Metsätehon raportti 179
11.8.2004

Rajoitettu jakelu

Järvi-Suomen Uittoyhdistys
Koskitukki Oy
Kuhmo Oy
Metsähallitus
Metsäliitto Osuuskunta
Metsäteollisuus ry
Pölkky Oy
Stora Enso Oyj
UPM-Kymmene Oyj
Vapo Timber Oy
Visuvesi Oy
Yksityismetsätalouden Työnantajat r.y.

Hakkuutähteen paalauksen ja paalien metsäkuljetuksen tuottavuus ja kustannukset

Kalle Kärhä
Tomi Vartiamäki
Reima Liikkanen
Sirkka Keskinen
Jarmo Lindroos

Hakkuutähteen paalauksen ja paalien metsäkuljetuksen tuottavuus ja kustannukset

Kalle Kärhä
Tomi Vartiamäki
Reima Liikkanen
Sirkka Keskinen
Jarmo Lindroos

Metsätehon raportti 179
11.8.2004

Rajoitettu jakelu:

Järvi-Suomen Uittoyhdistys, Koskitukki Oy, Kuhmo Oy, Metsähallitus, Metsäliitto Osuuskunta, Metsäteollisuus ry, Pölkky Oy, Stora Enso Oyj, UPM-Kymmene Oyj, Vapo Timber Oy, Visuvesi Oy ja Yksityismetsätalouden Työnantajat r.y.

Asiasanat:

hakkuutähde, metsähake, hakkuutähdepaalit, risutukit, paalaus, metsäkuljetus, tuottavuus, kustannukset

© Metsäteho Oy

Helsinki 2004

SISÄLLYS

ALKUSANAT **5**

TIIVISTELMÄ **6**

1 JOHDANTO **9**
1.1 Tausta 9
1.2 Tavoitteet 9

2 AINEISTO JA MENETELMÄT **10**
2.1 Aineiston keruumenetelmät 10
2.1.1 Aikatutkimus 10
2.1.2 Seurantatutkimus 12
2.2 Tutkitut koneet ja kuljettajat 14
2.2.1 Aikatutkimus 14
2.2.2 Seurantatutkimus 23
2.3 Hakkuutähteiden kosteuden ja tuoretiheyden määritys 25
2.4 Paalien koon ja energiatiheyden määritys 26
2.5 Työmaat 27
2.5.1 Aikatutkimus 27
2.5.2 Seurantatutkimus 31
2.6 Kustannuslaskenta 34
2.7 Ajanjaottelu 37

3 TULOKSET **37**
3.1 Paalien ominaisuudet 37
3.1.1 Aikatutkimus 37
3.1.2 Seurantatutkimus 40
3.2 Paalikertymät 40
3.2.1 Aikatutkimus 40
3.2.2 Seurantatutkimus 42
3.3 Paalauksen tuottavuus 42
3.3.1 Aikatutkimus 42
3.3.1.1 Tehoajanmenekki ja sen rakenne 42
3.3.1.2 Kuormaus 45
3.3.1.3 Kuormausajo 47
3.3.1.4 Paalaus 49
3.3.1.5 Katkonta ja paalin poisto 49
3.3.1.6 Palstalla-ajo 50
3.3.1.7 Mallinnettu tehoajanmenekki ja tehotuntituottavuus 50
3.3.1.8 Lyhyet keskeytykset 55
3.3.2 Seurantatutkimus 56
3.3.2.1 Tuotantoaika 56
3.3.2.2 Käyttöaika 57
3.3.2.3 Konekeskeytykset 58
3.3.2.4 Työaika 58
3.3.2.5 Siirrot 59

3.3.2.6 Käyttöasteet ... 59
3.3.2.7 Käyttötuntituottavuus ... 59
3.3.2.8 Kuljettajan ja korjuuolojen vaikutus tuottavuuteen ... 60
3.3.2.9 Seurantakerroin ... 62
3.4 Paalikuormien koot ... 62
3.4.1 Aikatutkimus ... 62
3.4.2 Seurantatutkimus ... 64
3.5 Paalien metsäkuljetuksen tuottavuus ... 64
3.5.1 Aikatutkimus ... 64
3.5.1.1 Kuormaus ... 64
3.5.1.2 Kuormausajo ... 66
3.5.1.3 Tyhjänäajo ... 68
3.5.1.4 Kuormattuna-ajo ... 69
3.5.1.5 Purkaminen ... 70
3.5.1.6 Tehoajanmenekki ja sen rakenne ... 70
3.5.1.7 Tehotuntituottavuus ... 72
3.5.1.8 Lyhyet keskeytykset ... 74
3.5.2 Seurantatutkimus ... 75
3.5.2.1 Tuotantoaika ... 75
3.5.2.2 Käyttöaika ... 76
3.5.2.3 Työaika ja siirrot ... 77
3.5.2.4 Käyttöasteet ... 77
3.5.2.5 Käyttötuntituottavuus ... 77
3.5.2.6 Seurantakerroin ... 78
3.6 Polttoaineen kulutus ... 78
3.6.1 Paalaimet ... 78
3.6.2 Metsätraktorit ... 79
3.7 Kustannukset ... 79
3.7.1 Paalaus ... 79
3.7.2 Paalien metsäkuljetus ... 80

4 HAKKUUTÄHDEHAKKEEN TUOTANTOKETJUJEN KUSTANNUSVERTAILU ... 82

5 OPTIMAALINEN PAALAUS-TUOTANTOKETJU ... 83

6 TARKASTELU JA JOHTOPÄÄTÖKSET ... 84

LÄHTEET ... 88

LIITTEET

ALKUSANAT

Tämä julkaisu on Hakkuutähteen paalauksen ja paalien metsäkuljetuksen tuottavuus -tutkimushankkeen pääraportti. Tutkimushanke oli Metsäteho Oy:n osakkaiden ryhmähanke ja se toteutettiin 1.3.2003–30.6.2004.

Tutkimushankkeen johtoryhmän puheenjohtaja oli Paavo Iittiläinen Metsäliitto Osuuskunnasta ja sen jäseninä Pentti Haataja Vapo Oy:stä, Sami Honkanen (2.10.2003 saakka) ja Mikko Juhola (2.10.2003 alkaen) Stora Enso Oyj:stä, Heikki Kääriäinen Metsähallituksesta, Toni Mörsky UPM-Kymmene Oyj:stä sekä Petri Tikander (23.3.2004 saakka) ja Harri Kalola (23.3.2004 alkaen) Koskitukki Oy:stä.

Aika- ja seurantatutkimukset tehtiin seuraavien koneyritysten koneilla: Erkki Hannula Oy, Forest Vihavainen Ky, Konepalvelu Hörlin Oy, Koneurakointi A. Salminen Ky, Koneurakointi Rantamäki Velj. Oy, Lahtinen Forest Oy, Ljungs Skogsmaskiner Ab, Manu Toikkanen Ky, Metsäkoneurakointi Arto Sarajärvi Oy, Metsäkoneurakointi Henttinen Yrjö Ky, Metsäkoneurakointi Pentti Korkeamäki Ky, Metsäkoneurakointi Tenho Pulkkinen Tmi, Ris-Esset Ab Oy, Ruokola Mika Ky ja Teemapuu Oy.

TIIVISTELMÄ

Tutkimuksessa kartoitettiin hakkuutähdepaalikertymiä sekä korjuuolojen vaikutusta paalikertymiin, selvitettiin hakkuutähteiden paalauksen ja paalien metsäkuljetuksen tuottavuutta ja tarkasteltiin korjuuolojen vaikutusta tuottavuuteen. Ajanmenekkien lisäksi mitattiin paalainten ja paaleja kuljettaneiden metsätraktoreiden polttoaineen kulutusta. Lisäksi tutkittiin paalaustuotantoketjun kustannuksia ja verrattiin niitä muiden käytetyimpien hakkuutähdehakkeen tuotantoketjujen kustannuksiin.

Tutkimuksessa kerättiin aika- ja seurantatutkimusaineistoa kesä- ja talvioloissa tehdystä paalauksesta ja paalien metsäkuljetuksesta. Tutkimushankkeessa kootut tutkimusaineistot olivat laajat: Aikatutkimuksissa paalattiin ja kuljetettiin lähes 2 000 paalia. Paalauksen seuranta-aineisto muodostui lähes 100 000 paalista. Paalien metsäkuljetuksen seuranta-aineisto koostui yli 30 000 paalista.

Paaleja kuljetettiin vakiorakenteisilla ja kuormatilaltaan laajennetuilla metsätraktoreilla. Aikatutkimuksissa tutkittiin Timberjack-pohjaisia (Fiberpac 370 ja Timberjack 1490D) hakkuutähdepaalaimia sekä Pika RS 2000- että Valmet WoodPac -paalaimia. Paalauksen seurantatutkimuksessa oli mukana neljä Timberjack-pohjaista paalainta. Tuloksia tarkasteltaessa on pidettävä mielessä, että tutkitut Pika RS 2000- ja Valmet WoodPac -paalaimet olivat prototyyppiasteella.

Aikatutkimuksissa paalien keskipituus oli 302 cm. Paalien keskiläpimitta oli 71 cm. Paalaimittain ja koealoittain paalien dimensiot vaihtelivat melko runsaasti. Keskimäärin paalit painoivat 387 kg. Paalien keskitilavuus oli 0,47 m^3. Kesällä tehdyt paalit olivat tilavuudeltaan selvästi pienempiä kuin talvella tehdyt paalit. Paalien energiasisältö oli keskimäärin 0,98 MWh/paali.

Seurantatutkimuksessa Etelä-Suomessa olleilla työmailla paaleja tehtiin keskimäärin 92 paalia/ha ja Pohjanmaalla 84 paalia/ha. Aikatutkimuksessa paalikertymä oli keskimäärin 133 paalia/ha ja hakkuutähdekertymä oli keskimäärin 62 m^3/ha. Korjuuolosuhdetekijöistä paalattavan hakkuutähteen kosteus selitti parhaiten hakkuutähdekertymää. Hakkuutähteiden kosteuden lisäksi hakkuutähdekasojen ja -karheiden kunnolla oli merkitystä hakkuutähdekertymiin: Kasojen ja karheiden ollessa hyvälaatuisia (latvat on hakattu samansuuntaisesti ja hakkuutähdekasojen ja -karheiden päältä ei ole ajettu) hakkuutähdekertymä oli keskimäärin 68 m^3/ha. Kun kasat ja karheet olivat keskimääräisiä tai huonoja, hakkuutähdekertymä oli noin 50 m^3/ha.

Hakkuutähdekasojen ja -karheiden kunnolla oli merkittävä vaikutus paalauksen tuottavuuteen. Kun kasat olivat keskimääräisiä, tuottavuus oli seurantatutkimuksessa noin 10 % pienempi kuin paalattaessa hakkuutähteitä hyvälaatuisista kasoista ja karheista. Kasojen ja karheiden ollessa huonoja tuottavuus oli 20 % pienempi kuin paalattaessa hyväkuntoisista kasoista ja karheista. Seurantatutkimuksessa vain joka toisella työmaalla hakkuutähdekasojen ja karheiden kunto oli hyvä. Jatkossa on kiinnitettävä huomiota siihen, että hakkuutähdekasat ja -karheet olisivat hyvälaatuisia.

Hakkuutähteiden kuormaus molemmilta puolilta ajouraa kasvatti selvästi työpisteiden kokoa, vähensi kuormausajoa ja nosti paalaustyön tuottavuutta. Hakkuutähteiden kuormaus yhdeltä puolelta oli kuitenkin nopeampaa Timberjack- ja Pika RS 2000 -paalaimilla: hakkuutähteitä ei tarvitse nostaa yli paalainyksikön paalaimen syöttöpöydälle. Valmet WoodPac -paalaimella hakkuutähteiden kuormaus molemmilta puolilta paalainta ei ole hitaampaa: Valmet WoodPac -paalaimessa hakkuutähteitä ei tarvitse nostaa yli paalainyksikön. Hakkutähdekasojen ja -karheiden laadun lisäksi on siis kiinnitettävä huomiota kasojen sijoitteluun hakkuussa. Mikäli mahdollista, hakkuutähteet olisi pyrittävä hakkaamaan mieluummin yhdelle puolelle ajouraa isoihin kasoihin varsinkin silloin, kun hakkuutähdekertymä on alhainen.

Paalauksen käyttötuntituottavuus oli seurantatutkimuksessa keskimäärin 18,1 paalia/h (noin 8–10 m^3/h). Paalainkuljettajalla oli merkittävä vaikutus paalauksen tuottavuuteen. Paalainkuljettajittain käyttötuntituottavuus oli työmailla keskimäärin 13–26 paalia/h (noin 6–13 m^3/h).

Timberjack-paalaimella paalauskustannukset olivat 10,1 €/m^3, kun hakkuutähteiden ajouranvarsitiheys oli 15 m^3 / 100 m, hakkuutähdekasat olivat hyvälaatuisia, hakkuutähteitä kuormattiin molemmilta puolilta ajouraa ja kun paalin koko oli 0,5 m^3. Kun hakkuutähdekasojen laatu heikkeni hyvistä keskimääräisiin/huonoihin, paalauskustannukset nousivat runsaat 0,5 €/m^3. Kuormattaessa hakkuutähteitä paalaimeen vain yhdeltä puolelta ajouraa (hakkuutähteet hakattu molemmille puolille ajouraa) paalauskustannukset olivat runsaat 1 €/m^3 korkeammat kuin kuormattaessa hakkuutähteitä paalaimeen molemmilta puolilta ajouraa. Pika RS 2000- ja Valmet WoodPac -paalaimilla paalauskustannukset olivat huomattavasti korkeammat kuin Timberjack-paalaimella.

Tehtyjen laskelmien mukaan paalauskustannukset on mahdollista laskea alle 6,5 €/m^3. Tämä edellyttää, että paalaustyömaiden korjuuolot ovat hyvät, paalauksen tuottavuutta saadaan nostettua, tehdyt paalit ovat isokokoisia, työtä tehdään paalaimilla kahdessa vuorossa ja kuljettajien työskentelytavat ovat tehokkaita.

Kun metsätraktorin kuormatila oli laajennettu (kuormatilan päähän asennettu jatke, jossa yksi lisäkarikkapari), kuormaan mahtui kaksi paaliriviä. Laajennetulla kuormatilalla varustetun keskiraskaan metsätraktorin kuorman keskikoko oli 19,0 paalia (8,6 m^3). Laajennetulla kuormatilalla varustetun raskaan metsätraktorin kuormakoko oli keskimäärin 25,4 paalia (12,5 m^3). Vakiorakenteisen metsätraktorin kuormaan mahtui vain yksi paalirivi, keskimäärin 12,5 paalia (5,2 m^3).

Metsäkuljetusmatkan ollessa 250 m ja ajouranvarsitiheyden 15 m^3 / 100 m paalien metsäkuljetuksen käyttötuntituottavuus oli 16,6 m^3/h vakiorakenteisella metsätraktorilla ja 26,0 m^3/h laajennetulla kuormatilalla varustetulla raskaalla metsätraktorilla.

