rajoittuu vain kyseenä olevan asiakkaan ostaman leimikkovarannon mukaan. Moniasiakkuuteen perustuvassa korjuuyrityksessä kilpailun lähtökohta on erilainen – yritykset kilpailevat palvelujensa myymisestä tietyn alueen työmaakohteiden osalta riippumatta siitä, kuka hakkuuoikeuden omistaa.

Kotimaisen puunhankinnan tulevaisuuden liiketoimintamallit - tutkimushankkeen tulosten mukaan puunkorjuuyritysten asiakkaiden, metsäteollisuuden hankintaorganisaatioiden keskeisimmät odotukset koskevat korjuutoiminnan laatua, hintaa, toimitusvarmuutta sekä muuttuviin asiakastarpeisiin reagoitakykyä (Niemelä ym. 2005, Lappalainen 2007). Korjuutoiminnan hinta on ostajan ja myyjän välinen neuvottelukysymys, johon vaikuttavat mm. kysynnän ja tarjonnan määrä sekä myyjän tuottama asiakashyöty. Laatu ja toimitusvarmuus riippuvat merkittävästi myyjäpuolen käytettävissä olevista taloudellisista, fyysisistä ja henkisistä resursseista toimintansa organisoimiseksi. Mielenkiintoinen jatkotutkimuksen kohde on, kuinka suuri painoarvo puunkorjuuyritysten äärimmäiselle ostajakeskittyneisyydelle ja siten saavutettavalle reagoitakyvyn tasolle annetaan verrattuna moniasiakkuuden myötä saavutettaviin kustannushyötyihin.

Simulointimenetelmää hyödyntävän jatkotutkimuksen osalta olisi hyödyllistä tarkastella moniasiakkuuden vaikutuksia korjuuolosuhteitaan ja maantieteelliseltä sijainniltaan toisistaan poikkeavilla korjuualueilla sekä myös kolmea korjuuketjua suuremmilla yrityksillä. Yrityksen palveluvalikoiman laajentamisen (metsänuudistus- ja hoitotyöt, energiapuun korjuu, ojitukset jne.) vaikutus siirtokustannuksiin olisi niin ikään kiinnostava tutkimuksen kohde. Raakapuun korjuun ja kaukukuljetuksen yhdistävän useammalle kuin yhdelle asiakkaalle palveluja tuottavan alueellisen logistiikkaoperaattorin myötä saavutettavia mahdollisia kustannushyötyjä ja -haittoja voitaisiin myös arvioida simulointitutkimuksen keinoin.

Metsäkoneyrittäjäkunnassa on ollut selkeitä viitteitä valmiudesta ottaa käyttöön uusia toimintamalleja puunkorjuuseen (Ala-Fossi ym. 2004, Lappalainen 2008, Rekilä ja Räsänen 2008). Ala-Fossin ym. (2004) alueyrittäjyystutkimuksen mukaan yrittäjillä oli myönteinen asennoituminen alueyrittäjyys-toimintamalliin. Alueyrittäjyydessä nähtiin mahdollisuuksia, mutta toimintaedellytyksiä tulisi parantaa, jotta järjestelmästä saataisiin hyötyä mm. paremman suunnittelun muodossa (Ala-Fossi ym. 2004). Viimeisimmän koneyrittäjätutkimuksen mukaan joka toinen laajavastuisista yrittäjistä olisi valmis lisäämään asiakkaiden määrää (Rekilä ja Räsänen 2008). Koneyrittäjien mielestä asiakkaiden määrän kasvu vähentäisi yrittäjäriskiä, parantaisi työn tasaisuutta, vähentäisi kausivaihteluita ja pienentäisi työalueita (Rekilä ja Räsänen 2008).

Erityisesti puunhankinnan kausiluonteisuus johtaa koneiden vajaakäyttöön ja työvoiman työsuhteiden katkoihin. Aluetason tarkastelun näkökulmasta korjuukalustoon sitoutuneen pääomakustannusten minimointi korjuukaluston rakennetta optimoiden on tärkeää puunkorjuussa, jossa volyyminvaihtelu on suurta (Imponen 2005). Puunkorjuun kausiluonteisuus uhkaa voimistua entisestään turvemaa- ja harvennushakkuiden lisääntyessä, ja siksi uusia keinoja tilanteen korjaamiseksi on etsitty muun muassa turvemaille ympärivuotisemmin soveltuvilla kalustoratkaisuilla, korjuukelpoisuusluokituksilla ja uusilla työmenetelmillä (Högnäs 2007). Ammattitaitoisen työvoiman pysyvyyden varmistamiseksi metsäkoneiden ympärivuotinen työllistyminen olisi tärkeää (Kärhä ja Peltola 2004, Jaakkola 2007b).

