

Puutavaran metsäkuljetuksen ajanmenekki

**Jouni Väkevä
Arto Kariniemi
Jarmo Lindroos
Asko Poikela
Juha Rajamäki
Kari Uusi-Pantti**

**Metsätehon raportti 123
7.9.2001**

Korjattu versio 7.10.2003

Puutavaran metsäkuljetuksen ajanmenekki

**Jouni Väkevä
Arto Kariniemi
Jarmo Lindroos
Asko Poikela
Juha Rajamäki
Kari Uusi-Pantti**

Metsätehon raportti 123
7.9.2001

Korjattu versio 7.10.2003

*Muutokset: s.17 kaavat 3 ja 4
s.20 kaava 11
s.22 kaava 13
s.28 taulukko 15*

Ryhmähanke: A. Ahlström Osakeyhtiö, Koskitukki Oy, Kuhmo Oy, Metsähallitus, Metsäliitto Osuuskunta, Pölkky Oy, Stora Enso Oyj, UPM-Kymmene Oyj, Vapo Timber Oy, Visuvesi Oy ja Yksityismetsätalouden Työnantajat r.y.

Asiasanat: puunkorjuu, metsäkuljetus, tuottavuus

© Metsäteho Oy

Helsinki 2001

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ.....	5
1 JOHDANTO	8
2 AINEISTO.....	8
2.1 Tutkimuskoneet.....	8
2.2 Aikatutkimus.....	9
2.3 Seurantatutkimus.....	10
3 MENETELMÄT.....	11
3.1 Aikatutkimus.....	12
3.1.1 Kuormaus	12
3.1.2 Kuormausajo.....	13
3.1.3 Kuormattuna- ja tyhjänäajo	14
3.1.4 Kuorman purkaminen.....	14
3.2 Seurantatutkimus.....	15
3.2.1 Seurantatietojen kerääminen	15
3.2.2 Seurantakertoimen laskenta.....	15
3.3 Kuorman koko	15
3.4 Vauriokartoitus	16
4 AIKATUTKIMUKSEN TULOKSET	17
4.1 Ajanmenekki funktiot	17
4.1.1 Kuormaus	17
4.1.2 Kuormausajo.....	19
4.1.3 Kuormattuna- ja tyhjänäajo	20
4.1.4 Kuorman purkaminen.....	22
4.2 Tuottavuuden vertailu edelliseen tutkimukseen	22
4.2.1 Kuormaus	22
4.2.2 Kuormausajo.....	24
4.2.3 Kuormattuna- ja tyhjänäajo	26
4.2.4 Kuorman purkaminen.....	27
4.3 Lyhyet keskeytykset.....	28
4.4 Korjuuvauriot.....	29
4.4.1 Runkovauriot	29
4.4.2 Juurivauriot.....	29
4.4.3 Ajourapainumat	29
4.4.4 Tulosten tarkastelu	29
5 SEURANTATUTKIMUKSEN TULOKSET.....	30
5.1 Käyttöaika tuottavuus	30
5.2 Seurantakerroin.....	30
5.3 Käyttöasteet.....	31

6 TULOSTEN SOVELTAMINEN	32
6.1 Tulosten yleistäminen	32
6.1.1 Koneiden kokoluokat	32
6.1.2 Kuorman koko	33
6.1.3 Seurantakerroin	34
6.2 Vertailulaskelmia uusilla ja vanhoilla funktioilla	34
6.2.1 Tuottavuus seurantatyömailla.....	34
6.2.2 Tuottavuudet tyyppileimikoissa	37
6.2.3 Tuottavuus keskijäreyden mukaan	38
7 PÄÄTELMÄT.....	40
KIRJALLISUUS	41
LIITE Seurantatyömaiden olosuhde- ja tuottavuustiedot	

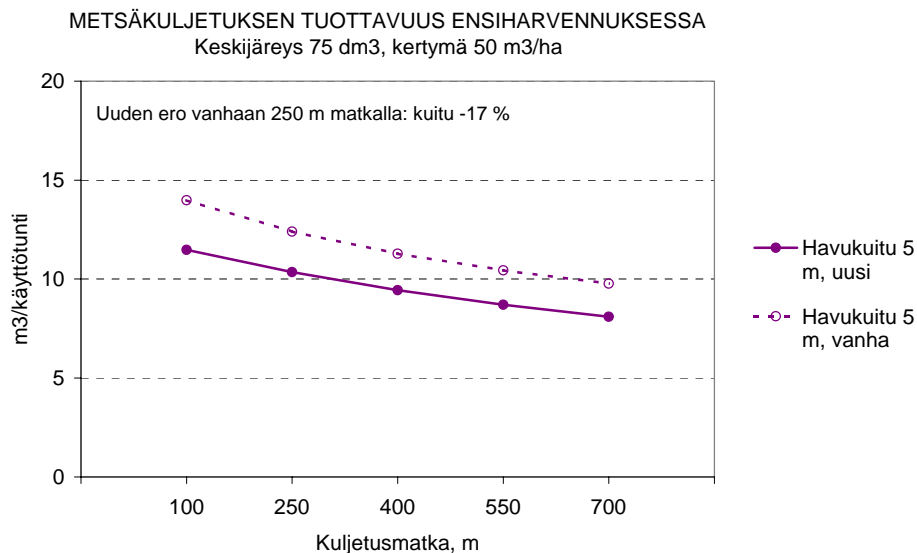
TIIVISTELMÄ

Tutkimuksen päätavoitteena oli selvittää metsäkuljetuksen ajanmenekki päätehakuilla ja harvennuksissa koneellisen hakkuun jälkeen eri olosuhteissa.

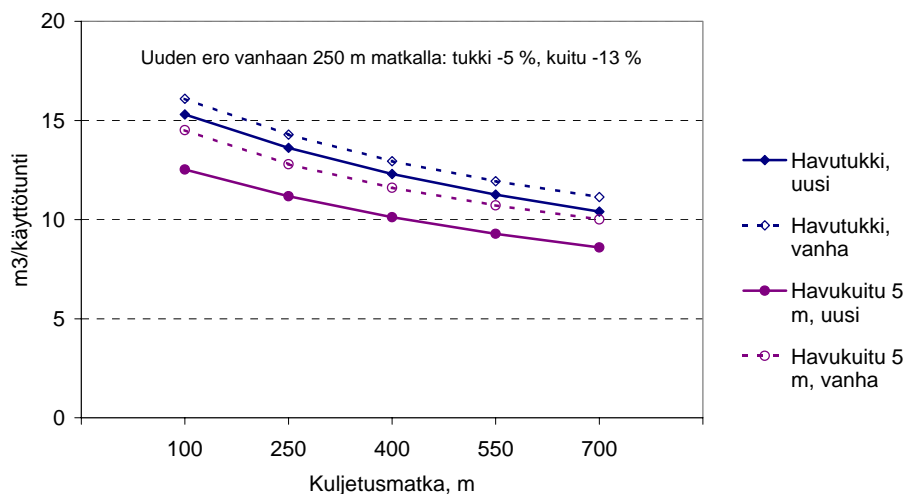
Tutkimukseen valittiin 8 tyypillistä, uudehkoa, erikokoista kuormatraktoria eri puolilta Suomea. Tutkimus toteutettiin aika- ja seurantatutkimuksen yhdistelmänä. Aikatutkimuksen perusteella mallinnettiin metsäkuljetuksen ajanmenekin rakenne työvaiheittain. Seurantatutkimuksella selvitettiin ajanmenekin taso pitkällä aikavälillä vaihtelevissa olosuhteissa. Aikatutkimuksen yhteydessä mitattiin myös harvennustyömaiden työnjälki. Tutkimusaineistot kerättiin vuoden 1998 aikana.

Tuloksina laadittiin ajanmenekki-funktiot puutavaralajeittain. Funktioiden avulla voidaan laskea tuottavuuksia havu- ja lehtipuutukille sekä pitkälle ja lyhyelle havu- ja lehtikuitupuulle erilaisissa olosuhteissa. Laskentaa varten korjuukohteesta tarvitaan seuraavat tiedot: hakkuutapa (harvennus-/päätehaku), metsäkuljetusmatka, puuston keskijäreys (dm^3/runko), hehtaarikertymä (m^3/ha) ja maastoluokka.

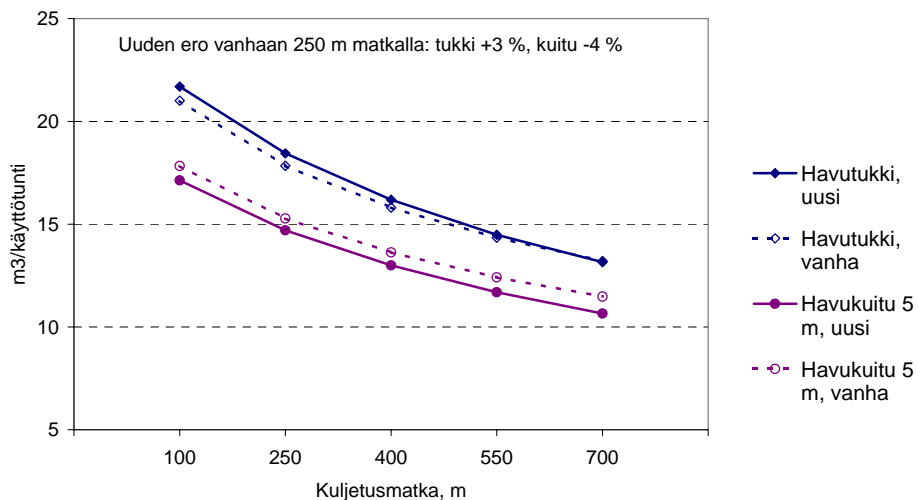
Tutkimuksen tuloksia havainnollistetaan seuraavissa kuvissa, joissa on laskettu tuottavuuksia esimerkkileimikoissa. Kuvissa esitetään myös vuonna 1991 tehdyn tutkimuksen perusteella laskettuja tuottavuuksia (tuottavuuskäyrät katkoviivalla).



METSÄKULJETUKSEN TUOTTAVUUS HARVENNUSHAKKUUSSA
Keskijäreys 150 dm³, kertymä 80 m³/ha, tukkiosuus 38 %



METSÄKULJETUKSEN TUOTTAVUUS PÄÄTEHAKKUUSSA
Keskijäreys 300 dm³, kertymä 200 m³/ha, tukkiosuus 52 %



Uudet ajanmenekki-funktiot antavat useimmissa tapauksissa pienempiä tuottavuuksia kuin mihin v. 1991 tutkimuksen perusteella päädytään. Havukuitupuun tuottavuus oli vertailuesimerkeissä aina alemmalla tasolla kuin vanhoissa tuloksissa. Havutukilla uusi tuottavuus alkoi nousta vanhaa suuremmaksi, kun keskijäreys ylitti 200 - 300 litran tason.

Vanhoja ja uusia tuottavuusfunktioita vertailtiin myös laskemalla niiden avulla tuottavuudet seurantaleimikoille (24 harvennus- ja 97 päätehakkuuleimikkoa). Uusilla funktiolla päädyttiin harvennuksilla keskimäärin 7,6 % pienempään ja päätehakkuilla 4,8 % suurempaan tuottavuuteen kuin vanhoilla funktioilla.

Metsätraktoreiden mahdollinen järetyminen ja toimintavarmuuden nousu ovat tekijöitä, jotka ovat voineet nostaa tuottavuutta 1990 luvun aikana. Tuottavuutta on puolestaan voinut hidastaa mm. mahdollinen lajittelutyön lisääntyminen metsäkuljetuksessa. Tutkimusmenetelmistä itsestään aiheutuu eroja tuloksiin. Käytännön syistä joudutaan keräämään suhteellisen pieniä

aineistoja ja havainnoissa voi olla suurtakin hajontaa. Kaksi tutkimusta antavat harvoin saman tuloksen. Nämä epävarmuustekijät on otettava huomioon, kun tuloksista tehdään yleistyksiä.

Jatkossa olisi tärkeää kehittää korjuutyön tuottavuuden seurantamenetelmiä, jotta välttyttäisiin pienten otosten aiheuttamilta ongelmilta. Nykytekniikalla olisi mahdollista kerätä tietoa eri työvaiheiden kestosta myös automaattisesti. Tämä mahdollistaisi laajempien aineistojen keruun. Havaintoaineistoon liittyvä suuri vaihtelu saataisiin näin paremmin hallintaan ja tulosten yleistettävyyttä parannettua. Myös kuljettajien välisten erojen arviointia ja mittaamista tulisi kehittää sillä kuljettajan ammattitaidolla on ratkaiseva merkitys työn tuottavuudelle.

1 JOHDANTO

Metsäkuljetuksen edelliset ajanmenekkitiedot perustuivat vuosina 1990-1991 tehtyyn tutkimukseen. Sen jälkeen korjuussa on tapahtunut useita muutoksia. Hakkuun koneellistamisaste on kaksinkertaistunut tutkimusten välisellä aikajaksolla (1990 - 1998) 46 %:sta 91 %:iin. Tuotelähtöisyys puunjalostuksessa on lisännyt puutavaralajien määrää. Lajittelu ja erillään pito aiheuttavat lisätyötä korjuun eri vaiheissa. Korjuuyrittäjät toimivat nykyisin entistä itsenäisemmin, mm. suunnittelutöitä on siirretty työnjohdolta yrittäjille. Puunhankinnan ohjausjärjestelmät asettavat omat vaatimuksensa korjuutyölle. Lisäksi konekalusto on uusiutunut.

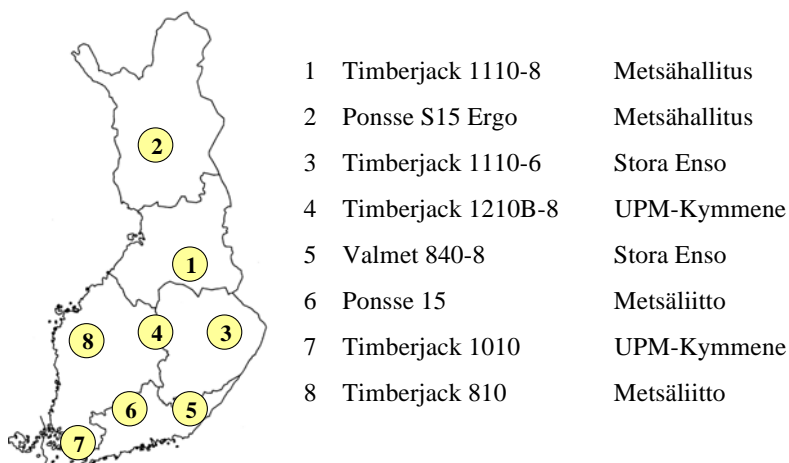
Tutkimuksen päätavoitteena oli selvittää metsäkuljetuksen ajanmenekki päätehakkuilla ja harvennuksissa koneellisen hakkuun jälkeen eri olosuhteissa. Tuloksina laadittiin ajanmenekkitiedot puutavaralajeittain.

Tutkimuksen tuloksia voidaan soveltaa mm. metsäkuljetuksen kustannusten kohdentamiseen eri puutavaralajeille eri olosuhteisiin. Lisäksi ajanmenekkitietoa tarvitaan eri korjuumenetelmien vertailussa ja metsäkuljetuksen kehittämisessä.