Kun metsäkuljetusmatka oli 250 m ja ajouranvarsitiheys 15 m^3 / 100 m, paalien metsäkuljetuskustannukset olivat 3,4 €/m^3 vakiorakenteisella metsätraktorilla ja 2,5 €/m^3 laajennetulla kuormatilalla varustetulla raskaalla metsätraktorilla. Kuljetettaessa hakkuutähdepaaleja metsätraktorin kuormatilan on oltava laajennettu, erityisesti kuljetettaessa paaleja pidempiä matkoja.

Tutkimuksen perustella voidaan sanoa, että paalaus-tuotantoketjun kalleimman osavaiheen – paalauksen – tuottavuutta pitää saada nostettua ja sen kustannuksia laskettua. Kun paalaus-tuotantoketjun metsäpään kehittämistoimenpiteet saadaan toteutettua, paalaus-tuotantoketju on tuotantokustannuksiltaan kilpailukykyisin metsähakkeen tuotantoketju pidemmillä, yli 60 km:n kaukokuljetusmatkoilla.

1 JOHDANTO

1.1 Tausta

Hakkuutähteiden paalaus- eli risutukkitekniikka tuli Ruotsista Suomeen runsas neljä vuotta sitten. Nykyisin (kesäkuu 2004) hakkuutähteitä paalataan jo lähes 30 paalaimella Suomessa. Valtaosin hakkuutähteitä paalataan Timberjack-pohjaisilla (Fiberpac 370 ja Timberjack 1490D) paalaimilla. Näiden lisäksi hakkuutähteitä paalataan S. Pinomäki Ky:n valmistamilla Pika RS 2000- ja Komatsu Forest Ab:n Valmet WoodPac -hakkuutähdepaalaimilla. Vuonna 2003 hakkuutähteitä paalattiin Suomessa noin 350 000 m^3. Kun metsähaketta käytettiin viime vuonna 2,1 milj. m^3 (Ylitalo 2004), käytetystä metsähakkeesta paalaustekniikalla tuotettiin 17 %.

Vaikka hakkuutähdepaalainten lukumäärä on kasvanut jo lähes 30 yksikköön, laajoja aika- ja seurantatutkimuksia paalauksen ja paalien metsäkuljetuksesta ei ole tehty. Tuottavuustietoa paalauksesta ja paalien metsäkuljetuksesta tarvitaan korjuutoiminnan ohjausta ja urakointimaksujen määritystä varten. Suppeampia tuottavuustutkimuksia paalauksesta ja paalien metsäkuljetuksesta on tehty Suomessa, Ruotsissa, Ranskassa ja Yhdysvalloissa (Andersson ja Nordén 2000, Hämäläinen 2000, Korpilahti 2001, Poikola ym. 2002, Lindberg 2003, Cuchet ym. 2004, USDA Forest… 2004).

Hakkuutähdepaalainten lukumäärän ja hakkuutähteiden paalausvolyymien voidaan olettaa kasvavan voimakkaasti lähivuosien aikana. Vuonna 2002 laskettiin, että vuonna 2005 hakkuutähteitä olisi korjattavissa 2 milj. m^3 paalaus-tuotantoketjulla (Timperi 2004). Tämä arvioitiin korjattavan 65 hakkuutähdepaalaimella. Asikainen (2004) on arvioinut, että vuonna 2010 hakkuutähteistä puolet (noin 1,3 milj. m^3) korjattaisiin paalaustekniikalla. Asikainen on laskenut, että tämä määrä saataisiin korjattua 50 paalaimella.

Laskennallisia korjuuvolyymeja voidaan tehdä ja esittää, mutta loppujen lopuksi paalaustekniikalla korjatun hakkuutähdehakkeen korjuumääriin vaikuttaa eniten se, miten kilpailukykyinen paalaus-tuotantoketju on muihin hakkuutähdehakkeen, lähinnä välivarastohaketus- ja irtorisu-tuotantoketjuihin verrattuna. Paalaus-tuotantoketjun voisi olettaa olevan vielä kehittymisvaiheessa, koska kokemuksia hakkuutähteiden paalauksesta on vasta neljän vuoden ajalta. Tutkimus- ja kehitystyötä paalaus-tuotantoketjun eri osavaiheiden – paalaus, metsäkuljetus, kaukokuljetus ja murskaus – tehostamiseksi on tehtävä ponnekkaasti.

1.2 Tavoitteet

Tutkimuksessa kartoitettiin hakkuutähdepaalikertymiä sekä korjuuolojen vaikutusta paalikertymiin, selvitettiin hakkuutähteiden paalauksen ja paalien metsäkuljetuksen tuottavuutta ja tarkasteltiin korjuuolojen vaikutusta paalauksen ja paalien metsäkuljetuksen tuottavuuteen. Ajanmenekkien lisäksi mitattiin paalainten ja paaleja kuljettaneiden metsätraktoreiden polttoaineen kulutusta. Lisäksi tutkittiin paalaus-tuotantoketjun kustannuksia ja verrattiin niitä muiden käytetyimpien hakkuutähdehakkeen tuotantoketjujen kustannuksiin.

2 AINEISTO JA MENETELMÄT

2.1 Aineiston keruumenetelmät

2.1.1 Aikatutkimus

Paalaus

Hakkuutähteiden paalauksen aikatutkimuksessa käytetyt työvaiheet olivat:
- kuormaus
- paalaus
- katkonta
- paalin poisto
- kuormauksen lomitus
- kuormausajo
- palstalla-ajo.

Kuormaus-työvaiheen aikana hakkuutähteitä syötettiin paalaimen syöttöpöydälle (Timberjack- ja Pika RS 2000 -paalaimet) tai paalaimen tiivistysrullien muodostamaan kammioon (Valmet WoodPac -paalain). Työvaihe alkoi, kun kuormainta alettiin viedä hakkuutähdekasaa tai -karhetta kohden, ja loppui, kun taakka laskettiin paalaimen syöttöpöydälle tai kammioon. Timberjack- ja Pika RS 2000 -paalaimilla kuormaus-työvaiheeseen liittyi usein myös hakkuutähteiden asettelu sopivan paksuksi hakkuutähdematoksi paalaimen syöttöpöydällä. Valmet WoodPac -paalaimella kuormaus-työvaiheeseen sisältyi myös pitkien latvojen ja alikasvosrunkojen katkonta kuormaimen kourasahalla. Kuormaus-työvaiheen aikana ei tehty muuta työvaihetta.

Paalaus-työvaiheen aikana paalain prosessoi hakkuutähteitä hakkuutähdepaaleiksi, eli:
- paalaimen syöttörullat (Timberjack-paalaimet) tai syöttötelat (Pika RS 2000 -paalain) vetivät hakkuutähdemattoa paalaimeen tai paalaimen pyörivät tiivistyssylinterit (Valmet WoodPac -paalain) vetivät hakkuutähteitä paalaimeen,
- paalaimen tiivistyselementit ja syöttörullat (Timberjack-paalaimet), syöttötelat (Pika RS 2000 -paalain) tai pyörivät tiivistyssylinterit (Valmet WoodPac -paalain) tiivistivät paalia ja
- paalaimen sidontayksikkö sitoi paalia.

Paalaus-työvaihe alkoi, kun paalaimen syöttörullat tai -telat alkoivat vetää hakkuutähdemattoa paalaimeen tai paalaimen tiivistyssylinterit alkoivat vetää hakkuutähteitä paalainkammioon. Yksittäisen paalin osalta paalaus-työvaihe päättyi, kun paalin viimeinen (5.–8.) sidonta oli tehty (Timberjack- ja Pika RS 2000 -paalaimet) tai kun paalin sidonta oli tehty (Valmet WoodPac -paalain). Paalaus-työvaiheen aikana ei tehty muuta työvaihetta.

Katkonta-työvaiheen aikana paali katkaistiin ketjusahalla (Timberjack- ja Pika RS 2000 -paalaimet). Työvaihe alkoi, kun ketjusaha tuli esiin suojakotelosta, ja loppui, kun paali katkesi irti. Paalin poisto -työvaiheen aikana

paali poistettiin paalaimen tiivistyssylinterien muodostamasta kammiosta (Valmet WoodPac -paalain). Työvaihe alkoi, kun kammiota alettiin aukaista, ja päättyi, kun kammio sulkeutui kiinni. Katkonta- ja paalin poisto -työvaiheiden aikana ei tehty muuta työvaihetta.

Hakkuutähteitä paalatessa voidaan, ja on suotavaa, tehdä useampia työvaiheita samanaikaisesti. Kuormauksen lomitus -työvaiheen aikana kuormauksen lisäksi oli käynnissä joko paalaus- tai katkonta-työvaihe Timberjack- ja Pika RS 2000 -paalaimilla, ja Valmet WoodPac -paalaimella oli käynnissä paalaus-työvaihe.

Kuormausajossa paalainta ajettiin työpisteeltä toiselle. Palstalla-ajossa paalainta siirrettiin pidempiä matkoja työmaalla (esim. ajo uuden hakkuutähdekarheen päähän). Kuormausajo ja palstalla-ajo alkoivat, kun paalain liikahti eteenpäin, ja päättyi, kun paalain pysähtyi. Kuormausajo- ja palstalla-ajo-työvaiheisiin sisältyi paalaimen ajokuntoon saattaminen ja ajon päättämistoimenpiteet ennen kuormauksen aloittamista. Timberjack- ja Pika RS 2000 -paalaimilla kuormausajon ja palstalla-ajon aikana saattoi tapahtua paalaus- tai katkonta-työvaiheita. Valmet WoodPac -paalaimella kuormausajon ja palstalla-ajon aikana saattoi tapahtua vain paalaus-työvaihetta.

Paalien metsäkuljetus

Paalien metsäkuljetuksen aikatutkimuksessa käytettiin samaa työvaihejaottelua kuin mitä on aiemmin käytetty tutkittaessa ainespuun ja hakkuutähteen metsäkuljetusta. Työvaiheet olivat:

- tyhjänäajo
- kuormaus
- kuormausajo
- kuormattuna-ajo
- purkaminen.

Tyhjänäajo-työvaihe alkoi, kun metsätraktori lähti liikkeelle kuorman purkamispaikalta, ja päättyi, kun se pysähtyi ensimmäiselle kuormattavalle paalille. Tyhjänäajo-työvaiheeseen sisältyi metsätraktorin ajokuntoon saattaminen ja ajon päättämistoimenpiteet ennen kuormauksen aloittamista.

Kuormaus-työvaihe alkoi, kun metsätraktori oli pysähtynyt ensimmäiselle kuormattavalle paalille ja kuormainta alettiin viedä kuormattavaa paalia kohti, ja päättyi, kun paalit oli nostettu kuormaan. Usein kuormaus-työvaiheeseen sisältyi myös paalien asettelu kuormassa, kuorman järjestely.

Kuormausajo-työvaiheeseen kuuluivat työpisteiden väliset siirtymiset valmisteluineen ja päättämisineen. Kuormausajo-työvaihe alkoi, kun kuormaus-työvaihe loppui, ja päättyi, kun kuormaus-työvaihe uudessa työpisteessä alkoi.

Kuormattuna-ajo-työvaihe sisälsi ajon kuorman viimeiseltä työpisteeltä kuorman purkamispaikalle. Kuormattuna-ajoon kuuluivat metsätraktorin ajokuntoon saattaminen ja ajon päättämistoimenpiteet ennen purkamisen

aloittamista. Purkaminen alkoi, kun metsätraktori oli pysähtynyt purkamispaikalle, ja päättyi, kun kuorma oli tyhjä ja metsätraktori lähti liikkeelle kuorman purkamispaikalta. Purkamisaikaan sisältyi myös purkamisen yhteydessä tehty varastokasan järjestely.

2.1.2 Seurantatutkimus

Hakkuutähteiden paalauksen ja paalien metsäkuljetuksen seuranta-aineisto kerättiin seurantalomakkeilla sekä Telmu-100 -tiedonkeruulaitteilla. Kahden paalaimen seuranta-aineisto kerättiin Telmu-100 -tiedonkeruulaitteilla sekä osittain seurantalomakkeilla. Kahden muun paalaimen sekä kaikkien paalien metsäkuljetusta tehneiden metsätraktoreiden seuranta-aineisto kerättiin seurantalomakkeilla.

Puunhankintaorganisaatioista koottiin seurantatutkimukseen osuneiden leimikoiden työmaatiedot. Kerätyt työmaatiedot olivat:

- työmaan tunnistetiedot (sopimusnumero, lohkon numero)
- hakkuun päivämäärä
- työmaan pinta-ala (ha)
- keskimääräinen metsäkuljetusmatka (m)
- ainespuun hakkuukertymä puulajeittain (m^3)
- ainespuukertymän keskijäreys (dm^3)
- työmaalla tehtyjen paalien lukumäärä.

Työmaatietojen lisäksi puunhankintaorganisaatioista saatiin tehtyjen paalien koehaketustietoja seurantajakson ajalta. Kaikki urakoitsijat ja kuljettajat opastettiin seurannan vaatimiin toimenpiteisiin seurantalomakkeiden jaon yhteydessä. Kuljettajien ja urakoitsijoiden tekemää seurantaa seurattiin lähes kuukausittain sekä jokaisen työmaakäynnin yhteydessä. Työmaakäyntejä tuli tutkimusaikana neljästä kuuteen yhtä seurattavaa konetta kohti aikatutkimusten yhteydessä.

Seurantalomakkeet

Koneiden seuranta-aineiston keruussa käytettiin kolmea eri lomaketta. Paalaimen työvuorolomake (liite 1) oli tarkoitettu paalainkuljettajien täytettäväksi, ajokoneen työvuorolomake (liite 2) metsätraktorin kuljettajien täytettäväksi ja yrittäjälomake (liite 3) yrittäjän täytettäväksi. Lomakkeiden laadinnassa käytettiin hyväksi Metsäteho Oy:n tekemien aiempien seurantatutkimuksien kokemuksia.

Paalaimen työvuorolomakkeella saatiin kerättyä tiedot työmaittain ja kuljettajittain. Jokaisesta työvuorosta ja työmaasta täytettiin oma lomake. Työmaan yleistiedoissa oli varattu kohdat työmaan tunnistetiedoille, aloitus- ja lopetusajoille sekä koneen siirtomatkalle edelliseltä lohkolta. Lisäksi yleistiedoissa määritettiin paalauksen työvaikeustekijät: hakkuutähteet kasoissa tai karheilla sekä niiden kunto, alikasvoksen määrä ja maastovaikeusluokka.

Työmaan yleistiedot täytettiin vain työmaan vaihtuessa. Työvuorokohtaisissa tiedoissa kerättiin tiedot työvuoron aloitus- ja lopetusajoista kuljettajittain sekä keskeytyksistä työvuoron aikana. Työvuoron aikana tulleista keskeytyksistä kirjattiin ylös keskeytyksen kesto ja syy. Keskeytykseen kulunut aika tuli merkitä viiden minuutin tarkkuudella. Keskeytyssyitä olivat:

- kone
- kuljettaja
- varastotyö
- yhteydenpito
- tiedonsiirto
- koneen siirto
- jatkettu lähikuljetus
- muu syy (ja selitys).

