

**Metsätehon raportti 200**  
**7.12.2007**

ISSN 1459-773X (Painettu)  
ISSN 1796-2374 (Verkkajulkaisu)



## **Korjurit ainespuun korjuussa**

*Kalle Kärhä*  
*Asko Poikela*  
*Kaarlo Rieppo*  
*Vesa Imponen*  
*Sirkka Keskinen*  
*Tomi Vartiamäki*



# **Korjurit ainespuun korjuussa**

**Kalle Kärhä  
Asko Poikela  
Kaarlo Rieppo  
Vesa Imponen  
Sirikka Keskinen  
Tomi Vartiamäki**

Metsätehon raportti 200  
7.12.2007

ISSN 1459-773X (Painettu)  
ISSN 1796-2374 (Verkkajulkaisu)

Asiasanat: korjurit, puunkorjuu, ainespuu, seurantatutkimus,  
konesiirrot, systeemanalyysi, kannattavuus

© Metsäteho Oy

Helsinki 2007

## SISÄLLYS

<b>ALKUSANAT .....</b>	<b>5</b>
<b>TIIVISTELMÄ .....</b>	<b>6</b>
<b>1 JOHDANTO .....</b>	<b>9</b>
<b>2 AINESPUUKORJUREIDEN SEURANTATUTKIMUS .....</b>	<b>10</b>
2.1 Aineisto ja menetelmät .....	10
2.1.1 Tutkitut korjurit .....	10
2.1.2 Tiedonkeruu.....	12
2.1.3 Kuljettajat .....	13
2.1.4 Työmenetelmät .....	13
2.1.5 Korjuuolot .....	14
2.1.6 Kustannuslaskenta .....	17
2.2 Tulokset .....	18
2.2.1 Käyttöasteet ja keskeytykset .....	18
2.2.2 Työajan rakenne .....	20
2.2.3 Tuottavuus ja siihen vaikuttavat tekijät .....	22
2.2.4 Korjuukustannukset.....	25
<b>3 KORJUUOLOT JA KONESIIRROT KORJUREILLA.....</b>	<b>27</b>
3.1 Aineisto ja menetelmät .....	27
3.2 Tulokset .....	28
3.2.1 Korjuuolot .....	28
3.2.2 Konesiirrot.....	29
3.2.2.1 Siirtomatkat .....	29
3.2.2.2 Siirtoajat.....	29
3.2.2.3 Siirtokustannukset.....	33
<b>4 AINESPUUN KORJUUTEKNOLOGIOIDEN SYSTEEMIANALYYSI .....</b>	<b>34</b>
4.1 Aineisto ja menetelmät .....	34
4.2 Tulokset .....	35
<b>5 TARKASTELU JA JOHTOPÄÄTÖKSET.....</b>	<b>39</b>
5.1 Ainespuukorjureiden seurantatutkimus .....	39
5.2 Korjuuolot ja konesiirrot korjureilla .....	43
5.3 Ainespuun korjuuteknologioiden systeemianalyysi .....	44
5.4 Tulevaisuus .....	46
<b>KIRJALLISUUS .....</b>	<b>47</b>
<b>LIITTEET 1–4</b>	

## ALKUSANAT

Metsäteho Oy:ssä korjureita tutkittiin vuosina 2003–2006 Vaihtoehtoista korjuutekniikka- ja Nuorten metsien käsittely -projekteissa. Projektit toteutettiin yhteistyössä Metsätehon osakkaiden ja Koneyrittäjien liitto ry:n kanssa.

Tässä raportissa julkaistaan näiden kahden projektin kolmessa osahankkeessa tehtyjen tutkimusten tulokset:

- Ainespuukorjureiden seurantatutkimus,
- Korjuuolot ja konesiirrot korjureilla ja
- Ainespuun korjuutekniologioiden systeemianalyysi.

Ainespuukorjureiden seurantatutkimus -osahankkeen toteuttivat Kaarlo Rieppo, Kalle Kärhä ja Sirkka Keskinen. Korjuuolot ja konesiirrot korjureilla -osaselvityksen tekivät Kalle Kärhä ja Tomi Vartiamäki. Ainespuun korjuutekniologioiden systeemianalyysi -osatutkimuksen toteuttivat Asko Poikela, Vesa Imponen ja Sirkka Keskinen.

Nuorten metsien käsittely -tutkimushankekokonaisuudessa tehtiin myös seurantatutkimus energiapuukorjureista vuosina 2004 ja 2005. Lisäksi tarkasteltiin energiapuukorjuurin ja perinteisen korjuuketjun kustannuksia ja potentiaalisimpia toiminta-alueita kokopuun korjuussa. Näiden tutkimusten tulokset raportoitiin Kokopuun korjuu nuorista metsistä -julkaisussa (Metsätehon raportti 193). Vaihtoehtoista korjuutekniikka -projektissa tehtiin myös aikatutkimukset erityyppisistä korjureista ainespuun korjuussa vuonna 2002. Tämän tutkimuksen tulokset julkaistiin Metsätehon raportissa 149.

Ilman seuraavien yritysten ja henkilöiden arvokasta työpanosta ja hyvää yhteistyötä tutkimuksia ei olisi voitu toteuttaa: Koneurakointi Holtinkoski Oy (Reijo ja Jaska Holtinkoski), Koneurakointi Mutikainen Oy (Matti Mutikainen, Veijo Repo, Aulis Viinanen), Motoharvennus Lappalainen Ay (Kari Lappalainen, Jukka-Pekka Repo, Teemu Tiitinen), Motoline Oy (Teuvo Paavilainen, Janne Lattu, Janne Pirhonen, Ari Rummukainen), Skrabb B&S Ab (Stefan Skrabb, Johan Forsman, Joakim Holmqvist), Metsäkonetyö Heikkilä H. Ky (Hannu Heikkilä), Tmi Jari Tilli (Jari Tilli, Mika Kujala), A & L Harju Ky (Alpo Harju), Metsä-Jokeri Oy (Jouko Suonsaari), Metsä-Mursu Oy (Eero Mursu), Metsänkuljetus Saari Oy (Anssi Saari), Mikone Oy (Mikko Korhonen), Moisio Forest Oy (Juha Moisio), Nisula Forest Oy (Seppo Nisula), Pentti Harsu Oy (Pentti Harsu), PJP Metsäexpertit Oy (Pentti Pietilä), Veljekset Hietala Koneyhtymä (Voitto Hietala), Veljekset Lehtomäki Oy (Pertti Lehtomäki), Veljekset Vähämäki Ay (Pentti Vähämäki), UPM-Kymmene Oyj (Tom Kolam, Petri Reiman, Toimi Turunen, Juha Vuorisalmi), Stora Enso Oyj (Lauri Peteri), Komatsu Forest Oy (Timo Korhonen, Antero Siuro), Pinox Oy (Kauko Papunen), Ponsse Oyj (Jarmo Vidgrén) ja Suomen Kenttädata Oy (Veikko Komulainen). Edellisten lisäksi Paula Jylhä ja Kari Väätäinen Metsäntutkimuslaitokselta, Juha Lind Metsähallituksesta sekä Heikki Pajuoja Metsätehosta antoivat hyviä kommentteja raportin käsikirjoitukseen.

Kiitämme kaikkia tutkimusten toteutukseen osallistuneita henkilöitä ja yrityksiä hyvästä yhteistyöstä ja avusta tutkimusten teossa.

Helsingissä elokuussa 2007

Antti Korpilahti  
projektipäällikkö  
Vaihtoehtoista korjuutekniikkaa

Kalle Kärhä  
projektipäällikkö  
Nuorten metsien käsittely

## TIIVISTELMÄ

Julkaisussa raportoidaan kolmen korjuriosatutkimuksen tulokset: Raportin ensimmäisessä osassa (luku 2) esitellään ainespuukorjureista tehdyn seurantatutkimuksen tulokset. Toisessa osassa (luku 3) tarkastellaan korjureiden siirtoja. Osatutkimuksessa selvitettiin korjureiden ja mikäli koneyrityksillä oli lisäksi muuta metsäkonekalustoa, myös niiden siirtomatkoja, -aikoja ja -kustannuksia. Lisäksi kartoitettiin, minkälaisilla korjuukohteilla korjureita ja toisaalta korjuuketjuja on käytetty niissä yrityksissä, joissa on korjuri. Raportin kolmannessa osassa (luku 4) kootaan yhteen ja analysoidaan aiemmin tehtyjen ainespuukorjuritutkimusten tulokset sekä verrataan korjurin kilpailukykyä perinteiseen korjuuketjuun ainespuun korjuussa.

Ainespuukorjureiden seurantatutkimuksessa oli yhteensä viisi korjuria (kolme Ponsse Wisent Dual- ja kaksi Valmet 801 Combi -korjuria). Korjattu ainespuumäärä oli yhteensä lähes 30 000 m<sup>3</sup>. Työmaita oli yhteensä 92. Valtaosin seurantatutkimustyömailla tehtiin ns. aitoa korjurityötä, eli korjurilla tehtiin työmaalla sekä puutavaran hakkuu että metsäkuljetus.

Tutkimusaineistot korjuuoloista ja siirroista korjureilla kerättiin haastatteleamalla 13 korjuriyritystä sekä tekemällä aikatutkimus kahdesta korjurisiirrosta. Korjureiden siirroista saatiin tutkimusaineistoa myös korjureiden seurantatutkimuksesta. Ainespuun korjuuteknologioiden systeemanalyysiä varten koottiin yhteen vuosina 1999–2003 Pohjoismaissa tehdyt ainespuukorjuritutkimukset.

Seurantatutkimuksessa korjureiden tekninen käyttöaste oli keskimäärin 88,1 % ja toiminnallinen käyttöaste 82,6 %. Aidossa korjurityössä koko seurantatutkimusaineistossa (leimikon rungon keskijäreys 198 dm<sup>3</sup> ja metsäkuljetusmatka 239 m) hakkuuseen käytettiin keskimäärin 57 % ja metsäkuljetukseen 43 % tehoajasta. Ensiharvennuksella (89 dm<sup>3</sup> ja 280 m) hakkuu vei keskimäärin 63 % ja metsäkuljetus 37 % tehoajasta. Päätehakuulla (362 dm<sup>3</sup> ja 179 m) tehotyöaika jakautui lähes tasan hakkuun ja metsäkuljetuksen kesken.

Aidossa korjurityössä seurantatutkimuksessa käyttötuntituottavuus ensiharvennuksella oli keskimäärin 5,1 m<sup>3</sup>/h ja muulla harvennuksella 6,4 m<sup>3</sup>/h. Harvennuksilla aidon korjurityön käyttötuntituottavuutta selitti parhaiten leimikon rungon keskikoko. Myös metsäkuljetusmatkalla oli vaikutusta käyttötuntituottavuuteen sekä seurantatutkimuksen että ainespuukorjureiden systeemanalyysin mukaan. Päätehakuulla aidossa korjurityössä seurantatutkimuksessa käyttötuntituottavuus oli keskimäärin 7,7 m<sup>3</sup>/h.

Korjurit olivat kilpailukykyisimmillään korjuuketjuun verrattuna, kun leimikon rungon keskijäreys oli suhteellisen pieni, alle 120–180 dm<sup>3</sup>. Tällöin ainespuukertymä on keskimäärin alle 60–70 m<sup>3</sup>/ha. Suhteellisen pienen rungon keskikoon ja alhaisen hehtaarikohtaisen ainespuukertymän lisäksi korjuri oli kilpailukykyisimmillään pienikertymisillä korjuukohteilla. Kun kor-

jattavan puuston rungon koko sekä hehtaari- ja leimikkokohtainen ainespuukertymä kasvoivat, korjuuketjun kilpailukyky parani korjuriin nähden.

Haastateltujen yrittäjien korjureilla työskenneltiin pääosin harvennuksilla; vain neljannes korjatusta puusta tuli päätehakkuilta. Seurantatutkimuksessa vajaa kolmannes korjatusta puumäärästä tuli päätehakkuilta. Tuloksista on nähtävissä, että yrityksissä korjureita käytetään ensisijaisesti harvennuksilla. Vastaavasti korjuuketjut haastatellut yrittäjät olivat ohjanneet valtaosin päätehakkuille. Seurantatutkimuksessa korjureita käytettiin myös korjuuketjujen tasaukseen siten, että hakkuu tehtiin korjurilla ja metsäkuljetus myöhemmin kuormatraktorilla. Seurantatutkimuksessa vain muutamalla korjuukohteella korjurilla tehtiin pelkkä metsäkuljetus.

Seurantatutkimuksessa työmaiden välisten siirtojen osuus korjureiden kokonaistyöajasta oli 2,5 % ja tehollinen siirtoaika oli keskimäärin 1,3 tuntia/siirto. Haastatellut korjuriyrittäjät arvioivat, että korjurilla siirtomatka leimikolta toiselle on keskimäärin 28 km. Tutkimuksessa osoitettiin, että varsinaisen korjurisiirron lisäksi aikaa kuluu runsaasti sekä ennen siirtoa tehtäviin valmistelutöihin (mm. hakkuu- ja metsäkuljetustietojen lähetys, korjurin siivous, ajo siirtoautoon ja sidonta) että siirron päättämistöihin (mm. korjurin irrotus ja ajo pois siirtoautosta).

Korjurin siirtokustannukset olivat keskimäärin 203 €/siirto haastateltujen yrittäjien arvioiden mukaan. Korjuuketjun siirtokustannukset olivat keskimäärin 469 €/siirto/korjuuketju. Näiden lukujen perusteella korjurin siirtokustannukset olivat alle puolet (43 %) korjuuketjun siirtokustannuksista.

Ainespuun korjuuteknologioiden systeemianalyysin perusteella kiinteäkuormatilaisten korjureiden tuottavuuteen vaikuttavat tekijät tunnetaan varsin hyvin. Sen sijaan kääntyvällä kuormatilalla varustettujen korjureiden tuottavuus- ja kustannustarkastelut joudutaan vielä tekemään heikoin perustein etenkin harvennusolosuhteissa.

Suomessa on nykyisin käytössä runsaat sata korjuria, joista yli puolet on pääosin ainespuun korjuussa ja vajaa puolet energiapuun korjuussa. Korjureiden lukumäärä lisääntynee lähitulevaisuudessa selvästi; muutaman vuoden päästä korjureita voi olla aines- ja energiapuunkorjuussa jopa 200–300 Suomessa. Tämän kehityssennusteen taustalla ovat seuraavat tekijät:

- Puunkorjuussa haetaan kustannustehokkuutta sekä leimikko- että koneyrittäystasolla. Korjurilla on selvä kilpailuetu pienialaisilla harvennus- ja päätehakkuilla, saaristometsien hakkuissa, tuulenskaatojen korjuussa sekä siemen- ja suojuspuuhakkuissa. Pienikertymiset ja -runkoiset leimikot on kokonaistaloudellisesti järkevää korjata korjurilla ja vastaavasti isompikertymiset ja -runkoiset korjuukohteet kannattaa ohjata korjuuketjulle ja näin nostaa korjuuketjujen kannattavuutta.
- Hakkuiden rakennemuutos asettaa uusia vaatimuksia korjuukalustolle. Harvennusten ja turvemaiden puunkorjuuvolyymit kasvavat seuraavan kymmenen vuoden aikana. Edellä kuvatut korjuuolot (korjattavan puuston pieni koko ja alhaiset hehtaari- ja leimikkokohtaiset hakkuukertymät) so-

pivat korjurille erinomaisesti. Korjurilla voidaan päästä myös vähempiin ajokertoihin, jolloin ajourapainaukset minimoituvat puunkorjuussa.

- Metsäkoneyrityskentän muuttuessa koneyritysten koko kasvaa ja laajavastuinen urakointi lisääntyy. Muutokset luovat mahdollisuuden erikoiskaluston käyttöön. Tällöin korjurin hankinta korjuuketjujen rinnalle voi olla mielekäs vaihtoehto.

Kun tarkastellaan korjureiden kilpailukykyä, on pidettävä mielessä korjureiden suhteellisen lyhyt kehityskaari. Korjureita on kehitetty aktiivisesti vasta noin kymmenen vuotta. Korjureita sekä niiden työmenetelmiä ja työn organisointia kehittämällä kilpailukykyä on mahdollista edelleen parantaa. Yksi kehityssuunta voi olla korjureiden monikäyttöisyyden lisääminen siten, että samalla peruskoneella tehdään yhdellä käyntikerralla työmaalla useampia työlajeja, jopa 3–4 työlajia. Suuri työlajien lukumäärä ei luonnollisestikaan ole päätarkoitus, vaan keino parantaa toiminnan kannattavuutta.



# 1 JOHDANTO

Korjuri on kone, jolla tehdään sekä puutavaran hakkuu että metsäkuljetus. Korjurit luokitellaan yleisesti kahteen eri ryhmään:

- 1) Korjurit, joissa on korjuukoura. Korjuukouralla voidaan tehdä sekä hakkuu- että metsäkuljetustyö. Pinox 828- ja Valmet 801 Combi -korjurit sekä esimerkiksi ainespuun korjuussa Moipu 400- ja Nisula 400C- ja energiapuun korjuussa Moipu 400E-, Naarva-Koura 1500-25E- ja 1500-40E-, Nisula 280E-, Pinox 220- ja Ponsse EH25 -korjuukourilla varustetut kuormatraktorit ovat tällaisia korjureita.
- 2) Korjurit, joissa käytetään hakkuuseen erillistä hakkuulaitetta ja metsäkuljetukseen erillistä puutavarakouraa. Ponsse Wisent Dual- ja Ponsse Buffalo Dual -korjurit ovat tämältyyppisiä korjureita.

Korjureista on aiemmin käytetty myös muita nimiä, esimerkiksi kombikone, kombi ja yhdistelmäkone. Korjureiden aktiivinen kehitystyö alkoi 1990-luvun lopulla; vuonna 1997 Lillebergin ja Korteniemen tutkimuksessa korjurin havaittiin olevan edullisempi korjuuvaihtoehto kuin hakkuukone-kuormatraktori-korjuuketju, kun leimikon rungon keskikoko oli alle 150 dm<sup>3</sup>. Tämän jälkeen korjureiden tuottavuutta ja kannattavuutta ainespuun korjuussa on tarkasteltu monissa tutkimuksissa (esim. Cederlöf 1997, Hallonborg ym. 1999, 2005, Strömngren 1999, Hallonborg & Nordén 2000, Rieppo & Pekkola 2001, Sirén & Tantt 2001, Wester 2001, Andersson 2002, 2003, Bergkvist ym. 2002, 2003a, Rieppo 2003, von Bodelschwingh & Pausch 2003, Ljungdahl 2004, Nordén ym. 2005, Nuutinen ym. 2006). Lilleberg (1995), Eriksson ja Rytter (2000), Hämäläinen ym. (2001), Kärhä ym. (2006b) sekä Laitila ja Asikainen (2006) ovat tarkastelleet korjurin tuottavuutta ja kannattavuutta myös energiapuun korjuussa.

Tehdyt tutkimukset ovat olleet lähes yksinomaan aikatutkimuksia. Laajoja, pitkän aikavälin seurantatutkimusaineistoja korjureista on kerätty vain kahdessa tutkimuksessa: Sirén ja Aaltio (2003) ainespuun korjuusta ja Kärhä ym. (2006b) energiapuun korjuusta.

Useassa tutkimuksessa (esim. Lilleberg & Korteniemi 1997, Strömngren 1999, Hallonborg & Nordén 2000, Rieppo & Pekkola 2001, Bergkvist ym. 2003b, Rieppo 2003, Talbot ym. 2003, Emer 2005, Hallonborg ym. 2005, Imponen & Poikela 2005, Nordén ym. 2005, Jylhä ym. 2006a, Kärhä ym. 2006b, Väätäinen ym. 2007b) korjuri on arvioitu perinteistä korjuuketjua kustannustehokkaammaksi korjuuvaihtoehdoksi silloin, kun leimikon rungon keskikoko on pieni, hehtaari- ja leimikkokohtainen hakkuukertymä ovat alhaisia ja metsäkuljetusmatka on lyhyt. Pienemmät siirtokustannukset ovat yksi korjurin vahvuus hakkuukoneen ja kuormatraktorin muodostamaan korjuuketjuun verrattuna. Konevalmistajat ovatkin markkinoineet korjureita puolittuvilla siirtokustannuksilla, mutta siirtomatkoja, -aikoja tai -kustannuksia ei kuitenkaan ole raportoitu aiemmissä tutkimuksissa.

Useissa kilpailukykyvertailuissa korjuuketjujen korjuukustannukset on laskettu aiempien aikatutkimusten tuottavuusmallien avulla. Käytettyjen tuot-

tavuustutkimusten tulokset ovat saattaneet olla vanhentuneita korjuuteknologian kehittymisen vuoksi. Siten korjurin kannattavuudesta korjuuketjuun nähden on saattanut muodostua joissakin tutkimuksissa liian myönteinen käsitys.

Nordénin ym. (2005) tutkimus on poikkeus, sillä siinä tutkittiin sekä korjuria että korjuuketjua ainespuun korjuussa samoissa päätehakkuuolosuhteissa. Ponsse Buffalo Dual -korjuri oli edullisempi vaihtoehto kuin korjuuketju, kun hakkuukertymä leimikossa oli alle 770 m<sup>3</sup> (kuorettona 600 m<sup>3</sup>). Tätä isommissa päätehakkuuleimikoissa korjuuketju oli kilpailukykyisempi. Jylhän ym. (2006b) laajassa kirjallisuuskatsauksessa arvioitiin, että korjuri ja korjuuketju ovat kustannuksiltaan hyvin lähellä toisiaan.

Tässä julkaisussa raportoidaan kolmen korjuriosatutkimuksen tulokset, jotka täydentävät korjuritietämystä puutteelliseksi havaituilta osilta. Raportin ensimmäisessä osassa (luku 2) esitellään ainespuukorjureista tehdyn seuranta-tutkimuksen tulokset. Toisessa osassa (luku 3) käsitellään korjureiden siirtomatkoja, -aikoja ja -kustannuksia koneyrittäjien haastattelujen perusteella. Haastattelututkimuksessa kartoitettiin lisäksi, minkälaisilla korjuukohteilla korjureita ja toisaalta korjuuketjuja käytetään sellaisissa yrityksissä, joissa on korjuri. Raportin kolmannessa osassa (luku 4) kootaan yhteen ja analysoidaan aiemmin ainespuun korjuussa tehtyjen korjuritutkimusten tulokset sekä arvioidaan korjurin kilpailukykyä perinteiseen korjuuketjuun verrattuna ainespuun korjuussa.

