



# HAKKUUKONEENKULJETAJAN HILJAISEN TIEDON MERKITYS HAKKUUTULOKSEEN TYÖPISTETASOLLA

Kari Väätäinen, Heikki Ovaskainen, Pekka Ranta ja Antti Ala-Fossi



**METLA**  
JOENSUUN TUTKIMUSKESKUS





METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN TIEDONANTOJA, 937 2005

**METSÄNTUTKIMUSLAITOS**  
Jalostusosasto 

**HAKKUUKONEENKULJETAJAN HILJAISEN TIEDON MERKITYS  
HAKKUUTULOKSEEN TYÖPISTETASOLLA**

Kari Väätäinen, Heikki Ovaskainen, Pekka Ranta ja Antti Ala-Fossi

**JOENSUUN TUTKIMUSKESKUS**

**Kari Väätäinen, Heikki Ovaskainen, Pekka Ranta ja Antti Ala-Fossi 2005.**

Hakkuukoneenkuljettajan hiljaisen tiedon merkitys hakkuutulokseen työpistetasolla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 937, 90 s. + 10 liitesivua. ISBN 951-40-1950-4, ISSN 0358-4283.

***Kirjoittajien yhteystiedot:***

*Kari Väätäinen*, Metsäntutkimuslaitos, Joensuun tutkimuskeskus, PL 68, 80101 Joensuu; puhelin: 010 211 3259, sähköposti: kari.vaatainen@metla.fi

*Heikki Ovaskainen*, Joensuun yliopisto, Metsätieteellinen tiedekunta, PL 111, 80101 Joensuu; puhelin: 013 251 4430, sähköposti: heikki.ovaskainen@joensuu.fi

*Pekka Ranta*, Tampereen teknillinen yliopisto, Digitaalisen median instituutti, hypermedialaboratorio, PL 553, 33101 Tampere; puhelin: 03 3115 5606, sähköposti: pekka.a.ranta@tut.fi

*Antti Ala-Fossi*, Metsäntutkimuslaitos, Joensuun tutkimuskeskus, PL 68, 80101 Joensuu; puhelin: 010 211 3288, sähköposti: antti.ala-fossi@metla.fi

Avainsanat: koneellinen hakkuu, hakkuukoneenkuljettaja, hiljainen tieto, työntutkimus

Julkaisija: Metla, Joensuun tutkimuskeskus, Yliopistokatu 6, 80100 Joensuu

Tilaukset: Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimuskeskus, Kirjasto, Jokiniemenkuja 1, 01301 Vantaa

Hyväksynyt: tutkimusjohtaja Kari Mielikäinen

Hinta: 10 €

Kannen kuvat: Lauri Sikanen ja Pekka Ranta (alh. oik.)

Taitto: Seija Partanen, Metla

Paino: Kopijyvä, Kuopio

## TIIVISTELMÄ

Hakkuukoneenkuljettajan vaikutus hakkuuprosessiin on merkittävä. Esimerkiksi hakkuun tuottavuudessa samankaltaisissa hakkuuolosuhteissa kuljettajaerojen on todettu olevan jopa 40 %. Työn nopea tempo, kasvanut vastuu leimikon puunkorjuun tehtävistä sekä runsaat, yhdenaikaiset ja monitahoiset päätöksentekotilanteet korostavat kuljettajan kokemuksen merkitystä hallitussa, kannattavassa, laadukkaassa ja kestäväen kehityksen periaatteiden mukaisessa puunkorjuuprosessissa.

Kokeneilla kuljettajilla on kokemuksen myötä karttunutta taitoa ja osaamista, jota kutsutaan myös hiljaiseksi tiedoksi. Hiljainen tieto liittyy merkittävästi havaitsemiseen, suunnitteluun, ennakointiin, toiminnan arviointiin, päätöksentekoon sekä itse toimintaan hakkuutyön eri tasoilla. Hiljaisella tiedolla on yhä suurempi merkitys ihmisten ammatillisen osaamisen kehittymisessä.

Tutkimuksen ensisijaisina tavoitteina oli osoittaa hiljaisen tiedon lähteitä ja merkitystä hakkuukonetyössä työpistetasolla sekä myös avata lisää hakkuukoneenkuljettajan hiljaista tietoa. Tutkimusongelman selvittämiseksi tuli selvittää seikkaperäisesti tutkimuskuljettajien väliset eroavuudet hakkuukonetyössä ja etsiä syitä ilmenneille eroille.

Kuuden kokeneen hakkuukoneenkuljettajan työskentelyä tutkittiin kahdella ensiharvennuskohteella ja yhdellä päätehakkuukohteella. Tutkimuskuljettajat hakkasivat samalla hakkuukoneella (Timberjack 1070 C) samankaltaisissa hakkuuolosuhteissa.

Työntutkimuksessa käytettiin useita eri aineistonkeruumenetelmiä, kuten manuaalista aikatutkimusta, automaattista konetoimintojen tallennusta (PlusCAN-tallennin), työtekniikkahavainnointia ja kuljettajan havainnointikohteiden tallennusta kypäräkameravideon avulla. Lisäksi hakkuutyön laadullisista tuloksista selvitettiin korjuujäljen, puutavaralajien katkonnan ja kasauksen laatua. Aineiston analysoinnissa ja tulosten kuljettajavertailussa hyödynnettiin kovarianssi- ja regressioanalyysiä.

Tutkimuksessa kuljettajan vaikutus kokonaisvaltaiseen hakkuutulokseen oli merkittävä. Esimerkiksi kuljettajien väliset tuottavuuserot olivat suurimmillaan ensiharvennuksella, jossa ero oli enimmillään 42 % kuljettajien välillä. Kokeneen hakkuukoneenkuljettajan hiljainen tieto osoitautui laaja-alaiseksi ja tilanteen mukaan vaihtelevaksi. Hakkuun aikana tuottavimmat kuljettajat välttivät turhia koneen ja hakkuulaitteen liikkeitä sekä suorittivat nopeita päätöksiä taukojen osuuden ollessa vähäinen. Tuottavimmat kuljettajat havainnoivat ja valitsivat seuraavaksi poistettavat puut muita kuljettajia aiemmin. He suunnittelivat hakkuutehtäviä ennakkoon ennen varsinaista päätöstä ja toteutusta. Tuottavimmalla kuljettajalla oli muista poikkeava kuormaimen ja hakkuulaitteen käsittelytekniikka. Huomioitavaa oli myös, että tuottavuuden kasvulla ei ollut vaikutusta hakkuutyön laatuun.

Syyt ilmenneille eroille voidaan kohdentaa tilannesidonnaisiin työtekniikkavalintoihin, kuormaimen hallintaan sekä kuljettajan henkilökohtaisiin taitoihin ja kognitiivisiin kykyihin. Kokeumuksella ja harjaantumisella on merkittävä vaikutus kaikkiin edellä esitettyihin hiljaisen tiedon lähteisiin. Suurimmat työvaiheittaiset ajanmenekkieerot ilmenivät työvaiheissa, kuten hakkuulaitteen viennissä ja asettelussa sekä rungon prosessoinnissa, joissa kuljettajan ajattelun, suunnittelun ja päätöksenteon kuormitus oli suuri.

# SISÄLLYS

<b>TIIVISTELMÄ</b> .....	<b>3</b>
<b>1. JOHDANTO</b> .....	<b>7</b>
1.1 Taustaa .....	7
1.2 Tutkimuksen tavoitteet.....	8
<b>2. HAKKUUKONETYÖN JA TOIMINTAYMPÄRISTÖN ERITYISPIIRTEITÄ</b> .....	<b>9</b>
2.1 Hakkuukone ja hakkuukonetyö nykyaikana.....	9
2.2 Kuljettajan vastuu ja vaatimukset .....	11
2.3 Kuljettajan työn kuormittavuus .....	12
<b>3. HILJAINEN TIETO</b> .....	<b>13</b>
3.1 Hiljainen tieto käsitteenä.....	13
3.2 Hiljainen tieto suhteessa muuhun tietoon.....	14
3.3 Hiljaisen tiedon muuntaminen näkyväksi.....	15
3.4 Hakkuukoneenkuljettajan hiljainen tieto ja sen merkitys.....	16
<b>4. AINEISTO JA MENETELMÄT</b> .....	<b>17</b>
4.1 Hakkuukone ja kuljettajat.....	17
4.2 Leimikot ja tutkimuskoealat.....	18
4.3 Tutkimusmenetelmät ja mittaukset.....	19
4.4 Aineiston analysointi.....	26
<b>5. TULOKSET</b> .....	<b>27</b>
<b>5.1 Hakkuun työvaiheajanmenekit ja työtekniikat</b> .....	<b>27</b>
5.1.1 Tehotyöaika .....	27
5.1.2 Hakkuulaitteen vienti ja asettelu.....	30
5.1.3 Rungon kaato ja siirto prosessointipaikalle .....	33
5.1.4 Rungon prosessointi .....	37
5.1.5 Siirtyminen ja aputyöaika .....	41
<b>5.2 Kuormainliikkeet hakkuukonetyössä</b> .....	<b>44</b>
<b>5.3 Hakkuunaikainen katseen kohdistuminen ja havainnointi</b> .....	<b>45</b>

5.3.1 Katseen kohdistuminen tehotyöajalla .....	45
5.3.2 Katseen kohdistuminen hakkuulaitteen viennin aikana .....	47
5.3.3 Katseen kohdistuminen rungon kaadon ja siirron aikana .....	49
5.3.4 Katseen kohdistuminen rungon prosessoinnin aikana .....	50
5.3.5 Katseen kohdistuminen siirtymisen aikana .....	51
<b>5.4 Ensiharvennusten työpistekohtainen tarkastelu .....</b>	<b>53</b>
5.4.1 Työpisteen koko ja siirtymiset .....	53
5.4.2 Runkojen otto sektorit ja käsittelypaikat otto sektorin suhteen .....	54
5.4.3 Työpistetoiminnan tasaisuus eri kokoisilla työpisteillä .....	55
<b>5.5 Hakkuutyön laatu .....</b>	<b>56</b>
5.5.1 Korjuujälki ensiharvennuskohteilla .....	56
5.5.2 Puutavaran laatu .....	60
5.5.3 Kuljettajien kasausjälki .....	62
5.5.4 Kasausjäljen vaikutus lähikuljetukseen .....	65
<b>6. TULOSTEN TARKASTELUA .....</b>	<b>68</b>
<b>6.1 Tutkimusaineisto ja menetelmät .....</b>	<b>68</b>
<b>6.2 Tulosten vertailua aiempiin tutkimuksiin .....</b>	<b>70</b>
<b>6.3 Päätelmät .....</b>	<b>74</b>
6.3.1 Havaintoja hiljaisesta tiedosta hakkuun työpistetasolla .....	74
6.3.2 Hakkuukoneenkuljettajan hiljaisen tiedon lähteet .....	81
<b>6.4 Yhteenveto .....</b>	<b>83</b>
<b>KIRJALLISUUS .....</b>	<b>85</b>
<b>LIITTEET .....</b>	<b>91</b>

## ALKUSANAT

Tämä kirja on loppuraportti Metsäntutkimuslaitoksen Joensuun tutkimuskeskuksessa toteutetusta tutkimuksesta sekä samalla väliraportti Joensuun yliopiston Metsätieteellisen tiedekunnan tutkimuksesta. Yhteistutkimus kuului Pohjois-Karjalan ammattiopiston Valtimon koordinoimaan kolmevuotiseen (2002-2004) Metsäkonesimulaatio-opetuksen tuotteistaminen -hankkeeseen (MetSimu-hanke), jonka tavoitteena on ollut kehittää metsäkonesimulaattoripohjaiseen opetukseen opetussuunnitelma ja opiskeluympäristö sekä selvittää tutkimuksen avulla hakkuukoneenkuljettajan hiljaista tietoa. Metsäntutkimuslaitoksen ja Joensuun yliopiston tiiviissä tutkimusyhteistyössä on selvitetty kokeneiden hakkuukoneenkuljettajien hakkuukonetyön erityispiirteitä, kuljettajien hiljaista tietoa, ja sen merkitystä hakkuukonetyöhön. Tämä kirja tukee ja täydentää MetSimu-hankkeen ”Hakkuukoneenkuljettajan hiljaisen tiedon näkyväksi tekeminen” -tutkimusraporttia, jonka toteutuksesta on vastannut Tampereen teknillisen yliopiston Hypermedialaboratorio.

Tutkimuksen tärkeänä yhteistyötahona on toiminut Pohjois-Karjalan Ammattiopisto Valtimo, jonka tuki tutkimukseen – asiantuntevan henkilökunnan panoksena sekä tutkimuksen tukiprosessien muodossa – on ollut ensiarvoisen tärkeää. Merkittävää apua ja tukea on saatu Plustech Oy:ltä, jolta saatiin PlusCAN-tallennin hakkuukoneen prosessidatan keruuseen sekä opastusta ja neuvontaa laitteen käyttöön ja aineiston käsittelyyn. Suuri kiitos kuuluu tutkimuksessa mukana olleille metsäkoneurakoijille ja tutkimuskuljettajille, joiden suhtautuminen tutkimukseen oli kaiken aikaa positiivinen ja rakentava. Kiitokset kuuluvat myös kaikille leimikkokohteita tutkimukseen tarjonneille metsäyhtiöille sekä kaikille hankkeen kulkuun myötävaikuttaneille henkilöille.

Joensuussa 9. Marraskuuta 2004.

Tekijät

# 1. JOHDANTO

## 1.1 Taustaa

Koneellisen puunkorjuuprosessin muutosnopeus on ollut merkittävää erityisesti metsäkoneteknologian, mutta myös hakkuutyön vastuualueiden, osaamisvaatimusten ja toimintamallien kehityksen vuoksi. Hakkuukonetyö ei ole enää pelkästään koneen ohjaamista, vaan siihen sisältyy monia muitakin osa-alueita, joiden hallinta on välttämättömyys hyvälle kuljettajalle (Juntunen 1999). Hakkuukonetyöskentelyssä kuljettajan havainnoinnin ja motoriikan merkitys on edelleen suuri, mutta suunnittelu- ja päätöksentekokyvyn merkitys on kasvanut (Gellerstedt 2002, Kariniemi 2003, Ranta ym. 2004).

Työssään hakkuukoneenkuljettaja tekee useisiin hakkuunaikaisiin päätöksiin vaikuttavia kompromisseja huomioidessaan metsänomistajan, puunjalostusyrityksen, koneurakoitsijan sekä metsänhoidon intressejä (Ranta 2004). Hakkuukonekuljettaja hallitsee kokonaisvaltaisesti muuttuvia tilanteita eri intressiryhmien näkökulmat huomioiden. Tavoitteena on laadukas, hallittu, tuottava, kannattava ja kestävä kehityksen periaatteiden mukainen puunkorjuuprosessi, joka vaatii laajan ja syvällisen osaamisen. Tämä aiheuttaa haasteen myös metsäkonekoulutuksen jatkuvalla kehitykselle.

Koneellisen puunkorjuun tuottavuutta on tutkittu paljon Pohjoismaissa (Kuitto ym. 1994, Brunberg 1997, Lageson 1997, Eliasson 1998, Glöde 1999, Ryyänen ja Rönkkö 2001) ja josain määrin myös Pohjois-Amerikassa (Tufts ja Brinker 1993, Kellog ja Bettinger 1994, Landford ja Stokes 1995, 1996, Tufts 1997). Tutkimusten pääasiallisena tavoitteena on ollut selvittää tekijöitä, jotka vaikuttavat hakkuukonetyön tuottavuuteen, ja luoda siten perusteet konekustannuslaskennalle ja hakkuutyön yksikkökustannuksille. Keskeinen tulos tutkimuksissa on ollut, että työn tuottavuus kasvaa rungon koon kasvaessa, sillä nykyaikaisella yksiottehakuukoneella suuri kokoinen rungon käsittely kestää vain vähän kauemmin kuin pienikokoinen rungon käsittely. Rungon koon lisäksi tuottavuuteen vaikuttaa poistettavien puiden lukumäärä (Kuitto ym. 1994, Eliasson 1998) sekä muista kuin puista johtuvista tekijöistä maaston ja maaperän rakenne, koneen ominaisuudet ja koneen kuljettaja.

Hakkuukoneen kuljettajan vaikutus työn tuottavuuteen on todettu merkittäväksi (Sirén 1998, Ryyänen ja Rönkkö 2001, Kariniemi 2003). Metsätöissä yleensäkin työntekijän panoksella on suuri vaikutus tuottavuuteen, eikä hakkuukonetyö poikkea sen suhteen. Kuljettajan on todettu aiheuttavan tuottavuuteen vaihtelua jopa 40 % samanlaisilla leimikoilla (Sirén 1998, Ryyänen ja Rönkkö 2001, Kariniemi 2003). Eroja on havaittu paitsi tuottavuudessa, mutta myös työn laatua kuvaavissa tekijöissä kuten rungon katkonnan-, korjuujäljen- ja kasauksen laadussa (Sirén 1997, Tynkkynen 1997, Väätäinen 1999, Ala-Fossi ym. 2004a). Tekijöitä, joista kuljettajien väliset erot kokonaisvaltaisessa työnjäljessä syntyvät, ei ole perusteellisemmin selvitetty. On päätelty, että erot johtuvat muun muassa koneen ominaisuuksista, hakkuuympäristöstä, hakkuuteknikasta, kuljettajan motoriikasta ja motivaatiosta, työn suunnittelusta, kokemuksesta ja kuljettajan päätöksenteosta (mm. Harstela 1996, Eliasson 1998, Sirén 1998, Ryyänen ja Rönkkö 2001, Laamanen ym. 2003, Kariniemi 2003, Ranta 2003, Väätäinen ym. 2003, Ovaskainen ym. 2004). Kuljettajakohtaisesti näillä tekijöillä on luonnollisesti vaihtelevasti vaikutusta kokonaisvaltaiseen työpöytätyöhön.

Hakkuukonetyö, kuten muutkin samanaikaisesti päätöksentekoa kuormittavat ja jatkuvaa suorittavaa työtä sisältävät ammatit, vaatii useiden vuosien työssäoppimista ennen kuin kuljettaja saavuttaa henkilökohtaisen työskentelytasonsa (Juntunen 1998, Gellerstedt 2002). Kokeneilla kuljettajilla on kokemuksen myötä karttunutta taitoa ja osaamista, jota kutsutaan myös hiljaiseksi

tiedoksi. Tätä tietoa on vaikea kuvata sanoin tai numeroin tai muodostaa siitä sääntöjä ja ohjeita. Hiljaista tietoa sisältyy ajatteluun, oivaltamiseen, vaistoihin, päätöksentekoon, toimintaan ja käyttäytymiseen (Järvinen ym. 2002), ja erityisesti muuttuvissa tilanteissa hiljainen tieto tukee toiminnan suunnittelua, päätöksentekoa ja valitun toimintamallin arviointia (Ranta 2004). Tällä hiljaisella tiedolla on yhä suurempi merkitys ihmisten ammatillisen osaamisen kehittämisessä (Nonaka ja Takeuchi 1995 ja Järvinen ym. 2002).

Kuljettajalta vaaditaan työssään aiempaa enemmän, ja siten kannattavaan sekä useiden eri intressiryhmien vaatimuksia huomioivaan hakkuukoneutyöhön tarvitaan taitavia ja motivoituneita kuljettajia. Kokeneet, ammattitaitoiset hakkuukoneenkuljettajat ovat työmarkkinoilla kysytyjä ja heidän työskentelynsä sekä työnjälkensä taustoista ollaan kiinnostuneita. Nopean hakkuun koneellistumisen takia erityisesti 1980-luvulla ammattitaitoisista kuljettajista oli kova kysyntä, mikä johdatti hakkuukoneenkuljettajien koulutuksen käynnistämiseen vuonna 1988 (Juntunen 1998). Ammattitaitoisista hakkuukoneenkuljettajista on pulaa ja tulevaisuudessa ongelma vaikuttaa vain kasvavan.

Hakkuukoneutyön luonteeseen kuuluu, että taitavaksi, hyväksi kuljettajaksi opitaan vasta työssä. Koulutuksen avulla voidaan antaa vain perustiedot ja -taidot. Varsinainen ammattitaito kehittyy harjoituksen myötä käytännön hakkuutyössä. Kuitenkin on perusteltua, että metsäkonekoulusta vastavalmistuneella kuljettajalla on monipuolinen ja laadukas perusosaaminen, johon kokemuksen myötä tuleva oppi voi luontevasti rakentua. Hakkuukoneenkuljettajakoulutusta tulee edelleen kehittää vastaamaan tämän hetken hakkuukoneutyön vaatimuksia (Juntunen 1998, Harsela 1999, Ranta 2004).

## 1.2 Tutkimuksen tavoitteet

Pohjois-Karjalan ammattiopisto Valtimolla käynnistyi vuonna 2002 Metsäkonesimulaatio-opetuksen tuotteistaminen -projekti (MetSimu-projekti), jossa tavoitteena on kehittää metsäkonesimulaattoripohjaiseen opetukseen opetussuunnitelma ja opiskeluympäristö, joiden avulla voidaan opetuksen laatua sekä yhteyttä metsäopetuksen kanssa kehittää (simumedia.ppky.fi). MetSimu-projektiin kuuluvassa tutkimusosassa tutkittiin hakkuukoneenkuljettajan hiljaista tietoa sekä aidossa että simuloitussa toimintaympäristössä. Hakkuukoneenkuljettajan työn ja osaamisen jäsentäminen tutkimustiedon pohjalta oli perustana koulutuksen kehittämisessä (simumedia.ppky.fi).

Tässä kirjassa on esitetty tuloksia MetSimu -projektiin kuuluneesta Metsäntutkimuslaitoksen ja Joensuun yliopiston yhteistutkimuksesta, jossa tutkittiin kokeneiden hakkuukoneenkuljettajien hakkuukoneutyön erityispiirteitä, kuljettajien hiljaista tietoa ja sen merkitystä hakkuukoneutyöhön. Kokeneen kuljettajan hiljaisen tiedon tutkimisessa käytettiin apuna perinteisiä metsätyöntutkimusmenetelmiä, sekä myös uusia, tutkimukseen erikseen räätälöityjä työntutkimusmenetelmiä. Hakkuukoneenkuljettajan hiljaista tietoa lähestyttiin kohdistamalla huomio hakkuukoneenkuljettajan kokonaisvaltaiseen hakkuutyön jälkeen ja puunkorjuuprosessiin, jossa tarkasteltiin kuljettajan tuottavuutta, työtekniikoita, korjuujälkeä, runkojen katkontaa ja lähikuljetuksen huomioimista. Tutkimuksen päätavoitteena oli selvittää kokeneiden kuljettajien väliset eroavuudet hakkuukoneutyön kokonaisvaltaisessa työssä sekä etsiä syitä ilmenneisiin eroihin. Tutkimuksen tavoite voidaan erottaa tarkemmin pienempiin tekijöihin, jotka erottuivat hankkeessa omina osatutkimuksina:

- tehotyöajan ja työtekniikan välinen yhteys
- kuljettajan katseen kohdistuminen ja havainnointi hakkuun aikana
- hakkuun työpistetarkastelu
- kuljettajan vaikutus korjuujälkeen
- puutavaralajikasauksen vaikutus lähikuljetukseen.

Kirjassa kootaan osatutkimusten päätulokset ja tehdään synteisiä hakkuukoneen kuljettajan hiljaisesta tiedosta ja sen merkityksestä hakkuutulokseen sekä esitetään sujuvan, hallitun ja perustellun työprosessin erityispiirteitä työpistetetasolla. Seuraavassa kappaleessa avataan hakkuukone-työn ja työympäristön erityispiirteitä ja hiljaisen tiedon olemusta, jotta kirjassa esitetyjä tuloksia ja päätelmiä voidaan kriittisesti peilata hakkuukonetyöhön ja hakkuukoneopetukseen.

## **2. HAKKUUKONETYÖN JA TOIMINTAYMPÄRISTÖN ERITYISPIIRTEITÄ**

### **2.1 Hakkuukone ja hakkuukonetyö nykyaikana**

Puutavaralajimenetelmän hakkuukoneiden tekninen kehitys on ollut nopeaa ja jatkuvaa aina 1960-luvun puolivälistä alkaneesta hakkuukoneen kehittelystä lähtien (Konttinen ja Drushka 1997, Hakkila ym. 1989). Ensimmäinen suomalainen monitoimikone eli prosessori oli vuonna 1968 Sakari Pinomäen esittelemä Pika 50-karsinta- ja katkontakone (Konttinen ja Drushka 1997, Lillandt ym. 1999). Nykyistä rungon käsittelytekniikkaa edustavan hakkuulaitemallin prototyyppit rakensivat samoihin aikoihin vuonna 1977 suomalainen Sakari Mononen ja ruotsalainen Jan Eriksson (Konttinen ja Drushka 1997). Tästä alkoi yksiottehakkukoneen kehityskulku ensin Pohjoismaissa ja nyt myös muualla maailmassa.

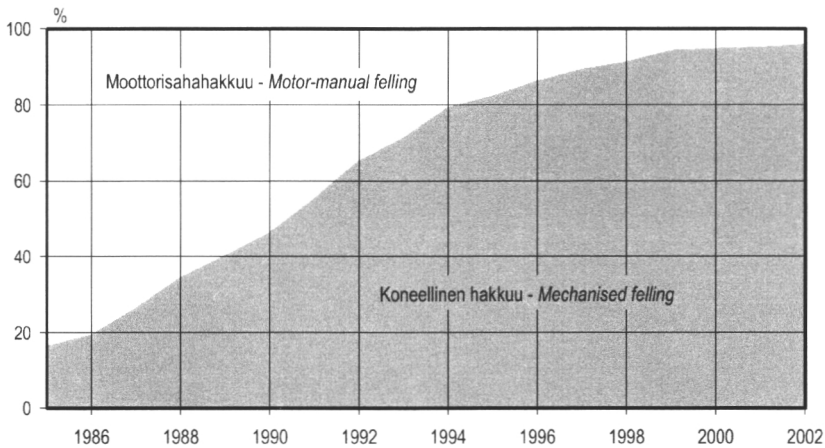
Verrattaessa nykypäivän hakkuukonetta 20 vuotta sitten käytössä olleisiin voidaan havaita suuria teknisiä muutoksia, jotka ovat lisänneet työn tuottavuutta ja parantaneet kuljettajan työoloja. Yksiottehakkukone on yhdistelmä korkeaa kuljettajaergonomiaa, tietotekniikkaa, hydrauliiikkaa, moottori- ja voimansiirtoteknologiaa sekä hakkuulaite- ja nosturitekniikkaa. Hakkuukoneiden konetoimintojen hallinta-, ohjaus-, mittaus-, katkonnanohtaus-, paikkatieto-, vianetsintä- ja tiedonsiirtojärjestelmät tukevat kuljettajan päätöksentekoa muuttuvissa toimintaympäristöissä. Hakkuukoneiden tuotostaso ja toimintavarmuus ovat parantuneet, ja siten hakkuun yksikkökustannukset ovat kaiken aikaa pienentyneet. Hakkuukoneella voidaan käsitellä nopeammin sama määrä puuta kuin aiemmin.

Edelleen useissa tutkimuksissa metsäkoneiden uusien teknisten ratkaisujen on todettu parantavan ja tehostavan hakkuusuoritusta (Hallonborg ja Nordén 2001, Granlund ja Hallonborg 2001, Brunberg 2001, Rieppo ja Kariniemi 2001, Nordén ja Granlund 2003, Pettersson ja Eriksson 2003). Esimerkiksi kuormaimen ulottuvuuden kasvattaminen on tehostanut hakkuukonetyöskentelyä harvennuskohteilla (Hallonborg ja Nordén 2001). Metsäkoneen kuljettajan ergonomiaa ja työoloja kehittävät ratkaisut vaikuttavat usein positiivisesti myös tuottavuuteen ja korjuujälkeen (Rieppo ja Kariniemi 2001). Laitekehityksessä ei ole unohdettu kuljettajan työoloja ja työturvallisuutta.

Hakkuukoneen toimintojen automaatiotaso on kasvanut nopeasti. Erityisesti kuormaimen ja hakkuulaitteen toimintoja voidaan edelleen automatisoida ja kuormainliikkeiden puoliautomaatointia on testattu rohkaisevin tuloksin (Lövgren ja Wästerlund 2004). Lisäksi metsäkoneissa tulisi edelleen kehittää muun muassa aktiivisia ja passiivisia tärinän vaimentimia tärinäaltistuk-

sen vähentämiseksi (Vähänikkilä ym. 2004) sekä käyttöliittymien näyttöinformaatiota (Forsberg 2003). Rieppo ja Kariniemi (2001) kokosivat metsäkoneiden kehittämistarpeita korjuujäljen kannalta, joissa esille tuli muun muassa kuljettajan näkyvyyden, renkaiden ominaisuuksien, kuormaimen hallinnan, koneen painojakauman ym. kehittäminen.

Suomessa puunkorjuu toteutetaan tänä päivänä lähes kokonaan metsäkoneilla. Vuonna 2002 koneellisen hakkuun osuus koko hakkuusuoritteesta oli 97 % (Kuva 1) (Metsätilastollinen... 2003). Koneellinen hakkuu on vallannut 80-luvun alusta lähtien nopeasti hakkuusuoritteita metsureilta. Hakkuukoneesta ja sitä ohjaavasta kuljettajasta on tullut hallitsevin toteutusyksikkö teollisen puutavaran hakkuussa. Lisäksi metsäkuljetus on toteutettu jo useamman vuosikymmenen ajan kuormaa kantavilla metsätraktoreilla. Pohjoismainen tavaralajimenetelmä on osoittautunut tehokkaimmaksi ja ympäristöystävällisimmäksi puunkorjuumenetelmäksi Suomen olosuhteissa (Harstela 1993).



**Kuva 1.** Koneellisen hakkuun osuus Suomessa vuosina 1985 – 2002 (Metsätilastollinen vuosikirja 2003).

Metsäkoneytyön osuuden nopea kasvu on johtunut hakkuukoneiden kehittämisestä ja niiden tuotavuuden parantumisesta, ihmistyön kallistumisesta sekä siitä, että koneellisen korjuun logistiikka on paremmin hallittavissa kuin moottorisahahakkuun (Salakari ja Heimonen 1998). Metsäkoneyrittäjät ja -kuljettajat ovat tänä päivänä välttämätön ja korvaamaton ammattikunta metsäteollisuuden raakapuun hankinnassa ja siten puun koko jatkojalostusketjussa aina kannolta lopputuotteeksi asti.

Metsäkoneytyön ammatillisia erityispiirteitä ovat itsenäisyys, yksintyöskentely, toimiminen luonnon keskellä, työmäärän kausittainen vaihtelu sekä istumatyö usein hankalissakin asennoissa (Kanninen 1989, Perkiö-Mäkelä ym. 2001). Kuljettajien työvuorot ovat usein pitkiä; esimerkiksi vuonna 1996 metsäkonealan kuljettajista noin 70 % teki säännöllisesti yli 8 tunnin työpäiviä (Metsäkonealan työoloja... 1996). Koneytyötä joudutaan tekemään myös pitkien matkojen päässä, jolloin työmatkat venyvät tai kuljettajat yöpyvät poissa kotoa (Juntunen 1999).

Vaikka metsäkoneytyö on yksinäistä työskentelyä metsässä työpäivien pituuden vaihdelta suuresti sekä uusien työtehtävien kuljettajalle siirtymisen vuoksi vastuu ja vaatimustaso on kasvanut, metsäkoneyrittäjät ja metsäkoneen kuljettajat viihtyvät työssään ainakin kohtalaisesti. Vuonna 2001 tehdyn tutkimuksen mukaan metsäkoneenkuljettajista lähes 90 % oli erittäin tai melko tyytyväisiä työhönsä (Perkiö-Mäkelä ym. 2001), kun vuonna 1992 tutkimuksessa kuljetta-

jista 60 % piti työviihtyvyyttä hyvänä (Hänninen ym. 1992). Yleisesti ottaen hakkuukoneella työskentelyä pidetään rasittavampana kuin työskentelyä kuormatraktorilla (Gellerstedt ym. 1999, Rieppo ja Kariniemi 2001).

## 2.2 Kuljettajan vastuu ja vaatimukset

Ennen metsätöiden koneellista ajanjaksoa metsätyöt edellyttivät useiden ihmisten työpanoksen useissa eri työtehtävissä, kuten kaadossa, karsinnassa, katkonnassa, rungon jakamisessa, kuorinnassa ja kasauksessa (Hakkila ym. 1989). Tänä päivänä yksi ihminen hoitaa hakkuukoneella kaikki työvaiheet aina puunkaadosta lajiteltuihin puutavaralajikasoihin. Työssään kuljettaja vastaa samanaikaisesti sekä arvokkaasta koneyksiköstä että laadukkaasta, tuottavasta, turvallisesta ja hallitusta puunkorjuuprosessista.

Vastuuta koneyrityksille ja siten kuljettajille on lisätty edelleen puunkorjuussa ja -hankinnassa alueyrityksyyden I. alueurakoinnin, kokonaisurakoinnin keinoin (Jaakkola 2003, Rantanen 2003). Alueurakoinnissa puunkorjuun kokonaisnäkökulma korostuu, sillä alueurakoija voi vastata puun kuljetuksesta, koneiden siirrosta, teiden kunnossapidosta, metsänuudistamisesta sekä hakkuun suunnittelusta ja hallinnoinnista (Ala-Fossi ym. 2004b).

Puunkorjuun eri sidosryhmät ovat kiinnostuneet paitsi lopputuotteista myös metsänhoidosta ja ympäristöstä (Salakari ja Heimonen 1998). Vastuu hakkuun työnjäljestä on lopulta kuljettajalla tai hakkuusta vastaavalla urakoijalla. Ajourien suunnittelu, poistettavien puiden valinta ja jäävän puuston tiheyden määrittäminen harvennuksella sekä monimuotoisuuden, arvokkaiden luontokohteiden ja ympäristön huomiointi vaatii kuljettajalta laajaa tietoutta, osaamista ja kokemuspohjaa. Hyvään korjuujälkeen tähtäävä hakkuu vaatii tietoutta ja osaamista metsänhoidosta ja luonnon monimuotoisuudesta sekä riittävää kokemusta hakkuutavoista, hakkukoneesta, lähikuljetuksesta sekä leimikko- ja sääolosuhteista (Harstela 1999, Gellerstedt 2002).

Hakkuukoneen kuljettajan työpäivä ei koostu yksinomaan hakkuutyöstä, vaan työpäivään kuuluu myös koneen huoltoa, tarkastuksia ja korjausta sekä näihin toimiin liittyviä yhteydenottoja ja varaosien hankintaa, korjuuohjeiden vastaanottamista, leimikon hakkuutilannetietojen raportoimista urakan antajalle, suunnittelutehtäviä, urakoitsijalle sekä korjuuketjun muille jäsenille. Osallistuminen koneiden ja muiden tarvikkeiden siirtoon hakkukohteelta toiselle sekä tienvarsivaraston ja varikkopaikan valinta ja niiden teko kuuluvat yhä useammin kuljettajalle. Lisäksi hakkukonekuljettajan toimenkuvaan voidaan katsoa kuuluvan yhä enemmän myös asiakaspalvelua sekä toimintaa eri sidosryhmien kanssa.

Tietotekniikan lisääntyminen hakkuukoneissa edellyttää kuljettajilta tietojärjestelmien ja hallinta-/ohjainlaitteiden perustuntemusta sekä sovellusten ja laitteiden käsittelytaitoja. Hakkuukone työskentelyssä tietotekniikan osaamisen merkitys on huomioitu opetuksessa, jossa tieto- ja viestintäteknikan opetuksen osuutta on lisätty tuntuvasti perusopetuksessa ja lisäksi kokeneille kuljettajille järjestetään erillisiä kursseja jatkuvasti uusiutuvien ja päivittyvien tietojärjestelmien toiminnasta.

Yhtenä hakkuun perustavoiteista on katkoa runko mahdollisimman tarkoin mitta-, laatu- ja jakaumavaatimukset täyttäväksi puutavaralajeiksi siten, että arvosaanto maksimoidaan. Yhä tiukentuneet puutavaralajien laatuvaatimukset sekä puutavaralajien pituuksien ja läpimittojen mukainen jakaumaohjaus ovat lisänneet katkonnan merkitystä, missä kuljettaja on vastuussa rungon lopullisten katkontakohtien valinnasta. Puunhankintatahot sekä valveutuneet puun myyjät valvovat katkonnan onnistumista seuraten jakaumatavoitteiden täyttymistä, tukki- ja kuituosuuksia sekä raakkiosuuden määrää koko hakkuumäärään nähden. Hyvän katkontatuloksen edellytyksenä

on mittalaitteen toiminnan ylläpito annettujen maksimaalisten mittavirheiden sallimissa rajoissa. Kuljettaja vastaa mittalaitteen toiminnasta, huollosta ja kalibroinnista.

Salakari ja Heimonen (1998) ovat luetelleet seuraavanlaisia ominaisuuksia, joita vaaditaan hakkuukoneenkuljettajalta:

- oltava tehokas
- osattava tukin apteeraus ja harvennuskoneiden käsittely oikeaan tiheyteen
- osattava suunnitella ajourat
- harvennustyön jäljen - ml. korjuuvauriot ja jäävän puuston tiheys – on oltava kohdallaan
- hallittava ympäristöasiat
- osattava pitää kone kunnossa ja korjata pikkuvikoja
- osattava tehdä päivittäiset huollot
- hallittava koneen mittalaitteen käyttö ja kunnossapito sekä katkonnan ohjaus
- kyettävä tekemään pitkää vuoroa
- osattava työskennellä yksin
- osattava työskennellä tiimissä
- vastuuta ohjeiden toteuttamisesta sekä niiden oikeellisuuden varmistamisesta (laatu- ja ympäristöjärjestelmät)
- aktiivista panosta toiminnan laadun kehittämiseen
- työturvallisuusasioiden huomioonottamista.

Ranta (2004) on määritellyt yleisemmällä tasolla hakkuukoneenkuljettajan osaamisen tekijöitä hallitussa puunkorjuuprosessissa. Hänen mukaan kuljettajan työnkuvan keskeisiä elementtejä ovat:

1. laadukas ja tehokas puunkorjuuprosessi
2. informaation tuotanto ja välittäminen jatkoprosesseihin
3. olennaisen informaation erottaminen epäolennaisesta
4. työprosessien suunnittelu ja riskien ennakointi
5. puunkorjuun ja -jalostuksen jatkoprosessien huomiointi
6. toimintaympäristön huomiointi ja ylläpito
7. osaamisen ylläpito ja kehittäminen sekä
8. osallistuminen toimijayhteisön toimintaan.

## 2.3 Kuljettajan työn kuormittavuus

Puunkorjuun muututtua fyysisestä työstä pääosin henkiseksi työksi – metsurista hakkuukoneen ohjaajaksi – ovat hakkuutyön ergonomia sekä hakkuutyössä kuormittuminen muuttaneet luonnetaan. Metsäkoneiden kehityskaaren alkuvaiheissa kuljettajan ergonomiaan ei juurikaan panostettu ja terveydentilan tutkimuksissa kuljettajat osoittautuivat yhtä sairaiksi kuin metsurit vaivojen ilmetessä samoiksi: selkää ja hartioita särki (Korhonen ym. 1980). Kuljettajan työolosuhteita on pyritty konekehityksen, motivoinnin ja koulutuksen avulla parantamaan (Harstela 1999). Vuoden 2001 tutkimuksen mukaan yli 80 % hakkuukoneenkuljettajista koki työn henkisen rasittavuuden muuttuneen suuremmaksi, kun taas työ fyysinen rasittavuus oli enemmänkin vähentynyt kymmenen vuoden aikana (Perkiö-Mäkelä ym. 2001).

Hakkuukoneen erityispiirteet määrittävät kuljettajan kuormittumisen työssään. Hakkuukoneella työskentely on intensiivistä ja haastavaa vaatien jatkuvaa tarkkaavaisuutta ja sisältäen syk-

lissä toistuvia työvaiheita, jotka voivat olla myös osin päällekkäisiä (Gellerstedt 2002). Kuljettajan on keskityttävä informaation vastaanottoon, käsittelyyn ja reagointiin tilanteissa, joissa on suuri ärsykemäärä ja esiintyy häiritseviäkin ärsykeitä (Kariniemi 2003). Kuljettaja istuu koko tehollisen hakkuuajan hytissään ohjaten lähes kaiken aikaa konetta ja koneliikkeitä käsin hallintalaitteilla. Esimerkiksi Gellerstedtin (2002) mukaan hakkuukoneen kuljettaja voi yhden hakkuutunnin aikana tehdä noin 4000 liikettä hallintalaitteilla.

Hengitys ja verenkiertoelimistön rasittumisen perusteella hakkuukonetyö ei ole fyysisesti kuormittavaa (Harstela 1979). Kuljettajista kuitenkin 25 – 50 % kärsii kivuista ja säryistä niska, hartia ja alaselän alueella (Axelsson ja Pontén 1990, Hänninen ym. 1992, Kanninen 1999, Vähänikkilä ym. 2004). Syninä tähän ovat maaston aiheuttama heilunta eli kokokehon värinä, pitkäkestoinen istuma- ja toistotyö sisältäen vaikeitaakin työasentoja ja yhtäjaksoista vipujen käsittelyä (Harstela 1979, 1999, Gellerstedt 2002). Pitkäkestoinen ja yhtäjaksoinen hakkuukonetyö aiheuttaa niskaan ja hartioihin staattisen lihasjännityksen (Ahlgren ym. 1982). Ruotsissa hakkuukonetyölle onkin esitetty ohjeistuksia, joissa hakkuukonetyön aikana ja jopa yhden työsyklin aikana tulisi olla lyhytkestoisia, vähintään kolmen sekunnin taukoja (Gellerstedt ym. 1999). Metsäkoneiden huolto- ja korjaustyöt ovat varsin kuormittavia ja tapaturma-alttiita (Väyrynen 1986, Harstela 1990), joskin huolto- ja korjaustehtävien osuus keskimääräisestä työpäivästä on vähäinen ja koneiden huollettavuutta on parannettu kaiken aikaa.

Vielä 1980-luvulla ja 1990-luvun alussa hakkuukoneenkuljettajan kuormittumistutkimuksissa ei voitu osoittaa hermojärjestelmän haitallista ylikuormittumista (Harstela ja Piirainen 1981, Salminen 1981, Gellerstedt 1993). Edellä esitettyjen tutkimusten ajoista lähtien hakkuukonetyön lisääntyneiden työtehtävien, kasvaneen vastuun ja vaatimustason myötä kuljettajan psyykinen rasitus on kasvanut. Hakkuukonetyön informaatiokuorma, korkea työtempo ja nopeasti toistuvat päätöksentekotilanteet aiheuttavat kuljettajalle voimakasta neurosensorista kuormitusta (Hakkila ym. 1989, Harstela 1999, Gellerstedt 2002, Kariniemi 2003). Kuljettajien keskittymis- ja informaationkäsittelykyky heikkenevät työpäivän edetessä ja etenkin työvuoron lopulla psyykinen rasitus on korkeimmillaan (Gellerstedt 1997). Stressitilaa ja työmotivaation laskua aiheuttavat kuljettajalle asetetut tavoitetilat työsuoritusten määrärajoista. Tällöin korkealla intensiteetillä työskentely ei jätä tarpeeksi aikaa työn vaatimalle ajattelulle ja suunnittelulle (Kariniemi 2003).

Metsäkoneteknologisessa kehityksessä automatisoinnilla on kyetty helpottamaan kuljettajan työskentelyä. Usein jo niin sanotut puoliautomaattiset toiminnot antavat kuljettajalle työn aikana mahdollisuuden minitaukoihin, ja siten keventävät sekä työn staattista lihaskuormitusta että myös henkistä kuormitusta (Gellerstedt 2002, Löfgren ja Wästerlund 2004). Automatisointiin liittyy usein myös riski kuljettajan tarkkavaisuuden ja tietyissä tilanteissa myös työtehtävän mielenkiinnon heikkenemisestä (Gellerstedt 2002).

## 3. HILJAINEN TIETO

### 3.1 Hiljainen tieto käsitteenä

Unkarilainen lääketieteen tutkija, Michael Polanyi (1891-1976) toi ensikertaa esille hiljaisen tiedon käsitteen kirjassaan ”Personal knowledge” ja esitti siinä ajatuksen tiedon jakamisesta kahteen eri luokkaan: hiljaiseen tietoon (tacit knowledge) ja eksplisiittiseen, käsitteelliseen tietoon (explicit knowledge). Polanyiin käsitys tiedon kahtalaisesta luonteesta perustui hänen havaintoonsa: ”Tiedämme enemmän kuin osaamme kertoa” (Polanyi 1964). Vastaavaa tiedon jaottelua on esitetty myös termein ”kuinka-tieto” (knowing how) ja ”mitä-tieto” (knowing that) tai toi-

minnallistettu tieto (embodied knowledge) ja teoreettinen tieto (theoretical knowledge) (Ryle 1984, Järvinen ym. 2002).

Hiljaiselle tiedolle ei ole yhtä käsitettä ja selitystä, vaan näkökulmasta riippuen on esitetty erilaisia tulkintoja (Polanyi 1964, Nonaka ja Takeuchi 1995, Sveiby 1997). Esimerkiksi Polanyi (1964) mukaan kaikki tieto juontaa juurensa hiljaisesta tiedosta, jossa jaettu ja eksplikoitu tieto sekoittuu yksilön ainutlaatuisiin käsityksiin. Käsitettäessä hiljainen tieto laajimmillaan, se on kaikkea sitä tietoa, mitä ei ole ennen tuotu näkyville; ei ole kerrottu, kirjoitettu tai muutoin käsitteellistetty.

Awadin ja Ghazirin (2001) mukaan käsitteellä hiljainen tieto on yhteys kuinka-tietoon (knowing how; Sveiby (1997) embodied) ja vastaavasti käsitteellisellä (eksplisiittisellä) tiedolla mitä-tietoon (knowing that, Sveiby (1997) theoretical). Kuinka-tieto liittyy asiantuntijan tapaan toimia ja tehdä päätöksiä ilman selkeitä ja näkyvien ohjeistuksia. Vastaavasti mitä-tieto tarkoittaa, että henkilö pystyy kertomaan käytettävissä olevan tiedon, ohjeistusten, sääntöjen, periaatteiden ja toimintamallien avulla osaamisensa (Awad ja Ghazir 2001). Käsitteellinen tieto voidaan ilmaista formaalissa ja systemaattisessa muodossa, kuten numerotietona, kaavoina, tuoteselosteina, oppaina. Tätä tietoa voi myös prosessoida, siirtää ja varastoida helposti (Nonaka ja Takeuchi 1995).