Keskeytyssyyt olivat samat sekä paalaimelle että metsätraktorille. Työvuorolomakkeella kerättiin myös tiedot tutkimuksesta johtuneesta ajanmenetyksestä sekä työvuoron aikana valmistettujen hakkuutähdepaalien määrästä ja kuljetettujen paalikuormien määrästä.

Yrittäjälomakkeella oli tarkoitus kerätä tiedot työvuorojen ulkopuolella tehdyistä töistä, kuten koneen huolloista ja korjauksista. Yrittäjälomakkeen täyttö ja sen myötä seurantatiedon keruu työvuorojen ulkopuolella tehdyistä töistä osoittautui yrittäjille liian hankalaksi ja kaikki seurannassa mukana olleet yrittäjät luopuivat sen tekemisestä. Työvuorojen ulkopuolella tehdyn työn seuranta-aineiston vähäisyydestä johtuen näitä aineistoja ei otettu mukaan tutkimukseen.

Telmu-100 -tiedonkeruulaite

Telmu-100 -tiedonkeruulaite on Trippi Ky:n valmistama työkirjuri, jolla voidaan tallentaa työajat ja toimenpidekoodit. Telmu-100 -tiedonkeruulaitteella kuljettaja rekisteröi tapahtuman syöttämällä toimenpidekoodin laitteeseen. Tiedonkeruulaite tallensi toimenpiteiden ajat ja toimenpidekoodit työmaittain ja -vuoroittain. Käytetyt toimenpidekoodit määritettiin keskeytyksien osalta samoiksi kuin työvuorolomakkeessa olevat. Keskeytyssyiden lisäksi kuljettajat pystyivät kirjaamaan aikaa paalaukseen sekä palstalla-ajoon. Tiedonkeruulaitteella paalaimen seuranta-ajan luokkia olivat:

- paalaus
- palstalla-ajo
- kuljettajasta johtuvaan keskeytykset
- huolto ja korjaus
- yhteydenpito
- työmaiden välinen siirto
- muu.

Telmu-100 -tiedonkeruulaitteella tallennetut tiedot purettiin Trippi Ky:n valmistamalla purkuohjelmalla Excel-taulukoiksi. Tiedonkeruulaitteen käyttö opastettiin kuljettajille Trippi Ky:n toimesta laiteasennuksen yhteydessä.

Tiedonkeruulaitteella saatiin työvuorotiedot keskeytyksineen. Tämän lisäksi kuljettajien oli täytettävä paalaimen työvuorolomakkeeseen työmaan tunnistetiedot, aloitus- ja lopetusaika sekä koneen siirtomatka edelliseltä lohkolta. Lisäksi kuljettajat määrittivät leimikon korjuuolosuhdetekijät jokaiselta leimikolta.

Polttoaineen kulutuksen mittaus

Hakkuutähdepaalainten ja paaleja kuljettavien metsätraktoreiden työvuorolomakkeilla kerättiin tieto myös työmaalla käytetystä polttoainemäärästä. Kuljettajan piti aloittaa työmaa täydellä tankilla eli hänen tuli tankata tankki täyteen lohkon loputtua tai ennen seuraavan aloittamista. Tankattu polttoainemäärä mitattiin paalaimen ja metsätraktorin työmaatankkiin kiinnitetyllä Piusi K44 -virtausmittarilla. Virtausmittari asennettiin neljän paalaimen ja kahden metsätraktorin työmaatankkeihin.

2.2 Tutkitut koneet ja kuljettajat

2.2.1 Aikatutkimus

Paalaus

Ensimmäiset Suomessa käytössä olleet hakkuutähdepaalaimet olivat ruotsalaisen Fiberpac Ab:n valmistamia Fiberpac 370 -paalaimia, jotka oli asennettu käytettyjen Timberjack-metsätraktoreiden kuormatilaan. Syksyllä 2002 Timberjack Oy osti Fiberpac 370 -paalaimeen liittyvät tuoteoikeudet ja patentit ja esitteli Timberjack 1490D -hakkuutähdepaalaimen, jossa peruskoneena on Timberjack 1410D -metsätraktori. Nykyisin hakkuutähteitä paalataan noin 25 Timberjack-pohjaisella (Fiberpac 370 ja Timberjack 1490D) paalaimella Suomessa. Timberjack-paalaimilla tehdään ”jatkuvaa” 70–75 cm paksua ”hakkuutähdepötköä”, joka katkaistaan ketjusahalla noin kolmimetrisiksi hakkuutähdepaaleiksi, risutukeiksi.

1990-luvun lopulla, samoihin aikoihin Fiberpac Ab:n kanssa ruotsalainen Wood Pac Ab esitteli Wood Pac -paalaimen. Partek Forest Ab osti Wood Pac -paalaimen tuoteoikeudet ja patentit Wood Pac Ab:ltä. Vuonna 2002 Partek Forest Oy Ab toi markkinoille Valmet WoodPac -paalaimen, joka kääri yhden noin 3,5 m pitkän ja 80 cm paksun hakkuutähdepaalin kerralla. Vuonna 2003 Partek Forest Oy Ab kehitti Valmet WoodPac -paalainta. Uusi Valmet WoodPac -paalain esiteltiin kevättalvella 2004. Uusi Valmet WoodPac -paalain on rakennettu Valmet 860.1 -metsätraktorin kuormatilaan. Valmet WoodPac -paalaimessa hakkuutähteet tiivistetään kahdeksan pyörivän tiivistyssylinterin avulla. Uudella Valmet WoodPac -paalaimella voidaan tehdä noin 3,2 m pitkiä ja 70 cm paksuja paaleja. Paali sidotaan kuudesta kohtaa. Kesäkuussa 2004 käytössä oli yksi uusi Valmet WoodPac -paalain.

S. Pinomäki Ky esitteli Pika RS 2000 -paalaimen kesällä 2003. Pika RS 2000 -paalain on rakennettu Pika 828 Combi -korjurin kuormatilaan. Pika RS 2000 -paalaimella tehdään Timberjack-paalainten tavoin ”jatkuvaa” paalia. Pika RS 2000 -paalaimen syötössä käytetään kahta syöttötelaa, joilla paali myös tiivistetään. Vastaavasti Timberjack-paalainten syötössä käytetään syöttörullia, ja paali tiivistetään kahdella tiivistyselementillä. Valmet WoodPac -paalaimen tavoin Pika RS 2000 -paalain pystytään laittamaan jaloille odottamaan paalien metsäkuljetusta, mikäli se tehdään paalaimen peruskoneella. Kesäkuussa 2004 käytössä oli kolme Pika RS 2000 -paalainta.

Aikatutkimuksissa tutkittiin kahta Timberjack 1490D-, kahta Fiberpac 370-, yhtä Pika RS 2000- ja yhtä Valmet WoodPac -paalainta. Kaikkiaan aikatutkimuksissa oli kahdeksan eri paalainkuljettajaa, joista kolme oli mukana sekä kesällä että talvella tehdyissä aikatutkimuksissa.

Toisella Timberjack 1490D -paalaimella ei tehty aikatutkimuksia kuin kesällä (kuva 1). Tästä paalaimesta käytetään jatkossa myös nimeä paalain 1. Paalaimen 1 kuljettajalla oli runsaan puolen vuoden kokemus paalaustyöstä. Toisella Timberjack 1490D -paalaimella tehtiin aikatutkimuksia sekä kesällä että talvella (kuva 2). Tästä paalaimesta käytetään jatkossa myös nimeä paalain 2. Kesällä paalaimella 2 oli yksi kuljettaja ja talvella kaksi kuljettajaa. Kesällä ja talvella mukana olleella kuljettajalla oli puolen vuoden kokemus paalaustyöstä, ja vain talvella mukana olleella kuljettajalla oli vajaan puolen vuoden kokemus paalauksesta. Kummatkin tutkitut Timberjack 1490D -paalaimet olivat vuosimallia 2002.

Toisen tutkitun Fiberpac 370 -paalaimen (paalain 3) peruskoneena oli Timberjack 1810B -metsätraktori (kuva 3) ja toisen Fiberpac 370 -paalaimen (paalain 4) peruskoneena oli Timberjack 1210B -metsätraktori (kuva 4). Paalain 3 oli ensimmäinen sarjavalmisteinen Fiberpac 370 -paalain, joka tuotiin Suomeen käytettynä vuonna 2002. Paalain 4 oli toinen Suomessa vuoden 2000 alussa käyttöönotettu paalainyksikkö.

Kesällä ja talvella kummankin Fiberpac 370 -paalaimen kuljettajat olivat samoja. Paalaimen 3 kuljettajalla oli runsaan kolmen vuoden kokemus paalaustyöstä. Paalaimen 4 kuljettajalla oli muutaman kuukauden kokemus paalaustyöstä.

Tutkittu Pika RS 2000 -hakkuutähdepaalain oli ensimmäinen valmistettu Pika-paalain (kuva 5). Tästä paalaimesta käytetään jatkossa myös paalain 5 -nimitystä. Paalainta 5 käytti kesällä ja talvella eri kuljettajat. Kesällä paalaimen 5 kuljettajalla oli kolmen kuukauden kokemus paalaustyöstä. Talvella Pika RS 2000 -paalainta käytti kuljettaja, jolla oli parin kuukauden kokemus paalaustyöstä.

Valokuvat Metsäteho Oy

Kuva 1. Vain kesällä tehdyissä aikatutkimuksissa mukana ollut Timberjack 1490D -hakkuutähdepaalain (paalain 1).

Kuva 2. Sekä kesällä että talvella aikatutkimuksissa mukana ollut Timberjack 1490D -hakkuutähdepaalain (paalain 2).

Kuva 3. Fiberpac 370 -paalain, joka oli asennettu Timberjack 1810B -metsätraktorin kuormatilaan (paalain 3).

Kuva 4. Toinen aika- ja seurantatutkimuksissa mukana ollut Fiberpac 370 -paalain, joka oli asennettu Timberjack 1210B -metsätraktorin kuormatilaan (paalain 4).

Kuva 5. Pika RS 2000 -hakkuutähdepaalaimessa ohjaamo kääntyi ympäri ja säätyi automaattisesti pystyasentoon (paalain 5).

Kuva 6. Valmet WoodPac -hakkuutähdepaalaimen perus-koneena oli Valmet 860.1 -metsätraktori (paalain 7).

Tässä raportissa mainitaan myös paalain 6, joka ei ollut mukana paalauksen aikatutkimuksessa, mutta jolla tehtyjä paaleja kuljetettiin paalien metsäkuljetuksen aikatutkimuksessa. Paalain 6 oli Pika RS 2000 -paalain, jota oli kehitetty paalaimesta 5 (mm. paalaimen syöttöpöytää oli laajennettu ja paalainyksikön kokoa oli suurennettu).

Uutta Valmet WoodPac -paalainta tutkittiin keväällä 2004 (kuva 6). Valmet WoodPac -paalaimesta käytetään jatkossa myös nimitystä paalain 7. Paalaimen 7 hakkuutähdekouraan oli liitetty Cranab Forte S14 -kourasaha pitkien hakkuutähderunkojen katkontaa varten. Valmet WoodPac -paalaimen kuljettajalla oli paalauskokemusta parin vuoden ajalta, jolloin Valmet WoodPac -prototyyppipaalain oli ollut testikäytössä yrityksessä joitakin kesäkuukausia.

Paalien metsäkuljetus

Hakkuutähdepaalien metsäkuljetuksessa käytettiin vakiorakenteisia (kuvat 7 ja 8) sekä laajennetulla kuormatilalla varustettuja metsätraktoreita (kuvat 9 ja 10). Metsätraktoreiden kuormatilan laajennus oli tehty asentamalla kuormatilan päähän jatke, jossa oli yksi lisäkarikkapari. Osa keskiraskaista metsätraktoreista oli varustettu kuormatilan jatkeella; osassa oli vakiorakenteinen kuormatila. Kaikki tutkitut raskaat metsätraktorit oli varustettu laajennetulla kuormatilalla. Lisäksi paaleja kuljetettiin ajokoneella, jossa kuormatila oli kääntyvä, eli Pika 828 Combi -korjurilla (Pika RS 2000 -paalaimen peruskoneella) (kuvat 11 ja 12).

Osa metsätraktoreista oli varustettu hakkuutähdekouralla, ”piikkikouralla”. Muissa metsätraktoreissa oli tavallinen puutavarakoura. Taulukkoon 1 on kirjattu aikatutkimuskoealoittain käytetyt metsätraktorit sekä niissä ollut varustus.

Kuva 7. Vakiorakenteisen metsätraktorin kuormatilaan mahtuu vain yksi paalirivi. Kuvassa Timberjack 1110 -metsätraktorilla kuljetaan paaleja kesällä tehdyssä aikatutkimuksessa. Kuormassa 16 paalia.

Kuva 8. Paalien metsäkuljetusta talvella vakiorakenteisella Valmet 840-6 -metsätraktorilla. Kuormassa 12 paalia.

Kuva 9. Kuvan Valmet 840-8 -metsätraktorin kuormatila on laajennettu asentamalla yksi lisäkarikkapari kuormatilan päähän. Kuormassa 20 paalia.

Kuva 10. Laajennetulla kuormatilalla varustettu Timberjack 1410B -metsätraktori. Kuormassa 37 paalia.

Kuva 11. Pika RS 2000 -paalainyksikkö on asetettu jaloille paalien metsäkuljetuksen ajaksi.

Kuva 12. Pika RS 2000 -paalaimen peruskoneen, Pika 828 Combi -korjurin kuormatila on ympärikääntyvä. Kuormattuna-ajoajan paalit ovat poikittain kuormassa. Kuorman koko 22 paalia.

TAULUKKO 1 Paalien metsäkuljetuksen aikatutkimuksissa käytetyt metsätraktorit varusteluineen.

Koeala*)	Metsätraktorin merkki ja malli	Kuormatila (V = vakiorakenteinen L = laajennettu K = kääntyvä)	Koura (P = puutavarakoura H = hakkuutähde-koura)
111	Timberjack 1010B	L	P
112	Timberjack 1010B	L	P
121	Ponsse Buffalo	L	P
122	Ponsse Buffalo	L	H
123	Timberjack 1410B	L	H
124	Ponsse Buffalo	L	P
125	Ponsse Buffalo	L	P
131	Valmet 862	V	P
132	Timberjack 1110	V	P
133	Timberjack 1010B	V	P
134	Ponsse S15	L	P
135	Ösa 260	L	H
141	Ponsse Buffalo S16	L	P
142	Valmet 840-8	V	P
143	Ponsse Buffalo S16	L	P
146	Ponsse Buffalo S16	L	P
251	Valmet 840-6	V	H
252	Valmet 840-6	V	H
253	Valmet 840-6	V	H
254	Valmet 840-6	V	H
255	Valmet 840-6	V	H
261	Pika 828 Combi	K	H
371	Valmet 840-8	L	P
372	Valmet 840-8	L	P
373	Valmet 840-8	L	P

*) Koealan numerossa ensimmäinen numero osoittaa paalaimen merkkiä, jolla koeala on paalattu (1= Timberjack-paalain, 2=Pika-paalain, 3=WoodPac-paalain). Koealan toinen numero yksilöi paalaimen (1…7), ja kolmas numero osoittaa järjestystä, jossa paalauksen aikatutkimuksia kullakin paalaimella tehtiin.

