

Aines- ja energiapuun hakkuu ja lähikuljetus korjureilla

Kirjallisuuskatsaus

Paula Jylhä, Kari Väätäinen, Kaarlo Rieppo ja Antti Asikainen

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

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

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

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

Toimitus

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

Julkaisija

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

Tekijät Jylhä, Paula, Väätäinen, Kari, Rieppo, Kaarlo & Asikainen, Antti			
Nimeke Aines- ja energiapuun hakkuu ja lähikuljetus korjureilla. Kirjallisuuskatsaus			
Vuosi 2006	Sivumäärä 40	ISBN ISBN-13: 978-951-40-2012-4 (PDF) ISBN-10: 951-40-2012-X (PDF)	ISSN 1795-150X
Yksikkö / Tutkimusohjelma / Hankkeet Joensuun toimintayksikkö/7165 Yhdistelmäkoneiden simulointi aines- ja energiapuun korjuussa			
Hyväksynyt Jari Parviainen, toimintayksikön johtaja, 7.9.2006			
Tiivistelmä <p>Korjuri (myös yhdistelmäkone tai kombikone) on metsäkonetyyppi, jolla voidaan tehdä puunkorjuun molemmat päävaiheet, hakkuu ja lähikuljetus. Korjurit jaetaan kone- ja työteknisesti kahteen erilliseen päälinjaan. Ns. aidoilla korjureilla molemmat työvaiheet voidaan tehdä samalla ajokerralla varustusta vaihtamatta. Toista päälinjaa edustavat erillisellä hakkuulaitteella ja kourakuormaimella varustetut kuormatraktorit. Suomessa sarjavalmisteisia korjureita on käytössä noin 60–70 kpl.</p> <p>Kirjallisuuskatsaus kattaa koti- ja ulkomaisen (lähinnä pohjoismaisen) aiheeseen liittyvän kirjallisuuden noin kymmenen vuoden ajalta. Julkaisussa esitellään korjureiden käyttämiä työmenetelmiä ja tuottavuustutkimusten tuloksia sekä kuvataan korjureille sopivien leimikoiden ominaisuuksia. Lisäksi käsitellään mm. korjurin hankinnan kannattavuutta koneyrityksen näkökulmasta sekä verrataan erilaisia korjurikonsepteja toisiinsa. Työ on osa Yhdistelmäkoneiden simulointi aines- ja energiapuun korjuussa -hanketta, jonka tavoitteena oli selvittää korjurin käyttöalue osana puunkorjuun kokonaisu-järjestelmää.</p> <p>Useimpien tutkimusten mukaan korjureiden kilpailukyky on parhaimmillaan sellaisilla leimikoilla, joita luonnehtivat pieni pinta-ala ja hakkuukertymä, lyhyt metsäkuljetusmatka ja pitkä koneiden siirtomatka. Tutkimuksissa käytettiin lukuisia erilaisia työtekniikkoja, eikä kullekin konekonseptille kaikkiin olosuhteisiin parhaiten soveltuvaa vaihtoehtoa voida esittää. Puiden katkonta suoraan kuormatilaan (suorakuormaus) on kuitenkin osoittautunut tuottavuutta parantavaksi ratkaisuksi, etenkin päätehakkuilla.</p> <p>Korjureiden konetekninen kehitys on ollut nopeaa. Erityisesti korjureiden käyttöasteet ovat nousseet tarkasteluvälillä. Tuottavuutta voidaan edelleen parantaa kehittämällä teknisiä ratkaisuja ja työmenetelmiä. Korjureiden tulevaisuus nähdään lupaavana erityisesti Keski-Euroopassa, jossa leimikot ovat pieniä ja hajallaan sijaitsevia. Alue- ja avainyrittäjämallin yleistyminen parantaa mahdollisuuksia korjureiden läpimurtoon Suomessa, sillä leimikkovarannon kasvaessa kone voidaan ohjata sille sopiviin kohteisiin aikaisempaa paremmin. Korjureiden voidaankin olettaa vakiintuvan osaksi korjuuyritysten kalustoa perinteisten korjuuketjujen rinnalle.</p>			
Asiasanat korjuri, yhdistelmäkone, kombikone, puunkorjuu, ainespuu, energiapuun hakkuu, lähikuljetus, puunkorjuun tuottavuus			
Julkaisun verkko-osoite http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2006/mwp034.htm			
Tämä julkaisu korvaa julkaisun			
Tämä julkaisu on korvattu julkaisulla			
Yhteydenotot Paula Jylhä, Metla, Kannuksen toimintayksikkö, PL 44, 69101 Kannus. Sähköposti paula.jylha@metla.fi			
Muita tietoja Julkaisun taitto: Maija Heino			

Sisällysluettelo

1 Johdanto	5
1.1 Taustaa	5
1.2 Markkinoilla olevat korjurit	5
1.3 Korjureiden edut ja rajoitukset	8
2 Korjuritutkimukset	10
2.1 Tutkitut koneet.....	10
2.2 Tutkitut työskentelymenetelmät	11
2.2.1 Harvennuspuun korjuumenetelmät.....	12
2.2.2 Päätehakkuiden työmenetelmät	14
2.3 Seurantatutkimukset	15
2.4 Korjureiden kilpailukykytutkimukset.....	15
2.5 Tutkimustulosten yhdenmukaistaminen	16
3 Korjurityöskentely käytännössä	17
3.1 Ajourien suunnittelu	17
3.2 Työskentelytavat.....	17
4 Ainespuun korjuun tuottavuus ja kustannukset	19
4.1 Harvennushakkuut	19
4.2 Päätehakkuut.....	21
4.2.1 Aidot korjurit	21
4.2.2 Ponsse Dual	22
4.3 Korjuukustannukset.....	24
5 Korjurin käyttöalue	24
5.1 Työmaan koko ja koneiden siirrot	25
5.2 Lähikuljetusmatka	25
5.3 Rungon koko	26
5.4 Puutavaralajien lukumäärä	26
6 Konekonseptien väliset erot	27
7 Työskentelymenetelmän vaikutus tuottavuuteen	29
8 Korjuutyön laatu	31
9 Koneyrityksen kannattavuus	32
10 Energiapuun korjuu	33
11 Päätelmiä	34
11.1 Tutkimustulosten luotettavuus	34
11.2 Korjurin tulevaisuus	36
Kirjallisuus	37

1 Johdanto

1.1 Taustaa

Pohjoismaissa lähes kaikki puutavara korjataan tavaralajimenetelmällä, jossa rungot katkotaan eri käyttötarkoituksiin meneviksi tavaralajeiksi jo metsässä. Tavaralajimenetelmän osuus koko maailman koneellisesta puunkorjuusta arvioidaan olevan n. 35 % ja se yleistyy koko ajan (Ponsse Oyj 2006). Korjuri (myös yhdistelmäkone tai kombikone) on nousemassa tavaralajikorjuun vaihtoehtoksi hakkuukoneen ja kuormatraktorin muodostamalle ketjulle. Sillä voidaan tehdä molemmat puunkorjuun päävaiheet, joita ovat hakkuu ja lähikuljetus.

Ensimmäinen hakkuun ja lähikuljetuksen yhdistävä kone rakennettiin Yhdysvalloissa 1950-luvun lopulla. Sen innoittamana vastaavanlaisia koneita alettiin kehittää Ruotsissa (Kontinen ja Drushka 1997), mutta mielenkiinto konseptia kohtaan hiipui vähitellen. Ajatus hakkuun ja metsäkuljetuksen yhdistämisestä herätettiin uudelleen henkiin 1990-luvulla, ja ensimmäiset korjurin prototyypit valmistuivat Suomessa ja Ruotsissa vuosikymmenen puolivälissä. Ne olivat korjuukouralla varustettuja ja kuormatraktoreita, mutta myöhemmin korjureita alettiin rakentaa myös hakkuukoneen alustalle. Korjureiden työtavoista, tuottavuudesta ja käyttöalueesta ei ole kattavaa esitystä. Tämän kirjallisuuskatsauksen tavoitteena oli koota yhteen korjuritutkimusten anti. Työ on osa Tekesin ja yritysten osittain rahoittamaa Yhdistelmäkoneiden simulointi aines- ja energiapuun korjuussa -hanketta, jonka tehtävänä oli selvittää korjurin käyttöaluetta osana puunkorjuun kokonaisjärjestelmää.

1.2 Markkinoilla olevat korjurit

Korjurit jaetaan kahteen kone- ja työteknisesti erilaiseen päälinjaan. Aidointa korjuritekniikkaa edustavat koneet, joilla hakkuu ja lähikuljetus voidaan tehdä rinnakkain samalla ajokerralla varustusta vaihtamatta (kombikoneet). Suomessa markkinoilla olevista koneista näitä ovat Valmet 801 Combi (kuva 1) ja Pinox Combi -korjurit (kuva 2). Samaan päälinjaan kuuluvat myös kuormatraktorit, joihin on asennettu ns. korjuukoura (yhdistelmäkoura). Ponsse Dual -korjurit edustavat toista päälinjaa, erillisellä hakkuulaitteella ja kourakuormaimella varustettuja kuormatraktoreita (kuva 3). Ponsse Dual muutetaan hakkuukoneesta kuormatraktoriksi vaihtamalla hakkuulaitteen tilalle puutavarakoura sekä nostamalla sermi, pankot ja takarungon jatke kahdessa osassa paikoilleen. Hakkuu ja metsäkuljetus tehdään siten erillisillä ajokerroilla.

Hakkuun ja lähikuljetuksen integrointi on täydellisintä silloin, kun puutavara katkotaan suoraan kuorman ilman välikasausta. Yleensä tämä edellyttää suorakuormausta helpottavia teknisiä ratkaisuja, joita on tarjolla sekä Valmetin että Pinoxin korjureihin. Kaikki korjurit voidaan varustaa myös joukkokäsittelyyn soveltuvalla energiapuukouralla, joita on markkinoilla kymmenkunta erilaista (Kärhä 2006a).

Taulukossa 1 on kuvattu Suomessa ja Ruotsissa markkinoilla olevat *sarjavalmistaiset* korjurit. Lisäksi esitellään kauko-ohjattava Harveri-pienharvesteri (kuva 4), jolla tehdään yleensä vain esikasaus, ei varsinaista lähikuljetusta. Hytitön kone toimii varsinaisten ajourien välissä poikkisuunnassa, ja ajouraväli metsäkuljetuksessa voi olla jopa 50–60 metriä. Harveri soveltuu kokonsa puolesta lähinnä ensiharvennuksille ja energiapuun korjuuseen (Rieppo 2003). Konevalmistajien arvioiden mukaan korjureita on myyty Suomeen 60–70 kpl ja Harvereita kymmenkunta. Ruotsissa korjureita on myyty moninkertainen määrä. Vakiovarusteisten koneiden hinnat (sis. alv) Suomessa vaihtelevat Harverin 128 000 eurosta Valmet Combin 480 000 euroon (Eliasson 2006, Korhonen 2006, Laine 2006, Papunen 2006, Vidgrén 2006). Kärhän (2006a, 2006b) arvion mukaan urakointikäytössä olisi hieman yli 20 energiapuukouralla varustettua korjuria.



Kuva 1. Valmet 801 Combi -korjuri (Kuva: Komatsu Forest Oy).



Kuva 2. Pinox 828 -korjuri (Kuva: Pinox Oy).



Kuva 3. Ponsse Buffalo Dual (Kuva: Ponsse Oyj).



Kuva 4. Harveri-pienharvesteri (Kuva: Artekno Oy).

Taulukko 1. Markkinoilla olevien sarjavalmistesteisten korjureiden teknisiä tietoja (Koneyrittäjä 2006, Komatsu Forest Oy 2005b).

	Harveri	Ponsse Buffalo Dual ¹	Ponsse Wisent Dual ¹	Pinox 728 ²	Pinox 828 ³	Valmet 801 Combi ⁴
Omapaino, kg	3 900	15 700 – 16 400	14 800 – 15 000	15 200	16 300	19 800
Kantavuus, kg	2 500	14 000	12 000	10 000	12 000	13 000
Moottorin teho, kW	44	180	129	108	143	140
Nosturi	Logmer 230	Ponsse K90 DUAL	Ponsse K90 DUAL	Pinox 100 liiker.nost.	Pinox 100 liiker.nost.	CRC 15
- ulottuma, m	3,1	10	10	10	10	11
Korjuukoura/ hakkuulaite	Keto-Forst	Ponsse H53	Ponsse H53	Pinox 310 tai 410	Pinox 410 tai 510	Valmet 330.2 DUO
- paino, kg	280	850	850	530–710	710–770	alk. 750
- syöttö	telaketju	3 kynsirullaa	3 kynsirullaa	2–3 vetorullaa	3 vetorullaa	2 vetorullaa
- suurin katkaisu- lpm, mm	300	520	520	350–450	450–550	480

¹ 8-pyöräinen malli.² Aikaisemmin Pika 728.³ Aikaisemmin Pika 828.⁴ Aikatutkimuksissa mukana olleet koneiden moottorit pääasiassa 4-sylinterisiä, teho 108 kW.

1.3 Korjureiden edut ja rajoitukset

Korjureita kehitettäessä tavoitteena on ollut puunkorjuun kustannusten alentaminen, etenkin pääomapanoksen pienentäminen integroimalla hakkuu ja metsäkuljetus samalla koneella tehtäväksi (Lilleberg ja Korteniemi 1997). Pääomakustannuksilla on merkitystä konetyyppin valintaa tehtäessä lähinnä silloin, kun korjuukalustolle ei pystytä takaamaan täyttä työllisyyttä. Säästöjä voi syntyä myös vieraan työvoiman palkkakustannuksissa (Nordén ym. 2005). Kahden koneen ketjuun verrattuna siirtokustannukset jäävät pienemmiksi, kun siirrettäviä koneita on ainoastaan yksi. Tästä on etua erityisesti pienillä ja hajallaan olevilla korjuukohteilla. Myös toiminnanohjaus on yksinkertaisempaa, kun hallittavana on ainoastaan yksi kone (Hallonborg 1998, Asikainen 2004, Bergkvist ym. 2003a).

Korjuria pidetään kompromissiratkaisuna, jolla sekä hakkuun että metsäkuljetuksen tuotokset jäävät pienemmiksi kuin erikoiskoneilla (esim. Riechsteiner 1998, Rieppo ja Pekkola 2001, Mononen 2002, Väättäinen ym. 2006b). Kompromissiluonteen vuoksi myös korjurin tekninen käyttöaste on oletettu alhaisemmaksi kuin korjuuketjulla (Riechsteiner 1998, Talbot ym. 2003). Erityisesti nosturin ja kouran ominaisuuksia pidetään puutteellisina, mutta Kärhän ym. (2006a) mukaan tutkimustulokset eivät välttämättä tue tätä oletusta hakkuun osalta. Ns. aidoilla korjureilla (kombikoneet) on työvaiheita yhdistämällä ja koneteknisiä ratkaisuja kehittämällä jo päästy perinteistä korjuuketjua suurempiin tuottavuuksiin erityisesti päätehakuilla (Imponen ja Poikela 2005). Esimerkiksi kaadetun puun katkonta suoraan kuormatilaan poistaa puutavaran kuormausvaiheen suurelta osin.

Korjurin kilpailukyky on parhaimmillaan sellaisilla leimikoilla, joita luonnehtivat pieni pinta-ala ja hakkuukertymä sekä lyhyt metsäkuljetusmatka ja pitkä koneiden siirtomatka (Emer 2005, Höglmeier 2006, Väättäinen ym. 2006a,b). Samat lainalaisuudet pätevät myös energiapuukorjureilla (Kärhä 2006a). Korjureille sopivina kohteina pidetään mm. pienialaisia harvennus- ja pääte-

hakkuita, saaristometsiä, myrskytuhoalueita ja siemenpuiden poistokohteita (Kärhä 2001 (toim.), Kangas 2003, Jylhä ym. 2006). Tosin päätehakkuilla ja siemenpuiden poistokohteilla korjurin teho tai hakkuulaitteen mitat voivat rajoittaa järeän puutavaran valmistamista. Korjureille sopiville leimikoille on päätehakkuita lukuun ottamatta tyypillistä hakkuun suuri osuus työajasta.

Monosen (2002) mukaan korjuri vaikuttaisi Suomessa soveltuvan parhaiten Länsi-Suomeen ja erityisesti Pohjanmaalle, jossa hakkuukertymät ovat pieniä. Korjurin aiheuttamia maastovaurioita ei ole tutkittu, mutta niiden uskotaan jäävän vähäisemmiksi kahden koneen ketjuun verrattuna, sillä ajokertojen vähentyminen vähentää myös raiteenmuodostusta (Bergkvist ym. 2003a, Kangas 2003, Sirén ja Tanttu 2001, Mononen 2002, Nurminen 2003). Siten lyhyt routajakso voisi puoltaa korjurin käyttöä myös Etelä-Suomessa sellaisilla leimikoilla, joilla ajourapainaumia syntyy helposti (Nurminen 2003). Samasta syystä osa talvileimikoista voitaisiin siirtää hakattavaksi kesällä korjurilla (Mononen 2002). Toisaalta useimmat korjurit ovat painavampia kuin hakkuukone tai kuormatraktori, mikä voi pienentää ajokertojen vähentymisestä syntyvää etua. Suorakuormauksen uskotaan edelleen vähentävän maastovaurioita (Hallonborg ym. 1999). Kiistattomia korjurin etuja on se, että korjuuvaurion saanut puu voidaan poistaa vielä ajovaiheessa (Rieppo ja Pekkola 2001, Kangas 2003).

Korjuria voidaan käyttää korjuuketjua täydentävänä koneena silloin, kun ketjun koneiden tuottavuudet ovat epätasapainossa tai työt keskeytyisivät konerikon vuoksi (esim. Hallonborg 1998, Talbot ym. 2003, Hallonborg ym. 2005, Nordén ym. 2005, Väätäinen ja Liiri 2006b). Tyypillisiä hakkuun tuottavuutta heikentäviä tekijöitä ovat rungon pieni koko ja puiden oksikkuus. Kuormatraktorin tuottavuutta puolestaan heikentävät mm. pitkä metsäkuljetusmatka ja maaston vaikeus (Talbot ym. 2003). Epätasapaino on erityisen suuri energiapuuharvennuksilla, joilla kaato-kasauskoneen tuottavuus on ainoastaan kolmasosa kuormatraktorin kapasiteetista (Laitila ja Asikainen 2006). Erot voivat olla suuria myös ainespuuhakkuilla. Väätäisen ja Liirin (2006b) tutkimuksessa metsäkuljetuksen tuottavuus oli pienirunkoisilla ensiharvennuksilla kaksinkertainen hakkuuseen verrattuna ja järeäpuustoisilla päätehakkuilla hakkuukoneen tuottavuus oli kaksinkertainen metsätraktoriin verrattuna. Monosen (2002) mukaan korjuria on järkevämpää käyttää hakkuukoneena kuin kuormatraktorina korjuuketjuja tasapainotettaessa. Ajokoneena toimittaessa mm. kallis mittausjärjestelmä olisi käyttämättömänä (Asikainen ym. 2005). Koneyrityksen näkökulmasta korjurin hankinnan tarkoituksena voi olla myös yrityksen kokonaiskannattavuuden parantaminen siirtämällä heikosti kannattavia leimikoita korjurille (Väätäinen ym. 2006b).