2 AINEISTO

2.1 Tutkimuskoneet

Tutkimukseen valittiin 8 tyypillistä, uudehkoa kuormatraktoria. Valinnan kriteereinä olivat maantieteellinen alue, koneen merkki, kokoluokka ja urakanantaja (kuva 1). Tutkimuskoneiden tekniset tiedot esitetään taulukossa 1.



Kuva 1. Tutkimuskoneiden sijainti ja urakanantajat.

TAULUKKO 1 Tutkimuskoneiden tekniset tiedot

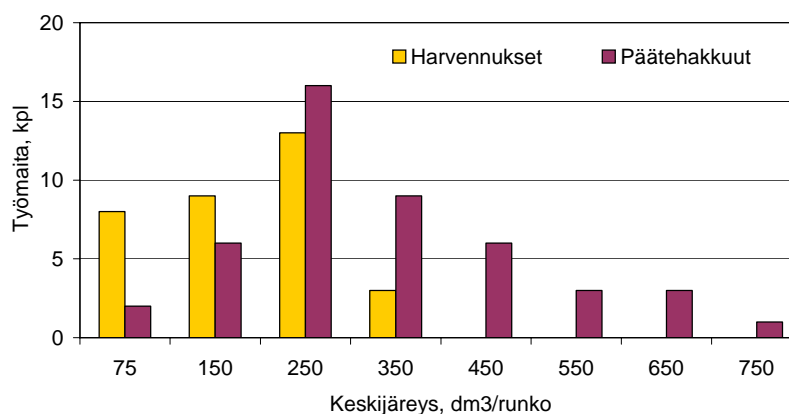
Kone nro	Merkki ja malli	Vuosi-malli	Kantavuus tonnia	Nosturi
1	Timberjack 1110-8	-97	11,0	Timberjack 71 F
2	Ponsse S15 Ergo	-96	12,0	Ponsse 75
3	Timberjack 1110-6	-96	11,0	Locklift 71 F
4	Timberjack 1210B-8	-96/97	12,0	Locklift 71 F
5	Valmet 840-8	-97	10,0	Valmet Granab 660 Combi
6	Ponsse 15	-97	12,0	Ponsse 75
7	Timberjack 1010	-94	11,0	Locklift 70
8	Timberjack 810	-95	8,5	Locklift 51

2.2 Aikatutkimus

Aikatutkimusaineistoa kerättiin talvikaudelta (tammi-maaliskuu) ja kesäkaudelta (heinä-lokakuu) 1998. Jokaiselta koneelta pyrittiin mittaamaan ajanmenekki 10 työmaalta (kesällä 5 ja talvella 5). Harvennushakkuiden vähäisestä määrästä johtuen aineisto painottui päätehakkuihin tavoitetta enemmän (taulukko 2). Työmaiden jakauma keskijäreyden mukaan esitetään kuvassa 2.

TAULUKKO 2 Aikatutkimuksen aineisto

	Hakkuutapa			
	Ensi-harvennus	Muu harvennus	Pääte-hakkuu	Siemen-puiden poisto
Työmaita, kpl	10	23	45	1
Keskijäreyys, dm ³	96	218	329	650
Kertymä, m ³ /ha	75	80	211	85
Puutavaralajeja, kpl	5	8	8	4
Metsäkuljetusmatka, m	271	204	254	249
Puumäärä yhteensä, m ³	413	1 176	2 750	66



Kuva 2. Aikatutkimustyömaiden jakauma keskijäreyden mukaan.

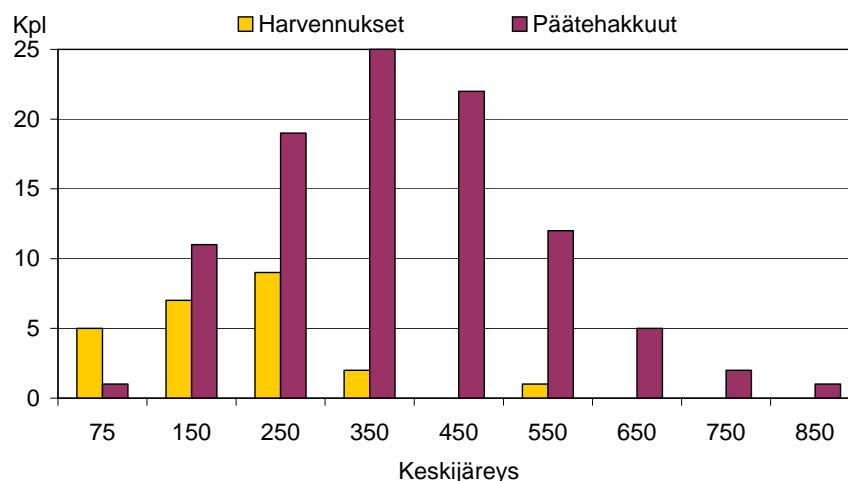
2.3 Seurantatutkimus

Seuranta toteutettiin kahdessa jaksossa: talvikausi 13.1. - 2.4. ja kesäkausi 13.7. - 2.11.1998. Jokaiselta koneelta pyrittiin saamaan noin 8 viikon (40 työpäivän) aineisto kummaltakin tutkimuskaudelta. Tavoitteeseen päästiin 5 koneen osalta. Kahdella koneella kesäkauden aineiston määrä jäi alle tavoitteen ja yhdellä koneella aineisto jäi vajaaksi molemmilla tutkimuskausilla. Yhteenveto aineistosta esitetään taulukossa 3 ja työmaiden jakauma keskijäreyden mukaan kuvassa 3.

Seurantajakson aikana tutkimuskoneet tekivät keskimäärin 1,4 työvuoroa vuorokaudessa ja työvuoron pituus oli keskimäärin 9,2 tuntia (taulukko 4).

TAULUKKO 3 Seurantatutkimuksen aineisto

	Harvennukset	Päättehakuut
Työmaita	24	99
Keskikoko, ha	5,6	4,8
Keskikoko, m ³	361	808
Kertymä, m ³ /ha	62	209
Keskijäreys, dm ³	192	385
Kuljetusmatka, m	277	280
Puutavaralajeja	9	8
Puumäärä yht., m ³	8 000	80 000



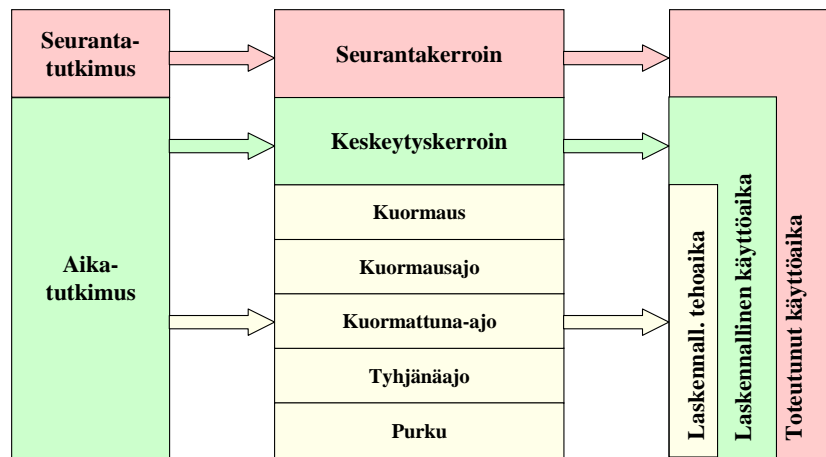
Kuva 3. Seurantaleimikoiden jakauma keskijäreyden mukaan.

TAULUKKO 4 Ajankäytön tunnuslukuja seurantatutkimuksessa

	Talvi	Kesä	Yhteensä
Seurantajakso	13.1. - 2.4.98	13.7. - 2.11.98	-
Työpäiviä jaksolla	367	321	688
Työtunteja yhteensä	4 533	3 996	8 529
Työvuoroja yhteensä	491	440	931
Työvuoroja, kpl/päivä	1,3	1,4	1,4
Työvuoron kesto, tuntia	9,2	9,1	9,2

3 MENETELMÄT

Tutkimus toteutettiin aika- ja seuranta-tutkimuksen yhdistelmänä (kuva 4). Aikatutkimuksen avulla selvitettiin eri työvaiheiden tehoajanmenekki ja lyhyiden (alle 15 min) keskeytysten määrä. Laskennallinen käyttöaika saatiin lisäämällä tehoaikaan lyhyiden keskeytysten osuus (keskeytyskerroin). Seuranta-tutkimuksen avulla selvitettiin käyttöajanmenekki pitkällä aikavälillä. Seuranta-tulosten avulla laskettiin seurantakerroin, jonka avulla laskennallinen käyttöajanmenekki voitiin korjata vastamaan seuranta-tutkimuksen tasoa. Ajanmenekki muunnettiin käyttötuntituottavuudeksi kaavalla 1.



Kuva 4. Ajanmenekin laskentatapa.

Kaava 1. Ajanmenekin muunnos käyttötuntituottavuudeksi:

$$T = \frac{60}{(Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 + Y_5) * a * b}$$

T = käyttötuntituottavuus (m^3/t)

Y_1 = kuormauksen tehoajanmenekki (min/m^3)

Y_2 = kuormausajon tehoajanmenekki (min/m^3)

Y_3 = kuormattuna-ajon tehoajanmenekki (min/m^3)

Y_4 = tyhjänäajon tehoajanmenekki (min/m^3)

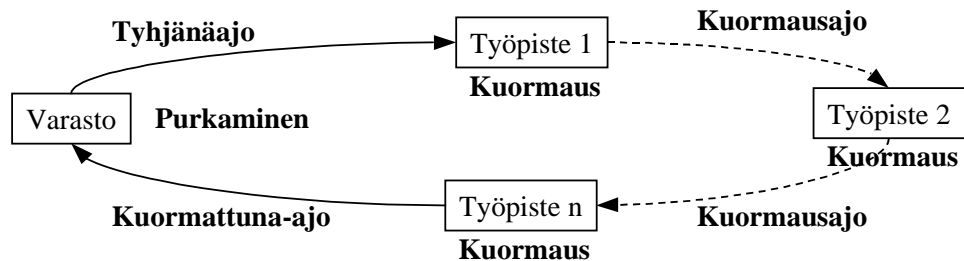
Y_5 = purkamisen tehoajanmenekki (min/m^3)

a = keskeytyskerroin (alle 15 min keskeytykset)

b = seurantakerroin

3.1 Aikatutkimus

Aikatutkimuksen avulla selvitettiin eri työvaiheiden ajanmenekki ja siihen vaikuttavat tekijät. Tulosten perusteella laadittiin ajanmenekki-funktiot eri työvaiheille (kuva 5).



Kuva 5. Metsäkuljetuksen työvaiheet.

3.1.1 Kuormaus

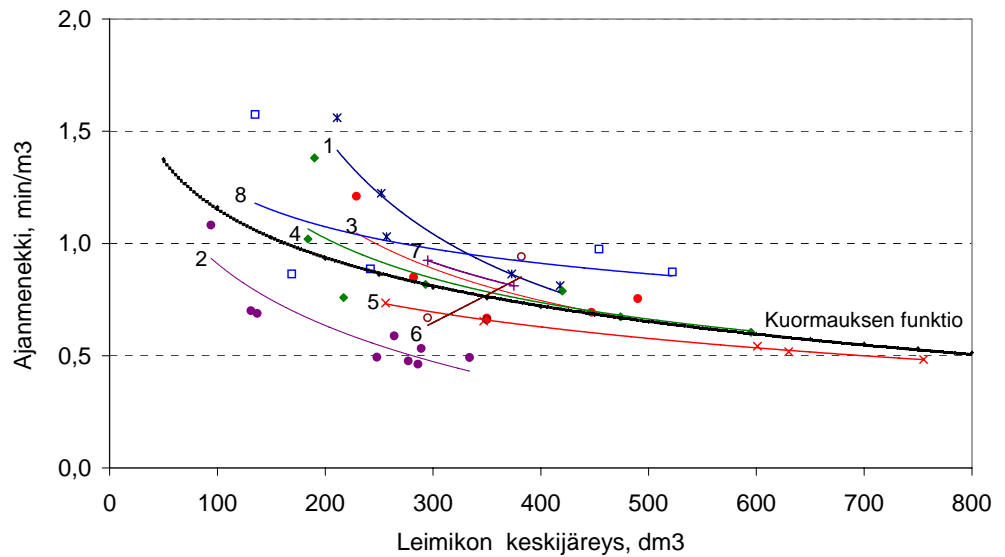
Kuormauksella tarkoitetaan työpisteessä varsinaiseen puutavaran kuormamiseen kuluvaa aikaa. Työpisteiden välillä tapahtuvat siirtymiset valmisteluineen ja päättämisineen sisältyvät kuormausajoon.

Ajanmenekki laskettiin pääpuutavaralajeille koneellisen hakkuun jälkeen erikseen harvennuksille ja päätehakuille. Talvi- ja kesäaineisto käsiteltiin yhdessä.

Kuormauksen ajanmenekin selittäjänä kokeiltiin leimikon keskijäreyttä, hehtaarikertymää sekä uranvarsitiheyttä. Näistä keskijäreys osoittautui parhaaksi selittäjäksi. Mallia ei saatu parannettua lisäämällä siihen muita selittäviä tekijöitä (kertymä tai ajouranvarsitiheys). Kun selittäjänä käytettiin kertymää tai tiheyttä, tarvittiin lisäselittäjäksi kuitenkin keskijäreyttä, jotta malli saatiin sopimaan havaintoaineistoon. Selittäjinä ei käytetty muita ajanmenekkiin vaikuttavia tekijöitä, kuten kuljettajan ja koneen ominaisuuksia.

Ajanmenekin kuvaajan muoto haettiin havutukista päätehakuulla tehtyjen havaintojen perusteella (kuva 6). Kuvaaja sovitettiin koko havaintojoukkoon. Sen todettiin vastaavan muodoltaan hyvin kuljettajakohtaisia käyriä.

Hakkuutavan ja puutavaralajin vaikutus laskettiin kuljettajakohtaisesti suhteellisten ajanmenekkien avulla. Esimerkiksi harvennuksen havutukin ajanmenekkiä verrattiin samalta kuljettajalta saatuun havutukin ajanmenekkiin päätehakuulla. Lopullinen tasoero saatiin kuljettajakohtaisten keskiarvojen keskiarvona. Vastaava vertailu tehtiin kaikille pääpuutavaralajeille.



Kuva 6. Kuormauksen ajanmenekin funktio ja konekohtaiset kuvaajat (koneet 1 - 8, päätehakkuu, havutukki).

3.1.2 Kuormausajo

Kuormausajoon sisältyivät työpisteiden väliset siirtymiset. Kuormausajo katsottiin alkaneeksi, kun varsinainen kuormaus työpisteessä päättyi ja vastaavasti päättyneeksi kuormauksen jälkeen alkaessa uudessa työpisteessä.

Kuormausajonopeuteen vaikuttavat mm. koneen ajotekniset ominaisuudet, vuodenaika, työpisteiden määrä, hakkuutapa, maastoluokka ja kuljettajan ajotapa. Koneiden ajoteknisten ominaisuuksien ja vuoden aikojen vaikutusta ei erikseen analysoitu, koska aineiston arvioitiin sisältävän riittävästi tyypillisiä kuormatraktoreita ja keskimääräisiä olosuhteita. Hakkuutavan vaikutus mallinnettiin kuormakohtaisten havaintojen avulla. Maastoluokan vaikutus laskettiin eri maastoluokkien ajanmenekkien suhdelukujen avulla. Hakkuutavan ja maastoluokan vaikutus esitetään tulosten yhteydessä taulukossa 8.