Paalien metsäkuljetuksen aikatutkimuksessa oli kaikkiaan 15 eri kuljettajaa, joista kaksi osallistui sekä kesällä että talvella tehtyihin aikatutkimuksiin. Vain yhdellä kuljettajalla oli yli vuoden kokemus paalien metsäkuljetuksesta. Neljällä kuljettajalla oli kokemusta paalien metsäkuljetuksesta muutamien kuukausien ajalta. Jokunen kuljettaja oli kuljettanut paaleja aiemmin vain muutamasta leimikosta. Vaikkei paalien metsäkuljetustutkimukseen osallistuneilla kuljettajilla ollutkaan runsaasti kokemusta paalien metsäkuljetuksesta, olivat he hyvin kokeneita metsäkoneen kuljettajia, sillä kymmenellä kuljettajalla oli yli 20 vuoden kokemus ainespuun metsäkuljetuksesta.

2.2.2 Seurantatutkimus

Paalaus

Seurantatutkimuksessa oli mukana neljä Timberjack-paalainta. Paalaimet olivat samoja kuin aikatutkimuksessa olleet paalaimet (1–4) (kuvat 1–4). Tutkimukseen osallistuneista hakkuutähdepaalaimista Metsäliitto Osuuskunnalle urakoivat paalaimet 1 ja 2 sekä UPM-Kymmenen Oyj:lle paalaimet 3 ja 4. Hakkuutähdepaalaimet 1 ja 2 toimivat Etelä-Suomen alueella ja paalaimet 3 ja 4 Pohjanmaalla.

Hakkuutähteiden paalauksen seurantatutkimukseen osallistui kaikkiaan 12 eri kuljettajaa (taulukko 2). Paalainkuljettajilta 11, 21, 24, 31 ja 41 kerättiin myös aikatutkimusaineistoa. Kuljettajien kokemus paalaustyöstä vaihteli 3,5 vuodesta juuri aloittaneisiin. Kaikilla kuljettajilla oli aiempaa kokemusta muusta metsäkonetyöstä vähintään puolen vuoden ajalta. Useimmat kuljettajat olivat tehneet muita metsäkonetöitä jo usean vuoden ajan.

Kuljettajien työtapana oli kuormata hakkuutähteitä paalaimeen pääasiassa molemmilta puolilta paalainta silloin, kun hakkuutähteet oli hakattu kasoille molemmille puolille ajouraa. Hakkuutähteiden ollessa kasoilla tai karheilla yhdellä puolella ajouraa tehtiin kuormausta vain paalaimen syöttöpöydän puolelta.

TAULUKKO 2 Seurantatutkimuksessa mukana olleiden paalainkuljettajien paalauskokemus seurantatutkimuksen alussa.

Paalain	Kuljettaja	Paalauskokemus, kk
1	11	3
	12	5
2	21	3
	22	6
	23	3
	24	0
	25	0
3	31	42
4	41	2
	42	12
	43	42
	44	12

Paalien metsäkuljetus

Paalien metsäkuljetuksen seurantatutkimukseen valikoituivat ne metsätraktorit, jotka huolehtivat tutkimukseen valittujen hakkuutähdepaalainten (1–4) tekemien paalien metsäkuljetuksesta. Paalien metsäkuljetuksesta seuranta-aineistoa saatiin vain kolmen paalaimen paalaamista työmaista. Paalaimen 1 paalaamien kohteiden metsäkuljetuksesta ei saatu lainkaan aineistoa. Ketjun 1 (paalain 1 ja metsätraktori 11) yrittäjä luopui seurannasta jo alkuvaiheessa monien vaikeuksien vuoksi. Hän ei halunnut, että seurantatutkimus rasittaisi ja lisäisi entisestään kuljettajien työmäärää. Ketjussa 2 paalainyrittäjä vastasi myös paalien metsäkuljetuksesta. Ketjusta 2 seuranta-aineistoa saatiin kahdelta metsätraktorilta. Metsätraktori 21 oli paalainyrittäjän omistama ja metsätraktori 22 oli hänen aliurakoitsijansa kone (kuva 10). Molemmat ketjun 2 metsätraktorit oli varustettu laajennetulla kuormatilalla ja hakkuutähdekouralla (taulukko 3).

TAULUKKO 3 Paalien metsäkuljetuksen seurantatutkimuksessa mukana olleet metsätraktorit varusteluineen.

Ketju	Metsätraktori	Metsätraktorin merkki ja malli	Kuormatila (V = vakiorakenteinen L = laajennettu)	Koura (P = puutavarakoura H = hakkuutähdekoura)
2	21	Ponsse Buffalo	L	H
	22	Timberjack 1410B	L	H
3	31	Ponsse S15	L	P
4	41	Ponsse Buffalo S16	L	P
	42	Ponsse Bison S15	L	P

Paikalliset koneyrittäjät huolehtivat paalien metsäkuljetuksesta ketjuissa 3 ja 4. Ketjujen 3 ja 4 metsäkuljetuksen seuranta oli tarkoitus toteuttaa seurantalomakkeilla niillä yrittäjillä, jotka hoitivat paalien metsäkuljetuksen pääsääntöisesti. Yksittäisiä kohteita urakoivat yrittäjät ja metsätraktorit jätettiin seurannan ulkopuolelle. Ketjujen 3 ja 4 paalien metsäkuljetuksen seurantakoneiden valinta ja seurantalomakkeiden toimittaminen jäi paikallisten puunhankintaorganisaatioiden toimihenkilöiden vastuulle. Monien vaikeuksien vuoksi aineistoa saatiin ketjun 3 metsäkuljetuksesta vain yhdeltä metsätraktorilta ja ketjusta 4 vain kahdelta metsätraktorilta.

Kaikilla seurantatutkimuksessa mukana olleilla metsätraktoreilla tehtiin paalien metsäkuljetuksen lisäksi muutakin työtä: ainespuun, kantojen ja irtorisun metsäkuljetusta. Kaikilla metsätraktorikuljettajilla oli kokemusta ainespuun metsäkuljetuksesta. Paalien metsäkuljetuksesta muutamalla kuljettajalla oli kokemusta vain joiltakin työmailta.

2.3 Hakkuutähteiden kosteuden ja tuoretiheyden määritys

Paalattujen paalien päistä sahattiin näytepaloja hakkuutähteiden kosteuden määritystä varten. Kultakin koealalta otettiin kosteusnäytteitä yhteensä kaksi muoviämpärillistä (vajaa 20 dm^3). Koealalta otetut näytteet sekoitettiin (näyte-erän homogenisointi). Sekoitetusta näyte-erästä otettiin kolme noin 200 gramman koenäytettä. Koenäytteet punnittiin, minkä jälkeen ne laitettiin kuivauskaappiin 105° C:een 12 tunniksi.

Kuivauskaapista otetut koenäytteet punnittiin uudelleen. Kustakin kolmesta koenäytteestä määritettiin kosteusprosentti. Aikatutkimuskoealan hakkuutähteiden kosteusprosentti laskettiin kolmen koenäytteen keskiarvosta. Kunkin aikatutkimuskoealan hakkuutähteiden tuoretiheys laskettiin käyttäen Korpilahden (2001) esittämää kaavaa 1:

$$y = 397 + 9{,}4035x \qquad [1]$$

missä
y = hakkuutähteiden tuoretiheys, kg/m^3
x = hakkuutähteiden kosteus, %
$R^2 = 0{,}84$

2.4 Paalien koon ja energiatiheyden määritys

Paalauksen aikatutkimuksen yhteydessä paaleista mitattiin niiden läpimitta (paalin päästä) sekä pituus. Tavoitteena oli mitata vähintään joka toinen paali. Paalien dimensiot mitattiin 1 238 paalista, eli yli 60 % aikatutkimuksessa paalatusta paalista. Paaleille, joiden dimensioita ei mitattu, käytettiin aikatutkimuskoealan keskimääräisen paalin kehystilavuutta.

Paalien metsäkuljetuksen aikatutkimuksessa kuljetetut paalikuormat punnittiin ennen kuorman purkamista Evocar-2000-pyöräpainovaaoilla. Lisäksi punnittiin tyhjä metsätraktori. Näin saatiin määritettyä kunkin paalikuorman paino. Kun tiedettiin paalien lukumäärä kuormassa ja paalikuorman paino, voitiin määrittää kuormassa olleiden paalien keskimääräinen paino.

Kahdella paalausaikatutkimuskoealalla ei tutkittu paalien metsäkuljetusta. Näistä toisen koealan (koeala 144) paalien paino määritettiin, kun kuormaauto paaleineen punnittiin paalien käyttöpaikalla. Toisen koealan (koeala 145) sekä kahden muun (124 ja 251) koealan, joissa paalien punnitus ei onnistunut (124: varastotie hyvin jäinen; 251: pyöräpainovaakoja ei ollut käytettävissä), paalien keskipaino määritettiin laskennallisesti kaavalla 2:

$$y = -40{,}8058 + 372{,}9928x_1 - 9{,}9749x_2 + 0{,}2064x_2^2 \qquad [2]$$

missä
y = paalin massa, kg
x_1 = paalin kehystilavuus, m^3
x_2 = hakkuutähteiden kosteus, %
$R^2 = 0{,}69$

Mitatuille paaleille paino määritettiin kaavalla 2. Niille paaleille, joista ei mitattu dimensioita, käytettiin joko Evocar-2000-pyöräpainovaakapunnituksista tai kaavalla 2 saatua koealan keskimääräisen paalin painoa (koealat 124, 144, 145 ja 251).

Paalin tilavuus (m^3) saatiin jakamalla paalin paino tuoretiheydellä. Paalin tilavuusprosentti saatiin jakamalla paalin tilavuus sen kehystilavuudella. Energiatiheys laskettiin kunkin aikatutkimuskoealan paaleille kaavalla 3 (Korpilahti 2001):

$$y = 3{,}1391 - 0{,}0232x \qquad [3]$$

missä
y = paalin energiatiheys, MWh/m^3
x = hakkuutähteiden kosteus, %
$R^2 = 0{,}88$

Paalien energiasisältö (MWh/paali) laskettiin kertomalla paalin energiatiheys paalin tilavuudella.

2.5 Työmaat

2.5.1 Aikatutkimus

Paalaus

Paalausta tutkittiin kaikkiaan 26 aikatutkimuskoealalla. Kesällä paalausta tutkittiin 11 ja talvella 12 koealalla. Kesällä aikatutkimukset tehtiin kesäsyyskuussa 2003. Talvella tehdyt aikatutkimukset tehtiin tammi-maaliskuussa 2004. Lisäksi keväällä (huhtikuussa) 2004 tutkittiin uutta Valmet WoodPac -paalainta kolmella koealalla. Keväällä kerätty aikatutkimusaineisto pidettiin erillään talviaikatutkimusaineistosta, koska keväällä ei ollut pakkasta ja lisäksi luntakaan ei ollut maassa enää kuin paikoin. Timberjack-paalaimia tutkittiin yhteensä 18 ja Pika RS 2000 -paalainta viidellä koealalla.

Kaikkiaan paaleja tehtiin paalauksen aikatutkimuksessa 1 971 kappaletta. Keskimäärin aikatutkimuskoealalta paalattiin runsaat 70 paalia. Kesällä paalattiin 731 ja talvella 1 031 paalia. Timberjack-paalaimilla paalattiin yli 70 % koko paalausaineistosta. Pika RS 2000- ja Valmet WoodPac -paalainten aineistot jäivät huomattavasti pienemmiksi (Pika: 352 ja WoodPac: 209 paalia). Liitteessä 4 on kuvattu aikatutkimuskoealoittain paalattujen paalien määrä.

Taulukossa 4 on esitetty keskimääräiset korjuuolot koko aineistossa sekä erikseen kesä- ja talviaineistoissa ja eri paalaimilla tehdyillä koealoilla. Liitteeseen 4 on kirjattu kaikkien paalausaikatutkimuskoealojen korjuuolot. Talvella paalauksen aikatutkimuksissa pakkasta oli -2 – -15 ^{o}C. Lunta paalauskoealoilla hakkuutähdekasojen ja -karheiden päällä oli keskimäärin 6 cm. Maassa lunta oli usein enemmänkin, mutta kasojen tai karheiden päällä ollut lumen määrä arvioitiin ja kirjattiin, koska sillä oletettiin olevan suurempi vaikutus paalaustyöhön kuin lumivaipan paksuudella maassa.

Paalausaikatutkimuskoealojen keskikoko oli 0,6 ha. Koealan pinta-ala mitattiin Etrex Summit -gps-paikannuslaitteella. Leimikoiden keskikoko, joissa aikatutkimuskoealat olivat, oli 5,2 ha. Aikatutkimuskoealat sijoittuivat satunnaisesti tutkimusleimikoihin sinne, missä paalain sattui työskentelemään aikatutkimuksia tehtäessä. Valtaosin aikatutkimuskoealojen korjuuolosuhteet kuvasivat hyvin koko tutkimusleimikon korjuuoloja.

Ainespuuta aikatutkimuskoealoilta oli korjattu keskimäärin 227 m^3/ha. Neljältä aikatutkimuskoealalta ainespuuta oli korjattu alle 150 m^3/ha. Vastaavasti kuudelta koealalta oli korjattu ainespuuta yli 300 m^3/ha. Pohjanmaalla Fiberpac 370 -paalaimilla paalatuilta koealoilta (131–146) ainespuuta oli tavallisesti korjattu alle 200 m^3/ha.

Valtaosin aikatutkimuskoealat olivat kuusikoita: hakatusta ainespuukertymästä keskimäärin 71 % oli kuusta. Yhdellä aikatutkimuskoealalla mänty oli pääpuulaji ja yhdellä koealalla koivu. Korjatusta ainespuukertymästä männyn osuus oli keskimäärin 18 % ja lehtipuun osuus 11 %.

TAULUKKO 4 Korjuuolot koko paalauksen aikatutkimusaineistossa sekä kesä- ja talviaineistoissa ja eri paalaimilla tehdyillä koealoilla.