## 2 AINESPUUKORJUREIDEN SEURANTATUTKIMUS

### 2.1 Aineisto ja menetelmät

#### 2.1.1 Tutkitut korjurit

Ainespuukorjureiden seuranta-tutkimuksessa oli yhteensä viisi korjuria, joista kolme oli Ponsse Wisent Dual- (jatkossa käytetään myös nimeä *Ponsse Dual*) ja kaksi Valmet 801 Combi -korjureita (tässä raportissa käytetään myös *Valmet Combi* -nimeä) (kuvat 1 ja 2). Taulukossa 1 on esitetty tutkitujen korjureiden tekniset tiedot. Kaikki seuranta-tutkimuksessa olleet Ponsse Wisent Dual -korjurit olivat 8-pyöräisiä. Kummassakin Valmet 801 Combi -korjurissa oli kiinteä, lokeroimaton kuormatila.

Ponsse Wisent Dual -korjureilla työskenneltiin Etelä- ja Pohjois-Karjalassa sekä Keski-Pohjanmaalla. Valmet 801 Combi -korjureilla työskenneltiin puolestaan Etelä-Karjalassa ja Pohjois-Pohjanmaalla. Kaksi Ponsse Wisent Dual -korjuria (korjurit 2 ja 3) oli vuosimallia 2004 (taulukko 2). Kolmas seuranta-tutkimuksessa mukana ollut Ponsse Dual (korjuri 1) oli vuosimallia 2003. Toinen seurannassa ollut Valmet 801 Combi (korjuri 4) oli vuosimallia 2002 ja toinen (korjuri 5) vuosimallia 2004. Kaikkien seuranta-tutkimuksessa olleiden korjureiden siirtoihin oli käytettävissä yrityksissä oma siirto-auto.



KUVA 1. Ponsse Wisent Dual -korjuri hakkaamassa pätehakkuukuusikkoa. Kun oli tiedossa, että sankka lumisade on tulossa, kuormatraktori-varustus vaihdettiin korjuriin ja hakattu puutavara pyrittiin kuljettamaan leimikosta varastolle ennen lumisateen alkua. Valokuva: Ponsse Oyj



KUVA 2. Seurantatutkimuksessa ensiharvennuksella Valmet 801 Combi -korjureilla hakattiin yleensä ajouralinja samanaikaisesti välialueiden harvennuksen kanssa. Valtaosa hakatusta puutavarasta kasattiin ajouran varteen. Pienikertymäisiä puutavaralajeja kuormattiin suoraan kuorman pohjakuormaksi. Valokuva: Metsäteho Oy

TAULUKKO 1. Seurantatutkimuksessa olleiden Ponsse Wisent Dual- ja Valmet 801 Combi -korjureiden tekniset perustiedot.

Ominaisuus	Ponsse Wisent Dual (korjurit 1–3)	Valmet 801 Combi (korjuri 4)	Valmet 801 Combi (korjuri 5)
Paino, tonnia	14,8–15,0	19,5	20,0
Kantavuus, tonnia	12,0	12,0	13,0
Moottori	Mercedes Benz OM 904 LA	Sisu Diesel 420 DWRIE	Sisu Diesel 66 EWA
- teho, kW	130	94	140
Nosturi	Ponsse K90DUAL	CRC 15	CRC 15
- ulottuvuus, m	10,0	11,0	11,0
Hakkuulaite / Korjuukoura	Ponsse H53	Valmet 330 DUO	Valmet 330 DUO
- paino, kg	850	800	800
- katkaisuläpimitta, cm	52	48	48

TAULUKKO 2. Seurantatutkimusjaksot, korjatut ainespuumäärät ja leimikoiden rungon keskikoot korjureittain. Mukana ovat ne työmaat, joilta oli käytettävissä leimikkotiedot (ks. taulukko 4).

Korjuri	Merkki ja malli (vuosimalli)	Seurannan		Seurannan kesto, vrk	Korjattu ainespuumäärä, m <sup>3</sup>	Leimikon rungon koko, dm <sup>3</sup>
		alkamis-päivämäärä	päätymis-päivämäärä			
1	Ponsse Wisent Dual (2003)	14.9.2004	6.4.2005	205	8 887	275
2	Ponsse Wisent Dual (2004)	14.9.2004	9.4.2005	208	14 965	230
3	Ponsse Wisent Dual (2004)	30.9.2004	– <sup>1)</sup>	– <sup>1)</sup>	1 083	280
4	Valmet 801 Combi (2002)	29.9.2004	3.5.2005	217	5 023	128
5	Valmet 801 Combi (2004)	14.9.2004	29.11.2004	77	–	–

<sup>1)</sup> Tarkka seurantatutkimuksen kesto ei ole tiedossa tiedonkeruulaitteessa olleen päivämäärä-ongelman vuoksi. Korjuri meni vaihtoon 10.12.2004, mutta seurantatutkimusaineistoa korjurista saatiin luultavasti vain vajaan kuukauden ajalta.

## 2.1.2 Tiedonkeruu

Seurantatutkimusaineisto koottiin Telmu 100 -tiedonkeruulaitteilla, joilla tallennettiin toimenpiteiden kestoajat ja toimenpidetiedot työmaittain ja -vuoroittain. Tutkimuksessa käytetyt toimenpidetiedot olivat:

- Korjurityö:
  - Hakkuu
  - Metsäkuljetus
- Keskeytykset:
  - Koneesta (korjurista) johtuvat
  - Kuljettajasta johtuvat
  - Yhteydenpidosta (esim. puhelut) johtuvat
  - Korjurin siirrot ja
  - Muut keskeytykset.

Leimikkotiedot saatiin puunhankintaorganisaatioista, joille korjureilla urakoitiin. Taulukossa 2 on kuvattu seurantatutkimusjaksot ja korjatut ainespuumäärät korjureittain niiltä korjuukohteilta, joilta leimikkotieto saatiin ja se oli kohdistettavissa. Ponsse Dual -korjureilla korjattu ainespuumäärä oli

yhteensä lähes 25 000 m<sup>3</sup> (taulukko 2). Valmet Combi -korjureilla korjattu puumäärä oli huomattavasti pienempi, runsaat 5 000 m<sup>3</sup>. Seurantatutkimuksessa korjattu ainespuumäärä oli yhteensä lähes 30 000 m<sup>3</sup>.

### 2.1.3 Kuljettajat

Seurantatutkimukseen osallistui yhteensä 11 korjurinkuljettajaa. Taulukossa 3 on kuvattu tutkimuksessa mukana olleiden kuljettajien työkokemus korjurityöstä sekä työkokemus yhteensä metsäkonetyöstä kuljettajan aloittaessa seurantatutkimuksessa. Osaa kuljettajista voidaan luonnehtia kokeneiksi korjurinkuljettajiksi. Toisaalta osa kuljettajista oli melko kokemattomia: neljällä kuljettajalla työkokemus korjureista oli alle vuoden ja työkokemus metsäkonetyöstä alle kolme vuotta (taulukko 3).

TAULUKKO 3. Korjurinkuljettajien työkokemus korjurityöstä ja työkokemus yhteensä metsäkonetyöstä kuljettajan aloittaessa seurantatutkimuksessa.

Korjuri	Kuljettaja	Työkokemus, vuotta	
		Korjurityöstä	Metsäkonetyöstä yhteensä
1	1	1,4	23
	2	0,1	1
	3	1,4	4
2	1	0	13
	2	0	15
3	1	0,4	2
	2	0,4	10
4	1	2,5	17
5	1	2,0	5
	2	0,5	1
	3	0,5	2

### 2.1.4 Työmenetelmät

Seurantatutkimuksessa mukana olleilla Ponsse Dual -korjureilla tehtiin pääsääntöisesti ensiksi korjuukohteen puuston hakkuu, mikä jälkeen korjuri varustettiin puutavaran metsäkuljetukseen ja hakattu puutavara kuljettiin tienvarteen. Kun oli tiedossa, että sankka lumisade on tulossa, kuormatraktori-varustus vaihdettiin korjuriin ja hakattu puutavara pyrittiin kuljettamaan leimikosta varastolle ennen lumisateen alkua. Puutavaran metsäkuljetuksen jälkeen korjuri varustettiin takaisin hakkuuseen ja hakkuutyötä jatkettiin.

Toisella Valmet Combi -korjurilla (korjuri 4) käytettiin harvennuksella lähes yksinomaan työmenetelmää, jossa ajourien väliset alueet harvennettiin etuperin ajaen samanaikaisesti ajouran hakkuun kanssa. Hakattu puutavara kasattiin valtaosin maahan ajouran varteen. Joitakin erikoispuutavaralajeja (esim. parruja) tai pienikertymisiä puutavaralajeja (esim. tukkeja) saatettiin kuormata korjuriin hakkuun yhteydessä. Ajouralinjan hakkuun jälkeen palttaessa takaisin maahan kasattu puutavara kuormattiin korjuriin.

Toisella Valmet Combi -korjurilla (korjuri 5) käytettiin harvennusleimikon ominaisuuksista riippuen pääasiallisesti kahta eri työmenetelmää:

- 1) Ajouran hakkuu ja välialueiden harvennus sekä hakatun puutavaran kuormaus samalla ajokerralla. Tällöin tehtiin U-lenkki, jossa pyrittiin siihen, että kuorma tulisi täyteen mahdollisimman lähellä tienvarsivartoa.
- 2) Kun U-lenkin sijoittaminen leimikkoon oli vaikeaa, käytettiin samaa työmenetelmää kuin korjurilla 4.

Päätihakkuulla Valmet Combi -korjureilla edettiin leimikon reunan suuntaisesti etuperin ajaen ja yhdeltä puolelta hakaten. Pienikertymäisiä puutavaralajeja kuormattiin pohjakuormaksi hakkuun yhteydessä. Hakkuukertymästä ja aikatauluista riippuen joko 1) koko työmaa hakattiin ensiksi ja sitten tehtiin metsäkuljetus tai 2) maahan hakattu puutavara kuljetettiin leimikosta tienvarteen 1–2 päivän välein ja sen jälkeen jatkettiin hakkuutyötä. Suora-kuormausta ei käytetty Valmet Combi -korjureilla päätihakkuulla eikä harvennuksella seurantatutkimuksessa.

### 2.1.5 Korjuuolot

Seurantatutkimuksessa oli mukana yhteensä 92 työmaata, joista 70:stä saatiin leimikkotiedot. Taulukossa 4 on kuvattu seurantatutkimuksessa olleet työmaat korjurimerkeittäin ja taulukossa 5 hakkuu- ja toimintatavoittain.

Valtaosin seurantatutkimustyömailla tehtiin niin sanottua aitoa korjurityötä, eli korjurilla tehtiin työmaalla sekä puutavaran hakkuu että metsäkuljetus (taulukot 4 ja 5). Osalla seurantatyömaista tehtiin vain hakkuu. Vain muutamalla seurantatyömaalla tehtiin vain puutavaran metsäkuljetus. Puuta korjattiin niin harvennuksilta kuin päätihakkuilta (taulukot 4 ja 5). Valmet Combi -korjureilla seurantatutkimusaineisto painottui harvennuksille, mikä näkyi selvästi pienempinä hehtaari- ja leimikkokohtaisina hakkuukertyminä, rungon keskijäreyksinä ja puutavaralajien lukumäärinä kuin Ponsse Dual -korjureilla (taulukot 2 ja 4).

Korjatusta puumäärästä 44 % oli kuusta, 40 % mäntyä ja 16 % lehtipuuta (taulukko 4). Päätihakkuut olivat kuusivaltaisia ja ensiharvennukset mäntyvaltaisia (taulukko 5). Ponsse Dual -korjureilla puolet korjuumäärästä oli kuusta, kun Valmet Combi -korjureilla yli kaksi kolmasosaa oli mäntyä (taulukko 4).

Puutavaralajeja oli keskimäärin 8,4 vaihteluvälin ollessa korjuukohteittain 2–15. Ponsse Dual -korjureilla puutavaralajeja oli työnantajan ilmoituksen mukaan keskimäärin 9,0, eli selvästi enemmän kuin Valmet Combi -korjureilla (taulukko 4). Ponsse Dual -korjureilla puutavaralajien lukumäärä vaihteli välillä 4–15 ja Valmet Combi -korjureilla välillä 2–5. Ensiharvennuksella puutavaralajeja oli keskimäärin 7,0, muulla harvennuksella 8,5 ja päätihakkuulla 9,3 (taulukko 5). Aidossa korjurityössä puutavaralajeja oli keskimäärin 8,1 ja kun korjurilla tehtiin pelkästään hakkuu, oli puutavaralajeja keskimäärin 9,1.

TAULUKKO 4. Seurantatutkimustyömaiden lukumäärä sekä leimikkotiedot korjurimerkeittäin yhteensä ja keskimäärin.

	Ponsse Wisent Dual	Valmet 801 Combi	Yhteensä / Keskimäärin
Työmaita (korjuuolotiedollisia <sup>1</sup> ), kpl	64 (55)	28 (15)	92 (70)
Korjuukohteita toimintatavoittain <sup>2</sup> (korjuuolotiedollisia <sup>1</sup> ), kpl			
- aito korjurityö <sup>3</sup>	35 (33)	20 (15)	55 (48)
- vain hakkuu <sup>4</sup>	33 (26)	10 (1)	43 (27)
- vain metsäkuljetus <sup>5</sup>	4 (2)	0 (0)	4 (2)
Korjuukohteita hakkuutavoittain <sup>2</sup> (korjuuolotiedollisia <sup>1</sup> ), kpl			
- ensiharvennus	18 (13)	9 (6)	27 (19)
- muu harvennus	31 (24)	8 (8)	39 (32)
- päätehakkuu	27 (26)	1 (0)	28 (26)
- muu tai yhdistetty <sup>6</sup>	11 (8)	12 (2)	33 (10)
Kokonaishakkuukertymä, m <sup>3</sup>	24 935	5 023	29 958
Puulajijakauma, %			
- kuusi	50	10	44
- mänty	35	69	40
- lehtipuu	15	21	16
Kokonaispinta-ala, ha	233	132	366
Hakkuukertymä			
- m <sup>3</sup> /leimikko	453	335	428
- m <sup>3</sup> /ha	107	38	82
Puutavaralajien lukumäärä, kpl	9,0	3,7	8,4
Leimikon rungon keskikoko, dm <sup>3</sup>	247	128	226
Poistuman tiheys, r/ha	488	532	440
Metsäkuljetusmatka, m	248	229	245
Lumen määrä, %			
- ei lunta	31	40	32
- alle 20 cm	36	40	37
- 21–40 cm	28	20	27
- 41–60 cm	5	0	4
- yli 60 cm	0	0	0
Alikasvoksen määrä, %			
- ennakkoraivattu	8	0	7
- ei haittaavasti	88	90	89
- jonkin verran haittaavasti	3	10	3
- paljon haittaavasti	1	0	1
Maasto, %			
- normaali	87	100	89
- normaalia vaikeampi	10	0	9
- vaikea	3	0	2

<sup>1</sup>) Työmaat, joilta saatiin leimikkotiedot, esim. leimikon rungon keskikoko, hakkuukertymä, pinta-ala, metsäkuljetusmatka.

<sup>2</sup>) Samalla työmaalla voi olla useampaa toiminta- ja hakkuutapaa, joten korjuukohteita voi olla enemmän kuin työmaita.

<sup>3</sup>) Korjurilla tehty sekä hakkuu että metsäkuljetus.

<sup>4</sup>) Korjurilla tehty vain hakkuu.

<sup>5</sup>) Korjurilla tehty vain metsäkuljetus.

<sup>6</sup>) Muu hakkuutapa tai työmaan eri lohkojen hakkuutapoja jouduttu yhdistämään.

TAULUKKO 5. Seurantatutkimuskorjuukohteiden lukumäärä sekä leimikkotiedot hakkuu- ja toimintatavoittain. Selitteet samat kuin taulukossa 4.

	Hakkuutapa				Toimintatapa		
	Ensiharvennus	Muu harvennus	Päätihakkuu	Muu tai yhdistetty	Aito korjuri-työ	Vain hakkuu	Vain metsäkuljetus
Kohteita (korjuuolotiedollisia), kpl	29 (21)	41 (34)	29 (27)	23 (10)	67 (59)	49 (31)	6 (2)
Kohteita korjureittain (korjuuolotiedollisia), kpl							
- Ponsse Wisent Dual	20 (15)	32 (25)	28 (27)	11 (8)	46 (43)	39 (30)	6 (2)
- Valmet 801 Combi	9 (6)	9 (9)	1 (0)	12 (2)	21 (16)	10 (1)	0 (0)
Kokonaishakkuukertymä, m <sup>3</sup>	4 182	13 027	9 602	3 147	20 629	8 993	336
Puulajijakauma, %							
- kuusi	26	45	55	29	39	53	73
- mänty	58	37	32	51	43	34	23
- lehtipuu	16	18	13	20	18	13	4
Kokonaispinta-ala, ha	93	183	56	35	279	83	4
Hakkuukertymä							
- m <sup>3</sup> /leimikko	199	383	356	315	350	290	168
- m <sup>3</sup> /ha	45	71	173	91	74	109	82
Puutavaralajien lukumäärä, kpl	7,0	8,5	9,3	8,4	8,1	9,1	7,5
Leimikon rungon keskikoko, dm <sup>3</sup>	97	177	358	326	230	221	168
Poistuman tiheys, r/ha	465	504	620	270	460	661	-
Metsäkuljetusmatka, m	282	263	206	206	242	255	187
Lumen määrä, %							
- ei lunta	9	26	46	67	25	42	100
- alle 20 cm	45	32	43	11	51	13	0
- 21–40 cm	32	39	11	22	19	42	0
- 41–60 cm	14	3	0	0	5	3	0
- yli 60 cm	0	0	0	0	0	0	0
Alikasvoksen määrä, %							
- ennakkoraivattu	0	3	18	0	7	6	0
- ei haittaavasti	90	94	78	100	86	94	100
- jonkin verran haittaavasti	5	3	4	0	5	0	0
- paljon haittaavasti	5	0	0	0	2	0	0
Maasto, %							
- normaali	77	94	93	89	94	81	50
- normaalia vaikeampi	18	6	4	11	4	19	0
- vaikea	5	0	4	0	2	0	50

Seurantatyömaista lähes kolmannes korjattiin lumettomana aikana (taulukko 4). Valmet Combi -korjureilla oli jonkin verran enemmän lumettoman tai vähälumisen (lumen paksuus alle 20 cm) maan korjuukohteita kuin Ponsse Dual -korjureilla. Ensiharvennuksella oli vähemmän lumettoman tai vähälumisen ajan kohteita kuin muulla harvennuksella ja päätihakkuulla (taulukko 5).

Korjuukohteista 7 % oli ennakkoraivattu (taulukko 4). Nämä kohteet olivat pääasiassa päätihakkuita. Ensiharvennuksikohteita ei ilmoitettu ennakkoraivatuiksi (taulukko 5). Korjuukohteista 89 %:ssa alikasvosta ei työntäjän ilmoitusten mukaan ollut haittaavasti. Korjuukohteista vain 4 %:ssa korjuutyötä haittaavaa alikasvosta oli jonkin verran tai paljon. Valmet Combi -korjureiden työmaita ei oltu ennakkoraivattu lainkaan, ja jonkin verran korjuutyötä haittaavaa alikasvosta oli 10 %:lla korjuukohteista. Ponsse Dual



-korjureilla alikasvosta oli jonkin verran tai paljon korjuutyötä haittaavasti 4 %:lla korjuukohteista (taulukko 4).

Maasto pyydettiin luokittelemaan seuraavasti: normaali, normaalia vaikeampi ja vaikea. Kaikista korjuukohteista maasto ilmoitettiin normaaliksi 89 %:ssa tapauksista (taulukko 4). Ponsse Dual -korjureilla maasto oli normaali 87 %:lla työmaista. Valmet Combi -korjureilla kaikkien työmaiden maasto oli normaali. Korjuukohteista 2 % määritettiin maastoltaan vaikeiksi. Ensiharvennuksella normaalia vaikeampien ja vaikeiden maastojen osuus oli 23 %, kun muulla harvennuksella osuus oli vain 6 % ja päätehakkuulla 8 % (taulukko 5).

## 2.1.6 Kustannuslaskenta

Tutkimuksessa käyttötuntikustannuslaskelmat tehtiin kahdelle erihintaiselle korjurille (korjuri I ja korjuri II) sekä korjuuketjulle, jossa oli harvennuskoone (paino 13–15 tonnia; esim. John Deere 1070D, Ponsse Beaver, Valmet 901) ja keskiraskas kuormatraktori (paino 12–15 tonnia, kantavuus 10–12 tonnia; esim. John Deere 1110D, Ponsse Wisent, Valmet 840). Taulukkoon 6 on koottu kustannuslaskelmissa käytetyt koneiden arvonlisäverottomat hankintahinnat. Kaikilla koneilla vuosittaiset työtunnit vakioitiin 2 574 käyttötunniksi. Taulukossa 6 on esitetty myös laskelmissa käytetyt keskimääräiset tuottavuudet harvennuksilla ja päätehakkuilla sekä vuotuiset työmäärät koneilla. Harvennusten osuus kullakin koneyksiköllä oli 40 %. Hakkuukoneen käyttöaste oli 80 % ja kuormatraktorin käyttöaste 85 %. Korjureilla käyttöaste oli 83 %.

TAULUKKO 6. Koneiden kustannuslaskelmissa käytetyt hankintahinnat, käyttötuntituottavuudet, vuosisuoritteet ja lasketut käyttötuntikustannukset.

Kone	Hankintahinta, € (alv. 0 %)	Tuottavuus, m <sup>3</sup> /käyttötunti		Vuotuinen työmäärä, m <sup>3</sup>	Käyttötuntikustannukset, €/h
		Harvennus	Päätehakkuu		
Korjuri					
- I	288 000	6,1	7,7	17 939	73
- II	388 000	6,1	7,7	17 939	82
Korjuuketju					
- hakkuukone	279 000	8,5	18,0	32 015	79
- kuormatraktori	187 000	11,0	15,0	33 657	57

Hakkuukoneen pitoaikana käytettiin 4,7 vuotta, kuormatraktorin pitoaikana 5,2 vuotta ja korjureiden pitoaikana 4,8 vuotta. Korkoprosentti oli 4,2 %. Hakkuukoneen ja korjureiden kuljettajan urakkapalkkana käytettiin 11,05 €/h, kuormatraktorin kuljettajan urakkapalkkana 10,27 €/h ja palkkojen sivukuluina 65,2 %. Hakkuukoneen ja korjureiden vakuutusmaksut olivat

2 564 €/v ja hallinto- ja ylläpitokustannukset 6 800 €/v. Kuormatraktorilla vastaavat kustannuserät olivat 1 710 €/v ja 4 533 €/v.

Kaikkien koneiden polttoaineen kulutuksena käytettiin 11,0 l/käyttötunti. Hakkuukoneella laippa-, teräketju- ja -öljykustannusten oletettiin olevan 4,03 €/käyttötunti ja korjureilla 2,21 €/käyttötunti. Korjaus- ja huoltokulujen arvioitiin olevan 10,63 €/käyttötunti hakkuukoneella, 7,81 €/käyttötunti kuormatraktorilla ja 9,69 €/käyttötunti korjureilla. Korjuukohteen keskikoon oletettiin olevan 450 m<sup>3</sup>/leimikko, ja siirtokustannukset olivat 2,09 €/km.