Kuormausajomatkan pituus riippuu ajouranvarsitiheydestä ja kuormatilan koosta. Kuormatilan koon vaikutus laskentaan poistettiin laskemalla kuormausajomatka puukuutiometriä kohden. Kuormakohtainen ajomatka saatiin kaavalla 2.

Kaava 2. Kuormakohtainen kuormausajomatka:

$$m_3 = k * s$$

m_3 = kuormausajon matka, m

k = kuormatilan koko, m^3

s = kuormausajomatka kuutiometriä kohden, m/m^3 (kaava 6)

Puutavaran ajouranvarsitiheyden vaikutus ajomatkaan mallinnettiin työmaakohtaisten havaintojen avulla. Uranvarsitiheytenä käytettiin työmaan keskimääräistä tiheyttä. Harvennustyömaiden havainnot sijoittuvat pääosin tiheyteen 8 - 25 m³/100 m ja päätehakkuiden havainnot välille 15-50 m³/100 m. Havainnot yhdistettiin koska yhden mallin arvioitiin sopivan kumpaankin hakkuutapaan. Näin menetellen hakkuutavan vaikutus kuutiometriä kohden ajettuun matkaan tulee huomioitua uranvarsitiheyden kautta. Mallin muoto ilmenee kuvasta 7 sivulla 19.

3.1.3 Kuormattuna- ja tyhjänäajo

Kuormattuna-ajo sisältää ajon kuorman viimeiseltä työpisteeltä varastolle. Aikaan sisältyvät traktorin ajokuntoon saattaminen ja ajon päättämistoimenpiteet ennen purkamisen alkamista.

Tyhjänäajo sisältää traktorin siirtymisen varastolta ensimmäiselle työpisteelle. Aikaan sisältyvät traktorin ajokuntoon saattaminen ja ajon päättämistoimenpiteet ennen kuormauksen aloittamista.

Ajanmenekit mallinnettiin matkan funktiona. Perustasona mallinnuksessa käytettiin maastoluokkaa 1. Maastoluokkien 2 ja 3 nopeutta hidastava vaikutus laskettiin suhteessa perustasaan.

Maastoluokan lisäksi ajonopeuteen vaikuttavat mm. traktorin ajotekniset ominaisuudet, vuodenaika (lumisuus, maapohjan märkyys jne.), hakkuumenetelmä ja kuljettajan ajotapa. Näiden vaikutusta ei otettu ajanmenekifunktioissa erikseen huomioon.

3.1.4 Kuorman purkamisen

Varsinaista purkamisaikaa on taakkojen nosto kuormasta pinoon varastolla. Purkamiseen voi liittyä työn suunnittelua ja puutavarapölkkyjen järjestelyä. Siirtymiset varastopaikalla erotetaan omaksi ajakseen (purkamisajoaika).

Aikatutkimuksessa puutavara ajettiin yleensä sekakuormina ja lajiteltiin eri pinoihin purkamisen aikana. Näin meneteltiin erityisesti ajouranvarsitiheysiltään pienillä ja monia puutavaralajeja sisältäneillä työmailla.

Varsinainen purkamisaika, ajot purkupaikalla ja muut purkamiseen liittyvät työt laskettiin kuljettajakohtaisesti kunkin puutavaralajin keskiarvona. Lopputulos laskettiin kuljettajakohtaisten keskiarvojen keskiarvona.

3.2 Seurantatutkimus

Seurantatutkimuksen tavoitteena oli selvittää käyttöajanmenekki pitkällä aikavälillä, jolloin vaihtelevat olosuhteet (leimikoiden vaihtelu, säätö, vuorokauden aika yms.) saatiin otettua huomioon.

3.2.1 Seurantatietojen kerääminen

Seurantatutkimuksen tulokset perustuvat kuljettajien tekemään kirjanpitoon. Jokaisesta työvuorosta merkittiin muistiin vuoron kesto ja sen aikana sattuneet keskeytykset 5 minuutin tarkkuudella. Tutkimukseen kulunut aika kirjattiin erilleen ja puhdistettiin pois muusta ajanmenekistä tulosten laskentavaiheessa. Työjohto kirjasi muistiin työmaalohkon perustiedot sekä puumäärän tavaralajeittain.

3.2.2 Seurantakertoimen laskenta

Seurannan tulosten avulla laskettiin seurantakerroin, jolla tarkoitetaan toteutuneen käyttöajan suhdetta laskennalliseen käyttöaikaan. Seurantaleimikoiden toteutunut käyttöaika perustui kuljettajien kirjanpitoon ja laskennallinen aika saatiin aikatutkimuksen perusteella laadittujen funktioiden avulla.

Seurantakerroin laskettiin jokaiselle seurantatyömaalle. Työmaiden kertoimista laskettiin konekohtaiset keskiarvot työmaan puumäärällä painottaen erikseen harvennus- ja päätehakkuille. Konekohtaista kerrointa ei laskettu niille koneille, joilta saatiin vain yksi työmaa. Seurantatyömaiden määrä ja konekohtaiset kertoimet on esitetty tulosten yhteydessä taulukossa 17 sivulla 30.

3.3 Kuorman koko

Kuorman koko vaikuttaa merkittävästi kuormattuna- ja tyhjänäajon tuottavuuteen. Kuorman koko määritettiin sekä arvioimalla aikatutkimuskuormat että laskennallisesti koneen teknisten tietojen perusteella.

Aikatutkimuksessa jokaisesta kuormasta arvioitiin puutavaralajien osuudet ja mahdollinen vajaakuorman osuus. Kuorman koko laskettiin puutavaralajien osuuksilla painotettuna keskikuormana työmaakohtaisesti.

Laskennallinen kuorman koko laskettiin kuormatilan etusermin pinta-alan, keskimääräisen puutavaralajin pituuden ja pinotiiviysprosentin avulla (taulukko 5). Laskennallista keskikuormaa pienennettiin 5 %:lla, jonka arvioitiin vastaavan vajaakuormien vaikutusta keskimääräiseen kuorman kokoon.

Sekä arvioon perustuvalla menetelmällä että laskennallisesti päädyttiin samaan 11,3 m³ keskikokoon aikatutkimuksen aineistossa.

TAULUKKO 5 Tutkimuskoneiden laskennallinen kuorman koko puutavaralajeittain

	Havu- tukki	Havu- kuitu 5 m	Havu- kuitu 3 m	Koivu- tukki	Lehti- kuitu 5 m	Lehti- kuitu 3 m
Pituus keskimäärin, m	4,7	4,4	3,0	5,0	4,3	3,0
Pinotiivisyys-% keskimäärin	71	64	66	63	55	57
Kuorman koko, m ³ (etusermin pinta-ala 4,02 m ²)	12,7	10,8	7,6	12,0	9,0	6,5

3.4 Vauriokartoitus

Harvennushakkuukohteista mitattiin myös työnjälki. Ajanmenekkitutkimukseen hyväksytyjen tutkimusleimikoiden tuli olla työnjäljeltään hyväksyttäviä. Työnjälki mitattiin 31:ltä harvennushakkuutyömaalta. Jäävän puuston runko- ja juurivauriot mitattiin kuormatraktorin työskentelyn aikana aikaututkimuksen yhteydessä. Työntutkija kirjasi jokaisesta havaitsemastaan vauriosta: (1) lajin, (2) laadun, (3) kokoluokan, (4) aiheuttajan ja (5) vaurioituneen rungon etäisyyden ajouran keskeltä.

Vaurion lajilla tarkoitetaan runko- tai juurivauriota. Runkovaurioksi luettiin vauriot, joissa jäävän puun kuori oli rikki nilakerrokseen asti ja jotka sijaitsivat kannonkorkeuden yläpuolella. Juurivaurioksi luettiin vastaavalla tavalla kannonkorkeuden alapuolella sijaitsevat vauriot, jotka olivat enintään 70 cm:n säteellä rungosta. Lisäksi vaurioituneen juuren läpimitan oli oltava vähintään 2 cm.

Vaurion laadulla tarkoitetaan syvä- tai pintavauriota. Syvävauriossa puuainne on vahingoittunut ja pintavauriossa se on ainoastaan paljastunut.

Vauriot luokiteltiin vaurioituneen pinta-alan mukaan kolmeen luokkaan: pienet vauriot (alle 30 cm²), lievät vauriot (31 – 100 cm²) ja vakavat vauriot (yli 100 cm²). Jos runko tai juuri oli vaurioitunut useammasta kohdasta, laskettiin vaurioitunut pinta-ala yhteen.

Vaurion aiheuttajaksi kirjattiin taakka, kuormattu puutavara, nosturi, renkaat, kuormatila tai muu koneen runko.

Työntutkija mittasi ajourien kokonaispituuden ja ajourapainumat aikaututkimuksen päätyttyä lankamittalaitteella. Ajourapainumaksi luettiin yli 10 cm:n syvyiset painumat. Ajourapainuman syvyys oli raiteen pohjan ja maanpinnan erotus. Vaikka vain toinen raide oli painunut, otettiin se huomioon laskettaessa painuman osuutta ajouramäärästä.

4 AIKATUTKIMUKSEN TULOKSET

4.1 Ajanmenekki funktiot

Aikatutkimuksen havaintojen perusteella laadittiin ajanmenekki funktiot kuormaukselle, kuormausajolle, tyhjänä- ja kuormattuna-ajolle sekä purkamiselle.

4.1.1 Kuormaus

Kaava 3. Tukkipuun kuormauksen ajanmenekki:

$$Y_{1a} = \frac{\left[52,6278 - 0,02057 * z + \frac{13898,4548}{z + 111,5614} \right] * a_1 * b_1 * c}{100}$$

Kaava 4. Kuitupuun kuormauksen ajanmenekki:

$$Y_{1b} = \frac{\left[52,6278 - 0,02057 * z + \frac{13898,4548}{z + 111,5614} \right] * (1,099 + 0,00166 * z) * a_2 * b_2 * c}{100}$$

- Y_{1a} = tukkipuun kuormauksen ajanmenekki, min/m³
 Y_{1b} = kuitupuun kuormauksen ajanmenekki, min/m³
 z = työmaan keskijäreys, dm³/runko
 a_1 ja a_2 = puutavaralajin suhteellinen ajanmenekki (taulukot 6 ja 7)
 b_1 ja b_2 = hakkuutavan suhteellinen ajanmenekki (taulukot 6 ja 7)
 100 = muunnos cmin/m³ → min/m³
 c = pölkkyjen ja kasojen järjestelyajan kerroin:
harvennushakkuu = 1,032 ja päätehakkuu = 1,016

TAULUKKO 6 Tukkipuun suhteellisen ajanmenekin kertoimet puutavaralajille (a_1) ja hakkuutavalle (b_1)

Hakkuutapa	Puutavaralaji	Keroin	
		a_1	b_1
Päätehakkuu	Havutukki	1,00	1,00
	Lehtitukki	1,11	1,00
Harvennus-hakkuu	Havutukki	1,00	1,30
	Lehtitukki	1,11	1,30

TAULUKKO 7 Kuitupuun suhteellisen ajanmenekin kertoimet puutavaralajille (a_2) ja hakkuutavalle (b_2)

Hakkuutapa	Puutavaralaji	Keroin	
		a_2	b_2
Päätehakkuu	Havukuitu 5 m	1,00	1,00
	Havukuitu 3 m	0,98	1,00
	Lehtikuitu 5 m	1,11	1,00
	Lehtikuitu 3 m	1,04	1,00
Harvennus-hakkuu	Havukuitu 5 m	1,00	1,36
	Havukuitu 3 m	0,98	1,36
	Lehtikuitu 5 m	1,11	1,36
	Lehtikuitu 3 m	1,04	1,36

4.1.2 Kuormausajo

Kaava 5. Kuormausajon ajanmenekki:

$$Y_2 = s * b$$

Kaava 6. Kuormausajomatka kuutiometriä kohden:

$$s = \frac{64,864}{\sqrt{x}}$$

Y_2 = kuormausajon ajanmenekki, min/m³

s = kuormausajomatka, m/m³

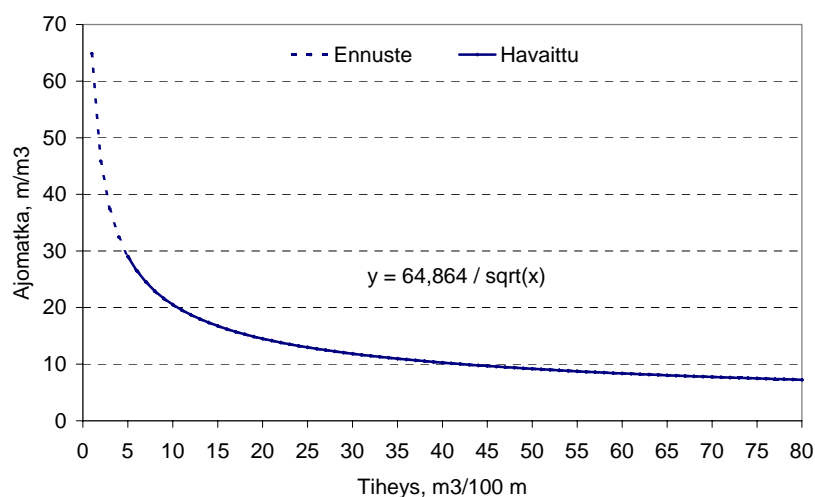
x = ajouranvarsitiheys, m³/100 m (puutavaralajien yhteistiheys)

b = ajanmenekki, min/m (arvot taulukossa 8)

TAULUKKO 8 Kerroin b, kuormausajon ajanmenekki eri hakkuutavoissa ja maastoluokissa

Maastoluokka	Kerroin b, min/m	
	Harvennus	Päätehakkuu
1	0,03863	0,03678
2	0,04597	0,04377

Kuormausajomatkan riippuvuus ajouranvarsitiheydestä esitetään alla olevassa kuvassa.



Kuva 7. Kuormausajon matka kuutiometriä kohden suhteessa ajouranvarsitiheyteen (puutavaralajien yhteistiheys).