Hiljainen tieto on sitä vastoin henkilökohtaista ja se on voimakkaasti sidoksissa toimintaan, minkä takia sitä on usein hankala ilmaista sanoin tai esittää formaalissa muodossa (Nonaka ja Takeuchi 1995). Se on kokemuksen myötä karttunutta osaamista ja se on tallentuneena yksilössä muun muassa toimintamalleina ja asenteina. Hiljainen tieto on myös jatkuvasti muuttuvaa ja se muodostaa eräänlaisen tiedon suodattimen. Uudet kokemukset sulautetaan ymmärrykseksi niiden käsitteiden avulla, jotka yksilöllä on hallinnassaan ja jotka hän on perinyt toisilta. Tyypillisimmillään hiljainen tieto esiintyy käsityötaitoissa, mutta myös uskomukset ja todellisuuden tulkinat muodostavat annetun, itsestään selvänä pidetyn osan sosiaalisesta todellisuudesta (Raivola ja Vuorensyrjä 1998). On myös huomioitava, että hiljainen tieto on lähteenä uusille innovaatioille ja keksinnöille kaikilla tietoyhteiskuntamme osa-alueilla.

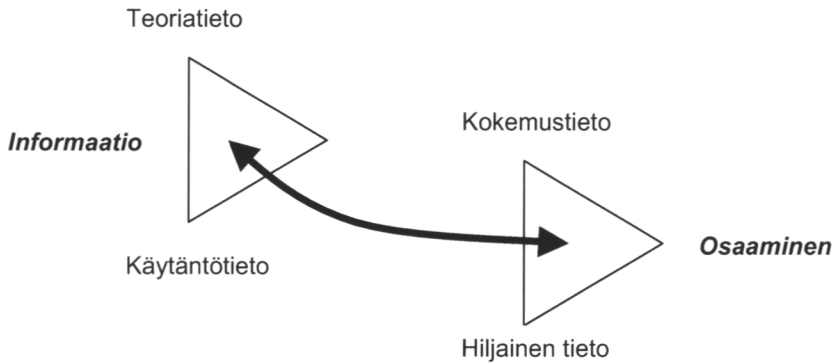
### 3.2 Hiljainen tieto suhteessa muuhun tietoon

Tässä kirjassa hiljaisen tiedon asemaa, muodostumista ja sisältöä on määritelty Järvisen ym. (2002) esittämällä tavalla. Jotta hiljaisen tiedon asema yksilön tiedon tasoista voidaan määrittää, on osoitettava hiljaiseen tietoon johtavien tiedontasojen muodot ja suhteet. Poikela (1998) on esittänyt yksilön hiljaisen tiedon syntyminen kuvassa 2.

Informaatio on kaikkea sitä, mikä voidaan aistimien ja havaintovälineiden välityksellä kohdata, mutta toisaalta tieto on jo tulkittua ja sisäistettyä informaatiota, jolle annamme merkityksen (Järvinen 2002). Useista muista ammasteista poiketen erityisesti hakkuukonetyössä kuljettajaan kohdistuvan informaation määrä on suuri, ja usein voidaan puhua informaatiotulvasta (Gellerstedt 2002, Kariniemi 2003, Ranta ym. 2004). Jokaisella on erilainen tapa kohdata ja käsitellä informaatiota ja löytää siitä tilanteen mukaista tarpeellista, merkityksellistä tietoa, joka ohjaa yksilöä tavoitteelliseen toimintaan.

Teoriatiedolla tarkoitetaan teorioista, väittämistä ja tosiasioista muodostuvaa tietoa, jonka paikkansapitävyys voidaan osoittaa tieteellisesti. Käytäntötieto tarkoittaa toiminnallistettua tietoa, joka voi olla käytännönläheistä ongelmatilanteisiin ja ratkaisuja ohjaaviin strategioihin liittyvää toimintaa, tekemistä ja päätelmiä. Yksilön integroidessa omassa toiminnassaan teoriaa ja käytäntöä, tuloksena on kokemustietoa. Hiljaisella tiedolla, joka liittyy käytännölliseen tietämiseen, päättelyyn ja osaamiseen, tarkoitetaan toimintaan sisältävää sanatonta, ei-käsitteellisessä

muodossa olevaa tietoa. Hiljainen tieto kehittyy pitkällisen harjaantumisen tuloksena ja se näkyy ulospäin taitavana, intuitiomaisena ja sujuvana toimintana ja osaamisena. (Järvinen ym. 2002)



**Kuva 2.** Informaatio, tieto ja osaaminen (Poikela 1998).

Kuvan 2 vasemmalla puolella oleva kolmio kuvaa sitä, mikä on mahdollista tavoittaa hyvän koulutuksen avulla ja oikean puoleinen kolmio sitä, mikä voidaan saavuttaa lopulta työn ja ammatillisen käytännön kautta (Poikela 1998). Järvisen ym. (2002) mukaan tiedon jakamisen sijaan koulutuksen tehtävänä pitäisikin olla kokemuksen tuottaminen, jolloin työtä ja ammattia varten voidaan saada aikaan hyviä noviiseja. Koulutuksessa hankittu käsitteellinen tieto ikään kuin sulautuu yksilöön ja muuttuu toiminnan kautta persoonakohtaiseksi osaamiseksi, jolloin myös rutiini-toiminnot ja hiljainen tieto muodostuvat.

### 3.3 Hiljaisen tiedon muuntaminen näkyväksi

Yksilöiden ja organisaatioiden hiljaisen tiedon kerääminen ja näkyväksi tekeminen on yrity maailman tiedon hallinnan suurimpia haasteita ja tavoitteita (Krogh ym. 2000, Järvinen 2002). Äänettömän (hiljaisen) tiedon kommunikointi ja jakaminen toimivassa organisaatiossa edellyttävät, että äänetön tieto muunnetaan sanoiksi, numeroiksi ja symboleiksi, joita jokainen voi ymmärtää. Japanilaiset Nonaka ja Takeuchi (1995) ovat esittäneet mallin hiljaisen tiedon muuttamisesta näkyväksi organisaatiossa. Mallin taustalla on näkemys siitä, että tietoa luodaan siirtymänä hiljaisen ja eksplisiittisen tietämyksen välillä, jolloin voidaan kuvata neljää eri tiedon muuntamisen muotoa (Järvinen ym. 2002) (Kuva 3).



**Kuva 3.** Tiedon muuntamisen muodot (Nonaka ja Takeuchi 1995).

Tiedon *socialisaation* prosessissa työyhteisön jäsenet vaihtavat kokemuksiaan. Socialisaatio ilmenee esimerkiksi erilaisina mieltämismalleina ja teknisenä osaamisena. Esimerkkinä hiljaisen tiedon socialisaatiosta on mestari oppipoika-malli, jossa mestarin kanssa työskentelevä oppipoika oppii ammattitaidon kielellisten ilmausten lisäksi myös tarkkailemalla mestarin työskentelyä, matkimalla ja käytännön toiminnalla (Järvinen ym. 2002). Mestaria seuraamalla on mahdollista oppia myös sääntöjä, joita mestari itse ei tiedosta (Raivola ja Vuorensyrjä 1998). Myös Polanyin (1964) mukaan hiljaisen tiedon siirtämisen keinot yksilöltä toiselle ovat pitkälti mallioppimisen keinoja: jäljittelyä, identifioimista ja tekemällä oppimista.

Tiedon *ulkoistamisessa* hiljainen tietämys artikuloidaan eksplisiittiseksi ilmaisuksi, missä tiedon muuntamisessa käytetään apuna metaforiaa, analogiaa, kehitelmiä, hypoteeseja ja erilaisia malleja. *Yhdistely*-vaiheessa erilaiset eksplisiittisen tietämyksen ainesosat kootaan ja yhdistellään toinen toisiinsa. Näkyväksi puettua tietämystä voidaan vaihtaa, yhdistellä ja muokata dokumenttien, kokousten ja erilaisten keskustelukanavien välityksellä. Tietämyksen *sisäistämisessä* eksplisiittinen tieto muuntuu jälleen osaamiseksi ja hiljaiseksi, toiminnallistetuksi tiedoksi; tekniiseksi tietämykseksi ja jaetuiksi mieltämismalleiksi. Eksplisiittisen tiedon sisäistämisessä ja muuntamisessa hiljaiseksi tiedoksi käytetään apuna dokumentteja, käsikirjoja ja suullista tiedon esittämistä. (Järvinen ym. 2002)

### 3.4 Hakkuukoneenkuljettajan hiljainen tieto ja sen merkitys

Voidaan perustellusti todeta, että kuljettajalla on merkittävä vaikutus hakkuun kokonaisvaltaiseen työnjälkeen, ja että kuljettajan työsuoritukseen vaikuttaa olennaisesti hiljainen tieto; kokemuksen myötä opitut taidot ja osaaminen. Rantan ym. (2004) mukaan kuljettajan hiljainen tieto liittyy merkittävästi havaitsemiseen, suunnitteluun, ennakointiin ja toiminnan arviointiin korjuuprosessin eri tasoilla. Hiljaista tietoa liittyy kuormaimen jouhevaan, työn suuntaiseen, hakkuukonetta säästävään ja toimintaympäristöä huomioivaan käyttötaitoon. Tämä osa-alue on hyvin automatisoitunutta, jota on vaikea muuttaa sanoiksi.

Hakkuukoneenkuljettajan hiljaisessa tiedossa tärkeäksi nousee tilannesidonnaisen, työnsuuntaisen ajattelun ja kokonaisvaltaisen osaamisen merkitys. Kokenut kuljettaja osaa valita toimintaympäristön vihjeistyksestä olennaisen, priorisoida argumentit ja havaita suuren määrän hienojakoisia tekijöitä sekä niiden suhteita (Ranta ym. 2004). Tältä pohjalta kokeneen kuljettajan näkökulma ja sisäinen malli prosessiin on hyvin rikas ja ennakoiva (vrt. Rauste-von Wright, 2003). Apuna työprosessien jouhevaan etenemiseen ovat tilannesidonnaiset ja tarkoituksenmukaiset ratkaisumallit sekä heuristiikat ja nyrkkisäännöt, joita kokeneilla kuljettajilla on käytössään (Ranta ym. 2004). Kokenut kuljettaja ennakoi, suunnittelee, hallitsee ja oppii korjuuprosessia työn eri suunnittelutasolla. Suunnittelutasot ovat eri tarkkuuksisia, koska kokemuksen mukaan voidaan määritellä tietyt kokonaisvaltaiset ja tilanteeseen soveltuvat linjat ja hahmotukset (Ranta ym. 2004).

Missä hakkuutyön eri vaiheissa hiljaista tietoa esiintyy ja missä määrin, on kiinnostavaa. Mikä on kokemuksen myötä karttuneen hiljaisen tiedon merkitys hakkuukonetyössä? Tähän mielenkiintoiseen ongelma-alueeseen päästään käsiksi kuljettajan hakkuuprosessin seikkaperäisen työntutkimuksen avulla sekä tutkimustarkoitukseen perusteellisesti määritetyillä tutkimusjärjestelyillä. Tässä tutkimuksessa pyritään pääasiassa työntutkimuksen kvantitatiivisiin menetelmin avaamaan hakkuukoneenkuljettajan hiljaista tietoa, sen lähteitä ja merkitystä hakkuun eri vaiheissa. Kirjassa tämä piilevä tieto tuodaan esille havaittavaan, näkyvään muotoon useiden eri

mittausmenetelmien, tutkimusaineistojen erillis- ja yhteisanalyysien sekä tuloksien pohjalta muodostettujen päätelmien avulla.

## 4. AINEISTO JA MENETELMÄT

### 4.1 Hakkuukone ja kuljettajat

Tutkimuksen hakkuukoneena käytettiin Timberjack 1070 C-mallin hakkuukonetta, jossa oli Timbermatic 300 -mittaus-, ohjaus- ja viestintäjärjestelmä. Hakkuukoneeseen oli asennettu Timberjack H754 -hakkuulaite. Kuormaimen ja hakkuulaitteen hallinta tapahtui Timberjackin perinteisillä minivivulla ja istuimen käsitukien kämmentason näppäimistöllä. Takarenkaisiin oli asennettu ketjut ja etutelistön renkaisiin harvennustelat, jolloin hakkuukoneen kokonaisleveys oli kolme metriä. Hakkuuvarustuksessa hakkuukoneen kokonaispaino oli noin 15 000 kg. Tarkemmat tekniset tiedot hakkuukoneesta, kuormaimesta ja hakkuulaitteesta on esitetty taulukossa 1.

**Taulukko 1.** Tutkimuksen hakkuukoneen teknisiä tietoja.

	Mittatiedot
Hakkuukone: Timberjack 1070 C	
Työpaino	15 000 kg
Pituus	6 600 mm
Leveys (mukana telat renkaissa)	3 000 mm
Korkeus	3 620 mm
Renkaat	Edessä 700/45 x 22.5 Takana 650/65 x 26.5
Nosturi: TJ 180 H 97	
Ulottuma hakkuulaitteen kanssa	10 m
Nostovoima	135 kNm (brutto)
Kääntövoima	38 kNm (brutto)
Kääntökulma	220 °
Hakkuulaite: Timberjack H754 (neljä syöttörullaa)	
Paino (sis. rotaattorin ja riipukkeen)	880 – 930 kg
Leveys (koura auki)	1 360 mm
Leveys (koura kiinni)	1 200 mm
Korkeus (rotaattorin kanssa)	1 490 mm
Maks. kaato/katkaisuläpimitta	550 mm
Karsintäläpimitta	400 mm

Tutkimuskuljettajina oli *kuusi* kokenutta hakkuukoneenkuljettajaa, jotka olivat käyttäneet työsuhteissaan Timberjackin hakkuukoneita. Lisäksi Timbermatic 300 -mittaus-, ohjaus- ja viestintäjärjestelmä oli sama kuin kuljettajien nykyisissä työkoneneissa oleva järjestelmä. Taustatietoja tutkimuskuljettajien puunkorjuukokemuksesta on esitetty taulukossa 2. Taulukossa 2, kuten myös jatkossa, kuljettajat identifioidaan ja esitetään anonymisti kirjaimin A, B, C, D, E ja F.

**Taulukko 2.** Tutkimuskuljettajien taustatietoja puunkorjuukokemuksesta.

Kuljettaja	Hakkuukone- kokemus, vuotta	Hakkuutapojen suhde (viimeisen vuoden aikana), avo-%/harv-%	Hakkuissa käytetty työkone (kenttätut- kimuksen aikaan)	Muu puunkorjuu- kokemus
A	2	50 / 50	Timberjack 1270 D	Vähän ajokonetta
B	10	99 / 1	Timberjack 1270 C	Ajokone 12 vuotta
C	6	20 / 80	Timberjack 1270 C	Vähän ajokonetta
D	10	70 / 30	Timberjack 1270 B	Vähän ajokonetta
E	3	50 / 50	Timberjack 1270 A	Metsurina 5 vuotta
F	10	10 / 90	Timberjack 1270 C	Ajaa ajokonettakin

## 4.2 Leimikot ja tutkimuskoalat

Tutkimukseen valittiin kaksi ensiharvennusleimikkoa ja yksi päätehakkuuleimikko, jotka hakattiin marras-joulukuussa vuonna 2002. Tutkimukseen soveltuvia leimikoita kartoitettiin Stora Enson, UPM Metsän, Metsäliiton ja Metsähallituksen leimikkotietokannoista pääosin Pohjois-Karjalan, mutta myös Kainuun ja Pohjois-Savon alueilta. Leimikkovalinnassa tärkeimpinä kriteereinä olivat riittävä leimikkokokoko, mahdollisimman samankaltainen puusto, tasainen ja helpokulkuinen maasto sekä läheinen sijainti Valtimolta, koska hakkuukone ja tarvittavat tukiprosessit tulivat Pohjois-Karjalan ammattiopisto Valtimolta.

Tutkimuksen ensimmäinen hakkuukohde (leimikko 1) oli Metsähallituksen omistama mäntyvaltainen ensiharvennusleimikko Rautavaaran Taivaljärvellä, joka hakattiin 4.-11.11.2002. Tutkimuksen toinen hakkuukohde oli Tornatorin omistama ensiharvennusleimikko (leimikko 2) Nurmeksien Rupikivellä, joka hakattiin 19.-16.11.2002. Tutkimuksen päätehakkuuleimikko hakattiin Valtimon Koivuvaarassa (leimikko 3) 27.11.-4.12.2002.

Leimikoiden tärkeimmät puustotunnukset on esitetty taulukoissa 3 ja 4. Taulukon puustotunnukset on laskettu korjuujälki-inventointiaineiston (Ala-Fossi ym. 2003) ja hakkuukoneella kerätyn puustotiedon avulla. Lumen määrä vaihteli hieman leimikoittain keskimääräisen lumenpaksuuden ollessa leimikolla A 10 cm, leimikolla B 20 cm ja leimikolla C noin 30 cm. Raivattavaa, yli 3 cm rinnankorkeusläpimitaltaan olevaa aluspuustoa leimikolla A oli keskimäärin 312 runkoa/ha ja leimikolla B 516 runkoa/ha (Ala-Fossi ym. 2003). Tätä pienempää aliskasvosta leimikoissa oli vain vähän.

**Taulukko 3.** Tutkimuksen ensiharvennusleimikoiden kuljettajakoealojen puustotietoja. L1 = leimikko A, L2 = leimikko B.

Kuljettaja	Puutunnuksia						Puulajisuhteet, %				Tiheys		Pohjapinta-ala	
	L1		L2		L1		L2		L1	L2	L1	L2	L1	L2
D <sub>1,3</sub> , cm	H, m	V, dm <sup>3</sup>	D <sub>1,3</sub> , cm	H, m	V, dm <sup>3</sup>	mä, ku,	komä, ku,	ko	r/ha	r/ha	m <sup>2</sup> /ha	m <sup>2</sup> /ha	m <sup>2</sup> /ha	m <sup>2</sup> /ha
A	14,5	13,4	128,4	15,4	13,1	139,3	63,3,34	52,35,12	1241	1009	22,7	20,2	22,7	20,2
B	15,5	13,8	146,7	15,3	12,9	137,4	62,2,36	57,39,4	1357	1101	28,1	21,6	28,1	21,6
C	14,7	13,4	129,5	14,4	12,7	117,2	58,5,37	57,36,7	1112	1155	20,6	19,7	20,6	19,7
D	13,3	12,9	108,8	14,5	12,6	119,9	53,3,43	60,38,2	1208	1090	18,7	19,0	18,7	19,0
E	14,1	13,3	116,6	14,5	12,6	121,7	53,1,46	52,38,10	1307	1062	22,0	18,8	22,0	18,8
F	14,7	13,5	132,2	14,0	12,5	111,6	68,0,32	61,36,3	1216	1073	22,5	17,3	22,5	17,3
KA:	14,5	13,4	127,1	14,7	12,7	124,5	60,2,38	57,37,6	1240	1082	22,4	19,4	22,4	19,4
SD:	0,7	0,3	12,0	0,5	0,2	10,3	6,2,5	4,2,4	77,6	43,9	2,9	1,3	2,9	1,3

**Taulukko 4.** Tutkimuksen päätehakkuuleimikon kuljettajakoealojen puustotietoja. Leimikko 3.

Kuljettaja	Puutunnuksia			Puulajisuhteet, % mä, ku, ko	Tiheys r/ha	Pohjapinta-ala m <sup>2</sup> /ha
	D <sub>1,3</sub> , cm	H, m	V, dm <sup>3</sup>			
A	27,9	19,9	608	12, 83, 5	443	23,0
B	22,2	17,8	368	10, 71, 19	617	19,1
C	27,5	19,7	631	7, 88, 5	400	19,2
D	23,6	18,4	411	7, 93, 0	550	20,0
E	27,1	19,3	571	10, 84, 5	443	20,9
F	29,3	20,8	658	6, 90, 4	329	21,1
KA:	26,0	19,2	530	9, 85, 7	473	20,8
SD:	2,7	1,1	122	2, 8, 7	104	1,5

Tutkimushakkuissa kuljettajat hakkasivat *kolme* tutkimuskoealaa jokaisella leimikolla. Koealakohtaan valinnassa leimikosta rajattiin puustoltaan selvimmin poikenneet alueet tutkimuksen ulkopuolelle.

Tutkimuskoealan koko määräytyi tehollisena hakkuuaikana, joka leimikolla 1 oli 60 minuuttia sekä leimikoilla 2 ja 3 molemmilla 45 minuuttia. Jokaisen koealan välillä pidettiin vähintään 30 minuutin tauko. Kenttätutkimuksen aikana vältyttiin pidemmiltä keskeytyksiltä ja konerikoilta. Vain muutaman kuljettajan kohdalla päivän viimeinen koeala jouduttiin hakkaamaan hämärässä.

Jokaisena tutkimuspäivänä ennen ensimmäistä koealaa kuljettajille varattiin 1-1,5 tuntia aikaa hakkuukoneen käyttöön, mahdollisiin asetusten – erityisesti puomin liikkeiden ja hakkuun toimintönäppäinten – säätöön ja sekä koneen että katkonta-asetusten (apin) käytön totutteluun. Kuljettajille määritettiin ainoastaan koealan alkupiste, josta koealan hakkuu eteni ennalta määrätyn tehollisen ajan verran. Tutkimuskoealan hakkuu vastasi pääsääntöisesti normaalia hakkuuti- lannetta aina ajouran suunnittelusta ja poistettavien puiden valinnasta lähtien. Tutkimuksen alus- sa jokaiselle kuljettajalle painotettiin erityisesti sitä, että tavoitteena oli hakata omalla, normaalil- la työskentelyrytmillä.

Koaloilla kuljettajat saivat hakata haluamallaan hakkuutavallaan ja -tekniikallaan noudattaen hakkuukohteen korjuuohjeita. Katkontaohjeet ja -tiedosto (APT) olivat jokaiselle kuljettajalle samat. Leimikolle A katkontaa ohjaaviin katkontamatriiseihin oli määritetty ainoastaan mitat kuitupuulle. Leimikolla B käytössä oli mittoja myös tukille. Tosin tukkeja katkottiin vain muu- tamia. Päätehakkuuleimikolla oli sen sijaan useita eri puutavaralajeja. Männylle oli asetettu tukki (minimilatuläpimitta 15 cm), ratapölkky (27 cm) ja kuitu (7 cm). Kuusella oli ns. harjuntukki (31 cm), tukki (15 cm), pikkutukki (13 cm), kuitu (7,5 cm) ja sellu (7 cm). Koivulla oli vain tukki (18 cm) ja kuitu (7 cm). Kuljettajilla oli myös mahdollisuus asettaa haluamiaan pituusmittoja pituusnäppäimiin esim. pitkä kuitu, jolloin kone syötti runkoa automaattisesti painikkeeseen oh- jelmoidun pituuden verran.

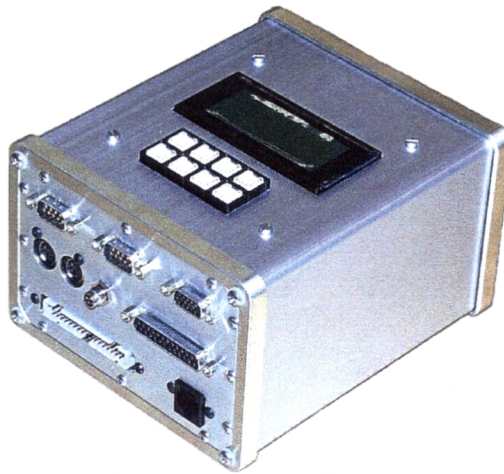
### 4.3 Tutkimusmenetelmät ja mittaukset

Hakkuutyötä tutkittiin useilla eri menetelmillä. Hakkuun työvaiheikoja mitattiin sekä manuaali- sesti jatkuva-aikamenetelmällä että koneellisesti automaattisella tallennuslaitteella. Hakkuunai- kaista työtekniikkaa havainnoitiin silmämääräisesti ja lisäksi jokaisen kuljettajan viimeisellä lei- mikkokoealalla kerättiin videomateriaalia kypäräkameralla. Jokaisessa työntutkimusmenetelmäs- sä tutkimuskoealan alkuun määritettiin yhteiset nollakohdat mittalaitteiden kelloajoille, mikä helpotti eri menetelmillä saadun tiedon täsmällistä yhdistämistä runkokohtaisesti.

Hakkuun työnjäljen osalta tutkittiin korjuujälkeä ensiharvennuksilla, katkottujen puutavaralajien kasaustyälkeä sekä myös katkonnan laatua kevyellä laatuotannalla. Lisäksi puutavaralajien kasaustyäljen vaikutusta lähikuljetukseen selvitettiin erillisellä kuormaustutkimuksella sekä esimerkkilaskelmalla, jossa hyödynnettiin olemassa olevaa tutkimustietoa.

Hakkuun työvaiheiden ajanmenekit tallennettiin Rufco -maastotallentimella jatkuva-aikamenetelmällä, jossa jokaiselle työvaiheelle tallennetaan työvaiheen loppumisaika. Samanlaisesti maastotallentimessa käytetty ajanmittausohjelma laskee ja tallensi myös työvaiheen ajanmenekin. Tutkimuksen työvaihejaottelu erosi aiemmin yleisesti käytetystä koneellisen hakkuun työvaihejaottelusta (vrt. esim. Ryyänen ja Rönkkö 2001). Mahdollisimman yksityiskohtainen tarkastelu edellytti perinteisen työvaihejaottelun tarkentamista ja työvaiheiden jakamista useampiin vaiheisiin. Kelloaikamittauksessa käytetyt lopulliset työvaiheet valittiin esitutkimuksen jälkeen. Taulukossa 5 on esitetty kelloaikatutkimuksessa käytetty työvaihejaottelu sekä liitteessä 1 tutkimuksen työvaiheet on selitetty tarkemmin. Havaintotarkkuuden rajana oli noin kaksi sekuntia ja ajanmenekit tallentuivat mittalaitteeseen sekunnin kymmenesosien tarkkuudella.

Tarkempi ja yksityiskohtaisempi hakkuukoneen toimintotietojen rekisteröinti toteutettiin Plustech Oy:n valmistamalla automaattisella PlusCAN-tallentimella (Kuva 4). Tallennin lukee ja tallentaa hakkuukoneen CAN-väylissä kulkevaa tietoa, kuten koneen moottorin suoritustasoa, kuormaimen liikeaikoja ja käsiteltävän rungon mittatietoja sekä rekisteröi koneen toimintojen ja liikkeiden aikoja. PlusCAN-tallentimen tallennusasetteet oli säädetty tutkimukseen soveltuviksi. Tallennin rekisteröi runkokohtaisesti rungon dimensiot, rungolle siirtymiseen ja sen käsittelyyn kuuluvia yksityiskohtaisia konetoimintoaikoja sekä lisäksi pölkkykohtaisia syöttö- ja katkonta-aikoja. Edellisten tietojen lisäksi tallennin kokoaa mittausajalta yhteenvetotiedot päätyövaiheittain ja lisäksi erittelee kuormaimen liikkeiden käyttöajat sekä kuormaimen nivelten yhtäaikaiset käyttöajat. Taulukossa 5 on esitetty PlusCAN-tallentimen keräämiä ja tutkimuksessa käytettyjä tunnuksia.



**Kuva 4.** Tutkimuksen hakkuukoneen toimintojen rekisteröinnissä käytettiin automaattista tiedonkeruulaitetta, PlusCAN-tallenninta. Kuva: Plustech Oy.

Työtekniikkahavainnoinnissa jokaiselle hakatulle rungolle havainnoitiin ja arvioitiin silmämääräisesti hakkuutyön aikana poistettujen puiden etäisyydet, karsinta- ja katkonta-paikat, kuormaimen suunnat ja hakkuukoneen liikkeet. Poistettujen puiden etäisyydet arvioitiin kohtisuorana etäisyytenä ajouran keskilinjaan nähden. Koneen etenemä matka ja etäisyys lähimpiin puihin

ajouralla arvioitiin ajouran suuntaisesti. Tutkimuksessa käytetyt työtekniikkahavainnot on selitetty liitteessä 2. Tiedot tallennettiin koealan aikana Psion -maastotallentimelle.

**Taulukko 5.** Työntutkimuksen eri mittausmenetelmillä mitattuja tunnuksia hakkuutyöstä.

Kelloaikatutkimus	Automaattinen konetoimintojen tallennus	Työtekniikkahavainnointi
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hakkuulaitteen vienti ja asettelu</li> <li>• Kaato</li> <li>• Rungon prosessointi (karsinta ja katkonta)</li> <li>• Hakkuulaitteen tuonti eteen</li> <li>• Siirtyminen</li> <li>• Peruutus</li> <li>• Raivaus</li> <li>• Ainespuun kasaus</li> <li>• Hakkuutähteiden siirto</li> <li>• Tauot</li> <li>• Useampilatvaisten runkojen käsittely</li> <li>• Keskeytykset</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Siirtyminen ja hakkuulaitteen vienti puulle; Kokonaisaika</li> <li>Tauko</li> <li>• Kaato; Sahaus</li> <li>Kaato (=kuorm. käyttö + tauko)</li> <li>• Rungon prosessointi; Sahaus</li> <li>Katkonta</li> <li>Kuormainkäyttö</li> <li>Tauko</li> <li>• Keskeytykset</li> <li>• Eri puominosien käyttö</li> <li>• Puominosien yhtäaikainen käyttö</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Työpisteen aloitusaika</li> <li>• Työpisteiden välinen siirtymämatka</li> <li>• Etäisyys lähimpään puuhun ajouralla (siirtymisen jälkeen)</li> <li>• Puun ottopuoli (oikea, vasen, etu)</li> <li>• Puulaji</li> <li>• Raivaus</li> <li>• Ottokulma</li> <li>• Poistetun puun etäisyys ajourasta</li> <li>• Kaatosuunta</li> <li>• Prosessointipaikka</li> <li>• Prosessointipaikan etäisyys ajouralta</li> </ul>

Tutkimuspäivän viimeisen koealan hakkuu kuvattiin digitaalivideokameralla tallentaen kuljettajan havainnointikohteita. Koealahakkuun aikana kuljettajalla oli kypärä ja näkökenttää rajaavat kehykset päässään (Kuva 5). Kypärään oli kiinnitetty pieni digivideokamera, joka suunnattiin kuvaamaan kuljettajan pääkatsealuetta ts. työskentelynäkömää, kun kuljettaja katsoi päänsuuntaisesti suoraan eteenpäin. Näkökenttää rajaavat kehykset estivät katseen kohdistamista aivan sivuille sekä ylös ja alas. Siten kuljettaja joutui kääntämään päätään normaalia enemmän kohdistettaessa katsetta äärisuuntiin, jolloin kamera tallensi katseen kohdistumisen muutoksia tarkemmin. Tällä tutkimusmenetelmällä kerättiin videomateriaalia hakkuukoneen kuljettajan pääkatsealueista sekä havainnoinneista hakkuun aikana.

Lähtökohtaiseksi katseen kohdistumis- ja havainnointikohdaksi valittiin hakkuulaite ja sen lähiympäristö, koska esitutkimuksessa havaittiin, että suurimman osan hakkuun työajasta kuljettajien katse oli kohdistuneena tälle alueelle (Junkkonen ja Ovaskainen 2003). Hakkuulaitteen lähiympäristöä oli se alue, jolta hakkuulaitteen toimintaa ja liikettä voitiin vielä seurata kohdistamatta katsetta kuitenkaan suoraan hakkuulaitteeseen tai sen tiettyyn osaan. Esimerkiksi katkonnan ja karsinnan aikana katsekohta voi liikkua puun rungolla useampienkin metrien päässä kuitenkin siten, ettei kuljettajan tarvinnut kääntää päätään. Mikäli karsinnan ja katkonnan aikana katse käy monitorissa tai viennin aikana latvuksissa, oli se poikkeava havainnointi normaalista katseen kohdistumakohdasta eli hakkuulaitteesta. Tutkimuksessa kuljettajien tekemä havainnointi rajattiin vain niihin katseen kohdistumisiin, jotka voitiin varmasti erottaa ja tunnistaa kuvanauhalla pään kääntämisenä. Videomateriaalin esitarkastelussa määritettiin ja rajattiin kuljettajien hakkuunaikaiset havainnointikohteet sekä arvioidut syyt tehdyille havainnoinneille (Taulukko 6).



**Kuva 5.** Tutkimuksessa käytetty kypäräkamera ja kuljettajan näkökenttää rajaavat kehykset.  
Kuva: Lauri Sikanen.

**Taulukko 6.** Kuljettajan katseen kohdistumispaikat sekä kyseisen havainnoinnin tarkoitus.

<b>Katseenkohdistumispaikka</b>	<b>Havainnoinnin ensisijainen tarkoitus</b>
Kasan paikka	Tulevan tai jo valmiina olevan kasanpaikan havainnointi
Poistettavan puun latvus	Kaatosuunnan valinta, rungon laadun tarkastus katkontaa huomioiden
Maastonkohta maanpinnalla, johon runkoa kaadetaan	Kaatosuunnan valinta ja rungon kaatokohdan varmistaminen
Näkymä latvustasolla (elävä latvus)	Poistettavan puun valinta
Näkymä runkotasolla (0-5 m tyveltä)	Poistettavan puun valinta
Monitori	Mittatiedot ja ennusteet
Kuormain	Kuormaimen työ- ja liikealueiden varmistaminen korjuuvaurioiden välttämiseksi
Eturenkaat/ajoura	Hakkuukoneen työtilan varmistaminen korjuuvaurioiden välttämiseksi ja ajouran suunnittelu
Näkymä taakse	Hakkuukoneen työtilan varmistaminen korjuuvaurioiden välttämiseksi, käsitellyn työpisteen tarkastus

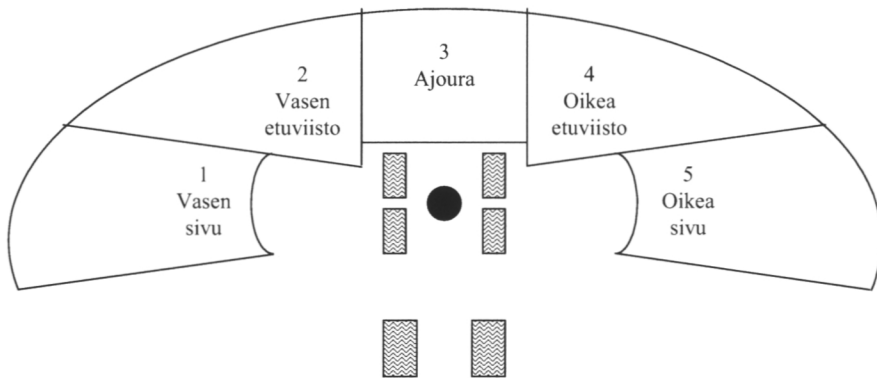
Kypäräkameravideomateriaalia analysoitiin kahdella eri menetelmällä (Junkkonen ja Ovaskainen 2003):

1. Ensimmäisessä menetelmässä tutkittiin katseen kohdistumiskertoja eri havainnointikohteisiin runkokohtaisesti jokaisen päätyövaiheen osalta. Jokainen uusi havainnointikohte kirjattiin

ylös työvaihe- ja runkokohtaisesti koko kypäräkamerakoealan ajalta. Kuvanauha katsottiin kolmasosanopeudella kaikkien havainnointien ja työvaiheiden havaitsemisen varmistamiseksi.

2. Toisessa menetelmässä selvitettiin havainnointikohteisiin kohdistuneen katseen ajallista osuutta päätyövaiheiden runkokohtaisesta kokonaisajasta. Frekvenssiaikamenetelmällä toteutetussa tutkimuksessa videoaineistosta määritettiin ensiharvennuksella neljän ja päätehakkuulla viiden sekunnin välein työvaihe ja sen hetkinen havainnointikohte. Saadusta frekvenssijaumasta ilmeni tällöin kunkin työvaiheen ajallinen osuus hakkuutyöstä sekä kunkin katseenkohdistumisen ajallinen osuus työvaiheesta sekä koko hakkuutyöajasta. Frekvenssimenetelmässä jokaisen kuljettajan koealahakkuutallenteesta otettiin vähintään 30 minuuttia kestänyt otos.

Ensiharvennuskohteilta kerätylle hakkuuaineistolle suoritettiin erikseen työpistekohtainen tarkastelu, jossa selvitettiin hakkuutyön etenemistä uudella työpisteen käsittelyalueella ja etsittiin kuljettajakohtaisia eroavuuksia työpistetoiminnassa (Ala-Fossi ym. 2004c). Tutkimuksessa työpisteet määritettiin aineistoon tallennettujen siirtymämatkojen avulla. Työpisteiden fyysinen sijainnin määrittäminen poikkesi kuitenkin aiemmissa tutkimuksissa käytetyistä määritelmistä (vrt. Kuitto 1994, Sirén 1996). Tässä tutkimuksessa uusi työpiste määrytyi aina silloin, kun hakkuukoneella ajettiin eteenpäin ja pysähdyttiin uudelle aiemmin käymättömälle urakohtalle, jossa toteutettiin yhden tai useamman ainespuun poisto. Työpisteen havainnoimisrajana käytettiin 0,5 metrin siirtymää. Tutkimuksen työtekniikkahavainnointiin määritellyt kaadettavan rungon otosuunnat jaettiin työpistetarkastelussa erikseen ottosektoreihin (Kuva 6), joiden avulla tuloksia on esitetty hakkuun työpistekohtaisessa tarkastelussa.



**Kuva 6.** Viiteen ottosektoriin jaettu työpiste ensiharvennuskohteilla.

Ensiharvennuskohteilla kuljettajien korjuujälkeä mitattiin Sirénin (1998) laatimalla korjuujälkiinventointimenetelmällä, jossa mittauskoealana oli nelikulmio (10 m x 24 m). Mittauskoeala koostui ajouran molemmiin puolin olevista vyöhykkeistä (3 m x 10 m). Tutkimuksessa lopulliseen analysointiin otettiin ainoastaan ne vyöhykkeet, jotka voitiin varmuudella osoittaa kuuluvan kunkin kuljettajan käsittelyalueelle. Jälkiinventointikoealoja sijoitettiin kuljettajakoealoille tasaisin välimatkoin kuitenkin siten, että inventointikoealojen vähimmäismääränä oli kaksi koealaa (Ala-Fossi ym. 2003).

Taulukossa 7 on esitetty kuljettajakohtaisesti kertyneet kokonaispinta-alat korjuujälkiinventoinnille sekä niiden osuus hakkuun kokonaispinta-alasta kuljettajaa kohden. Tutkimuksessa keskimääräinen korjuujälkimittauksen otantaosuus oli 35,4 %.

**Taulukko 7.** Ensiharvennuksen kuljettajakohtaiset korjuujälki-inventoinnin ja hakkuun kokonaispinta-alat sekä korjuujälki-inventoinnin otantaosuus.

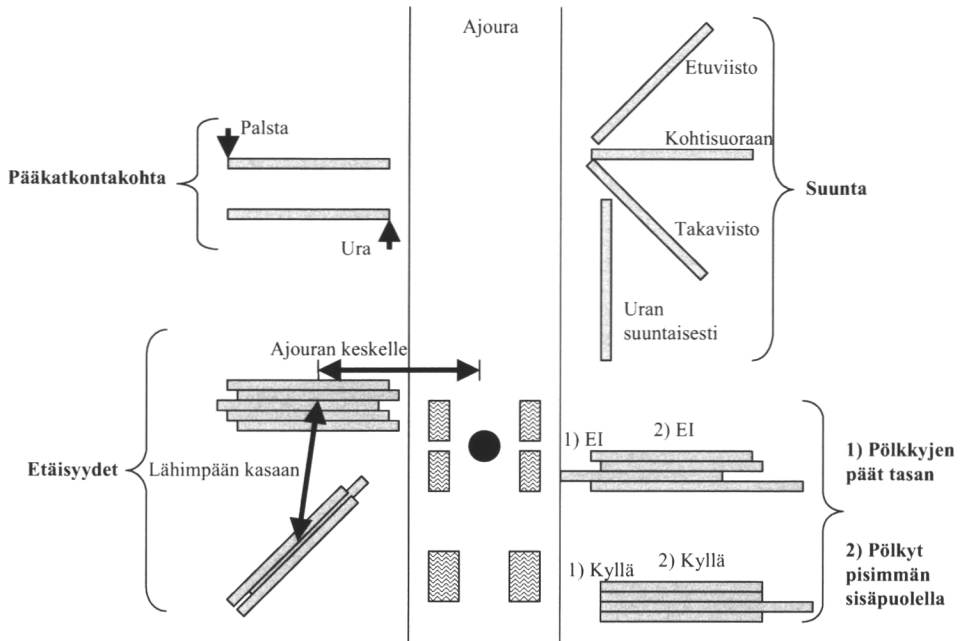
Kuljettaja	Korjuujälki-		Otantaosuus pin-
	inventointikoealojen yhteispinta-ala, m <sup>2</sup>	hakkuukoealojen yhteispinta-ala, m <sup>2</sup>	
A	3840	9400	40,9
B	2940	7740	38,0
C	5070	13860	36,6
D	4380	12580	34,8
E	4320	13860	31,2
F	3120	10060	31,0
Keskiarvo	3945	11250	35,4

Tutkimuksen ensiharvennuskohteilla sekä päätehakkuukohteella tutkittiin kuljettajien puutavaralajien kasausjälkeä. Kasausjälkitarkastelussa molempien ensiharvennuskohteiden aineistot on yhdistetty, koska kuljettajakohtaiset kasausjäljet säilyivät hyvin samankaltaisena molemmilla tutkimuskohteilla (Ala-Fossi ym. 2004a). Puutavaralajikasoista mitattiin seuraavia ominaisuuksia:

1. Puutavaralajikasojen sijoittuminen ajouran puolille (vasemmalle, oikealle)
2. Puutavaralajikasojen suunta ajouraan nähden (etuviihstoon, kohtisuoraan, takaviihstoon, uran suuntaisesti) (Kuva 7)
3. Puutavaralajien pääkatkontakohdan sijoittuminen kasassa (ajouran puoli tai palstan puoli) (Kuva 7)
4. Puutavaralajikasan pölkkyjen sijoittuminen pisimmän pölkyn sisäpuolelle (kyllä, ei) (Kuva 7)
5. Puutavaralajikasan etäisyys ajouran keskelle (mittaus kasan keskipisteestä ajouran keski-kohtaan desimetreinä) (Kuva 7)
6. Puutavaralajikasan etäisyys lähimpään kasaan (mittaus kasan keskipisteestä lähimmän kasan keskipisteeseen desimetreinä) (Kuva 7)
7. Puutavaralajikasan pölkkyjen lukumäärä
8. Puutavaralajikasan pölkkyjen keskiläpimitta senttimetreinä
9. Puutavaralaji (mät, mäk, kut, kuk, kot, kok), muut puutavaralajit luettiin joksikin mainituista, esim. pikkutukki tukiksi.
10. Kuormausvaikeus (helppo, vaikea)
11. Kasan tasaisuus (kyllä, ei)
12. Etäisyys koealan alusta ajouralta mitattuna metreinä
13. Kasojen sijainti joko hakkuutähteiden päällä tai puhtaalla alueella? (tarkasteltiin vain päätehakkuukohteella).

Kuljettajien katkomien pölkkyjen laatua arvioitiin soveltamalla Metsähallituksen kehittämää hakkuun laatuotantaa. Tutkimukseen sovelletussa pölkkyjen laatuotannassa mitattiin latvuksiin jääneen ainespuun määrä, tukkiosuudet ja pölkkyjen mitta- ja laatuvaatimusten täyttymistä. Tukkiprosenttien laskenta toteutettiin hakkuukoneen tietojärjestelmän keräämien runkotiedostojen perusteella.

Kasausjäljen vaikutusta metsätraktorikuormaukseen selvitettiin jatkotutkimuksessa, jossa samojen hakkuukoneenkuljettajien osalta tutkittiin hiljaisen tiedon merkitystä korjuuprosessiin hakkuuolosuhteiltaan vaativissa olosuhteissa (Ranta ym. 2004, Väätäinen ym. 2004). Lisäksi puutavaralajikasojen ominaisuuksien vaikutusta sekä kuormaukseen että koko lähikuljetukseen tarkasteltiin aikaisempien tutkimustulosten avulla (Kuitto ym. 1994, Gullberg 1997).



**Kuva 7.** Eräitä puutavaralajikasoista mitattuja kasaominaisuuksia: pääkatkontakohta, etäisyydet lähimpään kasaan sekä ajouran keskelle, suunta, kasan tasaisuus.

Jatkotutkimuksen mäntyvaltaisessa ensiharvennuksessa kuljettajat hakkasivat kaksi koealaa, joiden kunkin kesto oli yksi tehotunti. Koealat erosivat toisistaan hakkuun erityispiirteiltään. Ensimmäinen koeala (koeala 1) oli rinnehakkuukoeala, jossa rinnekaltevuus oli keskimäärin noin 21 % vaihdellen kuljettajittain 17,4 %-24,3 % välillä. Hakkuu eteni alarinteen suuntaan. Toisella hakkuukoealalla toteutettiin linjanreunushakkuuta, jossa koealalle erikseen määritetyn linjan viertä hakattiin välttämällä rungon kaatoa linjaan (Väättäinen ym. 2004). Taulukossa 8 on esitetty koealakohtaisia hakkuu- ja kasaustietoja.

Hakattujen koealojen puutavaralajikasoista mitattiin samat havainnot kuin aikaisemmassa hakkuututkimuksessa (ks. sivu 24). Kasojen ominaisuustiedot kohdistettiin taakkakohtaisiin kuormauksen ajanmenekkitietoihin, missä 80 % (549 kasaa) kaikista kasoista voitiin luotettavasti yhdistää oikeisiin kuormaustaakkoihin. Kasojen ominaisuustietojen sekä kuormauksen ajanmenekkitietojen avulla laadittiin kuormauksen ajanmenekki- ja tuottavuusmalli, josta havaittiin kasatekijöiden merkitsevyydet kuormauksen tuottavuuteen.

Hakkuukoneenkuljettajien puutavaralajikasat koealoilta kuormasi sama metsätraktorin kuljettaja, joka oli kokenut ja tutkimuksessa käytetyn metsätraktorin käsittelyyn tottunut kuljettaja. Tutkimuksessa metsätraktorikuljettaja kuormasi ensisijaisesti yhden puutavaralajikasan kerrallaan välttämällä usean kasan taakkoja. Koealoilta kuljetettiin kaikki puutavaralajit kerralla ns. seka-kuormina. Aikatutkimuksessa keskityttiin vain kuormauksen ajanmenekkiin kuormaustaakkoittain. Kuormauksesta tallennetut työvaiheet olivat:

- *Kouran vienti kasalle.* Kouran vienti alkoi, kun koura irtosi kuormatilasta tai kuorman pöleistä. Kouran vienti loppui, kun kouralla tartuttiin kiinni puutavaralajikasan pölleihin.
- *Taakan tuonti kuormaan.* Taakan tuonti alkoi, kun taakkaa ryhdyttiin selvästi nostamaan. Työvaihe päättyi kouran avautumiseen kuormatilassa.