Metsäalan tavoitteena on lisätä kotimaista puunkorjuuta, jolla korvataan tuontipuun väheneminen. Kasvava energiapuunkorjuu lisää myös paineita uudistaa aines- ja energiapuun korjuukenttää. Tavoitteeksi on esitetty 10–15 miljoonan kuutiometrin vuosittaisia lisähakkuita lähivuosina (Metsäteollisuus ry 2007). Jaakkolan (2007a) mukaan puunkorjuun nykyresurssein olisi mahdollisuus lisätä hakkuita viidenneksellä mikäli tehottomuutta aiheuttavat toiminnan häiritteijät saataisiin poistettua. Vastaavasti koneyrittäjistä lähes puolet olisi valmiita lisäämään työvuoroja korjuukapasiteetin parantamiseksi (Jaakkola 2007a). Tämän kasvavan korjuusuorituksen toteuttamiseksi kaivataan uusia toimintamalleja puunkorjuussa, puunhankinnassa ja koko metsätaloudessa.

Kirjallisuus

- Alanne, H. 2001. Metsäkone- ja puutavara-autokalusto ja sen työmäärät vuonna 1999. Metsätehon raportti 102. 19 s.
- Ala-Fossi, A., Sikanen, L. ja Asikainen, A. 2004. Alueyrittäjyyden asenneilmasto ja valmiudet Metsäliitto Osuuskunnan Kaakkois-Suomen hankinta-alueella. Metlan työraportteja 4. Saatavilla: <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2004/mwp004.htm>. 27 s. + 9 liites.
- Asikainen, A. 1995. Discrete-event simulation of mechanized wood-harvesting systems. University of Joensuu, Faculty of Forestry, Research Notes 28. 86 s.
- Asikainen, A. 1998. Chipping terminal logistics. *Scan. J. For. Res.* V13(3):386-391.
- Asikainen, A. 2001. Simulation of logging and barge transport of wood from forests on islands. *International Journal of Forest Engineering*. Vol. 12.(2):43-50.
- Asikainen, A. & Nuuja, J. 1999. Palstahaketuksen ja hakkeen kaukokuljetuksen simulointi. [The simulation of forest stand chipping and long-distance transporting of forest chips.] *Metsätieteen aikakauskirja* 3/1999:479-490.
- Brewer, P. C. and Speh, T. W. 2000. Using the balanced scorecard to measure supply chain performance. *Journal of Business Logistics*, Vol. 21, No.1, 2000. s. 75-93.
- Chen, I.J. and Paulraj, A. 2004. Understanding supply chain management: critical research and a theoretical framework. *International Journal of Production Research*, Vol. 42, No.1, 2004. s. 131-163.
- de Souza, R., Zice, S. and Chaoyang, L. 2000. Supply chain dynamics and optimization. *Integrated Manufacturing Systems*, 11/5, 2000. s. 348-364.
- Gunasekaran, A., Patel, C. and Tapiroglu, E. 2001. Performance measures and metrics in a supply chain environment. *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 21, No. ½, 2001. s. 71-87.
- Holmberg, S. 2000. A systems perspective on supply chain measurements. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, Vol 30, No. 10, 2000. s. 847-868.
- Hoole, R. 2005. Five ways to simplify your supply chain. *Supply Chain Management. An International Journal* 10/1 2005. s. 3-6.
- Häyrynen, S. & Donner-Amnell, J. & Niskanen, A. 2007. Globalisaation suunta ja metsäalan vaihtoehdot. Joensuun yliopisto. Metsätieteellinen tiedekunta. Tiedonantoja 171. 243 s.
- Högnäs, T. 2000. Kohtikumppanuuttametsäalankonetyö-jakuljetusurakoinnissa – vaihdantakustannusteoriaan perustuva tarkastelu. *Metsähallituksen metsätalouden julkaisuja* 28. Oy Edita Ab. Helsinki. 143 s.
- Högnäs, T. & Vuorenperä, T. 2004. Laajavastuinen urakointi – tietotekniikan kehittämisen haaste? *Metsäteho-lehti* 2/04. s. 3-5.
- Imponen, V. 2005. Korjuukonevalinta ja resurssien hallinta aluetasolla. Teoksessa: Kariniemi, A. (toim.). *Kehittyvä puuhuolto 2005. Seminaarijulkaisu. Metsäteho Oy.* s. 34–40.
- Jaakkola, S. 2007a. Koneyrittäjien tulevaisuusnäkymät: Myönteistä kehitystä työmäärissä, hinnoissa ja kannattavuudessa. *Koneyrittäjä*. Nro 9: 14–16.
- Jaakkola, S. 2007b. Kannattaviin lisähakkuihin löytyy resursseja – Kuljettajien pikakoulutus sen sijaan arvokkautta. *Koneyrittäjä*. Nro 9. s.15.