Korjuuolosuhdetekijä	Koko aineisto (n=26)	Kesä (n=11)	Talvi (n=12)	Timberjack-paalaimet (n=18)	Pika RS 2000 -paalain (n=5)	Valmet WoodPac -paalain (n=3)
Lämpötila talvella, °C	-	-	-8	-7	-15	-
Lunta kasojen/karheiden päällä, cm	-	-	6	5	10	-
Koealan pinta-ala, ha	0,59	0,58	0,58	0,61	0,45	0,72
Ainespuun hakkuukertymä, m^3/ha,	227	204	235	205	275	279
josta (%):						
- kuusta	71	77	63	68	75	89
- mäntyä	18	15	24	20	19	4
- lehtipuuta	11	8	13	12	6	7
Keskijäreys, dm^3	396	399	386	362	496	422
Hakkuutähteet, %						
- kasoissa	80	91	66	72	100	100
- karheilla	12	9	17	17		
- kasoissa ja karheilla	8		17	11		
Kasojen/karheiden sijoittelu, %						
- yhdellä puolella ajouraa	23	27	25	22	40	
- molemmilla puolilla	77	73	75	78	60	100
Kasojen/karheiden kunto, %						
- hyvä	62	55	75	77	20	33
- keskimääräinen	31	36	17	17	60	67
- huono	7	9	8	6	20	
Hakkuutähteet palstalla ennen paalausta, pv	74	89	58	69	81	96
Hakkuutähteiden kosteus, %	43	35	53	45	40	39
Hakkuutähteiden tuoreus, %						
- vihreä	77	45	100	83	40	100
- ruskea	23	55		17	60	
Alikasvosta, %						
- vähän	88	100	92	94	100	33
- runsaasti	12		8	6		67
Maasto, %						
- normaali	92	100	100	100	100	33
- vaikea	8					67

Poistuman keskijäreys paalauskoealoilla oli 396 dm^3. Vaihtelu oli suurta: 117–721 dm^3. Pika RS 2000 -paalaimella paalatut koealat olivat keskimääräistä järeämpiä. Pohjanmaalla Fiberpac 370 -paalaimilla tehdyt koealat olivat keskijäreydeltään valtaosin alle 300 dm^3.

Pääosin hakkuutähteet oli hakattu kasoille, ja yleisimmin molemmille puolille ajouraa. Kun hakkuutähteet oli hakattu karheille, ne sijaitsivat vain toisella puolella ajouraa. Kahdella koealalla hakkuutähteet oli hakattu sekä kasoille että karheille.

Paalainkuljettajia pyydettiin luokittelemaan hakkuutähdekasat ja -karheet niiden kunnon mukaan hyviin, keskimääräisiin tai huonoihin. Hyväkuntoisilla kasoilla ja karheilla tarkoitettiin, ettei kasojen tai karheiden päältä oltu ajettu ainespuun metsäkuljetuksessa ja että latvat olivat samansuuntaisesti kasoissa ja karheissa (kuvat 13 ja 14). Keskimääräisillä kasoilla ja karheilla ymmärrettiin, että pääosa kasoista ja karheista oli hyviä, mutta osa myös huonoja. Huonokuntoisilla kasoilla ja karheilla tarkoitettiin, että kasojen ja karheiden päältä oli ajettu ja/tai latvat olivat ristikkäin ja sekaisin kasoissa ja karheissa.

Kuva 13. Hakkuutähteet on hakattu oikeaoppisesti kasoille: latvat ovat samansuuntaisesti kasoissa.

Kuva 14. Leimikossa hakkuutähteet on hakattu hyviin isoihin kasoihin. Tällöin lumi ei peitä niitä helposti.

Paalainkuljettajien mukaan yli puolessa työmaista kasat ja karheet olivat hyväkuntoisia. Kasoista ja karheista vajaa kolmannes oli keskimääräisiä ja vajaa kymmenesosa huonokuntoisia. Pika RS 2000- ja Valmet WoodPac -paalaimilla paalatut koealat olivat selvästi huonokuntoisempia kuin Timberjack-paalaimilla paalatut koealat. Hakkuutähteet olivat olleet kasoissa ja karheilla koealoilla ennen paalauksen aikatutkimusta keskimäärin 2,5 kuukautta. Runsas viikko oli lyhin aika, jonka hakkuutähteet olivat olleet palstalla ennen paalausta. Vastaavasti yhdellä koealalla hakkuutähteet olivat olleet 10 kuukautta. Tällöin hakkuutähteiden kosteus oli laskenut alle 30 %:n. Talvella paalatut hakkuutähteet olivat olleet keskimäärin noin kuukauden vähemmän palstalla kuin kesällä paalatut hakkuutähteet.

Paalattujen hakkuutähteiden kosteusprosentti oli keskimäärin 43 % vaihteluvälin ollessa 26–63 %. Kesällä paalattujen hakkuutähteiden kosteusprosentti oli keskimäärin 35 % ja talvella 53 %. Aikatutkimuksissa paalatut hakkuutähteet jaoteltiin vihreisiin ja ruskeisiin. Ruskeiksi hakkuutähteet luokiteltiin, kun hakkuutähteet olivat kuivahtaneet jo melko kuiviksi ja lisäksi valtaosa neulasista oli varissut oksista. Kesällä paalatut hakkuutähteet olivat pääosin ruskeita. Vastaavasti kaikki talvella paalatut hakkuutähteet olivat vihreitä.

Vain kolmella koealalla oli runsaasti alikasvosta. Valtaosin paalauksen aikatutkimuskoealat olivat maastoltaan helppoja, normaaleita, vaikkakin maasto saattoi olla paikoin upottavaa tai mäkistä. Maasto luokiteltiin vain kahdella aikatutkimuskoealalla vaikeaksi. Maasto oli tällöin mäkistä.

Paalien metsäkuljetus

Paalien metsäkuljetuksen aikatutkimuksessa paaleja kuljetettiin 25 koealalta. Kahta paalauskoealaa (144 ja 145) lukuun ottamatta kaikilla paalauskoealoilla tutkittiin paalien metsäkuljetusta. Lisäksi kuljetettiin paaleja Pika RS 2000 -paalaimella (paalain 6) paalatulta koealalta (261), jolla ei tutkittu paalauksen ajanmenekkiä.

Yhdeksällä koealalla paalit kuljetettiin palstalta tienvarteen saman tai seuraavan päivän aikana paalauksesta. Toisaalta yhdeksällä koealalla paalit olivat yli viikon ennen niiden metsäkuljetusta. Kaikkiaan kuljetettiin 100 paalikuormaa, joissa oli yhteensä 1 797 paalia. Kesällä kuljetettiin 708 ja talvella 921 paalia. Keväällä kuljetettiin 168 Valmet WoodPac -paalaimella tehtyä paalia.

Vakiorakenteisilla metsätraktoreilla kuljetettiin 45 kuormaa ja 561 paalia. Laajennetulla kuormatilalla varustetuilla metsätraktoreilla kuljetettiin 52 paalikuormaa ja 1 169 paalia. Kääntyvällä kuormatilalla varustetulla Pika 828 Combi -korjurilla kuljetettiin kolme paalikuormaa, yhteensä 67 paalia.

Paalikuormista pyrittiin tekemään täysiä. Täten kaikilta paalauskoealoilta ei kuljetettu kaikkia paalauksen aikatutkimuksessa tehtyjä paaleja, vaan jokunen paali jäi koealalle. Toisaalta muutamalta koealalta kuljettiin enemmän paaleja kuin mitä paalauksen aikatutkimuksessa tehtiin, koska haluttiin saada vielä yksi täysi paalikuorma. Vain yhtä paalikuormaa lukuun ottamatta kuljetetut paalikuormat olivat täysiä. Tätä yhtä paalikuormaa, samoin kuin neljää paalikuormaa, joihin ei saatu mahtumaan kahta paaliriviä peräkkäin (metsätraktorin kuormatila laajennettu, mutta kuormatilan jatke liian lyhyt), ei käytetty määritettäessä keskimääräisiä paalikuormien kokoja ja mallinnettaessa paalien metsäkuljetuksen ajanmenekkiä.

Metsäkuljetusmatka paalien metsäkuljetustutkimuksessa oli keskimäärin 299 m vaihteluvälin ollessa 112–709 m (liite 4). Hakkuutähdepaalien ajouranvarsitiheys oli koealoilla keskimäärin 15,4 m^3 / 100 m.

2.5.2 Seurantatutkimus

Paalaus

Työmaatiedot saatiin kaikkiaan 348 paalausleimikosta. Muutaman seurantatutkimustyömaan tiedot jäivät avoimiksi puuttuvien tai epäselvien tunnistetietojen vuoksi. Lisäksi muutamasta kohteesta ei ollut mahdollista saada kaikkia työmaatietoja. Muutamalta paalaimelta leimikkotietoja saatiin myös kohteista, joista ei saatu ajanmenekkitietoja.

Seurantaan osuneiden työmaiden kokonaispinta-ala oli yhteensä 1 364 ha. Kuudesta työmaasta ei saatu pinta-alatietoja. Työmaiden kokonaispinta-ala oli 230 ha paalaimella 1, 334 ha paalaimella 2, 295 ha paalaimella 3 ja 505 ha paalaimella 4. Työmaan keskikoko oli 4,0 ha (taulukko 5). Paalattujen leimikoiden ainespuun hakkuukertymä oli keskimäärin 877 m^3. Paalaimittain leimikoiden ainespuun hakkuukertymä oli keskimäärin 669–1 183 m^3. Kaikkien seurantatutkimustyömaiden ainespuun hakkuukertymä oli keskimäärin 222 m^3/ha. Etelä-Suomen paalaustyömailla hakkuukertymä oli keskimäärin 274 m^3/ha ja Pohjanmaalla 190 m^3/ha.

Paalaustyömaat olivat pääasiassa kuusivaltaisia päätehakkuuleimikoita. Kuusen osuus ainespuun hakkuukertymästä oli keskimäärin 68 %. Etelä-Suomessa toimineilla paalaimilla kuusen osuus hakkuukertymästä oli suurempi kuin Pohjanmaalla toimineilla paalaimilla. Työmaiden keskijäreys oli Etelä-Suomen kohteilla 576 dm^3 ja Pohjanmaan kohteilla 274 dm^3.

TAULUKKO 5 Korjuuolot seurantatutkimustyömailla.

Korjuuolosuhdetekijä	Koko aineisto	Paalain				Etelä-Suomi	Pohjanmaa
		1	2	3	4		
Leimikon pinta-ala, ha	4,0	4,5	4,2	3,7	3,9	4,3	3,8
Ainespuun hakkuukertymä, m^3/ha,	222	265	280	198	185	274	190
josta (%):							
- kuusta	68	81	84	60	57	84	58
- mäntyä	23	16	12	29	29	13	29
- lehtipuuta	9	3	4	11	14	3	13
Keskijäreys, dm^3	396	558	588	247	287	576	274
Hakkuutähteet, %							
- kasoissa	59	100	96	88	21	96	42
- karheilla	23		2	12	41	2	32
- kasoissa ja karheilla	18		2		38	2	26
Hakkuutähteet kasoissa pääsääntöisesti, %							
- yhdellä puolella ajouraa	-	X	X			X	
- molemmilla puolilla	-	X	X	X	X	X	X
Kasojen/karheiden kunto, %							
- hyvä	53	65	39	50	61	43	58
- keskimääräinen	36	21	44	39	32	41	34
- huono	11	14	17	11	7	16	8
Hakkuutähteet palstalla ennen paalausta, pv	75	45	50	68	97	49	87
Hakkuutähteiden tuoreus, %							
- vihreä	77	86	81	84	72	82	76
- ruskea	23	14	19	16	28	18	24
Alikasvosta, %							
- vähän	75	71	75	74	75	74	75
- runsaasti	25	29	25	26	25	26	25
Maasto, %							
- normaali	85	93	83	86	84	85	85
- vaikea	15	7	17	14	16	15	15

Hakkuutähdepaalainten kuljettajat luokittelivat työmaat kasojen ja karheiden muodon ja kunnon ja alikasvoksen sekä maaston suhteen. Luokittelussa käytettiin samaa luokitusta kuin aikatutkimuksessa. Työmaiden luokittelu korjuuoloittain saatiin noin 300 työmaasta. Kaikista seurantatyömaista noin 60 %:ssa hakkuutähteet oli hakattu kasoille. Vajaassa neljäsosassa kaikista työmaista hakkuutähteet olivat karheilla. Lopuissa kohteissa hakkuutähteet oli hakattu sekä kasoille että karheille samalla työmaalla. Paalainten 3 ja 4 työmailla hakkuutähteet oli hakattu pääasiassa kasoille molemmin puolin ajouraa. Paalaimilla 1 ja 2 paalatut hakkuutähteet oli hakattu pääosin kasoille sekä yhdelle että kahdelle puolelle ajouraa. Hakkuutähdemuodostelmien kunto oli hyvä joka toisella työmaalla. Vastaavasti hakkuutähdemuodostelmat olivat huonokuntoisia noin joka kymmenennellä työmaalla.

Hakkuutähteen tuoreus määritettiin leimikon hakkuu- ja paalausajankohdan perusteella. Tämän projektin aikatutkimustietojen sekä Hillebrandin ja Nurmen (2001) hakkuutähteiden kuivumisesta tekemien tutkimusten perusteella määritettiin ehdot hakkuutähteen tuoreudelle: hakkuutähteet määritettiin kuivaksi eli ruskeaksi, jos hakkuun ja paalauksen ero oli yli 45 päivää, hakkuu oli tehty ennen 1.8.2003 ja paalaus oli tehty 1.6.2003 jälkeen. Näiden määritysten perusteella 23 %:ssa työmaista hakkuutähteet olivat ruskeita niitä paalattaessa.

Seurantalomakkeella alikasvoksesta kerättävänä tietona oli sen määräarvio, jolle oli annettu vaihtoehdot: vähän tai runsaasti. Kuljettajat merkitsivät alikasvoksen määräksi runsaasti silloin, kun se haittasi työskentelyä. Paalaustyötä haittaavaa alikasvosta esiintyi joka neljännellä työmaalla. Hakkuussa

alikasvos oli taittunut useasti hakkuutähdekasojen ja -karheiden alle. Alikasvos haittasi paalaustyötä, kun alikasvospuut nousivat hakkuutähteen mukana juurineen paalaimeen. Tämä aiheutti teräketjun tylsymistä. Tylsymisen ehkäisemiseksi oli juurineen mukaan nousseet alikasvospuut poistettava hakkuutähteen seasta ennen paalauksen jatkamista. Lisäksi alikasvos lisäsi riskiä letkurikkojen syntyyn sekä aiheutti paalainyksikön turhaa kääntelyä alikasvospuiden väistämiseksi.

Paalien metsäkuljetus

Paalien metsäkuljetuksen seurantatutkimustyömaina olivat periaatteessa samat työmaat kuin paalauksen seurantatutkimuksessa. Paalien metsäkuljetuksessa aineistoa saatiin vain 76 työmaasta. Tieto työmaaolosuhteista saatiin 58 työmaasta. Metsätraktoreista 31 ja 41 ei saatu lainkaan tietoa työmaiden korjuuoloista epäselvien ja puuttuvien työmaan tunnistetietojen vuoksi. Metsäkuljetusmatkoista tiedot saatiin vain 48 työmaalta.

Työmaiden keskikoko oli 4,6 ha. Metsäkuljetusmatka oli keskimäärin 230 m. Metsätraktoreittain keskimääräinen metsäkuljetusmatka vaihteli 134:stä 246 m:iin. Työmaittain metsäkuljetusmatka oli 50–850 m. Paaleja metsäkuljetustyömailta kertyi keskimäärin 86 kpl/ha. Metsätraktoreittain leimikoiden paalikertymä oli keskimäärin 80–91 paalia/ha. Seurantatutkimuskohteilla metsäkuljetus aloitettiin keskimäärin 11 päivää paalauksen loppumisen jälkeen.

Paalauksen seuranta-aineisto

Seuranta-aineiston hankinta aloitettiin huhti-toukokuun vaihteessa 2003. Alun perin tarkoituksena oli jatkaa seurantaa noin kuuden kuukauden ajan, mutta lokakuun alussa 2003 päätettiin jatkaa seurantaa myös talvikaudelle, aina vuoden 2004 helmikuun loppuun saakka.