- *Kasan järjestely.* Kasan järjestelyssä kuormaimen avulla korjattiin pölliin asentoa tai koottiin sopivan kokoinen taakka. Työvaihe päättyi taakan tuonnin alkamiseen. Työvaihe tehtiin esimerkiksi silloin, kun samaan taakkaan kerättiin puuta useammasta kasasta tai kasa oli hajainen.
- *Taakan järjestely kuormassa.* Työvaihe koostui pölliin asetelusta päistään tasan kuormatilan etureunaa vasten sekä puutavaralajien järjestelystä tiiviiksi kuormaksi. Työvaihe päättyi kouran viennin alkamiseen.
- *Kuormausajo/Peruuttaminen.* Siirtymiset ajouralla, jolloin ei tehty muuta työtä. Kuormausajoa sekä peruutusta ei tehty samanaikaisesti kuormauksen kanssa.
- *Tauko.* Lyhyet ajanjaksot, jolloin ei tehty kuormausta tai liikuttu ajouralla.
- *Kouran hukkavienti kasalle.* Koura vietiin oletetulle kasalle, josta pöllejä ei löytynyt.
- *Tyhjän kouran tuonti kuormaan.* Koura tuotiin tyhjänä kuormatilaan esimerkiksi hukkavienin jälkeen.

**Taulukko 8.** Jatkotutkimuksen koealakohtaisia hakkuutietoja sekä kasaustietoja kuljettajittain.

Kuljettaja	Koeala	Lähtöpuusto, PPA, m <sup>2</sup> /ha	Poistuma,			Kasojen lkm/100m	Kasojen keski-tilavuus, m <sup>3</sup>	Kertymä, m <sup>3</sup> /työpiste
			m <sup>2</sup> /ha	%	m <sup>3</sup> /100m			
A	1	21,9	5,1	23,1	7,8	86	0,090	0,247
	2	22,6	6,9	30,8	5,6	57	0,098	0,257
	keskiarvo	22,2	6,0	26,9	6,7	72	0,094	0,252
B	1	19,4	6,6	33,9	10,1	81	0,125	0,413
	2	25,8	10,0	38,9	6,1	63	0,096	0,257
	keskiarvo	22,6	8,3	36,4	8,1	72	0,110	0,327
C	1	19,7	9,4	47,9	8,8	65	0,136	0,357
	2	22,2	8,7	39,1	10,3	74	0,139	0,485
	keskiarvo	20,9	9,0	43,5	9,6	70	0,137	0,411
D	1	20,3	6,0	29,7	6,4	53	0,121	0,255
	2	23,8	6,5	27,2	7,4	51	0,144	0,344
	keskiarvo	22,1	6,3	28,5	6,9	52	0,132	0,295
E	1	20,4	6,2	30,4	8,1	76	0,106	0,354
	2	26,1	8,2	31,6	6,8	54	0,126	0,281
	keskiarvo	23,3	7,2	31,0	7,5	65	0,115	0,315
F	1	17,6	6,5	37,3	10,1	56	0,181	0,572
	2	22,8	8,9	38,9	6,7	56	0,119	0,287
	keskiarvo	20,2	7,7	38,1	8,4	56	0,149	0,405
Kaikki,	keskiarvo	21,9	7,4	34,06	7,85	64	0,123	0,320

#### 4.4 Aineiston analysointi

Kerätyt työntutkimustiedot (kuljettaja-, koeala- ja puukohtaiset konetoiminto-, ajanmenekki- ja työtekniikkatiedot) hakkuukoaloilta tallennettiin samaan Excel-tiedostoon yhteismatriisiksi. Tutkimuksen muista erillisistä mittauksista laadittiin omat Excel-tiedostot. Tämän jälkeen tutkimusaineistoa analysoitiin sekä Excel-taulukkolaskentasovelluksella että SPSS-tilastosovelluksella.

Aineiston analysoinnin tavoitteena oli selvittää yksityiskohtaisesti kuljettajien välisiä eroavuuksia hakkuun aikaisissa työvaiheitoiminnissa, ajanmenekeissä, työtekniikoissa, havainnoinnissa sekä työnjäljessä kokonaisuudessaan. Jotta vertailuja kuljettajien välillä voitiin toteuttaa luotettavasti, poikkeavat havainnot tuli poistaa aineistosta ja tulokset tuli esittää vertailukelpoi-

nessa muodossa. Siten esimerkiksi kaikkien kuljettajien työvaiheajakajakaumat on esitetty runko-kohtaisina arvoina hakkuukohteen tai hakkuukohteiden keskikokoisella rungolla korjattuna. Työtekniikoista on esitetty sekä keskiarvotuloksia että suhteellisia frekvenssijakaumia. Puulajin ja leimikon vaikutukset eri tarkasteltaviin tekijöihin on tuotu esille silloin, kun eroavuuksia on havaittu.

Työvaihekohtaiset aikahistogrammit tarkasteltiin graafisesti läpi, jolloin aineistosta määritettiin muita selvästi poikkeavat havainnot ja ne poistettiin jatkotarkasteluista. Aineiston analysoinnissa oli huomioitu vain tehotyöaika, joten kaikki kuljettajasta riippumattomat keskeytykset, kuten konerikot ja häiriöt tietojärjestelmässä, poistettiin jatkokäsittelystä. Monihaaraiset rungot suodatettiin pois ennen aineiston analysointia. Automaattiseen tallennuslaitteeseen rekisteröityneet ainespuun mitat täyttämättömät rungot luokiteltiin raivausrungoiksi, elleivät ne olleet osa monihaaraista runkoa.

Kuljettajakohtaisten regressio- ja kovarianssianalyysien osalta toimittiin siten, että kuljettajakohtaisesti työvaiheen keskiarvoajasta kolmea keskihajontaa suuremmat havainnot poistettiin regressiotarkasteluista. Hakkuulaitteen viennin ja asettelun, rungon kaadon sekä rungon prosessoinnin työvaiheille laadittiin suuntaa-antavat yhden selittävän muuttujan mallit, joilla voitiin tarkastella työvaiheiden ajanmenekkieroja kuljettajittain tärkeimpien selittävien muuttujien suhteen.

Tutkimusaineistossa oli suhdeasteikollisten muuttujien lisäksi myös paljon luokkaväliasteikollisia muuttujia. Jotta kaikkien muuttujien vaikutusta selitettäviin muuttujiin voitiin tehokkaasti testata, aineiston analysoinnissa käytettiin kovarianssianalyysiä, joka menetelmänä lähennee regressioanalyysiä. Kovarianssianalyysissä luokkaväliasteikolliset muuttujat voidaan sisällyttää analyysiin ns. dummy-muuttujien avulla. SPSS-tilastosovelluksella tuotetuissa kovarianssianalyysitulosteissa oli mukana lineaariset regressiomallit, joista mallit selittävine muuttujineen ja niiden tilastollisine arvoineen on myös esitetty liitteessä 3.

## **5. TULOKSET**

### **5.1 Hakkuun työvaiheajanmenekit ja työtekniikat**

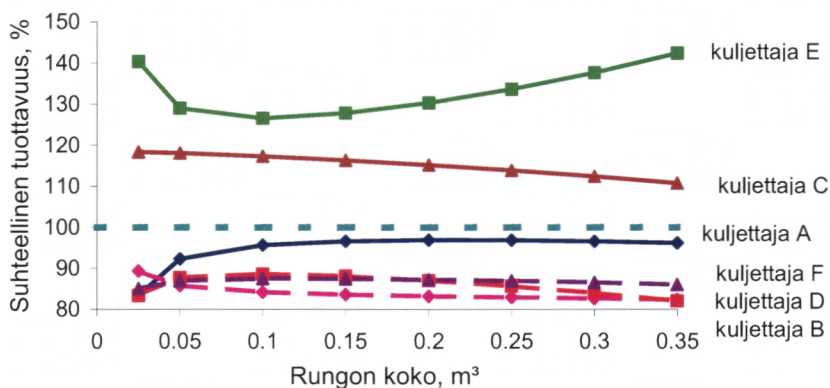
#### **5.1.1 Tehotyöaika**

Tutkimuskuljettajien hakkuupoistuma- ja tuottavuustietoja on esitetty taulukossa 9. Sekä leimikkokoalojen lähtöpuustolla että harvennuksilla myös kuljettajien harvennusvoimakkuuksilla on vaikutuksensa hakkuupoistumiin ja samalla hakkuun tuottavuuksiin. Kuljettaja E osoittautui sekä hakattujen runkojen että hakkuumäärän ( $m^3$ ) osalta tuottavimmaksi kuljettajaksi jokaisella leimikolla.

**Taulukko 9.** Tutkimusleimikoiden hakkuiden hakkuupoistuma- ja tuottavuus-arvoja kuljettajittain. Suurimmat ja pienimmät arvot on esitetty lihavoituna.

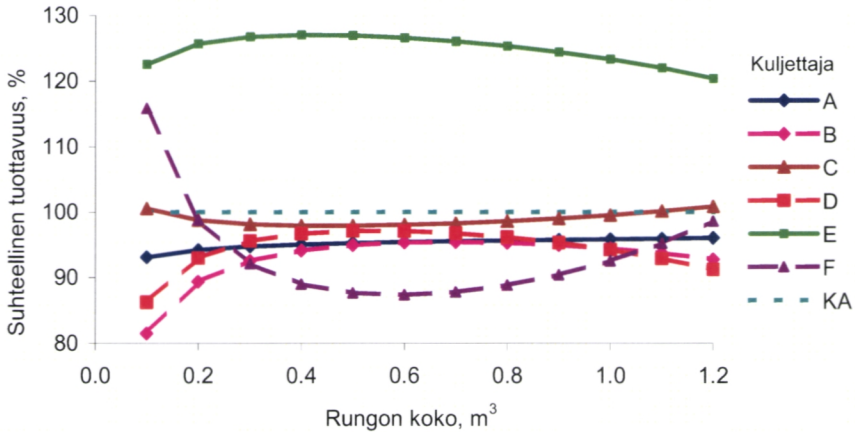
Kuljettaja	Poistuma, m <sup>3</sup> /100 metriä			Runkoja tehotunnissa, h <sub>0</sub>			Tuottavuus, m <sup>3</sup> /h <sub>0</sub>		
	Harv 1	Harv 2	Avo	Harv 1	Harv 2	Avo	Harv 1	Harv 2	Avo
A	12,7	7,7	24,3	100	91	45	9,0	8,8	27,5
B	<b>17,9</b>	6,7	<b>35,7</b>	<b>83</b>	<b>84</b>	55	8,9	7,1	<b>20,0</b>
C	8,6	<b>8,1</b>	27,3	130	114	45	10,9	9,2	28,0
D	<b>6,4</b>	6,3	<b>23,1</b>	97	88	54	<b>6,5</b>	7,4	22,4
E	11,0	<b>6,1</b>	31,0	<b>141</b>	<b>132</b>	<b>62</b>	<b>11,6</b>	<b>9,7</b>	<b>34,8</b>
F	9,1	7,8	31,5	92	92	<b>43</b>	7,7	<b>7,0</b>	27,8
keskiarvo	11,0	7,1	28,8	107,2	100,2	50,6	9,1	8,2	26,8
keskihajonta	4,0	0,9	4,8	23,0	18,8	7,5	1,9	1,2	5,1

Tutkimuksen harvennushakkuukohteilla tehotuntituottavuuden erot vaihtelivat merkittävästi rungon tilavuuden suhteen (Kuva 8). Harvennusleimikoiden keskikokoisella rungolla (0,084 m<sup>3</sup>) hakkuun tuottavuuden kuljettajaerot olivat pienimmillään, mutta siitä pienemmillä ja suuremmilla rungoilla kuljettajaerot kasvoivat entisestään. Rungonkokoalla 0,35 m<sup>3</sup> tuottavuuden kuljettaja-ero oli suurimmillaan noin kaksinkertainen.



**Kuva 8.** Tehotuntituottavuuden suhteelliset erot kuljettajittain rungon koon funktiona molemmilla ensiharvennuskohteilla. Kuljettajien tuottavuuden keskiarvotasona 100 %.

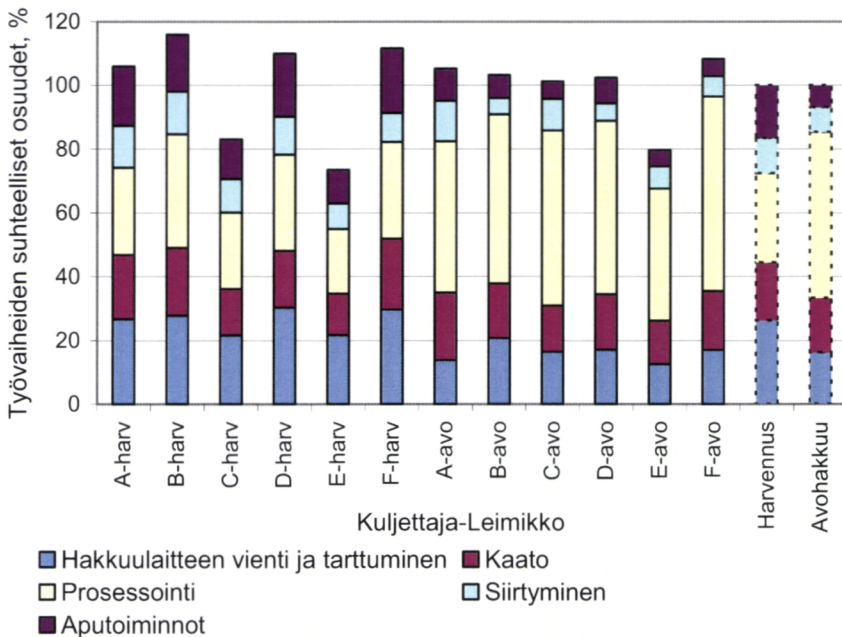
Päätehakkuuleimikossa kuljettajien tehotuntituottavuuksien suhteelliset erot olivat pienemmät kuin harvennushakkuukohteilla (Kuva 9). Kuten ensiharvennuksella, kuljettaja E poikkesi myös päätehakkuulla muista ollen yli 20 % kuljettajakeskivertotason tuottavampi.



**Kuva 9.** Tehotuntituottavuuden suhteelliset erot kuljettajittain rungon koon funktiona päätehakkuukohteella. Kuljettajien tuottavuuden keskiarvotasona 100 %.

Kuljettajakohtaisten regressiomallien avulla laadittiin sekä harvennuskohteille yhteisesti että päätehakkuukohteelle tehotyöajan suhteellinen työvaiherakenne kuljettajittain (Kuva 10). Ensiharvennuskohteilla kuljettajat C ja E poikkesivat selvästi muista ollen kuljettajakeskiarvotasoa 18 – 27 % nopeampia. Päätehakkuukohteella kuljettaja E erottui muista selvästi ollen noin 20 % kuljettajakeskiarvotasoa nopeampi.

Harvennushakkuulla aikaa kului eniten rungon prosessointiin (karsintaan ja katkontaan) (28 %) sekä hakkuulaitteen vientiin ja asetteluun (26 %). Vastaavasti päätehakkuulla pelkästään rungon prosessointiin kului 52 % keskikokoisen rungon tehotyöajasta.



**Kuva 10.** Tehotyöaikojen suhteet ja rakenne kuljettajittain sekä ensiharvennuskohteilla yhteisesti että päätehakkuukohteella. Tehotyöaikarakenne on laskettu keskimääräiselle rungon koolle (harvennushakkuu 0,084 m³ ja päätehakkuu 0,536 m³).

Tutkimuksen koko hakkuuaineistosta tehotyöajalle laadittiin kovarianssianalyyysitaulut molemmille hakkuutavoille erikseen. Taulukossa 10 on esitetty molemmille hakkuutapamallille kaikki ne muuttujat, joilla on tilastollisesti merkitsevä, välitön vaikutus tehotyöaikaan (p-arvo < 0,05). Harvennushakkuulle laaditussa mallissa valitut muuttujat selittivät tehotyöajan vaihtelusta 56 % ja vastaavasti päätehakkuulla 68 %.

**Taulukko 10.** Kovarianssianalyyysitaulu tehotyöajalle molemmilla hakkuutavoilla (III tyyppin malli).

Vaihtelun lähde:	Harvennushakkuu				Päätehakkuu			
	Df	Keskivirhe	F-arvo	P-arvo	Df	Keskivirhe	F-arvo	P-arvo
Malli	10	14410,6	394,2	0,000	7	19952,5	172,4	0,000
Vakiotermit	1	312896,3	8558,7	0,000	1	118352,9	1022,4	0,000
<i>Muuttujat:</i>								
Rungon tilavuus	1	45965,9	1257,3	0,000	1	102471,7	885,2	0,000
Kuljettajat	5	14019,2	383,5	0,000	5	8213,9	71,0	0,000
Rungon etäisyys ajouran keskeltä	1	6696,1	183,2	0,000	1	963,1	8,3	0,004
Rungon kaato- ja siirtomatka	1	1815,7	49,7	0,000	-	-	-	-
Puulajit (mänty, kuusi, koivu)	2	302,2	8,3	0,000	-	-	-	-
Mallin jäännös	3039	36,6			546	115,8		
Mallin selitysaste:		<b>0,563</b>				<b>0,684</b>		

Liitteessä 3 on esitetty tehotyöajalle laaditun lineaarisen regressiomallin muuttujien kertoimet ja niiden merkitsevyydet. Ensiharvennuksella tehotyöajan vaihtelua selittivät rungon tilavuus, kuljettajat, rungon etäisyys ajouran keskeltä, rungon kaato- ja siirtomatka sekä puulaji. Päätehakkuulla selittävinä muuttujina olivat edellä mainituista kolme ensimmäistä muuttujaa. Mallin testisuureiden perusteella muuttujista erityisesti rungon tilavuus ja kuljettaja vaikuttivat voimakkaasti tehotyöaikaan. Työteknisistä havainnoista ainoastaan rungon kaato- ja siirtomatkan kasvulla oli vain vähäinen lisäävä vaikutus tehotyöaikaan (Liite 3, Taulukko 1.)

### 5.1.2 Hakkuulaitteen vienti ja asettelu

Ensiharvennuskohteilla hakkuulaitteen ajouraan nähden kohtisuoran vientimatkan lisäys kasvatti hakkuulaitteen vienti ja asettelu-aikaa (Kuva 11). Hakkuulaitteen vientiaika kasvoi keskimäärin noin 0,33 sekuntia vientimatkan kasvaessa metrin (Liite 3). Ensiharvennusaineistosta laaditut kuljettajakohtaiset regressiomallit työvaiheajalle hakkuulaitteen vientimatkan suhteen osoittivat kuljettajien C ja E poikkeavan selvästi muista kuljettajista (Kuva 11 ja Liite 4). Hakkuulaitteen vienti ja asettelu oli muita nopeampaa koko vientimatkan skaalassa ajanmenekkieron vaihdellessa yhdestä neljään sekuntiin.



Kuljettajien C ja E tilavuudella korjattu hakkuulaitteen vienti ja asetteluaika erosi tilastollisesti merkitsevästi muista kuljettajista (Taulukko 11). Tarkasteltaessa myös tilannetta, jossa rungon tilavuus ja hakkuulaitteen vientimatka oli korjattu samaksi, erottuivat kuljettajat C ja E muista kuljettajista. Näin ollen kuljettajien välistä hakkuulaitteen viennin ja asettelun ajanmenekkieroa selittivät enemmänkin muut tekijät kuin vientimatka ja rungon tilavuus.

**Taulukko 11.** Keskimääräiset hakkuulaitteen vientimatkat ja -ajanmenekit poistetulle ainespuulle tutkimuksen ensiharvennuskohteilla. Kunkin tekijän suurimmat ja pienimmät arvot on lihavoitu.

Kuljettaja	Kohtisuora vientimatka kaadetulle aines-puulle, m	Merkitsevät erot <sup>1</sup>	Vientiaika <sup>2</sup> , s	Merkitsevät erot <sup>1</sup>	Vientiaika <sup>3</sup> , s	Merkitsevät erot <sup>1</sup>
A	3,92	-	8,91	C,D,E,F	8,93	C,D,E,F
B	4,21	-	9,24	C,D,E,F	9,23	C,D,E,F
C	4,02	-	<b>7,14</b>	A,B,D,F	<b>7,13</b>	A,B,D,F
D	3,98	-	<b>10,25</b>	A,B,C,E	<b>10,27</b>	A,B,C,E
E	<b>3,74</b>	F	7,40	A,B,D,F	7,47	A,B,D,F
F	<b>4,47</b>	E	10,05	A,B,C,E	9,97	A,B,C,E

<sup>1</sup>: Osoittaa sen, eroaako kuljettaja merkitsevästi toisesta kuljettajasta (phav > 0,05)

<sup>2</sup>: sovitetut keskiarvot, kun kovariaattina rungon tilavuus (tilavuus = 0,085 m<sup>3</sup>)

<sup>3</sup>: sovitetut keskiarvot, kun kovariaatteina rungon tilavuus (tilavuus = 0,085 m<sup>3</sup>) ja kohtisuora vientimatka (4,03 m)

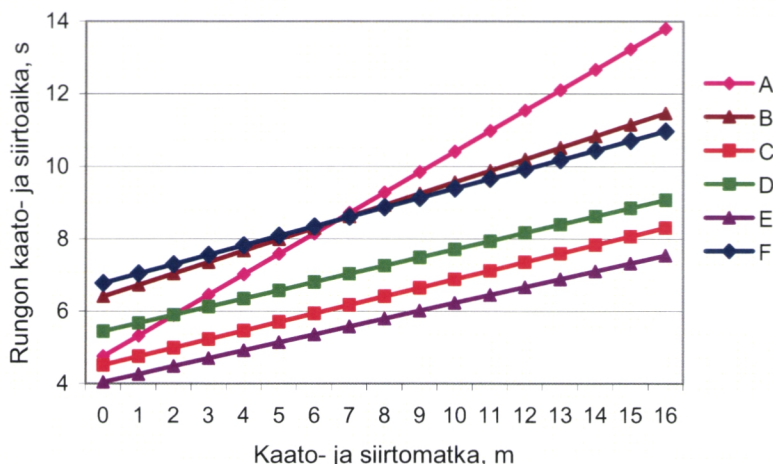
Hakkuulaitteen vienti- ja asetteluaikaan tilastollisesti merkitsevästi vaikuttavat muuttujat on esitetty taulukossa 12. Molemmilla hakkuutavoilla kuljettajalla, rungon tilavuudella ja rungon kohtisuoralla etäisyydellä ajourasta oli välitön vaikutus työvaiheen ajanmenekkiin. Ensiharvennuskella työvaiheen ajanmenekkiin tilastollisesti merkitsevästi vaikuttivat myös rungon ottosuunta sekä puulaji. Hakkuulaitteen vienti ja asetteluaika kohtisuoraan sivulla oleville puille oli esimerkiksi keskimäärin 0,8 sekuntia pidempi viistosti sivulla oleville puille samalta ottoetäisyydeltä ajourasta (Liite 3).

**Taulukko 12.** Kovarianssianalyytitaulu hakkuulaitteen vienti- ja asettelujalle molemmilla hakkuutavoilla (III tyypin malli).

Vaihtelun lähde:	Harvennushakkuu				Päätehakkuu			
	Df	Keskivirhe	F-arvo	P-arvo	Df	Keskivirhe	F-arvo	P-arvo
Malli	11	794,6	86,5	0,000	7	371,2	23,6	0,000
Vakiotermi	1	13918,5	1514,8	0,000	1	5041,2	320,4	0,000
<i>Muuttujat:</i>								
Kuljettajat	5	953,6	103,8	0,000	5	430,8	27,4	0,000
Rungon tilavuus	1	838,5	91,3	0,000	1	826,4	52,5	0,000
Rungon kohtisuora etäisyys ajouralta	1	821,5	89,4	0,000	1	273,2	17,4	0,000
Ottosuunnat (edestä, viistosti, kohtisuoraan sivulta)	2	142,9	15,6	0,000	-	-	-	-
Puulajit (mänty, kuusi, koi-vu)	2	142,8	15,5	0,000	-	-	-	-
Mallin jäännös	3045	9,2			634	15,7		
Mallin selitysaste:			<b>0,235</b>				<b>0,198</b>	

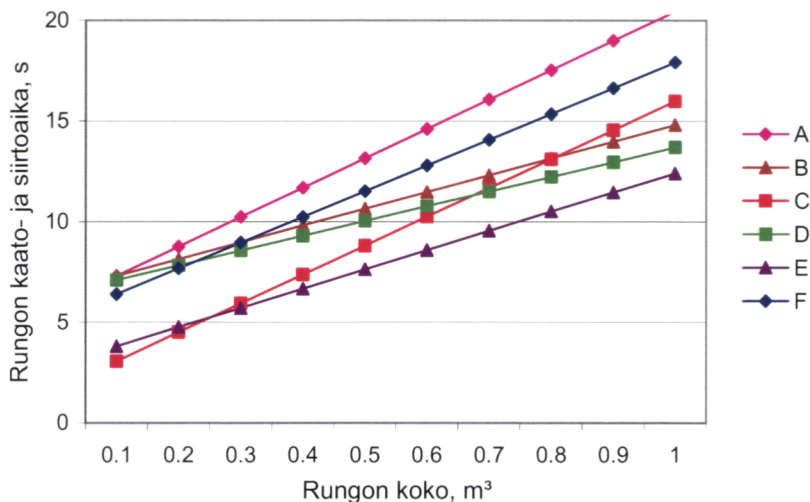
### 5.1.3 Rungon kaato ja siirto prosessointipaikalle

Ensiharvennuksella rungon kaatosahauksen jälkeinen ajouraan nähden kohtisuora kaato- ja siirtomatka kannolta rungon prosessointipaikalle vaikutti merkittävästi kaato- ja siirtoaikaan (Kuva 13 ja Liite 4). Metrin lisäys kaato- ja siirtomatassa kasvatti työvaiheikaa keskimäärin 0,47 sekuntia (Liite 3). Kuljettajalla A kaato- ja siirtomatkan kasvulla oli keskimääräistä suurempi vaikutus kaato- ja siirtoaikaan.



**Kuva 13.** Kuljettajakohtaiset regressiomallien kuvaajat rungon kaato- ja siirtoajalle rungon siirtomatkan suhteen ensiharvennukskohteilla. Rungon siirtomatka on ajouraan nähden kohtisuora etäisyys.

Päättehakkuukohteella rungon koko vaikutti merkittävästi rungon kaato- ja siirtoaikaan; rungon koon kasvu  $0,1 \text{ m}^3$ :llä lisäsi työvaiheikaa keskimäärin 1,1 sekunnilla (Kuva 14 ja Liite 4). Kuten ensiharvennuksella niin myös päättehakkuulla kuljettajat C ja E suorittivat rungon kaaton muita nopeammin.



**Kuva 14.** Kuljettajakohtaiset regressiomallien kuvaajat rungon kaato- ja siirtoajalle rungon tilavuuden suhteen päättehakkuukohteella.

Ensiharvennuksella ajouraan nähden kohtisuora rungon kaato- ja siirtomatka oli kuljettajilla C, D ja E selvästi pienempi kuin muilla kuljettajilla (Taulukko 13). Rungon keskitilavuudella tasoite- tuissa työvaiheajoissa ilmeni tilastollisesti merkitseviä eroja ja edelleen myös sekä tilavuudella että kaato- ja siirtomatalla tasoitetuissa ajoissa aikaerot olivat merkitseviä. Rungon kaato- ja siirtomatka selittää näin ollen vain osan kuljettajien välisiä rungon kaato- ja siirtoaikojen eroja.

**Taulukko 13.** Keskimääräiset rungon kaato ja siirtomatkat sekä työvaiheen ajanmenekit poiste- tulle ainespuulle tutkimuksen ensiharvennuskohteilla. Kunkin tekijän suurimmat ja pienimmät arvot on lihavoitu.

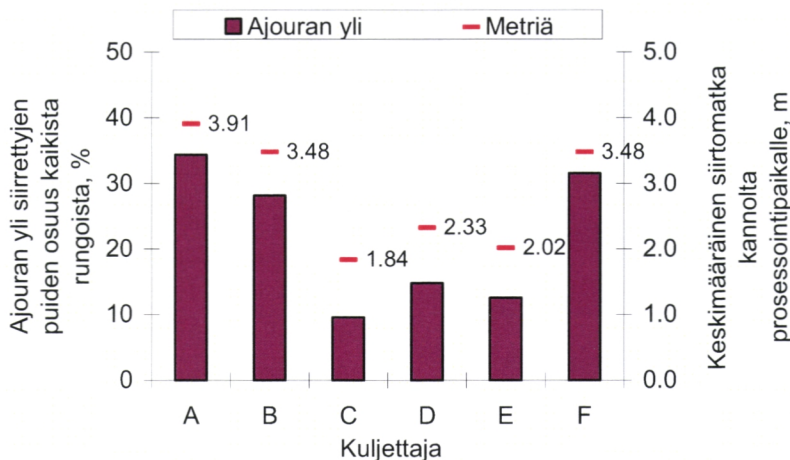
Kuljettaja	Keskimääräinen rungon kaato- ja siirtomatka, m	Merkitsevät erot <sup>1</sup>	Kaato- ja siir- toaika <sup>2</sup> , s	Merkitsevät erot <sup>1</sup>	Kaato- ja siirtoaika <sup>3</sup> , s	Merkitsevät erot <sup>1</sup>
A	<b>3,91</b>	C,D,E	6,65	B,C,D,E,F	6,33	B,C,E,F
B	3,48	C,D,E	7,20	A,C,D,E,F	6,97	A,C,D,E,F
C	<b>1,84</b>	A,B,F	5,06	A,B,D,E,F	5,30	A,B,D,E,F
D	2,33	A,B,F	6,16	A,B,C,E,F	6,29	B,C,E,F
E	2,02	A,B,F	<b>4,56</b>	A,B,C,D,F	<b>4,77</b>	A,B,C,D,F
F	3,48	C,D,E	<b>7,71</b>	A,B,C,D,E	<b>7,45</b>	A,B,C,D,E
Ka.	2,84		6,22		6,19	

<sup>1</sup>:Osoittaa sen, eroaako kuljettaja merkitsevästi toisesta kuljettajasta (phav > 0,05)

<sup>2</sup>:Sovitetut keskiarvot, kun kovariaattina rungon tilavuus (0,085 m<sup>3</sup>)

<sup>3</sup>:Sovitetut keskiarvot, kun kovariaatteina rungon tilavuus (0,085 m<sup>3</sup>), rungon kohtisuora etäisyys ajouralta (4,28 m) sekä kaato- ja siirtomatka (2,84 m)

Kuvassa 15 on esitetty rungon kaadon jälkeen ajouran yli siirrettyjen puiden osuus kaikista kaa- detuista ainespuista ensiharvennuksella. Myös tässä tarkastelussa kuljettajat C, D ja F erottuivat selvästi muista kuljettajista.



**Kuva 15.** Ajouran yli siirrettyjen runkojen osuudet sekä keskimääräiset runkojen kaato- ja siir- tomatkat kannolta prosessointipaikalle.

Rungon kaatosuuntien jakautumista eri etäisyyksillä ajourasta on tarkasteltu molemmilla hak- kuutavoilla kuvassa 16. Ensiharvennuksella pääosin kaadettiin ajouralta pois päin (62 %).

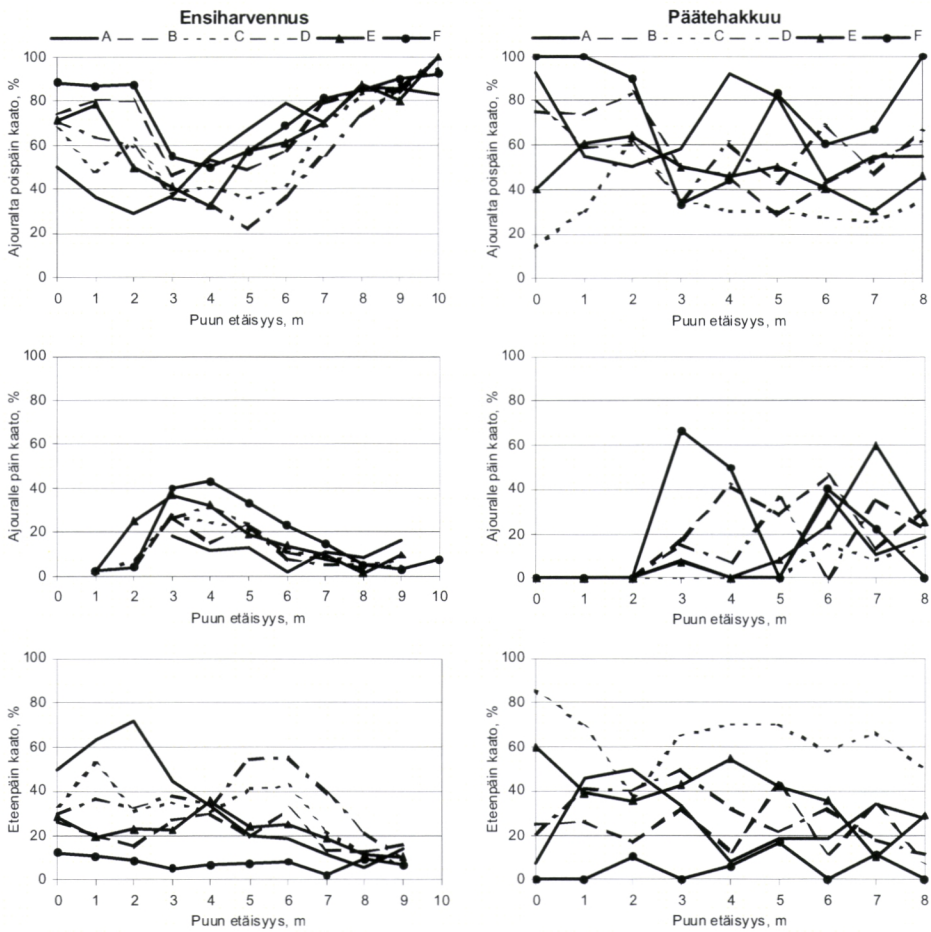
Eteenpäin kaadettiin 25 % ja ajouralle päin 11 % rungoista. Vastaavat arvot päätehakuulla olivat 48 % ajouralta pois päin, 32 % eteenpäin ja 19 % ajouralle päin. Ensiharvennuksella

ajouralta tai aivan ajouran viereltä (alle 3 m ajouran keskeltä) kaadettiin joko ajouralta pois päin tai eteenpäin. Kaatosuuntavaihtoehdot etäisyydellä 3-7 metriä ajourasta jakautuivat tasaisemmin ja seitsemää metriä kauempana olleet rungot kaadettiin lähes yksinomaan uralta pois päin (Kuva 16). Päätehakkuulla kaatosuuntavaihtoehdot vaihtelivat kuljettajittain enemmän kuin ensiharvennuksella (Kuva 16). Erityisesti kuljettaja C poikkeaa kaatosuuntien osalta muista päätehakkuulla, sillä hän hakkasi muista poiketen ns. viuhkahakkuumenetelmällä, jossa tavaralajikasoja tuli tasaisesti ajouran molemmin puolin. Tuottavimmalla kuljettajalla (E) rungon kaato vastasi useimmissa tapauksissa kuljettajakeskiarvoa.

Kaato- ja siirtoajalle laadittua yhteistä regressiomallia tarkasteltaessa sekä kuljettajalla että rungon koolla oli välitön vaikutus kaatoaikaan molemmissa hakkuutavoissa (Taulukko 14). Päätehakkuulla kaato- ja siirtomatalla ei ollut ensiharvennuksen tapaisesti tilastollista merkitystä. Mallin mukaan ensiharvennuksella pelkkä kaadetun rungon siirto ajouran yli kasvatti kaato- ja siirtoaikaa keskimäärin 1,52 sekuntia vaihtoehtoon, jossa runko kaadettiin ja käsiteltiin samalla puolella palstaa (Liite 3).

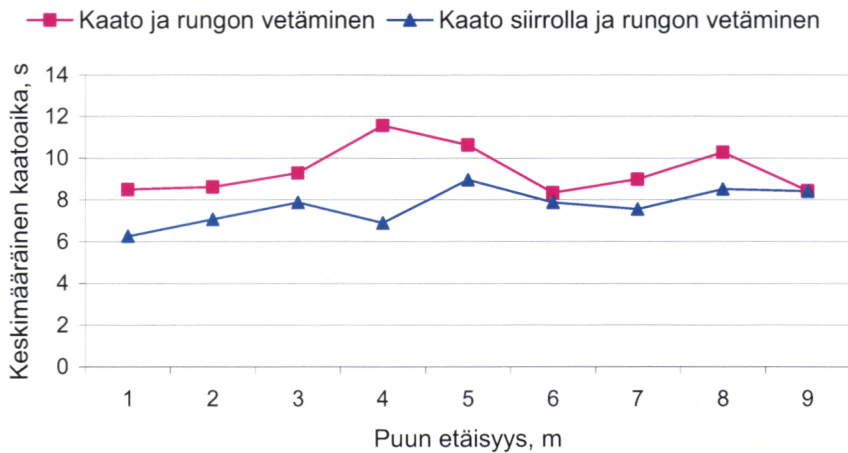
**Taulukko 14.** Kovarianssianalyytitaulu rungon kaato- ja siirtoajalle molemmilla hakkuutavoilla (III tyypin malli).

	Harvennushakkuu				Päätehakkuu			
	Df	Keskivirhe	F-arvo	P-arvo	Df	Keskivirhe	F-arvo	P-arvo
<i>Vaihtelun lähde:</i>								
Malli	9	754,9	158,7	0,000	8	661,3	42,6	0,000
Vakiotermi	1	5475,2	1150,7	0,000	1	3284,2	211,7	0,000
<i>Muuttujat:</i>								
Kaato- ja siirtomatka (ajouraan nähden kohtisuora)	1	1181,6	248,3	0,000	-	-	-	-
Kuljettajat	5	529,0	111,2	0,000	5	313,1	20,2	0,000
Rungon tilavuus	1	361,3	75,9	0,000	1	3809,9	245,6	0,000
Rungon vienti uran yli	2	108,1	22,7	0,000	-	-	-	-
Kaatosuunta (eteenpäin, palstalle päin ja ajouralle päin)	-	-	-	-	2	39,5	2,5	0,079
Mallin jäännös	3070	4,8			558	15,5		
Mallin selitysaste:		<b>0,315</b>				<b>0,370</b>		



**Kuva 16.** Runkojen kaatosuuntien suhteet kuljettajittain eri etäisyyksillä ajourasta molemmissa hakkuutavoissa.

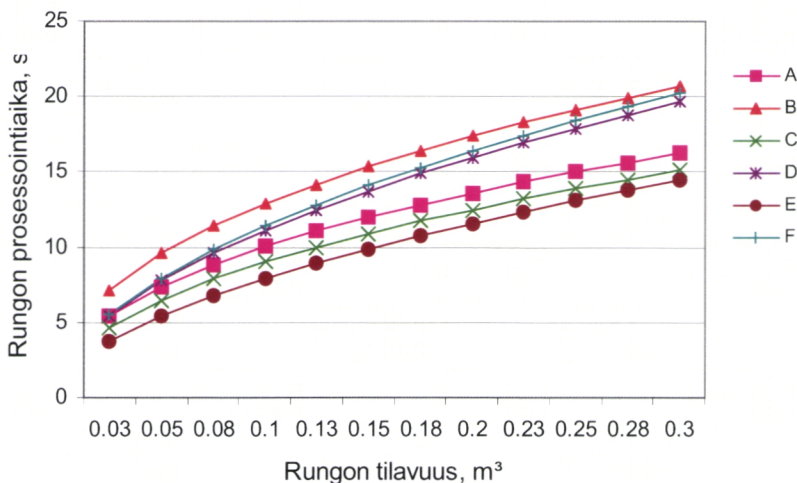
Päätehakuulla rungon kaadon aikana toteutettu siirtäminen vähensi työvaiheikaa verrattuna tilanteeseen, jossa runko kaadettiin ensin kannolle ja sitten siirrettiin kasaupaikalle (Kuva 17).



**Kuva 17.** Runkon kaadon ja siirron ajanmenekit kahdella eri kaatotavalla toteutettuna rungon kohtisuoran etäisyyden suhteen päätehakuulla.

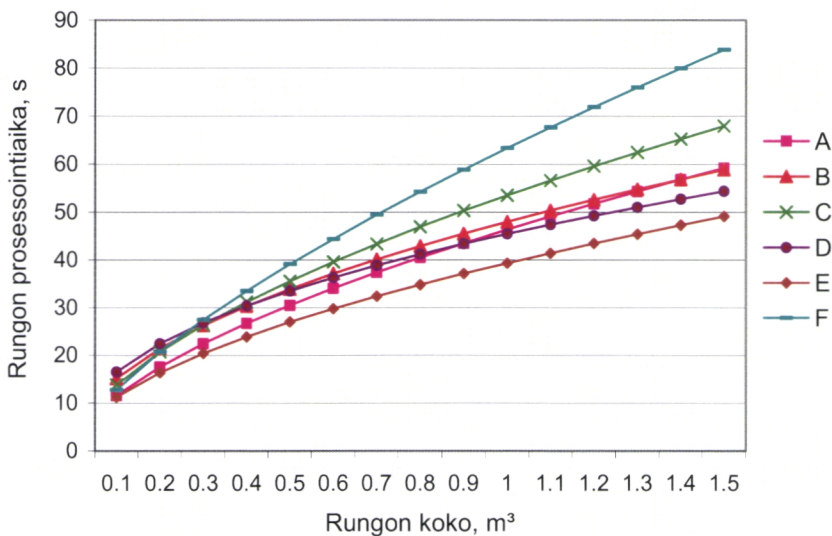
### 5.1.4 Rungon prosessointi

Rungon prosessoinnissa (karsinta ja katkonta) ensiharvennuksella kuljettajat C ja E olivat nopeimmat prosessoijat rungon koko tilavuuskaalassa (Kuva 18). Näillä kuljettajilla oli muista poiketen myös pienin hajonta prosessointiajoissa ts. rungon prosessointityön tasaisuus säilyi harvennuksen suurillakin rungoilla.



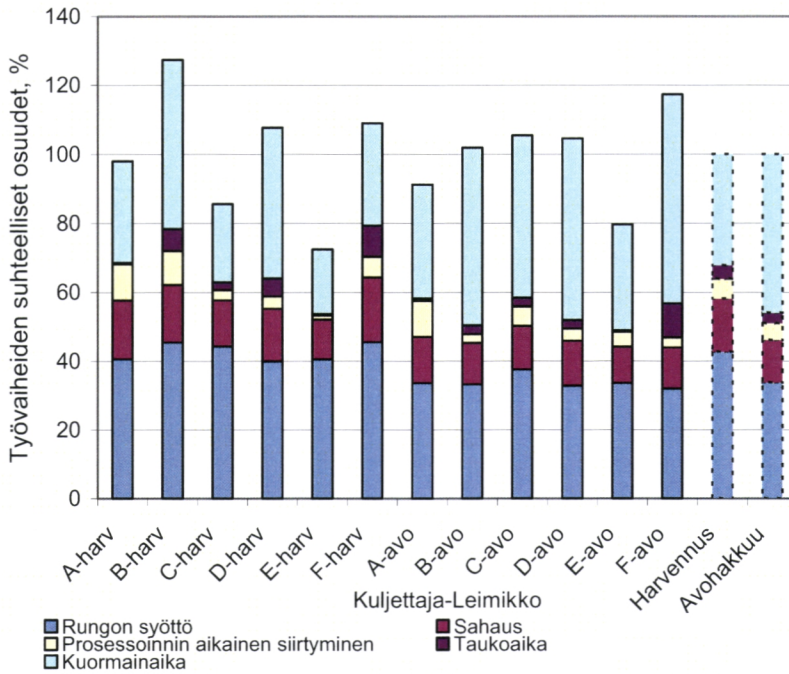
**Kuva 18.** Rungon prosessoinnin ajanmenekkien regressiomallien kuvaajat kuljettajittain ensiharvennuksella rungon tilavuuden suhteen.

Päätehakkuulla rungon tilavuuden kasvulla havaittiin olevan myös kasvava vaikutus kuljettajien välisiin ajanmenekieroihin rungon prosessointivaiheessa (Kuva 19).



**Kuva 19.** Rungon prosessoinnin ajanmenekkien regressiomallien kuvaajat kuljettajittain päätehakkuulla rungon tilavuuden suhteen.

Rungon prosessointiaika jaettiin edelleen pienempiin toimintoihin, joista välittömiä työvaiheita olivat rungon syöttö sekä katkontasahaus. Prosessoinnin välillisiä työvaiheita olivat prosessoinnin aikainen siirtyminen, prosessoinnin konetoimintojen tauko aika sekä kuormain aika, jolloin välittömiä prosessoinnin toimintoja ei ilmennyt. Ensiharvennuksella prosessoinnin aikaa vievin toiminto oli rungon syöttö (43 %), kun taas päätehakuulla pelkkiin kuormainliikkeisiin kului aikaa keskimäärin 46 % koko prosessointiajasta (Kuva 20). Suhteellisesti prosessoinnin välittömien työvaiheiden osuus oli 26 % suurempi harvennuksella kuin päätehakuulla. Erityisesti prosessoinnin välillisten toimintojen osalta kuljettaja E poikkesi muista molemmissa hakkuutavoissa.

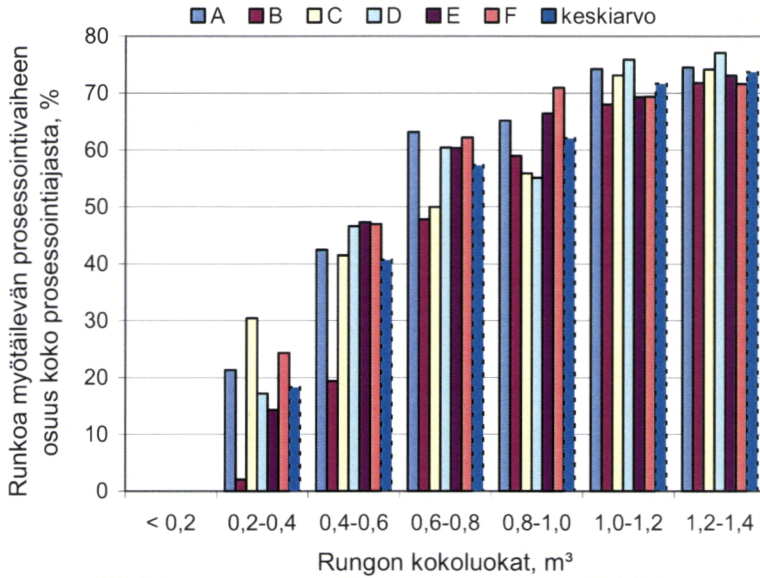


**Kuva 20.** Rungon prosessoinnin jakautuminen kuljettajittain osatoimintoihin keskikokoisella rungolla sekä ensiharvennuksella että päätehakuulla. 100 % = kuljettajien runkokohtainen keskiarvoaika.

Ensiharvennuksella kuormainliikkeistä aikaa vievin toiminto oli kuormainliikkeen katkontapaikalla (36 %) rungon siirron osuuden ollessa 20 %. Loppuosa kuormainajasta kului rungon latvusosan siirtoon ja jättöön, joka sisältyi tässä tutkimuksessa rungon prosessointiaikaan (Ala-Fossi ja Väättäinen 2003). Päätehakuulla kuormainliikkeet koostuivat pääosin karsitun rungonosan siirrosta katkontapaikalle (62 %) sekä pienistä kuormainliikkeistä katkontapaikalla (23 %). Prosessoinnin aikainen karsitun rungonosan siirtoaika katkontapaikalle oli suoraan verrannollinen rungon kokoon siten, että esim. rungon koolla 0,2 m<sup>3</sup> keskimääräinen rungon siirtoaika kesti keskimäärin 3 sekuntia ja rungon koolla 1,0 m<sup>3</sup> siirtoaika kesti jo keskimäärin 10 sekuntia (Ala-Fossi ja Väättäinen 2003).