Korjurityötä pidetään vaihtelevana, sillä työskentely voidaan rytmittää olosuhteiden mukaan (Hallonborg 1998, Kärhä 2001 (toim.), Rieppo ja Pekkola 2001). Toisaalta korjurilla joudutaan työskentelemään yksin (Väätäinen ym. 2006b). Erityisesti talvella voidaan vähentää metsään jäävän puutavaran määrää, kun ajo tehdään samanaikaisesti tai heti hakkuun jälkeen (Hallonborg 1998, Rieppo ja Pekkola 2001, Bergkvist ym. 2003a). Tällöin lumi ei ehdi peittää kasoja. Myös puutavaran toimitukset tehtaalle voivat nopeutua (Talbot ym. 2003). Hallonborg (1998) sekä Rieppo ja Pekkola (2001) pitävät puutavaran lajittelua helpompana, kun puutavara kuormataan hakkuun yhteydessä. Lisäksi värimerkkausta tarvitaan vähemmän. Puutavara pysyy puhtaampana, jos se katkotaan kaadon jälkeen suoraan kuormaan (Hallonborg ym. 1999, Hallonborg ja Nordén 2000). Toisaalta kuormaus ja etenkin kuorman purkaminen yhdistelmäkuralla on hitaampaa kuin varsinaisella puutavarakouralla (Wester 2001, Bergkvist ym. 2004, Nuutinen ym. 2006).

Kun korjuria käytetään energiapuun korjuussa, energiapuun laatua ei voida parantaa kuivattamalla sitä palstalla ennen lähikuljetusta (Kärhä 2006a, 2006b). Toisaalta korjurin käytöllä voidaan välttyä kahden koneen ketjulle tyypillisiltä mittausongelmilta, jotka johtuvat hakkuun ja met-

säkuljetuksen välisestä viiveestä ja energiapuun kuivumisesta sen aikana (Laitila ja Asikainen 2006). Käyttämällä korjurissa kuormainvaakaa saadaan nopeasti yhdenmukaiset mittaustulokset, jotka käyvät perusteeksi maksettaessa koneyrittäjälle tehdystä työstä. Laitilan ja Asikaisen (2006) mukaan kuormatraktorialustainen energiapuukorjuri on aloittelevalle yrittäjälle pienempi taloudellinen riski kuin kahden koneen ketju. Energiapuukoura voidaan tarvittaessa siirtää erilliseen kaato-kasauskoneeseen ja käyttää kuormatraktoria pelkästään lähikuljetukseen.

2 Korjuritutkimukset

2.1 Tutkitut koneet

Kirjallisuuskatsaukseen koottiin lähinnä pohjoismaisia ja sekä myös keskieurooppalaisia korjuritutkimuksia noin kymmenen vuoden ajalta. Tutkimukset käsittelevät pääasiassa ainespuun korjuuta. Energiapuun korjuuseen liittyvät tutkimukset rajattiin suomalaisiin. Osa aikatutkimuksista on tehty prototyypikoneilla (taulukko 2). Valmet 801 Combi -korjureita on tutkittu kaikilla kuormatilavaihtoehdoilla, ja lähes kaikissa koneissa on ollut nelisylinterinen moottori. Nykyisin nämä koneet varustetaan tehokkaammalla kuusisylinterisellä moottorilla.

Hallonborg ym. (2005) ja Nordén ym. (2005) ovat julkaisseet aikatutkimukset Ponsse Buffalo Dual -korjurista. Sama kone oli mukana myös Riepon (2003) tutkimuksessa, mutta tulokset esitettiin kaikille korjureille yhteisinä. Tutkimukseen sisältyi myös kaksi suppeaa koetta kauko-ohjattavalla Harveri-pienharvesterilla.

Kärhä ym. (2003) raportoivat kokeesta, jossa tutkittiin hakkuuseen ja esikasaukseen tarkoitettua ns. Syrjän prototyypikorjuria. Siinä rungon alla oli poikkipinta-alaltaan noin neliömetrin suuruisen kuormatila, jonne mahtui 2,5 m³ kuitupuuta (pituus n. 4,5 m). Tämä ratkaisu ei ollut kilpailukykyinen vaihtoehto korjuuketjulle. Lilleberg (1995) tutki Naarva-kouralla varustettua korjuria karsitun rangan korjuussa. Puut karsittiin pystyyn tai karsinta tehtiin hakkuukoneella vasta tienvarressa, mutta korjuri ei ollut kokeilluilla tekniikoilla ja tuottavuustasolla kilpailukykyinen.

Myös muilla konekonstruktioilla on tehty kokeiluja, jotka eivät ole johtaneet koneen tai menetelmän läpimurtoon. Lilleberg (1994) arvioi, että kuorman tiivistystä ja kuormassa tehtävää joukkokatkaisua käyttäen korjurilla voitaisiin ensiharvennuksella päästä 5–7 m³:n tehotuntituotokseen. Aines- ja energiapuun korjuuseen tarkoitettu prototyyppi poikkesi olennaisesti nykyisistä korjureista. Siinä oli keräilevän kaatolaitteen lisäksi kuorman tiivistysmekanismi sekä nippukatkaisulaite kuormatilan perässä. Kaatolaitteessa oli sekä giljotiinityyppinen katkaisulaite että ketjusaha.

Energiapuun korjuuta on tutkittu pääasiassa kuormatraktori pohjaisilla yhdistelmillä, joissa on ollut keräävä korjuukoura. Kärhän (2006a, 2006b) tutkimuksessa oli mukana myös energiapuukouralla varustettu Valmet 801 Combi. Laitila (2004) kehitti suuralueille sopivan energiapuun korjuukustannusten ja kertymien analysointimenetelmän, jossa korjuri oli yksi vaihtoehtoisista korjuumenetelmistä (myös Laitila ym. 2004). Energiapuukorjureiden ajanmenekkimalleja ovat esittäneet Laitila ja Asikainen (2006) ja Kärhä ym. (2006).

Taulukko 2. Aikatutkimuksissa mukana olleita korjureita.

Merkki ja malli	Ohjaamo	Kuormatila	Koura	Julkaisu
<i>Ainespuun korjuu</i>				
Hemek Ciceron + Pogen 1.0 (prototyyppi)	Kääntyvä (270°)	Kääntyvä ja kiinteä, pankot liikuteltavia	Pogen 1.0	Wester (2001), Wester & Eliasson (2003)
Pika 728T ¹	Kiinteä	Kiinteä	Pika 310	Sirén ja Tanttu (2001), Rieppo (2003)
Pika 828 Combi-Trac Senior	Kääntyvä (450°)	Kiinteä	Pika 400	Sirén ja Aaltio (2003), Rieppo ja Pekkola (2001)
Moisio Forest Oy (Valmet 840)	Kiinteä	Kiinteä	Moipu 400	Rieppo ja Pekkola (2001)
S.A. Nisula (Valmet 828 Combi)	Kääntyvä (540°)	Kiinteä		Rieppo ja Pekkola (2001)
Ponsse Buffalo Dual ¹	Kiinteä	Kiinteä, sermit ja pankot irrotettavia	Ponsse H53	Hallonborg ym. (2005), Nordén ym. (2005)
Valmet 801 Combi ¹ 4-sylinterinen	Kääntyvä	Perinteinen kuormatruktorin kuormatila Kiinteä 2-lokeroinen, poikittaiskuormaukseen soveltuva tasku etuosassa Kääntyvä ja kallistettava	330 Duo	Kangas (2003) Bergkvist ym. (2002) Andersson (2002, 2003), Andersson ja Eliasson (2004), Bergkvist ym. (2003a), Von Bodelschwingh (2003), Ljungdahl (2004), Emer (2005), Nuutinen ym. 2006
Valmet 801 Combi (6-sylinterinen)	Kääntyvä	Kiinteä	330 Duo	
Valmet 820+ Pika 300	Kiinteä	Kiinteä	Pika 300	Lilleberg ja Korteniemi (1997)
Prototyyppi	Kääntyvä	Kääntyvä	-	Hallonborg ja Nordén (2000)
<i>Energiapuun korjuu</i>				
Valmet 801 Combi	Kääntyvä (540°)	Perinteinen kuormatruktorin kuormatila	Moipu 400E	Kärhä (2006a,b)
Ponsse S15 Bison, Timberjack 1110C	Kiinteä	Kiinteä	Moipu 400E	Kärhä (2006a,b)
Keskik. kuormatraktori	Kiinteä	Kaadettava sermi ja liikuteltavat pankot	Moipu	Laitila (2004), Laitila ym. (2004)
Valmet 840	Kiinteä	Kaadettava sermi ja liikuteltavat pankot	Moipu 400E	Laitila ja Asikainen (2006)

¹ Koneet sisältyvät Moipun ja Ässän lisäksi Riepon (2003) tutkimukseen, jossa tulokset esitettiin yhteisenä usealle konemerkillle.

2.2 Tutkitut työskentelymenetelmät

Kääntyvällä kuormatilalla varustetut korjurit ovat maassamme vielä harvinaisia. Suomalaisissa tutkimuksissa onkin Imposta (2005) ja Väättäistä ym. (2006a, 2006b) lukuun ottamatta pitäyditty menetelmissä, joissa puutavara kasataan maahan ennen kuormaamista. Ruotsissa suorakuormausta on huomattavasti yleisempää, ja suorakuormausten menetelmiä on tutkittu siellä paljon. Suomalaiset työmenetelmien vertailut ovat olleet suppeita (Rieppo ja Pekkola 2001, Rieppo 2003). Aikatutkimuksissa suorakuormausten menetelmää on käytetty ainoastaan energiapuun korjuussa (Kärhä 2006a, Kärhä 2006b). Hallonborg (1998) on esittänyt matemaattisia malleja ajourien sijoittelun

vaikutuksista metsäkuljetusmatkaan, jolla on vaikutusta korjurin tuotokseen. Malleja ei kuitenkaan ole hyödynnetty myöhemmissä tutkimuksissa, joissa ei ole myöskään yleensä kuvattu ajourien sijoittelua.

Seuraavassa kuvataan ainespuun korjuuseen liittyvissä aikatutkimuksissa käytettyjä työmenetelmiä korjurityypeittäin. Tutkimuksissa käytetyt koneet ryhmiteltiin kiinteäkuormatilaisiin ja kääntyvällä kuormatilalla varustettuihin. Jako kuvaa mahdollisuuksia soveltaa erilaisia työskentelymenetelmiä, lähinnä mahdollisuutta suorakuormaukseen. Menetelmäkuvausten alussa olevat kirjaimet (A–H) viittaavat taulukoihin 4 ja 5 koottuihin tuottavuustutkimuksiin. Menetelmäkuvaukset eivät kuitenkaan olleet kaikilta osin yhdenmukaisia, joten luokituksessa voi olla puutteita. Esimerkiksi korjurin siirtymistapoja tai liikkumissuuntia ei tiedetä kaikissa tapauksissa. Joistakin tutkimuksista menetelmäkuvaus puuttuu kokonaan. Käytännössä sovellettavia työmenetelmiä ovat kartoittaneet Mononen (2002) ja Jylhä ym. (2006a).

2.2.1 Harvennuspuun korjuumenetelmät

Kiinteäkuormatilaiset korjurit

- A) *Valmet 801 Combi* (Bergkvist ym. 2002): Kaksilokeroisella kuormatilalla ja peruutuskameroilla (eteen ja taakse) varustettu kone liikkui ensiharvennuksella ajouria avattaessa peruuttamalla. Ajouralta hakatut puut katkottiin suoraan kuormatilan takana olevaan pitkittäisosastoon. Välialueen puut hakattiin palattaessa kuormatilan etuosan poikittaislokeroon, jonka täytyessä puutavaraa voitiin siirtää takaosaan.
- B) *Valmet 801 Combi* (Bergkvist ym. 2002): Kaksilokeroisella kuormatilalla ja peruutuskameroilla (eteen ja taakse) varustettu kone käytti toisella harvennuksella vanhoja ajouria. Joitakin reunapuita lukuun ottamatta kuitupuu katkottiin suoraan poikittaislokeroon. Tukit tehtiin maahan. Maahan katkottu puutavara kuormattiin yleensä vasta varastolle päin palattaessa.
- C) *Valmet 801 Combi, Pika 828* (Rieppo ja Pekkola 2001, Kangas 2003): Välialue hakattiin ajouran avaamisen yhteydessä, jolloin kone liikkui etuperin. Puutavaran kuormaus palattaessa peruuttaen. Kankaan (2003) tutkimuksessa liikkumissuuntia ei ole mainittu.
- D) *Valmet 801 Combi* (Kangas 2003, Nuutinen ym. 2006): Ajouraa avattaessa hakattiin myös välialue ja samanaikaisesti hakkuun edetessä kuormattiin hakattu puutavara.
- E) *Hemek Ciceron + Pogen 1.0* (Wester 2001, Wester ja Eliasson 2003): Suurin osa puusta tehtiin ensin maahan, josta se kuormattiin. Joitakin ajouran alussa olevia puita voitiin tehdä suoraan kuormatilaan, samoin kuin pienimpiä puita.
- F) *Pika 828* (Rieppo ja Pekkola 2001): Ajoura hakattiin mennessä etuperin liikkuen. Välialueen hakkuu ja puutavaran kuormaus palattaessa peruuttaen.
- G) *Valmet 820+Pika 300, Pika 728T* (Lilleberg ja Korteniemi 1997, Sirén ja Tanttu 2001): Ajoura avattiin ohjaamon yli työskennellen etuperin ajaen ja urilta sekä sen reunoilta kertyvät puut valmistettiin kasoisiin uran varteen. Yksittäisiä taakkoja voitiin kuormata pohjakuormaksi. Kone käännettiin ajouran päässä, ja välialue hakattiin palatessa. Välialueen puuta yhdistettiin

mahdollisuuksien mukaan ajouran avauksen yhteydessä tehtyihin kourakasoihin ja puutavara kuormattiin.

- H) *Valmet 801 Combi* (von Bodelschwingh 2003): Ajouraa avattaessa siirryttiin peruuttaen ja kolmimetriset pölkyt katkottiin takaa suoraan tavalliseen, yksiosaiseen kuormatilaan. Välialueet hakattiin palatessa etuperin ajaen ja puutavara katkottiin sivuilta poikittain kuormatilaan.

Kääntyväkuormatilaiset korjurit

- A) *Valmet 801 Combi* (Andersson 2003, Ljungdahl 2004): Ajouraa avattaessa siirryttiin peruuttamalla ja puut katkottiin suoraan kuormaan. Paluu etuperin ajaen ja välialueiden puiden hakkuu kuormaan. Puutavara voitiin tällöin tehdä tarvittaessa maahan, josta se kuormattiin myöhemmin. Toisella harvennuksella Anderssonin (2003) tutkimuksessa käytettiin valmiita ajouria. Ljungdahlin (2004) tutkimuksessa koneessa oli peruutuskamerat (2 kpl) kumpaankin suuntaan.
- B) *Valmet 801 Combi* (Ljungdahl 2004): Ajouraa avattaessa liikuttiin etuperin ajaen ja uralta poistettavat puut tehtiin maahan valmiiksi tavaralajeiksi. Kone käännettiin ajouran päässä ja palattiin etuperin ajaen. Välialueiden puut hakattiin vinosti edestä suoraan kuormatilaan ja ajourapuut kuormattiin maasta. Osa välialueiden puista jouduttiin kasaamaan maahan ennen kuormausta. Koneessa oli peruutuskamerat eteen ja taakse.
- C) *Valmet 801 Combi* (Ljungdahl 2004): Ajouraa avattaessa siirryttiin peruuttamalla ja puut hakattiin takaa kuormatilaan. Samalla välialueiden puut hakattiin kuormaan vinosti takaa päin. Puita voitiin tarvittaessa kasata maahan odottamaan kuormausta. Koneessa oli peruutuskamerat eteen ja taakse.
- D) *Valmet 801 Combi* (Andersson 2003): Ajouraa avattaessa siirryttiin peruuttamalla ja ajourapuut tehtiin suoraan kuormatilaan. Kuormainliikkeiden vähentämiseksi välialueiden puut hakattiin maahan kourakasoihin, jos samaan kasaan voitiin tehdä vähintään kaksi runkoa. Yksittäiset välialueen puut tehtiin suoraan kuormaan. Toisella harvennuksella käytettiin valmiita ajouria.
- E) *Valmet 801 Combi* (Bergkvist ym. 2003a): Etuperin kulkeva kone avasi ajouran kaataen kaikki puut sivuille. Kone käännettiin uran päässä ja välialueiden puut hakattiin paluumatkalla suoraan kuormaan. Myös maassa olevat ajourapuut tehtiin valmiiksi tavaralajeiksi suoraan kuormaan. Osa kauempana olevista järeistä rungoista tehtiin ensin maahan, josta ne kuormattiin. Koneessa ei ollut sermiä, joten puuta ei voitu hakata kuormaan suoraan takaa päin. Kone oli varustettu etuosassa olevalla peruutuskameralla.
- F) *Hemek Ciceron + Pogen 1.0* (Wester 2001, Wester ja Eliasson 2003): Koneella ajettiin etuperin vanhoja ajouria pitkin ja hakattiin puita suoraan kuormaan molemmilta puolilta. Kuormaimella työskenneltiin telikotelon kohdalta eteenpäin, jotta puut voitiin katkoa edestä suoraan kuormatilaan. Suuri osa työskentelystä oli siten ohjaamon suuntaista. Työpisteiksi pyrittiin valitsemaan luontaisia aukkoja.

2.2.2 Päätehakkuiden työmenetelmät

Kiinteäkuormatilaiset korjurit

A) *Hemek Ciceron + Pogen 1.0* (Wester 2001, Wester ja Eliasson 2003): Koneella kuljettiin palstan reunaa etuperin ja hakattiin puut yksipuoleisesti. Rungot kaadettiin takaa päin jäljellä olevan puuston reunan suuntaisesti, minkä jälkeen ne tehtiin tavaralajeiksi mahdollisuuksien mukaan suoraan kuormaan. Pankkoja nostettiin ja laskettiin tarpeen mukaan työn helpottamiseksi.

Kääntyväkuormatilaiset korjurit

A) *Valmet 801 Combi, Hemek Ciceron + Pogen 1.0* (Andersson 2002, Andersson ja Eliasson 2004, Wester 2001, Wester ja Eliasson 2003): Kone peruutettiin palstalle ja edessä olevat puut kaadettiin maahan odottamaan. Paluu etuperin ajaen, jolloin välialueiden puut hakattiin suoraan kuormaan ja valmistettiin ja kuormattiin ajouraa avattaessa maahan kaadetut puut.

B) *Valmet 801 Combi* (Andersson 2002, Andersson ja Eliasson 2004): Koneella kuljettiin etuperin kuvion reunaa ja hakattiin yksipuoleisesti kaikki puut suoraan kuormaan. Kuorma tasoitettiin välillä kääntämällä kuormatila kokonaan ympäri, jolloin kaikki tyvet eivät tulleet samaan suuntaan.

C) *Valmet 801 Combi, prototyypikone* (Andersson 2002, Andersson ja Eliasson 2004): Koneella liikuttiin etuperin ja hakattiin puita edestä ja sivuilta suoraan kuormaan. Luontaisia aukkoja käytettiin hyväksi mahdollisuuksien mukaan.