- Jaakkola, S. 2008. Koneyrittäjien Liitto. Puhelinkeskustelu. 24.1.2008.
- Jylhä, P., Väättäin, K., Rieppo, K. & Asikainen, A. 2006. Aines- ja energiapuun hakkuu ja lähikuljetus korjureilla - Kirjallisuuskatsaus. Metlan työraportteja 34. Saatavissa: <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2006/mwp034.htm>. 40 s.
- Järvinen, J. 2008. John Deere Forestry Oy. Sähköpostikysely. 18.1.2008.
- Kolström, T. & Harstela, P. 2005. Puuntuotannon ja -korjuun tulevaisuus. Joensuun yliopisto. Metsätieteellinen tiedekunta. Tiedonantoja 161. 97 s.
- Koneyrittäjä-lehti. 2007. 04/07. FinnMetko Oy. s. 14.
- Kuitto, P.J., Keskinen, S., Lindroos, J., Oijala, T., Rajamäki, J., Räsänen, T. & Terävä, J. 1994. Puutavaran koneellinen hakkuu ja metsäkuljetus. Metsätehon tiedotus 410. 38 s. + 13 liites.
- Kärhä, K. ja Peltola, J. 2004. Metsäkoneiden monikäyttöisyys. Metsätehon raportti 181. 17 s.
- Kärhä, K., Poikela, A., Rieppo, K., Imponen, V., Keskinen, S. ja Vartiamäki, T. 2007. Korjurit ainespuun korjuussa. Metsätehon raportti 200. 50 s.
- Lappalainen, M. 2007. Vertailututkimus muiden toimialojen liiketoimintamallien suhteen. Julkaisussa Lappalainen, M. 2008. Kotimaisen puunhankinnan tulevaisuuden liiketoimintamallit – tutkimushankkeen tulokset ajalta 2006-2008. Jyväskylän yliopisto, taloustieteiden tiedekunta. Working paper N:o 348/2008. s. 75-97
- Lappalainen, M. 2008. Metsäalan asiantuntijatyöryhmien arvio muiden toimialojen toimintamallien soveltuvuudesta raakapuunhankinnan kenttään. Julkaisussa Lappalainen, M. 2008. Kotimaisen puunhankinnan tulevaisuuden liiketoimintamallit tutkimushankkeen tulokset ajalta 2006-2008. Jyväskylän yliopisto, taloustieteiden tiedekunta. Working paper N:o 348/2008. s. 97-115.
- Lehtinen, U. 2001. Changing subcontracting – a study on the evolution of supply chains and subcontractors. Oulu University Press. Oulu. 126 s.
- Lockamy, A. III and McCormack, K. 2004. The development of a supply chain management process maturity model using the concepts of business process orientation. Supply Chain Management: An International Journal, Vo. 9, No. 4, 2004. s. 272-278.
- Metsäalan tulevaisuusfoorumi. 2005. Menestyvä metsäala ja tulevaisuuden haasteet. Kustannusosakeyhtiö Metsälehti. 117 s.
- Metsäsektorin suhdannekatsaus 2007-2008. Metsäntutkimuslaitos. Vantaan toimintayksikkö, lokakuu 2007. Vammalan kirjapaino Oy. 58 s.
- Metsäteollisuuden ja metsäsektorin toimintaedellytystyöryhmän 15.2.2008 väliraportti. <http://www.valtioneuvosto.fi/ajankohtaista/tiedotteet/tiedote/fi.jsp?oid=221444>. 15 s.
- Metsäteollisuus ry. 2008. Yksityismetsänomistajat avainasemassa teollisuuden puuhuollon turvaamisessa <http://www.metsateollisuus.fi/JuuriNyt/Tiedotteet/Sivut/Yksityismets%C3%A4nomistajatavainasemassa.aspx>
- Metsätalastollinen vuosikirja 2007. 2007. 435 s.
- Morgan, C. 2004. Structure, speed and salience: performance measurement in the supply chain. Business Process Management Journal, Vol. 10, No. 5, 2004. s. 522-536.
- Mäkelä, M. 1986. Metsäkoneiden kustannuslaskenta. Moniste. Metsäteho. 21 s.
- Mäkinen, P. 1997. Success factors for forest machine entrepreneurs. Journal of Forest Engineering 8(2): 27-35.
- Mäkinen, P., Rummukainen, A. & Aarnio, J. 1997. Puunhankinnan organisoitavat. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 647. 102 s.
- Mäkinen, P. 1999. Puunkorjuu- ja kuljetusyrietykset. Julkaisussa: Kanninen, K. (toim.). Metsäteknologia muuttuvassa metsätaloudessa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 720: 158-167.
- Mäkinen, P. 2001. Harvennusharvesteriyrityksen taloudellinen kannattavuus. Julkaisussa: Kärhä, K. (toim.). Harvennuspuiden koneelliset korjuuvaihtoehdot. Harko-projektin (1999-2001) loppuraportti. Summary: Alternative harvesting systems in mechanized thinning. Final report of Harko project (1999-2001). Työtehoseuran julkaisuja 382: 69-73.
- Mäkinen, P. (toim.) 2002. Metsä- ja puualan pk-yritysten menestystekijät. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 869. 52 s.
- Niemelä, T. & Lyytinen, S.-M. & Vesterinen, M. & Palmroth, A. & Jalkanen, M. 2005. Puheenvuoroja yrittäjyydestä maaseudulla. Jyväskylän yliopisto. Taloustieteiden tiedekunnan julkaisuja; 152/2005. s. 84-100.