Syy kasvavaan rungon siirtoaikaan prosessoinnin yhteydessä johtuu karsintasyötön aikaisen rungon myötällyn lisääntymisestä rungon koon kasvaessa. Kuvassa 21 on esitetty rungon karsintamyötäilyä sisältävän (sisältää karsintasyötön lisäksi myös muut prosessoinnin työvaiheet) prosessointivaiheen osuutta prosessoinnin kokonaisajasta rungon eri kokoluokissa. Kuljettajilla C ja

E runkoa myötäilevää karsintaa alkoi esiintyä jo yli 0,2 m<sup>3</sup> kokoisilla rungoilla, muilla rungon myötäilyn alkaessa esiintyä vasta 0,3 m<sup>3</sup> ja sitä suuremmilla rungoilla. Suurimmat erot rungon myötäilyn osuudessa kuljettajien välillä ilmeni rungon kokovälillä 0,2 – 0,6 m<sup>3</sup>. Rungon karsinnan aikaista myötäilyä ilmeni vähiten kuljettajalla B.



**Kuva 21.** Rungon karsintamyötäilyä sisältävän prosessointiajan osuus koko prosessointiajasta rungon kokoluokittain päätehakuulla.

Rungon karsintasyöttösuuntaa ja katkontapuolta tarkasteltiin hakkuutavoittain (Kuva 22). Sekä ensiharvennuksella (43 %) että erityisesti päätehakuulla (89 %) rungoista suurin osa prosessoitiin ajouran vasemmalla puolella runkoa syöttäen palstalle päin, jolloin katkontakohta runkoon nähden oli ajouran puolella (Kuva 22). Ensiharvennuksella kuljettajilla C ja E runkojen karsintasyöttösuunnat vaihtelivat muita kuljettajia tasaisemmin ja monipuolisemmin molemmilla ajouran puolilla. Kyseisillä kuljettajilla erityisesti ajouran oikealla puolella rungon katkontakohdaksi oli useammin palstan puoli kuin ajouran puoli.

Kuljettaja	Katkonta palstan puolella									
	Katkonta ajouran puolella									
	Vasen puoli		Ajoura		Oikea puoli					
	Harv.	Avo	Harv.	Avo		Harv.	Avo	Harv.	Avo	
A	8,7 %	2,1 %	52,0 %	91,7 %		32,8 %	6,3 %	6,5 %	0,0 %	
B	23,7 %	3,2 %	42,8 %	82,3 %		22,0 %	0,0 %	11,5 %	14,5 %	
C	24,3 %	8,2 %	34,6 %	76,3 %		15,5 %	7,2 %	25,6 %	8,2 %	
D	24,5 %	0,8 %	44,6 %	86,6 %		11,8 %	9,2 %	19,1 %	3,4 %	
E	26,2 %	2,2 %	38,1 %	97,1 %		14,2 %	0,0 %	21,5 %	0,7 %	
F	16,2 %	0,0 %	45,7 %	98,9 %		24,6 %	0,0 %	13,5 %	1,1 %	
Keskiarvo	<b>20,6 %</b>	<b>2,8 %</b>	<b>43,0 %</b>	<b>88,8 %</b>		<b>20,2 %</b>	<b>3,8 %</b>	<b>16,3 %</b>	<b>4,7 %</b>	

**Kuva 22.** Prosessointipaikkojen jakautuminen kuljettajittain palstan ja ajouran puolelle eri hakkuutavoissa.

Molemmille hakkuutavoille erikseen laadituissa regressiomalleissa prosessointiaikaa selitti eniten rungon tilavuus sekä kuljettaja -luokkamuuttuja (Taulukko 15 ja liite 3). Myös puulajilla sekä rungon katkontapaikalla oli välitöntä vaikutusta prosessointiin. Edellä mainitut muuttujat selittivät ensiharvennuksella 52 % työvaiheen kokonaisvaihtelusta ja päätehakuulla selitysaste oli 65 % (Taulukko 15). Ensiharvennuksella puulajeista männyn prosessoinnissa sekä päätehakuulla kuusen prosessoinnissa kului aikaa kauimmin koivun ollessa nopeimmin käsiteltävä puulaji (Liite 3). Katkontakohtia verrattaessa palstan puolella katkonta hidasti prosessointia keskimäärin 0,5 sekuntia ensiharvennuksella, kun taas päätehakuulla vastaava vaikutus oli suurempi (2,5 sekuntia).

**Taulukko 15.** Kovarianssianalyyssitaulu rungon prosessoinnille molemmilla hakkuutavoilla (III tyypin malli).

Vaihtelun lähde:	Harvennushakkuu				Päätehakkuu			
	Df	Keskivirhe	F-arvo	P-arvo	Df	Keskivirhe	F-arvo	P-arvo
Malli	9	4554,7	366,6	0,000	9	8465,3	113,7	0,000
Vakiotermi	1	38317,2	3084,3	0,000	1	9509,5	127,8	0,000
<i>Muuttujat:</i>								
Rungon tilavuus	1	28120,1	2263,5	0,000	1	53748,6	722,2	0,000
Kuljettajat	5	1408,2	113,4	0,000	5	1632,6	21,9	0,000
Käsittelypaikka (palstan- tai ajouran puolella)	1	185,0	14,9	0,000	1	216,9	2,9	0,088
Puulajit (mänty, kuusi, koivu)	2	32,3	2,6	0,075	2	320,1	4,3	0,014
Mallin jäännös	3025	12,4			544	74,4		
Mallin selitysaste:			<b>0,520</b>				<b>0,647</b>	

## 5.1.5 Siirtyminen ja aputyöaika

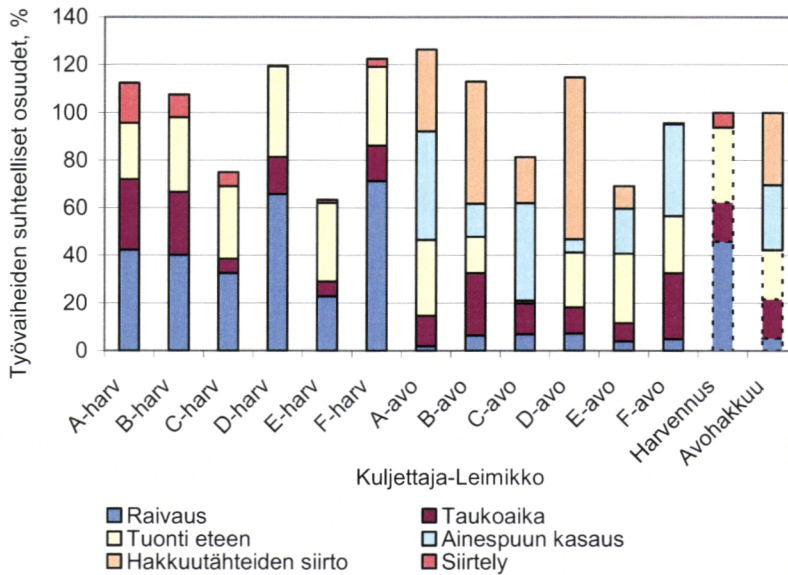
Tutkimuksessa työpistesiiirtymämatkaa ei rajattu ennakkoon, vaan jokainen havaittu (yli puolen metrin) siirtymä ajamattomalle ajouralle tulkittiin siirtymäksi uuteen työpisteeseen. Kaikista siirtymisistä, peruutukset mukaan lukien, tallennettiin ajanmenekit. Sekä ensiharvennuksella että päätehakkuulla peruutusten osuus siirtymisistä oli noin 13 %. Ensiharvennuksella kuljettajat C ja E etenivät muita pidemmän matkan tehotunnissa (Taulukko 16). Kuljettaja E siirtyi taaksepäin ajouralla muita kuljettajia selvästi vähemmän ja siirtymisaikainen keskinopeus oli suurin (21,5 m/min). Keskimääräisessä siirtymismatkassa työpisteeltä toiselle kuljettajakohtaiset siirtymät vaihtelivat 3,3 – 4,1 metriin ensiharvennuksella ja 4,9 – 6,3 metriin päätehakkuulla. Päätehakkuulla kuljettaja E eteni pisimmän matkan tehotunnissa, kun taas kuljettaja D poikkesi selvästi muista peruutusten pienellä osuudella.

**Taulukko 16.** Siirtymisen tilastotietoja kuljettajittain sekä ensiharvennukselta että päätehakkuulta. Kunkin tekijän suurimmat ja pienimmät arvot on lihavoitu.

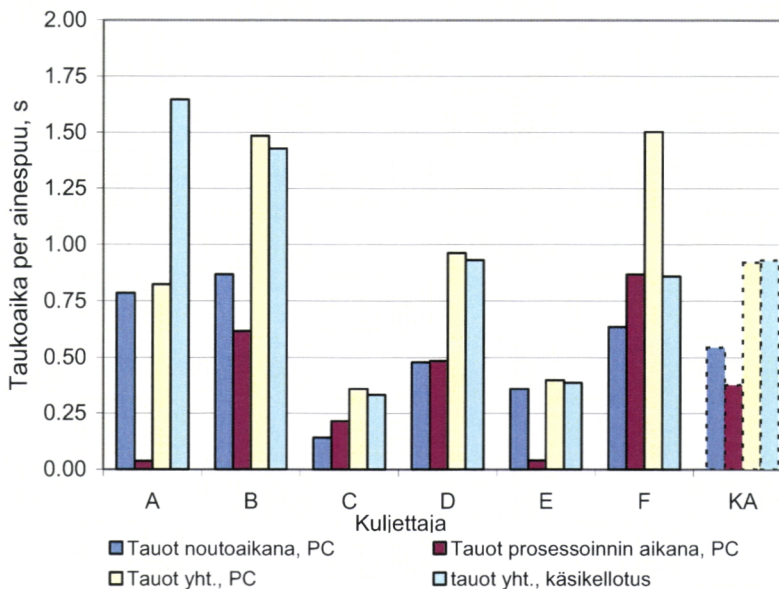
Kuljettaja	Siirtymismatka / tehotunti, m	Siirtymisaika eteen- /taaksepäin, %	Työpisteitä / tehotunti, kpl	Siirtymismatka keskiarvo, m	Nopeus, metriä/min.
<b>Ensiharvennus:</b>					
A	91	82,5 / 17,5	25,8	3,5	12,7
B	<b>75</b>	<b>81,1 / 18,9</b>	<b>22,8</b>	<b>3,3</b>	<b>11,3</b>
C	130	86,9 / 13,1	31,3	<b>4,1</b>	17,5
D	116	89,3 / 10,7	28,2	<b>4,1</b>	17,7
E	<b>135</b>	<b>93,3 / 6,7</b>	<b>37,4</b>	3,6	<b>21,5</b>
F	91	86,5 / 13,5	27,1	3,5	20,0
Keskiarvo	106,3	86,6 / 13,4	28,7	3,7	16,8
<b>Päätehakkuu:</b>					
A	85	<b>81,1 / 18,9</b>	13,5	<b>6,3</b>	<b>19,6</b>
B	<b>47</b>	86,2 / 13,8	<b>9,6</b>	<b>4,9</b>	20,9
C	78	85,8 / 14,2	13,5	5,8	22,3
D	73	<b>95,1 / 4,9</b>	14,5	5,0	31,2
E	<b>86</b>	88,4 / 11,6	<b>17,2</b>	5,0	25,6
F	67	87,8 / 12,2	11,3	5,9	<b>31,5</b>
Keskiarvo	72,8	87,4 / 12,6	13,3	5,5	25,2

Ensiharvennuksella aputyövaiheista eniten aikaa kului raivaukseen (46 %), kun taas päätehakkuulla hakkuutähteiden siirtoon (30 %) ja ainespuun kasaukseen (27 %) kului eniten apuaikaa (Kuva 23). Tässä ensiharvennuksen osalta siirtely -työvaiheeseen on yhdistetty ainespuun kasaus- ja hakkuutähteiden siirto työvaiheet. Molemmissa hakkuutavoissa havaitaan kuljettajilla C ja E pienimmät aputyöaikaosuudet.

Hakkuun aikaista suunnittelun ja päätöksenteon tauko-aikaa, jolloin hakkukoneessa ei ilmennyt toimintoja, tarkasteltiin yksityiskohtaisemmin. Ensiharvennuksella keskimääräinen tauko-aika runkoa kohden vaihteli suuresti kuljettajittain kuljettajakeskiarvon ollessa 0,95 sekuntia (Kuva 24). Kuljettajilla C ja E tauko-aikaa koneliikkeistä oli vähiten (noin 0,35 sekuntia per runko). Taukoajan kohdistuminen hakkuun eri vaiheisiin (nouto-aikaan ja prosessointiaikaan) vaihteli kuljettajakohtaisesti.

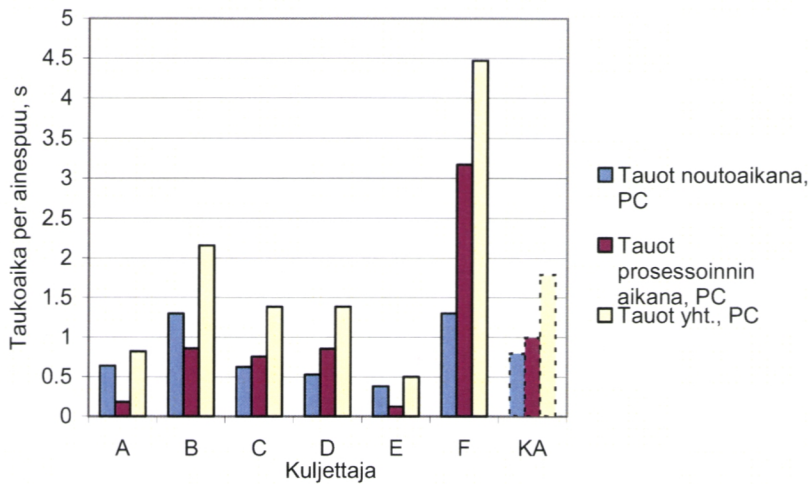


**Kuva 23.** Aputyöajan suhteelliset osuudet ja rakenne kuljettajittain molemmilla hakkuutavoilla. 100 % = kuljettajien aputyövaiheiden keskiarvoaika.



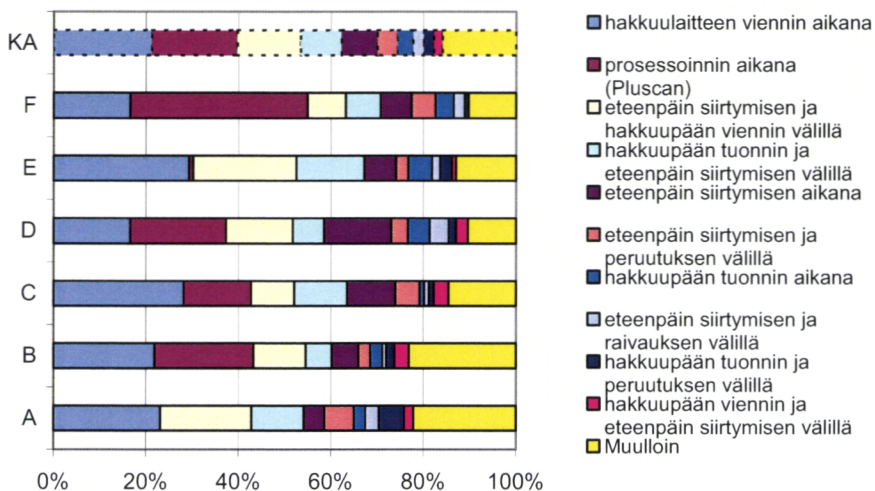
**Kuva 24.** Keskimääräiset taukoajojen kestot kuljettajittain ainespuurungolle. Tauot rekisteröity sekä PlusCAN-tallentimella (PC) että käsikellotuksella. Nouto aika on edellisen puun prosessoinnin loppumisesta seuraavan ainespuun kaadon alkuun kuluva aika.

Päätihakkuulla taukoajan kuljettajakeskiarvo rungolle oli 1,8 sekuntia. Toisin kuin harvennuk-sella taukoajaa ilmeni enemmän rungon prosessoinnissa kuin rungon noutojalla (Kuva 25). Kuljettajilla A ja E runkokohtaiset taukoajat olivat muita kuljettajia pienemmät.



**Kuva 25.** Keskimääräiset taukoajojen kestot kuljettajittain ainespuurungolle. Tauot rekisteröity PlusCAN-tallentimella (PC). Nouto-aika on edellisen puun prosessoinnin loppumisesta seuraavan ainespuun kaadon alkuaan kuluva aika.

Käsikellotusaineistosta tarkasteltiin taukojen kohdistumista hakkuun eri vaiheisiin. Hakkuulaitteen vientiin ja aseteluun sekä prosessointiin sisältyi 40 % kuljettajien kaikista tauoista (Kuva 25). Tosin kuljettajilla E ja A prosessoinnin aikana vähintään 1,5 sekuntia kestäneitä taukoja ei ilmennyt juuri lainkaan. Juuri ennen siirtymistä, siirtymisen aikana ja heti siirtymisen jälkeen tapahtuneita taukoja esiintyi yhteensä noin 40 % kuljettajakeskiarvosta.

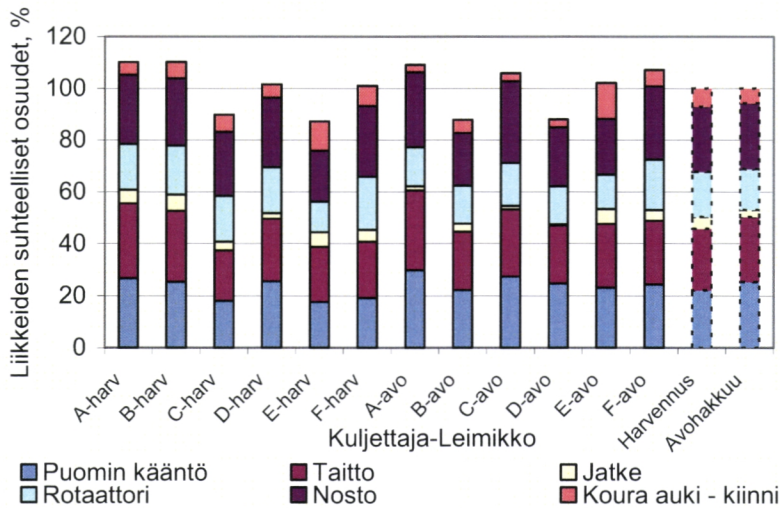


**Kuva 26.** Taukojen sijoittuminen hakkuun eri vaiheisiin kuljettajittain. Tarkastelussa käsikellotuksen kaikki taukoajakahavainnot. Rungon prosessoinnin osalta käytettiin PlusCAN-havaintoja, joiden kesto ylitti 1,5 sekuntia.

## 5.2 Kuormainliikkeet hakkuukonetyössä

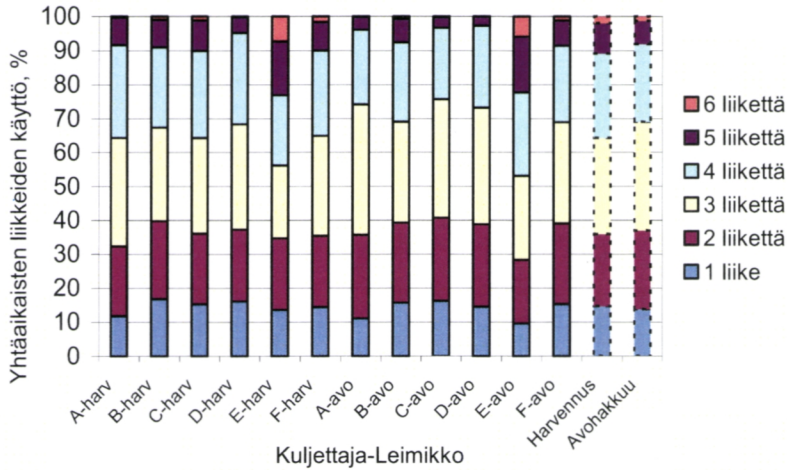
Tutkimuskohteilta hakkuukoneen kuormainliikkeistä kerättiin tietoja automaattisella PlusCAN-tallentimella. Kuvassa 27 on esitetty kuormainkäytön keskimääräiset suhteet kuljettajittain sekä kuormainkäytön jakautuminen eri liikkeisiin. Puomin nosto oli käytetyin kuormainliike molemmissa hakkuutavoissa (noin 25 %). Ensiharvennuksella puomin kääntöliikkeen osuus runkokohtaisesta kuormainliikkeistä oli päätehakkuuta pienempi, mutta sitä vastoin puomin jatketta käytettiin suhteessa enemmän. Ensiharvennuksella runkokohtaiset kuormainliikkeet olivat pienimmät kuljettajalla E ja päätehakkuulla kuljettajilla B ja D, joilla myös rungon koko oli muita kuljettajia pienempää.

Kuormaimen kokonaiskäyttöajasta yhtäaikaisista liikkeistä kolme kuormainliikettä käytettiin eniten; ensiharvennuksella 28 % ja päätehakkuulla 32 % (Kuva 28). Neljän tai useamman yhtäaikaisen kuormainliikkeen käyttö oli yleisempää ensiharvennuksella kuin päätehakkuulla. Kuljettajaa E lukuun ottamatta kuormainliikkeiden yhtäaikainen käyttö oli hyvin samankaltaista. Kuljettaja E käytti vähintään viittä yhtäaikaista liikettä noin 23 % koko kuormaimen käyttöajasta, kun taas muilla kuljettajilla vastaava osuus oli noin 7 %.



**Kuva 27.** Kuormaimen käyttöajan runkokohtaiset suhteet kuljettajittain sekä kuormainkäytön jakautuminen eri liikkeisiin molemmilla hakkuutavoilla. 100 % = kuljettajien runkokohtainen keskiarvoaika.

Hakkuukohteille laskettiin lisäksi kuormainliikeajan osuus suhteessa tehoajaan sekä runkokohtainen kuormainliikeaika harvennusaineiston keskirunkokoolla korjattuna (Taulukko 17). Ensiharvennuksella kuormain oli liikkeessä keskimäärin noin 89 % ja päätehakkuulla 91 % koko tehotyöajasta. Kuljettajilla C ja E kuormainliikeajan osuus tehoajasta oli muita suurempi molemmilla hakkuutavoilla hakattaessa kuljettaja F:n arvon jäädessä merkittävästi pienemmäksi kuljettajakeskiarvoista. Molemmilla hakkuutavoilla selvästi tehokkainta kuormaimen käsittelyä oli kuljettajalla E, jolla ainespuukohtainen kuormainliikeaika oli selvästi kuljettajakeskiarvoa pienempi (Taulukko 17).



**Kuva 28.** Kuormaimen liikkeiden samanaikainen käyttö kokonaiskäyttöajasta kuljettajittain ja hakkuutavoittain.

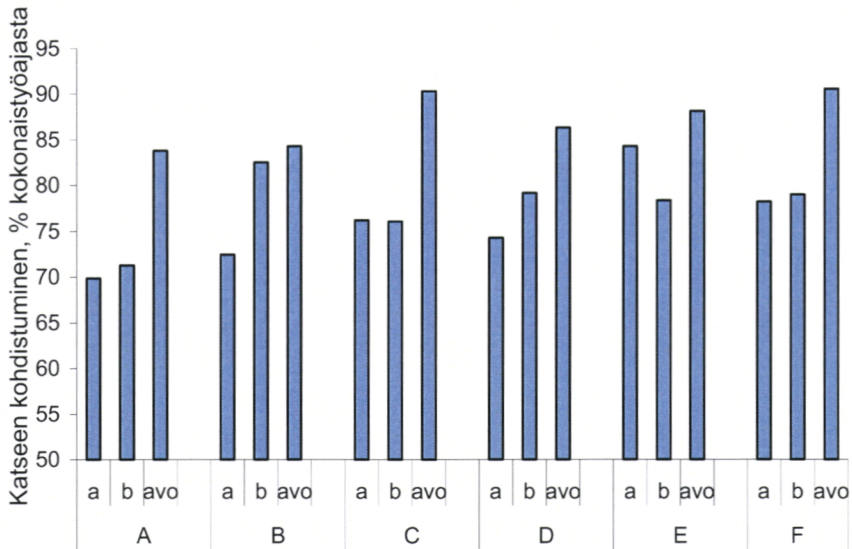
**Taulukko 17.** Ensiharvennuksen ja päätehakkuaan kuormainliikeaikaajan suhteet hakkuun teho-aikaan ja runkokohtainen kuormainliikeaika hakkuutapojen keskirunkokoolla korjattuna. Lihavoituna esitetty tekijöiden suurimmat ja pienimmät arvot.

Aineiston keskiarvot	Hakkuutapa	Kuljettaja						ka.
		A	B	C	D	E	F	
Kuormainliikeajan suhde teho-aikaan, %	ensiharvennus	92,8	84,3	<b>94,5</b>	89,2	92,9	<b>81,8</b>	89,3
	päätehakkuu	91,8	89,8	92,5	91,4	<b>95,9</b>	<b>84,2</b>	90,9
Kuormainliikeaika / hakattu ainespuu, s	ensiharvennus	31,4	<b>33,3</b>	26,5	31,9	<b>23,6</b>	30,2	29,5
	päätehakkuu	<b>71,3</b>	66,5	<b>71,3</b>	64,8	<b>56,0</b>	66,3	66,0

### 5.3 Hakkuunaikainen katseen kohdistuminen ja havainnointi

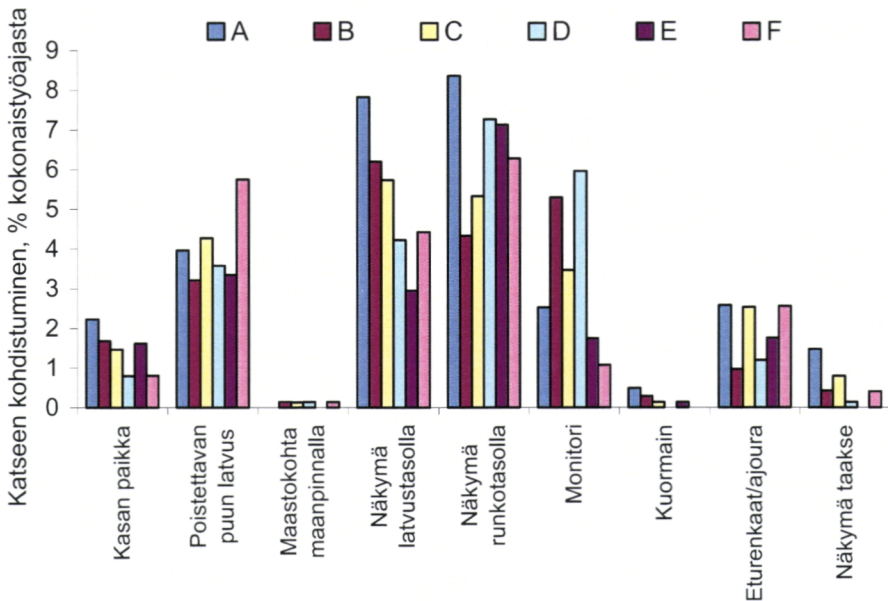
#### 5.3.1 Katseen kohdistuminen tehotyöajalla

Hakkuun tehotyöaikana katse oli kohdistettu hakkuulaitteeseen ja sen lähialueelle 70-90 % tehotyöajasta eikä merkittäviä eroja kuljettajien välillä ollut (Junkkonen 2003) (Kuva 29). Päätehakkuulla katse kohdistui keskimäärin 20 % enemmän hakkuulaitteeseen tai sen lähialueelle kuin ensiharvennuksella.

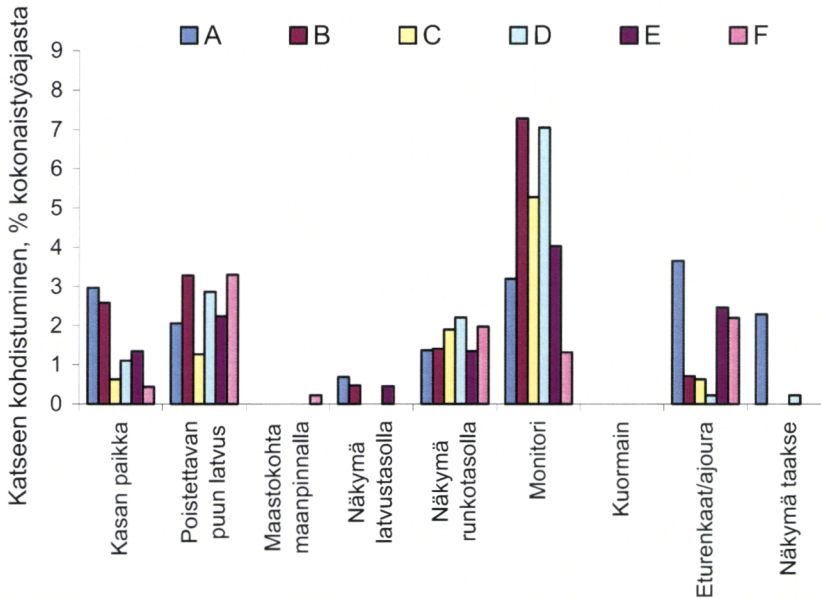


**Kuva 29.** Hakkuunaikainen katseen kohdistuminen hakkuulaitteeseen ja sen lähialueelle harvennuksilla a ja b sekä päätehakkuulla (avo).

Ensiharvennuksella puun valintaan (näkymä latvustasolla sekä runkotasolla) ja poistoon (poistettavan puun latvus) kuuluvia katseen kohdistumisia ilmeni seuraavaksi eniten, yhteensä noin 12 % tehotyöajasta (Kuva 30). Päätehakkuulla vastaaviin kohteisiin katse kohdistui keskimäärin vain noin 4 % tehotyöajasta (Kuva 31). Toisaalta päätehakkuulla monitorin havainnointiin käytetty aika oli suurempi kuin ensiharvennuksella.



**Kuva 30.** Hakkuulaitteesta ja sen lähialueelta poikkeavan katseen kohdistuman ajallinen osuus tehotyöajasta harvennushakkuilla.

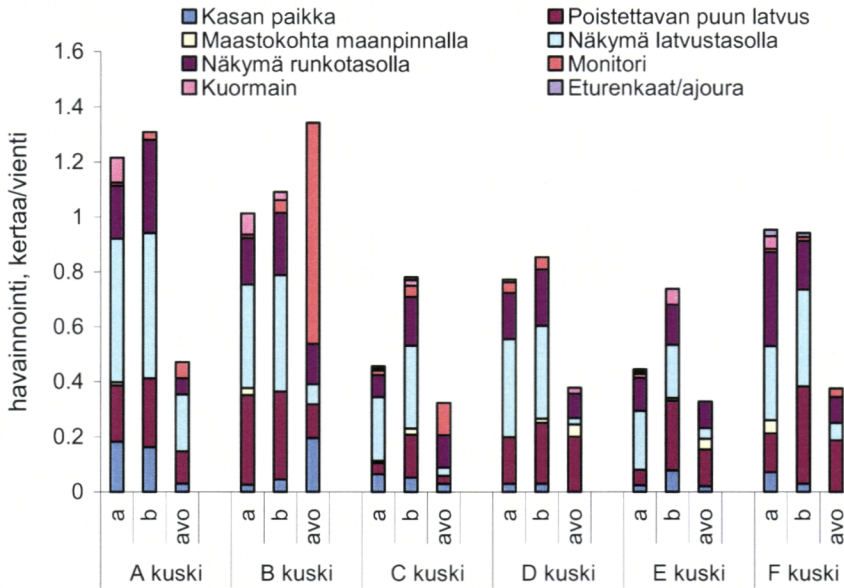


**Kuva 31.** Hakkuulaitteesta ja sen lähialueelta poikkeavan katseen kohdistuman ajallinen osuus tehotyöajasta päätehakkuulla.

### 5.3.2 Katseen kohdistuminen hakkuulaitteen viennin aikana

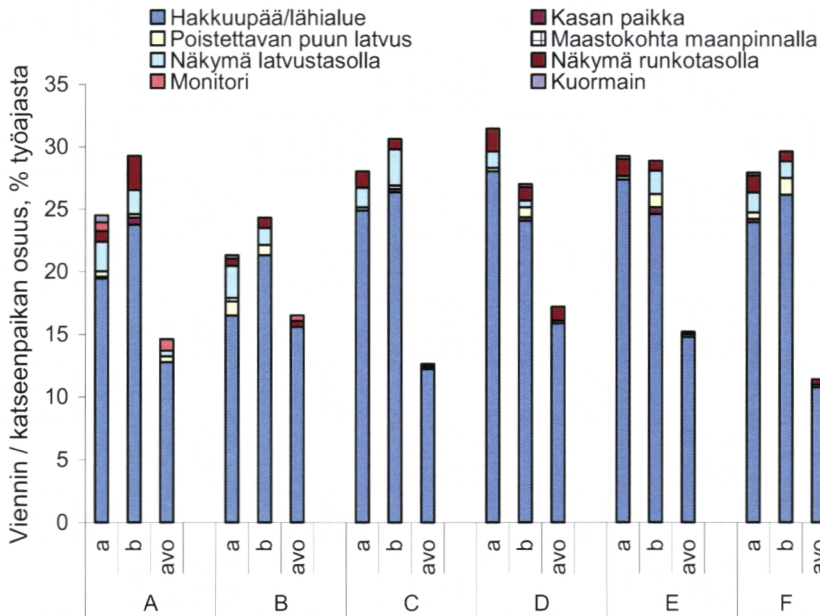
Tuloksissa esitetyissä päätyövaiheittaisissa katsekohteiden havainnointikerroissa ei ole mukana katseen kohdistumista hakkuulaitteeseen tai aivan sen lähialueelle. Päätyövaiheista hakkuulaitteen viennin aikana toteutettiin monipuolisinta havainnointia, vaikka havainnointikertojen määrä työvaihetta kohden olikin vähäistä (Kuva 32). Ensiharvennuksella kaikille kuljettajille yhteisenä piirteenä havainnointikertoja ilmeni eniten työnäkymän runko- ja latvustasolla. Ensisijaisena havainnoinnin tarkoituksena oli poistettavien puiden valinta tiheyden, tilajärjestyksen, puuston laadun ja koon perusteella. Seuraavaksi eniten havainnoiteja kohdistui poistettavan puun latvukseen. Kiinnostava havainto oli se, että tuottavimmat kuljettajat C ja E suorittivat vähiten havainnointia latvus- ja runkotasolla ja poistettavien puiden valintaa hakkuulaitteen viennin aikana.

Päätehakkuulla suoritettiin yleisesti vähän havainnointia hakkuulaitteen viennin aikana, sillä varsinaista valintaa poistettavista rungoista ei tarvitse tehdä. Kuljettajan tulee valita puille ainoastaan kaatojärjestys. Kuljettajalla B oli päätehakkuulla hakkuulaitteesta ja sen lähiympäristöstä poikkeavia havainnointikertoja enemmän kuin harvennuksilla. Tämä johtui siitä, että muista kuljettajista poiketen kuljettaja B tarkisti avohakkuulla rungon tyviläpimitan monitorista saatuaan hakkuulaitteen rungon tyvelle.



**Kuva 32.** Havainnointikertojen määrä hakkuulaitteen ventikertaa kohden harvennuksilla a ja b sekä päätehakuulla. Mukana hakkuulaitteesta ja sen lähiympäristöstä poikenneet havainnointit.

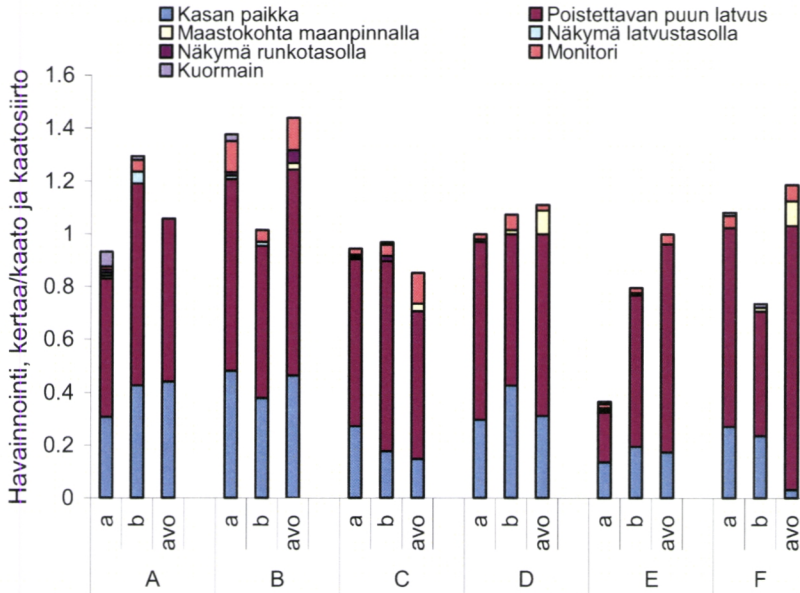
Hakkuulaitteen viennin aikana kuljettajien katse oli kohdistuneena hakkuulaitteeseen ja sen lähi-alueelle noin 80-90 % työvaiheajasta (Kuva 33). Seuraavaksi eniten katse oli kohdistuneena työnäkymän runko- ja latvustasolle.



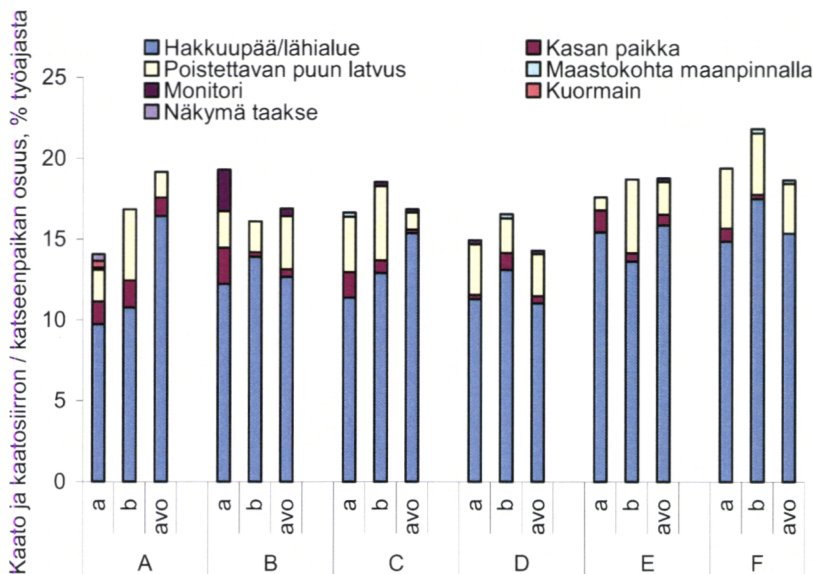
**Kuva 33.** Hakkuulaitteen viennin aikaisen katseen kohdistumisen osuus ja rakenne hakkuun tehetyöajasta kuljettajittain harvennuksilla a ja b sekä päätehakuulla.

### 5.3.3 Katseen kohdistuminen rungon kaadon ja siirron aikana

Rungon kaadon ja siirron aikana tehty havainnointi kohdistui poistettavan puun latvukseen ja kasan paikan havainnointiin (Kuva 34). Poistettavan puun latvuksen havainnointi kohdistui puun kaatovaiheelle ja kasan paikan havainnointi mahdolliseen rungon siirtoon kasaustaikalle tai kaadon loppuvaiheille. Kuljettajalla B ilmeni havainnointikertoja eniten ja kuljettajalla E vähiten työvaiheen aikana.



**Kuva 34.** Havainnointikertojen määrä rungon kaatokertaa kohden harvennuksilla a ja b sekä päteuhakuulla. Mukana hakuuvalteesta ja sen lähiympäristöstä poikenneet havainnoinnit.



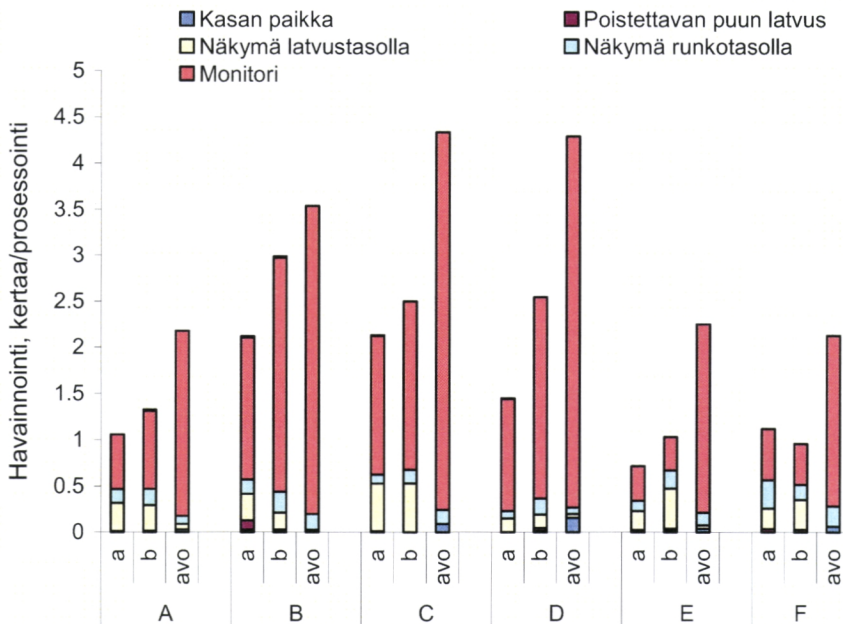
**Kuva 35.** Rungon kaadon ja siirron aikaisen katseen kohdistumisen osuus ja rakenne hakuun tehtyöajasta kuljettajittain harvennuksilla a ja b sekä päteuhakuulla.

Katseen ajallisella kohdistumisella hakkuulaitteeseen ja sen lähialueelle ei näyttänyt olevan selvää eroa kuljettajien eikä hakkuutavan välillä (kuva 34). Katse oli kohdistuneena hakkuulaitteeseen ja sen lähialueelle keskimäärin 70-85 % työvaiheen kokonaiskestosta muun havainnoinnin kohdistuessa pääosin kaadettavan rungon latvukseen ja kaatosuuntaan sekä kasaupaikkaan.

### 5.3.4 Katseen kohdistuminen rungon prosessoinnin aikana

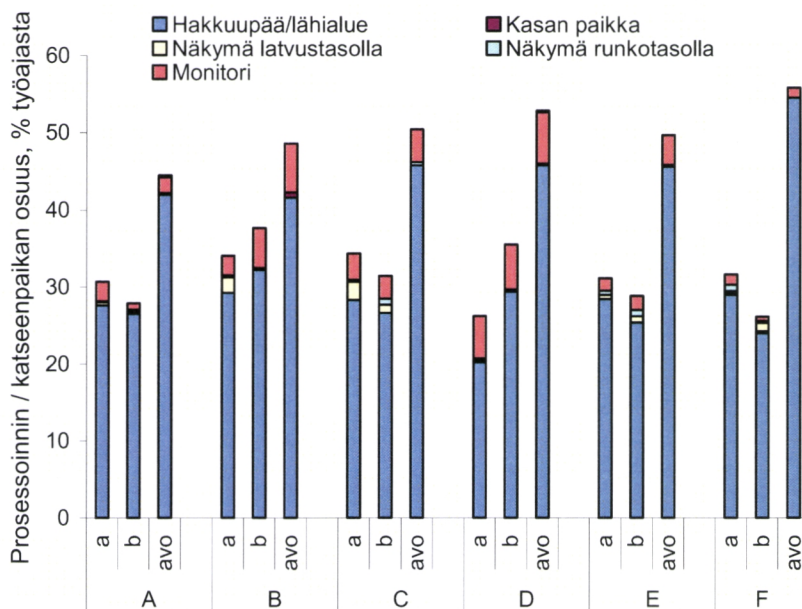
Rungon prosessoinnin aikana hakkuulaitteesta ja aivan sen lähialueelta poikkeavat havainnointikerrat kohdistuivat pääasiassa monitoriin ja seuraavan puun valintaan puuston näkymää latvus- ja runkotasolla havainnoiden (Kuva 36). Ensiharvennuksella seuraavan poistettavan puun valinta latvus- ja runkotason näkymän perusteella toteutettiin aivan prosessoinnin loppuvaiheilla viimeisen katkontasahauksen aikana tai heti sen jälkeen. Päätehakkuulla monitoriin kohdistuneet havainnointikerrat olivat päätehakkuulla kaikilla kuljettajilla selvästi suuremmat kuin ensiharvennuksella. Syinä tähän olivat päätehakkuun pidemmät prosessointiajat sekä rungon tukkiosan katkonnan tärkeys. Esimerkiksi kuljettajilla A, B ja F ilmeni kohtalainen tai selvä (>0,4) positiivinen korrelaatio monitorin havainnointikertojen ja käsiteltävän rungon tilavuuden välillä.

Kuljettaja C suoritti prosessoinnin lopussa eniten seuraavien poistettavien puiden valintaa, noin 70 %:lla prosessointikerroista (Kuva 36). Myös kuljettaja E suoritti suhteellisesti paljon puiden valintaan kohdistuvaa havainnointia prosessoinnin lopussa varsinkin ensiharvennuksella b, jossa maasto oli peitteistä ja näkyvyys heikko. Muuten kuljettajan E havainnointikerrat prosessointia kohden olivat hyvin vähäiset, joten katse kohdistui pääosin hakkuulaitteeseen ja käsiteltävään runkoon.



**Kuva 36.** Havainnointikertojen määrä rungon prosessointikertaa kohden harvennuksilla a ja b sekä päätehakkuulla. Mukana hakkuulaitteesta ja sen lähiympäristöstä poikenneet havainnointit.