4.1.3 Kuormattuna- ja tyhjänäajo

Kaava 7. Kuormattuna-ajon ajanmenekki:

$$Y_3 = \frac{m_1}{n_1 * c} * \frac{1}{k}$$

Kaava 8. Tyhjänäajon ajanmenekki:

$$Y_4 = \frac{m_2}{n_2 * c} * \frac{1}{k}$$

Kaava 9. Kuormattuna-ajon nopeus:

$$n_1 = [0,058272 * \ln (18,1013 * m_1 - 53,7465)] * 100$$

Kaava 10. Tyhjänäajon nopeus:

$$n_2 = [0,10492 * \ln (1,02966 * m_2 - 3,12)] * 100$$

Kaava 11. Kuormattuna-ajon matka:

$$m_1 = m_0 - \frac{m_3}{2}$$

Kaava 12. Tyhjänäajon matka:

$$m_2 = 2 * m_0 - m_1$$

Y_3 = kuormattuna-ajon ajanmenekki, min/m³

Y_4 = tyhjänäajon ajanmenekki, min/m³

n_1 = kuormattuna-ajon nopeus, m/min

n_2 = tyhjänäajon nopeus, m/min

m_0 = keskikuljetusmatka, m

m_1 = kuormattuna-ajon matka, m

m_2 = tyhjänäajon matka, m

m_3 = kuormausajon matka, m (kaava 2)

c = maastoluokan vaikutus ajonopeuteen (taulukko 10)

k = kuorman koko, m³

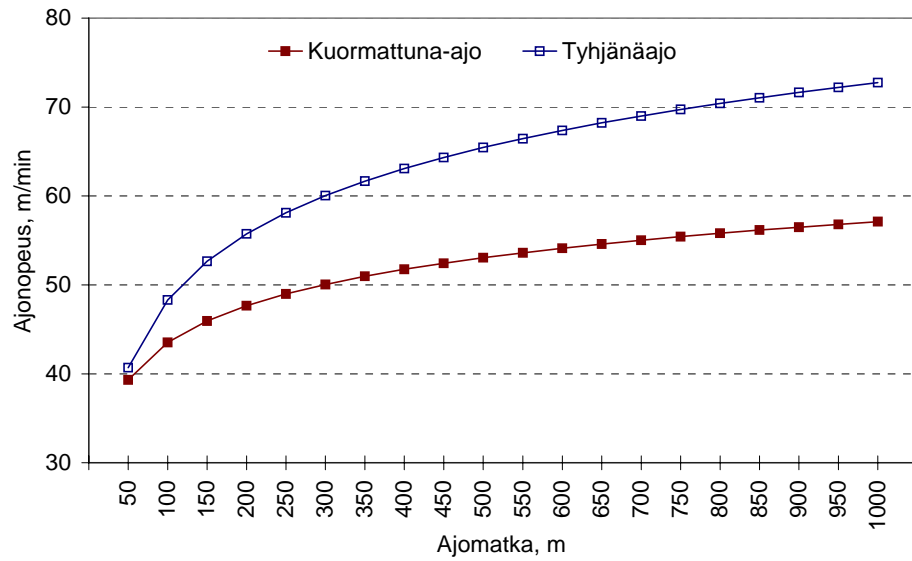
x = ajouranvarsitiheys, m³/100 m (puutavaralajien yhteistiheys)

100 = muunnos cmin -> min

TAULUKKO 9 Maastoluokan vaikutus ajonopeuteen

Maastoluokka	Keroin c	
	kuormattuna-ajo	tyhjänäajo
1	1,00	1,00
2	0,62	0,75
3	0,53	0,59

Alla olevassa kuvassa esitetään ajonopeusfunktioiden kuvaajat.



Kuva 8. Kuormattuna- ja tyhjänäajon nopeudet.

4.1.4 Kuorman purkaminen

Kaava 13. Purkamisen ajanmenekki:

$$Y_5 = (b + f + g) \cdot c$$

Y_5 = purkamisen ajanmenekki (min/m^3)

b = varsinainen purkamisaika (min/m^3) (taulukko 10).

f = purkamispaikalla ajot keskimäärin $0,067 \text{ min}/\text{m}^3$

g = muut työt purkamisen yhteydessä keskimäärin $0,024 \text{ min}/\text{m}^3$

c = pölkkyjen ja kasojen järjestelyajan kerroin:

harvennushakkuu = 1,008 ja päätehakkuu = 1,007

TAULUKKO 10 Varsinainen purkamisaika
puutavaralajeittain

Puutavaralaji	Vakio b min/m^3
Havutukki	0,55
Havukuitu 5 m	0,58
Havukuitu 3 m	1,00
Lehtitukki	0,77
Lehtikuitu 5 m	0,73
Lehtikuitu 3 m	0,90

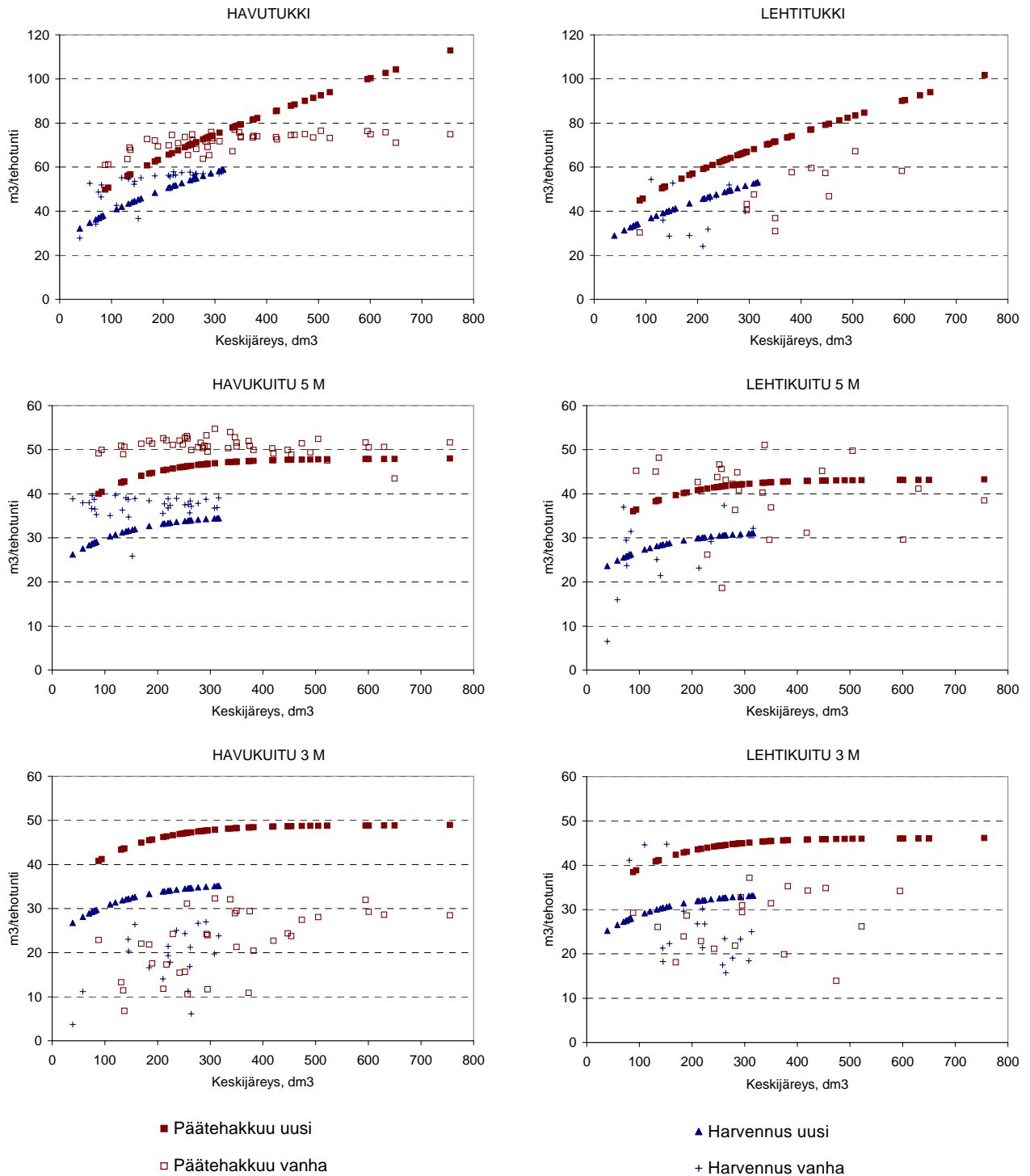
4.2 Tuottavuuden vertailu edelliseen tutkimukseen

Tulosten vertailussa edelliseen tutkimukseen ajanmenekki (min/m^3) on muunnettu tuottavuudeksi (m^3/tunti).

4.2.1 Kuormaus

Kuvassa 9 verrataan uusilla ja vanhoilla, v. 1991 tuloksiin perustuvilla ajanmenekki-funktiolla laskettua tuottavuutta puutavaralajeittain.

Vertailussa laskettiin jokaiselle aikatutkimustyömaalle tuottavuus uudella funktiolla (selittäjänä leimikon keskijäreys) ja vanhalla funktiolla (selittäjänä uranvarsitiheys). Kuvissa ilmenevä hajonta vanhalla funktiolla laskettujen pisteiden välillä johtuu siitä, että kuvissa on käytetty X-akselilla keskijäreyttä. Hajonnasta huolimatta voidaan kuvien avulla tarkastella funktioiden tasoeroa tavaralajeittain.



Kuva 9. Kuormauksen tehotuntituottavuuksien vertailua harvennuksessa ja päätehakuissa eri puutavaralajeilla.

Havutukin kuormaus päätehakuulla on uuden ja vanhan funktion mukaan suunnilleen yhtä tuottavaa keskijäretydessä 250 - 300 litraa. Pienemmissä järetyksissä uusi tuottavuus on 5 - 15 % alemmalla tasolla. Suuremmissa järetyksissä tasoero kasvaa nopeasti, esimerkiksi keskijäretydessä 500 litraa, uusifunktio antaa noin 20 % suuremman tuottavuuden. Harvennuksilla tuottavuudet ovat samalla tasolla 300 litran järetydessä. Pienemmissä järetyksissä ero kasvaa niin, että 100 litrassa uusi funktio antaa noin 20 % pienemmän tuottavuuden.

Pitkälle havukuidulle uusi funktio antaa aikaisempaa pienemmän tuottavuuden sekä päätehakuissa että harvennuksessa. Päätehakuissa tuottavuus on 100 litran järeydessä noin 20 % alemmalla tasolla, josta ero pienenee järeyden kasvaessa. Keskijäreyden ollessa 400 litraa tai enemmän tuottavuudet ovat lähes samalla tasolla. Myös harvennuksessa uuden funktion antama tuottavuus on 100 litrassa noin 20 % alemmalla tasolla ja ero pienenee järeyden kasvaessa. Keskijäreydessä 300 litraa eroa on vielä 10 %.

Lyhyen havukuidun tuottavuuksien erot ovat kuvan mukaan suuria. Aineisto jäi kuitenkin pieneksi ja lyhyt kuitu oli pääasiassa lahovikaista järeätä kuusta. Pölkkyjen järeys voi osaltaan selittää nyt saatua suurta tuottavuutta.

Lehtipuun aineistot olivat tässä tutkimuksessa pieniä, joten niistä saatuihin tuloksiin tulee suhtautua varauksella. Kuvan 9 vertailussa lehtitukin tuottavuus on uusien funktioiden mukaan laskettuna päätehakuissa selvästi korkeammalla tasolla ja harvennuksissa suunnilleen samalla tasolla kuin vanhoilla funktioilla saatu tulos. Pitkän lehtikuidun funktiot antavat suunnilleen samat tuottavuudet eri hakkuutavoissa. Lyhyelle lehtikuidulle uudet funktiot antavat selvästi suuremmat tuottavuudet molemmissa hakkuutavoissa.

4.2.2 Kuormausajo

Eri tutkimuksissa havaitut kuormausajonopeudet esitetään taulukossa 11. Taulukossa esitetty vuoden 1991 tulos on saatu painottamalla talvikauden nopeutta 60 %:lla ja kesäkauden nopeutta 40 %:lla.

Tässä tutkimuksessa kuormausajo oli selvästi hitaampaa kuin vuonna 1991. Harvennuksilla ero oli 24 - 28 % ja päätehakuissa 8 - 10 %. Vuoden 1991 tuloksissa on yllättävää se, että harvennuksilla ajonopeudet olivat selvästi suurempia kuin päätehakuissa. Jäävän puuston voisi olettaa hidastavan ajamista harvennustyömailla. Tässä tutkimuksessa ajonopeudet olivat päätehakuissa hieman suuremmat kuin harvennuksilla.

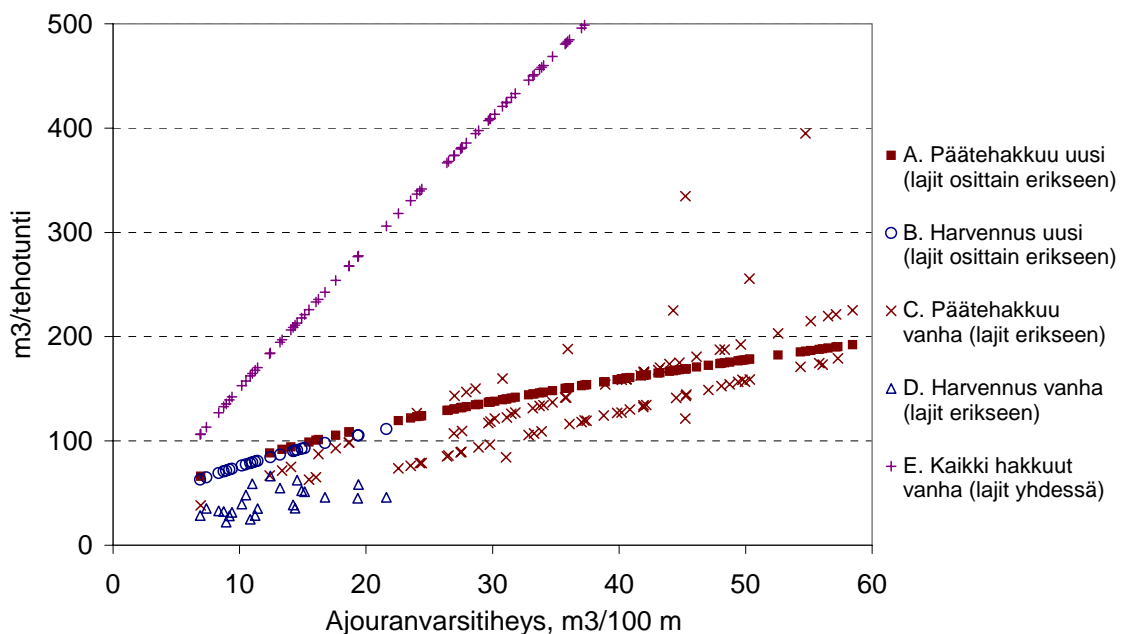
TAULUKKO 11 Kuormausajonopeudet vuosien 1991 ja 1998 tutkimuksissa

Hakkuutapa	Maasto- luokka	Kuormausajonopeus, m/min		Ero %
		1991	1998	
Harvennukset	1	36	26	-28
	2	29	22	-24
Päätehakuut	1	30	27	-10
	2	25	23	-8

Kuvassa 10 verrataan nyt saatuja tuloksia vuoden 1991 tuloksiin tehotuntituottavuuden avulla (maastoluokka 1). Vertailu perustuu seurantalutkimusleimikoiden tietoihin.

Uudella funktiolla tuottavuus laskettiin leimikon kaikkien puutavaralajien yhteistiheydestä (kuva 10, vaihtoehdot A ja B). Ajotavaksi oletetaan aikautkimuksessa havaittu käytäntö, että leimikon yleisimmät puutavaralajit ajetaan pääasiassa puhtaina kuormina ja loput sekakuormissa.

Vanha funktio perustuu teoreettiseen malliin, jossa kuormausajoaika laskeaan erikseen jokaiselle puutavaralajille (kuva 10, vaihtoehdot C ja D). Jos oletetaan, että kaikki puutavaralajit ajetaan erikseen, vanha funktio antaa pienemmän tuottavuuden harvennuksilla ja useimmissa tapauksissa myös päätehakuissa. Ero kuitenkin pienenee nopeasti, jos määritellään, että sivupuutavaralajeja ajetaan päälajien kanssa sekakuormina. Vaihtoehto E antaa vanhojen funktioiden teoreettisen maksimituottavuuden, jos oletetaan, että kaikki puutavaralajit ajetaan sekakuormina. Malli pätee harvennuksiin ja päätehakkuihin.