D) *Valmet 801 Combi* (Bergkvist ym. 2003a): Puutavara hakattiin kuvion reunaa kulkien yksipuoleisella menetelmällä suoraan kuormaan, enimmäkseen vinosti edestä.

Ponsse Dual -konsepti

A) *Ponsse Buffalo Dual* (Hallonborg ym. 2005): Hakkuu tehtiin normaalilla kalanruotomenetelmällä. Siinä kasat sijoitettiin ajouran sivuille 30–45 asteen kulmaan ja hakkuutähde koottiin ajouralle. Osa hakkuutähteestä tippui telojen päälle, josta se päätyi koneen siirtyessä enimmäkseen ajouralle. Metsäkuljetus tehtiin erillisenä työvaiheena kouranvaihdon jälkeen.

B) *Ponsse Buffalo Dual* (Hallonborg ym. 2005): Hakkuu tehtiin pitkittäismenetelmällä, jossa kasat sijoitettiin ajourien suuntaisesti ja hakkuutähdekasat näiden väliin ajourien sivuille. Työtapa mahdollisti hakkuutähteen korjuun. Metsäkuljetus tehtiin erillisenä työvaiheena kouranvaihdon jälkeen.

C) *Ponsse Buffalo Dual* (Hallonborg ym. 2005, Nordén ym. 2005): Hakkuu tehtiin uran molemmille puolille poikittäismenetelmällä, jossa kourakasat sijoitettiin kohtisuoraan ajouriin nähden niiden viereen tai pastalle. Hakkuutähde kertyi urille tai kauemmaksi urien viereen, riippuen siitä, kuinka kaukaa puita otettiin. Metsäkuljetus tehtiin erillisenä työvaiheena kouranvaihdon jälkeen.

2.3 Seurantatutkimukset

Sirénin ja Aaltion (2003) tutkimuksessa seurattiin Pika 828 Combin pitkän aikavälin tuottavuutta ja ajankäytön rakennetta. Noin 12 000 m³ kattaneessa aineistossa käyttöajan osuus tuotantoajasta oli 84,6 % ja tehoajan osuus 76,9 % tuotantoajasta. Tekninen käyttöaste oli 79,1 %. Kankaan (2003) suppeassa (686 m³) seurantatutkimuksessa Valmet 801 Combin tekninen käyttöaste oli myös 79 %. Käyttöastetta alensivat mm. konevalmistajan huoltokäynnit työmaalla. Metsätehon noin 30 000 m³ kattaneessa seurannassa korjareiden tekninen käyttöaste oli keskimäärin 88,1 % ja toiminnallinen käyttöaste 82,6 % (Rieppo ja Kärhä 2006, taulukko 3).

Metsäteho on tehnyt myös energiapuukorjareiden seurantatutkimuksen, jossa korjattu puumäärä oli yhteensä 14 000 m³ (Kärhä 2006a, 2006b). Energiapuukorjareiden tekninen käyttöaste oli keskimäärin 90,4 % vaihteluvälin ollessa 83,1–96,7 %. Keskimääräinen toiminnallinen käyttöaste oli 84,4 % (78,5–87,8 %).

Hakkuukoneiden ja metsätraktoreiden muuntokertoimia on käytetty yleisesti lähtökohtana muunnettaessa tehotuntituotoksia käyttötuntituotoksiksi. Yleisesti on käytetty Kuiton ym. (1994) metsäkoneiden seurantatutkimuksen tuloksia, joiden mukaan käyttöajan osuus tuotantoajasta oli hakkuukoneilla 82 % ja kuormatraktoreilla koneellisen hakkuun jäljiltä 91 %. Hakkuukoneiden tekninen käyttöaste oli 81 % ja toiminnallinen käyttöaste 74 %. Vastaavat kuormatraktoreiden käyttöasteet olivat 90 % ja 82 %. Uudemmassa lähikuljetuksen seurantatutkimuksessa kuormatraktoreiden toiminnallinen käyttöaste oli jo 88,2 % (Väkevä ym. 2001). Sirénin ja Aaltion (2003) tutkimuksessa harvennusharvestereiden tekninen käyttöaste oli 84,5 %. Korjareiden käyttöasteet näyttäisivät siten asettuvan hakkuukoneiden ja kuormatraktoreiden käyttöasteiden välille.

Taulukko 3. Korjareiden käyttöasteet Metsätehon seurantatutkimuksessa (Rieppo ja Kärhä 2006).

	Ponsse Wisent Dual (3 kpl)	Valmet 801 Combi (2 kpl)	Keskimäärin
Aito korjurityö ¹			
- tekninen käyttöaste	89,0	86,7	88,3
- toiminnallinen käyttöaste	85,0	76,6	82,4
Hakkuu ²			
- tekninen käyttöaste	86,8	89,5	87,2
- toiminnallinen käyttöaste	82,8	80,7	82,5
Metsäkuljetus ³			
- tekninen käyttöaste	99,0	-	99,0
- toiminnallinen käyttöaste	92,1	-	92,1

¹ Korjurilla tehty sekä hakkuu että metsäkuljetus.

² Korjurilla tehty vain hakkuu.

³ Korjurilla tehty vain metsäkuljetus.

2.4 Korjareiden kilpailukykytutkimukset

Nurminen (2003) sekä Imponen ja Poikela (2005) ovat kehittäneet aluetason optimointimallit, jotka minimoivat tarkasteltavan hankinta-alueen vuosittaisia puunkorjuun kokonaiskustannuksia ja tuottavat toimintaolosuhteisiin sovitun kalustorakenteen. Nurmisen (2003) mallissa korjurin tuottavuudet muunnettiin Kuiton ym. (1994) esittämistä keskikokoisen hakkuukoneen ja kuormatraktorin malleista. Imponen ja Poikelan (2005) tutkimuksessa korjurin tuottavuusperusteina

käytettiin Metsätehon omien aineistojen lisäksi muita tutkimuksia, jotka kaikki sisältyvät tähän kirjallisuuskatsaukseen. Väättäinen ja Liiri (2006a) laativat Tekesin rahoittamassa hankkeessa Valmet Combille ja Ponsse Dualille simulointimallit, joita voidaan käyttää korjurin hankinnan operationaalisten vaikutusten arviointiin ja koneen käyttöalueen määrittämiseen.

Korjureiden kilpailukykyä on tarkasteltu Emerin (2005) ja Höglmeierin (2006) opinnäytetöissä, joissa verrattiin korjurikonsepteja ja perinteiseen korjuuketjuun Pohjois-Italian ja Etelä-Saksan olosuhteissa. Riechsteiner (1998) laati laskentamallin, jolla voidaan verrata korjurin ja korjuuketjun kustannuksia erilaisissa olosuhteissa. Korjurin käyttöalueen määrittämistä sivuavia tutkimuksia ovat tehneet myös Gullberg (2003a ja b), Talbot ym. (2003) ja Asikainen (2004), jotka laskivat korjurin tuotokset hakkuukoneen ja kuormatraktorin tuottavuusmalleja muuntelemalla. Kangas (2003) on selvittänyt korjurin hankinnan vaikutusta koneyrityksen kannattavuuteen opinnäytetyössään. Laskelmat perustuivat suppeaan aikatutkimusaineistoon ja arvioihin muille koneketjuille siirtyvistä hakkuukohteista.

Useimmiten tutkimusten kustannusvertailut perustuvat korjuuketjun osalta olemassa oleviin aikatutkimusmalleihin, joista yleisimmin käytettyjä ovat Kuiton ym. (1994) esittämät. Poikkeuksia ovat Nordénin ym. (2005) ja von Bodelschwingin (2003) tutkimukset, joissa korjurilla ja korjuuketjulla tehtiin aikatutkimukset samanlaisissa olosuhteissa.

2.5 Tutkimustulosten yhdenmukaistaminen

Tuottavuustutkimuksista tehtiin yhteenvedot, jotka esitetään taulukoissa 4 ja 5. Tulosten vertailtavuuden parantamiseksi ulkomaisten tutkimusten alun perin kuorettomina ilmoitetut tilavuudet muutettiin kuorellisiksi käyttäen Kärhän ym. (2006a) esittämää kerrointa:

$$t = 1,2335 \cdot (1000 \cdot x_{ub})^{-0,01945},$$

missä

t = tilavuuskerroin

x_{ub} = keskijäreys kuorettomana, m³

Joissakin julkaisuissa esitettyihin tietoihin pyydettiin täydennystä suoraan artikkeleiden kirjoittajilta. Kruunu- (Ruotsi)- ja dollarimääräiset (Yhdysvallat) puunkorjuun yksikkökustannukset muunnettiin euromääräisiksi 19.5.2006 vallinneilla valuuttakursseilla (<http://www.ratesfx.com/rates/rate-converter.fi.html>). Kustannustason muutoksista aiheutuvia korjauksia ei tehty. Samaa tutkimusta on voitu esitellä kahdessakin raportissa, mutta tulosten laskennassa tms. saattaa olla pieniä eroja julkaisujen välillä. Sen vuoksi raportit on taulukoitu erikseen. Yhteenvedoissa samasta tutkimuksesta otettiin mukaan vain myöhemmin julkaistut tulokset. Joissakin ruotsalaisissa tutkimuksissa korjuukustannuksista oli esitetty vaihtoehtoisia laskelmia (Wester 2001, Andersson 2002, Andersson ja Eliasson 2004, Hallonborg ym. 2005). Tällöin korjuukustannusten yhteenvedoissa käytettiin yksikkökustannusten keskiarvoja tuoreimmasta julkaisusta.

3 Korjurityöskentely käytännössä

3.1 Ajourien suunnittelu

Koneen ja leimikon ominaisuudet sekä harjaantuminen työtekniikkoihin vaikuttavat ajourien suunnitteluun. Hallonborgin (1998) mukaan korjurin ajourat voidaan tehdä ympäriajettavina tai pistourina. Pistourat puolestaan voivat olla peruuttamista vaativia tai niiden päihin voidaan tehdä kääntymispaikat.

Monosen (2002) haastattelemat neljä korjurilla työskentelevää koneyrittäjää käyttivät ensiharvennuksilla 18–20 metrin ajouraväliä. Ajourien sijoittaminen maastoon riippui lähinnä hakkuukohteen muodosta, maasto-olosuhteista ja varastopaikan sijainnista. Kokoojaura sijoitettiin pääsääntöisesti maaston kantavimpaan kohtaan. Kokoojauralta voitiin tehdä ympäri ajettavia lenkkejä, joihin pyrittiin sekä kiinteä- että pyöriväohjaamoisella koneella. Näin vähennettiin peruuttamisen tarvetta ja aikaa vievää kääntymispaikkojen avaamista. Selvärajaisilla hakkuukohteilla voitiin aluksi tehdä kuvion ympärille ajoura, johon leimikon sisällä olevat urat yhtyivät. Ojitusalueilla urat sijoitettiin ojien suuntaisesti ja myös tällöin hakkuukohteen ympärille pyrittiin tekemään ympäri ajettava ura. Leimikon rajoille tulevat urat suositeltiin hakattavaksi päiväsaikaan, jolloin näkyvyys on hyvä. Joissakin tapauksissa myös muut ajourat kannatti tehdä valoisana aikana. Uudistushakkuussa korjurin ajoreitit noudattivat lähes täysin hakkuukoneiden käyttämiä. Yksi käytetyistä menetelmistä oli edetä hakkuualueen reunasta alkaen kaistale kerrallaan kohti hakkuualueen takareunaa. Kokoojaura sijoitettiin useimmiten hakkuukohteen reunaan.

Monosen (2002) mukaan ajomatka on sitä tärkeämpi tekijä, mitä järeämpää puusto on. Varaston ja leimikon välimatkan tulisi olla mahdollisimman lyhyt, joten kokoojauran sijoittaminen on tehtävä harkiten. Myöhemmissä harvennuksissa voidaan käyttää vanhoja ajouria, mutta etenkin metsurityönä tehdyn hakkuun jäljiltä ajouraväli on usein liian suuri. Tällöin hakkuun aikana joudutaan tekemään pistouria tai hakkuu-uria. Hakkuujälki voi kuitenkin heikentyä pistouria käytettäessä. Harvennus pistourilta tehdään sekä pyörivä- että kiinteäohjaamoisilla koneilla ajamalla etuperin uraväliin ja peruuttamalla sieltä takaisin ajouralle. Lähikuljetuksessa kannattaisi ajaa peruuttaen, mutta tällöin näkyvyys heikkenee kuorman täyttyessä. Järeiden puustojen väljennyksissä ei välttämättä tarvita lainkaan erillisiä ajouria. Uudistushakkuissa molempien konetyyppien ajoreitit vastaavat lähes täysin hakkuukoneiden ajoreittejä.

3.2 Työskentelytavat

Korjurin ominaisuudet (mm. ohjaamon kääntyvyys, kuormatilan liikuteltavuus, moottorin teho, nosturin sijainti, teho ja ulottuvuus) vaikuttavat ratkaisevasti käytettävissä oleviin työtapoihin leimikon ominaisuuksien lisäksi. Jylhä ym. (2006) jakoivat koneyrittäjien haastattelujen perusteella Suomessa käytetyt kiinteäkuormatilaisten kombikoneiden työmenetelmät kolmeen pääryhmään:

1. Ajoura avataan ja samalla käsitellään välialueet molemmilta puolilta. Kaikki tai suurin osa puutavaralajeista kuormataan ajouran avaamisen yhteydessä. Lopuksi ajoura yhdistetään aikaisemmin avattuun ajouraan tai kokoojauraan tai käännetään korjuri ja palataan kuormattuna takaisin samaa ajouraa pitkin varastolle.

2. Ajoura avataan ja samalla voidaan hakata myös välialueen puita. Kone käännetään uran päässä, ja palattaessa viimeistellään välialueiden hakkuu ja kuormataan aikaisemmin valmistettu puutavara.
3. Ajouran puut hakataan etuperin ajaen, ja samalla voidaan valmistaa myös välialueen puut. Kone palaa aluksi peruuttaen ja kuormaa menomatalla valmistetun puutavaran ja tarvittaessa viimeistelee välialueen hakkuun. Kone käännetään etuperin, kun täyttyvä kuormatila estää näkyvyyden. Kuormausta ja hakkuun viimeistelyä jatketaan etuperin liikkuen.

Harvennuksilla Monosen (2002) haastattelemat koneyrittäjät hakkasivat kiinteäohjaamoisilla korjureilla ajouria avatessaan pääsääntöisesti vain uralta poistettavat puut etuperin liikkuen. Kuormaus ja välialueiden hakkuu tehtiin palattaessa. Ajoura avattiin yleensä loppuun saakka. Pyöriväohjaamoisella koneella ajouraa avattaessa useimmiten valmistettiin ajouralta poistettavien puiden lisäksi välialueiden puut noin viiden metrin sektorilta ajouran molemmin puolin. Ajouran puut kaadettiin pääsääntöisesti oikealle puolelle ja pölkkyt tehtiin vasemmalle, jolloin oksat jäivät ajouralle. Ajourapuita ei kuormattu uran avaamisen yhteydessä nosturin turhan kääntelyn välttämiseksi.

Monosen (2002) mukaan uudistushakkuiden työtavat eivät juuri poikenneet tavanomaisesta hakkuukoneen työskentelystä. Työpiste valittiin siten, että nosturin ulottuma pystyttiin käyttämään optimaalisesti hyväksi ottaen huomioon koko hakettava puusto. Valitusta työpisteestä pyrittiin käsittelemään mahdollisimman monta puuta. Nosturin ulottuman ääri rajoilla nosturin teho oli usein rajoittava tekijä, varsinkin suurilla rungoilla. Kuormaus- ja ajovaiheen sijoittuminen muun puunkorjuutyön lomaan oli vaihtelevaa, mutta varastolta pois päin siirryttäessä ei yleensä otettu pölkkyä kuormaan. Kuormaus voitiin tehdä silloin, kun puutavaraa oli kertynyt kuormallinen tai useampia kuormia voitiin ajaa peräkkäin. Kasat sijoiteltiin yleensä ainoastaan toiselle puolelle uraa.

Kombikoneiden aikatutkimuksissa on käytetty usein menetelmiä, joissa puita katkotaan suoraan kuormaan. Ruotsissa suorakuormausmenetelmät lienevät kuitenkin hallitsevia, sillä suuri osa sinne myydyistä korjureista on varustettu liikuteltavalla kuormatilalla, esimerkiksi Pinok-korjureista noin 80 % (Papunen 2006). Energiapuun korjuun työskentelytapoja on kuvattu luvussa 10.

Jylhän ym. (2006) haastatteleminen Ponsse Dual -korjureilla tai vastaavilla työskentelevien kuljettajien mukaan työskentelytavoissa ei ole olennaisia eroja tavanomaiseen korjuutyöhön verrattuna. Kärhän ym. (2006a) mukaan Ponsse Dual -korjurikonseptin korjuumenetelmä vastaisi täysin tavanomaisen korjuuketjun työtappaa. Käytännössä merkittävimpänä erona on hakkuukone- ja kuormatraktorivarustelun vaihtotyö Dual-koneilla. Lisäksi ohjaamon lähellä oleva nosturi ja koneen takarunko voivat rajoittaa kuormaimen ulottuvuutta sekä vaikuttaa rungon kaadon ja prosessoinnin työskentelytekniikkaan etenkin harvennushakkuilla (Jylhä ym. 2006). Toisaalta tästä ominaisuudesta voi olla myös etua, sillä takarunkoa voidaan käyttää työskentelyalustana, jolle putoava hakkuutähde kulkeutuu telojen mukana koneen alle. Yleensä Dual-konseptin mukaisia koneita käytetään hakkuussa useita työvuoroja peräkkäin, ellei lyhyempi kouranvaihtoväliä ole tarpeen lumentulon vuoksi.