Edellä esitetyillä lähtöarvoilla hakkuukoneen käyttötuntikustannukset olivat 79 €/h ja kuormatraktorin 57 €/h. Korjurilla I käyttötuntikustannukset olivat 73 €/h ja 82 €/h korjurilla II (taulukko 6).

Korjureilla I ja II korjatun harvennuspuun korjuukustannuksia verrattiin korjuuketjun kustannuksiin. Korjuuketjulla harvennuspuun hakkuun ja metsäkuljetuksen tehotuntuottavuudet laskettiin Kärhän ym. (2006a) tutkimuksen ajanmenekkimalleilla. Työmaalla oletettiin olevan 500 kuusialikasvosrunkoa hehtaarilla. Kuusialikasvosken keskipituudeksi oletettiin 2 m. Metsäkuljetuksessa kuormakoko oli 11,0 m<sup>3</sup>. Liitteessä 1 on kuvattu hakkuun ja metsäkuljetuksen käyttötuntuottavuudet korjuuketjulla.

## 2.2 Tulokset

### 2.2.1 Käyttöasteet ja keskeytykset

Seurantatutkimuksessa korjureiden tekninen käyttöaste (ks. Haarlaa ym. 1984) oli keskimäärin 88,1 % (taulukko 7). Ponsse Dual -korjureilla tekninen käyttöaste oli keskimäärin 88,5 % ja Valmet Combi -korjureilla 87,1 %. Vastaavasti toiminnallinen käyttöaste seurantatutkimuksessa oli keskimäärin 82,6 % (taulukko 8). Ponsse Dual -korjureilla toiminnallinen käyttöaste oli 84,5 % ja Valmet Combi -korjureilla 77,2 %. Valmet Combi -korjureiden käyttöastetta alensi korjurile 4 kirjattu viikon korjaamo aika.

TAULUKKO 7. Seurantatutkimuksessa mukana olleiden korjureiden tekninen käyttöaste aidossa korjurityössä, pelkässä hakkuussa ja metsäkuljetuksessa sekä keskimäärin.

Toimintatapa	Ponsse Wisent Dual	Valmet 801 Combi	Keskimäärin
	Tekninen käyttöaste, % (Työaika, h)		
Aito korjurityö	89,0 (2 789)	86,7 (1 253)	88,3 (4 042)
Hakkuu	86,8 (1 247)	89,5 (215)	87,2 (1 462)
Metsäkuljetus	99,0 (82)	-	99,0 (82)
Keskimäärin	88,5 (4 118)	87,1 <sup>1</sup> (1 468)	88,1 (5 586)

<sup>1</sup>) Ilman viikon (40 h) korjaamo aikaa 90,2 %.

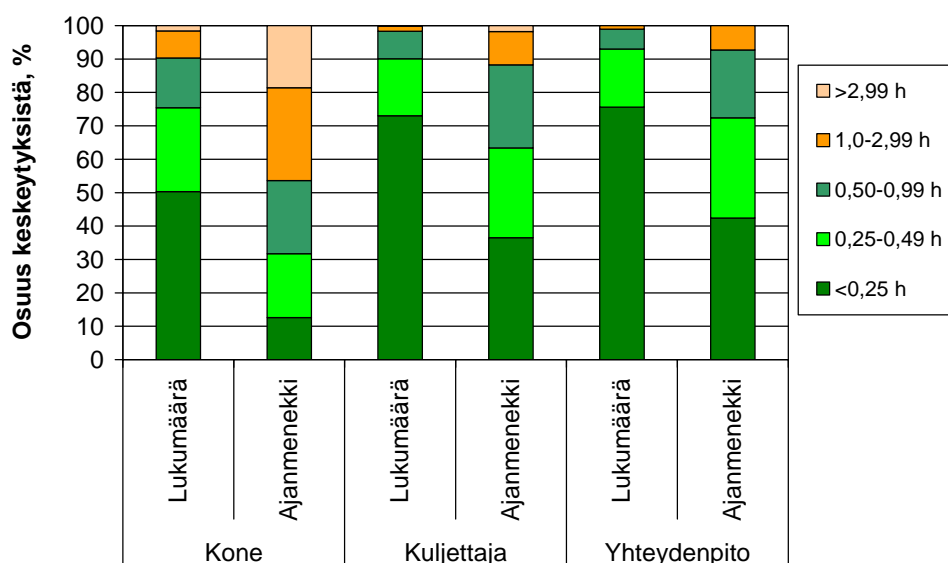
TAULUKKO 8. Korjuren toiminnallinen käyttöaste aidossa korjurityössä, pelkässä hakkuussa ja metsäkuljetuksessa sekä keskimäärin.

Toimintatapa	Ponsse Wisent Dual	Valmet 801 Combi	Keskimäärin
	Toiminnallinen käyttöaste, %		
Aito korjurityö	85,0	76,6	82,4
Hakkuu	82,8	80,7	82,5
Metsäkuljetus	92,1	-	92,1
Keskimäärin	84,5	77,2 <sup>1</sup>	82,6

<sup>1)</sup> Ilman viikon (40 h) korjaamoaikaa 80,0 %.

Seurantatutkimuksessa korjurista johtuneita keskeytyksiä kirjattiin yhteensä 1 547 kpl, joista puolet kesti alle 15 minuuttia (kuva 3). Korjuren johtuneista keskeytyksistä 1,6 % oli pitkiä, yli kolme tuntia kestäviä, mutta niiden osuus oli lähes viidennes ajanmenekistä (kuva 3). Vastaavasti kuljettajasta johtuvia keskeytyksiä oli kaikkiaan 1 152 kpl, joista lähes kolme neljäsosaa kesti alle 15 minuuttia. Myös yhteydenpitoon liittyvistä keskeytyksistä (mm. puhelut sekä urakanantajan, metsäomistajan ja muiden henkilöiden vierailut työmaalla, yhteensä 471 kpl) kolmessa neljästä keskeytys kesti alle 15 minuuttia.

Konekeskeytysten pituudet olivat Ponsse Dual- ja Valmet Combi -korjureilla keskimäärin yhtä pitkiä (taulukko 9). Sen sijaan kuljettajasta ja yhteydenpidosta johtuneet keskeytykset olivat Valmet Combi -korjureilla pidempiä kuin Ponsse Dual -korjureilla (taulukko 9). Keskeytysväli Ponsse Dual -korjureilla oli keskimäärin 1,89 tuntia ja Valmet Combi -korjureilla 1,46 tuntia. Koko seurantatutkimusaineistossa keskeytysväli oli keskimäärin 1,75 tuntia.



KUVA 3. Koneesta (korjurista), kuljettajasta ja yhteydenpidosta johtuneiden keskeytysten jakaumat lukumäärän ja ajanmenekin suhteen seurantatutkimuksessa.

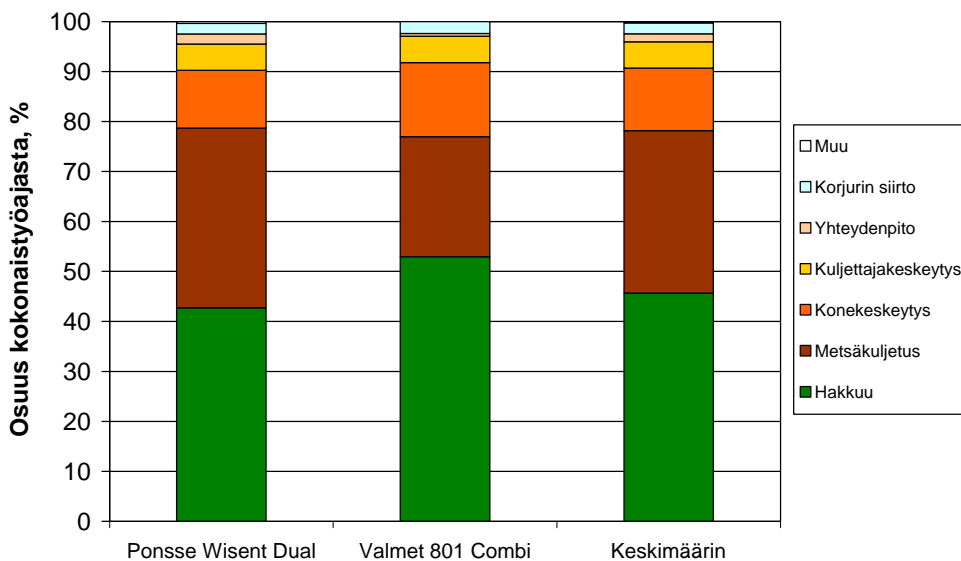
TAULUKKO 9. Koneesta, kuljettajasta ja yhteydenpidosta johtuneiden keskeytysten keskimääräiset kestot seurantatutkimuksessa.

Keskeytyksen syy	Ponsse Wisent Dual	Valmet 801 Combi	Keskimäärin
	Keskeytyksen kesto, h		
Kone	0,46	0,45	0,46
Kuljettaja	0,15	0,29	0,22
Yhteydenpito	0,19	0,30	0,19
Keskimäärin	0,32	0,36	0,33

### 2.2.2 Työajan rakenne

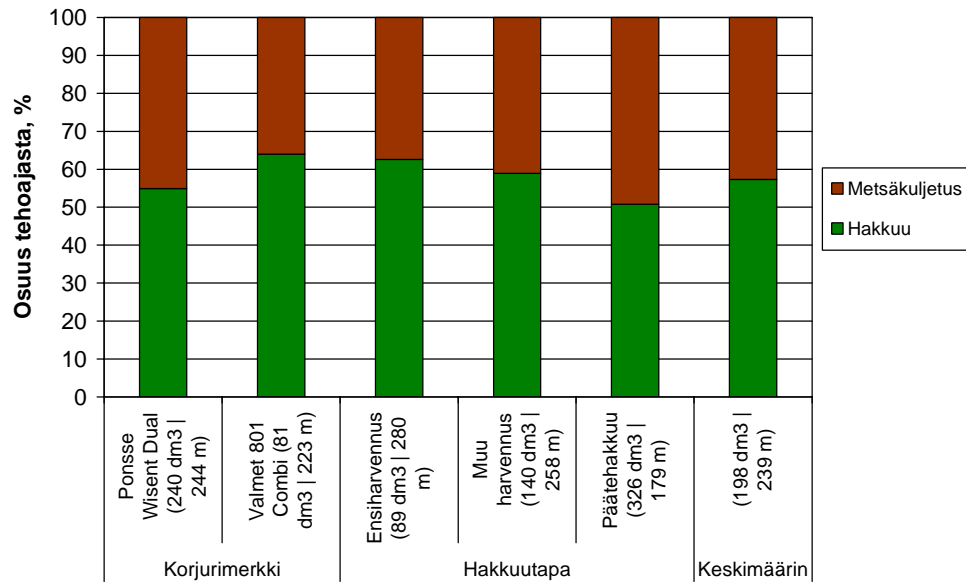
Aidossa korjurityössä (sekä hakkuu että metsäkuljetus korjurilla) kuljettajasta johtuvien keskeytysten osuus Valmet Combi -korjureilla oli keskimäärin 11,9 % kokonaistyöajasta. Ponsse Dual -korjureilla kuljettajasta johtuvien keskeytysten osuus oli ainoastaan 2,3 %.

Korjurimerkkien välistä ajanmenekkivertailua varten kuljettajasta johtuvien keskeytysten osuus tasoitettiin siten, että molemmilla korjurimerkeillä käytettiin kaikkien korjureiden keskimääräistä kuljettajakeskeytysten osuutta, joka oli 5,3 % (kuva 4). Kuvasta 4 havaitaan, että varsinaisen tuottavan korjurityön, eli hakkuun ja metsäkuljetuksen, osuus kokonaistyöajanmenekistä Ponsse Dual- ja Valmet Combi -korjureilla oli lähes 80 %. Valmet Combi -korjureilla hakkuun osuus oli yli 50 % kokonaistyöajasta, kun se Ponsse Dual -korjureilla oli 43 %. Ero selittyy sillä, että Valmet Combi -korjureilla oli runsaasti ensiharvennuksia (taulukko 5). Ponsse Dual -korjureilla oli runsaasti myös muita harvennuksia ja päätehakkuita. Lisäksi kuva 4 osoittaa, että Valmet Combi -korjureilla oli jonkin verran enemmän konekeskeytyksiä kuin Ponsse Dual -korjureilla. Tämä johtui siitä, että Valmet Combi -korjureilla oli yksi viikon pituinen korjaamo-aika.



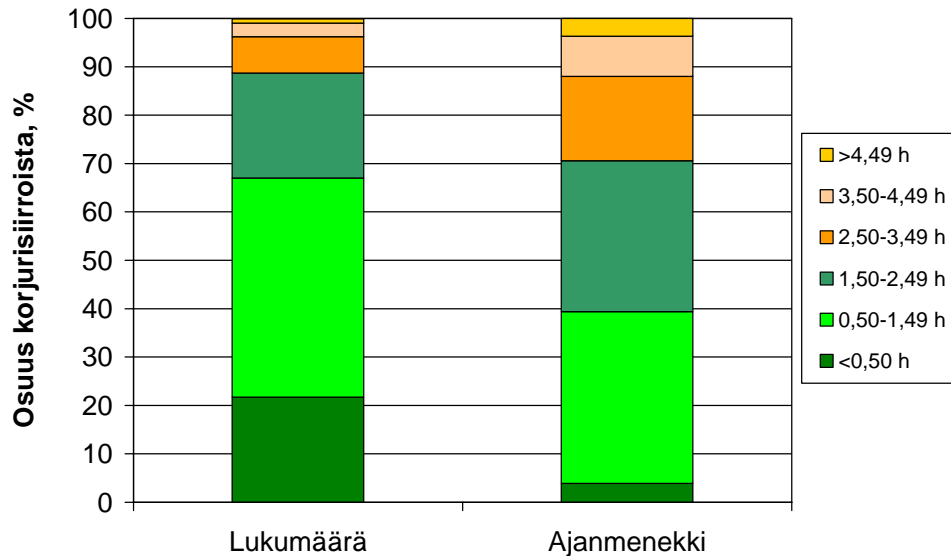
KUVA 4. Kokonaistyöajan rakenne aidossa korjurityössä seurantatutkimuksessa korjurimerkeittäin ja keskimäärin. Kuljettajakeskeytykset on tasoitettu korjurimerkeittäin (5,3 % kokonaistyöajasta).

Aidossa korjurityössä Ponsse Dual -korjureilla käytettiin hakkuuseen keskimäärin 55 % tehoajasta ja metsäkuljetukseen 45 % (kuva 5). Vastaavasti Valmet Combi -korjureilla hakkuuseen kului keskimäärin 64 % ja metsäkuljetukseen 36 % tehoajasta. Koko seurantatutkimusaineistossa hakkuuseen käytettiin keskimäärin 57 % ja metsäkuljetukseen 43 % tehoajasta (kuva 5). Ensiharvennuksella hakkuu vei keskimäärin 63 % ja metsäkuljetus 37 % tehoyöajasta. Päätehakuulla tehoyöaika jakautui lähes tasan hakkuun ja metsäkuljetuksen kesken (kuva 5).



KUVA 5. Tehoyöajan rakenne aidossa korjurityössä konemerkeittäin, hakkuutavoittain ja keskimäärin seurantatutkimusaineistossa. Suluissa leimikon rungon keskikoko ja metsäkuljetusmatka keskimäärin niillä työmailla, joilta oli saatavissa korjuuolotiedot.

Työmaiden välisten siirtojen osuus koko seurantatutkimusaineistossa oli 2,5 % kokonaistehoyöajasta. Valtaosa korjurisiirroista kesti 0,5–1,5 tuntia/siirto (kuva 6). Tehollinen siirtoaika oli keskimäärin 1,33 tuntia/siirto. Ponsse Dual -korjureilla siirtoaika oli keskimäärin 1,29 ja Valmet Combi -korjurilla 1,48 tuntia/siirto. Siirtomatkoja ei seurantatutkimuksessa rekisteröity.



KUVA 6. Työmaiden välisten korjurisiirtojen tehollisen ajankäytön jakauma siirtojen lukumäärän ja ajanmenekin suhteen seurantalutkimuksessa.

Korjurinkuljettajien työvuorojen pituudet olivat keskimäärin 7,9 tuntia. Ponsse Dual -korjuren kuljettajilla työvuoron pituus oli keskimäärin 7,8 ja Valmet Combi -korjuren kuljettajilla 8,2 tuntia. Ponsse Dual -korjureilla työskenneltiin pääosin kahdessa työvuorossa ja Valmet Combi -korjureilla (korjurilla 4) yhdessä työvuorossa. Kaikilla korjureilla tehtiin joitakin lyhyitä, alle neljän tunnin työvuoroja. Valmet Combi -korjureilla niitä oli 1,7 % ja Ponsse Dual -korjureilla 4,7 % kaikista työvuoroista. Yli 12 tunnin työvuoroja oli Ponsse Dual -korjureilla 3,5 % ja Valmet Combi -korjureilla 0,6 % kaikista työvuoroista. Työmaata kohti tehtiin Ponsse Dual -korjureilla keskimäärin 8,6 työvuoroa (vaihteluväli: 1–53) ja Valmet Combi -korjureilla 6,1 työvuoroa (vaihteluväli: 1–20).

### 2.2.3 Tuottavuus ja siihen vaikuttavat tekijät

Aidossa korjurityössä seurantalutkimuksessa käyttötuntituottavuus ensiharvennuksella oli keskimäärin 5,1 m<sup>3</sup>/h, muulla harvennuksella 6,4 m<sup>3</sup>/h ja päätehakkuulla 7,7 m<sup>3</sup>/h (taulukko 10). Käyttötuntituottavuus saatiin, kun ”teholliseen” korjurityöhön lisättiin tiedonkeruulaitteen rekisteröimät lyhyet, alle 15 min keskeytykset. Käyttötuntituottavuustietoa saatiin Valmet Combi -korjureilta vain korjurista 4.

TAULUKKO 10. Käyttötuntituottavuus seurantatutkimuksessa aidossa korjurityössä ja hakkuussa korjurimerkeittäin ja keskimäärin niillä työmailla, joiden leimikkotiedot olivat käytettävissä.

	Ponsse Wisent Dual	Valmet 801 Combi	Keskimäärin
Käyttötuntituottavuus, m <sup>3</sup> /h (Työmaiden lukumäärä, kpl)			
Aito korjurityö			
- ensiharvennus	4,6 (9)	6,1 (5)	5,1 (14)
- muu harvennus	6,7 (9)	5,9 (7)	6,4 (16)
- päätehakkuu	7,7 (15)	–	7,7 (15)
Hakkuu			
- ensiharvennus	5,1 (5)	–	5,1 (5)
- muu harvennus	10,1 (10)	–	10,1 (10)
- päätehakkuu	13,5 (7)	–	13,5 (7)

Ensiharvennuksella käyttötuntituottavuus Valmet Combi -korjurilla keskimäärin 1,5 m<sup>3</sup>/h suurempi kuin Ponsse Dual -korjureilla (taulukko 10). Vastaavasti myöhemmillä harvennuksilla käyttötuntituottavuus Ponsse Dual -korjureilla oli keskimäärin 0,8 m<sup>3</sup>/h suurempi kuin Valmet Combi -korjurilla. Taulukossa 10 on esitetty myös Ponsse Dual -korjureiden käyttötuntituottavuus pelkässä hakkuutyössä.

Korjuuolosuhteiden (leimikon rungon keskikoko, hehtaarikohtainen ainespuukertymä, poistuman tiheys, metsäkuljetusmatka ja puutavaralajien lukumäärä) vaikutusta aidon korjurityön käyttötuntituottavuuteen tarkasteltiin regressioanalyysillä. Valmet Combi- ja Ponsse Dual -korjureiden työmaakohtaiset käyttötuntituottavuudet yhdistettiin mallinnusta varten. Parhaiten harvennuksilla (ensiharvennukset ja muut harvennukset) aidon korjurityön käyttötuntituottavuutta selitti leimikon rungon keskikoko (kaava 1). Myös metsäkuljetusmatka, ainespuukertymä ja poistuman tiheys vaikuttivat korjuutyön käyttötuntituottavuuteen (liite 2). Puutavaralajien lukumäärällä ei sen sijaan ollut merkittävää vaikutusta käyttötuntituottavuuteen aidossa korjurityössä (liite 2).

$$y = -1,877 + 1,641 \times \text{LN}(x) \quad [1]$$

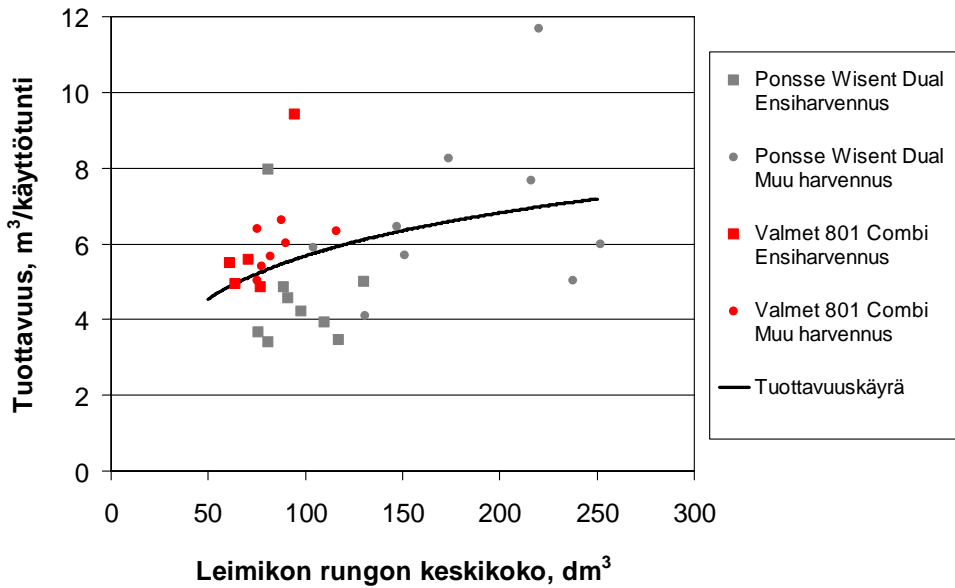
missä

$$y = \text{käyttötuntituottavuus aidossa korjurityössä, m}^3/\text{h}$$

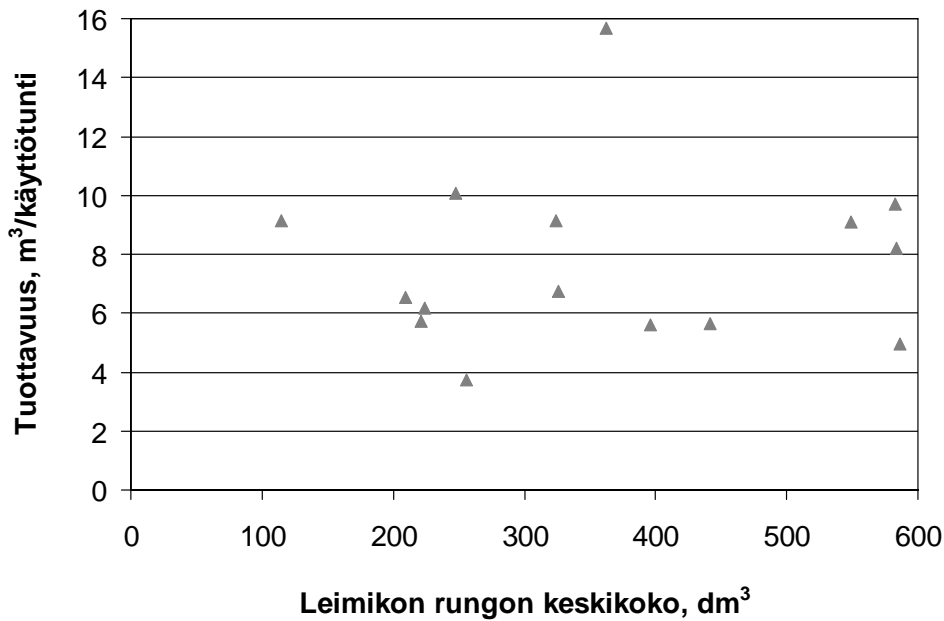
$$x = \text{leimikon rungon keskikoko, dm}^3$$

$$R^2 = 0,13$$

Kuvassa 7 on esitetty leimikon rungon keskikoon vaikutus tuottavuuteen aidossa korjurityössä harvennuksella. Leimikon rungon keskijäreyden ollessa 100 dm<sup>3</sup> käyttötuntituottavuus oli 5,7 m<sup>3</sup>/h. Käyttötuntituottavuus oli 6,8 m<sup>3</sup>/h, kun leimikon rungon keskikoko oli 200 dm<sup>3</sup>. Kuvassa 8 on esitetty Ponsse Wisent Dual -korjureiden käyttötuntituottavuus työmaittain päätehakkuulla aidossa korjurityössä. Korjuutyön tuottavuus päätehakkuulla vaihteli seurantatutkimuksessa huomattavasti.