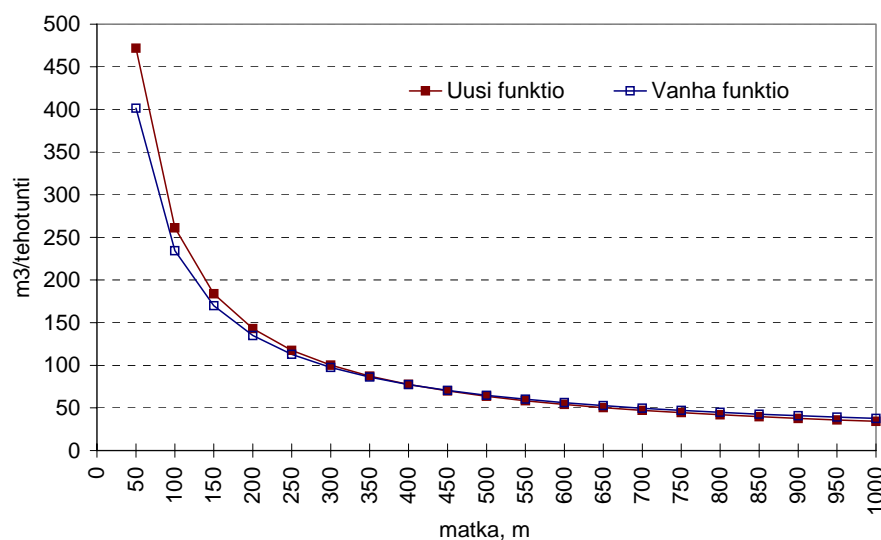
Kuva 10. Kuormausajon tehotuntituottavuus vuosina 1991 ja 1998.

4.2.3 Kuormattuna- ja tyhjänäajo

Ajonopeuksia verrataan edelliseen tutkimukseen taulukossa 12. Tyypillisellä 250 m kuljetusmatkalla nopeudet olivat hieman hitaampia kuin edellisessä tutkimuksessa. Ajojen tuottavuutta uudella ja vanhalla funktiolla laskettuna on vertailtu kuvissa 11 ja 12.

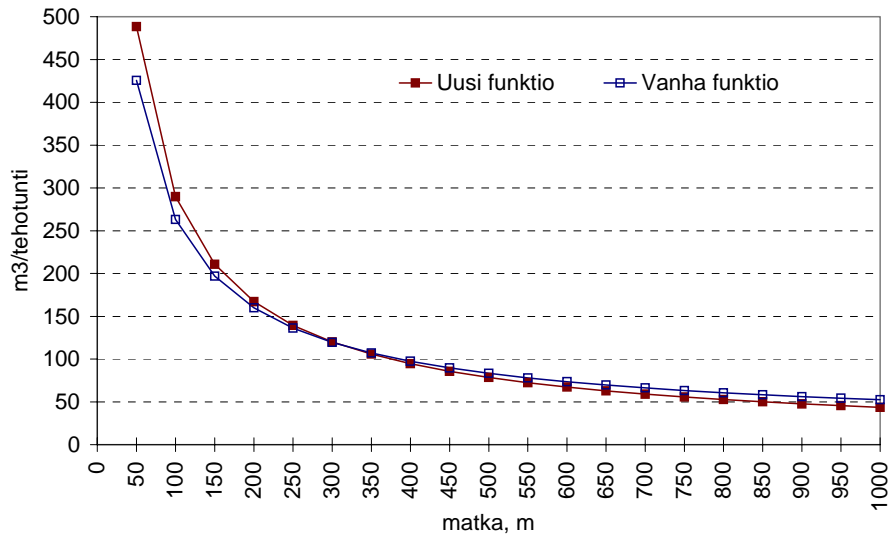
TAULUKKO 12 Kuormattuna- ja tyhjänäajonopeuksien vertailua (maastoluokka 1, ajomatka 250 m)

	Ajonopeus, m/min		Ero, %
	1991	1998	
Kuormattuna-ajo	50	49	-2
Tyhjänäajo	61	58	-5



Kuva 11. Kuormattuna-ajon tuottavuus uuden ja vanhan funktion mukaan laskettuna (kuorman koko vertailussa 10 m³).

Uusi funktio antaa kuormattuna-ajolle paremman tuottavuuden kuin vanha funktio alle 250 m:n matkalla. Kuljetusmatkan ollessa 50 m eroa on noin 15 %, josta ero pienenee nopeasti matkan pidentyessä.



Kuva 12. Tyhjänäajon tuottavuus uuden ja vanhan funktion mukaan laskettuna (kuorman koko vertailussa 10 m³).

Uusi funktio antaa tyhjänäajolle paremman tuottavuuden kuin vanha funktio alle 250 m:n matkalla. Kuljetusmatkan ollessa 50 m eroa on noin 13 %, josta ero pienenee nopeasti matkan pidentyessä. Matkoilla 250 - 500 metriä funktiot antavat saman tuottavuuden. Tätä pidemmällä matkoilla uusi funktio antaa pienemmän tuottavuuden. Eroa on noin 17 % matkan ollessa 1 000 metriä.

4.2.4 Kuorman purkaminen

Taulukossa 13 verrataan varsinaisen purkamisen ajanmenekkejä eri tutkimuksissa. Havutukin purkaminen oli tässä tutkimuksessa hieman nopeampaa (4 %) ja pitkän havukuidun hieman hitaampaa (4 %) v. 1991 tuloksiin verrattuna. Lyhyen havukuitupuun, lehtitukin ja pitkän lehtikuitupuun purkaminen oli tässä tutkimuksessa selvästi hitaampaa (22 - 35 %). Lyhyen lehtikuidun ajanmenekki oli sama.

TAULUKKO 13 Varsinaisen purkamisen tehoajanmenekki puutavaralajeittain v. 1991 ja 1998

Puutavaralaji	Tehoajanmenekki, min/m ³		Ero
	1991	1998	%
Havutukki	0,57	0,55	-4
Havukuitu 5 m	0,56	0,58	4
Havukuitu 3 m	0,80	1,00	25
Lehtitukki	0,57	0,77	35
Lehtikuitu 5 m	0,60	0,73	22
Lehtikuitu 3 m	0,90	0,90	0

TAULUKKO 14 Purkamisen tuottavuus vanhassa ja uudessa tutkimuksessa

Puutavaralaji	Tuottavuus, m ³ /tehotunti		
	1991	1998	Ero, %
Havutukki	98	94	-4
Havukuitu 5 m	99	89	-10
Havukuitu 3 m	71	55	-22
Lehtitukki	97	70	-28
Lehtikuitu 5 m	92	73	-21
Lehtikuitu 3 m	63	61	-3

Taulukossa 14 verrataan uuden ja vanhan tutkimuksen tehotuntituottavuutta toisiinsa. Varsinaiseen purkamisaikaan on lisätty purkamisen apuajat eli ajot purkamisen aikana ja muut työt varastolla

Purkamisen tuottavuus oli tässä tutkimuksessa pienempi kuin v. 1991. Eroa oli 3 - 28 % puutavaralajin mukaan. Varsinainen purkaminen oli useimmilla puutavaralajeilla hitaampaa (taulukko 13). Lisäksi ajoihin ja muihin töihin purkamispaikalla kului enemmän aikaa kuin v. 1991. Muihin töihin varastolla kului aikaa lähes sama määrä eri tutkimuksissa. Eroa voi osaltaan selittää lajittelun mahdollinen lisääntyminen. Osaltaan siihen vaikuttaa pienemmän tutkimuskoneen hitaus muihin verrattuna (mm. nosturin nostokyky oli noin 50 % pienempi kuin muilla tutkimuskoneilla).

4.3 Lyhyet keskeytykset

Lyhyiden, alle 15 minuutin keskeytysten syyt, osuus tehoajasta ja jakauma esitetään taulukossa 15. Keskeytysten osuus tehoajasta oli harvennushakkuissa 11,5 % ja päätehakuissa 10,8 % (taulukko 15).

Lyhyitä keskeytyksiä oli enemmän kuin edellisessä tutkimuksessa. Ero oli harvennuksilla 3,1 %-yksikköä ja päätehakuissa 2,4 %-yksikköä. Ero selittyy pääosin tutkimusten erilaisilla kirjaamisperusteilla. Tässä tutkimuksessa puutavarapölkkyjen ja kasojen järjestely kuormauksen ja purkamisen yhteydessä luettiin keskeytyksiin. Tähän kulunut aika on samaa luokkaa kuin ero keskeytysten osuudessa

TAULUKKO 15 Lyhyiden keskeytysten osuus tehoajasta ja jakauma eri tutkimuksissa

Tutkimus	Keskeytyksen syy	Osuus tehoajasta, %		Osuus keskeytyksistä, %	
		Harvennus	Päätehaku	Harvennus	Päätehaku
1998	Huollot	0,7	0,8	9	9
	Korjaukset	0,4	0,9	5	10
	Lepo	2,0	2,8	26	33
	Työn organisointi	3,0	1,9	39	22
	Työn suunnittelu	0,4	0,2	5	2
	Muut syyt	1,1	2,0	14	23
	Yhteensä	7,6	8,6	100	100
1991	Yhteensä	8,4	8,4	100	100

4.4 Korjuuvauriot

4.4.1 Runkovauriot

Metsäkuljetuksen aiheuttamia runkovaurioita oli koko aineistossa 0,2 % runkoluvusta. Ensiharvennuksessa vaurioprocentti oli hieman muita kohteita suurempi.

Syntyneistä runkovaurioista neljännes oli vaurioita, joissa puuaines oli rikkoontunut. Pinta-alaltaan vakavia vaurioita oli noin viidennes kaikista vaurioista. Kuormattava taakka ja renkaat aiheuttivat molemmat noin kolmanneksen vaurioista. Nosturi ja kuormatila aiheuttivat loput vaurioista. Vaurioista kolme neljäsosaa sijaitsi ajouran reunassa.

4.4.2 Juurivauriot

Metsäkuljetuksen aiheuttamia juurivaurioita oli koko aineistossa 0,2 % runkoluvusta. Kesäleimikoissa vaurioprocentti oli hieman muita kohteita suurempi. Syntyneistä juurivaurioista liki puolet oli vaurioita, joissa puuaines oli rikkoontunut. Pinta-alaltaan vakavia vaurioita oli noin kymmenesosa kaikista vaurioista. Metsätraktorin renkaat aiheuttivat käytännössä kaikki vauriot ajouran reunapuihin.

4.4.3 Ajourapainumat

Metsäkuljetuksen aiheuttamia ajourapainumia oli koko aineistossa 4,2 % ajourien kokonaispituudesta. Kesäleimikoissa vaurioprocentti oli muita kohteita suurempi. Ajourapainumien määrän leimikkokohtainen vaihtelu oli suuri.

4.4.4 Tulosten tarkastelu

Metsäkuljetuksen työnjälki tutkimusleimikoissa oli erittäin hyvä lukuun ottamatta ajourapainumia. Niiden määrään vaikutti voimakkaasti kesäkorjuukauden poikkeuksellinen märkyys.

Kuten hakkuukonetyössäkin, kuljettaja ja työmaasuunnittelu ovat merkittävimmät metsäkuljetusvaurioiden syntyyn vaikuttavat tekijät.

5 SEURANTATUTKIMUKSEN TULOKSET

5.1 Käyttöaika- ja tuottavuus

Koko seuranta-aineistosta laskettu käyttötuntituotos oli harvennuksissa 9,8 m³/tunnissa ja päätehakuissa 18,0 m³/tunnissa (taulukko 16). Työmaakohtaiset tulokset esitetään liitteessä 1 sekä tulosten soveltamisen yhteydessä taulukoissa 14 - 16, joissa vertaillaan laskennallisia ja toteutuneita tuottavuuksia seurantatyömailla.

TAULUKKO 16 Käyttötuntituotos seurantatutkimuksessa

Puutavaralaji	Tuottavuus, m ³ /käyttötunti		
	Talvi	Kesä	Keskimäärin
Harvennushakkuut	10,2	7,7	9,8
Päätehakuut	17,3	18,7	18,0

5.2 Seurantakerroin

Seurantatyömaiden määrä ja konekohtaiset seurantakerroimet on esitetty taulukossa 17. Tilastollisia tunnuslukuja esitetään taulukossa 18.

TAULUKKO 17 Konekohtaiset seurantakerroimet harvennuksessa ja päätehakuissa

Kone	Harvennus			Päätehakkuu		
	N	m ³	Kerroin	N	m ³	Kerroin
1	2	2 572	1,529	1	1 614	-
2	-	-	-	6	17 908	0,888
3	2	1 024	0,993	22	14 221	0,778
4	1	76	-	23	19 829	1,341
5	4	1 071	0,832	20	9 507	1,206
6	4	1 103	1,318	14	12 867	1,495
7	2	1 273	1,255	3	1 678	1,177
8	9	1 539	1,705	8	1 491	1,679
Yhteensä	24	8 658	-	97	79 115	-
Keskiarvo	3,4	1 237	1,272	12	9 889	1,224

TAULUKKO 18 Tilastollisia tunnuslukuja seurantakerroimesta

	Harvennukset	Päätehakuut
Suurin arvo	1,705	1,679
Pienin arvo	0,832	0,778
Keskiarvo	1,272	1,224
Keskihajonta	0,325	0,319
90 %:n luottamusväli	1,005 - 1,539	0,990 - 1,458

Seurantatyömailla kului käyttöaika harvennuksissa keskimäärin 27,2 % enemmän kuin mihin aikatutkimukseen perustuvilla funktioilla päädyttiin. Päätehakuilla aikaa kului 22,4 % enemmän.

Konekohtaisten seurantakertoimin välinen hajonta on varsin suuri (yli 30 %). Tehokkaimman koneen ajanmenekki oli alle puolet hitaimman koneen ajanmenekistä molemmissa hakkuutavoissa. Suuresta hajonnasta johtuen myös keskiarvon luottamusväli (90 %) jää hyvin leveäksi. Toisin sanoen seurantakertoimen keskiarvo harvennuksilla on 90 % todennäköisyydellä välillä 1,005 - 1,539 ja päätehakuilla välillä 0,990 - 1,458.

Suurta hajontaa selittää tutkimuskoneiden suhteellisen pieni määrä. Harvennuksilla kerroin voitiin laskea vain 6 koneelle ja päätehakuissa 7 koneelle. Lisäksi etenkin harvennusaineisto jäi pieneksi, mikä aiheuttaa omalta osaltaan hajontaa tuloksiin. Muita selvästi suuremmat kertoimet tulivat pienimmältä tutkimuskoneelta, mikä viittaa koneiden tekniikasta johtuviin eroihin. Erot kuljettajien työtaidossa voivat myös aiheuttaa hajontaa tuloksiin.

5.3 Käyttöasteet

Taulukossa 19 esitetään seurantatutkimuksessa havaittu pitkien (yli 15 min) keskeytysten osuus työajasta, koneiden käyttöasteet sekä vertailu vuoden 1991 tuloksiin. Käyttöaste laskettiin käyttöajan suhteena työaikaan.

Käyttöaste vaihteli 80,8 - 95,6 %:n välillä. Keskimäärin se oli 88,2 %. Vuoden 1991 tutkimuksessa käyttöaste oli keskimäärin 85 % eli 3,2 %-yksikköä pienempi kuin tässä tutkimuksessa.