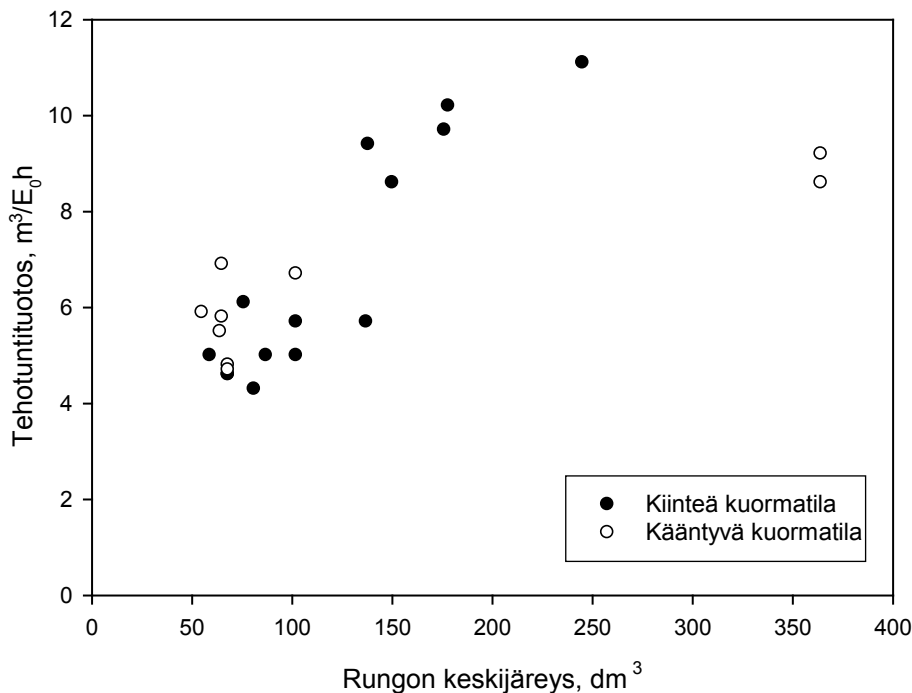
4 Ainespuun korjuun tuottavuus ja kustannukset

4.1 Harvennushakkuut

Taulukkoon 4 on koottu korjureiden tuottavuuksia harvennushakkuilla tehdyissä tutkimuksissa. Sirénin ja Aaltion (2003) tulokset perustuvat pitkäaikaiseen seurantatietoon, muut varsinaisiin aikatutkimuksiin. Taulukossa esiteltyjen tutkimusten keskimääräinen korjuun tehotuntuotos oli $6,5 \text{ m}^3$ ja rungon keskikoko 121 dm^3 . Keskimääräiset tehotuntuottavuudet olivat lähes samat kiinteällä ($6,6 \text{ m}^3/\text{E}_0\text{h}$) ja kääntyvällä ($6,5 \text{ m}^3/\text{E}_0\text{h}$) kuormatilalla varustetuilla korjureilla. Kone-tyyppien tuottavuuksia ei kuitenkaan voida suoraan verrata toisiinsa, sillä puuston järeyden lisäksi eroja oli metsäkuljetusmatkoissa ja muissa leimikkotekijöissä. Myös kuljettajan ja työskentelymenetelmän vaikutus tuottavuuteen on otettava huomioon. Kuvaan 5 on koottu tutkimusten keskimääräiset tehotuntuottavuudet ja rungon keskijäreydet.

Korjureiden tuottavuutta on selvitetty myös Riepon ja Kärhän (2006) seurantatutkimuksessa. Valmet Combin käyttötuntuottavuus oli ensiharvennuksilla keskimäärin $6,1 \text{ m}^3$ ja muilla harvennuksilla $5,9 \text{ m}^3$. Ponsse Wisent Dualin käyttötuntuottavuus oli aidossa korjurityössä ensiharvennuksilla $5,3 \text{ m}^3$ ja muilla harvennuksilla $6,3 \text{ m}^3$. Rungon keskijäreyys ensiharvennuksilla oli 97 dm^3 ja muilla harvennuksilla 177 dm^3 . Tosin Valmet Combilla hakattiin huomattavasti pienirunkoisemmilla kohteilla kuin Ponsse Dualilla (keskirunko Valmet Combilla 128 dm^3 ja Ponsse Dualilla 247 dm^3).

Riepon (2003) tutkiman Harverin aikatutkimustulokset eivät sisälly edellä oleviin yhteenvetoihin, sillä koneen käyttötapa poikkeaa olennaisesti varsinaisista korjureista. Harverin käyttötuntuottavuus ensiharvennusmännikössä oli $5,1 \text{ m}^3/\text{E}_{15}\text{h}$ (keskijäreyys $108 \text{ dm}^3/\text{r}$, kertymä $65 \text{ m}^3/\text{ha}$) ja ensiharvennuskuusikossa $4,3 \text{ m}^3/\text{E}_{15}\text{h}$ (keskijäreyys $71 \text{ dm}^3/\text{r}$ ja kertymä $55 \text{ m}^3/\text{ha}$). Harverin ja kuormatraktorin muodostaman ketjun tuottavuus oli männikössä 73 % ja kuusikossa 80 % hakkuukone-kuormatraktori-ketjun tuottavuudesta. Kone arvioitiin kilpailukykyiseksi pienirun-



Taulukko 4. Tuottavuustutkimusten tuloksia ainespuun korjuusta harvennushakkuilla.

Lähde	Kone ja varustelu	Työmenetelmä	PL-suh-teet, % (mä/ku/le tai havu/lehti)	Harven-nus-kerta	Keski-järeys, dm ³	Poistuma, kpl, ha	Ajomatka, m (tyhjänä/hakkuun aikana/kuormat-tuna)	Tehotunti-tuottavuus, m ³ /E ₀ H	Käyttötunti-tuottavuus, m ³ /E ₁₅ H	Kustan-nukset, €/m ³ (hakkuu-kone + kuorma-traktori)	Ajonopeus, m/min (tyhjänä/kuormat-tuna/hakkuun aikana)
<i>Kiinteä kuormatila</i>											
Kangas (2003)	Valmet 801 Combi, vakio	-	79/21	1.	59	741	250	5,0	4,6	-	50/42/-
Bergkvist ym. (2002)	Valmet 801 Combi, 2-lokeroinen	A	0/100/0	1.	138	549	100/-/100	9,4	8,0	11,3	33/31/-
Bergkvist ym. (2002)	Valmet 801 Combi, 2-lokeroinen	B	0/100/0	2.	178	505	100/-/100	10,2	8,6	10,5(9,7)	33/31/-
Wester (2001)	Hemek Ciceron + Pogen 1.0	E	38/44/17	2.	102	568	129/-/125	5,7	4,8 (12,5)	16,8-18,1 ¹	-
Wester ja Eliasson (2003)	Hemek Ciceron + Pogen 1.0	E	38/44/17	2.	102	568	129/-/125	5,7	-	11,6(9,8)	-
Sirén ja Tanttu (2001)	Pika 728	G	100/0/0	1.	102	371	250/-/250	5,0	-	-	-
Sirén ja Aaltio (2003)	Pika 828	-	-	1.	87	464	250	5,0	3,8	11,3	-
Siren ja Aaltio (2003)	Pika 828	-	-	muu	137	333	250	5,7	4,4	9,7	-
Rieppo ja Pekkola (2001)	Pika 828, menetelmäkoe	C	100/0/0	1.	68	779	250	4,6	3,4	-	-
Rieppo ja Pekkola (2001)	Pika 828 menetelmäkoe	F	100/0/0	1.	68	779	250	4,6	3,4	-	-
Rieppo (2003)	5 eril. ²	-	91/1/8	1.	76	666	250	6,1	4,5	15,2(15,4)	-
Rieppo (2003)	3 eril. ³	-	80/13/7	muu	150	422	250	8,6	6,3	11,3(10,5)	-
Lilleberg ja Korteniemi (1997)	Valmet 820/ Pika 300	G	63/10/27	1.	81	888	250	4,3	4,0	11,4(13,1)	-
Von Bodelschwingh (2003)	Valmet 801 Combi	-	100/0/0		245	300	320	11,1	9,5	-	-
Nuutinen ym. (2006)	Valmet 801 Combi	D	38/36/27	1. ja 2.	176	460	180	9,7	-	-	49/43/-
<i>Kääntyvä kuormatila</i>											
Andersson (2003)	Valmet 801 Combi	A	100/0/0	1.	68	546	166/-/195	4,8	-	-	-
Andersson (2003)	Valmet 801 Combi	A	95/5/0	2.	364	68	-	8,6	-	-	-
Ljungdahl S.-G. (2004)	Valmet 801 Combi, peruutuskamerat	A	100/0/0	1.	65	880	190(45/100/45)	5,8	4,9	15,1(13,2)	29/34/11
Ljungdahl S.-G. (2004)	Valmet 801 Combi, peruutuskamerat	B	100/0/0	1.	65	880	190(45/100/45)	6,9	5,7	13,0(13,2)	29/40/8
Ljungdahl S.-G. (2004)	Valmet 801 Combi, peruutuskamerat	C	100/0/0	1.	55	880	190(45/50/95)	5,9	4,9	14,5(13,2)	28/23/10
Andersson (2003)	Valmet 801 Combi	D	100/0/0	1.	68	546	104/-/109	4,7	-	-	-
Andersson (2003)	Valmet 801 Combi	D	95/5/0	2.	364	68	-	9,2	-	-	-
Bergkvist ym. (2003)	Valmet 801 Combi, ei sermiä, peruutus-kamera eteen	E	80/5/15	1.	64	1250	150/-/150	5,5	4,9	18,5(16,8)	36/36/-
Wester (2001)	Hemek Ciceron + Pagen 1.0	G	38/44/17	2.	102	568	99/-/97	7,0 (12,5)	5,9	13,5-14,6 ¹	-
Wester ja Eliasson (2003)	Hemek Ciceron + Pagen 1.0	G	38/44/17	2.	102	568	-	6,7	-	11,6(9,8)	-

¹ Kustannukset laskettu kahdella erilaisella työvuorojärjestelyllä.

² Pika 728, Valmet 801, Ponsse Buffalo Dual, Moipu, Ässä.

³ Pika 728, Valmet 801 ja Ponsse.

koisissa (keskikoko alle 100 dm³) leimikoissa. Männikössä Harverin ja kuormatraktorin muodostaman ketjun korjuukustannukset olivat yhtä suuret ja kuusikossa 13 % pienemmät kuin tavanomaisen korjuuketjun. Tutkimuksen mukaan Harverilla voisi olla kannattavaa tehdä jopa koko puunkorjuu erittäin lyhyillä kuljetusmatkoilla, esimerkiksi tienvarsileimikoissa. Asikaisen ym. (2005) mukaan koneelle ei kuitenkaan uskota löytyvän laajamittaista käyttötarvetta.

4.2 Päätehakkuut

4.2.1 Aidot korjurit

Taulukkoon 5 on koottu aikatutkimusten tulokset päätehakuilta lukuun ottamatta kahta Ponsse Buffalo Dual -korjureista tehtyä tutkimusta (Hallonborg ym., 2005, Nordén ym. 2005), joiden tulokset esitellään jäljempänä. Kaikkien taulukossa esitettyjen tutkimusten painottamaton korjuun tehotuntituottavuuksien keskiarvo oli 12,9 m³/E₀h. Tuotokset olivat suurempia kääntyvällä kuormatilalla varustetuilla koneilla (14,0 m³/E₀h, keskijäreys 219 dm³) kuin kiinteäkuormatilailla (11,5 m³/E₀h, keskijäreys 296dm³) (kuva 6). Keskiarvot eivät tosin ole suoraan vertailukelpoisia.

Taulukko 5. Päätehakkuiden tuottavuustutkimusten tulokset työmenetelmittäin.

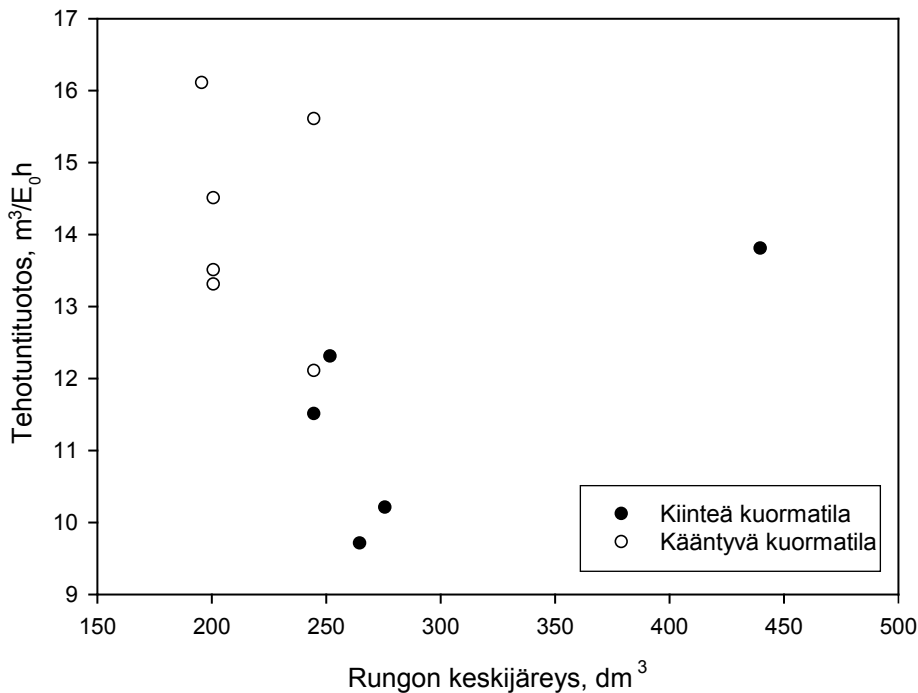
Lähde	Kone ja varustelu	Työmenetelmä	PL-suhteet, % (mä/ku/le tai havu/lehti)	Keskijäreys, dm ³	Poistuma, kpl/ha	Ajomatka, m (tyhjänä/kuormattuna)	Tehotuntituottavuus, m ³ /E ₀ H	Käyttötuntituottavuus, m ³ /E ₁₅ H	Kustannukset, €/m ³ (hakuukone + kuorma-tractor)	Ajonopeus, m/min (tyhjänä/hakuun aikana)
<i>Kiinteä kuormatila</i>										
Wester (2001)	Hemek Ciceron P	A	1/85/15	245	928	139/86	11,5	9,6	8,3-9,0 ¹ (6,1)	-
Wester ja Eliasson (2003)	Hemek Ciceron P	A	1/85/15	245	928	-	11,5	-	-	-
Siren ja Aaltio 2003	Pika 828	-	-	265	603	250	9,7	7,5	5,7	-
Siren ja Aaltio 2003	Pika 828	-	-	276	553	250	10,2	7,9	5,5	-
Rieppo (2003)	3 eril. ²	-	3/94/3	252	579	250	12,3	9,1	7,9(8,1)	-
Rieppo (2003)	5 eril. ³	-	21/78/2	440	563	250	13,8	10,1	6,8(6,7)	-
<i>Kääntyvä kuormatila</i>										
Andersson (2002), Andersson ja Eliasson (2004)	Valmet 801 Combi	A	59/29/12	201	956	195/186	13,5	11,3	5,3(6,2)	-
Andersson (2002), Andersson ja Eliasson (2004)	Valmet 801 Combi	B	59/29/12	201	956	195/186	14,5	12,2	5,5-5,9 ¹ (6,2)	-
Andersson (2002), Andersson ja Eliasson (2004)	Valmet 801 Combi	C	59/29/12	201	956	195/186	13,3	11,1	5,9(6,2)	-
Bergkvist ym. (2003a)	Valmet 801 Combi, ilman sermiä, peruutuskamera eteen	D	10/80/10	196	1150	100/100	16,1	14,5	6,2(7,6)	36/36/-
Wester (2001)	Hemek Ciceron P	A	1/85/15	245	928	97/71	12,6	10,5	7,6(6,1)	-
Wester ja Eliasson (2003)	Hemek Ciceron P	A	1/85/15	245	928	-	12,1	-	6,5(4,8)	-
Hallonborg ja Nordén (2000)	Prototyppi	-	havu- ja lehtip.	245	909	80	15,6	-	-	-

¹ Kustannukset laskettu kahdella erilaisella työvuorojärjestelyllä.

² Pika 728, Valmet 801 ja Ponsse.

³ Pika 728, Valmet 801, Ponsse Buffalo Dual, Moipu, Ässä.

Metsäkuljetusmatkat olivat kääntyvällä kuormatilalla varustetuilla koneilla huomattavasti lyhyempiä kuin kiinteäkuormalaisilla koneilla. Toisaalta puut olivat kiinteäkuormalaisten koneiden työmailla järeämpiä, erityisesti Riepon (2003) kokeella. Metsätehon seurantatutkimuksessa korjurityön käyttötuntituottavuus aidossa korjurityössä oli $8,4 \text{ m}^3$. Keskiäreys avohakkuilla oli keskimäärin 358 dm^3 (Rieppo ja Kärhä 2006).



Kuva 6. Taulukossa 5 esitelyjen päätehakuututkimusten tehotuntuottavuudet.

4.2.2 Ponsse Dual

Taulukkoon 6 on koottu Ponsse Buffalo Dualilla tehtyjen aikatutkimusten tulokset vertailuarvoineen. Hallonborgin ym. (2005) tutkimuksessa korjuuketjun kustannukset laskettiin hakkuukoneiden ja kuormatraktoreiden tuottavuustaulukoiden (bortsättningsunderlag) avulla. Nordénin ym. (2005) kokeeseen liittyi myös korjuuketjulla (Ponsse Beaver + Ponsse Buffalo) tehty aikatutkimus.

Hallonborgin ym. (2005) tutkimuksessa työskentelymenetelmä ei juuri vaikuttanut hakkuun tuottavuuteen (kuva 7). Pitkittäismenetelmässä (B) hakkuutahteen puiminen kasoihin energiapuun korjuuta ajatellen ei lisännyt hakkuun ajanmenekkiä, mutta lähikuljetuksen tuottavuus pieneni kuormauksen aikaisten siirtymisten vuoksi. Kourataakat olivat suurimpia poikittaismenetelmällä (C) hakatuilla koealoilla ($0,50 \text{ m}^3$), joten lähikuljetus sen jäljiltä oli yhtä tehokasta kuin päätehakuuseen vakiintuneen kalanruotomenetelmän (A) jäljiltä. Kuorman purkamisessa taakan koko oli keskimäärin $0,97 \text{ m}^3$ ja aikaa kouraisutaakkaa kohti kului $18,5 \text{ s}$.

Hallonborgin ym. (2005) tutkimuksessa hakkuun käyttötuntituottavuus lisääntyi kaikilla tutkituilla menetelmillä lineaarisesti siten, että lähellä keskimääräistä keskiläpimittaa hakattavan puuston keskiläpimitan nousu yhdellä senttimetrillä lisäsi käyttötuntituottavuutta noin $2,2 \text{ m}^3$. Hakkuuseen kului 49 % ja lähikuljetukseen 51 % käyttöajasta. Nordénin (2005) järeämmässä puustossa tekemässä kokeessa hakkuuseen kului 39 % ja lähikuljetukseen 61 % käyttöajasta ilman kou-

ranvaihtoon käytettyä aikaa (Nordén ym. 2005). Metsätehon seuranta tutkimuksessa Ponsse Wi-sent Dual käytti hakkuuseen 54 % ja metsäkuljetukseen 46 % tehoajasta. Rungon keskijäreys oli tällöin 247 dm³. Käyttötuntuottavuus oli päätehakuilla keskimäärin 8,4 m³ (Rieppo ja Kärhä 2006).

Taulukko 6. Ponsse Buffalo Dual-korjurilla ja korjuuketjulla tehtyjen aikatutkimusten tulostiivistelmä.