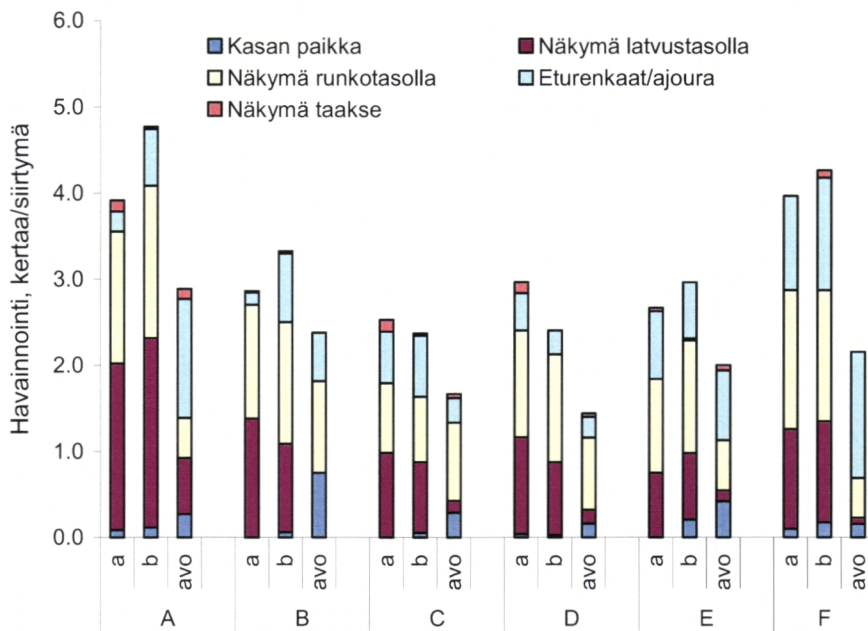
Kuljettajalla katse oli kohdistuneena hakkuulaitteeseen ja sen lähialueelle keskimäärin noin 80-95 % prosessointiajasta (Kuva 37). Loppuosa työvaiheen havainnointiajasta kohdistui pääasiassa monitoriin. Kuljettajat A, E ja F erosivat muista erityisesti pienemmällä monitoriin kohdistuneella katseajalla. Myös monitoriin suuntautuneet havainnointimäärät olivat vähäisemmät. Nämä kuljettajat saattoivat luottaa enemmän rungon silmämääräiseen apteraukseen, eikä monitorilta ollut tarpeellista hakea tukea mittatiedoista ja ennusteista niin paljoa.



**Kuva 37.** Rungon prosessoinnin aikaisen katseen kohdistumisen osuus ja rakenne hakkuun tehotyöajasta kuljettajittain harvennuksilla a ja b sekä pätehakkuulla.

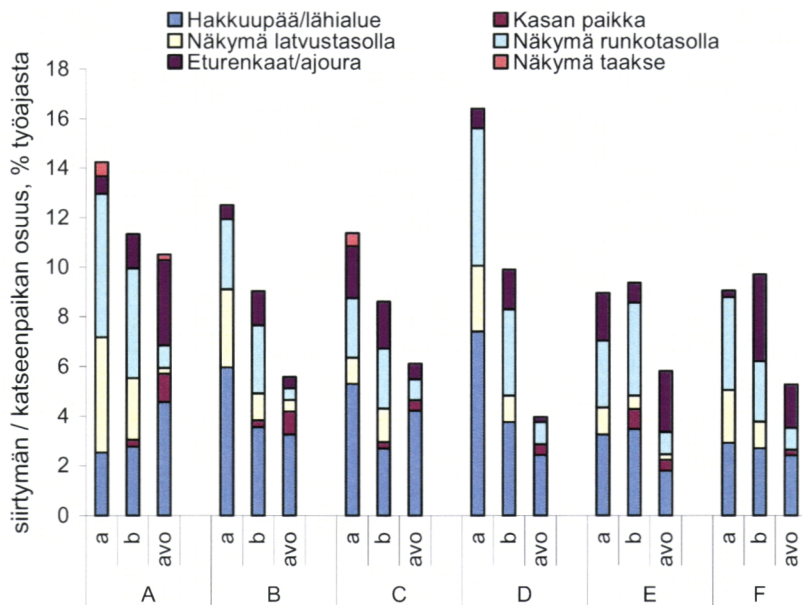
### 5.3.5 Katseen kohdistuminen siirtymisen aikana

Hakkuun työvaiheista siirtymisen aikana havainnointikertoja eri kohteisiin ilmeni eniten (Kuva 38). Ensiharvennuksella siirtymisen aikana oli 3,5 havainnointikertaa keskimäärin ja pätehakkuulla 2 havainnointikertaa keskimäärin. Maastoltaan peitteisemmällä ja näkyvyydeltään heikommalla ensiharvennuskohteella b tehtiin eniten havainnointia työvaiheen aikana. Pätehakkuulla havainnointia poistettavien puiden valinnan osalta oli vähäistä, mikä taas ensiharvennuksilla oli merkittävin havainnoinnin kohde siirtymisen aikana (Kuva 38). Eturenkaiden ja ajouran tarkkailun osuus kaikesta havainnoinnista oli pätehakkuulla ensiharvennusta suurempaa. Ensiharvennuksilla kuljettajilla C ja E havainnointikerrat hakkuunäkymän puustoon (näkymä latvustasolla ja näkymä runkotasolla) oli muita vähäisemmät.



**Kuva 38.** Havainnointikertojen määrä siirtymiskertaa kohden harvennuksilla a ja b sekä päätehakuulla. Mukana hakkuulaitteesta ja sen lähiympäristöstä poikenneet havainnoinnit.

Ensiharvennuksilla poistettavan puun valintaan liittyvää havainnointia oli eniten siirtymisen kokonaisajasta vaihdellen kuljettajittain noin 30 %:sta 70 %:iin (Kuva 39). Päätehakuulla hakkuulaitteen ja sen lähialueen sekä eturenkaiden/ajouran havainnointia oli suhteellisesti enemmän kuin ensiharvennuksilla. Päätehakuulla edellisten havainnointikohteiden osuus oli noin 80 % siirtymisajasta.



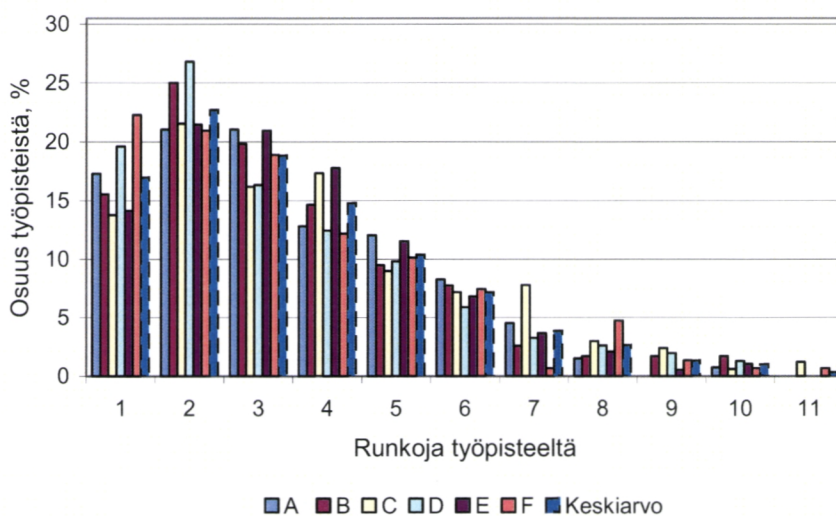
**Kuva 39.** Siirtymisen aikaisen katseen kohdistumisen osuus ja rakenne hakkuun tehotyöajasta kuljettajittain harvennuksilla a ja b sekä päätehakuulla.

## 5.4 Ensiharvennusten työpistekohtainen tarkastelu

### 5.4.1 Työpisteen koko ja siirtymiset

Tutkimuksen ensiharvennusaineistolla toteutettiin työpistekohtainen tarkastelu (Ala-Fossi ym. 2004c). Yleisin työpistekoko oli kaksi ainespuurunkoa per työpiste (31 % kaikista työpisteistä) (Kuva 40). Koko aineistosta yhden ainespuurungon työpisteitä oli 28 % ja kolmen ainespuurungon työpisteitä oli 20 %. Neljän tai useamman poistetun rungon työpisteitä oli eniten kuljettajalla C (48,5 %) ja seuraavaksi eniten kuljettajalla E (43,5 %). Muilla kuljettajilla vastaavien työpisteiden osuus oli alle 40 %.

Kuljettajalla C työpisteet olivat keskimäärin muita kuljettajia suurempia sekä myös työpisteiden väliset siirtymät olivat pisimpiä (Taulukko 18). Kuljettajat E ja F käsittelivät keskimääräisen työpisteen muita kuljettajia vähemmällä siirtymisillä.



**Kuva 40.** Työpisteiden osuus työpisteeltä poistettujen ainespuurunkojen määrän mukaan kuljettajittain ensiharvennuksella.

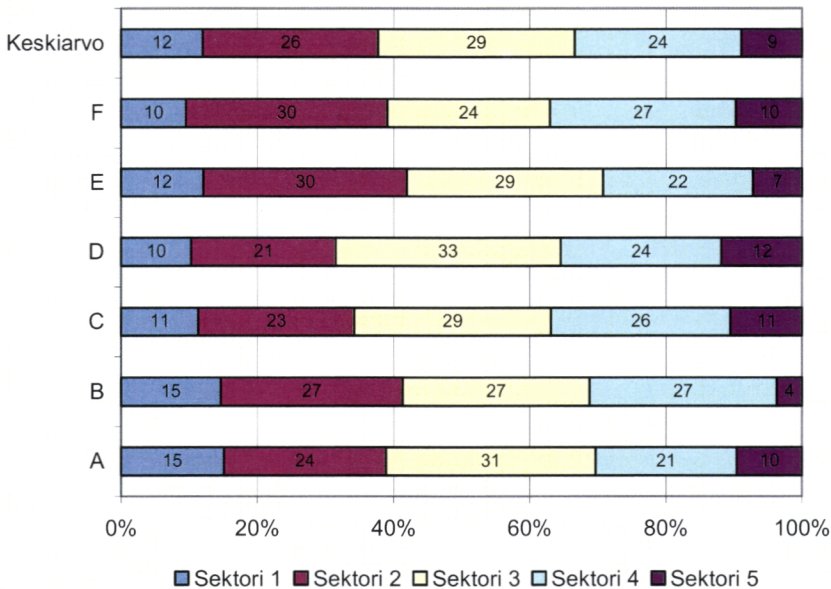
**Taulukko 18.** Työpisteiden keskimääräinen koko ja siirtymisten määrä työpistettä kohden ensiharvennuksella. Tekijöiden suurimmat ja pienimmät arvot lihavoituna.

Aineiston keskiarvot	Kuljettaja						keskiarvo
	A	B	C	D	E	F	
Työpisteväli, m	3,5	<b>3,3</b>	<b>4,1</b>	<b>4,1</b>	3,6	3,4	3,7
Hakatut							
ainespuurungot / työpiste	3,5	3,4	<b>3,8</b>	<b>3,3</b>	3,5	<b>3,3</b>	3,5
Eteenpäin ajo / työpiste, kpl	2,3	<b>2,7</b>	2,2	2,5	2,0	<b>1,7</b>	2,2
sekuntia	13,8	<b>13,9</b>	12,3	12,3	9,2	<b>9,1</b>	11,8
peruutus / työpiste, kpl	0,6	<b>0,7</b>	0,5	0,3	<b>0,3</b>	0,4	0,5
sekuntia	2,9	<b>3,2</b>	1,9	1,5	<b>0,7</b>	1,4	1,9

#### 5.4.2 Runkojen ottosektorit ja käsittelypaikat ottosektorin suhteen

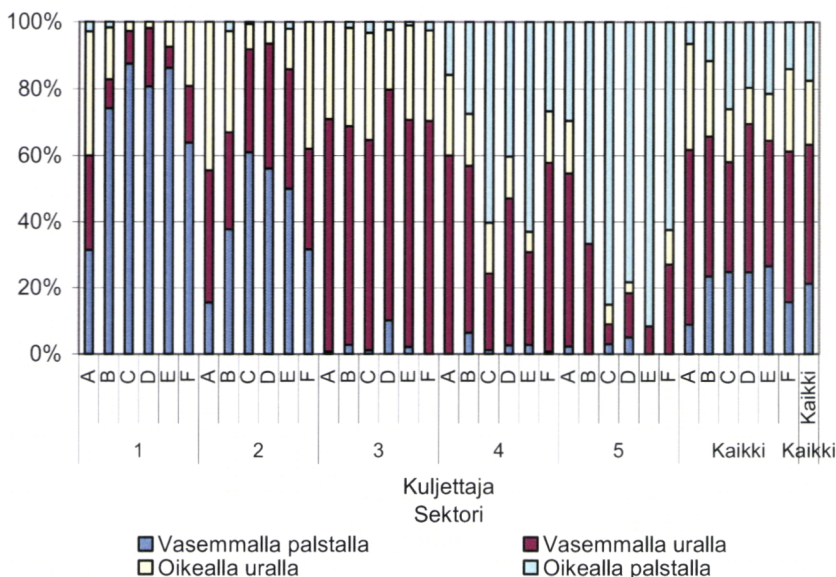
Työpisteeltä hakattiin eniten ajouralta (sektori 3) (29 % ainespuurungoista). Kuljettajien väliset erot olivat suuret, sillä kuljettaja F hakkasi ajouralta vähiten (24 %) ja kuljettaja D eniten (33 %) (Kuva 41). Useimmat kuljettajat hakkasivat hieman enemmän ajouran vasemmalta puolelta kuin oikealta (keskiarvo: 38 % vasemmalta ja 33 % oikealta). Suhteessa eniten vasemmalta puolelta hakkasi kuljettaja E (42 % vasemmalta puolen). Kuljettajilla F ja C sektoreittainen ainespuuiden poisto oli tasaisin.

Ottosektoreista työpisteen käsittely aloitettiin useimmiten ajouralta (37 % työpisteen ensimmäisistä puista ajouralla). Toisaalta ajouralle palattiin usein myös takaisin työpistekäsittelyn edetessä (Ala-Fossi ym. 2004c). Raivauksen ajoittuminen kohdistui keskimäärin noin 52 % tapauksista aivan työpisteen alkuun. Edellä mainittujen tekijöiden osalta selviä eroavuuksia ei kuljettajien välillä ilmennyt.



**Kuva 41.** Hakatut ainespuurungot sektoreittain osuutena kuljettajan kaadetuista rungoista.

Kuvassa 42 on esitetty runkojen prosessointipaikat ja niiden suhteet runkojen ottosektoreiden mukaan. Muista kuljettajista selvästi poiketen kuljettajat C ja E pyrkivät prosessoimaan rungot lähellä niiden ottopaikkaa. Kuljettaja A poikkeaa selvimmin muista kuljettajista. Hänen työskentelylleen oli tyypillistä prosessoitavan rungon siirto kaatopuolelta uran toiselle puolelle (noin 50 % tapauksista). Pääosin tästä johtuen hän prosessoisi peräti yli 80 % rungoista uran puolella.



**Kuva 42.** Ainespuurunkojen prosessointipaikat osuutena sektorilta kaadetuista rungoista kuljettajittain.

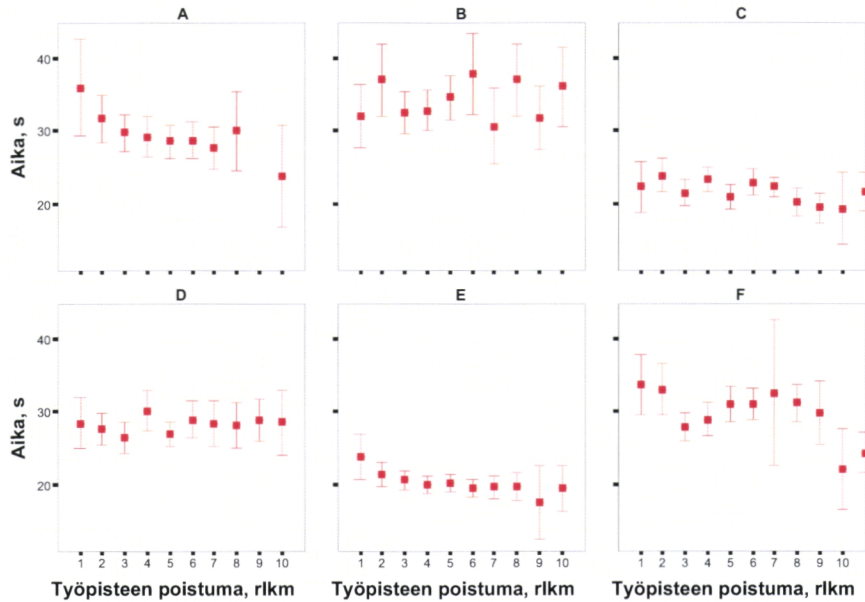
Vasemmalta etuviistosta otetut rungot prosessoitiin pääasiassa vasemmalla sekä palstan että uran puolella. Suurin osa sektorilla 3 eli ajouralta poistetuista rungoista käsiteltiin vasemmalla uralla (63,6-70,3 %) ja seuraavaksi eniten oikealla uralla (17,9-32,1 %). kuljettajat A, B, D ja F prosessoivat oikealta etuviistosektorilta poistetut rungot useimmin vasemmalla uralla (44,5-60,0 %), kun taas kuljettajat C ja E useimmin oikealla palstalla (60,4 ja 63,0 %) eli lähellä rungon otto- paikkaa. Kuljettajat C, D ja E käsittelivät sivusektoreilta (sektorit 1 ja 5) poistetut rungot lähes yksinomaan rungon ottopuolella, jolloin rungon prosessointi tapahtui palstan puolella.

Työpisteellä jo aiemmin käydylle otto-sektorille palattiin keskimäärin noin 0,3 kertaa. Eniten paluita aiemmin käydylle otto-sektorille oli kuljettajalla A (0,38 kertaa/työpiste) ja vähiten paluita oli kuljettajalla E (0,26 kertaa/työpiste) (Ala-Fossi ym. 2004c).

#### 5.4.3 Työpistetoiminnan tasaisuus eri kokoisilla työpisteillä

Kuljettajien hakkuutoiminnan tasaisuutta työpisteellä tarkasteltiin runkokohtaisten ajanmenekki- en hajonnoilla (95 %:n luottamusvälit) ja keskiarvoilla erikokoisissa työpisteissä (Kuva 43). Täs- sä runkokohtaisia kokonaisajanmenekkejä ei korjattu erikseen tutkimuksen keskikokoisen run- gon koolla. Siirtymisiä, raivausta ja keskeytyksiä lukuun ottamatta runkokohtaiseen ajanmenek- kiin laskettiin seuraavat työvaiheet:

- hakkuulaitteen vientiaika rungolle
- rungon kaatoaika
- rungon katkonta ja karsinta
- ainespuun kasaus
- latvusten kasaus ja/tai vienti ajouralle
- tauko aika.



**Kuva 43.** Keskimääräiset runkokohtaiset ajanmenekit ja 95 % luottamusvälijanat erikokoisilla työpisteillä ensiharvennuksella.

Runkokohtaiset ajanmenekit olivat keskimäärin pienimmät kuljettajalla E, jolla ajanmenekki oli keskimäärin 20,4 s/ainespuurunko, ja suurimmat kuljettajalla B, jolla ajanmenekki oli keskimäärin 34,3 s/ainespuurunko. Työpisteen ainespuurunkojen lukumäärän kasvaessa kuljettajilla A, C ja E keskimääräiset runkokohtaiset ajanmenekit laskivat hieman ja muilla kuljettajilla pysyivät lähes samana. Useimmilla kuljettajilla voitiin havaita, että työpisteen poistuman kasvaessa runkokohtainen käsittelyajan hajonta pieneni aina 5 tai 6 rungon työpisteisiin asti, kunnes sitä suuremmissa työpisteissä hajonta kasvoi. Runkokohtaisen käsittelyajan ja hajonnan perusteella kuljettajilla C ja E työpistetoiminta oli tasaisinta puustopoistumaltaan kaikenkokoisilla työpisteillä.

## 5.5 Hakkuutyön laatu

### 5.5.1 Korjuujälki ensiharvennuskohteilla

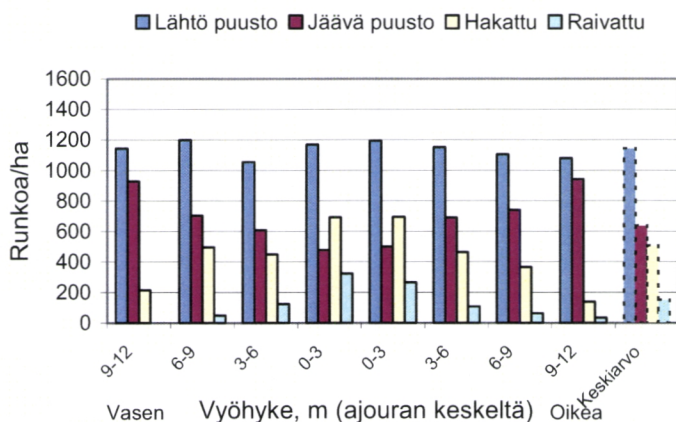
Ensiharvennuksen kuljettajakeskiarvo ajouravälille täytti ajouravälisuosituksen 20 metriä (Taulukko 19). Kuljettajilla E ja F ajouravälikeskiarvot olivat pienimmät ja kuljettajilla A ja D suurimmat. Ajouraleveys vaihteli kuljettajittain vain vähän ollen kaikilla kuljettajilla yli neljä metriä (kuljettajakeskiarvo 4,5 metriä). Urainumia ei esiintynyt, sillä ensiharvennuskohteet olivat kovalla maapohjalla ja hakkuu ajoittui roudan maan ajalle. Ensiharvennuskohteilla määritettiin kuitenkin silmämääräisesti havutuksen määrä ajouralla kuljettajittain (Taulukko 19). Ensiharven-

nuksilla havutusta oli pääosin vähäisesti (72 %:lla mittauskohteista). Kuljettaja A poikkesi muista selvimmin muodostaen ainoana kuljettajista pääosin runsaasti havutusta ajouralle. Kuljettajalla E havutusta ajouralla ilmeni vähiten.

**Taulukko 19.** Ensiharvennuksella kuljettajakohtaisesti mitatut uravälit, uraleveydet sekä silmä-määräinen arvio havutuksen määrästä ajouralla. Tekijöiden suurimmat ja pienimmät arvot on lihavoitu.

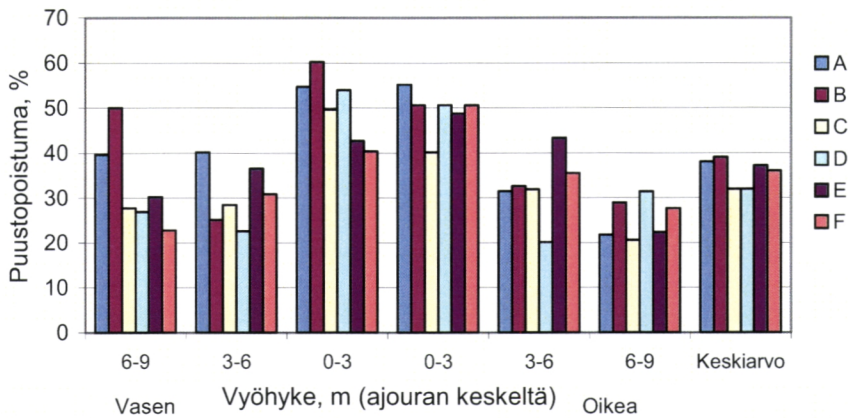
Kuljettaja	Uraväli, m					Uraleveys, m					Havutusta uralla		
	N	Ka	Min	Max	sd	N	Ka	Min	Max	sd	Ei, %	Vähäinen, %	Runsas, %
A	6	<b>21,6</b>	19,0	24,8	2,3	19	<b>4,7</b>	3,8	6,4	0,5	0	36,8	63,2
B	16	19,8	14,5	27,5	3,5	16	4,6	3,9	6,0	0,6	6,3	62,5	31,3
C	19	20,5	15,3	33,4	4,5	26	<b>4,2</b>	3,4	5,4	0,5	11,5	80,8	7,7
D	22	21,0	14,3	32,0	4,7	24	<b>4,7</b>	3,9	6,9	0,8	4,2	79,2	16,7
E	18	18,9	15,7	22,5	1,9	25	4,4	3,7	5,5	0,5	12,0	88,0	0
F	10	<b>18,0</b>	15,0	23,0	2,2	20	4,3	3,2	5,4	0,7	0	75,0	25,0
Keskiarvo	15,2	20,0	15,6	27,2	3,2	21,7	4,5	3,7	5,9	0,6	6,2	72,3	21,5

Koko ensiharvennuksen kuljettaja-aineistosta havaitaan runkokohtaisen hakkuupoistuman vähenvän siirryttäessä ajouralta kauemmas palstalle (Kuva 44). Vyöhykkeittäinen hakkuupoistuma oli hyvin samankaltaista kuljettajittain (Ala-Fossi ym. 2003). Pääosa raivausrungoista poistettiin ajouravyöhykkeiltä.



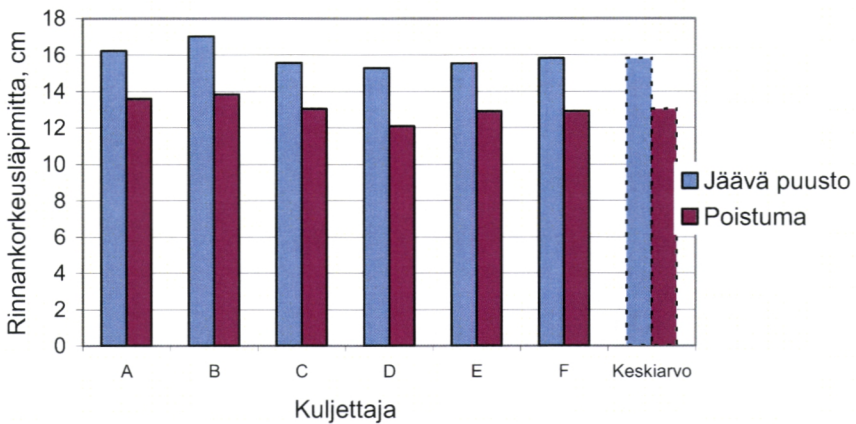
**Kuva 44.** Ensiharvennusten runkokohtaisen hakkuupoistuman sijoittuminen vyöhykkeille. Mukana ainespuusta lähtöpuusto, jäävä puusto ja hakattu puusto sekä raivatut rungot.

Ainespuuston pohjapinta-alan suhteen puustopoistumaa tarkasteltiin vyöhykkeittäin ajouran molemmin puolin (Kuva 45). Puuston pohjapinta-alasta poistuman osuus oli suurin kuljettajilla A ja B, joilla tosin myös lähtöpuuston pohjapinta-alat olivat kuljettajakeskiarvoa suurempia (ks. sivu 18, taulukko 3). Ajouran vaikutus näkyy suurempana puustopoistumana ajouravyöhykkeillä. Kuljettajat A ja B poistivat ainespuuta muita enemmän ajouran vasemman puolen vyöhykkeeltä 6 – 9 metriä. Puustopoistuma oli vähäisintä ajouran oikeanpuoleisella vyöhykkeellä 6 – 9 metriä. Puustopoistuman kuljettajakeskiarvo oli 36 % lähtöpuuston pohjapinta-alasta.



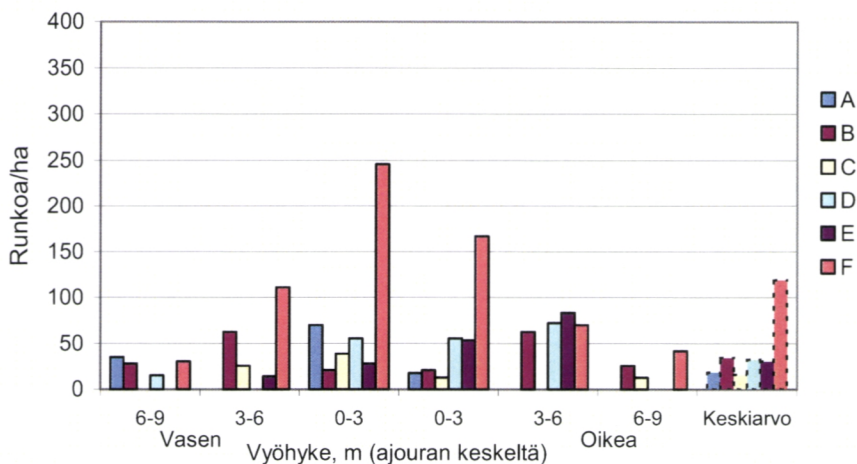
**Kuva 45.** Harvennusvoimakkuus ainespuuston pohjapinta-alan suhteen vyöhykkeittäin ensiharvennuksella.

Ensiharvennuskohteilla hakkuu toteutettiin alaharvennuksena (Kuva 46). Jäävän ainespuuston keskimääräinen rinnankorkeusläpimitta oli 15,8 cm, kun taas hakatun puuston keskiläpimitta oli 13,0 cm. Hakkuupoistuma kohdistui lähtöpuuston kokoon hyvin samankaltaisesti kaikilla kuljettajilla, eikä kukaan kuljettajista poikennut merkittävästi muista.

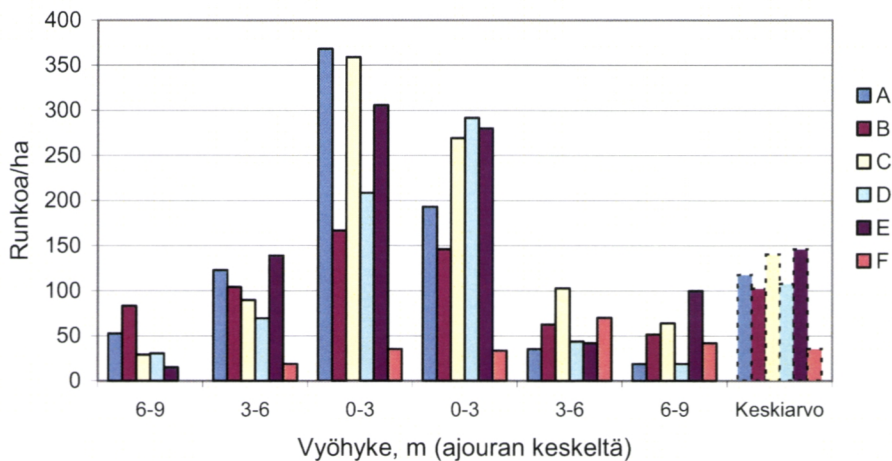


**Kuva 46.** Jäävän sekä poistetun ainespuuston kuljettajakohtaiset rinnankorkeusläpimitan keskiarvot.

Korjuujälki-inventointikoealoilta tarkasteltiin myös raivattuja runkoja. Kuvassa 47 on esitetty sahaamalla raivattujen runkojen määriä vyöhykkeittäin. Kuljettaja F raivasi rungot pääosin sahalla katkaisten, kun taas muilla kuljettajilla selvästi yleisempää oli rungon kaataminen hakkuulaitteella painamalla (Kuva 48). Noin 60 % raivauksista kohdistui ajouravyöhykkeille (0 – 3 metriä).

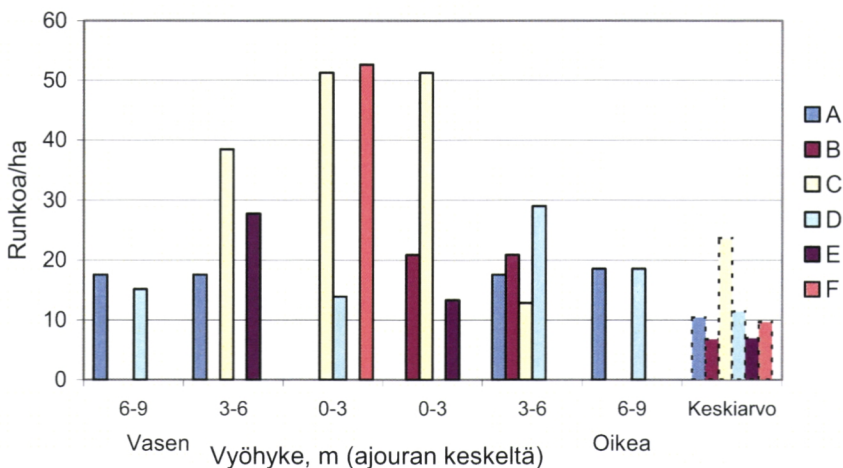


**Kuva 47.** Sahaamalla suoritetun raivauksen kohdistuminen hakkuuvyöhykkeille ensiharvennuksilla.



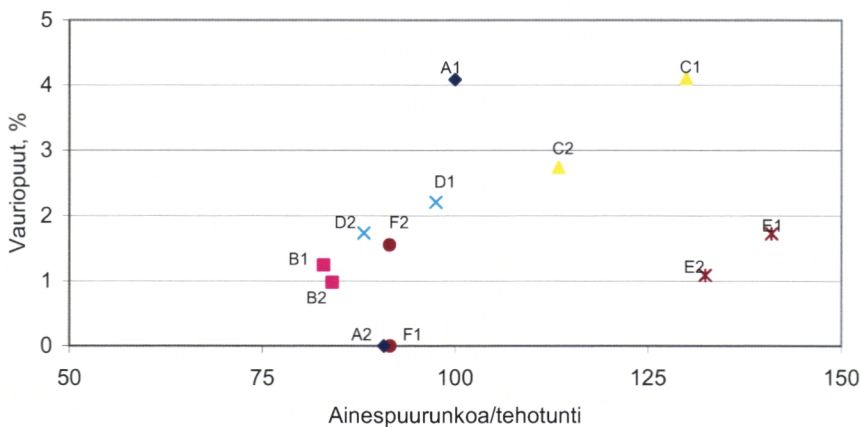
**Kuva 48.** Hakkuulaitteella painamalla suoritetun raivauksen kohdistuminen hakkuuvyöhykkeille ensiharvennuksilla.

Korjuujälki-inventointikoealoilta ainespuista laskettiin korjuuvauriot, joissa vauriopinta-ala oli vähintään 10 cm<sup>2</sup>. Havaituista korjuuvauriopoista useimmissa vaurio oli pintavaurio (72 %) ts. puuaines ei ollut rikkoonut. Poikkivaurioituneita oli 21 % ja syvävaurioituneita vain 7 % rungoista. Kuvassa 49 on esitetty vaurioituneiden puiden määrä vyöhykkeittäin hehtaarilla kuljettajittain. Vauriorunkojen määrä väheni tasaisesti siirryttäessä ajouralta kauemmas palstalle. Hehtaarilla vaurioituneita puita oli keskimäärin 11,5 runkoa. Kuljettajalla C vauriorunkoja havaittiin selvästi muita enemmän (24 runkoa/ha). Hänellä kuten myös kuljettajalla F pääosa vaurioituneista rungoista sijaitsi aivan ajouran reunalla. Vastaavilla kuljettajilla todettiin myös muita kuljettajia kapeammat ajourat, mikä voi selittää vaurion syytä. Vaurioiden aiheuttajista yleisimmiksi arvioitiin kaatuva runko ja metsäkoneen pyörä (Ala-Fossi ym. 2003). Kuljettajilla A ja D vauriorungoista puolet olivat poikkivaurioituneita niiden sijaitessa kauempana urasta. Poikkivaurioituminen on mitä todennäköisimmin syntynyt rungon jäädessä kaadettavan puun alle. Havaittujen vauriopuiden keskimääräinen etäisyys ajourasta oli 3,6 metriä.



**Kuva 49.** Vaurioituneiden runkojen sijainti väyhykkeittäin ja kuljettajittain ensiharvennuksilla.

Ensiharvennuskohteiden korjuuvaurioprocentin keskiarvo ei yhdelläkään kuljettajalla ylittänyt 4 % kuljettajakkeskiarvon ollessa 1,9 %. Kuvassa 50 on esitetty molemmilta ensiharvennuskohteilta kuljettajakohtaiset vaurioprocentit sekä tehotuntituotokset ainespuurunkoina. Vaikka kuvan perusteella muutamilla kuljettajilla on havaittavissa vaurio-osuuden kasvua tuottavuuden kasvaessa, havainnon merkitsevyyden toteaminen aineiston pienuuden takia on epäluotettavaa. Tuottavimman kuljettajan korjuuvaurioprocentti oli alle kuljettajakkeskiarvon (1,1 %).



**Kuva 50.** Molemmilta ensiharvennuskohteilta kerättyjen kuljettajakohtaisten korjuuvaurio- ja tuottavuustietojen yhteys.

## 5.5.2 Puutavaran laatu

### Latvuksiin jäänyt ainespuu

Tarkastelun tulokset perustuvat Metsähallituksen laatuotantamenetelmällä kerättyyn aineistoon tutkimuskohteilta. Metsään jääneestä ainespuuosasta tarkasteltiin latvuksiin jäänyttä ainespuuta. Ensiharvennuskohteilla latvuksiin jääneen ainespuuosan pituutta tutkittiin systemaattisesti jokaiselta kuljettajalta 10 latvuksesta ja vastaavasti päätehakkuulta 20 latvuksesta (Taulukko 20) vii-

meiseltä hakkuukoelalalta. Päätehakuulla ainespuuta jäi latvukseen hieman harvemmin, mutta keskimäärin enemmän kuin ensiharvennuksilla. Erot kuljettajien välillä olivat suhteellisen pienet, eikä kukaan kuljettajista poikennut merkittävästi muista latvuksen ainespuumäärän suhteen etenkin ensiharvennuksella. Päätehakuulla kuljettaja F erottui kuljettajakeskiarvosta eniten, kun ainespuuta oli 85 %:ssa latvuksista latvuksen keskimääräisen ainespuupituuden ollessa noin 42 cm kuljettajakeskiarvoa suurempi. Kuljettajan B osalta latvukseen jääneen ainespuun pituutta ei mitattu harvennuksella B, sillä hakkuun aikana viimeisellä koelalalla toinen läpimitta-antureista vioittui.

**Taulukko 20.** Latvuksiin jääneen ainespuun keskimääräinen pituus sekä ainespuuta sisältäneiden latvusten lukumäärät.

Kuljettaja	Ainespuuta latvuksessa					
	Harvennus A		Harvennus B		Päätehakuu	
	Kyllä/Ei	Keskiarvo, cm	Kyllä/Ei	Keskiarvo, cm	Kyllä/Ei	Keskiarvo, cm
A	8/2	25,9	8/2	34,2	12/8	50,6
B	9/1	33,7	-	-	15/5	61,5
C	8/2	25,7	9/1	36,0	16/4	100,1
D	9/1	30,3	9/1	31,0	14/6	59,6
E	9/1	25,2	9/1	34,2	12/8	79,8
F	10/0	44,4	8/2	18,1	17/3	120,4
Keskiarvo		30,9		30,7		78,7

### Pölkkyjen mitta- ja laatuvaatimusten täytyminen

Kuljettajien katkomien pölkkyjen laadun tarkastelussa kuitupölkkyistä otettiin 30 kappaleen ja tukeista 20 kappaleen otos. Jos ensimmäisen kuljettajaotoksen joukosta löytyi yksikin raakiksi luokiteltava pölkky, niin tällöin kyseisen kuljettajan otoskoko kaksinkertaistettiin. Tutkimuksen otosaineistossa pölkyn dimensioiden alamittaisuus oli aina syynä pölkyn hylkäykseen. Ensiharvennuksella alamittaisia raakkipölkkyjä ilmeni latvaläpimitan suhteen enemmän kuin pituuden suhteen (Taulukko 21). Raakkipölkkyjä oli eniten kuljettajilla A ja F ja vähiten kuljettajalla E.

**Taulukko 21.** Raakkipölkkyjen määrät ensiharvennusten pölkkyotoksissa. Alamittaiset pölkkyt on jaettu sekä latvaläpimitasta että pituudesta alamitaksi jääneisiin luokkiin.

Kuljettaja	Harvennus A				Harvennus B			
	Otos, kpl	Alamittaiset pölkkyt, kpl			Otos, kpl	Alamittaiset pölkkyt, kpl		
		Latvaläpimitasta	Pituudesta, lpm<15cm	Pituudesta, lpm>15cm		Latvaläpimitasta	Pituudesta, lpm<15cm	Pituudesta, lpm>15cm
A	60	3	1	1	30	0	0	0
B	60	0	2	0	60	1	0	0
C	60	2	0	0	60	2	0	0
D	60	1	0	0	60	2	0	0
E	60	1	0	0	30	0	0	0
F	60	3	0	0	60	3	0	0

Päätehakuulla kuljettajien katkomat pölkkyt olivat laadultaan hyviä eikä raakkeja juurikaan ollut. Tukkupölkkyistä ei löytynyt raakkeja yhdeltäkään kuljettajalta. Kuitupölkkyistä ainoastaan kuljettajalla E oli yksi latvaläpimitaltaan alamittainen kuitupölkky ja kuljettajalla F oli kaksi pituudeltaan alamittaista kuitupölkkyä. Päätehakuukohteella samoista rungoista, joista tarkastetut tukki- ja kuitupölkkyt oli katkottu, tarkastettiin myös sitä, oliko tukkiosaa siirtynyt huomattavasti kui-

tuosaan. Kokonaisuudessaan tukkirunkojen apteeraus oli onnistunut hyvin kaikilla kuljettajilla. Vain kahdella kuljettajalla havaittiin molemmilla yksi kuitupuutavaralaji, jossa tukkikokoista rungonosaa oli huomattavasti mukana.

### Tukkiprosentit

Päätehakkuulla kuusi oli valtapuulaji. Kuljettajakoealoilta hakatut kuutiomäärät kuusen osalta vaihtelivat kuljettajan B 38,5 m<sup>3</sup>:stä kuljettajan E 73,5 m<sup>3</sup>:iin. Mäntyä oli vähiten kuljettajan F koealoilla (yhteensä 3,4 m<sup>3</sup>) ja eniten kuljettajalla A (9,8 m<sup>3</sup>). Koivua oli eniten kuljettajalla B (2,7 m<sup>3</sup>). Tukkiprosentit laskettiin muiden puulajien vähäisyyden vuoksi ainoastaan kuuselle (Taulukko 22). Kuljettajalla E oli korkein tukkiprosentti, vaikka hänen hakkuukoelalla keskirunkokoko oli vasta neljänneksi suurin.

**Taulukko 22.** Päätehakkuulta hakattujen kuusirunkojen keskitilavuudet sekä tukki- ja kuitusuudet kuljettajittain. Tukkiprosentti sisältää tukki- ja pikkutukkiosuudet.

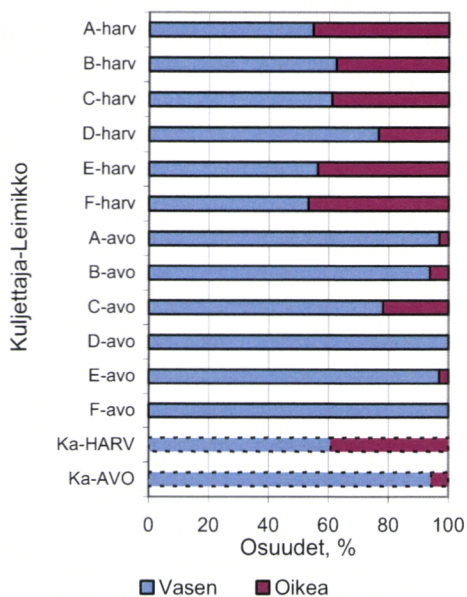
Kuljettaja	Keskitilavuus, m <sup>3</sup>	Tukki-%	Kuitu-%
A	0,604	79,9	20,1
B	0,410	77,0	23,0
C	0,643	75,0	25,0
D	0,411	77,1	22,9
E	0,596	85,3	14,7
F	0,683	74,6	25,4
Keskiarvo	0,558	78,1	21,9
Keskihajonta	0,118	4,0	4,0

### 5.5.3 Kuljettajien kasausjälki

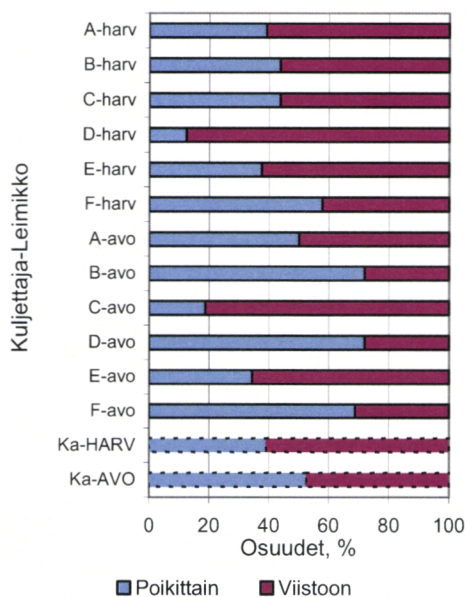
Tutkimuksen ensiharvennuskohteilla sekä päätehakkuukohteella tutkittiin kuljettajien puutavaralajien kasausjälkeä. Puutavaralajikasoista mitatut havainnot on esitetty ja kuvattu tarkemmin sivulla 24. Kasausjälkitarkastelussa molempien ensiharvennuskohteiden aineistot on yhdistetty, sillä kuljettajakohtaiset kasausjäljet säilyivät hyvin samankaltaisena molemmilla tutkimuskohteilla (Ala-Fossi ym. 2004a).

Ensiharvennuksella puutavaralajikasoja sijaitsi hieman enemmän ajouran vasemmalla kuin oikealla puolella (61 % vasemmalla) (Kuva 51). Kuljettajalla F kasat olivat tasaisesti ajouran molemmin puolin (53 % vasemmalla), kun taas kuljettajalla D puutavaralajikasoja oli selvästi enemmän ajouran vasemmalla kuin oikealla puolella (77 %). Päätehakkuulla puutavaralajien kasaus tapahtui lähes yksinomaan ajouran vasemmalle puolelle (93 %) (Kuva 51). Ainoastaan suurimmat tyvitukit tai vähemmistöpuutavaralajit saatettiin katkoa ja kasata ajouran oikealle puolelle. Kuljettajan C toteuttamassa viuhkahakkuumenetelmässä kasoja syntyy myös oikealle puolelle ajouraa.

Sekä ensiharvennuksella että erityisesti päätehakkuulla puutavaralajikasojen suunta ajouraan nähden vaihteli merkittävästi kuljettajittain (Kuva 52). Ensiharvennuksella kuljettajalla D vain 13 % tehdyistä kasoista suuntautui kohtisuoraan ajouralle päin, kun taas kuljettajalla F jo enemmistö kasoista oli tehty siten, että ne olivat kohtisuoraan ajouralle päin (58 %). Päätehakkuulla kuljettajakeskiarvona kasoista oli kohtisuoraan ajouraa päin oli hieman yli puolet (Kuva 52). Kuljettajilla B, D ja F noin 70 % kasoista oli kohtisuoraan ajouralle päin, kun taas kuljettajilla C ja E vastaavat arvot olivat 20 % ja 34 %.



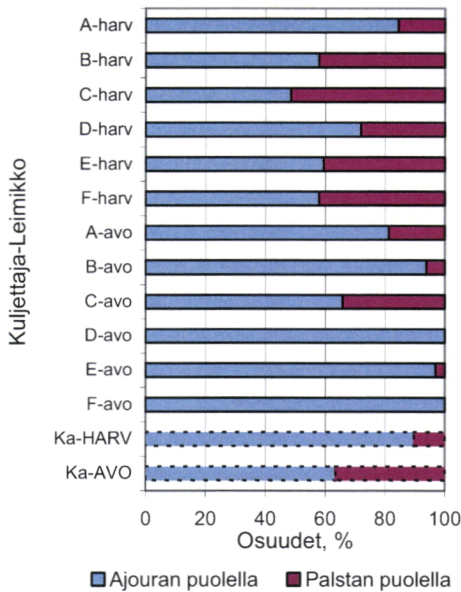
**Kuva 51.** Puutavaralajikasojen sijoittuminen ajouran eri puolille ensiharvennuksella ja päätehakkuulla.