TAULUKKO 19 Pitkien (yli 15 min) keskeytysten osuus työajasta ja koneiden käyttöasteet seurantatutkimuksessa

Kone	Keskeytykset %	Käyttöaste %
1	6,1	93,9
2	19,2	80,8
3	14,2	85,8
4	11,0	89,0
5	7,9	92,1
6	12,6	87,4
7	5,3	94,7
8	4,4	95,6
Yhteensä	11,8	88,2

6 TULOSTEN SOVELTAMINEN

6.1 Tulosten yleistäminen

Käytännön syistä tutkimuksessa jouduttiin keskittymään pieneen konemäärään. Yksittäinen kone ja kuljettaja saa suhteellisen suuren painon tulosten laskennassa. Kun tuloksista tehdään yleistyksiä tai käytännön laskentasovelluksia, tulisi tarkastella mm. (1) kuinka hyvin tutkimuksen kuljettajien ammattitaito vastaa kuljettajien yleistä tasoa, (2) vastaako tutkimuskoneiden jakauma yleistä konejakaumaa, ja (3) ovatko tutkimusaineiston leimikot olosuhteiltaan edustavia.

Kuljettajien ammattitaidon edustavuus jää tutkimuksissa arvioiden varaan. Ammattitaito on vaikeasti mitattavissa eikä yleistä vertailukohtaa ole käytettävissä. Koneiden edustavuutta voidaan sen sijaan arvioida tarkastelemalla tutkimuskoneiden teknisiä ominaisuuksia, kuten kuormatilan kokoa ja nosturin nostokykyä, ja vertaamalla niitä yleiseen konejakaumaan. Tutkimusleimikoiden edustavuutta voi arvioida aineiston kuvauksen perusteella (kuvat 2 ja 3 sivuilla 9 ja 10 sekä taulukot 2 ja 3 sivuilla 9 ja 10).

6.1.1 Koneiden kokoluokat

Taulukossa 20 esitetään yleinen metsätraktoreiden kokoluokkajakauma ja tutkimuskoneiden jakauma eri kantavuusluokkiin. Konemallien painotuksena käytettiin niiden arvioitua osuutta kokonaismyynnistä v. 1998. Arviossa oli mukana kolme suurinta metsätraktorimerkkiä.

Tutkimuskoneet olivat keskimääräistä pienempiä. Erityisesti pienimpiä alle 9 tonnin koneita on yleisessä jakaumassa vain noin 3 %, kun tutkimuksessa niiden osuus oli 13 %. Tutkimuksessa ei myöskään ollut yhtään järeätä, yli 14 tonnin metsätraktoria, kun niitä yleisessä jakaumassa on noin 30 %.

Tutkimuskoneiden keskimääräiseksi kantavuudeksi saadaan 10,9 tonnia. Yleisen konejakauman mukaan laskettu keskimääräinen kantavuus on 11,7 tonnia eli 7 % enemmän kuin tutkimuskoneilla.

TAULUKKO 20 Metsätraktoreiden yleinen jakauma ja tutkimuskoneiden jakauma kantavuuden mukaan

Kantavuus, tonnia	Koneiden osuus, %	
	Yleinen jakauma	Tutkimuskoneet
alle 9	3	13
10	38	13
11	10	38
12	17	38
yli 14	32	0
Yhteensä	100	100

Tutkimuskoneet 1 - 7 ovat niin kutsuttuja yleiskoneita, joiden tekniset ominaisuudet ovat lähellä toisiinsa. Kone 8 on pieni metsätraktori, jonka kantavuus on noin 25 % ja nosturin nostokyky noin 50 % pienempi kuin yleiskoneilla keskimäärin.

Tutkimuskoneiden keskimääräistä pienemmällä koolla on merkitystä, kun tuloksia sovelletaan käytäntöön. Tutkimuskoneiden kuorman koko on keskimääräistä pienempi, mikä laskee kuormattuna- ja tyhjänäajon tuottavuutta. Myös pienten koneiden nostureiden nostokyky on pienempi kuin isommissa koneissa, mikä heikentää kuormauksen ja purkamisen tuottavuutta.

6.1.2 Kuorman koko

Taulukossa 21 esitetään laskennallinen kuorman koko ja sen laskentaperusteet sekä vertailu vuoden 1991 tuloksiin.

Jatkossa esitettävissä esimerkkilaskelmissa käytetään yleisen konejakauman mukaista kuorman kokoa. Se eroaa vuoden 1991 tutkimustuloksista taulukossa 22 esitetyllä tavalla. Yleisimmillä puutavaralajeilla kuorman koot ovat lähellä toisiaan, mutta lyhyellä havu- ja lehtikuitupuulla sekä koivutukilla erot ovat suuria.

TAULUKKO 21 Kuormien laskennalliset koot tavaralajeittain

	Kuorman koko, m ³					
	Havutukki	Havukuitu 5 m	Havukuitu 3 m	Koivutukki	Lehtikuitu 5 m	Lehtikuitu 3 m
Pituus keskimäärin	4,7	4,4	3,0	5,0	4,3	3,0
Pinotiiviys-%	71	64	66	63	55	57
Tutkimuskoneet Etusermin pinta-ala 4,02 m ²	12,7	10,8	7,6	12,0	9,0	6,5
Yleinen konejakauma Etusermin pinta-ala 4,23 m ²	13,4	11,3	8,0	12,7	9,5	6,9

TAULUKKO 22 Kuormien keskimääräinen koko vuosina 1991 ja 1998 puutavaralajeittain

Tutkimusvuodet	Kuorman koko, m ³					
	Havutukki	Havukuitu 5 m	Havukuitu 3 m	Koivutukki	Lehtikuitu 5 m	Lehtikuitu 3 m
1991 (tutkimustulos)	12,8	11,6	10,0	10,2	9,3	8,0
1998 (laskennallinen koko)	13,4	11,3	8,0	12,7	9,5	6,9
Ero 1991 tuloksiin, %	+4,8	-2,4	-20,4	+24,2	+2,3	-14,1

6.1.3 Seurantakerroin

Koneen 8 nosturin nostokyky on noin 50 % pienempi kuin yleiskoneiden nostureilla. Nostokyvyn ero oli nähtävissä kuormauksen ja purkamisen ajanmenekkituloksissa. Eroa ei otettu huomioon ajanmenekki-funktioita muodostettaessa vaan sen katsottiin näkyvän seurantakerroimessa. Ajanmenekki-funktioiden taso määräytyy pääosin yleiskoneiden mukaan, mistä johtuen pienen koneen seurantakerroin muodostuu yleiskoneita suuremmaksi.

Taulukossa 23 esitetään painotettu seurantakerroin, jonka laskennassa pienten koneiden osuus on pudotettu 5 %:iin eli suunnilleen samalle tasolle kuin yleisessä konejakaumassa (taulukko 20).

TAULUKKO 23 Koneen kokoluokilla painotettu seurantakerroin

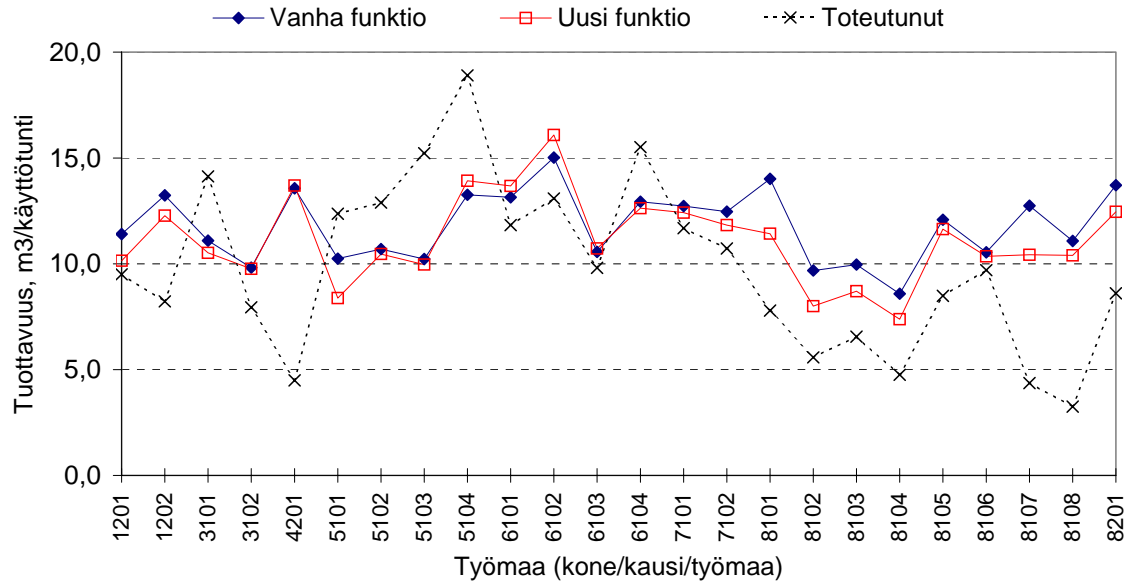
	Harvennus		Päätihakkuu	
	Paino-kerroin	Seuranta-kerroin	Paino-kerroin	Seuranta-kerroin
Yleiskoneet (1-7), keskiarvo	0,95	1,185	0,95	1,148
Pieni kone (8)	0,05	1,705	0,05	1,679
Painotettu keskiarvo	-	1,211	-	1,174

6.2 Vertailulaskelmia uusilla ja vanhoilla funktioilla

6.2.1 Tuottavuus seurantatyömailla

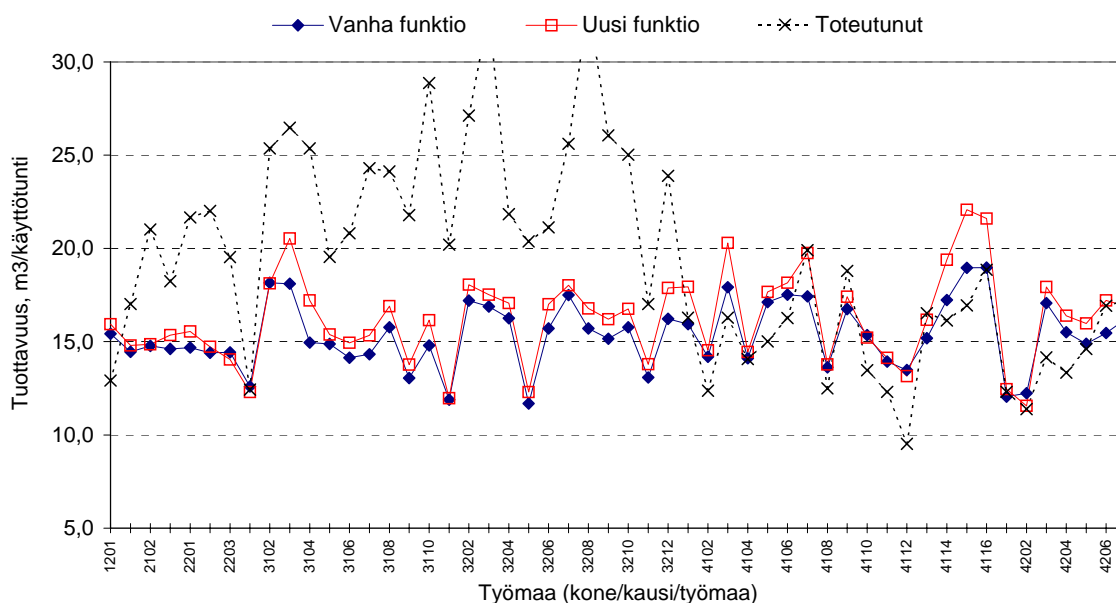
Tämän tutkimuksen ja vuoden 1991 tuloksiin perustuvilla funktioilla laskettua tuottavuutta vertaillaan kuvissa 14 - 16. Tuottavuudet on laskettu seurantatyömaille. Kuvissa esitetään myös kunkin työmaan toteutunut tuottavuus. Työmaiden olosuhdetietoja on esitetty liitteessä.

Uusissa funktioissa on käytetty yleisen konejakauman mukaista kuorman kokoa (taulukko 21) ja painotettua seurantakerrointa (taulukko 23).

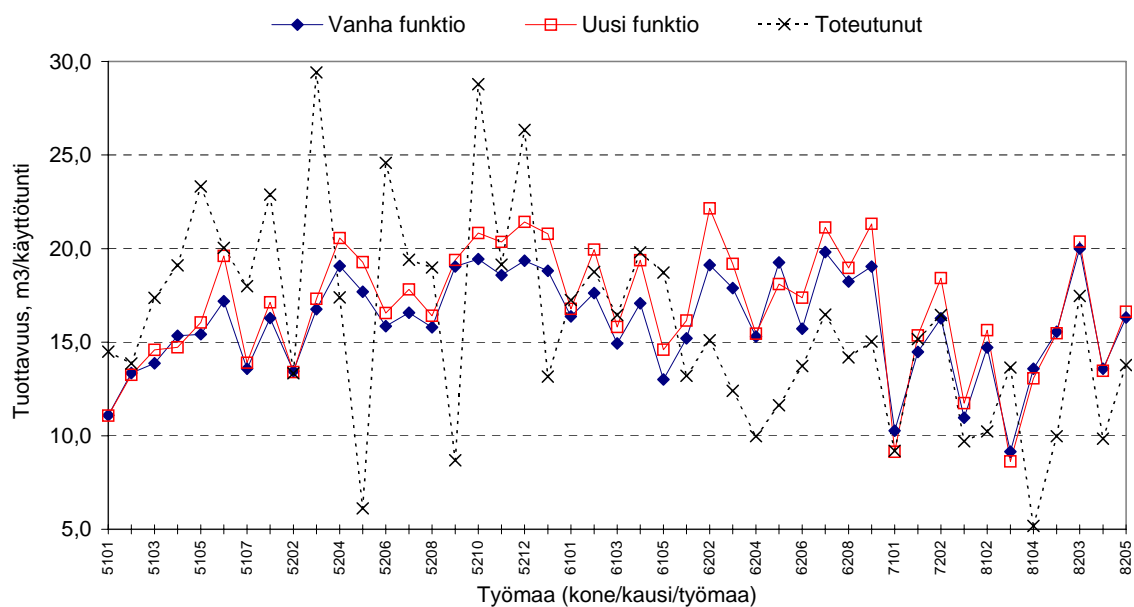


Kuva 13. Tuottavuuden vertailua harvennushakkuiden seuranta-työmailla (esim. 3102 = kone 3, talvikausi, työmaa 02).

Uusi tuottavuusfunktio antaa saman tuottavuuden kuin vanha funktio joka neljännessä tapauksessa. Muissa kohteissa uuden funktion antama tuottavuus on alemmalla tasolla. Kone 5 erottuu keskimääräistä parempana sillä sen toteutunut tuottavuus ylittää funktion antaman arvon kaikissa neljässä leimikossa.



Kuva 14. Tuottavuuden vertailua päätehakkuiden seuranta-työmailla (koneet 1 - 4).



Kuva 15. Tuottavuuden vertailua päätehakkuiden seuranta-työmailla (koneet 5 - 8).