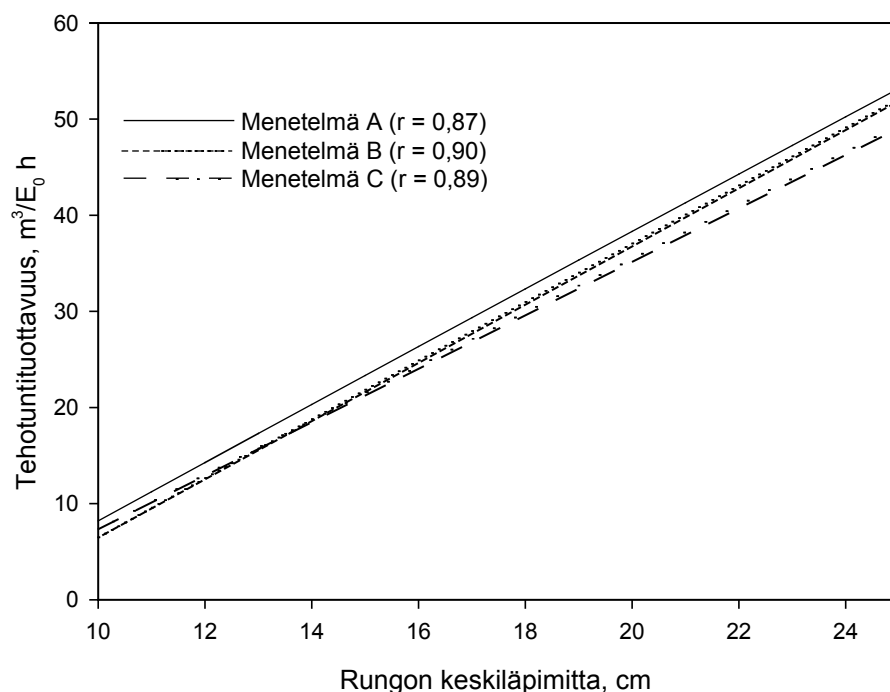
	Hallonborg ym. (2005)			Nordén ym. (2005)	
	Ponsse Buffalo Dual			Dual	Korjuuketju
Puusto	Havu (mänty 81–85 %)			Havu	
Rungon keskijäreys, dm ³	140			375	375
Poistuma, kpl/ha	750			539	561
Metsäkuljetusmatka, m	350			300	300
Hakkuun työmenetelmä ¹	A	B	C	B	B
Tehotuntuottavuus					
- hakkuu, m ³ /E ₀ h	26,7	25,3	24,6	57,5	56,4
- lähikuljetus, m ³ /E ₀ h	30,7	29,2	28,3	31,7	31,7
Käyttötuntuottavuus					
- hakkuu, m ³ /E ₁₅ h	21,9	20,8	20,2	40,3	39,4
- lähikuljetus, m ³ /E ₁₅ h	20,0	20,0	20,0	25,5	25,5
Korjuun käyttötuntuottavuus, m ³ /E ₁₅ h	10,5	10,2	10,1	15,6	15,5
Korjuukustannus, €/m ³	7,4 ^{2,4}			4,4 ³	4,2 ³

¹ Menetelmät kuvattu luvussa 2.2.2.

² Siirtokustannuksia ja kouran vaihtoon kulunutta aikaa ei huomioitu.

³ Laskelmissa käytetty leimikon koko 2206 m³.

⁴ Korjuukustannusten laskennassa hakkuun tuottavuutta oli alennettu 11 %:lla, jotta tulos vastaisi korjuuketjujen kustannusten laskennassa käytettyjä perusteita.



Kuva 7. Työmenetelmän vaikutus hakkuun käyttötuntuotokseen Ponsse Buffalo Dualilla (Hallonborg ym. 2005).

Pienirunkoisella päätehakuulla puunkorjuu oli Ponsse Buffalo Dualilla 4–9 % edullisempaa kuin ketjulla ilman koneiden siirtojen ja kouranvaihojen kustannuksia (Hallonborg ym. 2005). Kun nämä kustannukset otettiin huomioon järeämpipuustoisessa leimikossa, korjuuketju oli laskelmissa käytetyillä oletuksilla 5 % edullisempi vaihtoehto (Nordén ym. 2005).

4.3 Korjuukustannukset

Taulukossa 7 verrataan ainespuun korjuun suhteellisia yksikkökustannuksia korjurilla ja korjuuketjulla taulukoissa 4 ja 5 esitettyjen kustannustietojen perusteella. Kustannukset eivät ole täysin vertailukelpoisia, sillä joissakin laskelmissa ei ole huomioitu koneiden siirtokustannuksia ja laskelmien muutkin oletukset poikkeavat toisistaan. Harvennushakkuilla kiinteäkuormatilailla korjureilla päästiin lähemmäksi ketjun korjuukustannuksia kuin kääntyvällä kuormatilalla varustetuilla korjureilla. Päätehakuilla kääntyvä kuormatila oli kustannuksiltaan kilpailukykyisempi kuin kiinteäkuormatila. Ponsse Dualilla korjuukustannukset olivat samaa luokkaa kuin korjuuketjulla.

Taulukko 7. Ainespuun korjuun suhteelliset yksikkökustannukset korjurilla korjuuketjuun verrattuna työmaa- ja konetyypeittäin.

	Korjuri	Korjuuketju
Harvennushakkuut	107	100
- kiinteä kuormatila	103	100
- kääntyvä kuormatila	110	100
Päätehakkut	103	100
- kiinteä kuormatila	114	100
- kääntyvä kuormatila	99	100
- Ponsse Buffalo Dual	99	100
Kaikki tutkimukset	105	100

5 Korjurin käyttöalue

Talbot ym. (2003) määrittivät simulointituloksiin perustuvalla regressioanalyysillä korjurin tuottavuutta kuvaaviksi muuttujiksi leimikon tiheyden (m^3/ha), runkotilavuuden, metsäkuljetusmatkan ja leimikon hakkuukertymän. Kärhän (2001, toim.) tutkimuksessa rungon keskikoon ohella hehtaarikohtainen hakkuukertymä sekä puutavaralajien lukumäärä selittivät tuottavuutta parhaiten. Puutavaralajien lukumäärän vaikutuksen tuottavuuteen ovat havainneet myös Riechsteiner (1998) ja Nuutinen ym. (2006). Lillebergin ja Korteniemen (1997) ja Sirénin ja Tantun (2001) tutkimuksissa rungon koko selitti parhaiten korjurin ajanmenekkiä hakkuussa. Myös kuormakokoon ja työmenetelmän (Andersson ja Eliasson 2004) on todettu vaikuttavan korjuun tuottavuuteen.

Kärhän ym. (2006a) haastattelemat koneyrittäjät käyttivät korjuria pääasiassa harvennushakkuilla. Korjatusta puumäärästä 35 % tuli ensiharvennuksilta ja 45 % muilta harvennuksilta.

5.1 Työmaan koko ja koneiden siirrot

Leimikon pinta-ala sekä puuston tiheys ja järeys yhdessä vaikuttavat työmaakohtaiseen hakkuukertymään. Korjurin kilpailukykyä pidetään parhaana kokonaispoistumaltaan pienillä työmailla, joilla siirtokustannusten vaikutus puunkorjuun yksikkökustannuksiin on suurimmillaan.

Koneiden siirtokustannusten osuus on merkittävä, 6–10 % korjuun kokonaiskustannuksista (Väättäinen ym. 2006c). Tästä huolimatta siirtokustannuksia ei ole otettu huomioon kaikissa puunkorjuun kannattavuuslaskelmissa. Metsätalon haastattelututkimuksen (Kärhä ym. 2006a) mukaan korjurin siirtokustannukset ovat alle puolet korjuuketjun siirtokustannuksista. Korjurin siirto maksoi 203 € vaihteluvälin ollessa 80–345 €. Leimikon koko oli keskimäärin 279 m³, joten siirron kustannusvaikutus kuutiometriä kohti oli 0,73 €. Keskimääräinen siirtomatka leimikolta toiselle oli 28 km ja siirtoauton kustannukset kilometriä kohti 0,83–3,36 €. Ruotsissa Nordén ym. (2005) arvioivat koneyksikön siirtokustannuksen 214 euroksi. Tutkitulle hankinta-alueelle tyyppillisellä 2200 m³:n leimikolla siirron kustannus oli noin 10 senttiä kuutiometriä kohti. Keski-Euroopassa siirtokustannusten merkitys on suurempi, sillä työmaiden väliset matkat voivat olla pitkiä (Höglmeier 2006, von Bodelschwingh 2003).

Talbotin ym. (2003) tutkimuksessa korjureiden ajanmenekki harvennushakkuilla oli korjuuketjuja pienempi 280 m³:n leimikkoon saakka, kun rungon koko oli 57–299 dm³. Pohjoismaisissa korjuukustannusten vertailuissa arviot kannattavan korjurileimikon hakkuukertymän ylärajasta vaihtelevat huomattavasti. Asikaisen (2004) tutkimuksessa korjuuketju oli korjurilla kannattavampi vaihtoehto jo 50 m³:n leimikoilla, kun rungon koko oli 100 dm³ ja lähikuljetusmatka 300 m. Wester ja Eliasson (2003) sekä Väättäinen ym. (2006a) päätyivät laskelmissaan 100–150 m³:n kannattavuusrajaan. Ponsse Buffalo Dual oli Ruotsissa kannattavampi kuin korjuuketju alle 770 m³:n leimikoilla, kun rungon koko oli 375 dm³ ja lähikuljetusmatka 300 m (Nordén ym. 2005). Gullbergin (2003 b) tutkimuksessa puunkorjuun kustannukset eivät korjurilla olleet kovin herkkiä hakkuukertymän muutoksille valikoivissa, kertymältään pienissä hakkuissa. Toisaalta kuljetusmatkan piteneminen lisäsi korjuun kustannuksia suhteellisesti eniten korjurilla.

Saksalaisessa tutkimuksessa korjuun yksikkökustannukset Valmet 801 Combilla olivat 1,8–3,6 €/m³ pienemmät kuin kahden koneen ketjulla 220 m³:n leimikkoon saakka (von Bodelschwingh 2003). Sveitsissä korjurin käyttö oli puulajista riippuen kannattavaa alle 1,3–2,6 ha:n leimikoilla (Riechsteiner 1998). Pohjois-Italiassa pyöräkoneille soveltuvilla hakkuukohteilla Valmet Combi oli kannattavampi vaihtoehto kuin korjuuketju ja Ponsse Dual poistumaltaan 215 m³:n leimikkoon saakka. Kun leimikon koko oli korkeintaan 4 ha, korjurit olivat kannattavin vaihtoehto kaikilla tutkituilla siirtomatkoilla (10–90 km) (Emer 2005).

5.2 Lähikuljetusmatka

Lähikuljetusmatka riippuu leimikon etäisyydestä välivarastolle, leimikon muodosta ja maasto-olosuhteista sekä puustosta (Hallonborg 1998, Rieppo ja Pekkola 2001, Emer 2005), ja se vaikuttaa olennaisesti hakkuun ja metsäkuljetuksen osuuksien määräytymiseen. Hakkuun osuus työajasta on suuri varsinkin ensiharvennuksilla, joilla se on 250 m:n lähikuljetusmatkalla vaihdellut 42 %:n (Lilleberg ja Korteniemi 1997) ja 72 %:n (Kangas 2003) välillä. Pienirunkoisella (140 dm³) päätehakuulla Ponsse Buffalo Dualilla hakkuuseen ja lähikuljetukseen kului lähes yhtä paljon aikaa, kun metsäkuljetusmatka oli 350 m (Hallonborg ym. 2005). Ainespuun korjuuseen liittyneissä aikatutkimuksissa keskimääräinen metsäkuljetusmatka on ollut 190 m (vaihteluvä-

li 80–250 m). Kärhän ym. (2006a) haastattelututkimuksessa lähikuljetusmatka oli keskimäärin 292 m.

Vaikka hakkuu ja lähikuljetus ovat korjurilla periaatteessa aina tasapainossa (Kärhä 2001, Kärhä ym. 2006a), lähikuljetusmatkan piteneminen heikentää korjurin kilpailukykyä (esim. Talbot ym. 2003). Asikaisen (2004) laskelmissa puunkorjuu korjurilla oli ketjua kalliimpaa kaikilla metsäkuljetusmatkoilla (50–400 m), ellei siirtokustannuksia huomioitu.

5.3 Rungon koko

Sirénin ja Aaltion (2003) seurantatutkimuksessa rungon keskikoko kaikilla Pika 828 Combin työmailla oli keskimäärin 189 dm³, ensiharvennuksilla 87 dm³, päätehakkuilla 253 dm³ ja siemenpuukohteilla 298 dm³. Arviot korjurilla kannattavasti korjattavan leimikon rungon koosta vaihtelevat huomattavasti. Pohjoismaisissa tutkimuksissa korjurille sopiva rungon koko on arvioitu pienemmäksi kuin muualla Euroopassa. Kombikoneiden yhdistelmäkourien tehokas toimintalue rajautuu erityisesti pieniin sekä ”normaalikokoisiin” (alle 500 dm³) hyvälaatuisiin runkoihin (Kärhä ym. 2006a, Jylhä ym. 2006).

Lillebergin ja Korteniemen (1997) tutkimuksessa korjuri oli korjuuketjua kannattavampi ensiharvennuksella, kun rungon keskikoko oli alle 150 dm³. Bergkvist ym. (2004) ja Kärhä (2001, toim.) arvioivat, että korjuri on ketjua edullisempi vaihtoehto, kun rungon koko on alle 100 dm³. Tällöin Bergkvist ym. (2004) edellyttävät alle 300 m:n lähikuljetusmatkaa, ja Kärhällä (2001, toim.) puutavaralajien määrä oli ainoastaan kaksi. Von Bodelschwinghin (2003) mukaan optimaalinen rungon keskikoko on saksalaisissa olosuhteissa noin 220–440 dm³, jolloin tutkitulla työmenetelmällä 60–90 % rungoista voidaan katkoa suoraan kuormaan. Sveitsissä korjurille kannattavilla kohteilla suurin rungon kuoreton keskitilavuus voi olla jopa 0,62 m³ (Riechsteiner 1998). Pohjois-Italiassa liian suuri puuston järeys rajoittaa korjurin käyttöä, mutta käyttöaluetta voitaisiin laajentaa tekeillä suurimmat puut metsurityönä (Emer 2005).

5.4 Puutavaralajien lukumäärä

Taakkojen poimiminen useamman puutavaralajin kuormasta on korjuukouralla hidasta. Puutavaralajien lukumäärän lisääntyminen heikentää aitojen korjureiden kilpailukykyä korjuuketjuun verrattuna (Riechsteiner 1989, von Bodelschwingh 2003, Nuutinen ym. 2006), mutta Ponsse Dual-konseptilla puutavaralajien määrän vaikutus tuottavuuteen on samankaltainen kuin korjuuketjulla. Kärhän (2001) tutkimuksessa yhden puutavaralajin lisäys alensi korjurin käyttötuntituottavuutta 0,15 m³/h eli noin 3 %. Von Bodelschwinghin (2003) mukaan samassa kuormassa kannattaa kuljettaa korkeintaan kahta puutavaralajia, kun Ljungdahl (2004) pitää neljää maksimina (Ljungdahl 2004). Nuutisen ym. (2006) tutkimuksessa purkamisen ajanmenekki kasvoi voimakkaasti, kun puutavaralajien lukumäärä ylitti kolmen. Sirénin ja Aaltion (2003) seurantatutkimuksessa keskimääräinen puutavaralajien lukumäärä korjurileimikoissa oli 4,6. Metsätehon seurantatutkimuksessa aidossa korjurityössä oli keskimäärin 8,1 puutavaralajia (Rieppo ja Kärhä 2006).

Puutavaran käsittelyä metsäkuljetuksessa voidaan nopeuttaa, jos eri puutavaralajit ladotaan omiin osa-alueisiin kuormassa. Puutavaralajien erillään pitämistä ja lajittelua helpottamaan korjureiden kuormatiloihin on asennettu lajitteluloppia. Ruotsalaisessa tutkimuksessa (Bergkvist ym. 2003a) esiteltiin lyhyille pölkyille soveltuva kuormatilavaihtoehto, jossa osa puutavarasta voitiin katkoa

suoraan kuormatilan etuosassa olevaan poikittaislokeroon. Monosen (2002) ja Jylhän ym. (2006) haastattelemat koneyrittäjät saattoivat nopeuttaa kuormien purkamista lastaamalla kertymältään vähäisiä puutavaralajeja pohjakuormaksi jo ajouraa avattaessa, kun kuormaus muutoin tehtäisiin vasta palatessa. Joskus saatettiin jopa purkaa osa kuormasta maahan kuormattavaksi myöhemmin uudelleen.

6 Konekonseptien väliset erot

Korjuria on pidetty kompromissiratkaisuna, jolla sekä hakkuun että lähikuljetuksen tuottavuudet jäisivät pienemmiksi kuin niitä varten suunnitelluilla erikoiskoneilla (esim. Riechsteiner 1998, Rieppo ja Pekkola 2001, Mononen 2002). Imponen ja Poikela (2005) arvioivat kuitenkin pohjoismaisten korjuritutkimusten käyttötuntituottavuudet 10–20 % suuremmiksi kuin keskikokoisilla korjuuketjuilla. Hakkuuta ja korjuuta rinnakkain tekevä korjurityyppi (ns. aito korjuri) oli taloudellinen vaihtoehto keskikokoiselle korjuuketjulle Etelä-Suomen keskimääräisissä olosuhteissa. Vertailussa mukana olleissa tutkimuksissa kääntyvällä kuormatilalla varustettujen korjureiden tuottavuudet olivat suurempia kuin kiinteäkuormatilaisten. Tosin näitä konsepteja ei ole verrattu keskenään samanlaisissa olosuhteissa lukuun ottamatta Westerin (2001) prototyypikoneella tekemää tutkimusta, jossa kääntyväkuormatilaisten korjurin tuottavuus oli harvennushakkuulla 10 % ja päätehakkuulla 24 % suurempi kuin kiinteäkuormatilaisten.

Vielä Kärhän (2001) tutkimuksessa korjuri ei ollut kustannuksiltaan kilpailukykyinen vaihtoehto harvennus- ja yleishakkuukoneketjulle lukuun ottamatta pienirunkoisia (alle 100 dm³) leimikoilta, joilla puutavaralajien lukumäärä oli pieni (2). Riepon ja Pekkolan (2001) tutkimuksessa kiinteäohjaamoisen (kuormatraktorialustainen) ja pyöriväohjaamoisen korjurin välillä ei ollut merkittäviä tuottavuuseroja pienirunkoisilla (alle 80 dm³) kohteilla. Järeämissä puustoissa pyöriväohjaamoinen korjuri oli tehokkaampi. Kun rungon koko oli 200 dm³, sen käyttötuntituottavuus oli yhden kuutiometrin suurempi (Rieppo ja Pekkola 2001).

Korjurin ja korjuuketjun tuottavuus- ja kustannusvertailut perustuvat ketjun osalta lähes poikkeuksetta ajanmenekkimalleihin, ja yhtenäisiä aikatutkimuksia on harvoin tehty kaikilla konekonsepteilla vertailukelpoisissa olosuhteissa. Metsätehon seurantatutkimuksessa Valmet Combin käyttötuntituottavuus pienikokoisilla rungoilla suurempi kuin Ponsse Wisent Dualilla, mutta ero saattoi johtua kuljettajasta ja erilaisista työskentelyolosuhteista (Rieppo ja Kärhä 2006). Nordén ym. (2005) tutkivat Ponsse Buffalo Dualin ja korjuuketjun tuottavuutta samassa leimikossa. Dualin ja Ponsse Beaver -hakkuukoneen tuottavuudet olivat käytännössä samat, vaikka työskentelytavat poikkesivatkin toisistaan erilaisen kuormangeometrian vuoksi.

Kärhä ym. (2006a) ovat arvioineet, että Ponsse Dualin lähikuljetuksen tarpeita ajatellen suunniteltu korjurin puomin rakenne ja sijoituspaikka voisivat lisätä hieman hakkuun ajanmenekkiä. Toisaalta Metsäntutkimuslaitoksen haastattelemat Ponsse Dualin käyttäjät arvioivat, että kuormaimen tavanomaista kuormatraktoria suuremmasta tehosta on etua kuormauksessa ja kuormien purkamisessa (Jylhä ym. 2006). Lähikuljetuksessa korjurin ja kuormatraktorin tuotokset olivatkin Nordénin ym. (2005) tutkimuksessa täsmälleen yhtä suuret.