KUVA 7. Käyttötuntituottavuus aidossa korjurityössä harvennuksella työmaittain sekä laskettu tuottavuuskäyrä (kaava 1) leimikon rungon keskikoon suhteen.

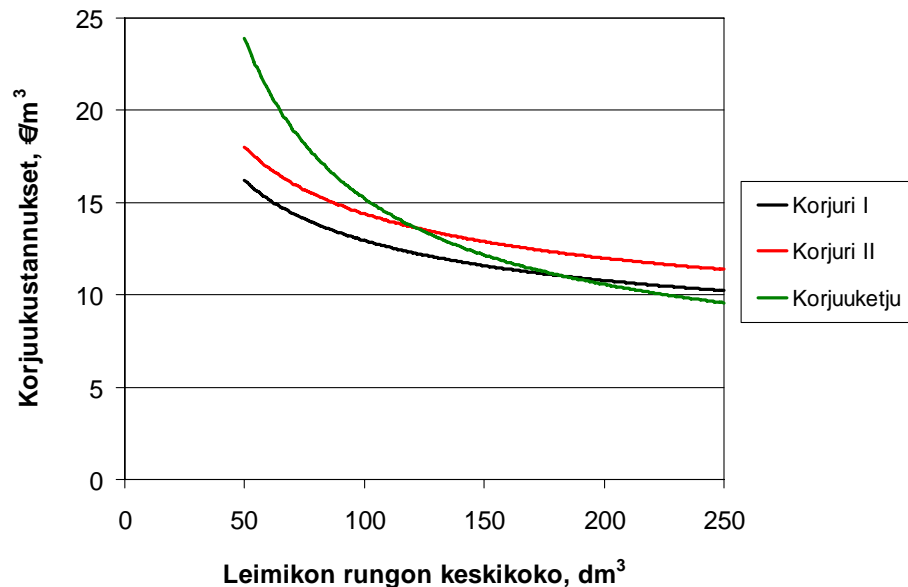


KUVA 8. Käyttötuntituottavuus aidossa korjurityössä päätehakuulla työmaittain Ponsse Wisent Dual -korjureilla leimikon rungon keskikoon suhteen.



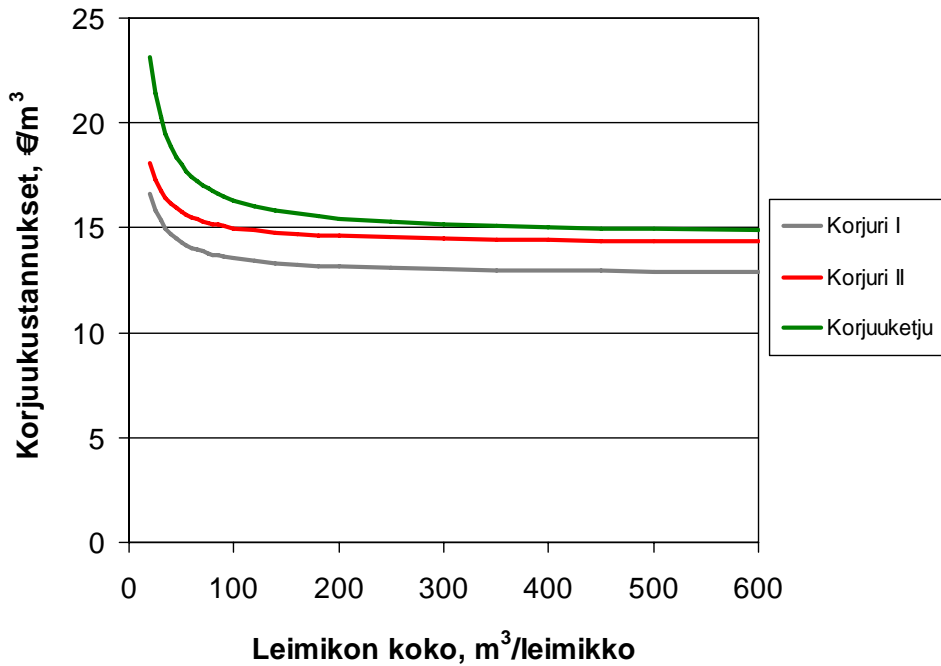
## 2.2.4 Korjuukustannukset

Kuvissa 9–11 on esitetty harvennuspuun korjuukustannukset korjureilla I ja II sekä korjuuketjulla. Korjurit olivat erityisen kilpailukykyisiä korjuuketjuun verrattuna, kun leimikon rungon keskijäreys oli suhteellisen pieni (alle 120–180 dm<sup>3</sup>) (kuva 9). Korjuukustannukset olivat harvennuspuun korjuussa 1,1–1,8 €/m<sup>3</sup> pienemmät hankintahinnaltaan 100 000 € edullisemmalla korjurilla I (kuva 9).

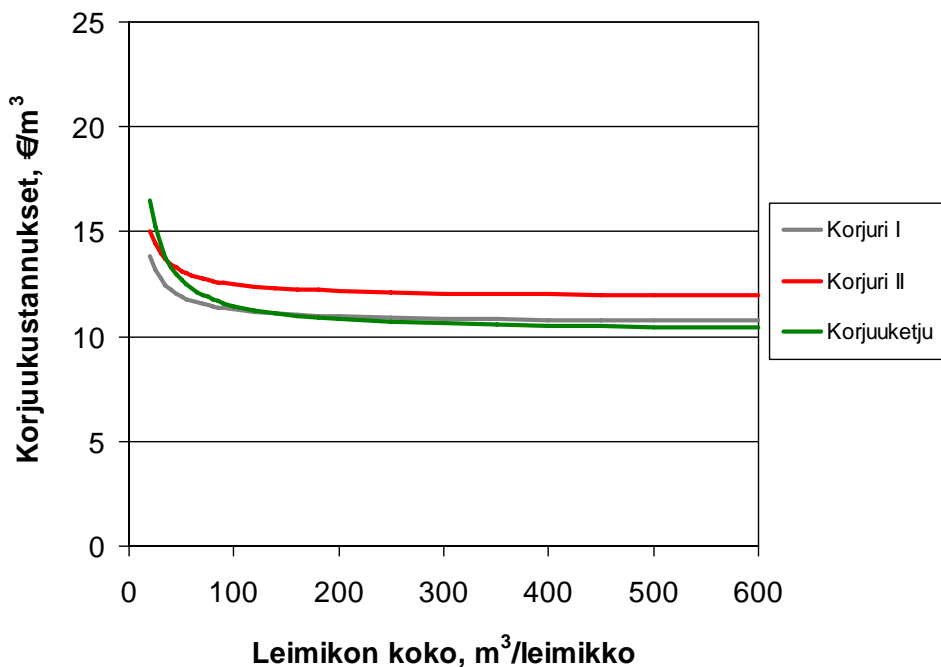


KUVA 9. Leimikon rungon keskikoon vaikutus harvennuspuun korjuukustannuksiin korjureilla I ja II sekä korjuuketjulla. Korjurin II hankintahinta 100 000 € korkeampi kuin korjurin I (taulukko 6). Korjureiden käyttötuntituottavuus laskettu kaavalla 1. Hakkuun ja metsäkuljetuksen yksikkökustannukset korjuuketjulle on laskettu liitteessä 1 esitetyillä käyttötuntituottavuuksilla. Ainespuukertymä kasvoi 36 m<sup>3</sup>:stä/ha (leimikon rungon keskikoko 50 dm<sup>3</sup>) 81 m<sup>3</sup>:iin/ha (250 dm<sup>3</sup>) (liite 3) ja metsäkuljetusmatka oli 250 m.

Tulokset osoittivat myös, että korjuri on sitä kannattavampi korjuuvaihtoehto, mitä pienempi on leimikkokohtainen ainespuukertymä. Leimikon rungon keskijäreydellä 100 dm<sup>3</sup> korjurit I ja II olivat kilpailukykyisempiä kuin korjuuketju, kun leimikon koko oli alle 600 m<sup>3</sup>. Leimikon rungon keskikoolla 200 dm<sup>3</sup> korjuri II oli kustannustehokkaampi kuin korjuuketju, kun leimikon koko oli alle 40 m<sup>3</sup>, ja korjuri I, kun leimikon koko oli alle 140 m<sup>3</sup> (kuvat 10 ja 11).



KUVA 10. Leimikon koon vaikutus harvennuspuun korjuukustannuksiin korjureilla I ja II sekä korjuuketjulla. Korjurin II hankintahinta 100 000 € korkeampi kuin korjurin I. Leimikon rungon keskikoko 100 dm<sup>3</sup> (ainespuupuukertymä 51 m<sup>3</sup>/ha) ja metsäkuljetusmatka 250 m.



KUVA 11. Leimikon koon vaikutus harvennuspuun korjuukustannuksiin korjureilla I ja II sekä korjuuketjulla. Leimikon rungon keskikoko 200 dm<sup>3</sup> (ainespuupuukertymä 72 m<sup>3</sup>/ha) ja metsäkuljetusmatka 250 m.

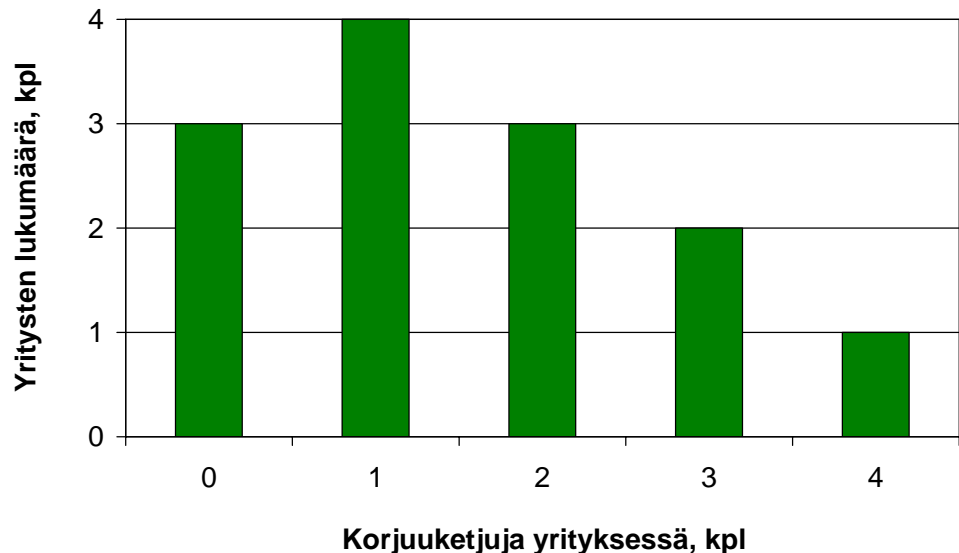
### 3 KORJUOLOLOT JA KONESIIRROT KORJUREILLA

#### 3.1 Aineisto ja menetelmät

Aineisto tutkimukseen kerättiin haastattelemalla metsäkoneyrittäjiä, joiden yrityksissä oli käytössä yksi tai useampi korjuri. Yrittäjien yhteystiedot saatiin konevalmistajilta (Partek Forest Oy Ab, Ponsse Oyj ja S. Pinomäki Ky). Tutkimusta varten haastateltiin puhelimitse 13 metsäkoneyrittäjää huhtikuussa 2003. Haastattelujen lisäksi tutkittiin yhden Valmet 801 Combi- ja yhden Pika 828 Combi -korjurin (tässä raportissa käytetään myös nimeä *Pika Combi*) konesiirron ajanmenekkiä lokakuussa 2003 ja tammikuussa 2004.

Valtaosin yrityksissä oli vain yksi korjuri. Yhdessä yrityksessä oli kaksi korjuria ja yhdessä yrityksessä kolme korjuria. Haastatelluilla yrittäjillä oli yhteensä 16 korjuria, joista kuusi oli Valmet 801 Combi-, kolme Pika 828 Combi-, yksi Pika 728 Combi- ja kaksi Ponsse Buffalo Dual -korjuria. Lisäksi yrittäjillä oli käytössä neljä kuormatraktoripohjaista korjuria. Kahdella korjurilla 16:sta korjattiin pääosin energiapuuta ja lopuilla ainespuuta. Hakkuukoneita haastatelluilla yrittäjillä oli yhteensä 22 kappaletta ja kuormatraktoreita yhteensä 20 kappaletta.

Kahdessa yrityksessä korjuri oli ainoa metsäkone ja yhdessä yrityksessä oli korjurin lisäksi hakkuukone. Useimmiten yrityksissä oli korjurin lisäksi 1–3 korjuuketjua (kuva 12). Korjuri oli ollut yrityksessä keskimäärin 1,4 vuotta. Puolessa yrityksistä korjuri oli ollut alle vuoden. Yli kaksi vuotta korjuri oli ollut kolmessa yrityksessä.



KUVA 12. Korjuuketjujen lukumäärä haastattelututkimuksessa mukana olleissa metsäkoneyrityksissä, joissa oli käytössä korjuri tai korjureita.

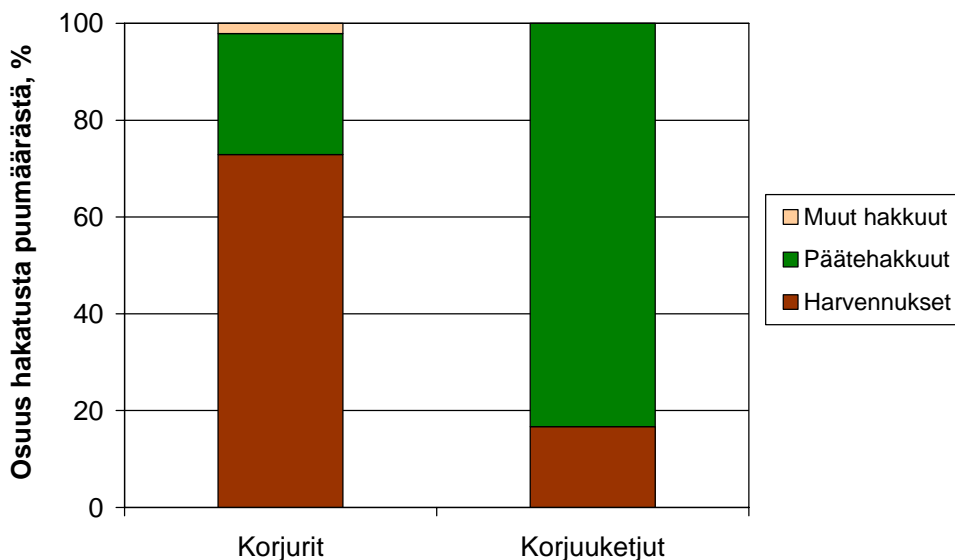
Mikäli korjuri oli ollut yrityksessä alle vuoden, yrittäjää pyydettiin arvioimaan korjurinsa vuotuinen käyttötuntimäärä. Kaikkien haastateltujen yrittäjien korjureiden keskimääräinen käyttöaika oli 2 780 tuntia/vuosi. Yli vuoden korjurilla urakoineet yrittäjät ilmoittivat korjurinsa käyttöajaksi keskimäärin 2 740 tuntia/vuosi. Korjaamopäiviä korjureilla oli ollut keskimäärin 1,9 päivää kuukaudessa. Seisokkeja oli ollut keskimäärin 5,6 viikkoa/vuosi.

Hakkuukoneiden käyttötuntimäärät olivat samalla tasolla (2 720 h/v) kuin korjureiden. Kuormatraktoreiden keskimääräinen käyttötuntimäärä oli 2 630 tuntia/vuosi. Korjaamopäiviä hakkuukoneilla oli ollut keskimäärin 1,9 ja kuormatraktoreilla 1,6 päivää/kuukausi. Seisokkeja hakkuukoneilla oli ollut keskimäärin 6,9 ja kuormatraktoreilla 6,8 viikkoa/vuosi.

## 3.2 Tulokset

### 3.2.1 Korjuuolot

Hakkuukertymä korjurityömailla oli keskimäärin 279 m<sup>3</sup>/leimikko. Vaihteluväli oli 120–550 m<sup>3</sup>/leimikko. Valtaosin korjureilla korjattiin harvennusleimikoita (kuva 13). Korjatusta puumäärästä keskimäärin 32 % tuli ensiharvennuksilta ja 41 % muilta harvennuksilta. Kolmessa yrityksessä korjuria käytettiin vain harvennuksilla. Päätehakkuilta tuli keskimäärin neljännes korjatusta puumäärästä. Lisäksi muutama prosentti korjuukohteista oli siemen- ja suojuspuuhakkuuta sekä tuulenkaatojen korjuuta. Metsäkuljetusmatka korjurileimikoissa oli keskimäärin 292 m.



KUVA 13. Hakkuutapojen osuudet korjatusta puumäärästä korjureilla ja korjuuketjuilla yrityksittäin.

Korjuuketjuilla hakkuukertymä oli keskimäärin 515 m<sup>3</sup>/leimikko. Korjuuketjuilla korjattiin pääosin päätehakkuuleimikoita: korjatusta puumäärästä keskimäärin 83 % tuli päätehakkuilta (kuva 13). Vastaavasti harvennusten osuus oli 17 % korjuuketjuilla.

### **3.2.2 Konesiirrot**

#### *3.2.2.1 Siirtomatkat*

Kahta yrittäjää lukuun ottamatta kaikilla yrittäjillä oli käytettävissä oma siirtoauto koneiden siirtoihin. Niillä yrittäjillä, joilla ei ollut siirtoautoa, ei ollut korjurin lisäksi muuta metsäkonekalustoa. Nämä yrittäjät hoitivat korjureidensa siirrot ostamalla siirtopalvelut kuljetusyrityksistä.

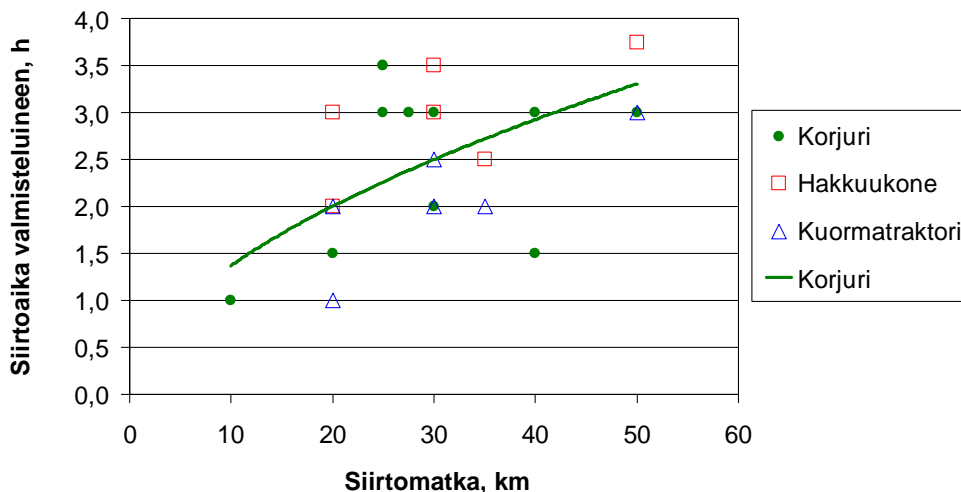
Korjureiden siirtomatka leimikolta toiselle oli keskimäärin 28 km ja korjuuketjujen 31,5 km. Keskimääräinen siirtomatka korjuuketjun siirrossa oli siten yhteensä 63 km.

#### *3.2.2.2 Siirtoajat*

##### Haastattelut

Haastatellut yrittäjät arvioivat, että yhteen korjurisiirtoon sitoutuu keskimäärin 1,5 henkilöä. Osa siirroista tehdään siten, että työvuoroaan aloittava kuljettaja menee työmaalle siirtoautolla, kun siirto on tarkoitus tehdä työvuoron aikana ja siirtoauto on vapaana. Osassa yrityksistä joku toinen kuljettaja tai yrittäjä itse siirtää korjuria leimikolta toiselle. Tällöin siirrossa on mukana kaksi henkilöä. Korjuuketjun siirtäminen sitoi yrityksissä keskimäärin 2,5 henkilöä.