- Oinas, S. ja Sikanen, L. 1997. PUUHA -Puunhankintasimulaattori: Oliopohjainen rakenteen ja toiminnan kuvaus. Joensuun yliopiston Metsätieteellisen tiedekunnan tiedonantoja 63. 44 s.
- Palander, T. & Vainikka, M. 2006. Puutavaran toimittajien ja asiakkaiden yhteistyömahdollisuudet laajavastuisessa urakoinnissa. Metsätieteen aikakauskirja 3/2006: 369-381.
- Perona, M. and Miragliotta, G. 2002. Complexity management and supply chain performance assessment. A field study and a conceptual framework. *International Journal of Production Economics*, Vol. 90, 2004. s. 103-115.
- Porter, M.E. 1985. *Competitive advantage – creating and sustaining superior performance*. New York. Free Press. 557 s.
- Rekilä, M. ja Räsänen, T. 2008. Laajavastuinen yrittäjyys puunhankinnassa. *Metsäöitehon katsaus* Nro 33. 4 s.
- Rummukainen, A., Heikkilä, J., Sikanen, L., Aarnio, J., Mäkinen, P. & Tahvanainen, T. 2003. Puunhankinnan tienviitat: tutkimustarpeet muuttuvassa toimintaympäristössä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 896. Vammalan kirjapaino Oy. 80 s.
- Räsänen, T. 2007. Informaation hallinta yrittäjävetoisessa puuhuollossa. Teoksessa: Kariniemi, A. (toim.). *Kehittyvä puuhuolto 2005*. Seminaarijulkaisu. Metsäteho Oy. s. 37–42.
- Silberston, A. 1972. Economies of Scale in Theory and Practice. *The Economic Journal*, Vol 82, No. 325. Special Issue: In Honour of E.A.G. Robinson. s. 369-391.
- Simatupang, T.M., Wright, A.C. and Sridharan R. 2002. The knowledge of coordination for supply chain integration. *Business Process Management Journal*, Vol. 8 No.3, 2002. s. 289-308.
- Sirén, M. & Aaltio, H. 2003. Productivity and costs of thinning harvesters and harvester-forwarders. *International Journal of Forest Engineering* 14(1): 39–48.
- Spekman, R.E., Kamauff, J.W. Jr. & Myhr, N. 1998. An empirical investigation into supply chain management – a perspective on partnerships. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*. Vol. 28. No 8, 1998. s. 630-650.
- Talbot, B., Nordfjell, T. ja Suadcani, K. 2003. Assessing the utility of two integrated harvester-forwarder machine concepts through stand-level simulation. *International Journal of Forest Engineering* 14(2):31-43.
- Tomperi, Soile 2004. *Kannattavuus ja kustannusten hallinta*. Edita Publishing Oy. 160 s.
- van der Vaart, T. & van Donk, P. 2006. Buyer-focused operations as a supply chain strategy: identifying the influence of business characteristics. *International Journal of Operations & Production Management*. Vol. 26, No. 1 2006. s. 8-23.
- van Donk, D.P. & van der Vaart, T. 2007. Responsiveness through buyer-focused cells: exploring a new supply strategy. *International Journal of Operations & Production Management*. Vol. 27, No. 12 2007. s. 1362-1379.
- van Hoek, R.,I. 1998. “Measuring the unmeasurable” – measuring and improving performance in the supply chain. *Supply Chain Management*, Vol. 3, No. 4, 1998. s. 187-192.
- Vesterinen, M. 2006a. Puunhankinnan nykytila: asiantuntijatyöryhmien tulokset ja tutkimushankkeen tulosten kokova tulkinta. Julkaisussa Lappalainen, M. 2008. *Kotimaisen puunhankinnan tulevaisuuden liiketoimintamallit –tutkimushankkeen tulokset ajalta 2006-2008*. Jyväskylän yliopisto, taloustieteiden tiedekunta. Working paper N:o 348/2008. s. 6-44.
- Vesterinen, M. 2006b. Puunhankinnan uudet liiketoimintamallit: lisää kannattavuutta uudella ajattelulla. *Koneyrittäjä –lehti* 6/2006, s. 33-34.
- Vesterinen, M. 2007a. Puunhankinnan kustannustehokkuuden kehittäminen: puhelinhaastattelu puunkorjuu- ja kuljetusyrittäjille vko 49-51/2006. Julkaisussa Lappalainen, M. 2008. *Kotimaisen puunhankinnan tulevaisuuden liiketoimintamallit –tutkimushankkeen tulokset ajalta 2006-2008*. Jyväskylän yliopisto, taloustieteiden tiedekunta. Working paper N:o 348/2008. s. 44-75.
- Vesterinen, M. 2007b. Laaja-alaiseen yrittämiseen siirtymisen haasteet. Teoksessa: *Kehittyvä puuhuolto 2007 – seminaarijulkaisu*. Metsäteho Oy. s. 31-35.
- Väkevä, J., Kariniemi, A., Lindroos, J., Poikela, A., Rajamäki, J. & Uusi-Pantti, K. 2001. Puu-tavaran metsäkuljetuksen ajanmenekki. *Metsätehon raportti* 123. 7.9.2001. 41 s.
- Väätäinen, K., L.Sikanen, and A.Asikainen, 2000. Rakeistetun puutuhkan metsäänpalautuksen logistiikka. [Logistics of returning granulated wood ash back to the forest.] Joensuun yliopiston metsätieteellisen tiedekunnan tiedonantoja 116. 99 s.