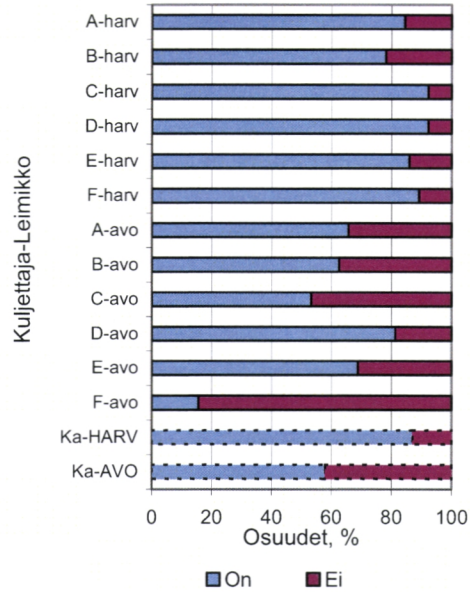
**Kuva 52.** Puutavaralajikasojen suunta ajouraan nähden ensiharvennuksella ja päätehakkuulla.

Puutavaralajikasoiista määritelty valtakatkontapuoli (ajouran puoli/palstan puoli) osoitti koko kasa-aineiston osalta kasojen katkontakohdan olleen ensiharvennuksella 63 % ja päätehakkuulla 90 % ajouran puolella (Kuva 53). Ensiharvennuksella kuljettajalla A kasojen katkontapuoli kohdistui pääosin ajouran puolelle (84 %), kun taas kuljettajalla C rungon katkontaa kasalla oli hieman enemmän palstan puolella (52 %). Havaittuja eroja selittää kuljettajien erot hakkuutekniikassa rungon kaadon ja siirron osalta; Kuljettaja A siirsi 34 % kaadetuista rungoista ajouran yli, kun vastaava arvo kuljettajalla C oli vain 10 %. Päätehakkuulla kuljettajan C käyttämä viuhkahakkuutekniikka näkyi muita poikkeavana tuloksena kasojen katkontakohtien suhteessa.

Metsäkuljetuksen kuormaukseen vaikuttavana kasaustekijänä tarkasteltiin puutavaralajien sijoittumista kasan pisimmän pölkyn pituuden rajaaman alueen sisäpuolelle. Ensiharvennuksella suurin osa kasoista oli sellaisia, joissa kasan pisimmän puun rajaaman alueen sisälle sijoittuivat muut kasan puutavaralajit (87 % kasoista) (Kuva 54). Vastaava arvo päätehakkuulla oli 58 %. Päätehakkuulla kuljettajien erot olivat ensiharvennusta suuremmat ja erityisesti kuljettajan F kasoista vain 16 % täytti edellä mainitun kriteerin.



**Kuva 53.** Puutavaralajikasojen pääkatkontakohdan puoli ajouraan nähden ensiharvennuksella ja päätehakuulla.



**Kuva 54.** Puutavaralajikasan pölkyn pisimmän pölkyn rajaaman alueen sisällä ensiharvennuksella ja päätehakuulla.

Taulukossa 23 on esitetty kuljettajakeskiarvoina muita kasainventoinnissa mitattuja ja laskettuja kasatietoja. Tuottavien kuljettajien C ja E kasat sijaitsivat muita kauempana ajourasta ensiharvennuksella, kun taas kuljettaja F kasasi molemmilla hakkuutavoilla kasat lähimmäksi ajouraa (Taulukko 23). Ensiharvennuksella hakkuukertymällä ( $m^3/100\text{ m}$ ) oli suora vaikutus puutavaralajikasojen tilavuuteen. Suurimman hakkuukertymän avustamana kuljettaja B teki muita suurempia kasoja ja vastaavasti kuljettajalla D oli pienin hakkuukertymä ja pienimmät kasat ensiharvennuksella. Päätehakuulla kuljettajalla E oli pienimmät puutavaralajikasat, vaikkakin hakkuukertymä ( $32,45\text{ m}^3/100\text{ m}$ ) oli muita kuljettajia suurempi.

**Taulukko 23.** Puutavaralajikasojen kuljettajakohtaisia keskiarvotietoja sekä ensiharvennukselta että päätehakuulta. Kunkin tekijän suurimmat ja pienimmät arvot lihavoitu.

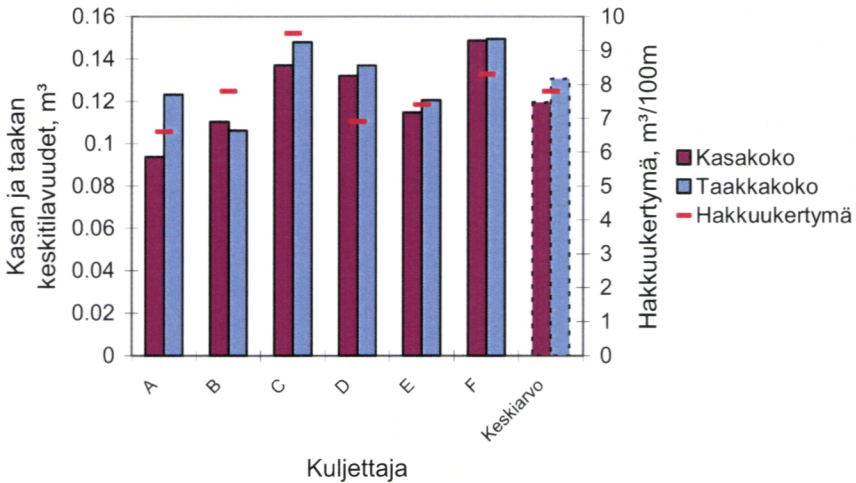
Harvennus	Etäisyys ajourasta, m	Etäisyys lähimpään kasaan, m	Kasan pölkkyjen lkm.	Kasan pölkkyjen keskilpm, cm	Hakkuukertymä, $m^3/100\text{ m}$	kasojen lkm/100m	kasan tilavuus, l
A kuljettaja	<b>4,08</b>	2,42	4,20	11,44	10,56	50	205,62
B kuljettaja	<b>4,78</b>	<b>2,66</b>	<b>4,75</b>	<b>12,31</b>	<b>12,55</b>	56	<b>222,62</b>
C kuljettaja	4,51	<b>2,06</b>	<b>2,89</b>	11,06	7,87	<b>58</b>	135,94
D kuljettaja	4,43	2,28	3,27	11,22	<b>6,06</b>	<b>45</b>	<b>135,09</b>
E kuljettaja	4,54	2,53	3,41	11,33	8,63	56	153,04
F kuljettaja	4,30	2,33	4,08	<b>10,84</b>	8,55	47	185,87
keskiarvo	4,44	2,38	3,77	11,37	9,04	52	173,03
<b>Päätehakuu</b>							
A kuljettaja	5,28	19,91	2,91	20,16	23,33	<b>41</b>	566,57
B kuljettaja	<b>6,01</b>	15,94	3,34	<b>18,28</b>	32,11	64	501,97
C kuljettaja	5,16	<b>22,72</b>	3,75	<b>23,28</b>	27,55	42	<b>656,03</b>
D kuljettaja	5,28	<b>12,03</b>	<b>3,81</b>	19,03	<b>22,67</b>	54	419,19
E kuljettaja	5,70	12,31	<b>2,38</b>	21,88	<b>32,45</b>	<b>81</b>	<b>400,68</b>
F kuljettaja	<b>4,98</b>	15,06	3,03	21,16	29,14	55	532,35
keskiarvo	5,40	16,33	3,20	20,63	27,87	56	512,80

### 5.5.4 Kasausjäljen vaikutus lähikuljetukseen

Tässä kappaleessa esitetään tiivistetysti MetSimu-hankkeessa toteutettu ”Hakkuukonetyön kasausjäljen vaikutus metsäkuljetukseen ensiharvennuksella” -tutkimuksen tuloksia (Väättäin ym. 2004). Jatkotutkimuksessa hakkuukoneenkuljettajat hakkasivat aikaisempia tutkimuksen ensiharvennuksia puuston pohjapinta-alaltaan tasaisemmassa metsikössä (ks. taulukko 8, sivu 26). Siten kasausjäljen erot kuljettajien välillä olivat enemmänkin kuljettajasta kuin puustosta riippuvia.

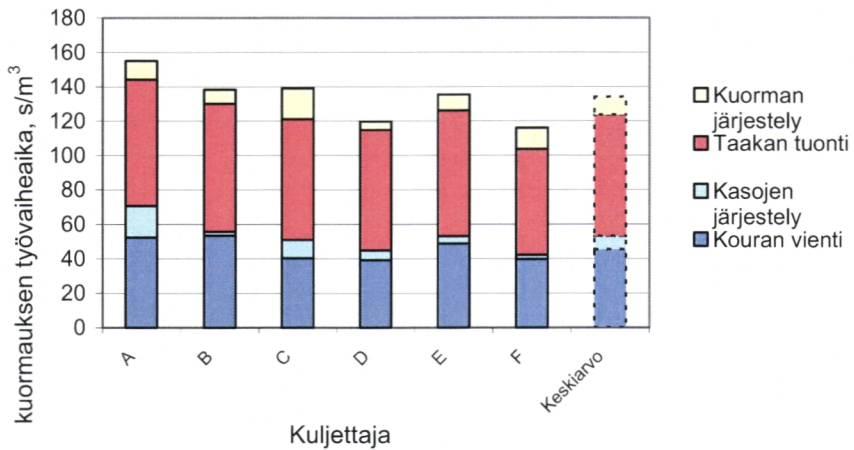
Hakkuupoistuma vaihteli suuresti kuljettajien välillä (taulukko 8, sivu 26). Kuljettajalla A poistumaprosentti pohjapinta-alasta oli pienin (27 %) ja kuljettajalla C suurin (44 %), vaikka kuljettajan C lähtöpuuston pohjapinta-ala (koealojenkeskiarvo) oli kuljettajaa A pienempi. Kuten aiemman tutkimuksen kasausjälkitarkastelussa havaittiin, hakkuupoistuman määrällä ( $\text{m}^3/\text{ha}$  tai  $\text{m}^3/100 \text{ m}$ ) osoittautui myös tässä tutkimuksessa olevan suora vaikutus kasan kokoon (Kuva 55). Kuljettaja A teki pienimmät kasat ja kuljettaja F suurimmat kasat. Kuljettaja F sekä myös kuljettaja D pyrkivät tekemään suuria kasoja, mikä myös ilmeni pienenä kasalukumääränä edettyä 100 metriä kohden. Myös työpistekohtaiseen kuormauskertymään vaikuttaa voimakkaasti puustopoistuma sekä hakkuukoneenkuljettajan työskentelytapa. Kuormauskertymä kuormauksen työpisteellä oli keskimäärin  $0,32 \text{ m}^3$ .

Tutkimuksen kasakoon ja taakkakoon yhteys on esitetty kuvassa 55. Keskimääräinen kasakoko tutkimuksessa oli  $0,12 \text{ m}^3$  ja taakkakoko oli hieman suurempi ( $0,13 \text{ m}^3$ ), joten joidenkin kuljettajien osalta kuormattiin useamman kuin yhden kasan taakkoja (erityisesti kuljettajan A osalta).



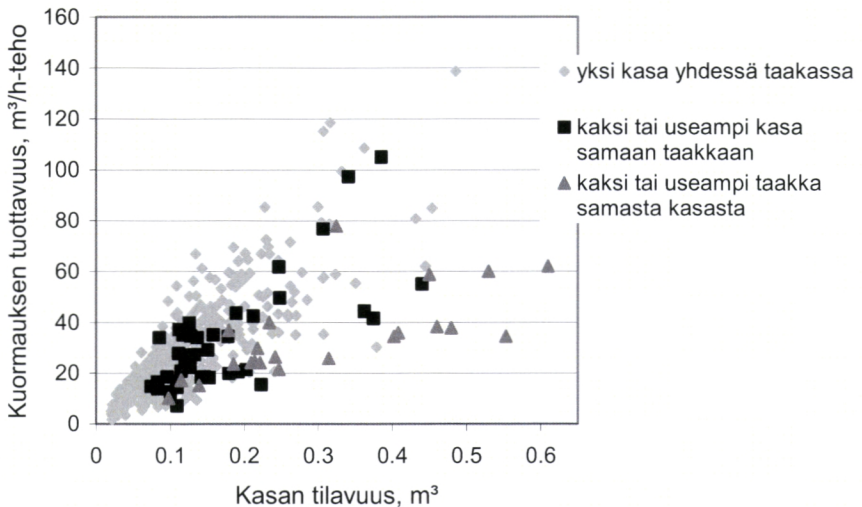
**Kuva 55.** Puutavaralajikasa- ja taakkakoot sekä hakkuukertymä  $\text{m}^3/100\text{m}$  kuljettajittain.

Kuormauksen aikatutkimusaineistosta määritettiin kuormauksen työvaiheajat kuljettajittain (Kuva 56). Yhden kuutiometrin kuormaukseen kului aikaa 134 sekuntia (kuljettajakeskiarvo). Aikaa vievin työvaihe kuormauksessa oli taakan tuonti kuormaan, joka vei keskimäärin 53 % kokonaisajasta. Pienen kasakoon takia kuljettajien A, B ja E kasojen kuormauksen kouran vientiaika kuutiometriä kohden oli muita noin 10 sekuntia suurempi. Kuljettajien A ja C kasojen kuormauksessa ilmeni muita enemmän kasojen ja kuorman järjestelyä. Ajanmenekkieroa selittävät kuljettaja A:n kasojen järjesteleminen yhteen taakkaan ja kuljettaja C:n kasojen epätasaisuus, joka havaittiin kasainventoinnissa (Väättäin ym. 2004).



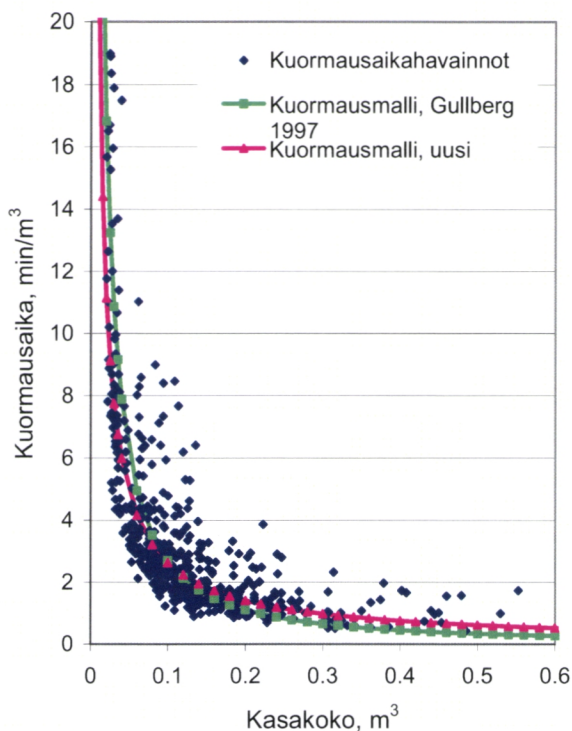
**Kuva 56.** Metsätraktorikuormauksen työvaiheiden ajanmenekit hakkuukonekuljettajittain.

Tutkimuksessa laaditussa kuormauksen tehotuntituottavuus-mallissa tuottavuutta selittivät tilavuus, taakkojen määrä kasasta, subjektiivinen ”kuormausvaikeus” -havainto sekä puutavaralaji (Liite 5). Yksin kasakoon luonnollinen logaritmi selitti 75 % tuottavuuden luonnollisesta logaritmista mallin koko selitysasteen ollessa 78 % (Väättäinen ym. 2004). Muilla mitatuilla kasatekijöillä, kuten esimerkiksi kasan etäisyydellä ajourasta, ei ollut tilastollista vaikutusta kuormauksen tuottavuuteen. Tutkimusaineiston mallinnuksessa käytetylle jokaiselle kasahavainnolle on kasan koon lisäksi määritetty kuormauksen tuottavuusarvo ( $m^3/h$ -teho) kuvassa 57.



**Kuva 57.** Kuormauksen tehotuntituottavuusarvot puutavaralajikasan tilavuuden funktiona.

Tutkimuksessa laadittu kuormauksen tuottavuusmalli vastasi hyvin Gullbergin (1997) laatimaa kuormausaikamallia (Kuva 58). Kasakokoalueella  $0,04 m^3 - 0,2 m^3$ , johon suurin osa kasakoko-havainnoista kohdistui, mallit poikkesivat toisistaan enintään 20 %.



**Kuva 58.** Tutkimuksen kuormausaikahavainnot sekä niistä laaditun uuden kuormausmallin ja Gullbergin (1997a) vastaavan mallin kuvaajat kasan koon funktiona.

### Mallilaskelma kasausjäljen vaikutuksesta metsäkuljetukseen

Kappaleessa esitetyn mallilaskelman perustana ovat sekä Kuiton ym. (1994) että Gullbergin (1997a,b) laatimat metsäkuljetuksen työvaiheittaiset ajanmenekkimallit. Laskelman perusoletuksena on, että ajouralta kuormataan kaikki puutavaralajit samalla ajokerralla ja kuljetetaan seka-kuormina tienvarsivarastoon. Laskelman vertailupareina tässä ovat kasan koolle ja kuormauksen työpistekoolle arvoparit  $0,1 \text{ m}^3/\text{kasa}$  ja  $0,25 \text{ m}^3/\text{työpiste}$  sekä  $0,15 \text{ m}^3/\text{kasa}$  ja  $0,375 \text{ m}^3/\text{työpiste}$ . Kunkin muuttujan lisäys arvopareissa on tässä tapauksessa 50 %, mikä vastasi likimain havaittua maksimieroja hakkuukoneenkuljettajien kasausjäljessä. Laskelman kaavojen muita parametreja on esitetty tarkemmin Väättäisen ym. (2004) tutkimuksessa.

Gullbergin (1997) kuormausmallin mukaisesti puutavaralajikasakoon kasvattaminen 50 % ( $0,1 \text{ m}^3$ :sta  $0,15 \text{ m}^3$ :iin) nopeuttaa kuormausta peräti 40 %. Vertailuksi tähän esimerkiksi vaikeasti kuormattavien kasojen lisäys 40 %:sta 80 %:iin lisäsi Gullbergin (1997) mallin mukaan 9 % kuormauksen ajanmenekkiä. Vastaava ajanmenekkilisäys oli myös useiden kasojen samanaikaisen kuormauksen kasvulla 10 %:sta 20 %:iin.

Kuormauksenaikaiseen ajoon vaikuttaa kuormattava puumäärä työpisteellä siten, että pienet työpistekertymät edellyttävät useampia siirtymisiä lisäten kuormauksen aloittamisen ja lopettamisen valmistelu- ts. apuaikaa. Työpistekohtaisen kuormauskertymän 50 %:n kasvu  $0,25 \text{ m}$ :stä  $0,375 \text{ m}$  :iin vähensi kuormausajoaikaa 7,7 % (Kuitto ym. 1994) tai 17,1 % (Gullberg 1997).

Kasakoon ja työpisteen kuormauskertymän muutoksen vaikutukset koko lähikuljetuksen ajanmenekkiin on laskettu kolmella eri metsäkuljetusmatkalla (150 m, 300 m ja 600 m) taulukkoon 24. Tapauksen mukaan kasakoon ja kuormauksen työpistekoon kasvattaminen 50 %:lla vähentää lähikuljetuksen ajanmenekkiä noin 21–22 %, kun metsäkuljetusmatka on 150 metriä. Vastaavasti 600 metrin metsäkuljetusmatkalla lähikuljetuksen ajanmenekki pienenee noin 15–16 %:lla.

**Taulukko 24.** Kasakoon ja työpisteen kuormauskertymän muutoksen vaikutukset metsäkuljetuksen kokonaisajanmenekkiin kuutiometrille eri metsäkuljetusmatkoilla. Työvaihemalleina käytetty joko Gullbergin (1997a,b) tai Kuiton ym. (1994) malleja keskikokoiselle metsätraktorille.

Metsäkuljetusmatka, m	Työvaiheiden ajanmenekit kuutiometrille (min/m <sup>3</sup> ) sekä %-osuudet											
	150				300				600			
Kasakoko, m <sup>3</sup>	0,1		0,15		0,1		0,15		0,1		0,15	
Työpisteen kuormauskertymä, m <sup>3</sup>	0,25		0,375		0,25		0,375		0,25		0,375	
Työvaiheet	min/m <sup>3</sup>	%	min/m <sup>3</sup>	%	min/m <sup>3</sup>	%	min/m <sup>3</sup>	%	min/m <sup>3</sup>	%	min/m <sup>3</sup>	%
Kuormaus (Gullberg)	2,66	51,1	1,60	39,0	2,66	44,9	1,60	33,2	2,66	37,0	1,60	26,3
Kuormauksen aikainen ajo (Kuitto)	0,69	13,2	0,64	15,6	0,69	11,6	0,64	13,3	0,69	9,6	0,64	10,5
Tyhjänä ja kuormattuna ajo (Kuitto)	1,01	19,4	1,01	24,6	1,73	29,2	1,73	35,9	2,99	41,6	2,99	49,2
Purkamisen (Kuitto) <sup>1</sup>	0,85	16,3	0,85	20,7	0,85	14,3	0,85	17,6	0,85	11,8	0,85	14,0
Kokonaisaika	5,21	100	4,10	100	5,93	100	4,82	100	7,19	100	6,08	100
Ero-%	- 21,3				- 18,7				- 15,4			
Vaihtoehtoinen tarkastelu:												
Kuormauksen aikainen ajo (Gullberg)	0,92	16,9	0,76	18,0	0,92	14,9	0,76	15,4	0,92	12,4	0,76	12,3
Kokonaisaika	5,44	100	4,22	100	6,16	100	4,94	100	7,42	100	6,20	100
Ero-%	- 22,4				- 19,8				- 16,4			

<sup>1</sup> Purkamiseen lisätty purkamisen apuaika 0,02 min/ m<sup>3</sup> ja purkamisajon aika 0,3 min/kuorma (Kuitto ym. 1994)

## 6. TULOSTEN TARKASTELUA

### 6.1 Tutkimusaineisto ja menetelmät

Hakkuuseen vaikuttavien olosuhdetekijöiden samankaltaistaminen mahdollisti hallitun ja yhtenäisen aineiston keruun helpottaen kuljettajien välisten erojen luotettavaa tutkimista. Jokaisen tutkimuskuljettajan hakkuutyöstä ja työvaiheista erottuivat kuljettajakohtaiset ajanmenekkitasot, jotka myös toistuivat koealojen ja leimikkojen välillä, mikä osoitti myös aineiston riittävyyden luotettavaan kuljettajavertailuun. Aineiston koko ei anna kuitenkaan pohjaa tulosten yleistämiseksi laajemmin koko hakkuutyölle yleisellä tasolla. Vaikka myös päätehakkuukohteella kuljettajilla havaittiin hakkuun aikana toistuvia piirteitä, päätehakkuuaineistosta laaditut kuljettajavertailut eivät ole niin luotettavia kuin ensiharvennuksen hakkuuaineistosta laaditut. Ensiharvennuksen runkoaineiston kuljettajakohtainen keskikoko oli 550 ainespuurunkoa, kun se päätehakkuulla oli 118 ainespuurunkoa.

Kaikki tutkimuskuljettajat olivat kokeneita hakkuutyön ammattilaisia, jotka olivat tutkimuksen aikana työsuhteessa lähialueilla toimiviin korjuuryityksiin. Kokemustasossa ilmenneellä vaihtelulla (hakkuukonetyön työvuodet ja hakkuutapojen suhteet) voidaan osaltaan selittää kuljettajien työsuoritusta harvennuksella ja päätehakkuulla (ks. taulukko 2, sivu 18). Tutkimuksen hakkuukonemalli oli jokaiselle kuljettajalle ennen kokematon, mutta käytännössä erot kuljettajien työsuuhdekoneisiin olivat pieniä ja toisaalta kaikille samat. Kuljettajat C ja F olivat tottuneet harvennushakkuilla pidempään kuormaimen kuin tutkimuskoneessa, mikä havaittiin tutkimuk-

nessa muutamina puiden hukkahakuina kuormaimen ääriulottuvuuksilta. Hallintalaitteet ja hakkuukoneen tietojärjestelmät olivat tuttuja ja niiden käyttöön oli jokaisella kuljettajalla kertynyt riittävästi kokemusta. Tutkimuksen hakkuukoneen suhteen tutkimustilanne oli siis hyvin samankaltainen jokaiselle kuljettajalle.

Tutkimuksen koehenkilöiden motivaatiolla sekä tutkimukseen suhtautumisella ja asennoitumisella on oma vaikutuksensa tutkimustuloksiin. Metsätyöntutkimuksessa on havaittu normaaliin hakkuutyötehtävään verrattuna tutkittavan korkeampi suoritustaso tutkimushetkellä. Tätä pyrittiin ennakkoon kontrolloimaan siten, että kuljettajia tiedotettiin tutkimuksen luonteesta ja erityisesti siitä, että tutkimukseen kuuluu kokonaisvaltaisen työjäljen ja laadun tarkastelu. Kuljettajien suhtautuminen ja asennoituminen tutkimukseen oli hyvä ja tutkimuksen luonne herätti kuljettajien kiinnostuksen itse tutkimukseen.

Tutkimusleimikot valikoitiin tarjolla olleista leimikkotietokannoista siten, että pinta-alaltaan tutkimuskriteerit täyttävistä leimikoista valittiin puulajisuhteiltaan, puuston kooltaan ja laadultaan sekä maastoltaan tasaisimmat kohteet. Valtimon alueella on tyypillistä leimikoiden heikompi puuston laatu verrattaessa esimerkiksi etelämpänä oleviin hakkuukohteisiin. Molemmissa mäntyvaltaisissa harvennusleimikoissa ilmeni tykkylumen vaurioittaneita monilatvaisia runkoja, joita esiintyi tasaisesti molemmilla harvennuskoelajoilla. Puuston koko ja puulajisuhteet vaihtelivat enemmän ensimmäisellä tutkimusleimikolla kuljettajien välillä. Erityisesti A ja B kuljettajilla puustopoistuma oli selvästi suurempi kuin muilla keskimäärin. Muilla leimikoilla puuston tiheys, koko ja puulajisuhteet olivat tasaisemmat.

Hakkuuolosuhteet sään ja valaistuksen osalta eivät poikenneet merkittävästi kuljettajittain ja leimikoittain. Tutkimuspäivän aikainen valaistuksen vaihtelu oli kaikille kuljettajille samankaltainen. Päätehakuulla puihin kertynyt lumi haittasi hakkuulaitteen asettelua rungon tyvelle siten, että hakkuulaitteella tarttumisen johdosta lumen putoaminen latvustosta aiheutti usein hetkellisen näköesteen rungon tyvelle. Tämä seikka lisäsi kaikkien kuljettajien osalta hakkuulaitteen viennin ja asettelun ajanmenekkiä.

Havaintoihin perustuvissa mittauksissa työntutkijalla ja mittauskokemuksella on merkittävä vaikutus mittauksarkkuuteen (Nuutinen ym. 2004). Sekä kelloaika- että työtekniikkatutkimuksessa mittaukset toteuttivat harjaantuneet työntutkijat, jotka olivat perehtyneet mittausten menetelmiin ja tallennuslaitteisiin perusteellisesti ennen varsinaista tutkimusta. Aiemmistä metsätyöntutkimuksista poiketen manuaalisessa aikatutkimuksessa mitattiin useita lyhytkestoisia työvaiheita, kuten esimerkiksi lyhyitä toiminnan välissä olevia taukoajoja ja peruutuksia. Havaintotarkkuuden rajana oli noin kaksi sekuntia kestäneet työvaiheet. Tätä aikaa lyhempiä työvaiheita tallennettiin vain harvoin. Koko aineistoa tarkastellen erot PlusCAN-aikatallennuksen ja manuaalisen kellotuksen päätyövaiheiden välillä olivat hyvin pienet ja siten aikahavaintoja voidaan pitää luotettavina (Väätäinen ym. 2003).

Työtekniikkamittauksissa havainnot perustuivat silmämääräisiin arvioihin. Erityisesti etäisyysarviot voivat erota todellisesta, mutta koko aineistoa tarkastellen mahdollinen virhearvio tulee kaikilla kuljettajilla samansuuntaiseksi ja -tasoiseksi, joten kuljettajien välinen vertailu on siltä osin luotettavaa. Vaikka havaintojen tallennus oli manuaalisissa tutkimusmenetelmissä mittaustajien keskuudessa ja hakkuutyön nopeudesta johtuen intensiivinen, yhtäjaksoisesti enintään tunnin kestäneen mittausrupeaman ajan havainnoijan keskittymiskyky pysyi hyvänä.

Kuljettajan hakkuunaikaisen katseenkohdistumis- ja havainnointitutkimuksen aineiston koko oli yhteensä 1392 runkoa (keskimäärin 190 runkoa/kuljettaja ensiharvennuksella ja 41 runkoa/kuljettaja päätehakuulla). Aineiston koko oli kuljettajavertailuun riittävä, eikä tilastollisesti merkitseviä eroja hakkuun työntutkimusaineistoista havaittu kypäräkameraa käytetyn hakkuun ja normaalin hakkuun (ilman kypäräkameraa) välillä. Kuljettajien käyttämien näkökenttää rajaavien

kehysten kautta avautuneessa näkymässä kuljettajan oli mahdollista tehdä pienimuotoista havainnointia sivuille ilman pään kääntämistä, mikä aiheutti tutkimukseen hieman epätarkkuutta, sillä vasta useampia metrejä siirtyvät katseen paikat tulivat kuvanauhalla ilmi pään kääntämisenä. Toisaalta ei ollut tarpeellista selvittää kuin lähtökohtaisesta katseen kohdistumapaikasta (hakkuulaite ja sen lähiympäristö) poikkeavat havainnoinnit.

Hakuttujen puutavaralajien laatuotannassa otoksen koko oli pienehkö luotettavaan kuljettajavertailuun. Kuitenkin suuntaa-antavasti voidaan todeta kuljettajien toteuttavan laadukasta puutavaralajien katkontaa eikä tässä aineistossa kuljettajien välillä ilmennyt merkitseviä eroja.

Kuljettajien puutavaralajien kasausjäljen vaikutusta kuormaukseen ja lähikuljetukseen tarkasteltaessa voitiin luotettavasti osoittaa kasausjäljen eri tekijöiden vaikutuksia lähikuljetukseen, vaikka aineisto oli kooltaan pienehkö (690 puutavaralajikasaa). Silti kuormaustutkimuksen tulokset olivat hyvin samankaltaisia aikaisempien metsätraktorin kuormaustutkimusten kanssa (vrt. Gullberg 1997a, STORA 1989). Koska tutkimuskohteen kuljettajakoalojen puusto oli hyvin samankaltaista ja lähikuljetuksen toteutti sama metsätraktorin kuljettaja, kuormauksessa ilmenneet erot kuljettajien välillä voitiin todeta olevan hakkuukoneenkuljettajan työn jäljestä johtuvia (Väätäinen ym. 2004).

Tilastollisista menetelmistä keskitunnusten laskennan lisäksi käytettiin sekä kovarianssi- että regressioanalyysiä. Tutkimuksen keskikokoisella (sekä harvennukselle että päätehakkuulle erikseen) ainespuurungolla korjatut kuljettajakohtaiset keskiarvoajanmenekit suhteutettiin aina kuljettajakeskiarvoon, jolloin pylväskaavioista kuljettajien ja kuljettajakeskiarvon välillä voi helposti tehdä vertailua. Vaikka leimikko-olosuhteet oli pyritty järjestelemään mahdollisimman samankaltaiseksi kuljettajittain, ilmeni kuljettajakohtaisia eroavuuksia koealaolosuhteissa. Kovarianssianalyysiä käyttämällä saatiin tasoitettua taustatekijöiden eli kovariaattien vaikutusta tarkasteltaviin muuttujiin ottamalla huomioon kovariaattien niihin aiheuttama vaihtelu. Liitteessä esitettyjen päätyövaiheiden ja tehotyön ajanmenekkien regressiomallit osoittavat mallien tilastollisesti merkitsevät selittävät muuttujat sekä niiden vaikutuksen hakkuutavoittain koko aineistossa.

Tässä raportissa ei vertailtu kuljettajien rungon puutavaralajikatkonnan eroja, missä tarkastelu apterausehdotuksen ja toteutuneen katkonnan välillä olisi ollut kiinnostavaa. Myöskään kuljettajien motoristisia kykyjä ei testattu erillisellä menetelmällä, vaikkakin PlusCAN-tallentimen keräämä tieto kuormaimen käytöstä antaa vastauksia kuljettajan kuormaimen hallintataidoista, ja siten motoriikasta.

Kokeneen kuljettajan hiljainen tieto osoittautui laaja-alaiseksi ja vaihtelevaksi eikä tällä tutkimusrajauksella voitu jäsentää ja analysoida kuin vain osa hakkuukoneen kuljettajan sisäistämstä hiljaisesta tiedosta.

## 6.2 Tulosten vertailua aiempiin tutkimuksiin

Hakkuukonetyöhön liittyviä työntutkimustuloksia vertailtaessa keskenään on huomioitava eri tutkimuksissa vallinneet olosuhdetekijät (maasto, puusto, hakkuutapa, sääolosuhteet, kuljettaja, kone yms.) ja niiden vaikutukset tuloksiin. Lisäksi tässä tutkimuksessa hakkuun työvaiheiden jaottelu ja niiden rajaukset poikkesivat hieman aiempien tutkimusten työvaiherajauksista. Kappaleessa tuloksia on tarkasteltu pääosin harvennushakkuun osalta, sillä tutkimuksen harvennusaineisto oli kattavampi kuin päätehakkuuaineisto ja tuoreimmat hakkuututkimukset on tehty harvennuskohteilla.

Sirénin (1998) tutkimuksessa kuljettajien (4 kuljettajaa) välinen ero oli suurimmillaan 46 % verrattaessa rungon kokonaisajanmenekin korjattuja keskiarvoja kuljettajittain. Ryynäsen ja

Rönkön (2001) tutkimuksessa kuljettajien tuottavuuserot vaihtelivat ajouramenetelmällä kuljettajittain (5 kuljettajaa) ja koneittain 2 – 40 % samankokoisella rungolla ensiharvennusleimikoissa. Kariniemen (2003) tutkimuksessa kahden ammattikuljettajan välinen tuottavuusero oli 34 %. Tässä tutkimuksessa kuljettajien välinen runkokohtainen tehoajanmenekkiero oli suurimmillaan 39 % ensiharvennuksella ja 23 % päätehakuulla korjatuissa keskiarvoissa.

Ryynäsen ja Rönkön (2001) tutkimuksessa tehotyöaika ensiharvennuksessa ajouramenetelmällä hakatessa jakautui käytetystä koneesta riippuen eri tekijöihin seuraavasti; siirtyminen 20 – 24 %, yhdistetty hakkuulaitteen vienti ja kaato 40 – 44 %, prosessointi 25 – 31 % sekä raivaus 0 – 3 % ja muu apuaika 0,1 – 3,3 %. Sirénin (1998) pääosin toisen vaiheen harvennuksista koostuvassa tutkimuksessa tehoaika jakautui koko aineistossa siirtymiseen 13 %, hakkuulaitteen vientiin ja kaatoon 32 %, prosessointiin 44 %, raivaukseen 8 % ja muuhun apu aikaan 3 %. Vastaavat kuljettajakeskiarvot tässä tutkimuksessa olivat siirtyminen 11 %, vienti ja kaato 45 %, prosessointi 27 %, raivaus 8 % ja muu apuaika 9 %. Tutkimusten välisiä tehoajan työvaiheiden rakenne-eroja selittää pääosin erot hakkuukohteiden ominaisuuksissa ja hakkuuolosuhteissa.

Sirénin (1998) tutkimuksen regressiomallissa tehotyöajanmenekkiin vaikuttavia tekijöitä olivat rungon koon, kuljettajan ja puulajin lisäksi muun muassa rungon käsittelypuoli sekä ottoetäisyys. Vastaavasti tässä tutkimuksessa selittävät tekijät olivat samoja rungon käsittelypuolta lukuun ottamatta rungon kaadon jälkeisen vetomatkan ollessa edellisten lisäksi tilastollisesti merkitsevä selittäjä. Sirénin (1998) laatiman tehoajanmenekkimallin kokonais selitysaste oli 59,1 %, kun taas esim. Tuftsin (1997) tutkimuksen tehoaikaa selittävässä mallissa vastaava luku oli 61,1 % ja tässä tutkimuksessa luku oli ensiharvennuksella 56,3 %.

Käsiteltävän puun koolla on osoittautunut olevan vain vähäistä vaikutusta hakkuulaitteen viennin ja rungon kaadon yhteisaikaan harvennushakkuilla (Kuitto ym. 1994, Sirén 1998, Ryynänen ja Rönkkö 2001). Sirénin (1998) laatimissa regressiomalleissa puun käyttöosan tilavuus selitti 6,5 – 9 % vienti- ja kaatoajan vaihtelusta. Tämän tutkimuksen kuljettajakohtaisissa kaadon regressiomalleissa rungon tilavuus selitti keskimäärin vain 3 % rungon kaadon ajanmenekkiä ensiharvennuksella. Suuremmilla rungoilla mallien selitysasteet kasvavat, kuten tutkimuksen päätehakkumalleissa (hakkuulaitteen vienti 8 %, rungon kaato ja siirto 29 %).

Puun ottoetäisyyden kasvulla ajouraan nähden on todettu olevan samansuuntainen vaikutus vienti- ja kaatoaikaan (Ryynänen 1994, Sirén 1998, Ryynänen ja Rönkkö 2001). Kuten tässä tutkimuksessa, myös Sirénin (1998) laatiman työvaihemallin mukaan metrin lisäys puun etäisyydessä lisäsi viennin ja kaadon ajanmenekkiä keskimäärin 0,3 sekuntia, kun taas Ryynäsen ja Rönkön malleissa vastaava vaikutus oli noin 0,9 sekuntia. Rungon kaato ja siirto-mallissa puun etäisyydellä ajourasta ei ollut tilastollisesti merkitsevää vaikutusta.

Sirénin (1998) hakkuulaitteen viennin ja rungon kaadon ajanmenekin regressiomallissa ajouralta otto vei keskimäärin noin 1,8 sekuntia ja viistosti ajouran sivulta noin 0,6 sekuntia vähemmän aikaa kuin kohtisuoraan ajouran sivulta otetuilta rungoilta. Tässä tutkimuksessa tulokset olivat samansuuntaisia ja vastaavat arvot olivat pelkälle hakkuulaitteen viennin ajanmenekille 0,5 ja 0,8 sekuntia pienempiä kuin kohtisuoraan ajouran sivulta otetuilta rungoilta. Rungon kaadon ajanmenekille laaditussa regressiomallissa työtekniikkahavainnoista tilastollisesti selittävänä tekijöinä ensiharvennuksella oli rungon vienti uran yli ja päätehakuulla kaatosuunta. Sekä Sirénin (1998) tutkimuksessa kuin myös tässä tutkimuksessa havaittiin, että vienti ja kaatoaika koivun osalta oli pienempi kuin muilla puulajeilla. Tuftsin (1997) hakkuukonetutkimuksessa hakkuulaitteen viennin ja rungon kaadon ajanmenekkiä selittivät puun läpimitta, ottoetäisyys ja ottokulma.

Rungon koon on todettu selittävän voimakkaasti rungon prosessointiaikaa. Sirénin (1998) tutkimuksessa pelkästään rungon koko selitti koko aineistosta 45 % ja Ryynäsen ja Rönkön (2001)

tutkimuksessa vastaava arvo oli 33 %, kun tässä tutkimuksessa vastaava arvo oli 52 % ensiharvennuksella ja 73 % päätehakkuulla. Muita prosessointiaikaa selittäviä tekijöitä on todettu olevan rungon koon lisäksi rungosta tehtävien pölkkyjen lukumäärä, ottoetäisyys, ottokulma ja kaukallisen osan pituus (Tufts 1997).

Kuljettajan vaikutus prosessointiaikaan on todettu merkittäväksi (Sirén 1998, Ryyänen ja Rönkkö 2001). Sirén (1998) havaitsi myös rungon siirron vaikuttavan prosessointiaikaan; Uran yli tuotujen runkojen prosessointiaika kesti keskimäärin yli kolme sekuntia kauemmin kuin otto-puolella uraa käsitellyillä rungoilla. Mitatuista työteknisistä havainnoista vain rungon käsittelykohdalla oli tilastollista merkitystä tässä tutkimuksessa. Ensiharvennuksella rungon karsinta ja katkonta ajouran puolella oli keskimäärin noin 0,5 sekuntia nopeampaa kuin palstan puolella vastaavan eron ollessa vielä suurempi päätehakkuulla (2,5 sekuntia).

Aiemmissä harvennustutkimuksissa keskimääräiset hakkuukoneen siirtymisnopeudet ovat olleet hyvin samantasoisia. Esimerkiksi Kuiton ym. (1994) sekä Sirénin (1998) tutkimuksissa siirtymisnopeus oli noin 13 m/min ja Ryyänen ja Rönkön (2001) tutkimuksessa siirtymisnopeus vaihteli konemerkestä ja kuljettajasta riippuen 10,9 – 13,6 m/min välillä. Tässä tutkimuksessa siirtymisnopeudet olivat selvästi suuremmat (kuljettajakeskiarvo 16,8 m/min). Kuljettajan ja hakkuun olosuhdetekijöiden lisäksi tätä eroa voidaan osaltaan selittää myös tutkimusten erilaisilla siirtymisten määritelmillä. Tässä tutkimuksessa siirtyminen tallennettiin, jos etenemä ajamattomalle ajouralle oli vähintään 0,5 metriä, kun taas esim. Sirénin (1998) tutkimuksessa siirtymä tallennettiin sen ollessa vähintään kaksi metriä.

Hakkuunaikaista hakkuulaitteen liikemäärää on tutkinut Sirén (1998) ja todennut runkokohotaiseen tehollisen liiketyön määrään (metriä/runko) vaikuttavan merkittävimmin kuljettaja ja se, vietiinkö kaadettu runko käsiteltäväksi uran toiselle puolelle. Kuten Sirénin (1998) niin myös tämän tutkimuksen perusteella tuottavimmat kuljettajat siirsivät käsiteltävää runkoa muita kuljettajia vähemmän ajouran yli.

Kariniemi (2003) tutki tätä tutkimusta vastaavalla mittaustekniikalla myös kuormainliikkeitä hakkuunaikana. Ammattikuljettajilla käytetyimmät kuormainliikkeet olivat nosto (24 %), kääntö (23 %) ja taitto (23 %) ja yhtäaikaisesti kolme kuormainliikettä käytettiin eniten (26 %). Kuten Kariniemen (2003) tutkimuksessa, myös tässäkin tutkimuksessa tehokkain kuljettaja osasi käyttää yhtäaikaisesti useita kuormainliikkeitä, kuten esim. vähintään viittä liikettä yli 20 % kuormaimen kokonaistehoajasta. Myös Laamanen (2004) totesi hakkuukonesimulaattorilla tehdyssä tutkimuksessa useammalla yhtäaikaisella kuormainliikkeen osuudella olevan positiivinen vaikutus tuottavuuteen. Gellerstedin (2002) tutkimuksessa ammattikuljettajalla harvennuksella käytetyimmät kuormainliikkeet olivat kääntö, taitto ja nosto liikeaikojen ollessa esitetyssä järjestyksessä. Kirjan tulokset kuljettajakohtaisista kuormaimen liikkeistä olivat miltei identtisiä, kun samat kuljettajat toteuttivat hakkuukonesimulaattorilla harvennushakkuuta (Ovaskainen 2005).

Gellerstedt (2002) havaitsi tutkimuksessaan hakkuukoneenkuljettajan käsittelevän hallintalaitteita noin 88 % työajasta harvennushakkuulla vastaavan arvon ollessa Nåbon (1990) tutkimuksessa 90–100 %. Tässä tutkimuksessa ensiharvennuksella kuormaimen liikeaikojen osuus tehoajasta oli keskimäärin noin 89 % vaihdellen kuljettajittain 82 %:sta 95 %:iin päätehakkuun vastaavien arvojen ollessa 1–2 % suurempia.

Hakkuukoneen kuljettajan hakkuunaikaiseen havainnointitutkimukseen verrattavaa tutkimusta kuljettajan pään liikkeistä on tehty myös aiemmin (Nåbo 1990). Tutkimusmenetelmien erilaisuudesta huolimatta sekä Nåbon (1990) että tässä tutkimuksessa havaitaan samansuuntaisia tuloksia. Tulosten perusteella Nåbo (1990) jaotteli kuljettajan päänliikkeet harvennushakkuulla karkeasti kahteen osaan; päänliikkeet työpistevalinnan ja työpisteen työnsuunnittelun aikana sekä päänliikkeet kuormain- ja hakkuulaitetoimintojen aikana. Edellisessä jaottelussa kuljettajan päänliik-

keitä on paljon ja liikkeet ovat nopeita, ja jälkimmäisessä päänliikkeitä ilmenee vain vähän, liikkeet ovat hitaita pään suunnan kohdistuessa hakkuulaitteeseen. Vastaavasti tässä tutkimuksessa hakkuulaitteen viennin, rungon kaadon sekä prosessoinnin aikana kuljettajan katse oli kohdistunut 70–95 % hakkuulaitteeseen tai aivan sen lähialueelle. Toisaalta siirtymisen aikana, jolloin työpistevalintaa ja hakkuun suunnittelua tapahtuu paljon, havainnointikertoja ilmeni työvaiheista eniten ja katse oli kohdistuneena 50–85 % työajasta muualle kuin hakkuulaitteeseen ja sen lähialueelle.

Kuljettajien hakkuukoealoille tehdyn korjuujälki-inventointitulosten perusteella voidaan todeta, että kuljettajien korjuujälki oli kaikilla laadukasta ja täytti kaikkien kuljettajien osalta hyvän korjuujäljen suositukset (Luonnonläheinen metsänhoito 1994, Harvennushakkuut 1999). Keskimääräinen harvennusvoimakkuus puuston pohjapinta-alasta vaihteli kuljettajittain 30 %:sta 40 %:iin ensiharvennuskohteilla, mikä vastaa hyvin ensiharvennuskohteille asetettuja harvennus-suosituksia (Luonnonläheinen metsänhoito 1994, Harvennushakkuut 1999). Muita kuljettajia enemmän harvennushakkuuta toteuttaneiden kuljettajien C, E ja F harvennusvoimakkuus ajouravyöhykkeellä oli muita vähäisempi, ja siten ajourasta muodostuvan kasvutilan huomiointi oli parempaa (Bucht 1981 ja Isomäki 1986). Kuten Sirénin (1998), niin myös tässäkin tutkimuksessa raivattujen runkojen määrä laski ajouralta pois päin siirryttäessä, joten raivausta tehtiin vain sen verran kuin työtilan ja näkyvyyden parantamiseksi vaadittiin (Sirén 1998).