Paalaimesta 1 aineistoa kertyi vain parin kuukauden ajanjaksolta yrittäjän luopuessa seurannasta monien vaikeuksien vuoksi. Paalaimilta 2–4 aineistoa saatiin 7–10 kuukauden ajanjaksoilta. Paalainten seuranta-ajat sekä tehtyjen työmaiden ja paalien määrät on esitetty taulukossa 6. Seurantatutkimuksessa paalattiin runsaat 97 000.

TAULUKKO 6 Hakkuutähteiden paalauksen seurantatutkimusaineisto.

Paalain	Seuranta-aika	Seurannan kesto, pv	Työmaita, kpl	Paalattuja paaleja, kpl
1	5.5.2003 – 8.7.2003	64	14	3 202
2	8.5.2003 – 2.3.2004	299	85	32 015
3	29.4.2003 – 3.12.2003	218	65	18 326
4	8.5.2003 – 1.3.2004	298	143	43 748
Yhteensä		879	307	97 291

Paalien metsäkuljetuksen seuranta-aineisto

Hakkuutähdepaalien metsäkuljetuksesta seuranta-aineistoa saatiin viidestä metsätraktorista. Metsäkuljetusaineiston hankinta ei onnistunut suunnitellulla tavalla useista eri syistä johtuen. Paalien metsäkuljetustietoja saatiin vain 25 % työmaista verrattuna paalauksen seurantatutkimusaineistoon. Eri metsätraktoreiden seuranta-ajat sekä tehtyjen työmaiden ja kuljetettujen paalikuormien määrät on esitetty taulukossa 7.

TAULUKKO 7 Hakkuutähdepaalien metsäkuljetuksen seuranta-aineisto.

Metsätraktori	Seuranta-aika	Seurannan kesto, pv	Työmaita, kpl	Kuormia, kpl
21	12.5.2003 – 7.8.2003	87	19	257
22	2.9.2003 – 5.11.2003	64	18	217
31	4.12.2003 – 16.12.2003	12	4	43
41	11.6.2003 – 17.6.2003	6	4	152
42	28.11.2003 – 25.2.2004	89	31	725
Yhteensä		258	76	1 394

Polttoaineen kulutuksen seuranta-aineisto

Hakkuutähdepaalainten polttoaineenkulutuksesta kerättiin tietoa muun seuranta-aineiston yhteydessä. Tietoja polttoaineenkulutuksesta saatiin kolmesta hakkuutähdepaalaimesta (paalaimet 2–4) ja yhdestä metsätraktorista (metsätraktori 21). Polttoaineenkulutustietoa ei saatu kaikilta seurantaan osuneilta työmailta, koska aina ei ollut mahdollista tankata koneita ennen seuraavan leimikon aloitusta. Kaikkiaan tieto polttoaineen kulutuksesta saatiin paalauksesta 211 työmaasta ja paalien metsäkuljetuksesta 17 työmaasta.

2.6 Kustannuslaskenta

Paalaimet

Käyttötuntikustannuslaskelmat paalaimille tehtiin käyttäen seuraavia laskentaperusteita: Timberjack-pohjaisten (Fiberpac 370 ja Timberjack 1490D) paalainten hankintahintana käytettiin 406 500 € (alv. 0 %), Pika RS 2000 -paalaimen hankintahintana 360 000 € (alv. 0 %) ja Valmet WoodPac -paalaimen hintana 393 400 € (alv. 0 %). Alustakoneiden (Timberjack 1410D, Pika 828 Combi ja Valmet 860.1) pitoaikana käytettiin 6,5 vuotta ja paalainyksikön pitoaikana 5 vuotta. Korkoprosentti oli 4,2 %.

Vuotuisena käyttötuntimääränä laskelmissa käytettiin kaikilla paalaimilla 2 650 tuntia. Timberjack-paalainten keskimääräisenä käyttötuntituottavuutena käytettiin laskelmissa 18,1 paalia/h (vrt. s. 59). Pika RS 2000 -paalaimen keskimääräinen käyttötuntituottavuus laskelmissa oli 17 paalia/h, ja Valmet WoodPac -paalaimen tuottavuus oli 15 paalia/käyttötunti (vrt. s. 53). Valmet WoodPac -paalaimen tuottavuutena käytettiin jonkin verran korkeampaa tuottavuutta kuin mitä tässä tutkimuksessa saatiin. Näin siksi, että kyseinen paalain oli ollut käytössä vain vajaan kuukauden tehtäessä aikatutkimuksia, ja lisäksi kuljettaja haki vielä tehokkaampia työskentelytapoja.

Paalien keskikokona käytettiin Timberjack-paalaimilla 0,55 m^3 ja Pika RS 2000- ja Valmet WoodPac -paalaimilla 0,45 m^3. Paalainten vuosisuoritteet on esitetty taulukossa 8. Paalausleimikoiden keskikoko oli 4,0 ha, ja leimikosta oletettiin kertyvän hakkuutähdettä 215 m^3. Keskimääräinen siirtomatka laskelmissa oli 25 km. Siirtokustannukset olivat 1,91 €/km.

TAULUKKO 8 Paalainten vuosisuoritteet käytetyillä laskentaperusteilla.

Paalausmäärä	Timberjack-paalaimet	Pika RS 2000 -paalain	Valmet WoodPac -paalain
- paalia/v	48 164	45 044	39 744
- m^3/v	26 490	20 270	17 885

Paalainkuljettajan palkkana käytettiin 10,18 €/h, palkan sivukuluina 65,2 % ja korvattavien työmatkojen määränä 21 150 km/v. Paalainten polttoaineen kulutuksena käytettiin 13,5 l/käyttötunti. Laippa-, teräketju- ja -öljykustannusten oletettiin olevan Timberjack- ja Pika RS 2000 -paalaimilla 2,9 €/käyttötunti. Korjaus- ja huoltokulujen arvioitiin olevan 9,1 €/käyttötunti Timberjack- ja Pika RS 2000 -paalaimilla ja 8,1 €/käyttötunti Valmet WoodPac -paalaimella sekä vakuutusmaksujen 2 289 €/v sekä hallinto- ja ylläpitokulujen 6 385 €/v.

Paalien sidontanaruna pyritään käyttämään aina kun mahdollista muovinarua, joka on huomattavasti edullisempaa kuin sisal-naru. Muovinarun kulutus on noin 40 paalia/narurulla. Narua myydään kahden rullan paketeissa. Yhdessä paketissa on 3,6 km narua. Muovinarupaketin hinta on 14,40 € (alv. 0 %). Kustannuslaskelmat tehtiin olettaen, että paalit sidotaan sisal-narulla. Sisal-narun kulutuksena käytettiin 25 paalia/rulla. Sisal-narupaketin hinta on 20,50 € (alv. 0 %). Täten paalinarukustannus oli laskelmissa 0,41 €/paali.

Edellä esitetyillä lähtöarvoilla laskien Timberjack-paalainten käyttötuntikustannukset olivat 85 €/h, Pika RS 2000 -paalaimen käyttötuntikustannukset 80 €/h ja Valmet WoodPac -paalaimen kustannukset 78 €/käyttötunti.

Metsätraktorit

Paaleja kuljettavien metsätraktoreiden käyttötuntikustannukset laskettiin käyttäen seuraavia lähtöarvoja: vakiorakenteisen keskiraskaan metsätraktorin hankintahintana käytettiin 194 000 € (alv. 0 %) ja raskaan metsätraktorin hankintahintana 241 000 € (alv. 0 %). Kuormatilan laajentamisen (kuormatilan jatke) lisäkustannuksena käytettiin 4 000 € (alv. 0 %). Metsätraktoreiden pitoaikana käytettiin 6,0 vuotta. Korkoprosentti oli 4,2 %.

Vuotuisena käyttötuntimääränä laskelmissa käytettiin 2 650 tuntia. Vakiorakenteisen sekä keskiraskaan että raskaan metsätraktorin keskimääräisenä käyttötuntituottavuutena käytettiin 16,6 m^3/h (12 paalia/kuorma). Laajennetulla kuormatilalla varustetun keskiraskaan metsätraktorin keskimääräisenä tuottavuutena käytettiin 20,6 m^3/käyttötunti (19 paalia/kuorma) ja raskaan metsätraktorin käyttötuntituottavuutena 26,0 m^3/h (25 paalia/kuorma).

Metsätraktorin kuljettajan palkkakustannukset olivat samat kuin paalainkuljettajan. Keskiraskaalla metsätraktorilla polttoaineen kulutuksena käytettiin 10 l/käyttötunti, kun kuormatila oli vakiorakenteinen, ja kun kuormatila oli laajennettu, 11 l/käyttötunti. Raskaalla metsätraktorilla vastaavat polttoaineen kulutusarvot olivat 12 ja 13 l/käyttötunti.

Vakiorakenteisten metsätraktoreiden korjaus- ja huoltokustannukset olivat laskelmissa 6,5 €/käyttötunti ja laajennetulla kuormatilalla varustetuilla metsätraktoreilla 7,5 €/h. Kuljetettaessa paaleja metsätraktorilla, jossa on laajennettu kuormatila, paalikuorma on hyvin takapainoinen. Laajennetulla kuormatilalla varustetun metsätraktorin suuremmilla korjaus- ja huoltokustannuksilla pyrittiin ottamaan huomioon takapainoisen kuorman aiheuttama rasitus traktorin takatelille. Vakuutusmaksut olivat 1 525 €/v ja hallinto- ja ylläpitokustannukset 4 256 €/v.

Käytetyillä lähtöarvoilla laskien vakiorakenteisen keskiraskaan metsätraktorin käyttötuntikustannukset olivat 56 €/h ja vakiorakenteisen raskaan metsätraktorin kustannukset 59 €/käyttötunti. Kuormatilaltaan laajennetun keskiraskaan metsätraktorin käyttötuntikustannukset olivat 60 €/h ja kuormatilaltaan laajennetun raskaan metsätraktorin kustannukset 64 €/käyttötunti.

Tuotantoketjujen kustannusvertailut

Hakkuutähdehakkeen tuotantoketjujen kustannustarkastelussa vertailtiin paalaus-, tienvarsihaketus- ja irtorisu-tuotantoketjuja. Metsäkuljetusmatkan oletettiin olevan 250 m ja kaukokuljetusmatkan 80 km. Peruslaskelman lisäksi laskettiin myös tuotantokustannukset, kun kaukokuljetusmatka oli 40 km. Taulukkoon 9 on kirjattu tuotantoketjujen kustannuslaskelmissa käytetyt käyttötunnit, -tuottavuudet ja -kustannukset sekä tuotantokustannukset kullakin koneella ja laitteella. Hakkuutähteiden kasoille tai karheille hakkuun kustannuksena käytettiin 1,0 €/m^3. Korjuuketjujen yleiskustannukset olivat laskelmissa 1,5 €/m^3.

Irtonaisten hakkuutähteiden metsäkuljetuksessa kuormakoko oli 7,2 m^3. Kun hakkuutähdepaaleja kuljetettiin kuormatilaltaan laajennetulla metsätraktorilla, kuormakoko oli 12,5 m^3. Laskelmissa kaukokuljetuksen kuormakoot olivat hakkuutähdehakkeella 42 m^3, irtonaisella hakkuutähteellä 28,5 m^3 ja hakkuutähdepaaleilla 39,5 m^3.

TAULUKKO 9 Hakkuutähdehakkeen tuotantoketjujen kustannustarkasteluissa käytetyt käyttötuntimäärät, -tuottavuudet ja -kustannukset sekä tuotantokustannukset. Metsäkuljetusmatka 250 m ja kaukokuljetusmatka 80 km.

Kone/laite	Käyttötunnit, h/v	Käyttötuntituottavuus, m^3/h	Käyttötuntikustannukset, €/h	Tuotantokustannukset, €/m^3
Paalain	2 650	10,0	85	8,5
Metsätraktori (hakkuutähteiden metsäkuljetus)	2 650	9,8	59	6,0
Metsätraktori (hakkuutähdepaalien metsäkuljetus)	2 650	26,0	64	2,5
Välivarastohakkuri	1 875	24,0	125	5,2
Hakkuutähdehakerekka	3 500	-	56	7,1
Hakkuutähderekka	3 500	-	63	9,5
Puutavara-auto (hakkuutähdepaalien kaukokuljetus)	3 500	-	63	6,4
Käyttöpaikkamurskain (hakkuutähteet)	2 273	80,0	151	1,9
Käyttöpaikkamurskain (hakkuutähdepaalit)	2 273	110,0	155	1,4

2.7 Ajanjaottelu

Aika- ja seurantatutkimuksissa esitetyt työaikojen määritykset perustuvat yhteispohjoismaiseen metsätyöntutkimuksen käsitteistö- ja termisuositukseen (Haarlaa ym. 1984). Määritykset ja ajanjaottelut on esitetty liitteessä 5.

3 TULOKSET

3.1 Paalien ominaisuudet

3.1.1 Aikatutkimus

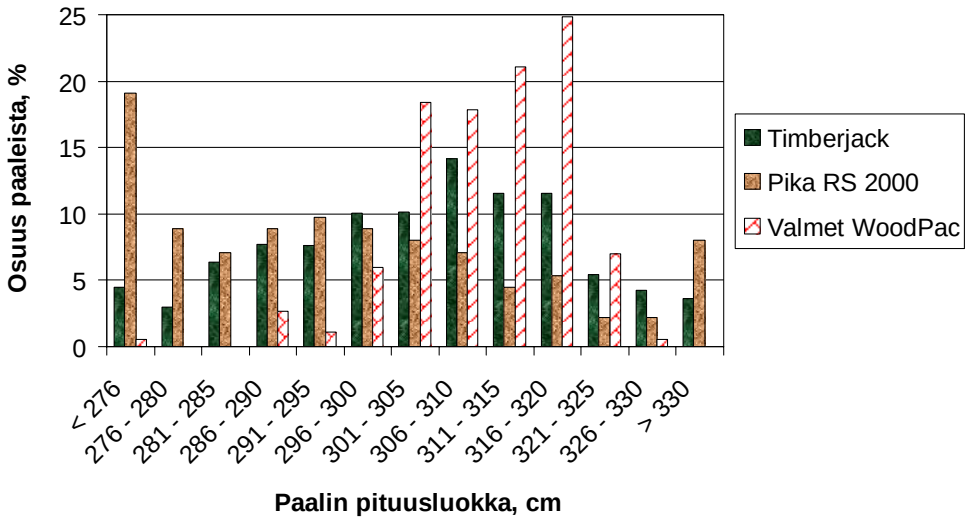
Toisella Fiberpac 370 -paalaimella (paalain 4) paalit sidottiin viidestä sidontakohdasta kaikilla aikatutkimuskoealoilla. Toisella Fiberpac 370 -paalaimella (paalain 3) paalit sidottiin kuudesta kohtaa kaikilla koealoilla. Samoin toisella Timberjack 1490D -hakkuutähdepaalaimella (paalain 1) käytettiin kuutta sidontaa. Paalaimella 2 paalit sidottiin sekä kesällä että talvella osalla koealoista kuudesta ja osalla kahdeksasta kohtaa (liite 6). Pika RS 2000 -paalaimella (paalain 5) käytettiin kesällä viittä sidontaa ja talvella kuutta sidontakohtaa. Valmet WoodPac -paalaimessa (paalain 7) käytettiin kiinteää kuusipistesidontaa.