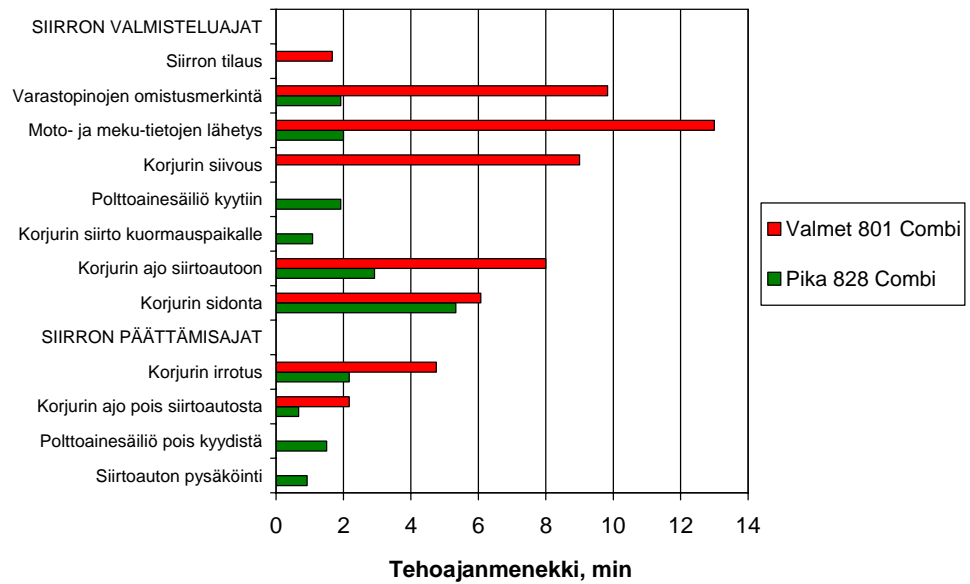
Valmisteluineen (mm. siirron tilaus, polttoainesäiliö nostaminen korjurin kyytiin, korjurin siivous, ketjujen ja telojen riisuminen, korjurin siirto sopivaan kuormauspaikkaan, varastopinojen merkintä, hakkuu(moto)- ja metsäkuljetus(meku)tietojen lähetys urakanantajalle, korjurin ajo siirtoautoon, korjurin sidonta, korjurin irroitus ja ajo pois siirtoautosta, polttoainesäiliö siirtäminen pois kyydistä, ketjujen ja telojen asentaminen, leimikkotietojen tallennus) korjurin siirtoon kuluu yrittäjien arvion mukaan keskimäärin 2,50 tuntia/siirto (kuva 14). Vastaavasti yrittäjät arvioivat, että hakkuukoneen siirtoon kuluu keskimäärin 2,82 ja kuormatraktorin siirtoon 2,08 tuntia/siirto. Täten haastattelujen perusteella korjuuketjun siirtoon menee yhteensä 4,90 tuntia, eli lähes kaksinkertainen aika verrattuna korjurin siirtoon.



KUVA 14. Yrittäjien arvio korjureiden, hakkuukoneiden ja kuormatraktoreiden siirtoajoista valmisteluineen. Siirtomatkan vaikutusta korjurin siirtoaikaan kuvaava käyrä on laskettu kuvassa esitetyistä siirtoaikahavainnoista.

### Aikatutkimus

Valmet 801 Combi -korjuri siirrettiin Sisu E 11 -siirtoautolla (kuva 16), joka ei ollut korjuriyrittäjän omistuksessa. Valmisteluihin ennen siirtoa kului yhteensä 48 min. Eniten aikaa (13 min) kului hakkuu- ja metsäkuljetustietojen lähetykseen urakanantajalle (kuva 15). Tietojen lähettäminen oli hidasta, koska tiedot piti siirtää erikseen. Erityisen hidasta oli metsäkuljetustietojen lähettäminen internetin kautta. Varastopinojen merkintä ja korjurin siivous hakkuutähteistä ym. roskista veivät kumpikin lähes 10 min. Korjurinkuljettaja kirjoitti varastopinolaput käsin. Merkittävänä oli viisi pinoa. Korjurin ajoon siirtoautoon kului 8,0 min ja korjurin sidontaan kuljetusta varten 6,1 min. Korjurin ajo siirtoautoon oli aikaa vievää osin sen vuoksi, ettei siirtoautolla ollut aiemmin siirretty Valmet Combi -korjuria. Korjurin siirron tilaus vei alle kaksi minuuttia.



KUVA 15. Siirron valmisteluun ja päättämiseen liittyvien työvaiheiden tehoajanmenekit tutkituilla korojureilla (Valmet 801 Combi ja Pika 828 Combi).

Pika 828 Combi -korojuri siirrettiin yrittäjän omalla Sisu E 12 -siirtoautolla, jolla korojuriinkuljettaja tuli aamulla töihin. Siirron valmisteluihin kului yhteensä 15 min, eli vain kolmannes Valmet Combi -korojuriin siirtovalmisteluihin kuluneesta ajasta. Eniten aikaa (5,3 min) kului korojuriin sidontaan (kuvat 15 ja 17). Pika Combi -korojuriilla kaikki valmistelutyöt sujuivat nopeammin kuin Valmet Combi -korojuriilla. Korojuriinkuljettaja siivosi myös Pika Combi -korojuria roskista noin minuutin ajan, mutta sitä ei erotettu omaksi työvaiheeksi, koska kuljettaja sitoi samalla korojuria. Kolmen varastopinon merkitsemiseen spray-maalilla kului 1,9 min.

Valmet Combi -korojuriin siirtomatka oli yhdeksän kilometriä ja siirtoaika 12 min. Pika Combi -korojuriilla siirtomatka oli pitkä (127 km) ja siirtoajoon kului lähes kaksi tuntia (117 min).

Siirron päättämiseen liittyviin toimiin kului Valmet Combi -korojuriilla 6,9 min ja Pika Combi -korojuriilla 5,3 min (kuva 15), minkä jälkeen koneet olivat valmiita korojuutyöhön. Siirron valmisteluihin ja päättämiseen kului Valmet 801 Combi -korojuriilla yhteensä 54 min ja Pika 828 Combi -korojuriilla 20 min, mistä suurin osa (74–87 %) meni ennen siirtoa tehtyihin valmisteluihin.



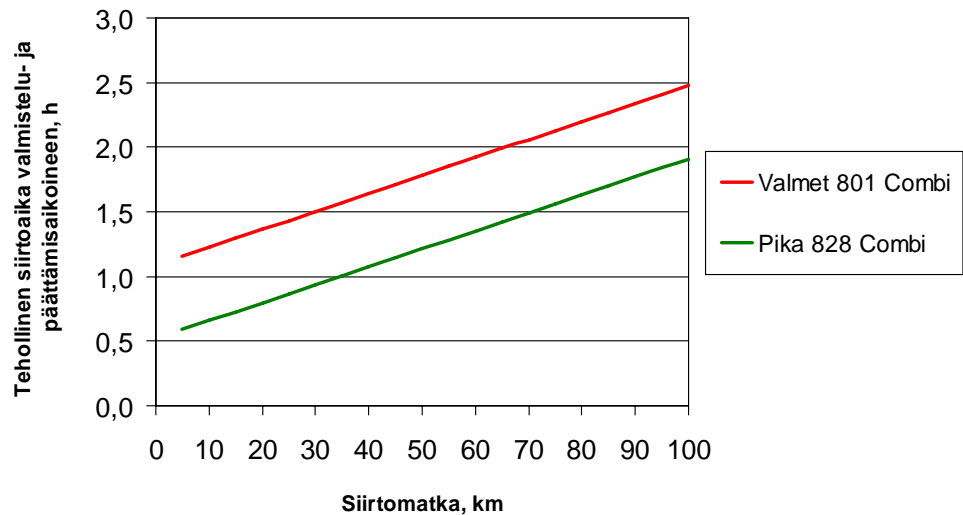


KUVA 16. Valmet 801 Combi -korjuria ajetaan siirtoautoon.  
Valokuva: Metsäteho Oy



KUVA 17. Pika 828 Combi -korjuria sidotaan siirtoautoon lumisateen alka-  
essa. Valokuva: Metsäteho Oy





KUVA 18. Siirtomatkan vaikutus siirtoautolla tehtyjen korjurisiirtojen teholliseen siirtoaikaan valmistelu- ja päättämisaikoiheen Valmet 801 Combi- ja Pika 828 Combi -korjureilla.

Kuvassa 18 on esitetty tutkittujen korjurisiirtojen tehollinen siirtoaika valmistelu- ja päättämisaikoiheen siirtomatkan suhteen. Tehollinen siirtoaika saatiin lisäämällä valmistelu- ja päättämisaikoihin varsinainen siirtoaika, joka laskettiin Metsätehossa laaditulla kuormatun puutavara-auton ajanmenekki-funktiolla. Mikäli kummassakin tutkitussa korjurisiirrosta siirtomatka olisi ollut keskimääräinen 28 km, Pika 828 Combi -korjurin siirtoon olisi kulunut 0,91 tuntia ja Valmet 801 Combi -korjurin siirtoon 1,48 tuntia (kuva 18).

### 3.2.2.3 Siirtokustannukset

Vain osa haastatelluista yrittäjistä oli tehnyt tarkkoja laskelmia koneiden siirroista, joten siirtokustannusten määrittäminen oli monille vaikeaa. Korjurin siirtokustannuksiksi arvioitiin keskimäärin 203 €/siirto vaihteluvälillä ollessa 80–345 €/siirto. Korjuuketjun siirtokustannukset olivat keskimäärin 469 €/siirto/ korjuuketju (202–963 €/siirto/korjuuketju).

Kustannusten suuri vaihtelu johtui siitä, että osa yrittäjistä laski siirtokustannuksiin ainoastaan siirtoauton kustannukset. Toisaalta jotkut yrittäjät ottivat huomioon koneiden ja niiden kuljettajien siirtoihin käytetyn työajan palkkakustannukset. Kustannuslaskelmia tehneiden yrittäjien siirtoauton käyttötuntikustannukset olivat 42–50 €/h, ja auton kilometrikustannus oli 0,83–3,36 €/km.

## 4 AINESPUUN KORJUUTEKNOLOGIOIDEN SYSTEEMIANALYYSI

### 4.1 Aineisto ja menetelmät

Korjureiden tuottavuusperusteista on julkaistu useita tutkimusraportteja vuosien 1999–2003 aikana Pohjoismaissa. Tässä tutkimuksessa koottiin yhteen liitteessä 4 mainittujen lähteiden keskeisimmät tulokset. Tulosten vertailukelpoisuuden varmistamiseksi kaikista tutkimuksista pyrittiin selvittämään ajanmenekkitasojen lisäksi ainakin seuraavat korjuuololoja ja laskenta-perusteita kuvaavat tekijät:

- hakkuutapa (I–III harvennus, päätehakkuu)
- keskijäreys,  $\text{dm}^3/\text{runko}$  (kuoreton tai kuorellinen)
- hakkuukertymä,  $\text{m}^3/\text{ha}$  (kuoreton tai kuorellinen)
- metsäkuljetusmatka, m
- kuorman keskikoko,  $\text{m}^3$  (kuoreton tai kuorellinen)
- lyhyiden keskeytysten osuus (laskennallinen tai mitattu)
- työmenetelmä (suorakuormaus, jne.)
- korjurin varustus.

Tutkimuksissa todetut keskijäreudet ( $\text{dm}^3/\text{runko}$ ) ja ajanmenekit ( $\text{tuntia}/\text{m}^3$ ) korjattiin vastaamaan suomalaisia tilavuusmittoja. Tilavuuskorjaus (kuoreton tilavuus kuorelliseksi) tehtiin kertoimella, joka määritettiin kaavalla 2.

$$t = 1,2335 * (1000 * x_{ub})^{-0,01945} \quad [2]$$

missä

$t$  = tilavuuskerroin

$x_{ub}$  = keskijäreys,  $\text{m}^3$  (kuorettomana)

Metsäkuljetusmatkat vaihtelivat tutkimuksissa 84 metristä 300 metriin. Ajanmenekit muunnettiin laskennallisesti vastaamaan 250 metrin metsäkuljetusmatkaa. Muunnoksessa korjurin keskimääräiseksi ajonopeudeksi oletettiin tyhjänä- ja kuormattuna-ajossa 30 m/min. Kun kuorman keskikokona käytettiin  $10,5 \text{ m}^3$ , saatiin metsäkuljetusmatkasta aiheutuva ajanmenekin korjaustekijä (m) kaavalla 3. Korjurin kulkeman kuljetusmatkan oletettiin pitenevän 200 metriä kuormaa kohden metsäkuljetusmatkan kasvaessa 100 metrillä (kaava 3).

$$m = 200(m) / 30(m/\text{min}) / 60(\text{min}) / 10,5(\text{m}^3) \approx 0,01(\text{tuntia}/\text{m}^3 / 100m) \quad [3]$$

## 4.2 Tulokset

Korjurin ja korjuuketjun työvaiheittaisista ajanmenekeistä on tehty eri tutkimuksissa mm. seuraavia havaintoja:

Rungon käsittely (korjuri vs. hakkuukone):

- Korjurin nosturin ja etenkin korjuukouran on nähty olevan kompromissi hakkuun ja puutavaran käsittelyn vaatimien ominaisuuksien välillä. Tätä eroa ei ole kuitenkaan saatu tutkimustilanteissa esiin normaalikokoisilla (< 500 dm<sup>3</sup>) rungoilla sen enempää vienti/kaato- kuin karsinta/katkontavaiheessakaan. Sekä korjuri että hakkuukone käsittelevät pienehkön rungon (100 dm<sup>3</sup>) noin 0,3–0,4 minuutissa, kun järeähkön rungon (450 dm<sup>3</sup>) käsittelyyn kuluu aikaa noin 0,7 minuuttia (maahan katkottuna).
- Jos korjurilla sovelletaan suorakuormausta, hidastaa se jossain määrin rungon käsittelyä hakkuukoneeseen nähden. Tämä lisäajanmenekki säästetään kuitenkin moneen kertaan korjurin kuormausvaiheen jäädessä kokonaan pois.

Kuormaus ja purkaminen (korjuri vs. kuormatraktori):

- Kuormausajanmenekeistä ei ole täysin vertailukelpoisia tuloksia, joiden perusteella voisi arvioida mahdollisia eroavuuksia.
- Purkamisajanmenekien perusteella on kuitenkin arvioitavissa, että korjuukouran ominaisuudet vastaavat hyvin tavanomaista puutavarakouraa puutavarapölkkyjen käsittelyssä. Purkamisajanmenekit olivat Metsätehon tuoreimmassa aikatutkimuksessa korjureilla 0,43–0,57 min/m<sup>3</sup> (ilman järjestelyjä), kun kuormatraktorilla aikaa kului keskimäärin hieman alle 0,6 min/m<sup>3</sup>. Tämä tarkoittanee sitä, että korjurin kuormaimen liikeajat ja taakkojen koot vastaavat tavanomaista puutavarakuormainta. Ruotsalaisissa tutkimuksissa on sen sijaan havaintoja korjurin kuormatraktoria hitaammasta purkuvauhdista (n. 30 %).

Tyhjänä- ja kuormattuna-ajo (korjuri vs. kuormatraktori):

- Niissä tutkimuksissa, joissa ajonopeuksia on raportoitu, tyhjänäajon nopeudet ovat olleet korjureilla yleensä noin 35–45 m/min. Ajettaessa kuormattuna ajonopeus laskee 10–20 %. Normaali kuormatraktori ylittää tyhjänä keskimäärin 55 m/min ajonopeuteen, mikä putoaa noin kolmanneksen ajettaessa kuormattuna. Tämä tarkastelu koskee lyhyehköjä (150–200 m) metsäkuljetusmatkoja. Pidemmällä matkoilla ajonopeudet kasvavat selvästi sekä korjurilla että kuormatraktorilla.
- Ajovaiheen tuottavuuteen vaikuttaa ajonopeuden lisäksi voimakkaasti kuormakoko, minkä puolestaan määräävät yhdessä sekä kuormatilan poikkileikkauspinta-ala, pölkkyjen pituus että koneen ja alustan kantavuus. Korjureilla on mahdollista saavuttaa samat kuormakoot kuin kuormatraktoreillakin; kantavuudet ovat tyypillisesti 12 tonnin luokkaa ja kuormatilan poikkileikkauspinta-alat 4–5 m<sup>2</sup>, siis samaa tasoa kuin keskiraskaalla kuormatraktorilla. Kääntyvällä kuormatilalla varustetussa korjurissa kääntökehä tosin vie kokonaan telien välisen kuormatilan. Esimerkiksi Valmet Combi -korjurissa tätä menetystä pyritään kompensoimaan mekaanisesti levitettävällä kuormatilalla.

Lyhyet keskeytykset:

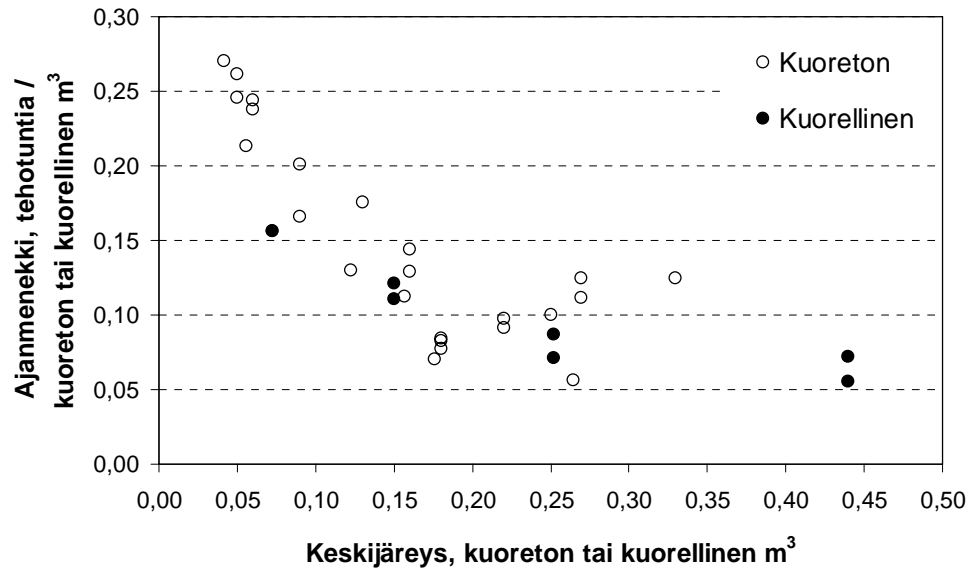
- Lyhyiden (< 15 min) keskeytysten osuuksia on raportoitu melko harvoin, koska yksittäiset tutkimusaineistot ovat jääneet suppeiksi. Useimmiten on oletettu, että korjurin työ keskeytyy yhtä usein kuin tavanomaisilla korjuukoneilla. Hakkuukoneella lyhyiden keskeytysten osuus on tyypillisesti alle 15 % käyttöajanmenekistä ja kuormatraktorilla alle 10 % (Rajamäki ym. 1996, Väkevä ym. 2001). Jos suhde ilmaistaan ns. keskeytyskertoinena (käyttöajanmenekki = keskeytyskerroin × tehoajanmenekki), edellä esitettyjä suhteita vastaavat kertoimet ovat 1,18 ja 1,10. Hakkuukoneen työ keskeytyy kuormatraktoria useammin mm. työnjohdon yhteydenpidon ja ketjusahan huoltotöiden vuoksi.
- Jos korjurin työn oletetaan painottuvan hieman enemmän hakkuuseen kuin metsäkuljetukseen, lyhyiden keskeytysten osuudeksi voidaan arvioida 13 % käyttöajasta (keskeytyskerroin = 1,15).

Työmenetelmät ja laitekonstruktiot ovat kytköksissä toisiinsa. Aikatutkimuksissa on tehty mm. seuraavia havaintoja niiden vaikutuksista korjurin tuottavuuteen:

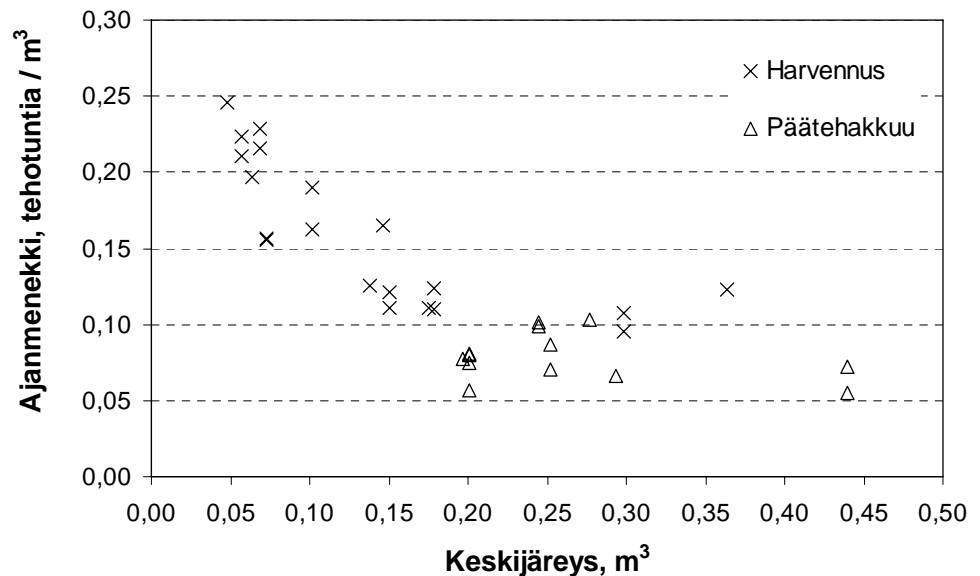
- Kääntyvällä kuormatilalla varustetun korjurin joutuisin työtapa päätehakkuulla on ns. ”reunamenetelmä”, jossa aukon reunaa seuraten hakataan puut yhdeltä puolelta suoraan korjurin kuormatilaan (mm. Andersson 2002). Menetelmän nopeus tulee selvimmän esiin hakkuuvaiheen käsittelyajoissa. Osa tuottavuusedusta menetetään työpistesiiirtymisten lisääntymisen myötä.
- Kääntyvän kuormatilan suorakuormaus nopeuttaa kuormausvaihetta, mutta jossakin tutkimuksissa purkamisen on todettu samalla hidastuneen jopa 15–30 %. Tämä johtunee purkuvaiheen lajittelu- ja järjestelytarpeen lisääntymisestä (puutavaralajien erillään pito, päiden taseus). Kuormatilaa jakavat välikarikat poistanevat tämän ongelman ainakin osittain.
- Dual-tyyppisellä korjurikonstruktioilla korjuumenetelmä vastaa täysin tavanomaisen korjuuketjun työtappaa. Ainoana poikkeuksena on hakkuukone- ja kuormatraktorivarustelun vaihtotyö, jonka ajanmenekiksi on arvioitu eri tutkimuksissa 6–23 min/kerta vaihtosuunnasta ja vaihtoon liittyvästä siirtymistarpeesta riippuen. Työmaata kohden suoritetaan vähintään kaksi varusteluvaihtoa (hakkuukone → kuormatraktori, kuormatraktori → hakkuukone), lumisateen uhatessa useampiakin.
- Dual-korjuri on rakennettu kuormatraktorialustalle. Puomin rakenne ja sijoituspaikka on näin ollen optimoitu metsäkuljetustyöhön. Tämän on arvioitu lisäävän hieman (n. 0,25 min/m<sup>3</sup>) hakkuuvaiheen ajanmenekkiä tavanomaiseen hakkuukoneeseen nähden (Talbot ym. 2003).