- Väättäin, K., Ovaskainen, H., Ranta, P. & Ala-Fossi, A. 2005a. Hakkuukoneenkuljettajan hiljaisen tiedon merkitys hakkuutulokseen työpistetasolla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 937, 90 s. + 10 liites.
- Väättäin, K., Asikainen, A. & Eronen, J. 2005b. Improving the logistics of biofuel reception at the power plant of Kuopio city. *International Journal of Forest Engineering* 16(1): 51-64.
- Väättäin, K., Asikainen, A. & Sikanen L. 2006a. Metsäkoneiden siirtokustannusten laskenta ja merkitys puunkorjuun kustannuksissa. *Metsätieteen aikakauskirja* 3/2006:391-397.
- Väättäin, K., Liiri, H. & Röser, D. 2006b. Cost-competitiveness of harwarders in CTL-logging conditions in Finland – a discrete-event simulation study at the contractor level. Teoksessa: P.A. Ackerman, D.W. Ländin & M.C. Antonides (ed.). *Precision Forestry in Plantations, Semi-Natural and Natural Forests. Proceedings of the International Precision Forestry Symposium. Stellenbosch University, South Africa. 5 - 10 March 2006.* s. 451-462.
- Väättäin, K., Liiri, H., Asikainen, A., Sikanen, L., Jylhä, P., Rieppo, K., Nuutinen, Y. ja Ala-Fossi, A. 2007. Korjureiden ja korjuuketjun simulointi ainespuun korjuussa. Metlan työraportteja 48. Saatavissa: <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2007/mwp048.htm>. 78 s.
- WITNESS. 1998. WITNESS – user manual, version 9. Lanner Group. 352 s.
- Yee, C.L. and Tan, K.H. 2004. A process and tool for supply network analysis. *Industrial Management and Data Systems*, Vol. 104, No. 4, 2004. s. 355-363.