Varsinaisia kourjuukouria pidetään hieman kömpelöinä, sillä niissä on jouduttu ottamaan huomioon samalla sekä rungon kaadon ja prosessoinnin että taakkojen käsittelyn vaatimukset. Kärhän ym. (2006a) mukaan hakkuussa ei kuitenkaan ole havaittu eroja normaalikokoisilla rungoilla (< 500 dm³) sen enempää vienti/kaato- kuin karsinta/katkontavaiheissakaan. Suoraan kuor-

matilaan katkonta tosin hidastaa korjurin työskentelyä hakkuukoneeseen verrattuna, mutta lisäajanmenekki korvautuu moninkertaisesti kuormausvaiheen jäädessä kokonaan pois. Nykyisten korjuukourien tuottavuudet voivatkin olla jo samaa luokkaa kuin hakkuukoneilla. Esimerkiksi von Bodelschwinghin (2003) aikatutkimuksissa hakkuun tuottavuus Valmet 801 Combin korjuukouralla kokeneella hakkuukoneenkuljettajalla oli sama kuin vastaavan kokoisilla hakkuulaitteilla. Kuormausajoissakaan ei havaittu eroja vastaavaan kuormatraktoriin verrattuna, mutta kuormatraktorin kapasiteettia ei voitu hyödyntää täysimääräisesti pienten kourakasojen vuoksi. Sen sijaan kuormien purkamisessa kuormatraktori oli selvästi tehokkaampi. Ruotsalaisessa tutkimuksessa kuorman purkaminen korjuukouralla kesti noin 30 % kauemmin kuin tavanomaisella kuormatraktorin kouralla (Bergkvist ym. 2003b). Westerin (2001) tutkimuksessa purkamisen ajanmenekki oli peräti kaksinkertainen kuormatraktoriin verrattuna. Jylhän ym. (2006) haastattelututkimuksessa annettiin vastaavanlaisia arvioita korjuukourien tehokkuudesta kuormien purkamisessa.

Talbotin ym. (2003) simulointitutkimuksessa kiinteällä kuormatilalla varustetun Valmet Combin kokonaistehoajanmenekki oli pienempi kuin Ponsse Buffalo Dualilla, vaikka hakkuuseen kului hieman enemmän aikaa. Osa puutavarasta puitiin suoraan kuormaan. Tästä syntyvä säästö lähikuljetusajassa kompensoi hakkuun suuremman ajanmenekin. Tuottavuustasonsa perusteella kiinteäkuormatilainen Valmet Combi olisi kilpailukykyinen, jos sen tuntikustannus olisi ensiharvennuksella korkeintaan 101 %, toisella 103 % ja kolmannella 104 % hakkuukoneen tuntikustannuksesta. Vastaavasti Ponsse Dualin tuntikustannus saisi olla korkeinaan 94,5 %, 90 % ja 88 % hakkuukoneen tuntikustannuksesta (Talbot ym. 2003).

Korjuun tuottavuutta voidaan parantaa suorakuormauksella (esim. Bergkvist ym. 2002 ja 2003, Andersson 2003, Imponen ja Poikela 2005), mutta laajamittainen suorakuormaus edellyttää yleensä kääntyvää kuormatilaa, joka nostaa koneen hintaa. Esimerkiksi kääntyväkuormatilainen Valmet 801 Combi on hinnaltaan noin 8 % kalliimpi kuin kiinteäkuormatilainen (Väätäinen ym. 2006a). Kun suorakuormauksessa käytetään kaksilokeroista kiinteää kuormatilaa, puut kuormataan etuosan lokeroon poikittain. Puun suuntaaminen on tällöin hidasta, mikä lisää hakkuun aikaisen siirtymisen ajanmenekkiä (Bergkvist ym. 2002).

Emerin (2005) tutkimuksessa kiinteällä kuormatilalla varustetun Valmet Combin -korjurin tuottavuus Pohjois-Italian puunkorjuuolosuhteissa oli hieman suurempi kuin korjuuketjulla ja Ponsse Dual -konseptilla. Valmet Combin ajanmenekkiä pienensi työtekniikka, jossa puutavara kuormattiin hakkuun edetessä. Siten hakkuun ja kuormauksen aikaisten siirtymisten yhdistyminen pienensi ajanmenekkiä selvästi sellaisilla kohteilla, joilla ajouranvarsitiheys oli pieni. Pohjois-Italialle tyypillisillä poimintahakkuilla poistuma on yleensä enintään 20 % puustosta ja hehtaarikohtainen hakkuukertymä siten varsin vähäinen (30–40 m³/ha). Kiinteäkuormatilainen Valmet Combi oli korjuuketjua edullisempi vaihtoehto 243 m³:n leimikkoon saakka, kun Ponsse Dualin kannattavuusraja oli 168 m³. Molemmat korjurikonseptit olivat kannattavampia kuin korjuuketju, ellei ketjulle pystytty takaamaan täyttä työllisyyttä ja yli 20 000 m³:n vuotuista hakkuumäärää. Myös ruotsalaisessa päätehakkuulla tehdyssä tutkimuksessa Ponsse Buffalo Dual oli erittäin kilpailukykyinen vaihtoehto kahden koneen ketjulle (Hallonborg ym. 2005).

Riechsteiner (1998) arvioi, että maaston vaikeakulkuisuus heikentäisi korjurin kilpailukykyä. Talbot ym. (2003) olettivat, että erityisesti Valmet Combin tuottavuus kärsii maasto-olosuhteiden vaikeutumisesta, kun ajon osuus ajanmenekistä kasvaa. Emer (2005) puolestaan arvioi, että samalla työkierrolla hakkuun ja lähikuljetuksen tekevä ns. aito korjuri voisi olla korjuuketjua ja

dual-konseptia edullisempi vaihtoehto vaikeissa maasto-olosuhteissa, joissa sekä hakkuun että kuormauksen aikaisten siirtymisten osuudet työajasta ovat suuria.

Bergkvist ym. (2003) arvostelivat nelisyylinterisen Valmet 810 Combin ajonopeutta, joka oli tyhjänä ja kuormattuna 36 m/min sekä harvennus- että päätehakkuulla. Nopeuden nostaminen 45 metriin minuutissa alentaisi kustannuksia esimerkiksi 400 m:n matkalla 5 %, ja kustannussäästö lisääntyisi edelleen matkan pidentyessä. Ljungdahl (2004) arvioi, että ohjaamon vakaajan hitaus voi olla yksi selitys koneen alhaiselle ajonopeudelle. Myös kuljettajalla voi olla vaikutusta. Kuljettajahaastattelujen mukaan tavanomaista korkeammalla sijaitseva ohjaamo ja siinä kiinni oleva raskas kuormain voivat lisätä Valmet Combin heiluntaa (Jylhä ym. 2006). Kankaan (2003) tutkimuksessa kokeneen kuormatraktorinkuljettajan ajonopeus 4-sylinterisellä Valmet 801 Combilla oli tyhjänä keskimäärin 46 m/min ja kuormattuna 44 m/min. Metsätehon tutkimuksessa kuormatraktoreiden tyhjänäajonopeus oli 58 m/min ja kuormattuna-ajonopeus 49 m/min (Väkevä ym. 2001). Kärhän ym. (2006b) tutkimuksessa ei havaittu merkittäviä eroja kombikoneiden ja kuormatraktorialustaisten korjureiden ajonopeuksissa.

7 Työskentelymenetelmän vaikutus tuottavuuteen

Työskentelymenetelmän on aikatutkimuksissa osoitettu vaikuttavan korjurin tuottavuuteen (Andersson 2002, Andersson ja Eliasson 2004, Ljungdahl 2004, Wester 2001). Ensisijaisesti korjureiden ominaisuudet vaikuttavat työmenetelmän valintaan. Suorakuormaus edellyttää yleensä kääntyvää kuormatilaa, ja muillakin rakenneratkaisuilla on vaikutusta menetelmän valintaan. Myös leimikon ominaisuudet ja kuljettajan tottumukset ohjaavat työskentelytekniikan valintaa (Jylhä ym. 2006).

Työskentelymenetelmä vaikuttaa puunkorjuun ajanmenekkiin mm. siirtymisten ja työpisteiden lukumäärän sekä liiketyön määrän kautta. Suomessa tehdyt kombikoneiden aikatutkimukset keskittyvät menetelmiin, joissa puutavara tehdään harvennushakkuilla ensin maahan kourakasoiksi ja kuormataan myöhemmin, yleensä vasta palattaessa varastolle päin. Tavan tehokkuutta on perusteltu nosturityön vähentymisellä, koska yhdellä nosturin siirrolla kuormaan saadaan enemmän puutavaraa (Mononen 2002). Kuormaintyöskentelyä on kuitenkin tutkittu varsin vähän, vaikka liiketyön määrä kuvaa osaltaan onnistumista hakkuun ja ajon yhdistämisessä (Sirén ja Tanttu 2001). Liiketyön määrään voidaan vaikuttaa myös kasojen sijoittelulla ja koolla (Hallonborg ym. 2005).

Ensiharvennuksilla noin 30–50 % puutavarasta kertyy ajourilta (Ljungdahl 2004, Väätäinen ym. 2005). Suorakuormaukseen perustuvia menetelmiä tutkinut Ljungdahl (2004) pitääkin ajouran avaamista korjuutuotoksen kannalta ratkaisevampana kuin välialueiden hakkuuta. Rieppo ja Pekola (2001) arvioivat liiketyömäärän perusteella, että välialueet kannattaa hakata erikseen vasta ajourien avaamisen jälkeen sen sijaan, että ne hakattaisiin jo ajourien avaamisen yhteydessä. Työmenetelmiä vertailtiin pyöriväohjaamoisella korjurilla, jossa oli kiinteä kuormatila. Myös Riechsteiner (1998) suosittelee ajourien valmiiksi hakkaamista ennen välialueiden hakkuuta. Tätä järjestystä noudattaen liiketyön määrä kuormatraktorialustaisella korjurilla oli Sirénin ja Tantun (2001) tutkimuksessa 6 % pienempi kuin korjuuketjulla. Hellgrénin (1997) tutkimuksessa korjurin liiketyön määrä oli ensiharvennuksella 22 % ja toisella harvennuksella 36 % pienempi kuin ketjulla. Ensiharvennuksella korjurin työpisteiden määrä (194 kpl/ha) oli 14 % pienempi kuin korjuuketjulla (222 kpl/ha). Toisessa harvennuksessa työpisteitä oli korjuuketjulla kaksinkertainen määrä (194 kpl/ha va. 97 kpl/ha), kun käytettiin valmiita ajouria.

Suorakuormaukseen ja välikasaukseen perustuvien menetelmien väliset tuottavuuserot olivat harvennushakkuilla pieniä (esim. Andersson 2003). Imponen ja Poikela (2005) pitävätkin suorakuormauksen etuja harvennuksilla kiistanalaisempina kuin päätehakkuilla, sillä jäävä puusto rajoittaa menetelmän käyttöä. Suorakuormaus lisää hakkuun ajanmenekkiä kuormatilan asettelun (Ljungdahl 2001), lisääntyvän nosturityöskentelyn (Andersson 2003) ja hakkuun aikaisten siirtymisten (Ljungdahl 2001, Wester 2001, Bergkvist ym. 2002) vuoksi, mutta toisaalta erillinen kuormausvaihe jää pois (Hallonborg ja Nordén 2000, Bergkvist ym. 2002, Wester ja Eliasson 2003). Talbotin ym. (2003) ja Väätäisen ym. (2006a,b) simulointitutkimusten tulokset tukevat näitä päätelmiä: hakkuun ajanmenekki oli suorakuormauksessa käytettäessä suurempi, mutta kuljetuksessa saavutettu ajansäästö kompensoi sen. Suorakuormauksen kannattavuus maahan puintiin verrattuna paranee rungon koon kasvaessa, sillä yhdellä kuormatilan suuntaamisella kuormaan saadaan enemmän puuta ja toisaalta suoraan maasta voidaan nostaa kerralla vähemmän pölkkyjä (Andersson 2003).

Suorakuormausmenetelmissäkin kannattaa usein liiketyön vähentämiseksi tehdä kauimmaisista puita maahan ja yhdistää ne mahdollisuuksien mukaan muihin kasoihin. Ljungdahlin (2004) harvennushakkuulla tekemässä tutkimuksessa menetelmä, jossa ajourapuut kasattiin maahan odotamaan välialueiden hakkuun yhteydessä tehtävää kuormauksista, oli 18 % tehokkaampi työskentelytapa kuin kaksi muuta menetelmää. Niissä pääosa puutavarasta katkottiin suoraan kuormaan. Pitkät kuormainliikkeet ja kuormatilan asettelu välialueiden puiden hakkaamiseksi veivät paljon aikaa kertyvään puumäärään nähden. Välikasaukseen perustuvissa menetelmissä kuljettajalla oli myös parempi näkyvyys koneen edestä poistettaviin puihin. Kuormatilan takaa hakkaaminen lisäsi kiveen sahaamisesta ja ketjunvaihdoista aiheutuneita keskeytyksiä, ja korkeammat kannot alensivat ajonopeutta. Hallonborg ja Nordén (2000) arvioivat, että kuormatila voitaisiin harvennushakkuussa täyttää noin puolilleen ilman, että näkyvyys heikkenee liikaa.

Päätehakkuilla tehdyissä tutkimuksissa tuottavuuserot suorakuormauksen eduksi olivat selkeämät kuin harvennuksilla. Tämä johtunee siitä, että kaikki puutavara voidaan kääntyväkuormatilaisella koneella hakata suoraan kuormaan. Hallonborg ja Nordén (2000) ovat arvioineet, että näin hakkuuseen vapautuisi lisääntynyt aika, joka vastaa 15–25 %:ia hakkuukonetyön kokonaisajanmenekistä. Anderssonin ja Eliassonin (2004, myös Andersson 2002) vertailemista päätehakkuun työmenetelmistä reunamenetelmä (menetelmä B, s. 14) oli merkittävästi tehokkaampi kuin muut, ja korjuukustannukset olivat kahden koneen ketjua pienemmät. Tehokkuus perustui lyhyiden käsitteilyaikojen lisäksi siihen, että kone pystyi aloittamaan työt välittömästi leimikon reunasta. Lisäksi kaikki puut olivat hyvin nosturin ulottuvilta. Myös Kärhä ym. (2006) ovat todenneet reunamenetelmän kääntyvällä kuormatilalla varustetun korjurin joutuisimmaksi työtavaksi päätehakkuulla. Bergkvist ym. (2003a) suosittelevat kuitenkin kaksipuolista työtappaa, sillä työpisteiden lukumäärä jää näin pienemmäksi. Westerin (2001) mukaan myös hakkuun aikaisten siirtymisten ajanmenekki on tällöin pienempi.

Hallonborgin ym. (2005) tutkimuksessa Ponsse Dualilla oli hakkuussa pieniä menetelmien välisiä eroja, jotka tasoittuivat lähikuljetuksessa. Kasojen koolla ja sijoittelulla voitiin vaikuttaa lähikuljetuksen ajanmenekkiin. Hakkuun työmenetelmä ei kuitenkaan vaikuttanut olennaisesti korjuun kokonaistuottavuuteen.

8 Korjuutyön laatu

Taulukkoon 8 on koottu kirjallisuudesta tietoja jäävän puuston vaurioista. Sirénin ja Tantun (2001) tutkimuksessa kaikki korjurin aiheuttamat korjuuvauriot syntyivät puita kaadettaessa, kun korjuuketjulla lähes neljäsosa vaurioista syntyi vasta kuljetusvaiheessa. Jylhän ym. (2006) haastattelemat koneenkuljettajat pitivät korjurin etuna sitä, että metsäkuljetuksessa ei yhteisten ajolinjojen ansiosta synny yhtä helposti korjuuvaurioita kuin ajettaessa puuta kuormatraktorilla ketterämmän ja lyhytrunkoisemman hakkuukoneen jäljiltä. Kärhän ym. (2001) tutkimuksessa kuormatraktorialustaiset koneet aiheuttivat enemmän korjuuvaurioita kuin pyöriväohjaamoiset koneet, ja vaurioita syntyi syksyllä enemmän kuin talvella. Vauriot olivat pääosin pintavaurioita ja suurin osa niistä syntyi puutavaraa valmistettaessa. Hallonborgin (1998) mukaan jäävän puuston korjuuvaurioiden määrässä ei kuitenkaan pitäisi olla suuria eroja ketjuun verrattuna. Korjuri voi vaurioittaa puustoa enemmän kuin korjuuketju, kun puuta hakataan kuormatilan takaa. Tällöin kuljettajan ja hakkuulaitteen välinen etäisyys on suurimmillaan ja kuormatila rajoittaa näkyvyyttä.

Taulukko 8. Jäävän puuston vauriot korjuritutkimuksissa.

	Kone	Kiinteä kuormatila, %	Kääntyvä kuormatila, %
Wester (2001)	Hemek Ciceron P	7	8
Kärhä (2001)	Useita ¹		
	- syksy	2,5	-
	- talvi	0,8	-
Sirén ja Tanttu (2001)	Pika 728 (talvi)	2,2	-
Bergkvist ym. (2002)	Valmet Combi	1	-
Bergkvist ym. (2003)	Valmet Combi	-	5

¹ Pyöriväohjaamoiset S&A Nisulan korjuri ja Pika 828 sekä kuormatraktorialustainen Velj. Moisio Oy:n korjuri.

Korjuuvaurioille ei ole laissa määriteltyä enimmäisrajaa, mutta metsäsertifioinnin kriteerien mukaan harvennushakkuissa kasvamaan jääneiden korjuuvaurioisten puiden osuus saisi olla korkeintaan 4 % (Ryhmäsertifioinnin...2003). Westerin (2001) tutkimusta lukuun ottamatta tämä raja alitettiin kaikissa tapauksissa. Esimerkiksi vuosien 1998–2000 aikana 2,2–3 % puista oli vaurioitunut koneellisen harvennushakkuun jäljiltä (Ranta 2001).

Korjurin työmenetelmällä voidaan vaikuttaa korjuujälkeen. Ljungdahlin (2004) tutkimuksessa ajourapuiden kannot olivat peruutuskamerasta huolimatta pitempiä silloin, kun puut hakattiin kuormatilan takaa. Suorakuormaus edellyttää yleensä kuormatilan kääntelyä, joten tilaa on oltava riittävästi. Hakkaamaton välialue vaikeutti kuormatilan kääntelyä Ljungdahlin (2004) tutkimuksessa silloin, kun ajoura ja välialue hakattiin samanaikaisesti. Tämän vuoksi ajourat jouduttiin hakkaamaan tavanomaista leveämmiksi, mutta siitä huolimatta melkein kaikki reunapuut vaurioituivat. Hallonborgin (1998) mukaan puun kuljettaminen pystyasennossa ajouralle vähentää sekä maasto- että puustovaurioita. Tämä edellyttää kuitenkin tehokasta alustakonetta, sillä puita joudutaan kaatamaan harvennushakkuilla myös puomin ääriulottuvuuksilta. Tehokkaalla koneella voidaan vähentää myös katkaisuvaurioita, joita syntyy helposti katkottaessa pölkkyjä suoraan kuormaan (Hallonborg 1998).