Kun korjurin ja perinteisen korjuuketjun tuottavuuseroa lähdetään arvioimaan edellä kuvattujen, yksittäisissä työvaiheissa havaittujen erojen pohjalta, niiden yhdys- ja yhteisvaikutusten arviointi on vaikeaa ja voi helposti johtaa vääriin johtopäätöksiin. Jos sen sijaan lähtökohdaksi otetaan käsillä olevat korjurin ja korjuuketjun työntutkimustulokset ja verrataan niissä saavutettuja tuottavuustasoja, riski on lähinnä siinä, että tulokset edustavat osittain eri kehitysasteen koneita. Tässä tutkimuksessa arvioitiin jälkimmäinen riski pienemmäksi ja vertailtiin eri tutkimuksissa havaittuja tuottavuustasoja lähes sellaisinaan.

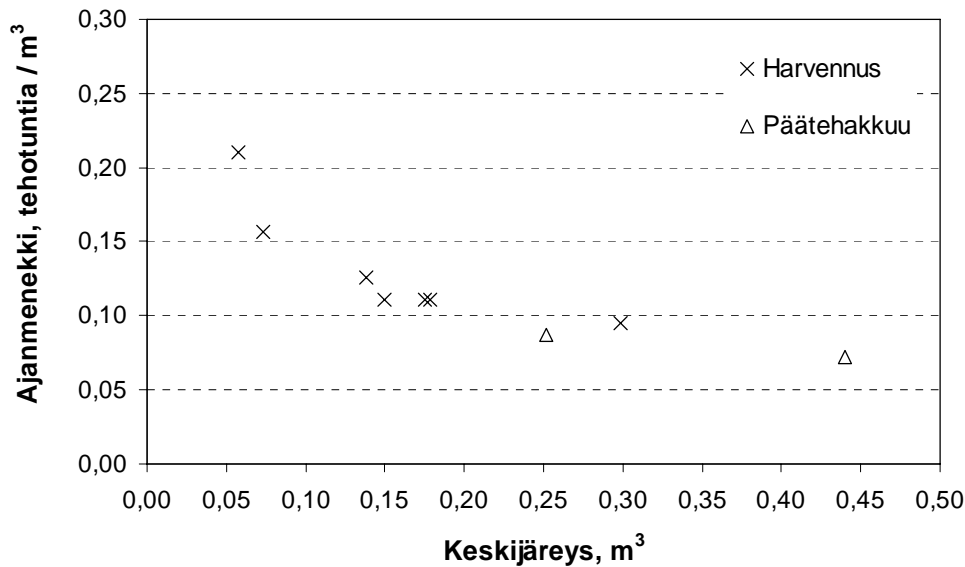
Pohjoismaisten tutkimuslaitosten julkaisemista tuloksista tehty kooste on esitetty kuvassa 19 ja liitteessä 4. Ajanmenekkitasot vaihtelevat suuresti, mikä selittyy osittain sekä korjuuolosuhteiden että kuutiointiperusteiden eroilla. Vaihtelua tasoitettiin harmonisoimalla lähikuljetusmatkat ja korjaamalla kaikki tilavuusmitat kuorellisiksi (kaavat 2 ja 3). Kuvassa 20 on esitetty harmonisoidut tulokset.



KUVA 19. Pohjoismaisten korjuritutkimusten tulokset alkuperäisinä ennen niiden harmonisointia (ks. liite 4).



KUVA 20. Harmonisoidut tulokset. Mukana kaikki konetyypit ja hakkuutavat.



KUVA 21. Harmonisoidut tulokset. Kiinteällä kuormatilalla varustetut Valmet Combi -korjurit.

Valmet Combi -tyyppisten korjureiden ajanmenekkipunktio laadittiin Valmet Combi -korjuritutkimustulosten pohjalta (kuva 21). Kaavassa 4 esitetty perusfunktio kuvaa kiinteällä kuormatilalla varustetun Valmet Combi -korjurin tehoajanmenekkiä harvennushakkuussa.

$$y = 0,05037 * x^{-0,46138} + (200/n/60/k) * \left(\frac{m-250}{100}\right) \quad [4]$$

missä

$y$  = ajanmenekki, tehotuntia/m<sup>3</sup> (kuorellisena)

$x$  = keskijäreys, m<sup>3</sup> (kuorellisena)

$n$  = keskimääräinen ajonopeus kuormattuna/tyhjänä, m/min

$k$  = keskimääräinen kuormako, m<sup>3</sup>

$m$  = metsäkuljetusmatka, m

Päätehakkuulla perusfunktion tuottamaa ajanmenekkiä (liite 4) korjattiin (vähennettiin) kertoimella 0,92. Kääntyvää kuormatilaa käytettäessä korjataan ajanmenekkiä kertoimella  $k$  (kaava 5).

$$k = 1 - \frac{27,5 + 8,91 * \ln(x)}{100} \quad [5]$$

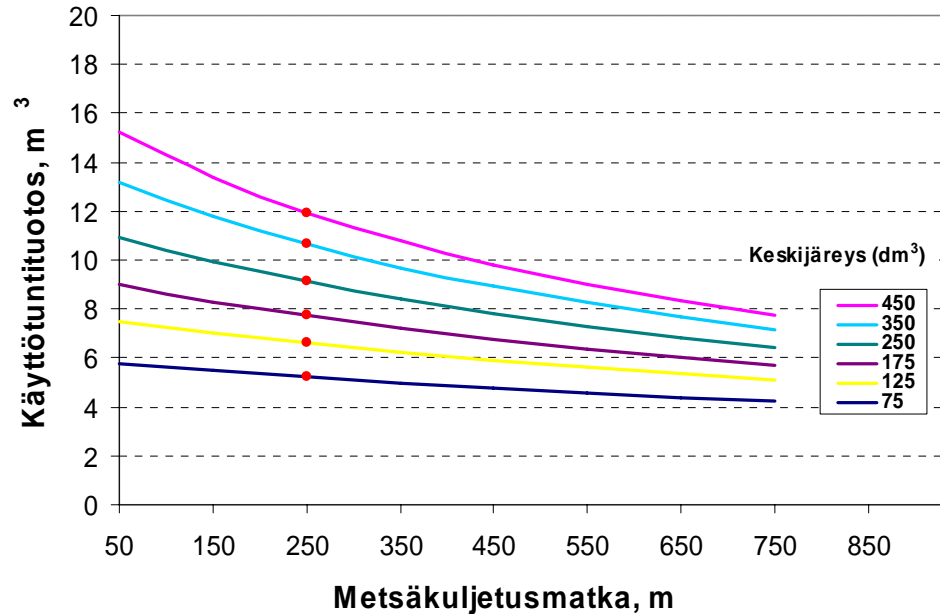
missä

$k$  = kerroin

$x$  = keskijäreys, m<sup>3</sup> (kuorellisena)

Kuvassa 22 on esitetty edellä esitettyjä funktioita vastaavat käyttötuntituotokset seuraavin oletuksin:

- kuorman keskikoko = 10,5 m<sup>3</sup>
- keskimääräinen ajonopeus = 35 m/min
- lyhyiden keskeytysten osuus käyttöajanmenekistä = 13 %.



KUVA 22. Keskijäreiden ja metsäkuljetusmatkan vaikutus kiinteällä kuormatilalla varustetun korjurin käyttötuntituotokseen harvennushakkuulla.

Dual-tyyppisten korjureiden tuottavuustutkimusten tuloksissa on esiintynyt niin suurta vaihtelua, ettei tuottavuudelle ole vielä nykytietojen perusteella mielekästä esittää ajanmenekkimallia. Tuottavuustutkimuksissa on ilmeisesti työskennellyt hyvin eritasoisia kuljettajia, mikä voi osaltaan selittää tulosten suuren vaihtelun.

## 5 TARKASTELU JA JOHTOPÄÄTÖKSET

### 5.1 Ainespuukorjureiden seurantatutkimus

Tutkimuksessa koottu aineisto (yhteensä lähes 30 000 m<sup>3</sup>) on laaja, kun sitä verrataan aiemmin kerättyihin seurantatutkimusaineistoihin korjureista. Sirénin ja Aaltion (2003) seurantatutkimuksessa korjattiin vajaa 16 000 m<sup>3</sup> ainespuuta Pika 828 Combi -korjureilla. Kärhän ym. (2006b) energiapuukorjureiden seurantatutkimuksessa korjattiin lähes 14 000 m<sup>3</sup> kokopuuta nuorista metsistä.

Tutkimuksessa oli yhteensä viisi korjuria, joista tosin vain kolmesta saatiin kattavat seurantatutkimusaineistot. Kahdesta korjurista (korjurit 3 ja 5), joilla seurantatutkimus aloitettiin, saatiin niukasti seurantatutkimusaineistoa. Uudemmasta, tehokkaammasta kuusisylinterisestä Valmet 801 Combi -korjurista (korjuri 5) olisi ollut mielenkiintoista saada myös kattava seurantatutkimusaineisto. Toteutettu tutkimus osoitti, että onnistunut seurantatutkimus edellyttää sitä, ettei tutkimuksen aikana ilmene paljon häiritseviä tai ”ylimääräisiä” asioita, esimerkiksi töiden puutetta tai kuljettajien suurta vaihtuvuutta.

Toiselta vanhemmalta, nelisyliinteriseltä Valmet 801 Combi -korjurilta (korjuri 4) saatiin laaja tutkimusaineisto (5 000 m<sup>3</sup>), mikä tosin jäi huomattavasti pienemmäksi kuin Ponsse Wisent Dual -korjureilla (korjurit 1 ja 2). Syy tähän oli se, että Valmet 801 Combi -korjurilla tehtiin työtä vain yhdessä työvuorossa ja lisäksi korjattavat työmaat olivat valtaosin harvennuksia.

Aidon korjurityön käyttötuntituottavuustarkasteluun aineistoa saatiin vain nelisyliinteriseltä Valmet 801 Combi -korjurilta (korjuri 4), ja leimikkoaineisto rajoittui 60–120 dm<sup>3</sup>:n keskijäreYTEEN (ks. kuva 7). Ponsse Wisent Dual -korjureilta saatiin aineistoa huomattavasti laajemmalla keskijäreysalueelta. Vaikka Valmet Combi -korjureiden seuranta-aineisto rajoittui suhteellisen pienelle rungon koon vaihteluvälille, se ei kuitenkaan aiheuttanut kovin suurta haittaa tutkimukselle. Tutkimuksessa ei pyritty selvittämään konemerkkien tuottavuustasojen eroja, vaan päätavoitteena oli tutkia puunkorjuun tuottavuutta korjureilla pitkällä aikavälillä ja verrata korjuukustannuksia korjureilla ja korjuuketjulla sekä löytää optimaalisimmat korjuuolot kummallekin korjuuteknologialle. Edellä mainituista seikoista johtuen aidon korjurityön tuottavuusmallinnusta varten Valmet Combi- ja Ponsse Dual -korjureiden työmaakohtaiset käyttötuntituottavuudet yhdistettiin ja aidon korjurityön tuottavuusmallinnus tehtiin yhdistetystä aineistosta.

Tutkimuksessa puunkorjuutyötä tehtiin korjureilla yhteensä 92 työmaalla, joista 70:stä saatiin leimikkotiedot. Korjuulojen vaikutusta aidon korjurityön tuottavuuteen voitiin tutkia lähes 50 työmaalla. Tuottavuustarkasteluja varten suurempikin havaintomäärä olisi ollut paikallaan. Aidossa korjurityössä aineiston kokoa rajoittivat seuraavat tekijät:

- kaikista työmaista ei saatu leimikkotietoja,
- kaikilla seurantatutkimuksen työmailla ei tehty aitoa korjurityötä, vaan korjureilla tasapainotettiin korjuuketjuja käyttämällä niitä pelkästään hakkuuseen tai metsäkuljetukseen ja
- joitakin työmaita jouduttiin poistamaan tuottavuustarkastelusta ajamenekkitiedon keruussa olleiden epäselvyyksien vuoksi.

Tutkimuksessa oli yhteensä 11 kuljettajaa, joiden työkokemus (0–2 vuotta) korjurityöstä vaihteli huomattavasti. Tämä aiheutti suurta vaihtelua käyttötuntituottavuuksiin harvennuksilla (vrt. kuva 7). Aiemmissa tutkimuksissa (esim. Kärhä ym. 2001) kuljettajan työkokemuksen ja tuottavuuden on havaittu korreloivan voimakkaasti erityisesti työskenneltäessä tiheissä ensiharvennusleimikoissa.

Tutkimuksessa korjureiden tekninen käyttöaste oli keskimäärin 88 % ja toiminnallinen käyttöaste 83 %. Käyttöasteet olivat samalla tasolla kuin Kärhän ym. (2006b) energiapuukorjureiden seurantatutkimuksessa, jossa tekninen käyttöaste oli keskimäärin 90 % ja toiminnallinen käyttöaste 84 %. Sirénin ja Aaltion (2003) tutkimuksessa Pika 828 Combi -korjureiden tekninen käyttöaste oli keskimäärin 79 %. Kuiton ym. (1994) 1990-luvun alussa tekemässä tutkimuksessa hakkuukoneiden tekninen käyttöaste oli keskimäärin 81 % ja toiminnallinen käyttöaste 74 %. Vastaavasti kuormatraktoreiden tekninen käyttöaste oli 90 % ja toiminnallinen käyttöaste 82 % (Kuitto ym. 1994).



Edellä mainituista käyttöasteista voidaan päätellä, että kone- ja laitetekniikan kehittymisen myötä korjureiden käyttöasteet ovat nousseet merkittävästi viime vuosina. Todennäköisesti myös hakkuukoneiden ja kuormatraktoreiden käyttöasteet ovat nousseet yli viidentoista vuoden takaisista luvuista. Uutta, julkista tutkimustietoa nykyisten hakkuukoneiden ja kuormatraktoreiden käyttöasteista ei kuitenkaan ole saatavissa.

Korjurityössä korjuuolot vaikuttavat siihen, kuinka työaika jakaantuu hakkuuseen ja metsäkuljetukseen. Aidossa korjurityössä koko seurantatutkimusaineistossa (leimikon rungon keskijäreys  $198 \text{ dm}^3$  ja metsäkuljetusmatka  $239 \text{ m}$ ) hakkuuseen käytettiin keskimäärin  $57 \%$  ja metsäkuljetukseen  $43 \%$  tehoajasta. Ensiharvennuksella ( $89 \text{ dm}^3$  ja  $280 \text{ m}$ ) hakkuu vei keskimäärin  $63 \%$  ja metsäkuljetus  $37 \%$  tehoajanmenekistä. Päätehakuulla ( $362 \text{ dm}^3$  ja  $179 \text{ m}$ ) tehotyöaika jakautui lähes tasan hakkuun ja metsäkuljetuksen kesken. Tarkasteltaessa tämän tutkimuksen tehoajanmenekkejä on hyvä muistaa, etteivät tehoajat täysin vastaa varsinaisten aikaturkimusten tehoaikaa, johon ei kuulu lainkaan keskeytyksiä. Työajasta on tässä tutkimuksessa kuitenkin vähennetty kaikki tiedonkeruulaitteelle rekisteröidyt keskeytykset. Todellisuudessa hyvin lyhyitä keskeytyksiä ei voitu kirjata.

Hakkuun ja metsäkuljetuksen tehoajanmenekkien suhteita on raportoitu myös joissakin aiemmissa korjuritutkimuksissa. Hallonborgin ym. (2005) tutkimuksessa päätehakuulla ( $157 \text{ dm}^3$  (kuorellinen) ja  $350 \text{ m}$ ) hakkuun osuus oli keskimäärin  $49 \%$  ja metsäkuljetuksen osuus  $51 \%$  tehoajasta. Lilbergin ja Korteniemen (1997) tutkimuksessa ensiharvennuksella ( $81 \text{ dm}^3$  ja  $250 \text{ m}$ ) hakkuun osuus oli keskimäärin  $42 \%$  ja metsäkuljetuksen osuus  $46 \%$  tehoajasta. Riepon ja Pekkolan (2001) tutkimuksessa ( $96 \text{ dm}^3$  ja  $250 \text{ m}$ ) hakkuun osuus oli keskimäärin  $51 \%$  ja metsäkuljetuksen osuus  $44 \%$  tehoajasta.

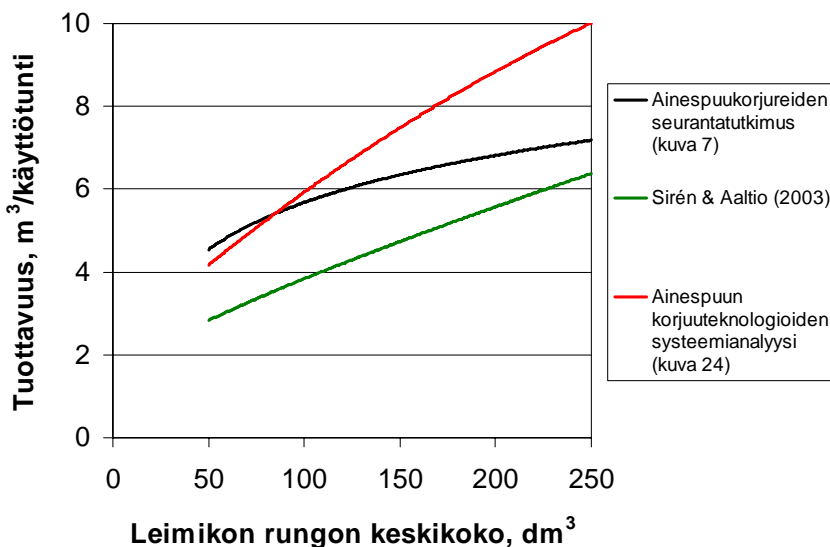
Aidossa korjurityössä käyttötuntituottavuus ensiharvennuksella oli keskimäärin  $5,1 \text{ m}^3/\text{h}$  ja myöhemmällä harvennuksella  $6,3 \text{ m}^3/\text{h}$ . Parhaiten aidon korjurityön tuottavuutta harvennuksella (ensiharvennus ja muu harvennus) selitti leimikon rungon keskikoko. Suuren työmaittaisen tuottavuusvaihtelun vuoksi tuottavuusmallin (kaava 1) selitysaste jäi heikoksi. Todennäköisesti korjurinkuljettajien työkokemuksen suuri vaihtelu (ks. taulukko 3) selitti tuottavuuden vaihtelua. Päätehakuulla aidossa korjurityössä käyttötuntituottavuus oli keskimäärin vajaa  $8 \text{ m}^3/\text{h}$ . Myös päätehakuulla tuottavuus vaihteli huomattavasti. Aidon korjurityön käyttötuntituottavuutta päätehakuulla ei mallinnettu tutkimuksessa.

Sirénin ja Aaltion (2003) seurantatutkimuksessa korjurin käyttötuntituottavuutta harvennuksella selitettiin leimikon rungon keskikoolle, hakkuukertymällä ja puutavaralajien lukumäärällä. Tässä tutkimuksessa puutavaralajien lukumäärä ei vaikuttanut merkittävästi korjureiden tuottavuuteen harvennuksella. Kun tutkimuksessa laskettua aidon korjurityön käyttötuntituottavuutta (kuva 7) verrataan Sirénin ja Aaltion (2003) määrittämään korjurin käyttötuntituottavuuteen harvennuksella, havaitaan, että Sirénin ja Aaltion tutkimuksessa tuottavuus oli  $1,2\text{--}1,9 \text{ m}^3/\text{käyttötunti}$  pienempi kuin tässä tut-

kimuksessa leimikon rungon keskikoon ollessa 50–200 dm<sup>3</sup> (kuva 23). Korjuritekniikan kehittyminen selittää osin tuottavuuseroa, mutta taustalla saattaa olla myös kuljettajista johtuvia tuottavuuserot.

Kuvaan 23 on piirretty myös korjurin käyttötuntituottavuus määritettynä aiemmista korjuritutkimuksista (kuva 24). Sitä ja tässä seurantatutkimuksessa määritettyä käyttötuntituottavuutta tarkasteltaessa nähdään, että korjattavan puuston rungon koon ollessa pieni (50–100 dm<sup>3</sup>) käyttötuntituottavuustasot ovat hyvin lähellä toisiaan. Kun leimikon rungon keskikoko kasvaa, tuottavuuseroa alkaa muodostua (kuva 23). Kun korjattavan puuston keskijäreys on 200 dm<sup>3</sup>, aikaisempien korjuritutkimusten käyttötuntituottavuus on 2,0 m<sup>3</sup>/h korkeampi kuin seurantatutkimuksessa (kuva 23).

Tuottavuusero voi selittyä mm. sillä, että muodostettaessa aiemmista korjuritutkimuksista tuottavuuskäyrää mukana oli myös päätehakkuita (liite 4). Osin tuottavuuseroa voi selittää myös se, että monessa aiemmassa, varsinkin Ruotsissa tehdyssä korjuritutkimuksessa on käytetty suorakuormausta. Siinä tuottavuus on ollut korkeampi erityisesti päätehakuilla (esim. Hallonborg & Nordén 2000, Wester 2001, Andersson 2002, Bergkvist ym. 2003a, Wester & Eliasson 2003, Imponen & Poikela 2005). Tässä tutkimuksessa suorakuormausta ei käytetty yhdelläkään korjurilla.



KUVA 23. Käyttötuntituottavuus aidossa korjurityössä seurantatutkimuksessa harvennuksella (vrt. kuva 7), Sirénin ja Aaltion (2003) tutkimuksessa harvennuksella ja aiemmista korjuritutkimuksista määritettynä (vrt. kuva 24). Ainespuukertymä oletettiin lisääntyvän 36 m<sup>3</sup>:stä/ha 81 m<sup>3</sup>:iin/ha, kun leimikon rungon keskikoko kasvoi 50 dm<sup>3</sup>:stä 250 dm<sup>3</sup>:iin (liite 3). Metsäkuljetusmatkana käytettiin 250 m ja puutavaralajien lukumääräksi oletettiin 7.