Liite 1

Puunkorjuun simulointimalliin syöttötietona annettava leimikkomatriisi, joka sisältää korjuun ominaisuustietoja leimikoiden korjuulohkoista. Tässä taulukossa näkyvät tiedot vain leimikoiden ensimmäisiltä korjuulohkoilta. Leimikkokohtaisesti korjuulohkotiedot voivat olla enintään neljää leimikolta.

| Leimikko | asete: 0/1 | lohkon nro | lohkoja jäljellä 1=kyllä, 0=ei | lohkon tilavuus, m ³ | hakuutapa: 1=uudistush, 0=harvennus | pinta-ala, ha | mettä- kuljetusmat- ka, m | keskirunko- koko, m ³ | runkopois- tuma, r/ha | runkokoko *ttheys | leittipu- osuus, % | i-koord | p-koord | lohkon nro |
|----------|------------|------------|-----------------------------------|------------------------------------|---|------------------|---------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|----------------------|-----------------------|---------|---------|------------|
| 1 | 0 | 1 | 0 | 1488 | 1 | 6,4 | 520 | 0,329 | 707 | 232,50 | 0,07 | 3427379 | 7013393 | 2 |
| 2 | 0 | 1 | 0 | 109,7 | 0 | 2,2 | 250 | 0,182 | 274 | 49,86 | 0,19 | 3433869 | 7009641 | 2 |
| 3 | 0 | 1 | 0 | 90,5 | 1 | 0,2 | 80 | 0,517 | 875 | 452,50 | 0,07 | 3433875 | 7009686 | 2 |
| 4 | 0 | 1 | 0 | 159,8 | 0 | 4,1 | 230 | 0,061 | 639 | 38,98 | 0,12 | 3436465 | 7007210 | 2 |
| 5 | 0 | 1 | 0 | 224,2 | 0 | 2,6 | 190 | 0,145 | 595 | 86,23 | 0,40 | 3420097 | 7009495 | 2 |
| 6 | 0 | 1 | 0 | 213,9 | 1 | 1,0 | 180 | 0,3 | 713 | 213,90 | 0,09 | 3436728 | 7009294 | 2 |
| 7 | 0 | 1 | 0 | 904,2 | 0 | 14,9 | 240 | 0,104 | 584 | 60,68 | 0,31 | 3424452 | 7006536 | 2 |
| 8 | 0 | 1 | 0 | 327,7 | 1 | 1,5 | 80 | 0,301 | 726 | 218,47 | 0,06 | 3420533 | 7004740 | 2 |
| 9 | 0 | 1 | 0 | 662,7 | 1 | 1,5 | 250 | 0,381 | 1160 | 441,80 | 0,13 | 3427615 | 7017614 | 2 |
| 10 | 0 | 1 | 0 | 1354,5 | 1 | 5,7 | 180 | 0,552 | 430 | 237,63 | 0,02 | 3431599 | 7004481 | 2 |
| 11 | 0 | 1 | 0 | 439,5 | 1 | 1,7 | 90 | 0,431 | 600 | 258,53 | 0,04 | 3430972 | 7005119 | 2 |
| 12 | 0 | 1 | 0 | 15,1 | 1 | 1,3 | 130 | 0,755 | 15 | 11,62 | 0,00 | 3430921 | 7006079 | 2 |
| 13 | 0 | 1 | 0 | 33,7 | 0 | 1,0 | 999 | 0,055 | 613 | 33,70 | 0,04 | 3430770 | 7006305 | 2 |
| 14 | 0 | 1 | 0 | 236,7 | 1 | 0,7 | 80 | 0,439 | 770 | 338,14 | 0,02 | 3423972 | 7006926 | 2 |
| 15 | 0 | 1 | 0 | 123,2 | 1 | 1,2 | 350 | 0,442 | 232 | 102,67 | 0,14 | 3431142 | 7010289 | 2 |
| 16 | 0 | 1 | 0 | 72,8 | 1 | 0,3 | 450 | 0,436 | 557 | 242,67 | 0,01 | 3436460 | 7007203 | 2 |
| 17 | 0 | 1 | 0 | 192,6 | 1 | 1,6 | 250 | 0,488 | 247 | 120,38 | 0,25 | 3437206 | 7006533 | 2 |
| 18 | 0 | 1 | 0 | 156,2 | 1 | 0,6 | 350 | 0,697 | 374 | 260,33 | 0,04 | 3441745 | 6999500 | 2 |
| 19 | 0 | 1 | 0 | 758,5 | 1 | 3,9 | 340 | 0,276 | 705 | 194,49 | 0,08 | 3428349 | 6992565 | 2 |
| 20 | 0 | 1 | 0 | 50,8 | 1 | 0,1 | 250 | 0,454 | 1119 | 508,00 | 1,00 | 3430353 | 6991551 | 2 |
| 21 | 0 | 1 | 0 | 97,6 | 0 | 1,8 | 750 | 0,16 | 339 | 54,22 | 0,81 | 3439556 | 6988224 | 2 |
| 22 | 0 | 1 | 0 | 348,9 | 0 | 5,1 | 450 | 0,078 | 877 | 68,41 | 0,26 | 3439250 | 6988965 | 2 |
| 23 | 0 | 1 | 0 | 87,5 | 1 | 1,0 | 250 | 0,078 | 1122 | 87,50 | 0,83 | 3434569 | 6982277 | 2 |