9 Koneyrityksen kannattavuus

Korjurin hankintaa pidetään koneyritykselle pienempänä riskinä kuin investoimista korjuuketjuun, sillä kalustoon sitoutuu vähemmän pääomaa. Konevalmistajan arvion mukaan hakattavan määrän lisätarve on vain noin puolet korjuuketjuun verrattuna (Komatsu Forest 2005a). Riskiä pienentää myös se, että korjurilla voidaan tarvittaessa täydentää yrittäjän muita korjuuketjuja (Hallonborg ym. 2005). Korjuri voi olla kilpailukykyinen vaihtoehto ketjulle silloin, jos urakanantaja ei pysty tarjoamaan koneketjulle koko vuodeksi riittävän suurta työmäärää (Mononen 2002, Väätäinen ym. 2006a). Kun metsäkoneiden kapasiteetin käyttöaste jää alhaiseksi, kuljettajien palkkamenot ja kiinteät kustannukset nostavat korjuun yksikkökustannusta (Väätäinen ja Liiri 2006b). Jos vuotuinen hakkuumäärä on korkeintaan 20 000 m³, korjuri on Väätäisen ym. (2006a) mukaan ketjua kilpailukykyisempi keskimääräisissä hakkuuolosuhteissa. Metsätehon seuranta-tutkimuksessa mukana olleet korjurit oli pystytty työllistämään paremmin kuin korjuuketjut, sillä korjureilla oli keskimäärin runsas viikko vähemmän seisokkeja kuin hakkuukoneilla tai metsätraktoreilla (Kärhä ym. 2006a).

Nurmisen (2003) tutkimuksessa pyöriväohjaamoisen korjurin käyttötuntikustannus oli kilpailukykyinen korjuuketjuun verrattuna, mutta korjuun yksikkökustannukset nousivat korkeammiksi pienemmän tuottavuuden vuoksi. Siksi korjuri ei valikoitunut korjuukalustoon, kun optimoitava koneyrityksen vuosityömäärä oli 80 000 – 250 000 m³. Kokonaiskustannukset minimoivaan konevalikoimaan kuuluivat harvennusketju, yleiskoneketju ja järeä korjuuketju. Laskelmat tehtiin Stora Enso Oyj:n Etelä-Suomen hankinta-alueen vuoden 2002 leimikkorakenteen pohjalta, joten korjuuolosuhteiden muutokset (esim. harvennushakkuiden lisääntyminen) voivat muuttaa kalustorakennetta.

Imponen ja Poikelan (2005) aluetason optimoinnissa korjurin työpanos suuntautui pääosin harvennuksiin ja pienirunkoisiin päätehakkuihin. Korjureilla hakattiin 20 % alueen puumäärästä, kun korjurin hinta asetettiin 10 % suuremmaksi kuin keskikokoisella hakkuukoneella. Tällöin korjuukustannusten säästö oli 0,57 €/m³ korjurin korjaaman puumäärän osalta. Optimointitarkastelussa oli tavanomainen kiinteäkuormatilainen kombi-korjuri (Imponen 2005).

Monosen (2002) mukaan korjurin tuominen perinteisen korjuuketjun rinnalle voi joissakin tapauksissa vapauttaa korjuuketjuja niille paremmin soveltuviin hakkuukohteisiin ja parantaa puunkorjuun kannattavuutta koneyrityksen tasolla. Korjurin operationaalisia vaikutuksia käsitellessä laskelmassa sille ohjattiin rungon kooltaan alle 400 dm³:n leimikot. Tällöin hakkuukoneen tuottavuus nousi keskimäärin 44 % ja kuormatraktorin 24 %, mutta puunkorjuuseen käytetty kokonaisaika pieneni keskimäärin vain 3,2 %. Siten korjuri ei välttämättä tehosta puunkorjuuta kaikissa tapauksissa. Väätäisen ja Liirin (2006b) laskelmien perusteella voidaan päätellä, että korjurin käyttö ketjun tasapainottajana on perusteltua ainoastaan silloin, kun samalla kohteella sekä koneiden tuottavuuksien ero että kohteen hakkuukertymä ovat suuret. Tasapainottaminen on usein kannattavampaa muuttamalla hakkuukoneen tai kuormatraktorin työvuorojen määrää tai pituutta tarpeen mukaan.

Valmet 801 Combin hankinta oli kannattamaton investointi Kankaan (2003) tutkimalle koneyritykselle, jolla oli ennestään kaksi korjuuketjuja. Suurimpana syynä oli se, että ketjuille ei siirtynyt riittävästi kannattavia päätehakkuita. Myös korjurin kallis hankintahinta vaikutti tulokseen. Korjurin tuottavuustiedot perustuivat suppeaan aikatutkimukseen, joka oli tehty välittömästi koneen hankinnan jälkeen, eikä koneen kuljettajalla ei ollut aikaisempaa kokemusta korjurityöskentelystä. Parhaiten korjuri sopii Kankaan (2003) mukaan sellaisille yrityksille, joilla on lisäksi vähin-

tään yksi korjuuketju. Kärhän (2006a) haastattelemilla koneyrittäjillä oli korjurin lisäksi yleensä 1–3 korjuuketjua. Toisaalta Jylhän ym. (2006) haastattelemien korjuriyrittäjien mukaan korjuri ei soveltuisi pienelle (1–2 koneen) korjuuyritykselle, vaan yrityksellä tulisi olla suuri vuotuinen hakkuumäärä ja laaja konekalusto. Tällöin voidaan paremmin valikoida korjureille soveltuvia kohteita.

Nordfjellin (2001) laskelman mukaan korjurin polttoaineen kulutus hakattua kuutiometriä kohti on 7–22 % pienempi kuin korjuuketjulla, riippuen suoraan kuormattavan puutavaran osuudesta. Talbot ym. (2003) arvioivat Valmet Combin polttoaineen kulutuksen 5–10 % korjuuketjua pienemmäksi viiden hehtaarin leimikoilla. Pienemmillä (2 ha) leimikoilla Valmet Combin kulutus olisi 9–13 % ja Ponsse Dualin 1–2 % pienempi.

10 Energiapuun korjuu

Energiapuukorjureita on tutkittu ainoastaan nuorten metsien harvennushakkuilla, mutta myös päätehakkuulla tehty Hallonborgin ym. (2005) tutkimus sivuaa energiapuun korjuuta. Siinä Ponsse Dualin työmenetelmävertailussa oli mukana vaihtoehto, jossa otettiin huomioon tuleva hakkuutähteen keruu (menetelmä B, sivu 14). Kokopuun korjuuta on tutkittu seuraavilla joukkokäsittelyyn perustuvilla työskentelymenetelmillä:

- A) *Ponsse S15 Bison ja Timberjack 1110C -kuormatraktorit + Moipu 400E, Valmet 801 Combi + Moipu 400E, Valmet 840+Moipu 400E, kuormatraktori+ Moipu* (Kärhä 2006a ja b, Laitila 2004, Laitila ym. 2004): Ajoura avattiin peruuttaen ja urilta hakatut puut koottiin uran varteen kourakasoihin. Palattaessa liikuttiin etuperin ja tehtiin kuormaus ja välialueiden harvennus.
- B) *Valmet 801 Combi + Moipu 400E* (Kärhä 2006a ja b): Ajouria avatessaan kone liikkui etuperin ja kasasi kaadetut puut ajouran varteen. Myös paluu etuperin ajaen ja välialueiden harvennus ja puutavaran kuormaus.
- C) *Valmet 810 Combi + Moipu 400E* (Kärhä 2006a ja b): Ajourien avaaminen ja välialueiden harvennus etuperin ajaen. Suurin osa kokopuusta kuormattiin suoraan.

Kärhän (2006b) tutkimusta lukuun ottamatta kaikissa tutkituissa korjureissa on ollut energiapuukourana Moipu 400E, ja alustakoneena on yleensä käytetty kuormatraktoria (taulukko 9). Tutkimusten tehotuntituotokset vaihtelivat 3,3:n ja 4,0 m³:n välillä, ja suurin tuottavuus mitattiin Valmet 801 Combilla. Laitilan ja Asikaisen (2004) tutkimuksessa rungon koko vaikutti eniten tuottavuuteen. Aikatutkimusten lisäksi energiapuun korjuusta on tehty seurantatutkimus, jossa korjattiin yhteensä 14 000 m³ kokopuuta (Kärhä ym. 2006a ja b). Hehtaariohtainen kokopuukertymä oli keskimäärin 52 m³/ha, korjuukohteiden pinta-ala 3,7 ha ja metsäkuljetusmatka 309 m. Kokopuuta kertyi työmaata kohti keskimäärin 185 m³. Valmet 801 Combilla kuormien keskikoko oli 7,2 m³, kun se kuormatraktorialustaisilla korjureilla oli 4,9–5,3 m³.

Laitila (2004, myös Laitila ym. 2004) pitää konekapasiteetin yhteensovittamista erityisen ongelmallisena pienpuun korjuussa, jossa metsäkuljetuksen tuottavuus on 2–3-kertainen kaato-kasaukseen verrattuna. Pienpuun korjuukustannus tien varressa oli korjurilla 22 €/m³, koneelliseen kaato-kasaukseen perustuvalla ketjulla 18 €/m³ ja miestyöhön perustuvilla menetelmällä 20,5 €/m³. Aikaa vievin työvaihe oli kaato-kasaus, jossa tuottavuuserot olivat pieniä. Korjuumenetelmien

väliset erot syntyivät lähinnä metsäkuljetuksessa, jossa korjurin tehotuntuotos oli 4 m³ pienempi kuin koneellisen kaato-kasauksen jäljiltä tehdyssä kuljetuksessa. Korjurin tuottavuutta alensi etenkin energiapuukouran paino, joka hidasti kuormausta ja purkua sekä rajoitti kourataakan kokoa. Työvaiheet eivät juuri limittyneet, vaan kone toimi vuorotellen kaato-kasaukoneena ja kuormatraktorina. Työtä voitaisiinkin tehostaa kuormaamalla kokopuunippuja jo hakkuuvaiheessa (Laitila ja Asikainen 2006, Kärhä 2006a, 2006b). Nosturin nostokorkeus voi tosin rajoittaa suorakuormauksen käyttöä (Laitila ja Asikainen 2006). Suorakuormauksella voitaisiin estää myös maa-aineksen joutumista energiapuun joukkoon. Kärhä (2006a) osoitti, että pyöriväohjaamisella korjurilla ajourilta kertyvä energiapuun kannattaa kuormata jo ajourien avaamisen yhteydessä.

Taulukko 9. Energiapuukorjureiden aikatutkimusten tuloksia.

Lähde	Kone	Työ- mene- telmä	Rungon keski- koko, dm ³	Kertymä, m ³ /ha	Metsä- kuljetus, matka, m	Kuorman koko, m ³	Tehotunti- tuottavuus, m ³ /E ₀ h	Käyttö- tunti- tuotta- vuus, m ³ /E ₁₅ h	Korjuu- kustannus, €/m ³ (ketju)
Laitila (2004), Laitila ym. (2004)	Keskikok. kuormatraktori + Moipu 400E	A	30	60	200	6,2	3,6	2,9	22(18)
Kärhä (2006b)	Kuormatraktori ¹ + Moipu 400E tai Ponsse EH25	A	20	56	250	5,0	3,5		
Kärhä (2006b)	Valmet 801 Combi + Moipu 400E	B	20	56	250	8,0	3,7		
Kärhä (2006b)	Valmet 801 Combi + Moipu 400E	C	20	56	250	8,0	4,0		
Laitinen ja Asikainen (2006)	Valmet 840+ Moipu 400E	A	25	50	250	6,2	3,3		

¹ Ponsse S15 Bison ja Timberjack 1110C: Moipu 400E; Ponsse S16 Buffalo + Ponsse EH25.

Energiapuukohteilla korjurin käyttöaluetta määrittävät samat lainalaisuudet kuin ainespuun korjuussa. Kärhän (2006b) mukaan energiapuukorjuri sopii parhaiten lyhyille metsäkuljetusmatkoille (< 200 m) kertymältään pieniin (< 50 m³/ha) pienirunkoisiiin (< 20 dm³) leimikoihin. Laitilan ja Asikaisen (2006) tutkimuksessa rungon koon kasvu 10 dm³:stä 50 dm³:iin lisäsi korjuun tuottavuutta 68 % (2,2 m³/E₀h → 3,7 m³/E₀h). Hehtaarikohtaisen hakkuukertymän lisääntyminen 25 m³:sta 75 m³:iin puolestaan paransi tuottavuutta 0,5 m³:lla tehotuntia kohti. Metsäkuljetusmatkan pidentyminen 50 metristä 500 metriin alensi korjuun tehotuntuottavuutta 0,6 m³:lla. Kuormatraktorialustaista energiapuukorjuria Laitila (2004) pitää sopivana vaihtoehtona silloin, kun kuormatraktorilla ei ole energiapuun ajon lisäksi muuta työtä.

11 Päätelmiä

11.1 Tutkimustulosten luotettavuus

Koska korjuri on vasta kehityskaarensa alkupäässä, osaa tutkimustuloksista voidaan pitää koneiden teknisen kehityksen vuoksi vanhentuneina. Esimerkiksi lähes kaikissa tutkituissa Valmet Combi korjureissa oli nelisylinterinen moottori, kun ne nykyisin varustetaan tehokkaammilla kuusisylinterisillä moottoreilla. Ponsse Dualin kouranvaihtoon kuluva aika on lyhentynyt liitin-

teknologian kehittymisen ansiosta. Esimerkiksi Hallonborg ym. (2005) arvioivat ajan 15–20 minuutiksi, kun Riepon (2003) kokeessa vaihto hakkuukoneesta kuormatraktoriksi kesti 9 minuuttia ja kuormatraktorista hakkuukoneeksi 6 minuuttia.

Tutkimuksissa kuljettajilla oli vähän kokemusta tutkituista työskentelymenetelmistä ja korjureista yleensä. Esimerkiksi Westerin (2001) kokeessa kuljettaja oli ennen aikatutkimusta tehnyt harvennuksilla ainoastaan kolme koekuormaa. Kankaan (2003) tutkimus tehtiin juuri hankitun korjurin käyttöönottovaiheessa, eikä kuormatraktoria aikaisemmin ajaneella kuljettajalla ollut kokemusta hakkuukonetyöskentelystä. Toisaalta joissakin tutkimuksissa oli käytetty erittäin taitavia ja kokeneita kuljettajia (von Bodelschwingh 2003, Nordén ym. 2005). Von Bodelschwinghin (2003) tutkimuksessa kokenut (10 v hakkuukonetyöskentelyä) kuljettaja saavutti vakiintuneen tuottavuustason noin 20 työpäivän aikana, jolloin korjuun tuottavuus yli kaksinkertaistui. Uusimmat korjureiden seurantatutkimukset kuvaavat jo paremmin korjureiden todellista tuottavuustasoa käytännön hakkuutyömailla (Rieppo ja Kärhä 2006). Näissä tutkimuksissa kuljettajat ovat olleet tottuneempia korjurityöskentelyyn.

Korjurikonseptien tai työskentelymenetelmien välisistä tuottavuuseroista ei voida tehdä pitkälle meneviä päätelmiä, sillä tutkimuksia ei ole juurikaan tehty vertailukelpoisissa leimikko-olosuhteissa. Vertailut perustuvat yleensä hakkuukoneen ja kuormatraktorin aikatutkimusmallien muunnoksiin (Asikainen 2004, Talbot ym. 2003). Suppeissa aineistoissa kuljettaja voi vaikuttaa merkittävästi konetyyppien ja -merkkien välisiin eroihin (Rieppo 2003). Aikatutkimukset tehtiin yleensä yhdellä kuljettajalla, joten kuljettajien väliset erot voivatkin osittain selittää koneiden ja menetelmien välisiä eroja. Esimerkiksi Väätäisen ym. (2005) tutkimuksessa kokeneiden hakkuukoneenkuljettajien välinen tuottavuusero oli suurimmillaan 39 % ensiharvennuksella ja 23 % päätehakkuulla. Myös Kärhä (2001) on havainnut tuottavuuserojen korostuvan harvennushakkuilla, erityisesti tiheissä leimikoissa. Samassa tutkimuksessa todettiin tuottavuuseroja myös koneenkuljettajien välillä.

Aineistot olivat erittäin pieniä lähes kaikissa aikatutkimuksissa, ja koneita oli joskus käytetty poikkeuksellisissa olosuhteissa. Esimerkiksi Anderssonin (2003) tutkimuksessa poistettavia puita oli toisella harvennuksella ollut ainoastaan 68 kpl/ha. Metsätehon seurantatutkimuksessa ensiharvennuksessa hakattiin korjureilla keskimäärin 465, muussa harvennuksessa 504 ja avohakkuussa 620 runkoa hehtaarilta (Rieppo ja Kärhä 2006). Huomattava osa tutkimuksista oli tehty puulajisuhteiltaan vaihtelevissa sekapuustoisissa leimikoissa, ja tulokset esitettiin kaikille puulajeille keskimääräisinä. Lillebergin ja Korteniemen (1997) tutkimuksessa korjurin ajanmenekki oli pienin puhtaissa tai lähes puhtaissa männiköissä. Ero sekapuulajeja sisältäviin metsiköihin tuli esille lähinnä suurilla rungoilla.

Tutkimustuloksia tulkittaessa on syytä kiinnittää leimikkotekijöiden lisäksi huomiota myös muihin laskentaperusteisiin. Esimerkiksi korjurin käyttöasteen nousu ja siitä seuraava käyttötuntikustannusten aleneminen siirtää korjurin käytön kannattavuusrajaa kohti suurempia työmaita (Wester ja Eliasson 2003, Emer 2005).

Nordfjell (2001) pitää perinteisiä aika- ja menetelmätutkimuksia vanhanaikaisina. Lisäksi riittävän laajojen aineistojen kerääminen on kallista. Yksityiskohtaista tietoa tarvitaan mm. lyhyistä työvaiheista, mihin ei päästä perinteisillä menetelmillä. Tarkempaan ja yksityiskohtaisempaan työntutkimusaineistoon päästäisiin koneisiin asennettavilla tiedonkeruulaitteilla (Väätäinen ym. 2005, Kariniemi 2005).

11.2 Korjurin tulevaisuus

Korjurin kannattavaa käyttöaluetta ei voida määritellä yksiselitteisesti. Työntutkimusten olosuhteet ovat olleet vaihtelevia ja tutkimukset on usein tehty kuljettajalle vieraalla koneella ja työtekniikalla. Lisäksi julkaistuissa laskelmissa on käytetty toisistaan poikkeavia oletuksia. Puunkorjuun yksikkökustannuksissa ei kuitenkaan ollut suuria eroja korjureiden ja perinteisten korjuuketjujen välillä, joten sopivilla kohteilla korjuri on kilpailukykyinen vaihtoehto jo nyt. Korjurista voikin kehittyä tulevaisuudessa puunkorjuun yleiskone ja todellinen vaihtoehto tavaralajimenetelmän puunkorjuussa. Imponen ja Poikela (2005) arvioivat, että etenkin kääntyvällä kuormatilalla tai muulla suorakuormausta helpottavalla ratkaisulla varustettuna se voi vakiintua osaksi koneyritysten kalustoa. Korjureiden työpanoksen uskotaan suuntautuvan lähinnä poistumaltaan pienille harvennus- ja päätehakkuille.