Taulukossa 10 on kuvattu paalien ominaisuudet koko aineistossa sekä kesällä ja talvella sekä eri paalaimilla. Liitteessä 6 on esitetty koealakohtaiset arvot. Paalien keskipituus oli 302 cm. Kahdella koealalla paalien keskipituus oli 320 cm. Nämä paalit tehtiin paalaimella 3 (Fiberpac 370 -paalain). Yhdellätoista koealalla paalien keskipituus jäi alle 300 cm:n.

TAULUKKO 10 Paalauksen aikatutkimuksessa tehtyjen paalien ominaisuudet koko aineistossa sekä kesällä että talvella ja eri paalaimilla.

Paalin ominaisuus	Koko aineisto (n=1971)	Kesä (n=731)	Talvi (n=1031)	Timberjack-paalaimet (n=1410)	Pika RS 2000 -paalain (n=352)	Valmet WoodPac -paalain (n=209)
Pituus, cm	302	300	302	302	297	311
Läpimitta, cm	71	72	71	72	66	73
Kehystilavuus, m^3	1,21	1,21	1,19	1,24	1,01	1,30
Massa, kg	387	314	450	418	295	328
Tuoretiheys, kg/m^3	815	728	889	830	792	760
Tilavuus, m^3	0,47	0,43	0,50	0,50	0,37	0,43
Tilavuussuhde, %	39	36	42	40	37	33
Energiatiheys, MWh/m^3	2,11	2,32	1,93	2,07	2,16	2,24
Energiasisältö, MWh	0,98	1,00	0,97	1,02	0,81	0,97

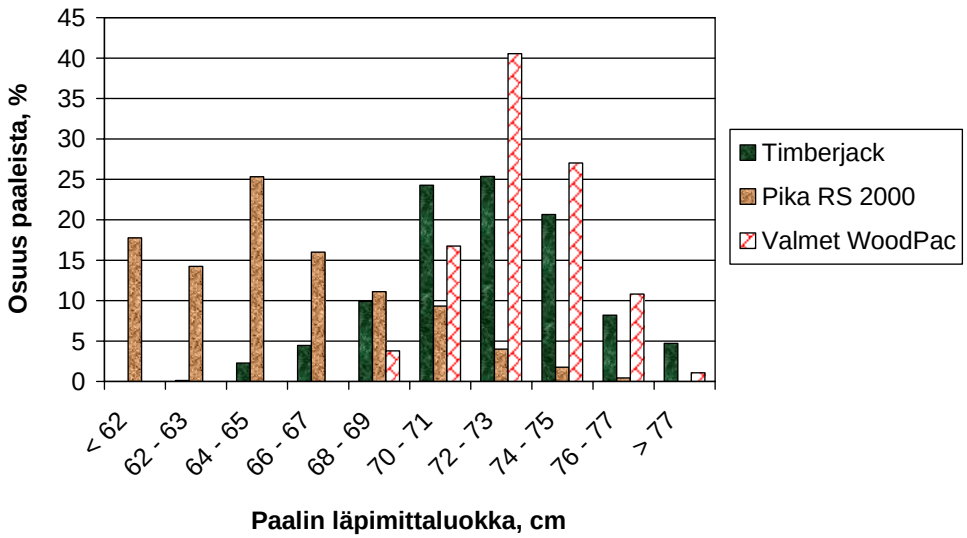
Paalattujen paalien pituus vaihteli runsaasti. Suurinta pituusvaihtelu oli Pika RS 2000 -paalaimella (kuva 15). Valmet WoodPac -paalaimella tehdyt paalit olivat keskimääräistä pidempiä (taulukko 10). Lisäksi paalien pituusvaihtelu oli Valmet WoodPac -paalaimella suhteellisen pientä verrattuna muihin paalaimiin.



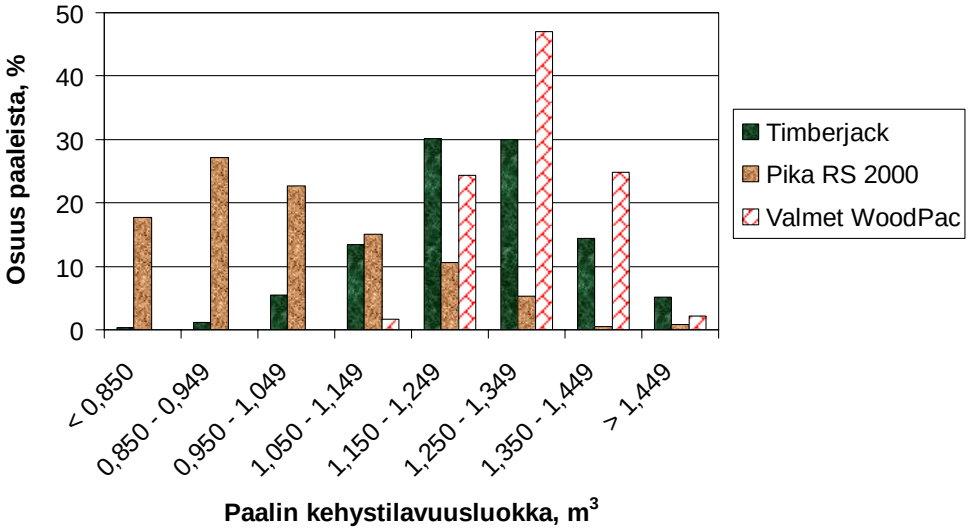
Kuva 15. Eri paalaimilla paalattujen paalien pituusjakauma.

Paalien keskiläpimitta oli 71 cm. Kahdella koealalla paalien keskiläpimitta oli yli 75 cm. Nämä paalit tehtiin Timberjack 1490D -paalaimilla. Pika RS 2000 -paalaimella paalatuilla koealoilla paalien keskiläpimitta oli 66 cm (taulukko 10, kuva 16).

Paalien kehystilavuus oli keskimäärin 1,21 m^3. Suhteellisen pienistä paalin läpimitoista johtuen Pika RS 2000 -paalaimella tehdyt paalit olivat kehystilavuudeltaan selvästi pienempiä kuin Timberjack- ja Valmet WoodPac -paalaimilla valmistetut paalit (kuva 17).



Kuva 16. Eri paalaimilla paalattujen paalien läpimittajakauma.



Kuva 17. Eri paalaimilla paalattujen paalien kehystilavuus-jakauma.

Paalin paino on riippuvainen paalin koosta ja paalattavan hakkuutähteen kosteudesta. Paalit painoivat keskimäärin 387 kg. Yhdellä koealalla paalatut paalit painoivat keskimäärin runsaat 600 kg (liite 6). Vastaavasti yhdellä koealalla paalatut paalit painoivat keskimäärin vain 231 kg. Tällöin hakkuutähteiden kosteus oli 26 %.

Paalien tuoretiheys oli keskimäärin 815 kg/m^3 vaihteluvälin ollessa 637–985 kg/m^3. Paalien keskitilavuus oli 0,47 m^3. Kesällä tehdyt paalit olivat tilavuudeltaan selvästi pienempiä kuin talvella valmistetut paalit. Koealoittain suurimmat paalit olivat keskikooltaan 0,67 m^3. Timberjack-paalaimilla paalien keskitilavuus koealoittain oli 0,50 m^3. Pika RS 2000 -paalaimella tehdyt

paalit olivat kooltaan keskimäärin runsaat 0,1 m^3 pienempiä kuin Timberjack-paalaimilla tehdyt paalit. Kääntyvällä kuormatilalla varustetun Pika 828 Combi -korjurin metsäkuljetusta varten mitattiin paalien mittoja, jotka oli tehty uudella Pika RS 2000 -paalaimella (paalain 6). Paalaimella 6 tehtyjen paalien keskitilavuus oli 0,48 m^3. Valmet WoodPac -paalaimella tehdyt paalit olivat kooltaan keskimäärin 0,43 m^3.

Paalien tilavuusprosentti (kehys- ja (kiinto)tilavuuden suhde) oli keskimäärin 39 %. Kesällä tilavuusprosentti oli huomattavasti pienempi kuin talvella. Valmet WoodPac -paalaimella tilavuusprosentti oli hieman alempi kuin muilla paalaimilla.

Paalattavan hakkuutähteen kosteudesta riippuvainen energiatiheys oli keskimäärin 2,11 MWh/m^3. Paalien energiasisältö oli keskimäärin 0,98 MWh/paali. Paalien energiasisältö oli kesällä ja talvella lähes sama, vaikka paalien energiatiheydessä (MWh/m^3) olikin eroa. Ero tasoittui, koska talvella paalit olivat suurempia kuin kesällä. Pika RS 2000 -paalaimella tehtyjen paalien energiasisältö oli keskimäärin 0,81 MWh.

3.1.2 Seurantatutkimus

Seurantatutkimuksessa paalien ominaisuuksista saatiin tietoa puunhankintaorganisaatioiden tekemistä koehaketuksista. Paalien koehaketustietoja saatiin paalainten 1 ja 2 tekemistä paaleista. Paalaimelta 1 koehaketustietoja saatiin kahdeksan leimikon paaleista ja 15 leimikon paaleista paalaimelta 2. Paalaimen 1 tekemien paalien keskikoko oli 0,57 m^3 vaihteluvälin ollessa 0,52–0,62 m^3. Paalaimen 2 tekemien paalien keskikoko oli 0,67 m^3 vaihteluvälin ollessa 0,63–0,71 m^3.

3.2 Paalikertymät

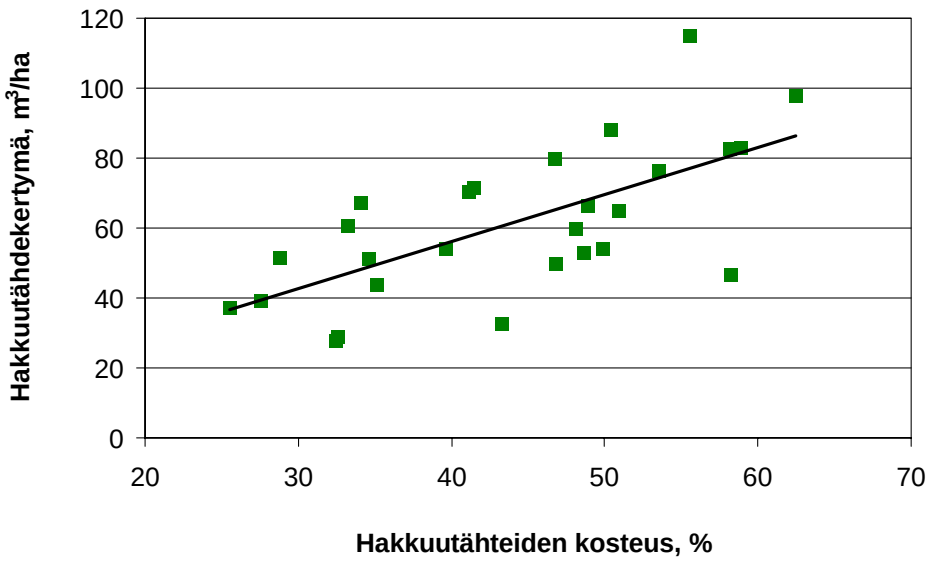
3.2.1 Aikatutkimus

Paaleja kertyi aikatutkimuskoealoittain keskimäärin 133 paalia/ha (taulukko 11). Kolmelta koealalta paalattiin alle 100 paalia/ha. Vastaavasti yhdeksältä koealalta tehtiin yli 150 paalia/ha (liite 6). Kesällä paalikertymät olivat huomattavasti pienempiä kuin talvella. Pika RS 2000 -paalaimella paalatuilla koealoilla paalikertymä oli korkein. Valmet WoodPac -paalainkoealoilla paalikertymä oli alhaisin, keskimäärin 102 paalia/ha. Paalainten välillä olevaa eroa selittää tehtyjen paalien koko: Pika RS 2000 -paalaimella (paalain 6) valmistetut paalit olivat pienikokoisimpia (taulukko 10) ja Valmet WoodPac -paalaimen paalit olivat kehystilavuudeltaan isokokoisimpia. Lisäksi eroa selittävät aikatutkimuskoealojen korjuuolot.

TAULUKKO 11 Paali- ja hakkuutähdekertymät koko aineistossa, kesällä ja talvella sekä eri paalaimilla paalatuilla koealoilla.

Kertymätunnus	Koko aineisto (n=26)	Kesä (n=11)	Talvi (n=12)	Timberjack-paalaimet (n=18)	Pika RS 2000 -paalain (n=5)	Valmet WoodPac -paalain (n=3)
Paalikertymä, paalia/ha	133	120	152	131	156	102
Hakkuutähdekertymä, m^3/ha	62	51	77	66	59	44
Hakkuutähdekertymä, MWh/ha	128	117	146	133	128	105
Hakkuutähde-/ainespuu-kertymän suhde, %	29	26	36	34	22	17

Paalauskoealoittain hakkuutähdekertymä oli keskimäärin 62 m^3/ha. Kesällä hakkuutähdekertymä oli selvästi pienempi kuin talvella. Kesällä paalattujen hakkuutähteiden kosteus oli 26–43 %. Vastaavasti talvella hakkuutähteiden kosteus oli 47–63 %. Korjuuolosuhdetekijöistä paalattavan hakkuutähteen kosteus selitti parhaiten hakkuutähdekertymää: hakkuutähteiden ollessa kosteudeltaan 45 % hakkuutähdettä kertyi aikatutkimuskoealalta noin 60 m^3/ha (kuva 18).



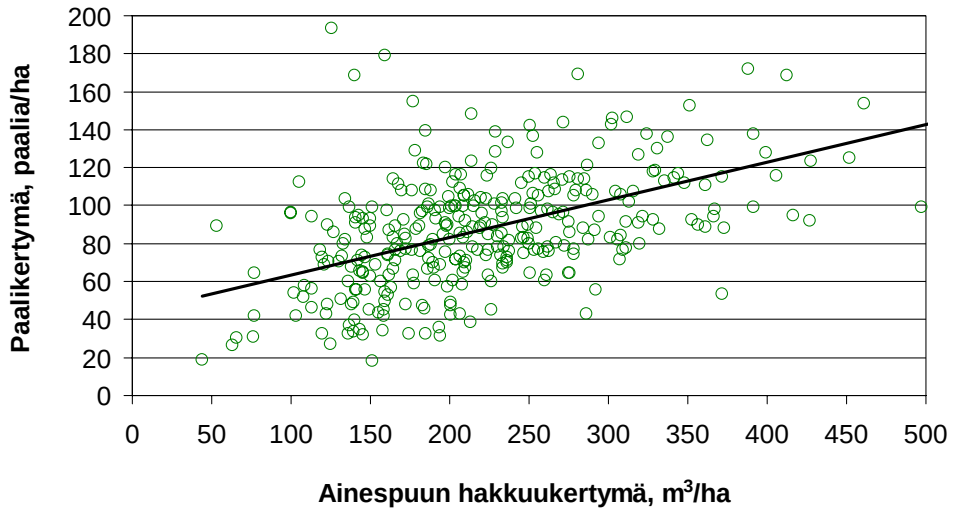
Kuva 18. Hakkuutähteiden kosteusprosentin vaikutus hakkuutähdekertymään aikatutkimusaloilla.