Liite 2

Koneenkuljetusajoneuvon nopeusmallit korjuukoneiden siirroille

Kuormattuna ajon nopeus (km/h) = $(Sku*60)/(10,7573+0,834*Sku - (0,5 / (Sku+2)))$

Tyhjänä ajon nopeus (km/h) = $(Sty*60)/(9,3133+0,77548*Sty - (0,5 / (Sty+2)))$

missä

Sku = kuormattuna ajomatka, km

Sty = tyhjänä ajomatka, km

Liite 3

Kustannuslaskennan arvot korjuukoneille

Taulukko 21. Kustannuslaskennan arvot pääomatekijöille (hankintahinnat ilman arvonlisäveroa).

| | Peruskone | Hakkuulaite |
|---|---------------|--------------|
| Hankintahinta | | |
| Hakkuukone | 295 500 € | |
| Kuormatraktori | 232 000 € | 52 000 € |
| Käyttöikä | | |
| Hakkuukone | 13 000 tuntia | |
| Kuormatraktori | 15 000 tuntia | 7 000 tuntia |
| Jäännösarvoprosentti (hankintahinnasta) | | |
| Vuotuinen käyttö 2500 h (±100 h) | 23 % | 20 % |
| Vuotuinen käyttö 3500 h (±100 h) | 25,5 % | 20 % |

Hankintahintoihin on lisätty keskimääräisen varustetason (telat, GPS ym.) kustannukset, jotka ovat hakkuukoneelle 12 000 € ja kuormatraktorille 8 000 € (alv 0 %).

Taulukko 22. Kustannuslaskennan arvot kulustekijöille (H=hakkuukone, K=kuormatraktori).

| Kulutuslukemia | |
|-----------------------|-------------------|
| Moottoriöljy (H, K) | 0,1 litraa/tunti |
| Vaihteistoöljy (H, K) | 0,1 litraa/tunti |
| Hydrauliöljy (H, K) | 0,2 litraa/tunti |
| Teräketjuöljy (H) | 0,57 litraa/tunti |
| Värimerkkausaine (H) | 0,3 litraa/tunti |
| Teräketju (H) | 0,055 kpl/tunti |
| Terälaippa (H) | 0,02 kpl/tunti |

Taulukko 23. Kustannuslaskennan käyttökustannusarvot (hinnat ilman arvonlisäveroa).