Saatujen tulosten perusteella korjuri on kilpailukykyisimmillään korjuuketjuun verrattuna, kun leimikon rungon keskijäreys on suhteellisen pieni, alle 120–180 dm<sup>3</sup>. Tällöin ainespuukertymä on keskimäärin alle 56–69 m<sup>3</sup>/ha (Kärhä ym. 2007). Erityisen kilpailukykyinen korjuri on silloin, kun korjuukohteiden kertymä on pieni. Tulokset tukevat aiempien korjuritutkimusten

päätelmiä korjureiden optimaalisista työskentelyolosuhteista (esim. Lilleberg & Korteniemi 1997, Strömngren 1999, Rieppo & Pekkola 2001, Bergkvist ym. 2003b, Rieppo 2003, Emer 2005, Nordén ym. 2005, Jylhä ym. 2006a, Väätäinen ym. 2007b). Niiden mukaan korjurin kilpailukyky korjuuketjuun verrattuna heikkenee, kun korjattavan puuston rungon koko sekä hehtaari- ja leimikkokohtainen ainespuukertymä kasvavat.

## 5.2 Korjuuolot ja konesiirrot korjureilla

Tutkimusaineistot korjuuoloista ja korjureiden siirroista kerättiin haastattelemalla korjuriyrittäjiä sekä tekemällä aikatutkimus kahdesta korjurin siirrosta. Siirroista saatiin tutkimusaineistoa myös seurantatutkimuksesta. Yrittäjien haastattelut tehtiin neljä vuotta sitten, joten haastattelututkimuksen tulokset saattavat olla osittain vanhentuneita erityisesti kustannusten osalta. Myös absoluuttisiin kustannuksiin on suhtauduttava varauksella, koska vain osa haastatelluista yrittäjistä kertoi tehneensä tarkkoja kustannuslaskelmia siirtokustannuksista. Haastattelututkimus oli kuitenkin kattava läpileikkaus siirroista, sillä siinä oli mukana arviolta lähes puolet vuoden 2003 alkupuolella korjurin omistaneista yrittäjistä.

Haastateltujen yrittäjien korjureilla korjattiin pääosin harvennuspuuta; vain neljännes korjatusta puusta tuli päätehakkuilta. Seurantatutkimuksessa vajaa kolmannes korjatusta puumäärästä tuli päätehakkuilta. Yrityksissä korjureita käytettiin siis ensisijaisesti harvennuksilla. Vastaavasti haastatellut yrittäjät olivat ohjanneet korjuuketjut valtaosin päätehakkuille.

Toimintamallia, jossa koneyrityksessä pienirunkoiset ja -kertymiset korjuukohteet ohjataan korjurille ja näin tehostetaan korjuuketjujen toimintaa ja kannattavuutta, on esitetty rationaaliseksi toimintatavaksi useassa tutkimuksessa (esim. Mononen 2002, Nurminen 2003, Imponen & Poikela 2005, Väätäinen ym. 2007b). Koneyrityksen leimikkovaranto vaikuttaa olennaisesti siihen, kuinka optimaalisesti korjuria voidaan käyttää. Mitä laajempi leimikkovaranto koneyrityksellä on, sitä paremmat ovat mahdollisuudet hyödyntää korjuria tehokkaasti, eli ohjata korjuri sille parhaiten sopiville korjuukohteille (Jylhä ym. 2006a).

Seurantatutkimuksessa korjureita käytettiin myös korjuuketjujen tasaukseen siten, että hakkuu tehtiin korjurilla ja metsäkuljetus myöhemmin kuorma-tractorilla. Korjuuketjujen tasauksessa korjurin katsotaan sopivan juuri hakkuuseen (Mononen 2002). Pelkkään metsäkuljetukseen korjuri on liian kallias koneyksikkö (esim. Asikainen 2004, Jylhä ym. 2006a). Seurantatutkimuksessa vain muutamalla leimikolla korjurilla tehtiin pelkkä metsäkuljetus.

Tutkimuksessa osoitettiin, että varsinaisen korjurin siirron lisäksi aikaa kuluu runsaasti sekä ennen siirtoa että siirron jälkeen tehtäviin töihin. Valtaosa tästä ajasta kului ennen varsinaista siirtoa (mm. moto- ja meku-tietojen läheytys, korjurin siivous, ajo siirtoautoon ja sidonta). Seurantatutkimuksessa siirtojen osuus korjureiden kokonaistyöajasta oli 2,5 % ja tehollinen siirtoaika

oli keskimäärin 1,3 tuntia/siirto. Haastattelujen perusteella korjurilla siirtomatka leimikolta toiselle on keskimäärin 28 km.

Haastatellut yrittäjät arvioivat, että yhteen korjurisiirtoon menee keskimäärin 2,5 tuntia 28 km:n keskisiirtomatalla. Aikatutkimusten mukaan korjurisiirtoon valmistelu- ja päättämisaikoinen kuluu 0,9–1,5 tuntia 28 km:n keskisiirtomatalla. Haastattelu- ja aikatutkimusten tulosten ajanmenekkien ero oli noin yksi tunti. Yksi selitys eroon saattaa olla se, ettei aikatutkimuksen siirtojen ajanmenekeissä ole mukana keskeytyksiä. Todellisuudessa niitä – esimerkiksi siirtoauton odottamista – kuitenkin tulee jonkin verran. Tämä näkyi yrittäjien arvioimassa kokonaissiirtoajanmenekissä (2,5 tuntia/korjurisiirto).

Aiempaa, julkista tutkimustietoa korjureiden siirtoajanmenekeistä ei ole. Viimeisin laaja tutkimus hakkuukoneiden ja kuormatraktoreiden siirroista tehtiin Suomessa yli viisitoista vuotta sitten (Kuitto ym. 1994). 1990-luvun alussa hakkuukoneilla työmaiden välinen siirtomatka oli keskimäärin 28 km ja siirtoaika 1,7 tuntia (Kuitto ym. 1994). Kuormatraktoreilla työmaiden välinen siirtoaika oli 1,2 tuntia ja siirtomatka keskimäärin 23 km. Saadut tulokset korjureiden siirtoajanmenekeistä olivat samansuuntaisia näiden metsäkoneiden siirtoajanmenekkien kanssa. Tehokkaalla korjuukohteiden ketjuttamisella työmaiden väliset siirtomatkat on mahdollista pitää kohtuullisina. Jos korjurin tai muun metsäkoneen keskimääräinen siirtomatka työmaalta toiselle on vuositasolla selvästi yli 30 km Etelä- tai Keski-Suomessa toimittaessa, koneyksikön työmaiden ketjuttamisessa ei ole onnistuttu.

Keskimääräiset korjurin siirtokustannukset olivat alle puolet (43 %) korjuuketjun siirtokustannuksista (203 €/siirto vs. 469 €/siirto). Väätäinen ym. (2007a) ovat määrittäneet metsäkoneiden siirtokustannuksiksi 215 €/konesiirto. Nordénin ym. (2005) tutkiessa korjureiden siirtoja siirtokustannukset olivat 221 €/siirto (2 000 SEK/siirto).

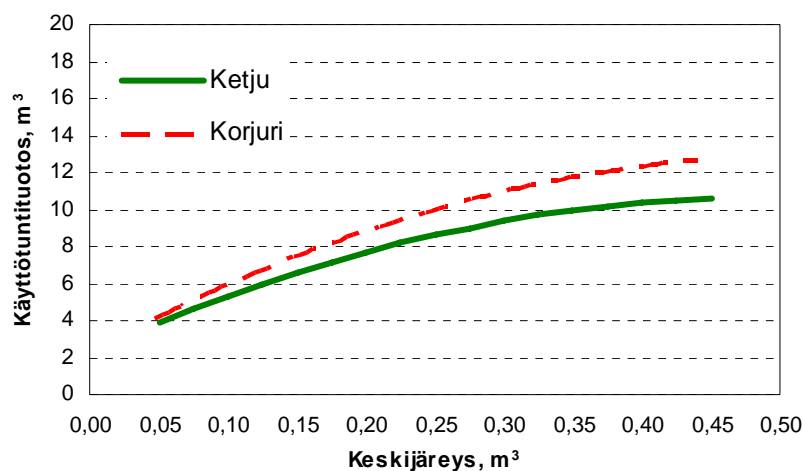
### **5.3 Ainespuun korjuuteknologioiden systeemanalyysi**

Ainespuukorjureiden tuottavuustutkimukset ovat etenkin Valmet Combi -tyyppisten korjurikonstruktioiden osalta tuottaneet hyvin samansuuntaisia tuloksia (kuvat 20 ja 21). Varsinkin kiinteäkuormatilaisten korjureiden työmaatasoinen tuottavuusdynamiikka tunnetaan varsin hyvin. Tuottavuustaso voi edelleen kohentua työmenetelmien hioutumisen ja kuljettajien työkokemuksen lisääntymisen myötä; vertailut perinteiseen korjuuketjuun voidaan tehdä jo nykytiedoin riittävän tarkasti. Tyhjänä- ja kuormattuna-ajonopeudet ovat tosin vaihdelleet melko paljon eri tutkimuksissa, mutta todennäköisesti ne jäävät Valmet Combi -tyyppisillä korjureilla jatkossakin jonkin verran kuormatraktoria pienemmiksi. Lyhyillä metsäkuljetusmatkoilla, joilla korjuri on kilpailukykyisimmillään, ajonopeuden merkitys ei ole kovin suuri. Valmet Combi -korjurille esitetystä ajanmenekkimallissa voidaan ottaa huomioon sekä ajonopeus että kuorman keskikoko. Näiden vaikutus ulottuu tosin ainoastaan tyhjänä- ja kuormattuna-ajovaiheisiin, vaikka esimerkiksi kuorman koolla voi olla käytännössä yhteyttä myös muihin työvaiheisiin.

Kääntyvällä kuormatilalla varustettujen korjareiden tuottavuus- ja kustannustarkastelut joudutaan tekemään heikommilla perusteilla etenkin harvennusolosuhteissa. Vaikka muutamia pohjoismaisia tutkimustuloksia onkin julkaistu, niiden sovellettavuus suomalaisiin harvennusleimikoihin on kyseenalainen. Pitkän kuitupuun ja tukin suorakuormauksen sujuvuus suositusten mukaisilla, alle 4,5 metriä leveillä ajourillamme on kyseenalaista ja samalla kynnyksymys tämän kalliin korjuuteknologian käyttöönottoa harjittaessa.

Myös Dual-tyyppisen korjurin tuottavuusdynamiikassa on epävarmuutta. Tutkimuksissa on päädytty hyvin erilaisiin tuottavuustasoihin. On ilmeistä, ja osin tutkimuksinkin osoitettu, että tämä konetyyppi saavuttaa vähitellen tavanomaisen hakkuukoneen ja kuormatraktorin tehokkuuden hakkuussa ja metsäkuljetuksessa.

Kuvassa 24 on esitetty kaikkien tämän osatutkimuksen pohjana olleiden pohjoismaisten korjuritutkimusten tulokset käyttötuntituottavuuksina ja verrattu niitä korjuuketjun vastaavissa leimikko-olosuhteissa saavuttamiin, laskekennallisiin tuottavuuksiin. Korjuuketjun kahden koneyksikön on oletettu saavuttavan aina normaalin tuottavuustasonsa riippumatta siitä, kumpi koneista on hitaampi kyseisissä leimikko-olosuhteissa.



KUVA 24. Korjurin ja keskikokoisen korjuuketjun tuottavuusvertailu.

Työmaatasoinen tuottavuus ja ajanmenekki eivät kuitenkaan yksinään ratkaise korjareiden kannattavuutta perinteiseen korjuuketjuun nähden. Realistisempiin vertailuihin vaaditaan aluetasoinen tarkastelu, jossa otetaan huomioon koneiden suorituskyvyn lisäksi mm. leimikkoyoukon rakenne, korjuun kausivaihtelu ja koneiden käyttökustannukset. Tässä osatutkimuksessa laadittuja ajanmenekkimalleja hyödyntäen tehtiin erillinen tarkastelu noin 5 000 leimikon aineistolla, joka vastasi rakenteeltaan tyyppilisen eteläsuomalaisen hankinta-alueen leimikkoyoukkoa. Aluetasoinen optimoinnin tuloksena korjareilla korjattavaksi ohjautui 10–24 % leimikkoyoukosta riippuen siitä, mitä muuta kalustoa oli käytettävissä ja kuinka korkeaksi korjurin

hankintahinta oletettiin. Korjuun kokonaiskustannuksissa saavutettiin parhaimmillaan 2,5 prosentin säästö. Tulokset on aiemmin julkaistu Metsätehon katsauksessa 3/2005 (Imponen & Poikela 2005).

## 5.4 Tulevaisuus

Vuonna 2005 ainespuuta korjattiin Suomessa keskimäärin noin 1 600 hakkuukoneella ja 1 600 kuormatraktorilla (Torvelainen 2006). Korjureiden lukumäärää ei ole tilastoitu. Suomessa on nykyisin käytössä runsaat sata korjuria, joista yli puolet on pääosin ainespuun korjuussa ja vajaa puolet energiapuun korjuussa.

Korjurit eivät ole yleistyneet siten kuin saatujen, positiivisten korjuritutkimustulosten valossa olisi voinut olettaa. Syitä korjureiden hitaaseen yleistymiseen ei ole listattu. Mahdollisia syitä saattavat olla asenteet ja ennakkoluulot korjureita kohtaan ja tukeutuminen perinteiseen korjuuteknologiaan. Tämän tyyppiset seikat nousivat esille, kun Metsätehossa selvitettiin kaivukoneiden käyttöä ja yleistymistä puunkorjuussa Suomessa (Bergroth ym. 2007).

Korjureiden lukumäärä lisääntynee lähitulevaisuudessa; muutaman vuoden päästä korjureita voi olla aines- ja energiapuunkorjuussa jopa 200–300 Suomessa. Tämän kehityssennusteen taustalla ovat seuraavat tekijät:

- Puunkorjuussa haetaan kustannustehokkuutta sekä leimikko- että koneyritystasolla. Korjurilla on selvä kilpailuetu pienialaisilla harvennus- ja päätehakkuilla, saaristometsien hakkuissa, tuulenkaatojen korjuussa sekä siemen- ja suojuspuuhakkuissa (esim. Kärhä ym. 2001, Jylhä ym. 2006a). Pienikertymiset ja -runkoiset leimikot on kokonaistaloudellisesti järkevää korjata korjurilla ja vastaavasti isompikertymiset ja -runkoiset korjuukohteet kannattaa ohjata korjuuketjulle ja näin nostaa korjuuketjujen kannattavuutta.
- Hakkuiden rakennemuutos asettaa uusia vaatimuksia korjuukalustolle. Harvennusten ja turvemaiden puunkorjuuvolyymit tulevat kasvamaan seuraavan kymmenen vuoden aikana (Nuutinen ym. 2000, Nuutinen & Hirvelä 2006). Näiden kohteiden korjuuolosuhteet (rungen koko suhteellisen pieni ja alhainen hehtaari- ja leimikkokohtainen hakkuukertymä) sopivat korjurille erinomaisesti. Korjurilla voidaan päästä myös vähempiin ajokertoihin, jolloin ajourapainamat minimoituvat puunkorjuussa. Kun puuta korjataan turvemailta, pitkät metsäkuljetusmatkat saattavat tosin heikentää korjurilla tehtävän puunkorjuun kannattavuutta. Myös korjureiden suuret kokonaispainot voivat rajoittaa niiden käyttömahdollisuuksia heikosti kantavilla turvemailloilla.
- Metsäkoneyrityskentän muuttuessa koneyritysten koko kasvaa ja laajavastuinen urakointi lisääntyy. Muutokset luovat mahdollisuuden monipuolistaa metsäkoneyritysten konekalustoa. Tällöin korjurin hankinta korjuuketjujen rinnalle on mielekäs vaihtoehto.

Kun tarkastellaan korjureiden kilpailukykyä, on pidettävä mielessä korjureiden suhteellisen lyhyt kehityskaari. Korjureita on kehitetty aktiivisesti vasta noin kymmenen vuotta. Korjureita sekä niiden työmenetelmiä ja työn organisoimista kehittämällä kilpailukykyä on mahdollista edelleen parantaa.

Yksi kehityssuunta korjureiden kehittämisessä lienee monikäyttöisyys: samalla peruskoneella tehdään yhdellä käyntikerralla työmaalla useampi kuin yksi työlaji (vrt. Kärhä & Peltola 2004). Tulevaisuudessa nähdään todennäköisesti entistä enemmän korjureita, joilla tehdään kolmea, jopa neljää työlajia samalla käyntikerralla työmaalla. Mahdollisia työlajiyhdistelmiä ovat esimerkiksi erilaiset metsänhoidon, -uudistamisen sekä aines- ja energia-puun korjuun työt. Työlajien lukumäärä ei ole kuitenkaan päätarkoitus, vaan keino parantaa toiminnan kannattavuutta.

## KIRJALLISUUS

- Andersson, J. 2002. Drivarens prestation i slutavverkning - en jämförelse av tre avverkningsmetoder. Sveriges lantbruksuniversitet, Studentuppsatser 56.
- Andersson, J. 2003. Drivarens prestation i gallring - en jämförelse av två arbetsmetoder. Sveriges lantbruksuniversitet, Studentuppsatser 59.
- Asikainen, A. 2004. Integration of Work Tasks and Supply Chains in Wood Harvesting – Cost Savings or Complex Solutions? *International Journal of Forest Engineering* 15(2): 11–17.
- Bergkvist, I., Hallonborg, U. & Nordén, B. 2002. Valmet 801 Combi i gallring med fast lastutrytme för standardlängder. Skogforsk, Arbetsrapport 518.
- Bergkvist, I., Hallonborg, U. & Nordén, B. 2003a. Valmet 801 Combi i gallring och slutavverkning med vridbart lastutrytme för fallande längder. Skogforsk, Arbetsrapport 526.
- Bergkvist, I., Hallonborg, U. & Nordén, B. 2003b. Drivaren är konkurrenskraftig. Skogforsk, Resultat 14/2003.
- Bergroth, J., Kärhä, K., Palander, T. & Keskinen, S. 2007. Tela-alustainen kaivukone hakkuukoneena. Metsätehon raportti 199.
- Cederlöf, O. 1997. Tidsstudie av en kombinationsmaskin skotare-sködare. Sveriges lantbruksuniversitet, Studentuppsatser 1.
- Emer, B. 2005. Simulation of harwarder concepts under Italian north-eastern Aps conditions. Università Degli Studi di Padova, Facoltà di Agraria, Dipartimento Territorio e Sistemi agro-forestali, Tesi de laurea specialistica in Scienze Forestali ed Ambientali.
- Eriksson, P. & Rytter, L. 2000. Bränsleuttag med drivare – ett alternative till sen röjning i lövbestånd. Skogforsk, Resultat 4/2000.

- Haarlas, R., Harstela, P., Mikkonen, E. & Mäkelä, J. 1984. Metsätyöntutkimus. Helsingin yliopiston metsäteknologian laitoksen tiedonantoja 46.
- Hallonborg, U., Bucht, S. & Olaison, S. 1999. Nya grepp i gallring – ”Sluten Upparbetning” minskar skadorna och ökar produktiviteten. Skogforsk, Resultat 23/1999.
- Hallonborg, U. & Nordén, B. 2000. Räkna med drivare i slutavverkning. Skogforsk, Resultat 21/2000.
- Hallonborg, U., Nordén, B. & Lundström, H. 2005. Ponsse Dual Buffalo i slutavverkning. Skogforsk, Arbetsrapport 586.
- Hämäläinen, J., Poikela, A. & Rieppo, K. 2001. Menetelmä ylitiheiden nuorten metsien harvennukseen. Metsätehon raportti 108.
- Imponen, V. & Poikela, A. 2005. Erikoiskoneet haastavat yleiskonelinjan. Metsätehon katsaus 3/2005.
- Jylhä, P., Ala-Fossi, A., Väätäinen, K. & Sikanen, L. 2006a. Kuljettaja- ja yrittäjähaastattelut korjureiden käytöstä. Metsäntutkimuslaitos, Hankeraportti 26.6.2006.
- Jylhä, P., Väätäinen, K., Rieppo, K. & Asikainen, A. 2006b. Aines- ja energiapuun hakkuu ja lähikuljetus korjureilla. Kirjallisuuskatsaus. Metsäntutkimuslaitos, Työraportteja 34.
- Kuitto, P.-J., Keskinen, S., Lindroos, J., Oijala, T., Rajamäki, J., Räsänen, T. & Terävä, J. 1994. Puutavaran koneellinen hakkuu ja metsäkuljetus. Metsätehon tiedotus 410.
- Kärhä, K., Keskinen, S., Kallio, T., Liikkanen, R. & Lindroos, J. 2006a. Ennakkoraivaus osana ensiharvennuspuun korjuuta. Metsätehon raportti 187.
- Kärhä, K., Keskinen, S., Liikkanen, R. & Lindroos, J. 2006b. Kokopuun korjuu nuorista metsistä. Metsätehon raportti 193.
- Kärhä, K., Mäkinen, P., Rieppo, K. & Sirén, M. 2001. Tarkastelu ja johtopäätökset. Teoksessa: Kärhä, K. (toim.). Harvennuspuun koneelliset korjuuvaihtoehdot. HARKO-projektin (1999-2001) loppuraportti. Työtehoseuran julkaisuja 382: 74–82.
- Kärhä, K. & Peltola, J. 2004. Metsäkoneiden monikäyttöisyys. Metsätehon raportti 181.
- Kärhä, K., Poikela, A. & Keskinen, S. 2007. Aines- ja energiapuun korjuun tehostaminen ensiharvennuksilla. Käsikirjoitus Metsätehon raportiksi.
- Laitila, J. & Asikainen, A. 2006. Energy wood logging from early thinnings by harwarder method. *Baltic Forestry* 12(1): 94–102.
- Lilleberg, R. 1995. Naarva-Kouralla varustettu yhdistelmäkone ensiharvennusemännikössä. Metsäteho, Monisteita 11.9.1995.
- Lilleberg, R. & Korteniemi, P. 1997. Yhdistelmäkone ensiharvennusemänsä puunkorjuussa. Metsätehon raportti 26.