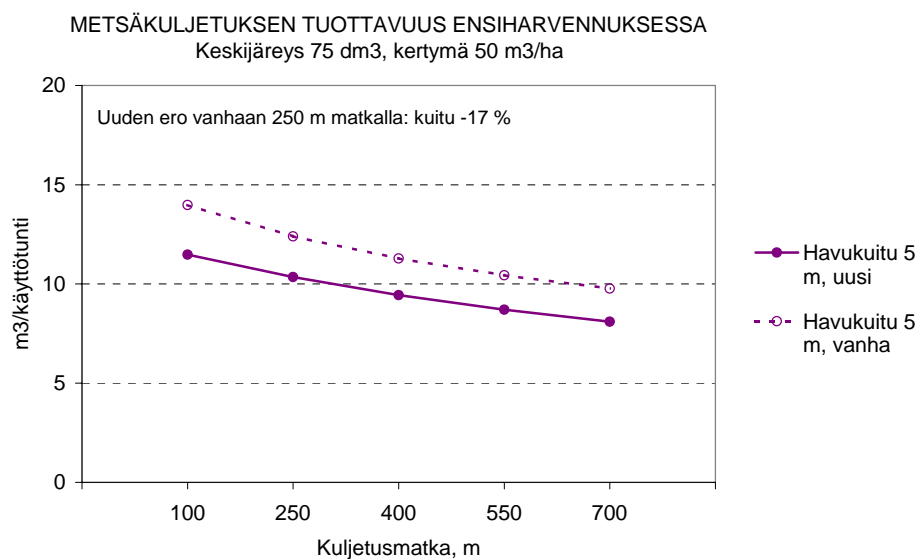
Päätehakuissa uuden ja vanhan funktion tuottavuudet ovat useimmissa tapauksissa lähellä toisiaan. Vertailussa ilmenee hyvin koneiden väliset erot. Koneet 2, 3 ja 5 ovat pääsääntöisesti ylittäneet selvästi parempaan tuottavuuteen funktion antamaan tulokseen verrattuna. Koneiden 4 ja 7 toteutumat ovat lähellä funktion antamia arvoja. Koneilla 6 ja 8 toteutuneet tuottavuudet ovat jääneet useimmiten laskennallista arvoa alemmalle tasolle.

6.2.2 Tuottavuudet tyypileimikoissa

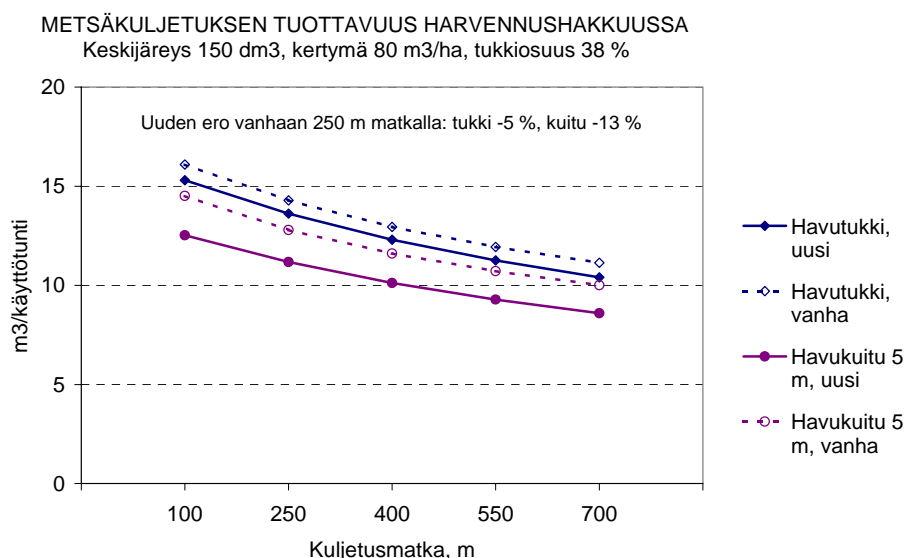
Kuvissa 17 - 19 vertaillaan vanhan ja uuden funktion antamaa tuottavuutta tyypileimikoiden avulla. Leimikot ovat puhtaita havupuukohteita, joista on hakattu ainoastaan tukkia ja/tai pitkää kuitua. Vanhan ja uuden funktion ero prosentteina mainitaan kuvissa (kuljetusmatka 250 m).

Ensiharvennusesimerkissä uudet funktiot antavat pitkälle havukuitupuulle 17 % pienemmän tuottavuuden vanhoihin verrattuna (kuljetusmatka 250 m).

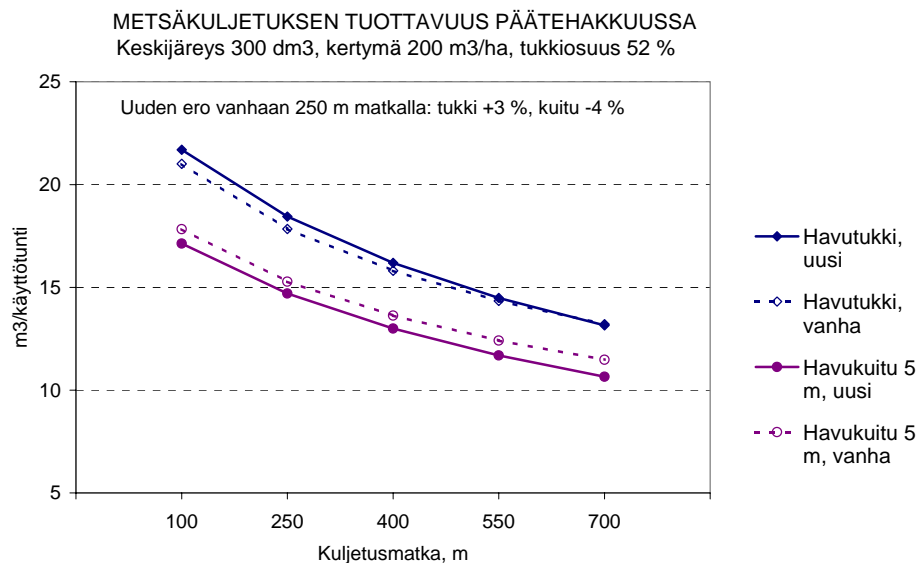
Myöhemmän harvennuksen esimerkissä uudet funktiot antavat 13 % pienemmän tuottavuuden havukuitupuulle ja 5 % pienemmän tuottavuuden tukille (kuljetusmatka 250 m).



Kuva 16. Käyttöaikatuottavuus ensiharvennuksessa kuvan olosuhteissa uuden ja vanhan tuottavuusfunktion mukaan.



Kuva 17. Käyttöaikatuottavuus myöhemmässä harvennuksessa kuvan olosuhteissa uuden ja vanhan tuottavuusfunktion mukaan.



Kuva 18. Käyttöaikatuoottavuus päätehakkuussa kuvan olosuhteissa uuden ja vanhan tuottavuusfunktion mukaan.

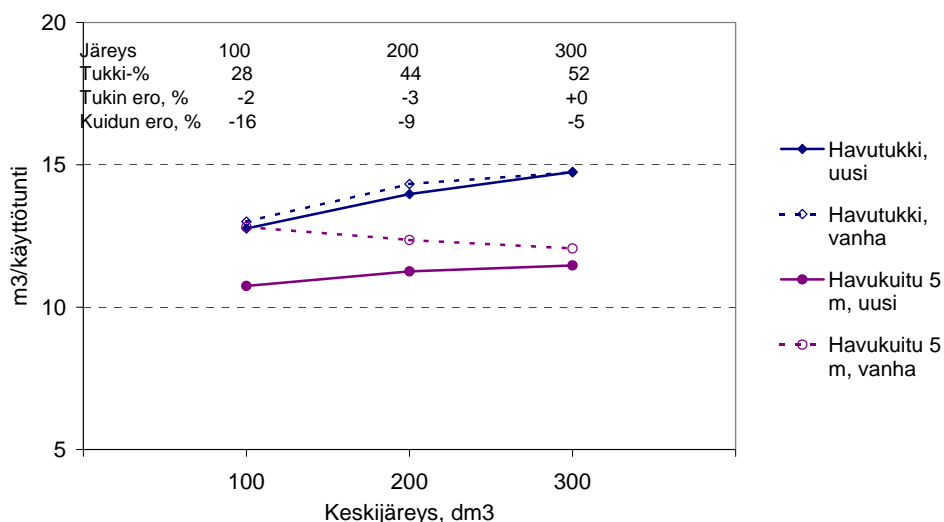
Päätehakkuuesimerkissä uusilla funktioilla laskettu tuottavuus on havutukille 3 % suurempi ja kuitupuulle 4 % pienempi kuin vanhoilla funktioilla (kuljetusmatka 250 m).

6.2.3 Tuottavuus keskijäreiden mukaan

Olellaisin ero uuden ja vanhan tuottavuusfunktion laatimisessa on kuormaustyövaiheen mallintamisessa. Vanhassa funktiossa kuormauksen ajanmenekkiä selitettiin ajouranvarsitiheydellä ($\text{m}^3/100 \text{ m}$). Uudessa funktiossa kuormauksen ajanmenekkiä selitetään leimikon keskijäreydellä, joka osoittautui uranvarsitiheyttä paremmaksi selittäjäksi.

Kuvissa 19 - 20 esitetään tuottavuus harvennuksessa ja päätehakkuussa keskijäreiden mukaan tietyllä hehtaarikertymällä, eri tukkiosuuksilla ja 250 m kuljetusmatkalla. Vanhan ja uuden funktion ero prosentteina mainitaan kuvissa.

METSÄKULJETUKSEN TUOTTAVUUS HARVENNUSHAKKUUSSA
Kertymä 70 m³/ha, kuljetusmatka 250 m



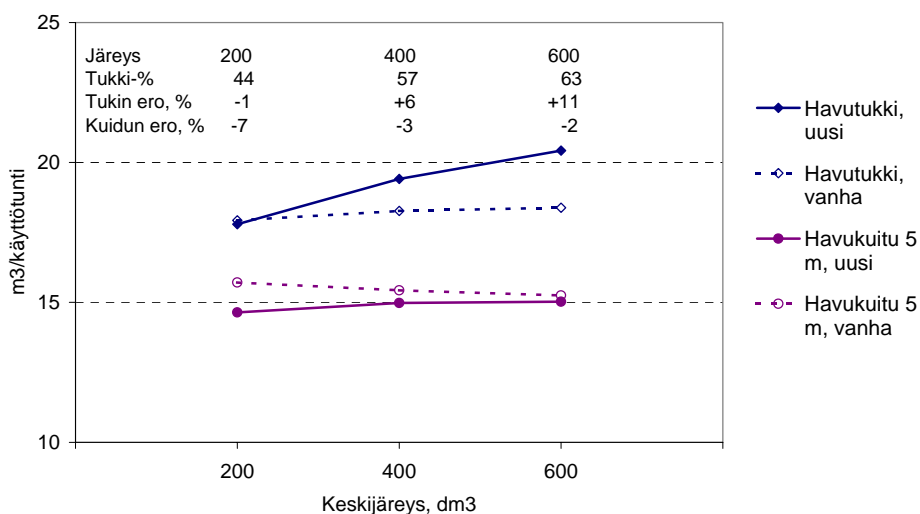
Kuva 19. Käyttöaikatuoottavuus harvennushakkuussa kuvan olosuhteissa uudella ja vanhalla tuottavuusfunktioilla leimikon keskijäreiden mukaan.

Kuvan 19 esimerkissä havutukilla uuden funktion antama tuottavuus on hieman pienempi tai sama kuin vanhalla funktiolla laskettu. Havukuitupuulla vanhan funktion tuottavuus laskee järeiden noustessa, kun uuden funktion tuottavuus nousee loivasti. Tuottavuusero kapenee 16 %:sta 5 %:iin keskijäreiden noustessa 100 litrasta 300 litraan.

Kuvan 20 esimerkissä havutukilla uuden funktion antama tuottavuus on sama kuin vanhalla funktiolla laskettu 200 litran keskijäreidessä. Keskijäreiden noustessa uusi tuottavuus nousee selvästi, kun vanha pysyy lähes samalla tasolla. Tuottavuusero on 11 % 600 litran keskijäreidessä.

Havukuitupuulla vanha tuottavuus laskee loivasti keskijäreiden noustessa. Uusi tuottavuus puolestaan nousee loivasti järeiden noustessa. Tuottavuusero kapenee 7 %:sta 2 %:iin keskijäreiden noustessa 200 litrasta 600 litraan.

METSÄKULJETUKSEN TUOTTAVUUS PÄÄTEHAKKUUSSA
Kertymä 250 m³/ha, kuljetusmatka 250 m



Kuva 20. Käyttöaikatuoottavuus päätehakkuussa kuvan olosuhteissa uudella ja vanhalla tuottavuusfunktioilla leimikon keskijäreiden mukaan.

7 PÄÄTELMÄT

Tulokset antavat useimmissa tapauksissa pienempiä tuottavuuksia kuin mihiin v. 1991 tutkimuksessa päädyttiin. Tuottavuus on pienempi ennen muuta pienissä keskijäreyksissä. Havukuitupuun tuottavuus oli vertailuesimerkeissä (kuvat 17 - 20) aina alemmalla tasolla kuin vanhoissa tuloksissa. Havutukilla uusi tuottavuus alkoi nousta vanhaa suuremmaksi, kun keskijäreys ylitti 200 - 300 litran tason.

Vanhoja ja uusia tuottavuusfunktioita vertailtiin myös laskemalla niiden avulla tuottavuus seurantaleimikoille (24 harvennus- ja 97 päätehakkuleimikkoa). Koko leimikkojonolle laskettaessa päädyttiin uusilla funktiolla harvennuksilla 7,6 % pienempään ja päätehakuilla 4,8 % suurempaan tuottavuuteen kuin vanhoilla funktioilla (liite).

Metsätraktoreiden mahdollinen järeytyminen ja toimintavarmuuden nousu ovat tekijöitä, jotka ovat voineet nostaa tuottavuutta 1990 luvun aikana. Tuottavuutta ovat puolestaan voineet hidastaa mm. mahdollinen puutavara-lajien lisääntyminen ja tästä seuraava lajittelutyön lisääntyminen metsäkuljetuksessa.

Tutkimuksista itsestään johtuvia syitä tuottavuuseroihin voivat olla mm:

- Tutkimukset perustuvat aina otokseen ja otokset on käytännön syistä pidettävä suhteellisen pieninä. Tästä seuraa usein suuriakin hajontoja havaintojen välillä. Kaksi tutkimusta antaa harvoin saman tuloksen.
- Vanhan tutkimuksen aikatutkimusaineisto oli koneellisesti tehdyissä harvennuksissa varsin pieni, vain 11 työmaata. Tämä lähtökohta ei ole antanut yhtä vankkaa pohjaa työvaiheiden ajanmenekin funktioinnille kuin tässä tutkimuksessa, jossa oli 33 harvennustyömaata.
- Kuormausvaiheen funktioinnissa päädyttiin tässä tutkimuksessa käyttämään leimikon keskijäreyttä. Vanhassa tutkimuksessa funktiot perustuvat ajouranvarsitiheyden käyttöön ja niissä keskijäreiden nousu ei juuri vaikuta tuottavuuteen tai tuottavuus jopa laskee, mikä on ristiriidassa käytännön havaintojen kanssa.
- Vanhassa tutkimuksessa kuormausvaiheen ajanmenekin kuvaajan muotoa ei ole haettu kuljettajakohtaisista havainnoista vaan kuvaaja on sovittu koko havaintoparveen, jolloin tekijöiden välinen riippuvuus peittyi kuljettajien välisen hajonnan taakse. Tässä tutkimuksessa on nojaututtu kuljettajakohtaisiin havaintoihin (kuva 6, s. 13). Mallinnustapa aiheuttaa selkeän eron tutkimustulosten välille.
- Vanhassa tutkimuksessa aikatutkimusaineistoon otettiin vain yhden puulajin kuormia, jolloin lajittelutyö ei ole tullut kokonaan huomioon.
- Ilmeisesti vanhan tutkimuksen harvennusaineiston pienestä määrästä johtuen on aikanaan päädytty käyttämään päätehakkuiden kanssa yhteisiä keskeytys- ja seurantakertoimia. Tämä tutkimus kuitenkin antaa eri hakkuutavoille hieman eri suuruiset kertoimet, millä voi olla oma osuutensa tulosten eroihin.