| Käyttökustannusarvot | |
|------------------------------|-----------------------------|
| Polttoaine | 0,63 €/litra |
| Moottoriöljy | 0,83 €/litra |
| Vaihteistoöljy | 1,11 €/litra |
| Hydrauliöljy | 1,11 €/litra |
| Teräketjuöljy | 1,11 €/litra |
| Värimerkkausaine | 1,11 €/litra |
| Teräketju | 13,12 €/teräketju |
| Terälaippa | 45,1 €/terälaippa |
| Korjaus- ja huoltokustannus | H 8,72 €/ E ₁₅ , |
| (Hakkuukone, Kuormatraktori) | K 5,74 €/ E ₁₅ |

Taulukko 24. Kustannuslaskennan työkustannustekijät.

| Työkustannustekijät | |
|--|--------------------------------------|
| Tuntipalkka konetyöajalle (E ₁₅) Hakkuukone, Kuormatraktori) | H 11,8 €/h, K 11,0 €/h |
| Tuntipalkka muulle työajalle | H 11,8 €/h, K 11,0 €/h |
| Iltavuorolisä | 0,77 €/h |
| Väilliset palkkakustannukset | 63 % peruspalkasta |
| Työmatka-ajo | 32–60 km/työvuoro (tapauksen mukaan) |
| Työmatkakorvaus | 0,42 €/km |
| Ateriakorvauspäivät | 100 pv/vuosi |
| Ateriakorvaus | 7,5 €/päivä |

Taulukko 25. Kustannuslaskennan kiinteät kustannustekijät.

| Kiinteät kustannustekijät | |
|--|----------------------------------|
| Pääoman poisto | (*) €/vuosi |
| Laskentakorko | 5 % |
| Vakuutukset (liikenne, palo jne.) (Hakkuukone, Kuormatraktori) | H 2 564 €/vuosi, K 1 710 €/vuosi |
| Hallinto- sekä ylläpitokustannukset (ATK, puhelin, koulutus, laskenta jne. sekä konepesu, varastointi, varaosa säilytys) | H 6 800 €/vuosi, K 4 533 €/vuosi |
| Riskilisä/Varmuusmarginaali | 5 % |

(*) Pääoman poiston laskenta kaavalla: (Hankintahinta - Jäännösarvo)/Käyttöikä

Liite 4

Taulukko 26. Kustannuslaskennan arvot pääomatekijöille (hankintahinnat ilman arvonlisäveroa).

| Hankintahinta | |
|----------------------------|-----------|
| Auton alusta (4-akselinen) | 105 000 € |
| Lavarakenne | 22 000 € |
| Renkaat (12 kpl, à 550 €) | 6 600 € |
| Auton pitoaika | 12 vuotta |
| Jäännösarvoprosentti | 18 % |

Taulukko 27. Kustannuslaskennan arvot kulutustekijöille sekä käyttökustannusarvot (arvot ilman arvonlisäveroa)

| Kulutuskulutemat ja käyttökustannusarvot | |
|--|------------------|
| Polttoaine | 45 litraa/100 km |
| Renkaat (pinnoitusväli) | 100 000 km |
| Polttoaine | 0,87 €/litra |
| Voiteluaine | 0,02 €/km |
| Korjaus ja huolto | 0,11 €/km |
| Renkaat (pinnoitus 165 €/rengas) | 0,035 €/km |

Taulukko 28. Kustannuslaskennan työkustannustekijät.

| Työkustannustekijöitä | |
|-------------------------------|--------------------|
| Tuntipalkka ajoajalle | 11,0 €/km |
| Välilliset palkkakustannukset | 63 % peruspalkasta |

Taulukko 29. Kustannuslaskennan kiinteät kustannustekijät.

| Kiinteät kustannustekijät | |
|--|---------------|
| Pääoman poisto | (*) €/vuosi |
| Laskentakorko | 5 % |
| Vakuutukset (liikenne, palo jne.) (Hakkuukone, Kuormatraktori) | 3 300 €/vuosi |
| Liikennöimismaksut | 2 573 €/vuosi |
| Hallinto- sekä ylläpitokustannukset (ATK, puhelin, koulutus, laskenta jne. sekä konepesu, varastointi, varaosa säilytys) | 3 000 €/vuosi |
| Riskilisä/varmuusmarginaali | 5 % |

(*) Pääoman poiston laskenta kaavalla: $(\text{Hankintahinta} - \text{Jäännösarvo}) / \text{Käyttöikä}$