Harvennushakkuiden ja muiden valikoivien hakkuiden lisääntyminen voi edelleen parantaa korjurin kilpailukykyä (Gullberg 2003b). Korjurin tulevaisuus nähdään lupaavana erityisesti Keski-Euroopassa, jossa leimikot ovat pieniä ja hajallaan sijaitsevia (Emer 2005, Höglmeier 2006). Polttoaineiden hinnat ovat nousseet voimakkaasti, joten korjattua kuutiometriä kohti käytetyllä polttoaineen määrällä on aikaisempaa suurempi taloudellinen merkitys. Nordfjell (2001) uskoo, että myös metsäsertifiointi lisää kiinnostusta polttoaineen kulutukseen.

Suomessa korjurin hankintaa voidaan parhaiten perustella operationaalisilla eduilla, joita on mahdollista saavuttaa koneyrityksen tasolla. Leimikkotyypeittaisella korjuun ohjauksella voidaan tasata korjuun kausivaihtelusta aiheutuvia kustannuksia ja alentaa toiminnasta aiheutuvia kiinteitä kustannuksia (Nurminen 2003). Pääomakustannuksiltaan edullisimman kalustokokoonpanon löytämiseksi tarvitaan alueellinen tarkastelu, jossa otetaan huomioon koneiden suorituskyvyn lisäksi kausittaiset työmäärät ja hakkuiden rakenne (Imponen ja Poikela 2005). Sopivia työmaita on oltava ympäri vuoden myös erikoiskoneille (Nurminen 2003). Alue- ja avainyrittäjämallin yleistyminen parantavat mahdollisuuksia korjurin läpimurtoon, sillä leimikkovarannon kasvaessa kone voidaan ohjata sille sopiviin kohteisiin aikaisempaa paremmin (Väätäinen ja Liiri 2006b).

Korjurin tuottavuutta voidaan edelleen parantaa työskentelymenetelmiä ja teknisiä ratkaisuja kehittämällä. Valmet 801 Combin kehittämiskohteina mainitaan mm. automaattinen ketjunkturisyys (Andersson 2002) ja kuormatilan liikkeiden automatisointi (Andersson 2002, Bergkvist ym. 2004). Kääntyväkuormatilaisen korjurin varusteiksi suositellaan sermiä, hydraulisesti liikuteltavia pankkoja ja peruutuskameraa (Bergkvist ym. 2003a). Tosin hakkuutähde voi rajoittaa peruutuskameran käyttöä (Ljungdahl 2004). Myös kuorman purkamista voitaisiin automatisoida (Bergkvist ym. 2004), ja kouran joukkokäsittelyominaisuuksien kehittämistä pidetään lupaavana vaihtoehtona (Bergkvist ym. 2004, Hallonborg ym. 1999). Löfgren ja Hallonborg (2004) esittävät yhtenä tulevaisuuden vaihtoehtona korjuria, jossa olisi 1–2 kauko-ohjattavaa kuormanvaihtajaa.

Kirjallisuuden perusteella korjureiden käyttämät työmenetelmät ovat kirjavia. Konekonseptin ja korjuuolosuhteiden mukaan on löydettävä kulloiseenkin tilanteeseen sopiva ratkaisu. Korjuumenetelmien ja työtekniikoiden tutkimista onkin syytä jatkaa. Korjurityön tuottavuudet paranevat kuljettajien harjaantuessa uuteen korjuuteknologiaan ja korjuumenetelmiin. Korjurinkuljettajaksi valikoituneilla henkilöillä on usein ennestään kokemusta ainoastaan metsäkuljetuksesta tai hakkuusta, joten korjurityö on uuden oppimista myös heille. Gellerstedt (2002) on todennut, että taitavaksi harvennushakkuukoneen kuljettajaksi tuleminen vaatii keskimäärin viiden vuoden työkokemuksen.

Arviot korjurin tulevaisuudennäkymistä vaihtelevat suuresti. Erään arvion mukaan vuonna 2020 noin puolet Suomen hakkuukoneista voisi olla korjureita. Toisen näkemyksen mukaan korjurin rooli jäisi marginaaliseksi eikä sillä saavutettaisi etua puunkorjuun ydinalueilla. Korjurin ei uskota korvaavan perinteistä hakkuukone-kuormatraktori-ketjua, mutta tietyillä kohteilla sitä pidetään erityisen käyttökelpoisena. Näitä ovat esimerkiksi suot, pitkät ojalinjat sekä pienet ja hajallaan olevat leimikot. Pohjois-Amerikassa korjureita ei uskota käytettävän yksinään työskentelevinä erillisinä yksikköinä. Siellä korjurit ovat herättäneet mielenkiintoa lähinnä korjuuketjujen täydentäjänä ja tasapainottajana (Asikainen ym. 2005).

Kirjallisuus

- Andersson, J. 2002. Drivarens prestation i slutavverkning – en jämförelse av tre avverkningsmetoder. Sveriges lantbruksuniversitetet. Studentuppsatser 56. 24 s. + 3 liites.
- Andersson, J. 2003. Drivarens prestation i gallring – en jämförelse av två arbetsmetoder. Sveriges lantbruksuniversitetet. Studentuppsatser 59. 16 s. + 3 liites.
- Andersson, J. & Eliasson, L. 2004. Effects of three harvesting work methods on harwarder productivity. *Silva Fennica* 38(2): 195–2002.
- 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). 12 s.
- Asikainen, A., Ala-Fossi, A., Visala, A. & Pulkkinen, P. 2005. Metsäteknologiasektorin visio ja tiekartta vuoteen 2020. Metlan työraportteja 8. 92 s. <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2005/mwp008.pdf>
- Bergkvist, I., Hallonborg, U. & Nordén, B. 2002. Valmet 801 Combi i gallring med fast lastutrymme för standardlängder. Skogforsk, Arbetsrapport 518. 15 s.
- Bergkvist, I., Hallonborg, U. & Norden, B. 2003a. Valmet 801 Combi i gallring och slutavverkning med vridbart lastutrymme för fallande längder. Skogforsk, Arbetsrapport 526. 17 s.
- Bergkvist, I., Norden, B. & Hallonborg, U. 2003b. Drivaren är konkurrenskraftig. Skogforsk, Resultat 14. 4 s.
- Bergkvist, I., Thor, M. & Hallonborg, U. 2004. Drivare och flerträdshantering sänker kostnaderna. Skogforsk, Redogörelse 1: 127–132.
- Von Bodelschwingh, E. 2003. The new Valmet 801 Combi first operational test results under Central European conditions. *Austro 2003: High Tech Operations for Mountainous Terrain*, October 5–9, 2003, Schlaegk – Austria. 6 s.
- Emer, B. 2005. Simulation of harwarder concepts under Italian north-eastern Alps conditions. *Pro gradu -työ*. Università Degli Studi di Padova. Facoltà di Agraria, Dipartimento Territorio e Sistemi agro-forestali. 118 s.
- Gellerstedt, S. 1997. Operation of the single gri harvester: Motor-sensory and cognitive work. *International Journal of Forest Engineering* 13(2): 35–47.
- Gullberg, T. 2003a. Tidsåtgångsmodeller för drivning vid alternative skogbrukssätt. Institutionen för Matematik, naturvetenskap och teknik. Avdelningen för Skog och Träteknik. Högskolan Dalarna. Rapport 18. 22 s.
- Gullberg, T. 2003b. Ekonomisk analys av drivningskostnad för olika maskinsystem vid alternativa skogbruksmetoder. Institutionen för Matematik, naturvetenskap och teknik. Avdelningen för Skog och Träteknik. Högskolan Dalarna. Rapport 19. 33 s.
- Hallonborg, U. 1998. Drivare – en analys av maskiner för avverkning och transport. Skogforsk, Arbetsrapport 392. 26 s.
- Hallonborg, U., Bucht, S. & Olaison, S. 1999. Nya grepp i gallring – ”Sluten Upparbetning” minskar skadorna och ökar produktiviteten. Skogforsk, Resultat 23. 4 s.
- Hallonborg, U. & Nordén, B. 2000. Räkna med drivare i slutavverkning. Skogforsk, Resultat 21. 4 s.

- Hallonborg, U., Nordén, B. & Lundström, H. 2005. Ponsse Dual Buffalo I slutavverkning. Skogforsk, Arbetsrapport 586. 12 s.
- Hellgren, U. 1997. Drivare. En beskrivning, jämförelse och utveckling av ett nytt maskinsystem. Skogsmästarskolan, Skinnskatteberg. Examensarbete 1997:3 i ämnet operativ planering. 35 s
- Höglmeier, K. 2006. The Feasibility of Harwarders in CTL-logging in South-German Conditions. Report of Harwarder-project. Käsikirjoitus. Metsäntutkimuslaitos.
- Imponen, V. 2005. Korjuukonevalinta ja resurssien hallinta aluetasolla. Teoksessa: Kariniemi, A. (toim.). Kehittyvä puuhuolto 2005. Seminaarijulkaisu. Metsäteho Oy. s. 34–40.
- Imponen, V. & Poikela, A. 2005. Erikoiskoneet haastavat yleiskonelinjan. Metsätehon katsaus, julkinen jakelu nro 11, 3//2005. 4 s.
- Jylhä, P., Ala-Fossi, A., Väätäinen, K. & Sikanen, L. 2006. Kuljettaja- ja yrittäjähaastattelut korjureiden käytöstä. Hankeraportti 26.6.2006. Metsäntutkimuslaitos. 20 s.
- Kangas, A. 2003. Valmet 801 Combi -yhdistelmäkoneen vaikutus yrittäjän tulokseen UPM-Kymmene Metsän Utajärven tiimin alueella. Opinnäytetyö. Rovaniemen ammattikorkeakoulu, Metsätalous, Metsätalouden koulutusohjelma. 47 s.
- Kariniemi, A. 2005. Kuljettajakaskeinen hakkuukonetyön malli – työn suorituksen tarkastelu. Helsingin yliopisto. Metsävarojen käytön laitoksen julkaisuja 38. 127 s.
- Komatsu Forest Oy. 2005a. Valmet 330.2 ja 330.2 Duo. Tuote-esite. 4 s.
- Komatsu Forest 2005b. Valmet 801 Combi. <http://www.komatsuforest.fi/>. Sivulla käyty 25.8.2005.
- Koneyrittäjä 2006. Maanrakennus-, metsäkone- ja energia-alojen koneluettelo 2006. Koneyrittäjä-lehden taulukkoliite. 64 s.
- Konttinen, H. & Drushka, K. 1997. Metsäkoneiden maailmanhistoria. Timberjack Group Oy/Otava. 254 s.
- Kuitto, P.-J., Keskinen, S., Lindroos, J., Oijala, T., Rajamäki, J., Räsänen, T. & Terävä, J. 1994. Puutavaran koneellinen hakkuu ja metsäkuljetus. Metsätehon tiedotus 410. 38 s. + liitteet.
- Kärhä, K. 2001 (toim.). Harvennuspuiden koneelliset korjuuvaihtoehdot. HARKO-projektin (1999–2001) loppuraportti. Summary: Alternative Harvesting Systems in Mechanised Thinning. Final Report of HARKO project (1999–2001). Työtehoseuran julkaisuja 382. 93 s.
- Kärhä, K. 2006a. Nuorten metsien käsittely -tutkimus: Korjurille sopii lyhyt kuljetusmatka. Koneyrittäjä 2: 24–25.
- Kärhä, K. 2006b. Small sized whole tree harvesting in Finland. Poster. World Bioenergy 2006 konferenssi. Jönköping 31.5.–1.6.2006.
- Kärhä, K., Peltola, J., Korpilahti, A., Poikela, A. & Liikkanen, R. 2003. Uusia laitteita energia- ja ainespuun korjuuseen nuorista metsistä. Metsätehon raportti 164. 31.12.2003. 31 s.
- Kärhä, K., Poikela, A., Vartiamaa, T. 2006a. Korjurin toimintanalyysi. Käsikirjoitus. Metsäteho. 20 s.
- Kärhä, K., Keskinen, S., Liikkanen, R. & Lindroos, J. 2006b. Pienpuun korjuu nuorista metsistä. Käsikirjoitus. Metsäteho. 22 s.
- Laitila, J. 2004. Pienkokopuun korjuun teknologia, kertymät ja kustannukset. Julkaisussa: Nuoret metsät energialähteenä. Retkeily ja seminaari 31.8.–1.9.2004, Joensuun Tiedepuisto, Joensuu. Tekes. 10 s.
- Laitila, J. & Asikainen, A. 2006. Energy wood logging from early thinnings by harwarder method. Käsikirjoitus, hyväksytty julkaistavaksi Baltic Forestry -sarjassa. 21 s.
- Laitila, J., Asikainen, A., Sikanen, L. & Nuutinen, Y. 2004. Harvesting technology and costs of fuel chips from early thinnings. NSR Conference on forest operations 2004 – proceedings. Silva Carelica 45: 94–105.
- Lilleberg, R. 1994. Yhdistelmäkone koko- ja osapuun korjuussa. Metsätehon moniste 17.6.1994. 8 s.
- Lilleberg, R. 1995. Naarva-kouralla varustettu yhdistelmäkone ensiharvennuksessa. Metsätehon moniste 11.9.1995.
- Lilleberg, R. & Korteniemi, P. 1997. Yhdistelmäkone ensiharvennusemetsän puunkorjuussa. Metsätehon raportti 26. 22.7.1997. Metsäteho Oy. 25 s.
- Ljungdahl, S-G. 2004. Drivare i gallring – en jämförande studie av tre arbetsmetoder. Studentuppsatser nr 75. Sveriges lantbruksuniversitetet. 23 s. + liitteet.
- Löfgren, B. & Hallonborg, U. 2004. Automation – en möjlighet att öka produktiviteten i drivning. Skog-

- forsk, Redogörelse 1: 133–139.
- Mononen, J. 2002. Yhdistelmäkoneen työmenetelmät ja operaatiovaikutukset puunkorjuuryrittäjälle. Metsä- ja puuteknologian pro gradu -työ. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta. 89 s + liitteet.
- Nordén, B., Lundström, H. & Thor, M. 2005. Kombimaskin jämfört med tvåmaskinsystem. Skogforsk, Arbetsrapport 606. 10 s.
- Nordfjell, T. 2001. Teknisk utveckling – en överlevnadsfråga? Skogskonferensen 2001 – Effektiv drift i skogen. SLU, Skogsvetenskapliga fakulteten. s. 33–36. <http://skogskonferens.slu.se/2003/dokumentation/dokument2001.pdf>
- Nurminen, T. 2003. Puunkorjuukoneiden käytön tehostamisen toimintamalli. Metsäteknologian pro gradu -tutkielma maatalous- ja metsätieteiden maisterin tutkintoa varten. Helsingin yliopisto, Metsävarojen käytön laitos. 129 s.
- Nuutinen, Y., Väätäinen, K. & Asikainen, A. 2006. The influence of the number of log assortments on logging productivity in CTL-loggings with Combi harwarders. Käsikirjoitus. Metsäntutkimuslaitos, Joensuun yksikkö.
- Ponsse Oyj 2006. <http://www.ponsse.fi/suomi/konserni/tavaralajimenetelma.php>
- Ranta, R. 2001. Metsänkäyttöilmoitusten ja hakkuiden tarkastusten tulokset vuonna 2000. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. Moniste. 33 s.
- Riechsteiner, D. 1998. Harwarder. Eine modellhafte Betrachtung zur Bestimmung des Einsatzbereiches in der Schweiz. Semesterarbeit. Professur Forstliches Ingenieurwesen, Forstliche Verfahrenstechnik II. Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft. 56 s.
- Rieppo, K. 2003. Vaihtoehtoista korjuutekniikkaa. Metsätehon raportti 149. 43 s.
- Rieppo, K. & Kärhä, K. 2006. Korjurit ainesuon korjuussa. Metsäteho. Käsikirjoitus. 16 s + liitteet.
- Rieppo, K. & Pekkola, P. 2001. Korjureiden käyttömahdollisuuksista. Metsätehon raportti 121. 51 s.
- Ryhmäsertifiointin kriteerit metsäkeskuksen toimialueen tasolla. 2003. Metsäsertifiointin standardityöryhmän 29.9.2003 hyväksymä standardi FFCS 1002–1:2003. 17 s.
- Sirén, M. & Aaltio, H. 2003. Productivity and costs of thinning harvester 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: 599–614.
- Talbot, B., Nordfjell, T. & Suadican, 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. <http://www.lib.unb.ca/Texts/JFE/bin/get14b.cgi?directory=July03/&filename=talbot.htm#1>
- Väkevä, J., Kariniemi, A., Lindroos, J., Poikela, A., Rajamäki, J. & Uusi-Pantti, K. 2001. Puutavaran metsäkuljetuksen ajanmenekki. Metsätehon raportti 123. 7.9.2001. 41 s.
- Väätäinen, K. & Liiri, H. 2006a. Yhdistelmäkone aines- ja energiapuun korjuussa. Väli raportti 26.1.2006. Metsäntutkimuslaitos. 44 s
- Väätäinen, K. & Liiri, H. 2006b. Yhdistelmäkone (korjuri) aines- ja energiapuun korjuussa. Tutkimushankkeen tuloksia. Johtoryhmän kokous 23.5.2006. Metsätutkimuslaitos. Joensuu. 21 s.
- Väätäinen, K., Ovaskainen, H., Ranta, P. & Ala-Fossi, A. 2005. Hakkuukoneenkuljettajan hiljaisen tiedon merkitys hakkuutulokseen työpistetasolla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 937. 90 s. + 10 liites.
- Väätäinen, K., Liiri, H. & Röser, D. 2006a. Cost-competitiveness of harwarders in CTL-logging conditions in Finland – a discrete-event simulation study at the contractor level. Teoksessa: P.A. Ackerman, D.W. Ländin & M.C. Antonides (ed.). Precision Forestry in Plantations, Semi-Natural and Natural Forests. Proceedings of the International Precision Forestry Symposium. Stellenbosch University, South Africa. 5–10 March 2006. s. 451–462.
- Väätäinen, K., Liiri, H. & Jylhä, P. 2006b. Yhdistelmäkone – korjuri. Missä ja miten sen käyttö on järkevää. Metsäalan ajankohtaisseminaari yrittäjille. Metsäpäivät 30.3.2006.
- Väätäinen, K., Asikainen, A. & Sikanen, L. 2006c. Metsäkoneiden siirtokustannusten laskenta ja merkitys puunkorjuun kustannuksissa. Metsätieteen aikakauskirjaan hyväksytty käsikirjoitus.
- Wester, F. 2001. Kostnad och prestation för en ny typ av drivare. Sveriges lantbruksuniversitetet, Skogsteknologi. Studenuppsatser 47. 29 s. + 4 liites.

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.

Muut lähteet

Eliasson, Lars. Norra Skogsägarna. Sähköpostiviesti 2.5.2006.

Korhonen Timo. Komatsu Forest Oy. Sähköpostiviesti 28.4.2006.

Laine Olli. Oy RCM Harvester Ltd. Puhelinkeskustelu 27.4.2006.

Papunen Kauko. Pinox Oy. Puhelinkeskustelu 28.4.2006 ja sähköpostiviesti 26.5.2006.

Vidgrén Jarmo. Ponsse Oyj. Puhelinkeskustelu 27.4.2006.