Ajourien väliksi suositellaan yli 20 m ja uraleveydeksi 4 m (Luonnonläheinen metsänhoito 1994). Esimerkiksi Sirénin (1998) tutkimuksessa keskimääräinen uraväli oli 19,8 m ja uraleveys oli 4,76 m vastaavien arvojen ollessa tässä tutkimuksessa 20 m ja 4,50 m. Kuljettajakeskiarvona vaurioituneiden puiden osuudeksi ainespuista saatiin 1,9 % kaikkien kuljettajien vauriokeskiarvon jäädessä alle 4 %:n. Koneellisissa harvennustutkimuksista, joissa on käytetty vastaavaa Sirénin (1998) korjuujälkimenetelmää, esimerkiksi Sirénin (1998) tutkimuksessa keskimääräinen vaurioprosentti oli 3,4 % ja Sirénin ja Tantun (2001) tutkimuksessa 3,6 %. Jälkimmäisessä kuin myös tässä tutkimuksessa korjuujälkimittaukset toteutettiin lähikuljetuksen jälkeen. Vuosien 1998 – 2000 aikana Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion koneellisen harvennushakkuun kohteilta mitattu korjuuvaurioprosentti vaihteli 2,2 %:sta 3 %:iin (Ranta 2001).

Muihin tutkimuksiin verraten (Sirén 1998, Sirén ja Tanttu 2001, Sirén 2003) tässä tutkimuksessa oli aivan samankaltaisia tuloksia korjuuvaurioiden syistä ja sijainnista; pääosa korjuuvaurioista sijoittui ajouran läheisyyteen ja suurin korjuuvaurioita aiheuttanut tekijä oli käsiteltävän puun tekemät korjuuvauriot rungon kaadon ja prosessoinnin aikana.

Hakkuukoneenkuljettajien tekemien puutavaralajikasojen kuormauksesta tehdyn tutkimuksen kuormauksen tuottavuusmallia voitiin suoraan verrata Gullbergin (1997) ja tarkastella Kuiton (1994) ja Tuftsin (1997) kuormauksen ajanmenekkimalleihin. Tärkeimmät mallia selittävät tekijät ja selittävyudet olivat samankaltaisia. Kasan koko osoittautui selvästi merkittävimmäksi tekijäksi selittämään kuormauksen tuottavuutta tässäkin tutkimuksessa. Kasakoolla ja taakkakoolla osoittautui olevan voimakas yhteys. Useiden pienten kasojen yhdistämisellä samaan taakkaan voidaan parantaa kuormauksen tuottavuutta vastaavien kasojen kasakohtaiseen kuormaukseen verrattuna (Gullberg 1997).

Kuormauksen ajanmenekkiin vaikuttavia tekijöitä on todettu olevan kasan koon lisäksi kasan etäisyys ajourasta, kasan muoto, kuormausolosuhteet (pystypuut), kuormaimen ja koneen ominaisuudet, kouran poikkipinta-ala sekä kuljettaja-kone yhdysvaikutus (Gullberg 1997a). Työpisteessä kuluvaan kuormausaikaan vaikuttavat lisäksi työpistekertymä, kuormattava puutavaralaji, hakkuutapa, hakkuumenetelmä (manuaalinen–koneellinen) ja vuodenaika (Kuitto ym. 1994). Tutkimuksessamme yhtä kuormataakkaa suuremmat kasat heikensivät hieman kuormauksen tuottavuutta suuriin, yhden taakkakoon kasoihin verrattuna. Kahden tai useamman taakkakoon

kasoissa usein viimeinen kuormataakka jää vajaaksi, joka vaikuttaa siten heikentävästi tuottavuuteen (Gullberg 1997a). Kasan etäisyydellä ajourasta ei ollut tilastollista merkitsevyyttä kuormauksen ajanmenekkiin vaikkakin kuljettajakohtaisilla kasaetäisyyksillä ajourasta ilmeni eroja (Väättäinen ym. 2004). Tämä johtunee siitä, että kauempanakin olleet kasat olivat helposti kuormattavia kasoja, joille kuormaimen nostovoima oli riittävä. Myös Tufts (1997) on todennut tutkimuksessaan, ettei kasan etäisyydellä ajourasta ollut vaikutusta kuormauksen ajanmenekkiin.

## 6.3 Päätelmät

Päätelmissä on tuotu esille hakkuukoneenkuljettajan työprosessin aikaista hiljaista tietoa työpistetasolla. Ensimmäisessä kappaleessa on tutkimuksen tulosten turvin pohdittu ja päätelty sujuvaa ja tehokasta hakkuutyön työvaiheittaista etenemistä, missä huomioidaan myös hakkuun laatutekijöitä ja koneen kuormitusta. Päätelmissä korostuu usein toimintatapoja, jotka olivat rinnastettavissa kuljettajaan E. Kuljettajajoukosta erottui lähes jokaisella hakkuun osa-alueella kuljettaja E, joka edusti huippuosaamista. Hänellä hakkuun tuottavuus oli merkittävästi muita kuljettajia suurempi silti hakkuutyön laatutekijöiden säilyessä kuljettajakeskiarvon tasolla tai hieman niitä parempana. Toisessa kappaleessa arvioidaan eri tekijöiden vaikutuksia tutkimuksessa todettuihin kuljettajaeroihin ja jäsennetään kokeneen hakkuukoneenkuljettajan hiljaisen tiedon lähteitä. Kappaleessa esitetään myös kokeneen kuljettajan hakkuutyön piirteitä ja ominaisuuksia miten kokeneen kuljettajan hiljainen tieto ilmenee.

### 6.3.1 Havaintoja hiljaisesta tiedosta hakkuun työpistetasolla

#### **Siirtyminen, koneen sijoittaminen työpisteelle ja työpisteen koko**

Hakkuunaikaista havainnointia (havainnointikertoina) ilmeni eniten siirtymisen aikana. Erityisesti ensiharvennuksella siirtymisen aikainen havainnointi kohdistui pääosin puuston tarkkailuun; poistettavien puiden ja siten sopivan työpistepaikan valintaan. Tuottavat kuljettajat välttivät peruutuksia ja siirtyivät nopeasti valmistetulta työpisteeltä uuteen työpisteeseen. Lisäksi tuottavat kuljettajat valikoivat työpistepaikaksi kohdan, josta sai poistettua mahdollisimman monta poistettavaksi suunniteltua puuta tai joka oli prosessin sujuvuuden kannalta perustellusti rajattu.

Työpistesiiirtymät vaihtelivat kuitenkin tilanteen mukaan kuljettajien huomioidessa tulevalle työpisteellä hakkuukoneen rasiutusta, sujuvaa käyttöä, koneen tasapainottamista (vaaitusta) ajouralle, poistettavien puiden määrää ja kokoa. Esimerkiksi Rannan ym. (2004) mukaan hakkuukoneen sijoittaminen ajouralle stabiiliin asemaan mahdollisimman vaakatasoon parantaa kuormaimen käytettävyyttä sekä vaikuttaa kuljettajan työmuovuuteen ja ergonomiaan.

Syyt kuljettajien välisiin työpistetotetuseroihin voidaan selittää kuljettajien erilaisilla työpisteen käsittelytavoilla. Kuljettajat, jotka peruuttivat vähän ja eteenpäin siirtymät olivat nopeita, valitsivat ja poistivat työpisteeltä runkoja työpistenäkemän perusteella siten, että työpiste tulisi käsiteltyä kerralla mahdollisimman valmiiksi, eikä niin sanottuja paikkailuja ja peruutuksia tarvinnut tehdä. Toimintatapa edellyttää hyvää suunnittelua ja ennakoitua jo koneen sijoittamisesta työpisteelle kohtaan, josta on mahdollista käsitellä joutuisasti korjuun laatua huomioiden poistettavaksi suunnitellut puut. Kuljettajat myös luottivat viimeistelyyn työpistejälkeen näkemänsä perusteella ja siirtymisen aikana keskittyivät uuden työpisteen ja sijaintipaikan määrittämiseen sekä uuden työpistenäkymän hahmottamiseen.

Erityisesti harvennushakkuulla kokemuksen määrä vaikuttaa olennaisesti oman työnjäljen seurantaan ja sen hyväksyntään, mihin myös kuljettajien luonne-erot vaikuttavat. Täydellisyyteen pyrkivä, korjuu- ja kasausjälkeä painottava kuljettaja käyttää aikaa enemmän työnjäljen varmistamiseen ja viimeistelemiseen työpisteen käsittelyssä. Siirryttäessä uudelle työpisteelle, edellistä työpistettä voidaan palata korjaamaan, kun sitä tarkastellaan uusista näkökulmista. Tosin harvennuskohdeilla hakkuussa tämä on aivan yleistä, sillä näkyvyys ja näkökulma yhdestä katsepisteestä on usein rajallinen ja puutteellinen erityisesti valittaessa poistettavia puita.

Gellerstedtin (2002) mukaan hakkuukoneen hyvä sijoittaminen uudelle työpisteelle vaatii useiden vuosien työssäoppimisen. Kuljettajalla on oltava hyvä käsitys puuston tiheyden, harvennusvoimakkuuden, kuormaimen ulottuvuuden ja koneen kapasiteetin vaikutuksesta työpistevalintaan ja -kokoon.

### **Puun valinta ja hakkuulaitteen vienti**

Muista poiketen tuottavat kuljettajat toteuttivat seuraavaksi poistettavan puun valintaa aiemmissa työvaiheissa jo ennen hakkuulaitteen viennin alkamista. Esimerkiksi kuljettajat C ja E valitsivat seuraavaa poistettavaa puuta usein jo edellisen rungon prosessoinnin loppuvaiheessa. Poistettavan puun havainnoinnin ja valinnan lisäksi kokenut kuljettaja luo havainnoissaan käsitystä muun muassa työpisteen rajauksesta, käsittelyalueista, poistettavien runkojen ryhmistä, kasojen sijainnista, kaatosuunnista, näkyvyydestä, ajourasta, maastovaikeustekijöistä sekä useista toimintaa rajoittavista tekijöistä (Ranta ym. 2004).

Hakkuulaitteen vientiin ja asettelu aikaan vaikuttavia kuljettajasta riippumattomia tekijöitä ovat muun muassa rungon koko, työpisteellä olevien puiden määrä, niiden sijainti ja etäisyys hakkuukoneesta sekä aliskasvuston määrä. Koska puustotekijävaikutukset oli tasoitettu tulosvertailussa kuljettajien välillä, ajanmenekki erot johtuivat kuljettajien toimintaeroista, kuten työtekniikasta, poistettavan puun valinnan nopeudesta, hallintalaitteiden käytöstä sekä peruskoneen että kuormaimen liikenopeudesta.

Tuottavia kuljettajia yhdisti työtekniinen tapa, jossa kuljettajat veivät hakkuulaitteen tietyille vientisektoreille ja poistivat samalta sektorilta useita puita (Ovaskainen ym. 2004). Tällä työtekniisellä tavalla keskimääräinen vientimatka seuraavalle poistettavalle puulle oli muita kuljettajia lyhyempi harvennusjäljen ollessa silti tasainen. Kyseinen työtekniikka mahdollistaa myös lähellä olevien puiden valinnan esimerkiksi juuri prosessoinnin lopulla ilman suurempaa havainnointia. Työpisteen sektorijattelu vähentänee työmuistin rasittumista, koska havainnointi ja operointi suunnitellaan pienemmälle alueelle kerrallaan. Hakkuulaitteen tulevaan vientimatkiaan vaikuttaa myös rungon kaadon suuntauksessa ja prosessointipaikan valinnassa, jolloin rungon prosessointipaikka ohjaa myös seuraavien puiden valintajärjestystä ja tulevia kasan paikkoja. Työpisteen hahmottaminen ja käsittely vientisektoreittain helpottaa ja tehostaa työpistekäsittelyä (Ala-Fossi ym. 2004c, Ranta ym. 2004).

Hakkuulaitteen viennin aikaisia pysähdyksiä ja taukoja oli tuottavilla kuljettajilla vähemmän kuin muilla. He siirsivät useimmiten yhtäjaksoisesti ja määrätietoisesti hakkuulaitteen poistettavan rungon tyvelle. Kuormaimen liikkeet olivat tasaisia ja jatkuvia. Lisäksi hakkuulaitteella tartuttiin usein runkoon jo lopullisessa kaatosahaussuunnassa. Erityisesti pätehhakkuulla hakkuulaitteen asettelussa ja ajanmenekeissä rungon tyvelle ilmeni suuriakin eroja. Kuljettaja E kykeni ennakoimaan ja suunnittelemaan kaatosuuntaa jo ennen hakkuulaitteen asettelua sekä havaintovihjeiden mukaisesti hakemaan päätöksiin vaikuttavaa tietoa rungosta (esim. kallistuminen, painopiste tms.), mikä nopeutti hakkuulaitteen asettelua rungon tyvelle.

Kuljettajan työpistenäkymän hahmottaminen ja siitä johdettu suunnitelma työpisteen toteuttamiselle sekä poistettavien puiden ja kasan paikkojen valinnalle, vaikuttavat merkittävästi hakkuulaitteen viennin sekä kaadon ajanmenekkeihin. Taitava kuljettaja rekisteröi työmuistiinsa työpisteeltä poistettavia puuta ja suunnittelee kaiken aikaa hakkuun edetessä työjärjestystä työpisteellä. Kuljettaja muokkaa ja päivittää usein työpistesuunnitelmaa tilanteiden muuttuessa (Ranta ym. 2004).

### **Rungon kaato ja siirto prosessointipaikalle**

Rungon kaatumiseen voidaan vaikuttaa kaadon suuntaamisella, samanaikaisella rungon sivuttaissiirrolla sekä painamalla hakkuulaitteen tilitillä kaadon suuntaan, jolloin kaato nopeutuu. Osa kuljettajista siirsi kaatosahauksen jälkeen pienempiä yksittäisiä runkoja pystyssä palstalla sopivampaan kaatopaikkaan tai ajouran toiselle puolelle tilanteissa, jolloin vältyttiin yhden rungon pölkkykasoista tai jos kaatoa ei voitu tehokkaasti esim. tiheiköissä toteuttaa. Kaadon aikaisessa havainnointitarkastelussa kaatosuunnan ja kasanpaikan varmistaminen olivat yleisimmät katsepaiikat, jotka poikkesivat hakkuulaitteen ja sen lähialueen katsepaiikasta. Havainnointiaineiston perusteella kuljettajat suunnittelivat tulevaa puutavaralajikasan kohtaa eniten juuri kaadon ja rungon siirron aikana.

Kaadon jälkeisen rungon siirtelyssä tuottavat kuljettajat poikkesivat muista. Ensiharvennuksella rungon siirtämistä ajouran yli ilmeni selvästi vähemmän kuljettajilla C ja E (noin 10 %) kuin muilla kuljettajilla (15 – 35 %). Erityisesti ajourasta kauempana olleet puut (6 metriä ja yli) tuottavat kuljettajat prosessoivat pääosin palstalla kaataen ajouralta pois päin ja prosessoiden puomin alle. Ensiharvennuksella rungon kaato ja uran yli siirto vei keskimäärin 1,5 sekuntia enemmän aikaa kuin kaato palstalle. Ajouralta ja sen varrelta poistetuista rungoista saatiin riittävä latvusmatto tarvittaessa ajouralle ilman, että kauempaa palstalta kaadettuja runkoja siirrettiin ajouran yli. Rungon kaatoajanmenekkiä vähensi myös jo kaatosiirron aikana aloitettu karsintasyöttö, jolloin rungon liike-energiaa voidaan hyödyntää myös syötössä. Tällöin käsityötöllä tehdyn syötön aloittamis- ja lopettamishetki ovat merkittävässä asemassa.

Syitä rungon siirtämiselle ajouran yli on edellä mainitun ajouralle saatavan latvusmassan lisäksi rungon kaadon helpottaminen siirtämällä sitä kaadon aikana ja ehkäpä merkittävimpana syynä on puutavaralajikasojen laatuun ja kokoon vaikuttaminen. Kuljettajat, jotka siirsivät paljon kaadettuja runkoja uran yli, tekivät muista poiketen hieman suurempia kasoja ja kasat olivat muiden kuljettajien kasoja useammin poikittain ajouraan nähden (Ala-Fossi ym. 2004a).

Päättehakuulla rungon kaadon aikainen siirto nopeutti kaatoa keskimäärin kahdella sekunnilla verrattuna toimintatapaan, jossa kaato tehtiin kannolle, jonka jälkeen siirto toteutettiin jo kaadettulle puulle. Tällainen kaatotekniikka vaatii harjaantumista suurten puiden kaatoon, koneliikkeiden hyvää hallintaa sekä staattisten ja dynaamisten voimien tuntemista. Juuri kaadon aikana puu on kevyt käsitellä ja siirtää, mikä vähentää myös kuormaimen rasitusta. Toisaalta suurilla rungoilla puun kaadon loppuhetken tärehdysvoima siirtyy kuormaimen ja aiheuttaa voimakkaan kuormituksen kuormainosiin kuljettajaan kohdistuessa samalla voimakasta heiluntaa (Gellerstedt 2002, Wästerlund ym. 2004). Juuri tällaisissa tilanteissa kokeneet kuljettajat välttivät kaadon aikaista siirtoa ja tilannekohtaisesti hakkuulaite myös irrotettiin kaadon ajaksi rungon tyveltä.

Harvennuksella suurin todennäköisyys hakkuunaikaisille korjuuvaurioille on erityisesti rungon kaadon ja kaadon jälkeisen rungon siirtelyn aikana (Sirén 1998). Kaadon ohjaus erityisesti suuremmilla rungoilla on tärkeää, jolloin tulee huomioida harvennuksilla pystyyn jätettäväksi suunnitellut puut. Lisäksi kaadetun rungon siirrossa sekä kuormain että siirrettävä runko vaativat tilaa. Näitä tekijöitä kokeneet kuljettajat huomioivat hakkuun aikana korjuuvaurioiden välttämi-

seksi. Tuottaville kuljettajille on kokemuksen myötä valikoitunut kaato- ja rungon siirtotekniikka, jossa hakkuukoneen laiteopeuksia voidaan hyödyntää tehokkaasti siten, ettei korjuuvaurioita aiheudu.

## **Rungon prosessointi ja kasaus**

Työvaiheista rungon prosessoinnissa kuljettajien väliset absoluuttiset ajanmenekierot olivat suurimmillaan. Tuottavat kuljettajat keskittyivät prosessoinnissa pääosin työvaiheen välittömiin toimintoihin (karsintasyöttöön ja katkontaan) minimoiden prosessoinnin välillisiä työvaiheita, kuten prosessoinninaikaisia kuormainsiirtoja ja konesiirtymisiä. Kuljettajilla, jotka keskittyivät muita enemmän puutavaralajien kasaukseen ja kasan laatuun, kasaukseen liittyvä kuormaimen käyttöaika oli myös muita kuljettajia suurempi.

Erityisesti päätehakuulla, mutta myös ensiharvennuksella valtaosa hakatuista ainespuista prosessoitiin ajouran vasemmalla puolella (päätehakuulla 92 % rungoista, harvennuksella 64 % rungoista). Ajouran oikea puoli on Timberjack-hakkuukoneille yleisesti valtaprosessointipuoli, koska hakkuulaitteen sahan sahaussuunta suosii tätä puolta. Tällöin kuljettajalla on parempi näkyvyys sahaukseen ja myöskään katkontasahauksessa lentävä puru ei heikennä näkyvyyttä eikä likaa konetta. Myöskään teräketjun katketessa mahdollinen ketjuluoti ei suuntaudu ohjaamo kohti.

Rungon prosessointi vaatii kuljettajalta runsaasti havainnointia ja paljon päätöksentekoa lyhyessä ajassa. Kuljettaja havainnoi muun muassa rungon syöttöä, rungon mittoja ja laatua, monitorin arvoja ja katkontaehdotuksia, katkontakohdan valintaa, puutavaralajikasan muodostumista sekä eri puutavaralajien erottelua eri kasoihin. Poistettavan rungon valinnan ohella prosessointi on yksi päätöksentekokapasiteettia eniten kuormittavista työvaiheista (Nåbo 1990). Tämän perusteella kuljettajien välisiä eroja voidaan pitää odotettuina.

Prosessoinnin aikana hakkuulaitteesta poikenneet katsehavainnot kohdistuvat pääosin monitoriin (harvennuksella noin 50–80 % poikkeavista havainnoista ja päätehakuulla 80–90 %, kuljettajasta riippuen). Erityisesti ensiharvennuksella tuottavin kuljettaja E sekä kuljettajat A ja F havainnoivat noin puolet muita kuljettajia vähemmän monitoria prosessoinnin aikana. Pitkällisen kokemuksen myötä kuljettaja luottaa omiin suoriin havaintoihin ja päätelmiin rungosta katkonassa ja esimerkiksi ensiharvennuksilla katkonnan merkityksen ollessa päätehakuuta pienempi kuljettaja turvautuu mittalaitteen päätöstukeen harvemmin. Erityisesti suurilla puilla ainespuusalle tulee useampia katkontakohtia ja samalla rungon käyttöosan optimoinnin ja päätöstuen merkitys kasvaa. Mittalaitteautomaattikka hoitaa rutiineja, mutta kuljettaja toteuttaa muutokset ja ottaa vastuun lopullisesta katkonnasta.

Päätöksenteon toiminnanaikaista suorittamista ja sen nopeutta kuvastivat myös suuret erot runkokohtaisissa prosessoinninaikaisissa taukoajoissa. Kuljettajat, jotka prosessoivat rungon nopeasti, toteuttivat rungon katkonnan puutavaralajeiksi lähes ilman taukoja. Tätä voidaan selittää osin kuljettajan kokemuksella, mutta prosessointiaikaan vaikuttavat myös kuljettajakohtainen informaationprosessointi, päätöksentekonopeus ja -kapasiteetti. Prosessoinninaikaiset tauot kohdistuvat pääosin rungon katkontakohtien valintahetkiin, jolloin kuljettaja varmistaa täyttääkö pölkky asetetut mitta ja laatuvaatimukset aina kulloiseenkin katkaisuehdotuskohtaan saakka. Samanaikaisesti kuljettaja suunnittelee jäljelle jäävän rungonosan katkontaa ja sen tehokasta hyödyntämistä. Koneen apterausautomaattikan antama päätöstuki nopeuttaa päätöksentekoa joillakin kuljettajilla enemmän kuin toisilla. Voidaan olettaa, että tuottavat rungon prosessoijat hyödynsivät tehokkaasti mittajärjestelmän tarjoamaa päätöstukea.



Kuormainliikkeiden samanaikaisessa käytössä kuljettajista poikkesi merkittävästi kuljettaja E, joka käytti samanaikaisesti useita kuormainliikkeitä muita enemmän. Useiden liikkeiden tehokas ja sujuva samanaikainen käyttö vaatii kuljettajalta hyvää liikehallintaa. Koneen liike- ja laitehallinnan osalta kuljettaja E erottui muista, mikä voidaan havaita usean työn arviointikriteerin perusteella. Valinnat eivät olleet sattumanvaraisia, mistä kertoo prosessin tasaisuus. Myös opitut, erilaiset käsiotteet hallintalaitteista voivat rajoittaa tai mahdollistaa tehokasta ja yhtäaikaista koneliikkeiden hallintaa.

Oikea-aikainen ja työn kannalta merkityksellinen kuormaimen liikkeiden hyödyntäminen on keskeistä. Aina ei tarvita kaikkia kuormainnivekten liikkeitä, mutta usein jouhevan prosessin edellytyksenä on monipuolinen, oikea-aikainen ja hallittu kuormaimen käyttö.

### **Hakkuutyön laatu ja puunkorjuun jatkoprosessien huomiointi**

Hakkuutyön laadussa tarkasteltiin korjuujäljen, rungon katkonnan ja puutavaralajien kasauksen laatua sekä kasauksen vaikutusta lähikuljetukseen. Yleisenä havaintona oli, että kaikkien kuljettajien työnjäljen laatu oli hyvä. Ensiharvennuskohteilla tuottavuuden kasvulla ei todettu olevan merkitsevää vaikutusta korjuuvaurioiden kasvuun. Tosin kuljettajakohtaisesti tarkasteltaessa useilla kuljettajilla korjuuvaurioiden osuus nousi hieman runkokohtaisen tuottavuuden kasvaessa. Tuloksen yleistäminen tältä osin on kuitenkin hyvin rajattua, sillä havainnot perustuivat kahden ensiharvennuskohteen korjuuvaurioarvoihin. On kuitenkin huomioitavaa, että tuottavimman kuljettajan korjuuvaurioprosentti oli hieman kuljettajakeskiarvoa pienempi.

Puustopoistuma vaihteli kuljettajittain 32 %:sta 38 %:iin kuljettajakeskiarvon vastatessa hyvin metsänhoitosuosituksia (Luonnonläheinen... 1994, Harvennushakkuut 1999). Kuljettajat C, E ja F, jotka olivat hakanneet muita enemmän harvennuksilla, poistivat puita hieman tasaisemmin koko työalueen leveydeltä. Vähäisempi kokemus harvennushakkuilta paljastuu usein puuston poistamisen epätasaisuutena. Ero ilmenee ajouralta poistetun ja palstalta poistetun runkomäärien suhteissa. Kuitenkin poistetun puun keskikoko oli poikkeuksellisen yhdenmukainen kaikilla kuljettajilla. Kuljettajat olivat toteuttaneet selkeää alaharvennusta tutkimuskohteilla.

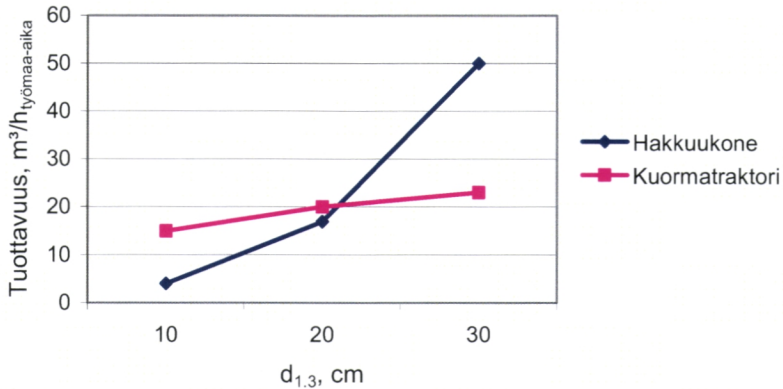
Katkotun puutavaran laadussa ei havaittu merkittäviä eroja kuljettajien välillä. Suurinta vaihtelua kuljettajien välillä ilmeni latvuksiin jääneessä ainespuumäärässä päätehakkuulla, mikä vaihteli kuljettajakeskiarvoittain 50 – 120 cm. Tuottavin kuljettaja oli puutavaran laadun kriteeristön tarkasteluissa lähellä kuljettajakeskiarvoa. Erityisesti hän poikkesi tukkiosuudessa muista merkittävästi päätehakkuulla, jossa hänellä oli noin 7 % kuljettajakeskiarvoa suurempi tukkiosuus, eikä raakkeja otoksessa siltikään ilmennyt.

Kasaustarkastelussa havaittiin hieman erilaisia kasaustapoja kuljettajien välillä sekä kasojen koon, tasaisuuden ja suuntauksien suhteen. Erilaiset työtekniikat erityisesti harvennuksella selittivät eroavaisuuksia. Kuljettajat, jotka siirsivät paljon kaadettuja runkoja uran yli, tekivät muista poiketen hieman suurempia kasoja, ja kasat olivat muita kuljettajakasoja useammin poikittain ajouraan nähden (Ala-Fossi ym. 2003). Tuottavimmat kuljettajat katkoivat ja kasasivat muita useammin puutavaralajit palstan puolella kasojen ollessa muista poiketen hieman kauempana ajourasta ja enemmän viistottain ajouraan nähden. Päätehakkuulla työtekniikka kaadon ja kasauksen suhteen oli yhtä kuljettajaa vaille sama, mikä myös havaittiin kasaussjäljessä.

Kasaussjäljen vaikutusta lähikuljetukseen tarkasteltiin erikseen, jolloin voitiin perustellusti tulkita kasaussjälkeä ja sen vaikutusta koko korjuuketjun tuottavuuteen. Tutkimuksessa ainoastaan kasan koko selitti lähes kokonaan lähikuljetuksen kuormauksen tuottavuutta. Kuljettajien välisissä keskimääräisissä kasojen koossa oli merkittäviä eroja, joilla oli selvä vaikutus kuormauksen tuottavuuteen. Kasa-aineistossa esimerkiksi kasan etäisyydellä, kuten myös muillakaan kasalaa-

tukriteereillä ei ollut merkitsevää vaikutusta tuottavuuteen (Väättäin ym. 2004). Oletettavaa on, että kauempanakin olleet kasat olivat helposti kuormattavia kasoja, joille kuormaimen nostovoima oli riittävä. Myös Tufts (1997) on todennut tutkimuksessaan, ettei kasan etäisyydellä ollut vaikutusta kuormauksen ajanmenekkiin.

Hakkuukonekuljettaja voi hakkuun aikaisella toiminnallaan vaikuttaa metsäkuljetukseen merkittävästi. Mutta koko korjuuketjun tuottavuuden kannalta erityisesti ensiharvennuksilla hakkuukonekuljettajan ei tulisi kiinnittää liikaa huomiota kasojen kuormattavuuteen. Esimerkiksi McNeelin ja Rutherfordin (1994) tutkimustapauksessa korjuuketjun koneiden tuottavuus oli tasapainossa, kun leimikon keskimääräinen rinnankorkeusläpimitta on hieman yli 20 cm (Kuva 59).



**Kuva 59.** Hakkuukoneen ja kuormatraktorin tuottavuudet hakattavan puuston rinnankorkeusläpimitan suhteen (McNeel ja Rutherford 1994).

Hakkuukoneella puuston järeyden kasvu vaikuttaa tuottavuuteen kuormatraktoria selvästi herkemmin. Ensiharvennuksilla kasausjälkeä heikentämällä ja päätehakuilla sitä parantamalla voidaan usein tasapainottaa sekä hakkuun että metsäkuljetuksen tuottavuuseroja. Kuitenkin kasausjälkeen tulisi panostaa aina tapauskohtaisesti huomioiden leimikon koko ja ominaisuudet, korjuuketjun koneiden määrä ja niiden tuottavuustasot hakkuukohteella, kuljettajien määrä ja niiden ketjutus ajokoneelta hakkuukoneelle ja toisinpäin sekä koneille suunnitellut tulevat työmaakohdet ja hakkuun aikataulut. Koska hakkuukoneen vaikutus koko koneketjun kustannuksiin on merkittävästi suurempi kuin metsätraktorilla tulisi koko korjuuketjun tuottavuutta ohjata enemmän hakkuukoneen ehdoilla (Tufts 1997).

Osatutkimuksen tulosten perusteella esitettiin vinkkejä puutavaralajien kasaukseen harvenushakkuulla (Väättäin ym. 2004):

- kasat lähelle taakkakoon maksimia (vaatii harjaantunutta silmää ja kokemusta)
- välttä tekemästä aivan pieniä (yhden ja kahden pöllin kasat), mutta myös liian suuria kasoja
- kasat voivat olla kauempanakin ajourasta (ns. palstalle kasaus), kunhan ne ovat helposti kuormattavissa. Kannolle kasaus nopeuttaa hakkuuta.
- yhden kasan kuormaustyöpisteitä tulisi välttää (siirto edelliselle tai seuraavalle, tulevalle kuormaustyöpisteen kasalle)
- korjuuketjun kokonaistuottavuuden huomiointi: jos ajokone on liikaa jäljessä, niin kasausjälkeä parantamalla kuormauksen tuottavuutta voidaan parantaa. Jos ajokone on hak-

kuukoneen kannassa ja ajokoneella ilmenee joutoaikaa, niin kasauksen merkitys hakkuussa vähäisemmäksi (esim. puinti lähelle rungon kaatokohtaa, jolloin tavanomaista pienempiä kasoja vaihtelevilla etäisyyksillä ajourasta).

Tarkastelusta jäi pois ajouraverkoston suunnittelun ja toteutuksen vaikutus lähikuljetukseen. Tällä on todettu olevan jopa merkittävämpi vaikutus lähikuljetuksen ja siten koko korjuuketjun tuottavuuteen, kuin kasausjäljellä. Erityisesti hakkuukohteilla, jossa maasto-olosuhteet ovat hankalia (mäkisiet ja soiset maastot, sirpaleiset kohteet, joissa säästöalueita tms.) ajouraverkoston suunnittelulla on suuri merkitys lähikuljetuksen tehokkuuteen (Härkönen 2004).

### 6.3.2 Hakkuukoneenkuljettajan hiljaisen tiedon lähteet

Kokonaisvaltaista hakkuutulosta tarkasteltaessa merkittävimmät erot muodostuivat kuljettajien välille hakkuun työvaiheiden ajanmenekeissä ja siten tuottavuudessa. Kaikkien kuljettajien laadullinen työnjälki täytti hyvän työnjäljen kriteerit erojen ollessa hyvin vähäisiä. Kuljettajakohtaisilla tuottavuuseroilla ei voitu myöskään todeta olevan vaikutusta työnjäljen laatuun. Laatutekijöitä tarkasteltaessa (korjuujälki sekä katkonnan ja kasauksen laatu) tuottavimman kuljettajan hakkuutulosta oli laadullisesti jopa hieman kuljettajakeskiarvoa parempi.

Näin ollen tekijöitä, joiden pääteltiin vaikuttavan kuljettajien välisiin eroihin hakkuun kokonaistuloksessa, tuotiin esille hakkuun tuottavuuden osalta. Lisäksi suuntaa-antavalla tarkkuudella arvioitiin näiden tekijöiden merkitykset ja suhteet havaituille kuljettajaeroille. Tarkastelun avulla voidaan tämän tutkimuksen osalta osoittaa kokoneiden kuljettajien hiljaisen tiedon lähteitä ja niiden vaikutussuhteita hakkuutulokseen, vaikkakin esitetyt hiljaisen tiedon lähteet ovat osin päällekkäisiä. Tarkastelu on tehty tutkimuksen ensiharvennuksen hakkuutuloksilla. On huomioitava, että kyseinen analyysi ja päättely kohdistuu vain tähän tutkimustapaukseen ja päättely sisältää myös niin sanottuja tutkijoiden valistuneita arvauksia.

Laskennallisesti tuloksista voidaan esittää hakkuutekniikan – kuten hakkuulaitteen vienti- ja kaadon jälkeisen rungon siirtomatkan, työpistesiiirtymien, raivaustekniikan yms. – osuus kuljettajien välisistä eroista. Itse työskentelytekniikat, ja niissä ilmenneet erot kuljettajien välillä, selittävät noin 10 – 15 % tuottavuuserosta ensiharvennuksella. Erityisesti kaadon jälkeisessä rungon siirtelyssä, työpistesiiirtymisissä sekä raivausmäärässä ja -tekniikassa ilmeni suurimmat työtekniiset eroavuudet kuljettajien välillä, mistä pääosin kyseinen selitystaso koostui.

Loppuosa kuljettajien välisistä eroista selittyy kuljettajan kognitiivisista ja mentaalisisistä kyvyistä sekä psykomotorisista ominaisuuksista. Teikarin ja Vartiaisen (1985) mukaan työtaidot jaetaan usein karkeasti psykomotorisiin ja kognitiivisiin taitoihin, jossa keskeistä on ennakoivien sisäisten mallien muodostuminen. Kuormaimen ja hakkuulaitteen käsittely on eroteltu tästä kokonaisuudesta ja sitä kuvataan kuljettajan psykomotorisilla ja siihen liittyvillä automatisoituneilla taidoilla ja kyvyillä.

Hallintalaitteiden suunniteltu ja hallittu käsittelykyky, sujuva ja yhtäjaksoinen kuormainliikkeiden hallinta sekä useiden kuormainliikkeiden samanaikainen käyttö poikkesi tutkimuskuljettajien kesken. Erityisesti tuottavin kuljettaja poikkesi muista merkittävästi samanaikaisten liikkeiden käyttömäärien suhteessa. Kuormaimen ja hakkuulaitteen käsittelytaitojen vaikutus hakkuutuottavuuden eroihin arvioitiin olevan noin 20 – 30 %. Esimerkiksi kuormaimen työsuuntaisen liikenoisuuden kasvu 20 %:lla aiheuttaa tehotyötuottavuuteen lähes vastaavan lisäyksen, sillä kuormain on toiminnassa keskimäärin 90 % hakkuun koko tehotyöajasta. Nopeidenkin kuormaimen liikkeiden on kuitenkin oltava hallittuja ja perusteltuja jäävä puusto huomioiden, kuten tuottavilla tutkimuskuljettajilla oli.

Merkittävin selittävä tekijä kuljettajien välisten erojen syntyyn on yksilön henkiset kyvyt ja ominaisuudet, kuten ajattelun, suunnittelun ja päätöksenteon taidot, jotka suurelta osin ovat riippuvaisia yksilön henkilökohtaisista ominaisuuksista; mutta jotain voidaan esimerkiksi koulutuksen avulla kehittää. Kuten tutkimuksessa havaittiin, tuottavien kuljettajien hakuu työ eteni tasaisena ja jatkuvana suorituksena, jossa ei ilmennyt juurikaan taukoja tai turhia liikkeitä. He suunnittelivat hakuu työtä ja tekivät päätöksiä hakuun aikana toimintojen jatkuessa keskeytyksettä. Kari niemen (2003) mukaan taitavalla kuljettajalla on kyky hahmottaa työn kuva ja työympäristö kokonaisvaltaisesti ja ennustaa työn kulku riittävän pitkälle eteenpäin sujuvan työsuorituksen aikaansaamiseksi.

Tutkimuskuljettajien työuran taustoilla ja puunkorjuun kokemuksella on myös vaikutuksensa kuljettajien hakuu prosessin erityispiirteisiin ja kokonaisvaltaiseen hakuu tulokseen. Esimerkiksi muista poiketen tuottavimmalla kuljettajalla (kuljettaja E) oli vähäisen hakuu konekokemuksen lisäksi viiden vuoden työura metsurina. Voidaan olettaa, että tällä on vaikutuksensa hakuu prosessiin erityisesti harvennuksella (poistettavan puun valinta, työn rationaalisointi yms.). Myös pitkäaikainen kokemus lähikuljetuksesta metsä traktorilla selittää osaltaan puutavaralajien kasaukseen ja kasojen kuormattavuuteen painottuvasta hakuu prosessista kuljettajien B ja F osalta.

Edellä esitetyn suuntaa-antavan hiljaisen tiedon lähteiden jaottelun kaikkiin osa-alueisiin vaikuttaa merkittävästi kuljettajan hakuu kokemus. Kuljettaja- ja tilannekohtaiset toimintamallit vaihtelevissa olosuhteissa sekä työtekniset oivallukset ja menetelmä erot kuljettajien välillä ovat suurelta osin kokemuksen opettamia, kehittämiä ja muokkaamia. Näin ollen suureen osaan havaituista eroista vaikuttaa enemmän tai vähemmän kuljettajan henkilökohtainen kokemuksen myötä kumuloitunut hiljainen tieto. Näitä esille tulleita hiljaisen tiedon merkityksellisimpiä pää lähteitä avataan lopuksi teoriasolla seuraavissa kappaleissa.

Yksilön ajattelu voidaan jakaa eri osa-alueisiin, kuten ongelman ratkaisuun, päättelyyn ja päätöksentekoon (Saariluoma 1990). Ajattelun kannalta erityisen tärkeä yksilön tiedon käsittelyn eli kognition ominaisuus on sen valikoivuus. Ihmisen on kyettävä erottamaan vastaanottamastaan informaatiosta oleellinen ja epäoleellinen, jotta hän ei käyttäisi resurssiaan epätarkoituksen mukaisesti. Ihmisen tiedon käsittely on niin hidasta, että kaikkien vaihtoehtojen läpikäyminen ei ole rationaalista (Saariluoma 1990). Kokemuksen ja harjoittelun myötä kuljettaja osaa hakea katseellaan työympäristöstä oleellisen informaation päätöksensä tueksi. Samalla kokenut kuljettaja kykenee priorisoimaan oleellisesta informaatiosta tilannesidonnaisia tekijöitä, mihin perustuen hän tekee tarkoituksen mukaisen ja yhteisiä ohjeistuksia huomioivan kompromissin (Ranta ym. 2004).

Työssä havaittava taito ja taitaminen on opittu käyttäytymisen muoto, joka on saavutettu järjestelmällisen ja usein kovankin harjoittelun avulla. Taidolle on ominaista, että yksilöiden suorituskykyjen välille syntyy harjoittelun tuloksena eroja (Saariluoma 1990). Saariluoman (1990) mukaan taidot ovat kapea-alaisia (esim. huipputaidot) ja edellyttävät korkeatasoista organisointia, sillä taidot perustuvat varsin monimutkaisille ja laajoille toisiinsa liittyvien suoritusten ketjuille. Myös ajattelu voidaan ymmärtää taitona, joka on opittu harjoittelemalla. Taitotason hankkiminen koneellisessa hakuu ssa, missä työ prosessi on vaihtelevissa hakuu olosuhteissa tehokasta, konetta säästävää sekä ympäristöä ja puutavaran laatua huomioivaa, kestää useita vuosia työssä oppimista. Esimerkiksi Gellerstedtin (2002) mukaan täysin taitavaksi harvennuskuljettajaksi tuleminen edellyttää keskimäärin viiden vuoden kokemuksen.

Kuljettajan automaattiset toiminnot ja rutiinit ovat merkittävässä roolissa hakuu konetyössä. Automaatiot syntyvät yleensä saman asian toistamisesta. Vaativissa ja vaihtuvissa olosuhteissa, kuten hakuu konetyöskentelyssä yleensä, suoritusten automatisoituminen kestää huomattavasti kauemmin kuin mitä tasaisissa olosuhteissa. Saariluoman (1990) mukaan automatisoitunut toi-

minta on tehokasta, vaivatonta, alitajuista, ponnistuksetonta, vähän kognitiivista kapasiteettia vaativaa, eikä sen käynnistämiseen vaadita tietoista päätöstä.

Gellerstedtin (2002) ja Rannan ym. (2004) mukaan merkittävä osa hakkuukoneenkuljettajan kognitiivisesta työstä on automatisoituneita toimintoja. Hakkuukonetyössä kuormaimen hallintalaitteiden käyttö on kokeneilla kuljettajilla täysin automatisoitunutta, ja lisäksi kokeneet kuljettajat osaavat tehdä rutiinien varassa paljon sellaista, mikä aloittelijalta vaatii keskitettyä tarkkaavaisuutta (vrt. Rauste-von Wright ym. 2003). Vartiaisen (1985) mukaan tarkkaavaisuus ja tietoinen kontrolli mahdollistavat uusien asioiden havaitsemisen ja tunnistamisen toiminnan jatkuessa muilta osin rutiinien ja automatismien varassa. Tutkimuksessa tuottavimmat kuljettajat esimerkiksi kykenivät valitsemaan seuraavaksi poistettavaa puuta rungon prosessoinnin loppuvaiheessa.

Taitavalla, kokeneella kuljettajalla on myös ominaisuuksia, jotka erityisesti tulevat esille asiantuntijan toiminnassa. Asiantuntija osaa muun muassa vähentää kuormitusta ja kiertää rajoituksia nyrkkisäntöjen ja heuristiikkojen avulla. Lisäksi asiantuntijalla on tehokkaat strategiat ja motivaatio (Rauste-von Wright ym. 2003). Taitavalla kuljettajalla on käytössään useita strategioita ja ratkaisumalleja, joita hän osaa soveltaa työssään kohtaamissaan tilanteissa. Sen lisäksi taitava kuljettaja pystyy hyödyntämään ratkaisumallissaan tehtäväspesifejä vihjeitä, joita hän poimii ympäristöstä työprosessin edetessä. Tällöin kaavamainen, samalla työtavalla tekeminen poistuu ja kuljettaja osaa sopeutua tilanteeseen (Ranta ym. 2004).

Kokenut hakkuukoneenkuljettaja osaa rajata toiminnan kohteena olevan ympäristön käsittelyalueiksi, jolloin tiedon käsittelyyn kohdistuva kuormitus ei nouse liian suureksi (Ranta ym. 2004). Näitä niin sanottuja asiantuntijan ominaisuuksia oli havaittavissa tutkimuksen tuottavilla kuljettajilla, mistä esimerkkinä työpisteen käsittelyn rajaaminen ”työ- ja vientisektoreiksi”.

Esitettyjen tekijöiden lisäksi ja täydennykseksi kokeneiden kuljettajien ja myös oppilaskuljettajien suoritustasoon vaikuttavat useat ominaisuudet ja niiden yhteisvaikutukset. Näitä ovat esimerkiksi yksilön tekniset kyvyt, ymmärtäminen, stereoskooppinen näkökyky, koordinaatio, menestyminen kursseilla ja harjoituksissa, muisti, älykyys ja motivaatio (Harstela 1996, Lehtonen 1975, Leskinen ja Mikkonen 1981).

## 6.4 Yhteenveto

Metsäkonesimulaatio-opetuksen kehittäminen ja tuotteistaminen -hankkeen tutkimuksellisella puolella tavoitteena oli tutkia ja selvittää kokeneen hakkuukoneenkuljettajan hiljaista tietoa. On tärkeää tietää, mikä on hiljaisen tiedon merkitys hakkuun eri työvaiheissa. Siten voidaan määrittää hakkuutuloksen kannalta olennaisimmat kohdat hakkuuprosessissa, joihin opetusta voidaan perustellusti kohdentaa.

Kenttätutkimuksessa oli tavoitteena tutkia kuuden kokeneen hakkuukoneenkuljettajan hakuu-työtä ja selvittää hakkuunaikaisia eroavuuksia työskentelyolosuhteiltaan mahdollisimman samankaltaisiksi järjestetyissä hakkuuolosuhteissa. Yksityiskohtainen hakkuunaikainen työvaiheittainen ajanmenekkinen, työtekniikoiden, kuormaimen käytön ja katseen kohdistumisen tutkiminen toi vastauksia kuljettajien välisiin eroihin ja niiden syihin.

Hakkuunaikainen katseen kohdistuminen antoi vastauksia kuljettajan hakkuunaikaisesta havainnoinnista ja hakkuun suunnittelusta. Perusteellinen hakkuun työpöytä tarkastelu selvitti kuljettajien työpöytätason ja sen huomiointiin aina koko koneketjun toiminnan huomiointiin saakka. Tällä tutkimuksella voitiin osoittaa yksityiskohtaisesti niitä kohtia, joissa hakkuunaikaiset toiminnot poikkeavat kuljettajittain ja joihin hiljaisen tiedon lähteet pääosin voidaan kohdentaa.

Tutkimus antaa mahdollisuuden tehdä päätelmiä hiljaisen tiedon sijainnista, sen ilmenemismuodoista ja merkityksestä hakkuun eri vaiheissa. Lisäksi tutkimus nostaa esiin hakkuukoneenkuljettajan osaamista, koska osa ratkaisuista voidaan kertoa ja perustella. Hakkuukoneenkuljettajan osaamisen ja siihen kuuluvan hiljaisen tiedon kokonaisvaltainen ja syvälinen selittäminen vaatii tutkimuksen laajentamista leimikkotason suunnitteluun, asiakasrajapinnassa toimimiseen, toimintakulttuuriin sekä yksilön henkilökohtaisiin kykyihin ja ominaisuuksiin. Tämän tutkimuksen tulokset vihjeistävät jatkotutkimuksen suuntaamista ko. alueiden selvittämisessä.