Sekä harvennusten että päätehakkuiden seurantakertoimessa havaittiin tässä tutkimuksessa suurta hajontaa. Hitaimpien koneiden ajanmenekki oli yli kaksi kertaa suurempi kuin tehokkaimpien koneiden. Molempien hakkuuta-pojen seurantakertoimen keskiarvolle saatiin hyvin leveä luottamusväli. Seurantakerroin on 90 % todennäköisyydellä välillä 1,0 - 1,5. Kysymyksek-si jääkin mikä on seurantakertoimen oikea taso.

Tulevaisuudessa olisi tärkeää kehittää korjuutyön tuottavuuden seurantame-netelmiä, jotta välttyttäisiin edellä mainituilta pienten otosten aiheuttamilta ongelmilta. Nykytekniikalla olisi mahdollista kerätä tietoa eri työvaiheiden kestosta myös automaattisesti. Automatisoidut menetelmät mahdollistaisivat laajempien aineistojen keruun ja seuranta voisi olla jatkuvaa. Havaintoai-neistoon liittyvä suuri vaihtelu saataisiin näin paremmin hallintaan ja tulosten yleistettävyyttä parannettua. Myös kuljettajien välisten erojen arviointia ja mittaamista tulisi kehittää sillä kuljettajan ammattitaidolla on ratkaiseva merkitys työn tuottavuudelle.

KIRJALLISUUS

**Kuitto, P.J., Keskinen, S., Lindroos, J., Oijala, T., Rajamäki, J.,
Räsänen, T. ja Terävä, J.** 1994: Puutavaran koneellinen hak-
kuu ja metsäkuljetus. Metsätehon tiedotus 410. Helsinki. 38 s.

SEURANTATYÖMAIDEN OLOSUHDE- JA TUOTTAVUUSTIEDOT

Selityksiä:

TM	Työmaa, ykxx: y=yrittäjä nro, k=kausi (1=talvi, 2=kesä), xx=työmaa nro
HT	Hakkuutapa: 1 Ensiharvennus, 2 Muu harvennus, 3 Avohakkuu, 4 Siemenpuuasentoon hakkuu
Tunnit	Työmaan käyttötunnit yhteensä
Tuk%	Havutukin + lehtitukin osuus
LyK%	Lyhyen kuidun osuus kokonaismoteista
Uusi f	Uusilla ajanmenekifunktioilla laskettu tuottavuus, m3/käyttötunti
Vanha f	Vanhoilla (v. -91) ajanmenekifunktioilla laskettu tuottavuus, m3/käyttötunti
Ero, m3/t	Uuden tuottavuuden ero vanhaan verrattuna
Ero, %	Uuden tuottavuuden suhteellinen ero vanhaan verrattuna

Uusissa funktioissa on käytetty yleistä kuorman kokoa ja painotettua seurantakerrointa.

HARVENNUKSET

TM	HT	Matka m	Järeys dm3	Kertymä m3/ha	Koko		Ptl osuudet		Tuottavuus, m3/käyttöt.			Ero	
					m3	tunnit	Tuk%	LyK%	Toteut.	Vanha f	Uusi f	m3/t	%
1201	2	280	170	62	1306	137	32	0	9,5	11,4	10,1	-1,3	-11
1202	2	170	137	55	1266	154	43	0	8,2	13,2	12,3	-1,0	-7
3101	2	435	202	97	834	59	35	2	14,1	11,1	10,5	-0,6	-5
3102	2	380	115	34	190	24	32	0	7,9	9,8	9,8	-0,1	-1
4201	2	150	254	76	76	17	54	14	4,5	13,6	13,7	0,1	1
5101	1	367	131	108	735	59	9	28	12,4	10,2	8,4	-1,9	-18
5102	2	410	257	72	144	11	35	5	12,9	10,7	10,5	-0,2	-2
5103	2	490	204	57	57	4	35	3	15,2	10,2	10,0	-0,3	-3
5104	2	110	383	44	136	7	56	8	18,9	13,3	13,9	0,7	5
6101	2	100	285	54	136	11	49	16	11,8	13,1	13,7	0,5	4
6102	2	130	508	97	464	35	68	7	13,1	15,0	16,1	1,1	7
6103	2	400	225	45	206	21	47	8	9,8	10,6	10,7	0,2	2
6104	2	320	323	75	298	19	61	5	15,5	12,9	12,6	-0,3	-2
7101	2	250	233	84	1088	93	42	10	11,7	12,7	12,4	-0,3	-2
7102	2	150	206	71	185	17	38	13	10,7	12,5	11,8	-0,6	-5
8101	2	160	104	53	63	8	19	9	7,8	14,0	11,4	-2,6	-18
8102	2	520	63	51	102	18	10	45	5,6	9,7	8,0	-1,7	-17
8103	2	350	76	42	167	25	8	51	6,6	10,0	8,7	-1,3	-13
8104	1	550	67	46	262	55	9	69	4,8	8,6	7,4	-1,2	-14
8105	2	85	110	47	165	19	21	28	8,5	12,1	11,6	-0,4	-4
8106	2	170	226	56	449	46	31	51	9,7	10,5	10,4	-0,2	-2
8107	2	270	95	66	251	57	16	19	4,4	12,7	10,4	-2,3	-18
8108	2	250	88	37	30	9	29	8	3,2	11,1	10,4	-0,7	-6
8201	2	160	142	73	51	6	39	12	8,6	13,7	12,5	-1,3	-9

Ero vanhaan keskimäärin, %
(painotus tunneilla) **-7,6**

PÄÄTEHAKKUUT

TM	HT	Matka m	Järeys dm3	Kertymä m3/ha	Koko		Ptl osuudet		Tuottavuus, m3/käyttöt.			Ero	
					m3	tunnit	Tuk%	LyK%	Toteut.	Vanha f	Uusi f	m3/t	%
1201	4	280	335	155	1614	125	57	0	12,9	15,4	15,9	0,5	3
2101	4	220	206	89	3118	183	38	0	17,0	14,5	14,8	0,3	2
2102	4	150	149	86	1205	57	32	0	21,0	14,8	14,9	0,1	1
2103	4	180	250	78	3513	193	44	0	18,2	14,6	15,4	0,7	5
2201	4	160	268	74	2116	98	38	0	21,7	14,7	15,5	0,9	6
2202	4	190	213	98	5379	244	29	0	22,0	14,4	14,7	0,3	2
2203	4	140	187	104	2578	132	24	0	19,5	14,4	14,0	-0,4	-3
3101	3	425	134	131	183	15	28	4	12,4	12,6	12,3	-0,3	-2
3102	3	150	506	304	395	16	31	0	25,4	18,2	18,1	0,0	0
3103	3	120	542	247	767	29	70	1	26,5	18,1	20,5	2,4	13
3104	3	275	687	135	108	4	75	1	25,4	15,0	17,2	2,3	15
3105	3	235	220	125	877	45	47	2	19,5	14,9	15,4	0,5	3
3106	3	280	353	136	366	18	43	7	20,8	14,1	14,9	0,8	6
3107	3	355	583	252	453	19	51	8	24,3	14,3	15,3	1,0	7
3108	3	250	368	227	953	40	62	4	24,1	15,8	16,9	1,1	7
3109	3	515	388	277	694	32	66	1	21,8	13,0	13,8	0,7	5
3110	3	345	440	215	948	33	72	1	28,9	14,8	16,1	1,4	9
3201	3	711	313	318	2992	148	59	3	20,2	11,9	12,0	0,1	1
3202	3	200	415	216	346	13	62	2	27,1	17,2	18,1	0,9	5
3203	3	272	498	279	196	6	67	3	32,6	16,9	17,5	0,6	4
3204	3	210	242	168	318	15	69	0	21,8	16,3	17,1	0,8	5
3205	4	715	589	165	745	37	67	1	20,4	11,7	12,3	0,6	5
3206	3	205	342	147	645	31	65	2	21,1	15,7	17,0	1,3	8
3207	3	150	315	189	132	5	57	2	25,6	17,5	18,0	0,5	3
3208	3	280	373	276	415	13	62	2	33,2	15,7	16,8	1,1	7
3209	3	320	376	252	277	11	65	2	26,1	15,2	16,2	1,0	7
3210	3	225	387	208	2287	91	61	18	25,0	15,8	16,8	1,0	6
3211	3	510	366	221	199	12	69	1	17,0	13,1	13,8	0,7	5
3212	3	200	487	183	110	5	65	7	23,9	16,2	17,9	1,7	10
4101	3	250	576	276	634	39	69	0	16,3	15,9	17,9	2,0	13
4102	3	360	232	199	1293	105	54	0	12,4	14,2	14,5	0,3	2
4103	3	150	492	306	613	38	71	0	16,3	17,9	20,3	2,4	13
4104	3	350	233	184	369	26	50	0	14,1	14,1	14,5	0,3	2
4105	3	150	214	199	1191	79	60	0	15,0	17,1	17,7	0,5	3
4106	3	150	229	256	769	47	62	0	16,3	17,5	18,2	0,6	4
4107	3	150	523	225	383	19	73	0	19,9	17,4	19,8	2,3	13
4108	3	350	191	173	398	32	46	0	12,5	13,6	13,8	0,2	1
4109	3	250	351	200	240	13	73	0	18,8	16,7	17,4	0,7	4
4110	3	330	218	246	738	55	61	0	13,5	15,3	15,2	-0,1	-1
4111	3	550	447	251	151	12	73	0	12,3	13,9	14,1	0,2	1
4112	3	350	138	166	66	7	24	0	9,5	13,5	13,2	-0,3	-2
4113	3	280	325	177	318	19	62	0	16,5	15,2	16,2	1,0	7
4114	3	150	561	232	556	34	64	0	16,1	17,2	19,4	2,2	13
4115	3	100	600	233	396	23	78	0	16,9	19,0	22,1	3,1	16
4116	3	100	498	314	1884	100	71	0	18,9	19,0	21,6	2,6	14
4201	3	680	381	325	2923	237	66	8	12,3	12,1	12,5	0,4	3
4202	3	450	252	269	1746	153	62	10	11,4	12,2	11,6	-0,7	-6
4203	3	150	254	225	1127	80	59	7	14,2	17,1	17,9	0,9	5
4204	3	280	305	267	1333	100	62	5	13,3	15,5	16,4	0,9	6
4205	3	350	367	233	933	64	71	2	14,6	14,9	16,0	1,1	7
4206	3	280	493	292	1022	60	70	9	16,9	15,5	17,2	1,7	11
4207	3	180	237	187	749	44	52	5	17,2	16,2	16,9	0,7	4

TM	HT	Matka m	Järeys dm3	Kertymä m3/ha	Koko		Ptl osuudet		Tuottavuus, m3/käyttöt.			Ero	
					m3	tunnit	Tuk%	LyK%	Toteut.	Vanha f	Uusi f	m3/t	%
5101	3	820	335	173	518	36	63	5	14,5	11,1	11,1	0,0	0
5102	3	460	218	133	133	10	56	0	13,9	13,3	13,3	-0,1	-1
5103	3	420	352	188	565	33	67	6	17,4	13,9	14,6	0,7	5
5104	3	230	96	147	118	6	58	3	19,1	15,3	14,7	-0,6	-4
5105	4	330	372	175	210	9	73	1	23,3	15,4	16,0	0,6	4
5106	3	180	677	267	347	17	72	11	20,0	17,2	19,6	2,4	14
5107	3	510	428	239	287	16	66	4	18,0	13,6	13,9	0,3	2
5201	3	240	391	161	289	13	68	2	22,9	16,3	17,1	0,8	5
5202	3	320	403	153	382	29	65	6	13,3	13,4	13,4	0,0	0
5203	3	240	365	207	580	20	74	10	29,4	16,8	17,3	0,6	3
5204	3	110	588	310	868	50	62	12	17,4	19,1	20,6	1,5	8
5205	3	250	781	244	464	76	82	6	6,1	17,7	19,3	1,6	9
5206	4	320	480	223	357	15	75	11	24,6	15,9	16,6	0,7	4
5207	3	270	595	274	1921	99	73	9	19,4	16,6	17,8	1,2	8
5208	3	250	420	206	411	22	53	9	19,0	15,8	16,4	0,6	4
5209	3	50	290	150	45	5	55	6	8,7	19,0	19,4	0,3	2
5210	3	108	496	249	373	13	70	5	28,8	19,4	20,8	1,4	7
5211	3	110	372	251	955	50	73	6	19,1	18,6	20,4	1,8	10
5212	3	70	463	234	211	8	73	10	26,3	19,4	21,4	2,1	11
5213	3	90	422	338	473	36	63	9	13,2	18,8	20,8	2,0	10
6101	4	300	430	233	163	9	71	6	17,3	16,4	16,8	0,4	2
6102	4	147	547	200	521	28	73	6	18,8	17,6	19,9	2,3	13
6103	3	410	622	240	553	34	75	8	16,5	14,9	15,8	0,9	6
6104	3	100	660	312	405	20	54	34	19,8	17,1	19,4	2,3	13
6105	3	570	1030	302	483	26	78	13	18,7	13,0	14,6	1,6	12
6201	3	310	361	261	5229	396	68	11	13,2	15,2	16,2	0,9	6
6202	3	100	524	424	1061	70	72	6	15,1	19,1	22,1	3,0	16
6203	3	160	450	280	1398	113	70	14	12,4	17,9	19,2	1,3	7
6204	3	200	421	233	349	35	64	19	10,0	15,3	15,5	0,2	1
6205	3	70	197	171	171	15	39	3	11,6	19,3	18,1	-1,1	-6
6206	3	280	452	271	542	39	74	6	13,7	15,7	17,4	1,7	10
6207	3	100	446	317	1016	62	68	6	16,5	19,8	21,1	1,3	7
6208	3	80	250	223	581	41	57	14	14,2	18,2	19,0	0,7	4
6209	3	90	445	233	396	26	76	5	15,0	19,0	21,3	2,3	12
7101	4	650	202	153	460	50	41	9	9,2	10,3	9,1	-1,1	-11
7201	4	310	335	153	534	35	60	8	15,2	14,5	15,4	0,9	6
7202	4	210	576	185	684	42	71	5	16,4	16,3	18,4	2,1	13
8101	3	470	180	39	193	20	58	1	9,7	11,0	11,7	0,8	7
8102	4	240	407	165	198	19	48	22	10,2	14,7	15,6	0,9	6
8103	3	1080	149	69	138	10	41	4	13,6	9,1	8,6	-0,5	-6
8104	3	480	156	159	350	67	66	3	5,2	13,6	13,1	-0,5	-4
8202	3	70	182	104	218	22	51	27	10,0	15,6	15,5	-0,1	-1
8203	3	80	327	150	150	9	78	0	17,5	20,0	20,4	0,4	2
8204	4	570	700	90	90	9	81	8	9,8	13,6	13,5	-0,1	-1
8205	4	220	279	193	154	11	59	9	13,8	16,3	16,6	0,3	2

Ero vanhaan keskimäärin, % **4,8**
(painotus käyttötunneilla)