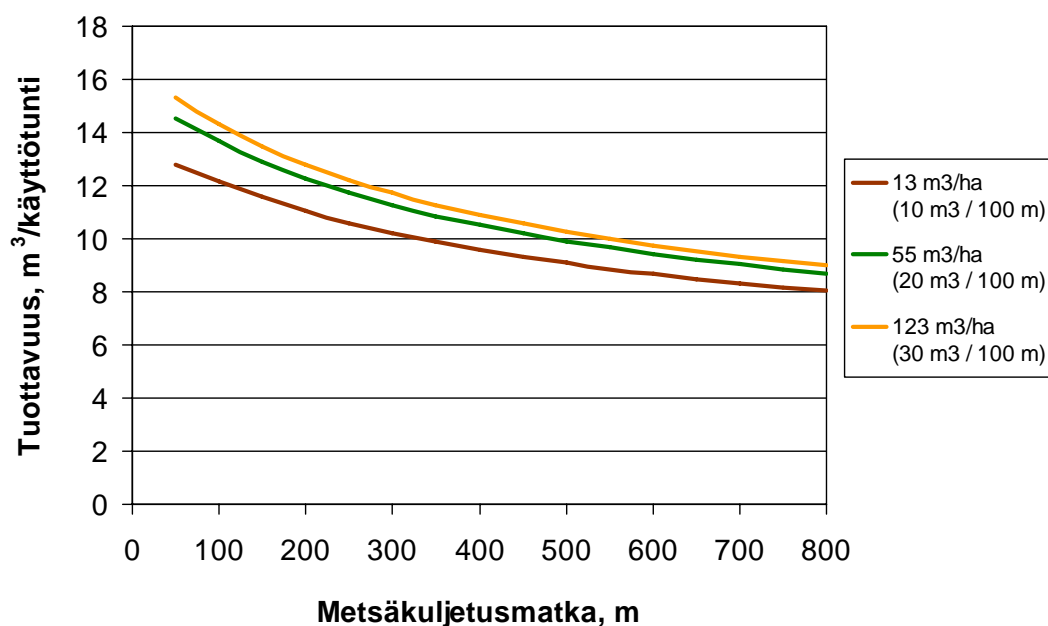
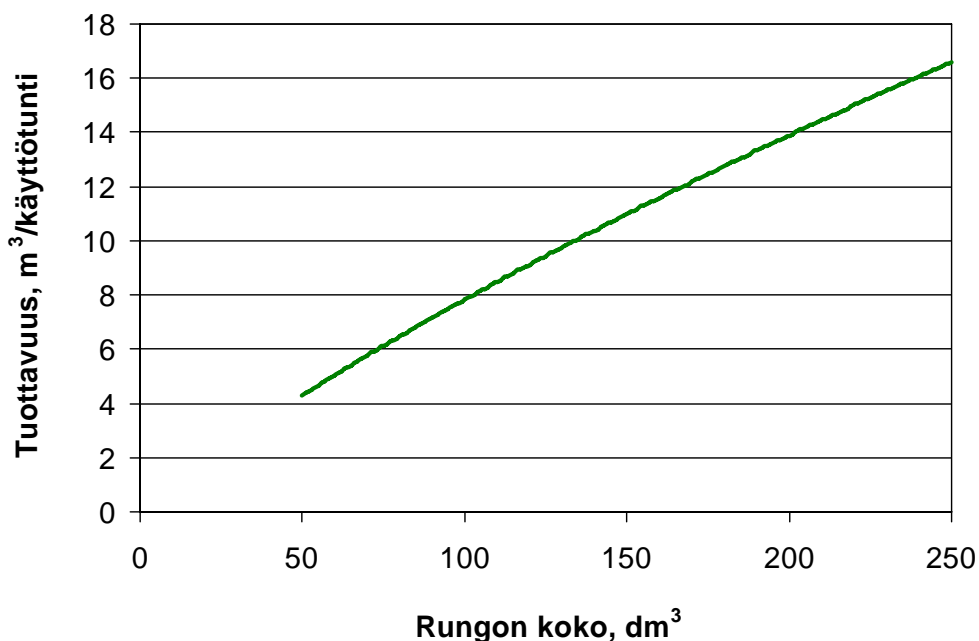


- Ljungdahl, S-G. 2004. Drivare i gallring - en jämförande studie av tre arbetsmetoder. Sveriges lantbruksuniversitet, Studentuppsatser 75.
- Mononen, J. 2002. Yhdistelmäkonteen työmenetelmät ja operaatiovaikutukset puunkorjuuyrittäjälle. Joensuun yliopisto, Metsätieteellinen tiedekunta, Metsä- ja puuteknologian pro gradu -työ.
- Nordén, B., Lundström, H. & Thor, M. 2005. Kombimaskin jämfört med tvåmaskinsystem. Tidsstudier av Ponsse Dual, Ponsse Beaver och Ponsse Buffalo hos SCA Skog AB. Skogforsk, Arbetsrapport 606.
- Nurminen, T. 2003. Puunkorjuukoneiden käytön tehostamisen toimintamalli. Helsingin yliopisto, Metsävarojen käytön laitos, Metsäteknologian pro gradu -työ.
- Nuutinen, T. & Hirvelä, H. 2006. Hakkuumahdollisuudet Suomessa valtakunnan metsien 10. inventoinnin perusteella. Metsätieteen aikakauskirja 1B/2006: 223–237.
- Nuutinen, T., Hirvelä, H., Hynynen, J., Härkönen, K., Hökkä, H., Korhonen, K.T. & Salminen, O. 2000. The role of peatlands in Finnish wood production – an analysis based on large-scale forest scenario modelling. *Silva Fennica* 34(2): 131–153.
- Nuutinen, Y., Väätäinen, K. & Asikainen, A. 2006. The influence of the number of log assortments on logging productivity in CTL-loggings with Combi harwarders. Seminaariesitelmä, NSR Conference Forest Operations in Front of New Challenges, September 18–19, 2006, Tartu, Estonia.
- Rajamäki, J., Kariniemi, A. & Oijala, T. 1996. Koneellisen harvennushakkuun tuottavuus. Metsätehon raportti 8.
- Rieppo, K. 2003. Vaihtoehtoista korjuutekniikkaa. Metsätehon raportti 149.
- Rieppo, K. & Pekkola, P. 2001. Korjureiden käyttömahdollisuuksista. Metsätehon raportti 121.
- Sirén, M. & Aaltio, H. 2003. Productivity of Costs of Thinning Harvesters and Harvester-Forwarders. *International Journal of Forest Engineering* 14(1): 39–48.
- Sirén, M. & Tanttu, V. 2001. Pienet hakkuukoneet ja korjuri rämemännikön talvikorjuussa. *Metsätieteen aikakauskirja* 4/2001: 599–614.
- Strömberg, A. 1999. Drivare: Produktivitet och ekonomi i gallring och slutavverkning. Sveriges lantbruksuniversitet, Studentuppsatser 23.
- Talbot, B., Nordfjell, T. & Suadicani, 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.
- Torvelainen, J. 2006. Puun korjuu ja kuljetus. Teoksessa: Peltola, A. (toim.). *Metsätalastollinen vuosikirja 2006*: 195–212.

- von Bodelschwingh, E. & Pausch, R. 2003. Harvester und Forwarder in einer Maschine. Der Harwarder Valmet 801 Combi im Praxistest. LWF Aktuell 39/2003: 23–26.
- Väkevä, J., Kariniemi, A., Lindroos, J., Poikela, A., Rajamäki, J. & Uusi-Pantti, K. 2001. Puutavaran metsäkuljetuksen ajanmenekki. Metsätehon raportti 123.
- Väätäinen, K., Asikainen, K. & Sikanen, L. 2007a. Metsäkoneiden siirtojen vaikutus puunkorjuun kustannuksiin. Teoksessa: Kariniemi, A. (toim.). Kehittyvä puuhuolto 2007 -seminaari metsäammattilaisille, 14.–15.2.2007, Paviiljonki, Jyväskylä. Seminaarijulkaisu: 53–57.
- Väätäinen, K., Liiri, H., Asikainen, A., Sikanen, L., Jylhä, P., Rieppo, K., Nuutinen, Y. & Ala-Fossi, A. 2007b. Korjureiden ja korjuuketjun simulointi ainespuun korjuussa. Metsäntutkimuslaitos, Työraportteja 48.
- Wester, F. 2001. Kostnad och prestation för en ny typ av drivare. Sveriges lantbruksuniversitet, Studentuppsatser 47.
- Wester, F. & Eliasson, L. 2003. Productivity in Final Felling and Thinning for a Combined Harvester-Forwarder (Harwarder). International Journal of Forest Engineering 14(2): 45–51.

### Hakkuun (ylh.) ja metsäkuljetuksen käyttötuntuottavuudet korjuuketjulla.

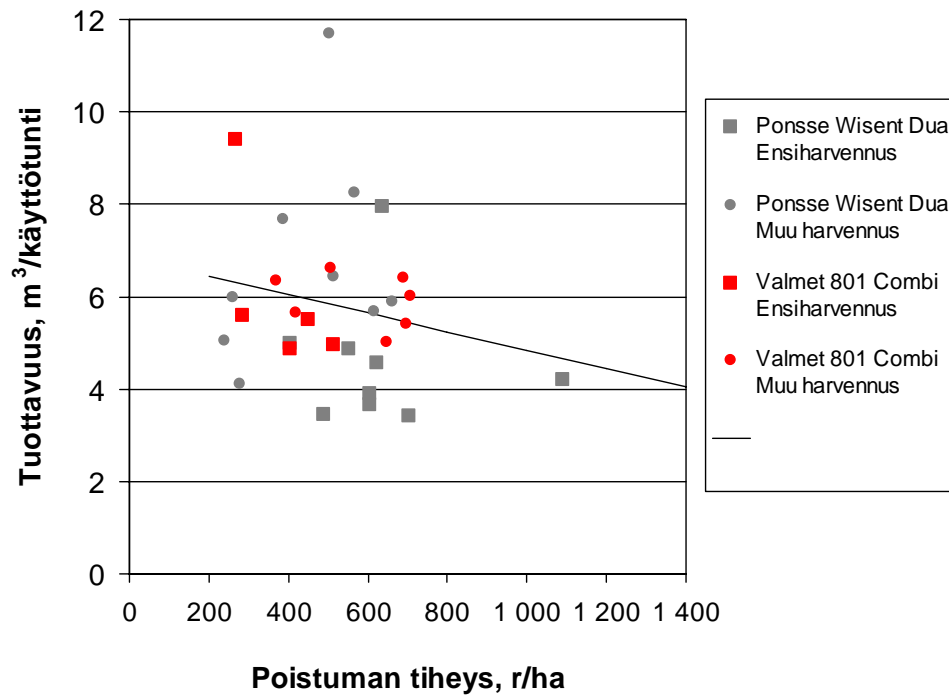
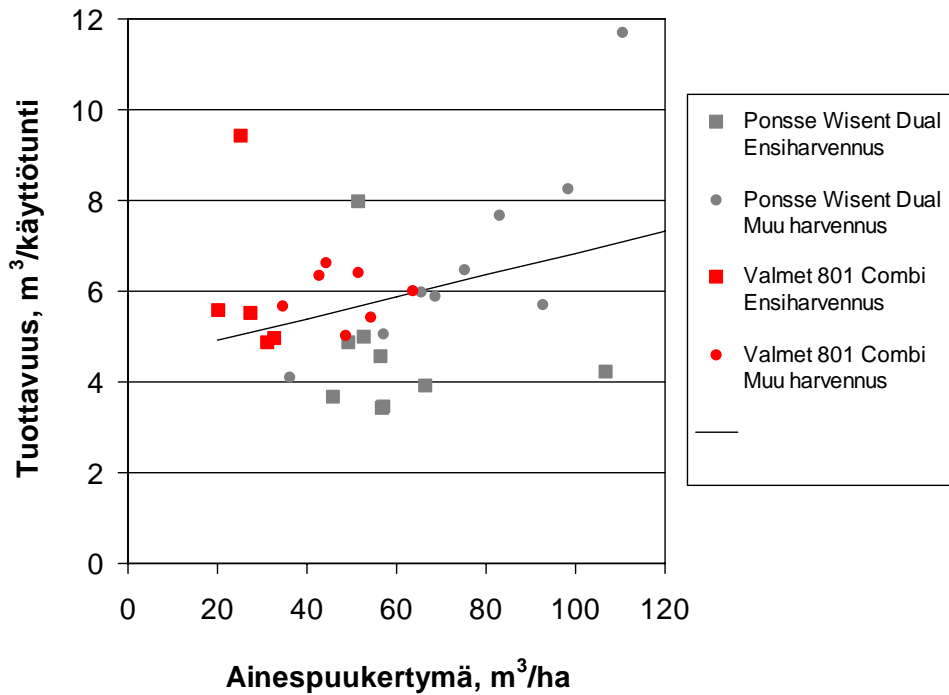
- Hakkuun ja metsäkuljetuksen tehotuottavuudet määritettiin Kärhän ym. (2006a) tutkimuksessa määritetyillä ajanmenekkimalleilla. Tehotuntuottavuudet muunnettiin käyttötuntuottavuuksiksi kertoimilla: 1,393 (hakkuu) ja 1,302 (metsäkuljetus).
- Työmaalla oletettiin olevan 500 kuusialikasvosrunkoa hehtaarilla (keskipituus 2 m).
- Poistuman tiheys väheni 723 rungosta/ha (rungon koko 50 dm<sup>3</sup>) 323 runkoon/ha (250 dm<sup>3</sup>) (liite 3) (Kärhä ym. 2007).
- Metsäkuljetuksessa kuormakoko oli 11,0 m<sup>3</sup>.

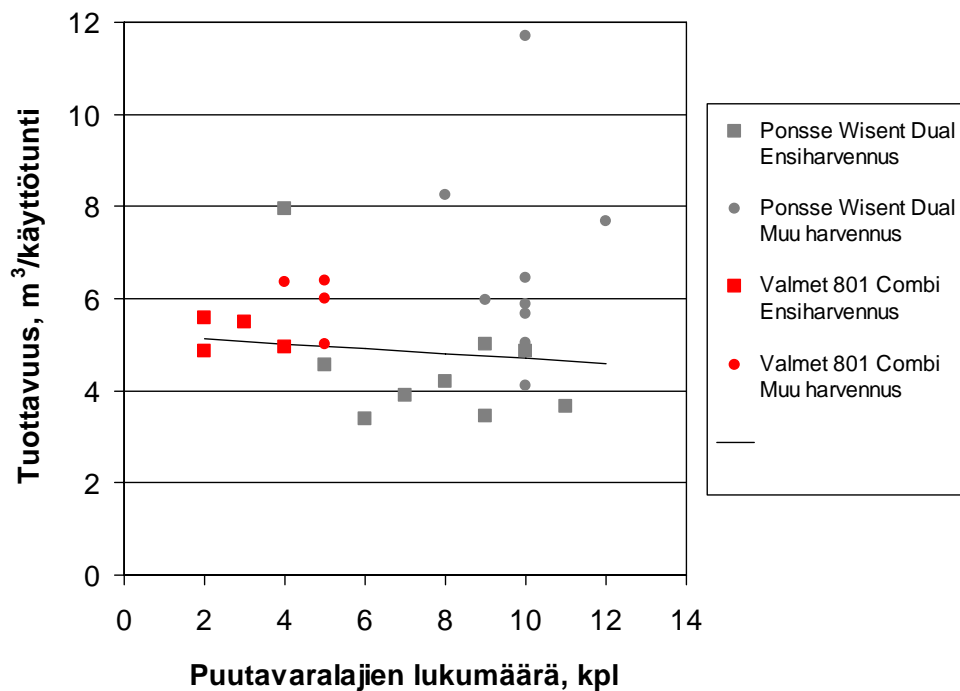
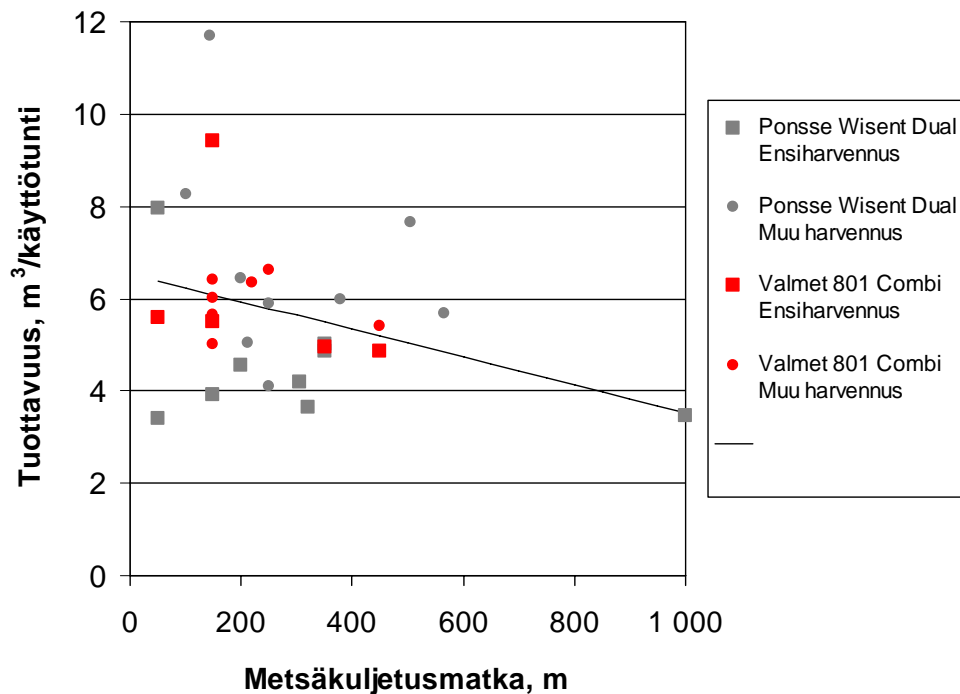


# LIITE 2

1 (2)

**Aidon korjurityön käyttötuntituottavuus hehtaarikohtaisen ainespuukertymän, poistuman tiheyden, metsäkuljetusmatkan ja puutavaralajien lukumäärän suhteen harvennuksella seuranta tutkimuksessa.**





## LIITE 3

**Korjuuteknologioiden puunkorjuukustannustarkasteluissa käytetty leimikon rungon keskikoon, ainespuukertymän ja poistuman tiheyden yhteys.**

Leimikon rungon keskikoko, dm <sup>3</sup>	Ainespuukertymä, m <sup>3</sup> /ha <sup>1</sup>	Poistuman tiheys, r/ha
50	36	723
60	40	660
70	43	611
80	46	572
90	48	539
100	51	511
110	54	487
120	56	467
130	58	448
140	60	432
150	63	417
160	65	404
170	67	392
180	69	381
190	70	371
200	72	361
210	74	353
220	76	345
230	78	337
240	79	330
250	81	323

<sup>1</sup>) Laskettu kaavalla 6 (Kärhä ym. 2007).

$$y = 5,1121x^{0,5}$$

[6]

*y* = missä

*y* = ainespuukertymä, m<sup>3</sup>/ha

*x* = leimikon rungon keskikoko, dm<sup>3</sup>

$R^2 = 0,82$

**Yhteenvertotaulukko ainespuun korjuuteknologioiden systeemi-analysissä käytetyistä tutkimuksista.**

Hakkuutapa	Kone	Keskijäreys, m <sup>3</sup>	Kuljetusmatka, m	Tehoajanmenekki, h/m <sup>3</sup>	Tehotuntuotos, m <sup>3</sup>	Keskeytyskerroin	Käyttöajanmenekki, h/m <sup>3</sup>	Käyttötuntuotos, m <sup>3</sup>	Kuormatila	Lähde
I-harv	Valmet Combi	0,050	300				0,273	3,66	Kiinteä	Talbot ym. 2003
II-harv	Valmet Combi	0,160	300				0,143	6,98	Kiinteä	Talbot ym. 2003
III-harv	Valmet Combi	0,270	300				0,123	8,11	Kiinteä	Talbot ym. 2003
I-harv	Ponsse Dual	0,050	300				0,290	3,45	Kiinteä	Talbot ym. 2003
II-harv	Ponsse Dual	0,160	300				0,160	6,25	Kiinteä	Talbot ym. 2003
III-harv	Ponsse Dual	0,270	300				0,138	7,23	Kiinteä	Talbot ym. 2003
II-harv	Hemek	0,090	127	0,201	4,98	1,16	0,232	4,31	Kiinteä	Wester ja Eliasson 2003
Pääteh.	Hemek	0,220	113	0,097	10,30	1,16	0,113	8,87	Kiinteä	Wester ja Eliasson 2003
II-harv	Hemek	0,090	98	0,166	6,02	1,16	0,192	5,21	Kääntävä	Wester ja Eliasson 2003
Pääteh.	Hemek	0,220	84	0,092	10,92	1,16	0,106	9,41	Kääntävä	Wester ja Eliasson 2003
II-harv	Hemek	0,130	160	0,175	5,70	1,188	0,208	4,80	Kiinteä	Strömgren 1999
Pääteh.	Hemek	0,250	120	0,100	10,00	1,190	0,119	8,40	Kiinteä	Strömgren 1999
I-harv	Valmet Combi	0,042	150	0,270	3,70	1,11	0,300	3,33	Kääntävä	Bergkvist ym. 2003a
I-harv	Valmet Combi	0,056	150	0,213	4,70	1,11	0,236	4,23	Kääntävä	Bergkvist ym. 2003a
I-harv	Valmet Combi	0,123	150	0,130	7,70	1,11	0,144	6,93	Kiinteä	Bergkvist ym. 2003a
II-harv	Valmet Combi	0,157	150	0,112	8,90	1,11	0,125	8,01	Kiinteä	Bergkvist ym. 2003a
Pääteh.	Valmet Combi	0,265	100	0,056	17,80	1,11	0,062	16,02	Kääntävä	Bergkvist ym. 2003a
Pääteh.	Valmet Combi	0,176	100	0,070	14,30	1,11	0,078	12,87	Kääntävä	Bergkvist ym. 2003a
I-harv	Valmet Combi	0,060	107	0,244	4,10	(1,11)	0,271	3,69	Kääntävä	Andersson 2003
I-harv	Valmet Combi	0,060	181	0,238	4,20	(1,11)	0,264	3,78	Kääntävä	Andersson 2003
II-harv	Valmet Combi	0,330		0,124	8,05	(1,11)	0,138	7,25	Kääntävä	Andersson 2003
Pääteh.	Valmet Combi	0,180	190,5	0,077	13,02	1,20	0,092	10,87	Kääntävä	Andersson 2002
Pääteh.	Valmet Combi	0,180	190,5	0,083	12,07	1,20	0,099	10,09	Kääntävä	Andersson 2002
Pääteh.	Valmet Combi	0,180	190,5	0,084	11,93	1,20	0,100	9,97	Kääntävä	Andersson 2002
I-harv	Valmet Combi	0,073	250	0,156	6,39	1,11	0,174	5,76	Kiinteä	Rieppo 2003
II-harv	Valmet Combi	0,150	250	0,111	9,04	1,11	0,123	8,14	Kiinteä	Rieppo 2003
Pääteh.	Valmet Combi	0,252	250	0,087	11,53	1,11	0,096	10,39	Kiinteä	Rieppo 2003
Pääteh.	Valmet Combi	0,440	250	0,072	13,85	1,11	0,080	12,48	Kiinteä	Rieppo 2003
I-harv	Ponsse Dual	0,073	250	0,156	6,41	1,11	0,173	5,77	Kiinteä	Rieppo 2003
II-harv	Ponsse Dual	0,150	250	0,121	8,25	1,11	0,135	7,43	Kiinteä	Rieppo 2003
Pääteh.	Ponsse Dual	0,252	250	0,071	14,16	1,11	0,078	12,76	Kiinteä	Rieppo 2003
Pääteh.	Ponsse Dual	0,440	250	0,055	18,05	1,11	0,061	16,26	Kiinteä	Rieppo 2003