Tutkimuksessa kuljettajan vaikutus kokonaisvaltaiseen hakkuutulokseen oli merkittävä. Koneen hakkuukoneenkuljettajan hiljainen tieto osoittautui laaja-alaiseksi ja vaihtelevaksi. Hiljainen tieto kumuloituu kerroksittain useimmiten kokemuksen kautta opittuun osaamiseen ilmenneiden kuljettajan taitavana koneenhallintana sekä nopeina ja perusteltuina hakkuutoimintoina. Samanaikaisesti kuljettaja huomioi hakkuukoneen kannattavaa ja säästävää käyttöä, hakkuun kokonaisvaltaista työnjälkeä, intressiryhmien toiveita, koko korjuuketjun kokonaistehokkuutta ja kannattavuutta sekä kestävä kehityksen mukaisia periaatteita. Voidaan todeta, että kuljettajan päätösavaruus on vaativa, monisyinen, syklinen ja kokonaisvaltainen. Puutteelliset suunnittelu-, ennakointi- ja päätöksentekotaidot saattavat johtaa kuljettajan reagoivaan toimintamalliin ennakoidun mallin sijasta. Reagointi aiheuttaa merkittävän lisäkuormituksen.

Taitavan kuljettajan voi tunnistaa tasaisesta, jatkuvasta, yhdenaikaisista ja nopeista kuormaimen ja hakkuulaitteen liikkeistä. Toiminta on kuitenkin rauhallisen ja helpon näköistä, mutta tarkemmin tarkasteltuna prosessi on tuottavaa. Hakkuun aikana tuottavimmat kuljettajat välttivät turhia koneen ja hakkuulaitteen liikkeitä ja suorittivat nopeita päätöksiä taukojen osuuden ollessa vähäinen. Tuottavat kuljettajat havainnoivat ja valitsivat seuraavaksi poistettavat puut muita kuljettajia aiemmin. He suunnittelivat hakkuutehtäviä ennakkoon ennen varsinaista päätöstä ja toteutusta. Tuottavin kuljettaja poikkesi muista kuormaimen ja hakkuulaitteen käsittelytekniikassa. Huomioitavaa oli myös, että tuottavuuden kasvulla ei ollut vaikutusta hakkuutyön laatuun.

Työvaiheittaisessa tarkastelussa kuljettajien väliset erot olivat suurimmillaan rungon prosessoinnissa sekä aputyövaiheissa, kuten raivauksen ajanmenekissä. Kuljettajien väliset erot kasvoivat entisestään sen mukaan, kuinka paljon hakkuutilanne poikkesi normaalista, keskimääräisestä tilanteesta. Suurempia ajanmenekkieroja voitiin todeta erityisesti suurilla rungoilla käsiteltäessä vaikeasti prosessoitavia, huonolaatuisia runkoja sekä työpisteillä, joissa poistettavien runkojen määrä oli suuri.

Tässä tutkimuksessa keskityttiin kuljettajan työpistetason toimintaan ja tarkastelusta jäi pois tekijöitä koko leimikon hakkuun suunnittelusta ja sitä valmistelevista tehtävistä. On huomattava, että yksin hakkuun hyvä tuottavuus työpistetasolla ei ole tae tehokkaalle puunkorjuulle. Hakkuussa on tärkeää kyetä huomioimaan myös järkevä leimikon suunnittelu, ajourien suunnittelu ja hakkuun tilannesidonnainen eteneminen ja oikeanlainen reagointi muuttuviin korjuuolosuhteisiin (Laamanen ym. 2003).

## KIRJALLISUUS

- Ahlgren, T., Brundin, L., Jonsson, B., Löfroth, C., Morenius, B. ja Myhrman, D. 1982. Manöver system för hydraulkranar. Skogsarbeten redogörelse 6: 1 – 40.
- Ala-Fossi, A., Junkkonen, R. ja Väätäinen, K. 2003. Korjuujälki-inventointi MetSimu-hankkeen ensiharvennusleimikoilla. MetSimu-hanke. Tutkimusraportti. 24 s.
- Ala-Fossi, A. ja Väätäinen, K. 2003. PlusCan-tallentimen rekisteröimän rungon prosessoinnin kuormainajan jakautuminen työvaiheisiin. MetSimu-hanke. Tutkimusraportti. 8 s.
- Ala-Fossi, A., Väätäinen, K. ja Nuutinen, Y. 2004a. Puutavaralajien kasaustjälki MetSimu -hankkeen tutkimusleimikoilla. Tutkimusraportti. 18 s.
- Ala-Fossi, A., Sikanen, L. ja Asikainen, A. 2004b. Alueyrittäjyyden asenneilmasto ja valmiudet Metsäliitto Osuuskunnan Kaakkois-Suomen hankinta-alueella. Metlan työraportteja (<http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2004/mwp004.htm>). 36 s.
- Ala-Fossi, A., Väätäinen, K. ja Ovaskainen, H. 2004c. Hakkuukonetyön työpiste- ja sektori-menetelmätarkastelu ensiharvennuskohteilla. MetSimu-hanke. Tutkimusraportti. 35 s.
- Awad, E.M. ja Ghaziri, H.M. 2001. Knowledge Management. International Edition. Pearson Education International.
- Axelsson, S.-A. ja Pontén, B. 1990. New ergonomics problems in mechanized logging operations. International Journal of Industrial Ergonomics 5: 267 – 273.
- Brunberg, T. 1991. Underlag för produktionsnormer för beståndsgående engreppsskördare i gallring - em litteraturstudie. The Forestry Research Institute of Sweden, Uppsala. Redogörelse 3. 23 s.
- Brunberg, T. 2001. Hydroflex – hytt koncept för att utnyttja skotarnas lastkapacitet bättre. SkogForsk resultat Nr. 13. 2001. 4 s.
- Bucht, S. 1981. Effekten av några olika gallringsmönster på beståndsutvecklingen i tallskog. Summary: The influence of some different thinning patterns on the development of Scots pine stands. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogsskötsel. Rapport 4. 276 s.
- Eliasson, L. 1998. Analyses of single-grip harvester productivity. Doctoral thesis. Swedish University of Agricultural Sciences. Department of Operational Efficiency. Umeå. 24 s. + 4 erillistä artikkelia.
- Forsberg, A.K. 2003. How to create a more efficient interface in the harvester. 2<sup>nd</sup> Forest Engineering Conference 12-15 May 2003, Växjö, Sweden. Skogforsk Arbetsrapport 539: 3-10.
- Gellerstedt, S. 1993. Thinning with a forestry machine – the mental and physical work. Research notes No. 244. Deputy of Operational Efficiency. Swedish University of Agricultural Sciences.
- Gellerstedt, S. 1997. Mechanised cleaning of young forest – The strain on the operator. International Journal of Industrial Ergonomics 20: 137 – 143.
- Gellerstedt, S. 2002. Operation of the Single-Grip Harvester: Motor-Sensory and Cognitive Work. International Journal of Forest Engineering 13 (2): 35 – 47.
- Gellerstedt, S., Amqvist, R., Attebrant, M., Myhrman, D., Wikström, B.-O. ja Winkel, J. 1999. Nordiska ergonomiska riktlinjer för skogsmaskiner. Arbetslivsinstitutet, Skog-Forsk, Sveriges lantbruksuniversitetet. 85 s.

- Glöde, D. 1999. Single- and Double-Grip Harvesters - Productive Measurements in Final Cutting of Shelterwood. *Journal of Forest Engineering* 10(2): 63-74.
- Granlund, P. ja Hallonborg, U. 2001. Dagens skördare hanterar virket skonsamt. Virkesvärde-test 2001 del 1: Virkesskador. SkogForsk resultat nr. 8. 2001. 4 s.
- Gullberg, T. 1997a. A Deductive Time Consumption Model for Loading Shortwood. *Journal of Forest Engineering*. Vol. 8. No. 1:35-44.
- Gullberg, T. 1997b. Tidsåtgångsmodell för skotning. Time consumption model for off-road extraction of shortwood. Sveriges Lantbruksuniversitet. Uppsatser och Resultat nr. 297. 29 s.
- Hakkila, P., Kanninen, K. ja Mäkinen, P. 1989. Metsäkoneurakoitsija. Helsinki. 93 s.
- Hallonborg, U. ja Nordén, B. 2001. Lyckat försök med lång kran i gallring. SkogForsk resultat Nr. 2. 2001. 4 s.
- Harstela, P. 1979. Puunkorjuun ergonomia. Suonenjoki. 151 s.
- Harstela, P. 1990. Work postures and strain of workers in Nordic forest work: A selective review. *International Journal of Industrial Ergonomics* 5: 219 – 226.
- Harstela, P. 1993. Forest work science and technology, Part 1. *Silva Carelica* 25. Joensuun yliopisto, Metsätieteellinen tiedekunta. 113 s.
- Harstela, P. 1996. Forest work science and technology, Part 2. *Silva Carelica* 31. Joensuun yliopisto, Metsätieteellinen tiedekunta. 175 s.
- Harstela, P. 1999a. Ergonomia metsätyössä. Teoksessa: Kanninen, K. (toim.). Metsäteknologia muuttuvassa metsätaloudessa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 720: 210 - 214.
- Harstela, P. 1999b. The Future of Timber Harvesting in Finland. *International Journal of Forest Engineering* 10 (2): 33 – 36.
- Harstela, P. ja Piirainen, K. 1981. Esitutkimus PIKA-75 harvesterin automaatioasteen vaikutuksista tuotokseen, mittaustarkkuuteen ja kuljettajan kuormittumiseen. *Folia Forestalia* 464: 1 – 14.
- Harvennushakkuut; Uudistuskypsyys. 1999. UPM-Kymmene Metsä. 47 s.
- Hänninen, K., Leino, P. Rytönen, H. ja Prättälä, R. 1992. Työ ja terveys metsäkonealalla. LEL työeläkekassan julkaisuja 21. 78 s.
- Isomäki, A. 1986. Linjakäytävän vaikutus reunapuiden kehitykseen. Summary: Effects of line corridors on the development of edge trees. *Folia Forestalia* 678. 30 s.
- Jaakkola, S. 2003. Urakoinnin uusi tilanne: Alueyrittäjyyden uhat ja mahdollisuudet. *Koneyrittäjä* 8: 15 – 16.
- Junkkonen, R. ja Ovaskainen, H. 2003. Hakkuukoneenkuljettajan havainnointi ja katseen kohdistuminen eri työvaiheiden aikana. MetSimu-hanke. Tutkimusraportti. 30 s.
- Juntunen, M.-L. 1998. Professional harvester operators: basic knowledge and skills from training – operating skills from working life? Teoksessa: Staudt, F.J. (toim.). Caring for the Forest: Research in a Chancing World. Proceedings of the ergonomic papers and posters during the XXth IUFRO World Congress held from 6-12 August 1995 in Tampere Finland. Wageningen Agricultural University. s. 160 – 169.
- Juntunen, M.-L. 1999. Metsä ihmisen työympäristönä. Teoksessa: Kanninen, K. (toim.). Metsäteknologia muuttuvassa metsätaloudessa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 720: 215 – 220.

- Järvinen, A., Koivisto, T. ja Poikela, E. 2002. Oppiminen työssä ja työyhteisössä. WSOY 2000. 252 s.
- Kanninen, K. 1989. Metsäkoneurakoitsijan henkilökuva. Teoksessa: Hakkila, P., Kanninen, K. ja Mäkinen, P. (toim.). Metsäkoneurakoitsija. s. 52 – 93.
- Kanninen, K. 1999. Metsätyön turvallisuus. Metsätyötaturmat ja niiden torjunta. Teoksessa: Kanninen, K. (toim.). Metsäteknologia muuttuvassa metsätaloudessa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 720: 221 - 227.
- Kariniemi, A. 2003. Metsäkonetyön kuva – Ajattelun ja suunnittelun merkitys. Teoksessa: Kariniemi, A. (toim.). Kehittyvä puunhuolto 2003 – Seminaarijulkaisu. 12.-13.2.2003. Paviljonki, Jyväskylä: 13 – 22.
- Kellog, L.D. ja Bettinger, P. 1994. Thinning productivity and cost for mechanized cut-to-length system in the Northwest Pacific coast region of the USA. *Journal of Forest Engineering* 5(2):43-52.
- Konttinen, H. ja Drushka, K. 1997. Metsäkoneiden maailmanhistoria. Timberjack Group Oy. 254 s.
- Korhonen, O., Nummi, J., Nurminen, M., Nygård, K., Soininen, H. ja Viikeri, M. 1980. Metsätyöntekijä. Osa 3: Metsätraktorin kuljettajien terveys. Työterveyslaitoksen tutkimuksia 127: 1 – 62.
- Krogh, G., Ichijo, K. ja Nonaka, I. 2000. Enabling knowledge creation. How to unlock the mystery of tacit knowledge and release the power of innovation. Oxford University Press. 292 s.
- Kuitto, P.J., Keskinen, S., Lindroos, J., Oijala, T., Rajamäki, J., Räsänen, T. ja Tervävä, J. 1994. Puutavaran koneellinen hakkuu ja metsäkuljetus. Metsätehon tiedotus 410. 38 s. +13 liitettä.
- Laamanen, V. 2004. Hakkuukoneenkuljettajan hiljaisen tiedon näkyväksi tekeminen simulaattorin ja matemaattisten menetelmien avulla. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. Automaatiotekniikan koulutusohjelma. 69 s.
- Lageson, H. 1997. Effects of thinning type on the harvester productivity and on the residual stand. *International Journal of Forest Engineering* 8(2):7-14.
- Landford, B.J. ja Stokes, B.J. 1995. Comparison of two thinning systems. Part I. Stand and site impacts. *Forest Products Journal* 45(5):74-79.
- Landford, B.J. ja Stokes, B.J. 1996. Comparison of two thinning systems. Part II. Productivity and costs. *Forest Products Journal* 46(11/12):47-53.
- Lehtonen, E. 1975. Learning of grapple loading. *Folia Forestalia* 244. 40 s.
- Leskinen, M ja Mikkonen, E. 1981. Requirements to be made of forest machine operators. Metsäteho Report 369. 22 s.
- Lillandt, M., Korhonen, T. ja Hurskainen, J. 1999. Korjuun koneellistuminen. Teoksessa: Kanninen, K. (toim.). Metsäteknologia muuttuvassa metsätaloudessa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 720: 128 – 138.
- Luonnonläheinen metsänhoito; Metsänhoitosuosituksset. 1994. Metsäkeskus Tapion julkaisu 6. 72 s.

- Lövgren, B. ja Wästerlund, I. 2004. Automation – way to increase productivity in logging. Teoksessa: Uusitalo, J., Nurminen, T. ja Ovaskainen, H. (toim). NSR Conference on Forest Operations 2004 – Proceedings. University of Joensuu, Faculty of forestry. *Silva Carelica* 45: 261-271.
- McNeel, J.F. ja Rutherford, D. 1994. Modelling harvester-forwarder system performance in a selection harvest. *International Journal of Forest Engineering* 6(1):7-14
- Metsäkonealan työoloja ja palkkausta koskevan jäsenkyselyn vastaukset. 1996. Puu- ja erityisalojen Liitto. Moniste. 30 s.
- Metsätilastollinen vuosikirja 2003. 2003. Metsäntutkimuslaitos. 385 s.
- Nonaka, I. ja Takeuchi, H. 1995. The knowledge creating company. Oxford University Press. New York.
- Nordén, B. ja Granlund, P. 2003. Horisontering av förarstolen ökar skördarens prestation – även i relativt flack terräng. *SkogForsk resultat* Nr. 1. 2003. 4 s.
- Nuutinen, Y., Väättäin, K. ja Röser, D. 2004. The impact of a researcher's experience on the results of single grip harvesters time studies. Teoksessa: Uusitalo, J., Nurminen, T. ja Ovaskainen, H. (toim). NSR Conference on Forest Operations 2004 – Proceedings. University of Joensuu, Faculty of forestry. *Silva Carelica* 45: 272 – 279.
- Nåbo, A. 1990. Skogsmaskinförarens arbetslastning – Studier av arbete i röjning, gallring och slutavverkning. Sveriges Lantbruksuniversitet. Institutionen för skogsteknik. Rapport nr 185. 40 s.
- Ovaskainen, H., Uusitalo, J. ja Väättäin, K. 2004. Characteristics and Significance of a Harvester Operators' Working Technique in Thinnings. *International Journal of Forest Engineering*. Vol. 15(2):67-77.
- Ovaskainen, H. 2005. Comparison of harvester work in forest and simulator environments. Hyväksytty käsikirjoitus julkaisusarjaan *Silva Fennica* 39
- Pettersson, A. ja Eriksson, B. 2003. GPS i markberedaren underlättar förnygringsarbetet. *SkogForsk resultat* Nr. 16. 2003. 4 s.
- Poikela, E. 1998. Oppiminen, arviointi ja osaaminen. Teoksessa: Räisänen, A. (toim.). Hallitaanko ammatti? Pätevyuden määrittelyä arvioinnin perustaksi. Arviointi 2/1998. Opetushallitus. Helsinki: Yliopistopaino: 35 – 46.
- Polanyi, M. 1964. Personal knowledge: towards a post-critical philosophy. New York: Harper Torchbooks. 428 s.
- Raivola, R. ja Vuorensyrjä, M. 1998. Osaaminen tietoyhteiskunnassa. Suomen Itsenäisyyden Juhlarahasto 180. Helsinki 1998.  
[<http://194.100.30.11/tietoyhteiskunta/suomi/st21/sitra180.htm>]
- Ranta, P. 2004. Oppimisympäristöt, hakkuukoneet ja hiljainen tieto. Teoksessa: Kupiainen, T. (toim.). *Käsillä tehty*. s. 117 – 129.
- Ranta, P., Laamanen, V., Pohjolainen, S. ja Väättäin, K. 2004. Hakkuukoneenkuljettajan hiljaisen tiedon näkyväksi tekeminen. Tampereen teknillinen yliopisto. Digitaalisen median instituutti. Hypermedialaboratorio. 91 s.
- Ranta, R. 2001. Metsänkäyttöilmoitusten ja hakkuiden tarkastusten tulokset vuonna 2000. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. Moniste. 33 s.
- Rantanen, M. 2003. UPM Metsä uudistaa organisaatiotaan vuoden vaihteessa. Puunkorjuu nojaa ja turvaa tulevaisuudessa avainryttäjiin. *Koneyrittäjä* 9: 6 – 7.

- Rauste-von Wright, M. ja von Wright, J. 2003. Oppiminen ja koulutus. WSOY. Porvoo.
- Rieppo, K. ja Kariniemi, A. 2001. Korjuukoneiden kehittämismahdollisuudet korjuujäljen kannalta. Metsätehon raportti 118. 32 s.
- Ryle, G. 1984. The Concept of Mind. The University of Chicago Press. 334 s.
- Ryynänen, S. ja Rönkkö, E. 2001. Harvennusharvestereiden tuottavuus ja kustannukset. Helsinki. Työtehoseuran julkaisuja 381. 67 s.
- Saariluoma, P. 1990. Taitavan ajattelun psykologia. Helsinki. Otava. 221 s.
- Salakari, H. ja Heimonen, R. 1998. Koneellinen puunkorjuu. Metsälehti kustannus. 87 s.
- Salminen, M.-L. 1981. Kuormatraktorin kuljettajan kuormittumisen arviointi psyko-fysiologisilla menetelmillä. Folia Forestalia 455: 1 – 21.
- Sirén, M. 1998. Hakkuukonetyö, sen korjuujälki ja puustovaurioiden ennustaminen. Väitöskirja. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 694. 179 s.
- Sirén, M. 2003. Economic and silvicultural performance of different thinning machinery. 2<sup>nd</sup> Forest Engineering Conference 12-15 May 2003, Växjö, Sweden. Skogsforsk Arbetsrapport 535: 3-12.
- Sirén, M. ja Tanttu, V. 2001. Pienet hakkuukoneet ja korjuri rämemännikön talvikorjuussa. Metsätieteen aikakauskirja 4/2001:599-614.
- STORA, 1989. Productivity norm for hauling. Stora Skog, S-791 80 Falun, Sweden.
- Teikari, V. ja Vartiainen, M. 1985. Simulaatio työtaidon kehittäjänä. Otaniemi: Teknillinen Korkeakoulu. 109 s.
- Tufts, R.A. 1997. Productivity and cost of the Ponsse 15-series, cut-to-length harvesting system in southern pine plantations. Forest Products Journal 47(10):39-46
- Tufts, R.A. ja Brinker, R.W. 1993. Productivity of a Scandinavian cut-to-length system while second thinning pine plantations. Forest Products Journal 43(11-12):24-32
- Tynkkynen, M. 1997. Apteeraussimulaattoriharjoittelu hakkuukoneen kuljettajan koulutuksessa: vaikutus apteerauksen laatuun ja ajanmenekkiin. Pro-gradu työ. Joensuun yliopiston Metsätieteellinen tiedekunta. Metsäteknologia ja puutalous. 50 s.
- Vähänikkilä, A., Soranen, E., Rytönen, E. ja Pasanen T. 2004. Metsäkoneiden värinä ja melu. Kuopion alueterveyslaitos 2004. Fysiikan laboratorio. 36 s.
- Wästerlund, I., Nordfjell, T. ja Tabell, L. 2004. Vibration transmission in a single-grip harvester. Teoksessa: Uusitalo, J., Nurminen, T. ja Ovaskainen, H. (toim). NSR Conference on Forest Operations 2004 – Proceedings. University of Joensuu, Faculty of forestry. Silva Carelica 45: 293 – 300.
- Väyrynen, S. 1986. Metsäkoneiden kunnossapidon mekaaninen työturvallisuus, erityisesti sen liittyvyys luoksepäästävyteen kunnossapitokohteisiin. Työterveyslaitoksen tutkimuksia, lisänumero 1: 1 – 198.
- Väätäinen, K. 1999. Hakkuukoneen tuottaman puutavaralajikertymän ja tukkijakauman ennustaminen SpruceOpti –ohjelmalla. Metsäteknologian ja puutalouden pro-gradu. Joensuun yliopisto, Metsätieteellinen tiedekunta 1999. 72 s.
- Väätäinen, K., Ovaskainen, H., Asikainen, A. ja Sikanen, L. 2003. Chasing the tacit knowledge – automated data collector to find the characteristics of a skillful harvester operator. 2<sup>nd</sup> Forest Engineering Conference 12-15 May 2003, Växjö, Sweden. Skogsforsk Arbetsrapport 539: 3-10.

Väätäinen, K. ja Ala-Fossi, A. 2004. Hakkuukonetyön kasausjäljen vaikutus metsäkuljetukseen ensiharvennuksella. MetSimu-hanke. Tutkimusraportti. 24 s.

#### MUUT LÄHTEET

Metsäkonesimulaatio-opetuksen tuotteistaminen -projekti. 2004. simumedia.ppky.fi. Luettu 10.10.2004.

Tacit knowledge. Karl E. Sveiby. 1997. <http://www.sveiby.com/articles/Polanyi.html>. Luettu 8.10.2004.

Härkönen, M. 2004. Suullinen tiedonanto. 15.11.2004

## LIITE 1

### Manuaalisen aikatutkimuksen työvaiheselitykset:

#### Siirtyminen

Tässä siirtymisellä tarkoitettiin hakkuukoneen siirtymistä eteenpäin. Siirtymistä ei talletettu, jos kone siirtyi rungon kaadon tai prosessoinnin aikana. Muulloin aina koneen liikkussa eteenpäin ajanmenekki talletettiin siirtyminen -työvaiheelle.

#### Hakkuulaitteen vienti ja asettelu

Vienti alkoi hakkuulaitteen liikkeen alkaessa kaadettavalle puulle ja loppui kaatosahauksen alkamiseen. Näin ollen vientiin sisältyi hakkuulaitteen asettelu rungon tyvelle.

#### Rungon kaato

Kaato alkoi kaatosahauksesta ja päättyi rungon karsintasyötön aloitukseen. Rungon kaato tallennettiin silloin, jos runkoa ei siirretty kaadon yhteydessä kolme metriä enempää kannolta.

#### Rungon kaato ja siirto

Jos kaadon aikana runkoa siirrettiin yli kolme metriä rungon kaatokohdasta prosessointipaikalle, tallennettiin työvaihe rungon kaadolla ja siirrolla. Havainto rungon siirtomatkasta tehtiin silmämääräisesti.

#### Rungon prosessointi (karsinta ja katkonta)

Rungon prosessointivaihe alkoi ainespuun karsintasyötön käynnistyessä ja päättyi latvapölkyn katkaisusahauksen jälkeiseen hakkuulaitteen kääntöön pystyasentoon. Karsinnan myötäily kuormaimella erotettiin omalla koodilla, jos sellaista ilmeni.

#### Raivaus

Raivaus -työvaihe koostui hakkuulaitteen viennistä raivattavalle rungolle ja rungon kaadosta joko painamalla, repimällä tai katkaisemalla. Tallennusvaiheessa erotettiin eri raivaustavat omilla koodeilla.

#### Ainespuun kasaus

Työvaiheeseen kuului ainespuupölkkyjen siirtäminen kasalle tai kasan pölkkyjen tasaaminen.

#### Hakkuutähteiden siirto

Työvaihe tallennettiin, jos hakkuutähteitä siirrettiin erikseen hakkuulaitteella.

#### Tauko aika

Tässä tauko aika koostui hakkuuajaiseen suunnitteluun ja päätöksentekoon liittyvistä pienistä taukoajoista. Tauko aikaan kuului tauot, jolloin hakkuukoneessa ei havaittu mitään liikettä tai toimintoa.

#### Peruutus

Hakkuukoneen siirtyessä taaksepäin merkittiin peruutus -työvaihe, jos samanaikaisesti ei tapahtunut puun kaatoa eikä prosessointia.

#### Hakkuulaitteen tuonti eteen

Juuri ennen siirtymistä uudelle työpisteelle kuormaimen taittaminen ja hakkuulaitteen tuonti hakkuukoneen lähelle tallennettiin tuonti eteen -työvaiheella.

#### Monilatvaisen prosessointi

Prosessoidessa runkoa, jossa oli kaksi tai useampi latvaosa, merkittiin jokaisen latvaosan prosessoinnille oma koodi prosessointikoodin lisäksi. Työvaihe alkoi rungon tyvikappaleen viimeisestä katkonnasta ja päättyi latvaosan viimeiseen katkontaan. Huom: Ei mukana tämän kirjan tuloksissa!

#### Keskeytys

Keskeytykseen merkittiin kaikki hakkuukoneesta, tutkimusjärjestelyistä, tai kuljettajasta riippumattomia tekijöistä johtuneet keskeytykset. Keskeytyksiä ei tarkasteltu tutkimuksessa.

## **LIITE 2**

### **Hakkuunaikaisen työtekniikkahavainnoinnin havainnointien selitykset**

#### **1 kellonaika**

Kun hakkuukone siirtyy uuteen työpisteeseen laitetaan ylös kellonaika minuutin tarkkuudella. Kellonajan avulla voidaan kohdistaa PlusScanin ja myös perinteisen Rufcolla tehdyn aikatutkimuksen havainnot puukohtaisiin havaintoihin. Kellonajasta nähdään myös koska tunnin mittainen koeala päättyy.

#### **2 siirtymä, m**

Siirtymä on matka, jonka hakkuukone etenee siirtyessään ajouralla työpisteestä toiseen. Alle 0,5 metrin siirtymiä ei kirjata vaan havainto laitetaan silloin, kun kone siirtyy yli 0,5 metriä edellisestä työpisteestä uuteen työpisteeseen eli kun koneen työpisteen paikka muuttuu selvästi.

#### **3 rintama, m**

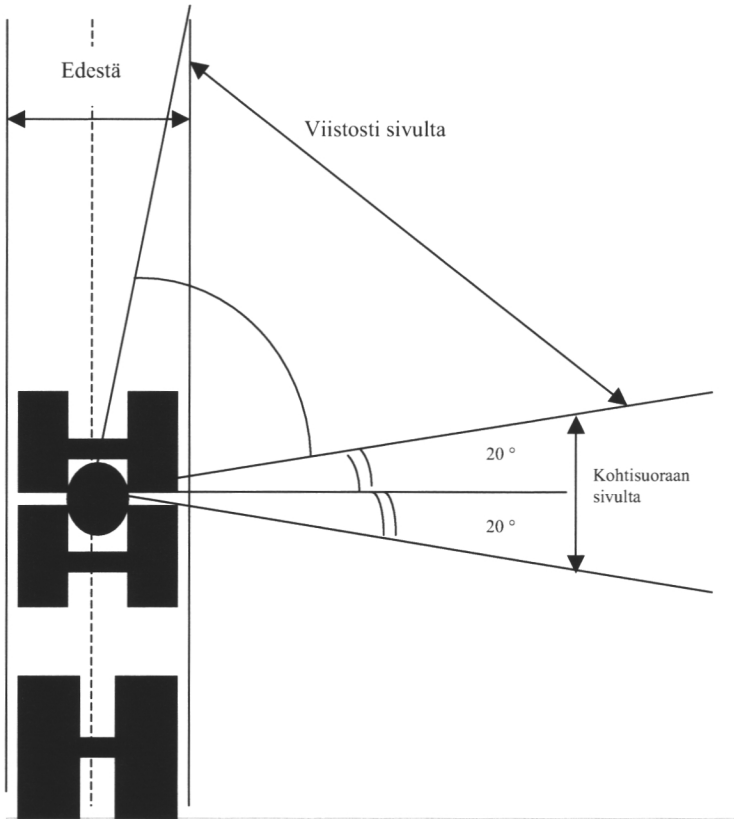
Rintama on etäisyys, joka arvioidaan koneen siirtyessä uuteen työpisteeseen. Rintaman etäisyys on koneen eturenkaista mitattuna ajouralla olevan kahden lähimmän puun etäisyyden keskiarvo.

#### **4 ottosuunta**

Poistettavan puun ottosuunta menosuunnassa ajouraan nähden: oikealta puolelta ajouraa, vasemmalta puolelta ajouraa tai ajouralta.

#### **5 ottokulma**

Poistettavan puun ottokulma ajouraan nähden: edestä, viistosti sivulta tai kohtisuoraan sivulta. Edestä tarkoittaa, että puu otetaan tulevalta ajouralta. Viistosti sivulta puu otetaan silloin, kun puu ei ole uralla eikä ottokulma ole suurempi kuin 70 astetta ajouran keskilinjaan nähden (Kuva 1).



**Kuva 1.** Ainespuurunkojen ottokulmat työpisteellä.

### **6 puulaji**

Poistettavan puun puulaji: mänty, kuusi, koivu, muu puu.

### **7 raivaus, kpl**

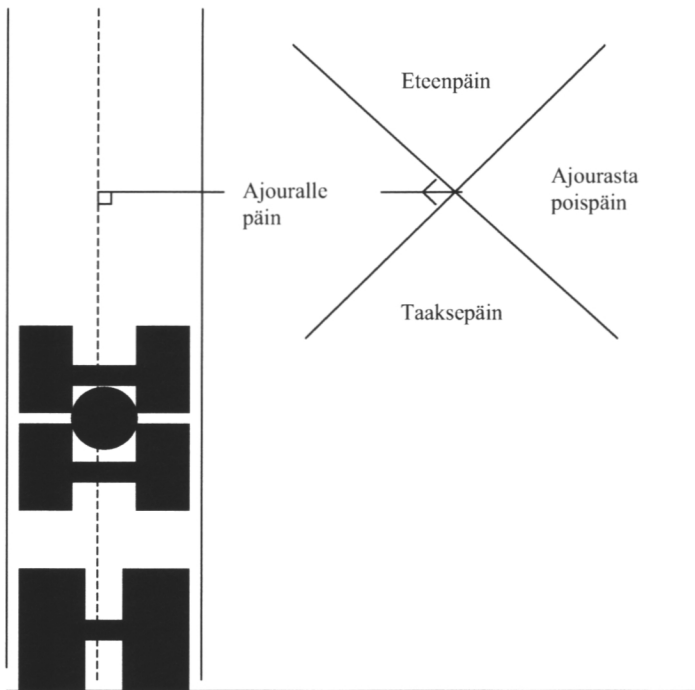
Lasketaan raivausten lukumäärä. Raivaus syntyy silloin, kun kuljettaja kaataa puita hakkuupäällä raivaus tarkoituksessa. Tämän avulla voidaan selvittää PlusScanin poikkeavia havaintoja.

### **8 puun etäisyys, m**

Arvioidaan poistettavan puun kohtisuora etäisyys ajouran keskipisteestä.

### **9 kaatosuunta**

Arvioidaan mihin suuntaan kuljettaja kaataa puun: pois päin ajourasta, ajouralle päin, eteenpäin tai taaksepäin (Kuva 2).



**Kuva 2.** Rungon kaatosuunnat työpisteellä.

### 10 käsittelypaikka

Käsittelypaikka on piste, jossa runko valmistetaan puutavaralajeiksi. Rungon käsittelypaikaksi määritetään joko vasemmalla, oikealla, vasemmalla uralla tai oikealla uralla. Vasemmalla ja oikealla uralla merkitään silloin, kun runko käsitellään ajouran lähellä siten, että oksat ja latvus jäävät ajouralle, esimerkiksi runkojen puinti viistosti koneen viereen. Käsittely vasemmalla tai oikealla tapahtuu silloin, kun rungon karsinta tapahtuu siten, että oksat ja latvus jäävät muualle kuin ajouralle.

### 11 käsittelypaikan etäisyys, m

Rungon käsittelypaikan arvioitu kohtisuora etäisyys ajouran keskeltä. Sarake on tyhjä havaintolomakkeessa, jos rungon käsittelypaikka on vasemmalla tai oikealla uralla (vakio etäisyys).

### 12 peruutuksia, kpl

Peruutus merkitään silloin, kun kuljettaja peruuttaa koneella yli 0,5 metriä.

### 13 ongelmia

Merkitään joko sanoin tai kirjaimin, jos koealan aikana ilmenee ongelmia, esimerkiksi ketjun irtoaminen.

### LIITE 3

**Taulukko 1.** Lineaarisen regressiomallin kertoimet ja niiden testisuureet tehotyöajalle sekä ensiharvennus- että päätehakkuulla.

Parametrit:	Harvennushakkuu				Päätehakkuu			
	Kertoimen arvo	Keskivirhe	T-arvo	p-arvo	Kertoimen arvo	Keskivirhe	T-arvo	p-arvo
Vakiotermi	27,92	0,43	65,25	0,000	50,05	1,83	27,32	0,000
Kuljettaja A	-1,81	0,40	-4,47	0,000	-11,50	1,83	-6,27	0,000
Kuljettaja B	2,77	0,43	6,53	0,000	-3,71	1,71	-2,17	0,031
Kuljettaja C	-8,45	0,37	-22,67	0,000	-8,58	1,85	-4,64	0,000
Kuljettaja D	-0,29	0,39	-0,73	0,465	-8,89	1,71	-5,19	0,000
Kuljettaja E	-10,57	0,37	-28,46	0,000	-26,38	1,69	-15,64	0,000
Kuljettaja F	0				0			
Puulaji (mänty)	1,04	0,27	3,81	0,000	-	-	-	-
Puulaji (kuusi)	1,07	0,34	3,18	0,001	-	-	-	-
Puulaji (koivu)	0				-	-	-	-
Rungon tilavuus	61,50	1,74	35,43	0,000	55,21	1,86	29,75	0,000
Rungon kaato- ja siirtomatka	0,28	0,04	7,07	0,000	-	-	-	-
Rungon etäisyys ajouran keskeltä	0,54	0,04	13,62	0,000	0,48	0,17	2,88	0,004

**Taulukko 2.** Lineaarisen regressiomallin kertoimet ja niiden testisuureet hakkuulaitteen vienti- ja asetteluajalle sekä ensiharvennus- että päätehakkuulla.

Parametrit:	Harvennushakkuu				Päätehakkuu			
	Kertoimen arvo	Keskivirhe	T-arvo	p-arvo	Kertoimen arvo	Keskivirhe	T-arvo	p-arvo
Vakiotermi	7,94	0,33	24,25	0,000	8,00	0,61	13,20	0,000
Kuljettaja A	-1,03	0,20	-5,09	0,000	-2,12	0,60	-3,56	0,000
Kuljettaja B	-0,78	0,21	-3,69	0,000	2,50	0,58	4,31	0,000
Kuljettaja C	-2,88	0,18	-15,59	0,000	-1,38	0,60	-2,31	0,021
Kuljettaja D	0,44	0,20	2,24	0,025	0,48	0,58	0,84	0,403
Kuljettaja E	-2,41	0,18	-13,06	0,000	-2,92	0,55	-5,32	0,000
Kuljettaja F	0				0			
Rungon tilavuus	7,94	0,83	9,55	0,000	3,51	0,48	7,25	0,000
Rungon etäisyys ajouran keskeltä	0,33	0,03	9,46	0,000	0,24	0,06	4,17	0,000
Ottosuunta (uralta)	-0,51	0,26	-1,91	0,056	-	-	-	-
Ottosuunta (viistosti sivulta)	-0,81	0,16	-5,17	0,000	-	-	-	-
Ottosuunta (koh-tisuoraan sivulta)	0				-	-	-	-
Puulaji (mänty)	0,56	0,14	4,08	0,000	-	-	-	-
Puulaji (kuusi)	0,90	0,17	5,36	0,000	-	-	-	-
Puulaji (koivu)	0				-	-	-	-

**Taulukko 3.** Lineaarisen regressiomallin kertoimet ja niiden testisuureet rungon kaato- ja siirtoajalle sekä ensiharvennus- että päätehakuulla.

Parametrit:	Harvennushakkuu				Päätehakkuu			
	Kertoimen arvo	Keskivirhe	T-arvo	p-arvo	Kertoimen arvo	Keskivirhe	T-arvo	p-arvo
Vakiotermi	6,24	0,12	50,85	0,000	6,71	0,74	9,03	0,000
Kuljettaja A	-1,17	0,14	-8,11	0,000	1,53	0,67	2,30	0,022
Kuljettaja B	-0,56	0,15	-3,67	0,000	-0,26	0,62	-0,42	0,677
Kuljettaja C	-2,20	0,13	-16,34	0,000	-3,17	0,69	-4,57	0,000
Kuljettaja D	-1,22	0,14	-8,67	0,000	-0,50	0,62	-0,81	0,417
Kuljettaja E	-2,73	0,13	-20,56	0,000	-3,30	0,61	-5,38	0,000
Kuljettaja F	0				0			
Rungon tilavuus	5,00	0,57	8,72	0,000	10,58	0,67	15,67	0,000
Rungon vienti uran yli (uralta)	-0,44	0,10	-4,46	0,000	-	-	-	-
Rungon vienti uran yli (palstalta)	-1,52	0,22	-6,81	0,000	-	-	-	-
Rungon vienti uran yli (yli uran)	0				-	-	-	-
Rungon kaato- ja siirtomatka	0,47	0,03	15,95	0,000	-	-	-	-
Kaatosuunta (ajouralle päin)	-	-	-	-	-0,47	0,55	-0,86	0,391
Kaatosuunta (palstalle päin)	-	-	-	-	-1,06	0,52	-2,05	0,041
Kaatosuunta (eteenpäin)	-	-	-	-	0			

**Taulukko 4.** Lineaarisen regressiomallin kertoimet ja niiden testisuureet rungon prosessointiajalle sekä ensiharvennus- että päätehakuulla.

Parametrit:	Harvennushakkuu				Päätehakkuu			
	Kertoimen arvo	Keskivirhe	T-arvo	p-arvo	Kertoimen arvo	Keskivirhe	T-arvo	p-arvo
Vakiotermi	6,064	0,21	28,95	0,000	14,11	1,82	7,76	0,000
Kuljettaja A	-0,917	0,24	-3,89	0,000	-9,34	1,44	-6,47	0,000
Kuljettaja B	2,039	0,25	8,16	0,000	-6,17	1,38	-4,45	0,000
Kuljettaja C	-1,825	0,22	-8,41	0,000	-5,36	1,47	-3,64	0,000
Kuljettaja D	-0,069	0,23	-0,30	0,762	-5,23	1,37	-3,82	0,000
Kuljettaja E	-3,001	0,22	-13,85	0,000	-12,97	1,35	-9,64	0,000
Kuljettaja F	0				0			
Puulaji (mänty)	0,357	0,16	2,22	0,027	4,23	2,13	1,98	0,048
Puulaji (kuusi)	0,135	0,20	0,69	0,491	4,67	1,60	2,93	0,004
Puulaji (koivu)	0				0			
Rungon tilavuus	49,000	1,03	47,45	0,000	41,47	1,54	26,87	0,000
Käsittelypaikka (palstan puolella)	0,520	0,14	3,83	0,000	2,50	1,46	1,71	0,088
Käsittelypaikka (ajouran puolella)	0				0			

## LIITE 4

Työvaiheiden regressiomallien kertoimet, testisuureet ja selitysasteet kuljettajittain ja leimikoittain.

**Taulukko 1.** Hakkuulaitteen viennin ja asettelun ajanmenekin lineaaristen regressiomallien kertoimet, selitysasteet ja testisuureet kuljettajittain, kun selittävänä muuttujana on vientimatk. Harvennus

Kuljettaja	R <sup>2</sup>	d.f.	F	Sigf	b0	b1
A	0,078	363	30,79	0,000	7,8378	0,3231
B	0,007	307	2,27	0,133	9,1272	0,1034
C	0,036	523	19,65	0,000	6,5359	0,1628
D	0,051	396	21,41	0,000	9,5199	0,234
E	0,04	547	22,98	0,000	6,814	0,1566
F	0,066	377	26,7	0,000	9,1072	0,2526

**Taulukko 2.** Hakkuulaitteen viennin ja asettelun ajanmenekin lineaaristen regressiomallien kertoimet, selitysasteet ja testisuureet kuljettajittain, kun selittävänä muuttujana on rungon koko. Päätehakkuu

Kuljettaja	R <sup>2</sup>	d.f.	F	Sigf	b0	b1
A	0,05	91	4,75	0,032	7,2915	3,0518
B	0,077	119	9,89	0,002	11,0102	4,7188
C	0,08	91	7,87	0,006	7,0886	5,3857
D	0,087	113	10,82	0,001	9,6913	2,8663
E	0,105	132	15,55	0,000	6,9194	2,0849
F	0,039	83	3,41	0,069	9,8339	2,4182

**Taulukko 3.** Rungon kaato -ajanmenekin lineaaristen regressiomallien kertoimet, selitysasteet ja testisuureet kuljettajittain, kun selittävänä muuttujana on rungon siirtomatka metreinä. Harvennus

Kuljettaja	R <sup>2</sup>	d.f.	F	Sigf	b0	b1
A	0,275	447	169,69	0,000	4,762	0,5645
B	0,109	380	46,45	0,000	6,4103	0,3157
C	0,09	618	61	0,000	4,5197	0,2367
D	0,088	495	47,67	0,000	5,4491	0,2267
F	0,104	644	74,47	0,000	4,0485	0,2183
G	0,1	480	53,38	0,000	6,7816	0,2611

**Taulukko 4.** Rungon kaato ja siirtotyövaiheen lineaariset regressiomallit tilavuuden funktiona kuljettajittain päätehakkuukohteella.

Kuljettaja	R <sup>2</sup>	d.f.	F	Sigf	b0	b1
A	0,297	77	32,6	0,000	5,8531	14,5893
B	0,288	114	46,04	0,000	6,4802	8,3331
C	0,298	81	34,42	0,000	1,6447	14,3341
D	0,244	107	34,5	0,000	6,3789	7,3165
E	0,443	114	90,82	0,000	2,8568	9,5571
F	0,192	64	15,19	0,000	5,1327	12,7723

**Taulukko 5.** Rungon prosessointiajanmenekin regressiomallien kertoimet, selityasteet ja testisuureet kuljettajittain, kun selittävänä muuttujana on rungon tilavuus. Mallit ovat potenssifunktio muotoa  $y = b_0 \cdot x^{b_1}$ . Harvennus

Kuljettaja	R <sup>2</sup>	d.f.	F	Sigf.	b0	b1
A	0,529	451	505,79	0,000	27,67	0,441
B	0,462	368	315,67	0,000	34,7512	0,4305
C	0,594	626	914,07	0,000	26,6286	0,4707
D	0,574	489	658,31	0,000	36,8524	0,5203
E	0,646	643	1172,53	0,000	28,0168	0,5498
F	0,617	475	766,59	0,000	37,8402	0,5205

**Taulukko 6.** Rungon prosessointiajanmenekin regressiomallien kertoimet, selityasteet ja testisuureet kuljettajittain, kun selittävänä muuttujana on rungon tilavuus. Mallit ovat potenssifunktio muotoa  $y = a \cdot x^b$ . Päätehakkuu

Kuljettaja	R <sup>2</sup>	d.f.	F	Sigf	b0	b1
A	0,795	91	352,06	0,000	46,3732	0,6024
B	0,688	125	276,28	0,000	48,0086	0,5008
C	0,738	88	247,99	0,000	53,5125	0,5879
D	0,564	114	147,57	0,000	45,4742	0,4386
E	0,747	129	380,8	0,000	39,3683	0,5448
F	0,822	88	405,84	0,000	63,312	0,6936

## LIITE 5

Kuormauksen tuottavuuden askeltavan regressioanalyysin eri mallien parametrit, niiden kertoimet ja merkitsevyydet sekä mallien selityasteet.

Malli	Parametrit:	Kertoimen arvo	Keskivirhe	T-arvo	p-arvo	Mallin selityaste (Adj. R <sup>2</sup> )
1	vakio	5,189	,056	93,237	,000	0,748
	ln (tilavuus)	,896	,023	38,738	,000	
2	vakio	5,852	,114	51,189	,000	0,768
	ln (tilavuus)	,931	,023	40,743	,000	
	montako taakkaa kasasta	-,563	,086	-6,563	,000	
3	vakio	6,116	,127	47,977	,000	0,776
	ln (tilavuus)	,946	,023	41,661	,000	
	montako taakkaa kasasta	-,563	,084	-6,672	,000	
	Kuormaus-vaikeus	-,207	,047	-4,373	,000	
4	vakio	6,035	,129	46,748	,000	0,780
	ln (tilavuus)	,938	,023	41,438	,000	
	montako taakkaa kasasta	-,536	,084	-6,380	,000	
	Kuormaus-vaikeus puutavaralaji	-,192	,047	-4,078	,000	
5	vakio	6,190	,146	42,359	,000	0,781
	ln (tilavuus)	,948	,023	41,314	,000	
	montako taakkaa kasasta	-,548	,084	-6,528	,000	
	Kuormaus-vaikeus puutavaralaji	-,181	,047	-3,831	,000	
	monestako kasasta	-,125	,056	-2,236	,026	

Selitettävänä muuttujana tuottavuuden luonnollinen logaritmi







ISBN 951-40-1950-5  
ISSN 0358-4283