Hakkuutähteiden kosteuden lisäksi hakkuutähdekasojen ja -karheiden kunnolla oli merkitystä hakkuutähdekertymiin: Kasojen ja karheiden ollessa hyvälaatuisia hakkuutähdekertymä oli keskimäärin 68 m^3/ha. Kun kasat ja karheet olivat keskimääräisiä tai huonoja, hakkuutähdekertymä oli 50 m^3/ha:n tasolla (kasat/karheet keskimääräisiä: 53 m^3/ha ja huonolaatuisia: 50 m^3/ha). Hakkuutähteiden kosteuden ja kasojen ja karheiden laadun lisäksi muilla korjuuolosuhdetekijöillä ei ollut merkittävää vaikutusta hakkuutähdekertymiin.

Energiasisällöllä mitattuna keskimääräinen hakkuutähdekertymä oli 128 MWh/ha. Hakkuutähde- ja ainespuukertymien suhde oli keskimäärin 29 %. Täten yhtä talteen saatua hakkuutähdekuutiometriä kohden oli ainespuuta hakattava keskimäärin noin 3,5 m^3. Talvella kertymäsuhde oli kymmenen prosenttiyksikköä korkeampi kuin kesällä. Timberjack-paalaimilla paalatuilla koealoilla kertymäsuhde oli keskimäärin 34 %, Pika RS 2000 -paalainkoealoilla 22 % ja Valmet WoodPac -paalainkoealoilla 17 %.

3.2.2 Seurantatutkimus

Paalikertymistä saatiin tietoa kaikkiaan 333 työmaasta. Hehtaarikohtaiset paalikertymät vaihtelivat melkoisesti paalaimittain: Etelä-Suomessa olleilla työmailla paaleja tehtiin keskimäärin 92 paalia/ha ja Pohjanmaalla 84 paalia/ha. Hakkuutähde- ja ainespuukertymien suhde oli Etelä-Suomen kohteilla keskimäärin 34 % ja Pohjanmaan kohteilla 45 %. Leimikosta korjatulla ainespuukertymällä oli merkittävä vaikutus paalikertymiin (kuva 19). Lisäksi hakkuutähdekasojen ja -karheiden laadulla oli vaikutusta paalikertymiin: Kasojen ja karheiden ollessa hyvälaatuisia paalikertymä oli keskimäärin 91 paalia/ha. Paalattaessa hakkutähteitä huonolaatuisista ja keskimääräisistä kasoista ja karheista paalikertymä oli hieman yli 80 paalia/ha.



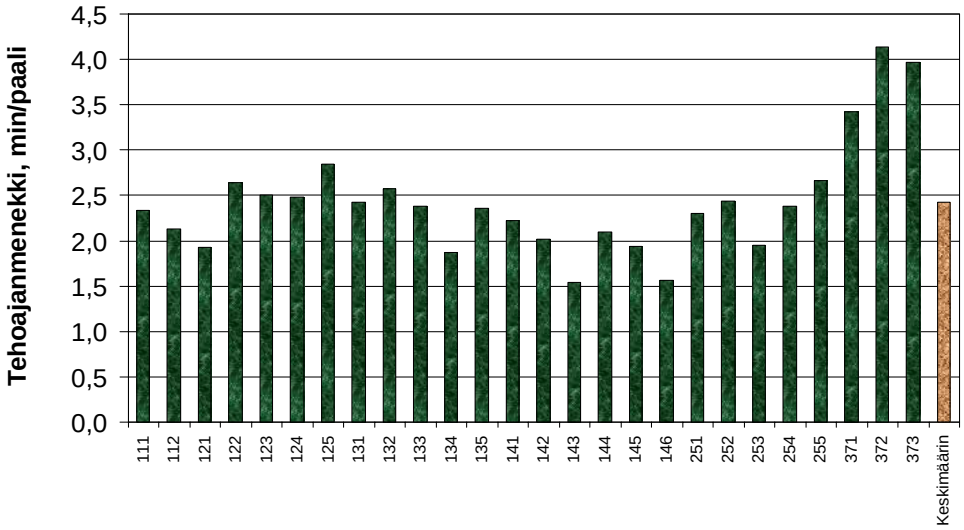
Kuva 19. Ainespuukertymän vaikutus paalikertymään seurantatutkimuksessa.

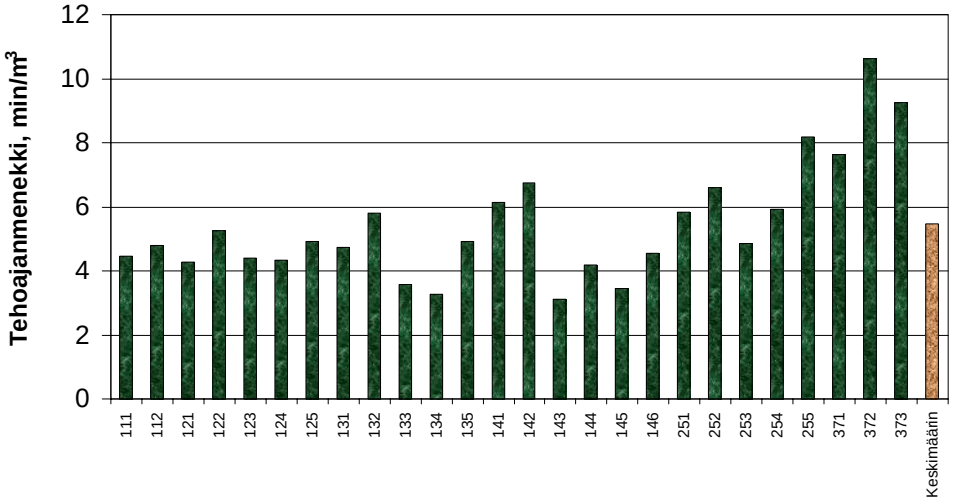
3.3 Paalauksen tuottavuus

3.3.1 Aikatutkimus

3.3.1.1 Tehoajanmenekki ja sen rakenne

Kuvassa 20 on esitetty aikatutkimuskoealoittain paalauksen tehoajanmenekki (min/paali ja min/m^3). Yhden paalin valmistukseen kului keskimäärin 2,43 min (taulukko 12). Kesällä ja talvella ei ollut merkittävää eroa paalauksen min/paali-tehoajanmenekeissä. Paalaimittain tarkasteltuna Timberjack-paalaimilla tehoajanmenekki oli kaikkein pienin (2,22 min/paali). Valmet WoodPac -paalaimella tehoajanmenekki (min/paali) oli keskimäärin noin 80 % isompi kuin Timberjack-paalainten tehoajanmenekki.





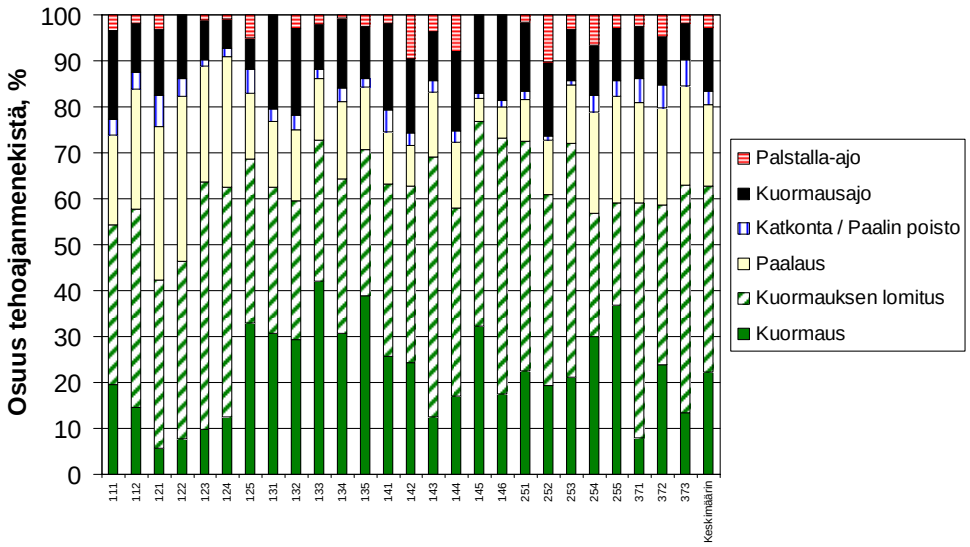
Kuva 20. Hakkuutähteiden paalauksen min/paali- (ylhäällä) ja min/m^3-tehoajanmenekit koealoittain ja keskimäärin. Koealan numerossa ensimmäinen numero osoittaa paalaimen merkkiä, jolla koeala on paalattu (1= Timberjack-paalain, 2=Pika RS 2000 -paalain, 3=Valmet WoodPac -paalain). Koealan toinen numero yksilöi paalaimen (1…7), ja kolmas numero osoittaa järjestystä, jossa paalauksen aikatutkimuksia kullakin paalaimella tehtiin.

TAULUKKO 12 Keskimääräiset tehoajanmenekit koko aineistossa, kesällä ja talvella sekä eri paalaimilla.

Tehoajanmenekki	Koko aineisto (n=26)	Kesä (n=11)	Talvi (n=12)	Timberjack-paalaimet (n=18)	Pika RS 2000 -paalain (n=5)	Valmet WoodPac -paalain (n=3)
- min/paali	2,43	2,27	2,22	2,22	2,35	3,98
- min/m^3	5,45	5,41	4,57	4,61	6,28	9,17
- min/MWh	2,55	2,32	2,37	2,20	2,89	4,11

Tarkasteltaessa paalauksen tehoajanmenekkiä paalattua kuutiometriä kohden aikaa kului koealoittain keskimäärin 5,45 min/m^3. Talvella tehoajanmenekki yhtä kuutiometriä kohden oli keskimäärin 4,57 min ja kesällä 5,41 min. Pika RS 2000 -paalaimella aikaa meni yhden kuutiometrin tekoon keskimäärin runsas kolmannes enemmän kuin Timberjack-paalaimilla ja Valmet WoodPac -paalaimella aikaa meni lähes kaksi kertaa enemmän kuin Timberjack-paalaimilla. Vastaavasti yhden megawattitunnin paalaukseen kului kesällä ja talvella yhtä paljon aikaa. Pika RS 2000- ja Valmet WoodPac -paalainten ajanmenekkiero (min/MWh) Timberkjack-paalaimiin kutistui hieman verrattuna kuutiometripohjaiseen tarkasteluun.

Hakkuutähteiden paalauksen tehoajanmenekin rakenne aikatutkimuskoealoittain on esitetty kuvassa 21. Kuormaus-työvaiheen osuus paalauksen tehoajasta koealoittain oli keskimäärin runsas viidennes (22 %). Kuormauksen lomitus -työvaiheen, jonka aikana kuormauksen lisäksi tapahtui paalaus- tai katkonta-työvaiheita, osuus oli keskimäärin 40 %. Täten kuormaus- ja kuormauksen lomitus -työvaiheiden, jolloin hakkuutähteitä syötettiin paalaimeen, osuus oli keskimäärin yli 60 % paalauksen tehoajanmenekistä.



Kuva 21. Tehoajanmenekkijakauma aikatutkimuskoealoittain ja keskimäärin.

Paalaus-työvaiheen (paalain prosessoi hakkuutähteitä, muuta työvaihetta ei tapahdu) osuus oli keskimäärin vajaa viidesosa tehoajanmenekistä. Paalausta tehtiin myös kuormauksen lomitus-, kuormausajo- ja palstalla-ajo-työvaiheiden aikana, mutta tästä paalausajasta ei voida sanoa tarkkaa kestoa. Paalin katkaisu Timberjack- ja Pika RS 2000 -paalaimilla vei keskimäärin vajaa kolme prosenttia tehoajasta. Paalin katkaisuajasta osa sisältyi kuormauksen lomitus-, kuormausajo- ja palstalla-ajo-työvaiheisiin. Paalin poisto Valmet WoodPac -paalaimesta vei keskimäärin viisi prosenttia tehoajasta. Kuormausajon osuus tehoajanmenekistä paalauskoealoilla oli keskimäärin 13 %. Pidempiin siirtymisiin, palstalla-ajo-työvaiheeseen kului keskimäärin kolme prosenttia paalauksen tehoajanmenekistä.

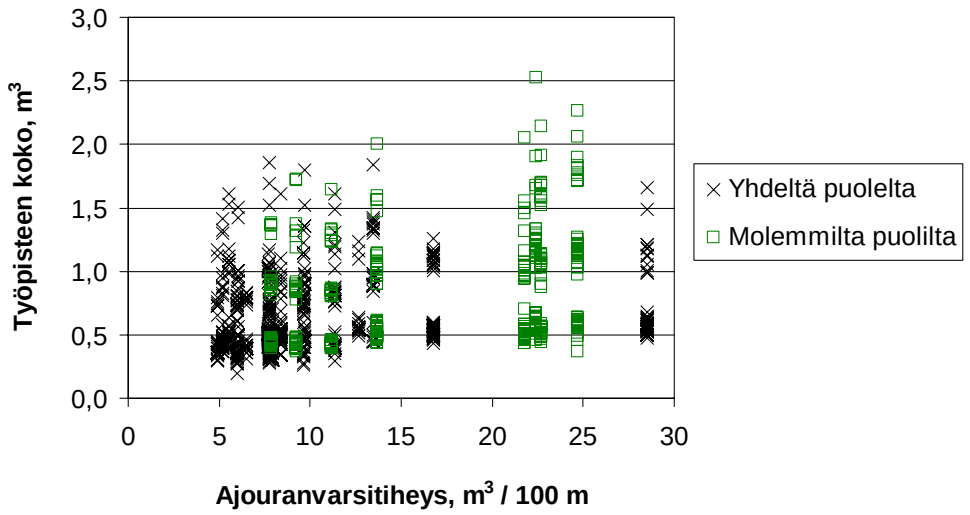
Seuraavassa tarkastellaan paalauksen eri työvaiheiden absoluuttisia tehoajanmenekkejä ja kartoitetaan, miten korjuuolot ja työskentelytavat vaikuttivat työvaiheiden tehoajanmenekkeihin.

3.3.1.2 Kuormaus

Hakkuutähteiden paalauksen aikatutkimuksessa työpisteen keskikoko oli 0,66 m^3. Kun hakkuutähdekasojen ja -karheiden kunto oli hyvä, työpisteen keskikoko oli 0,71 m^3. Kasojen ja karheiden ollessa keskimääräisiä tai huonoja työpisteen keskikoko oli selvästi pienempi (0,55 m^3). Kun hakkuutähteitä kuormattiin paalaimeen yhdeltä puolelta ajouraa, työpisteiden keskikoko oli 0,59 m^3. Kuormattaessa hakkuutähteitä paalaimeen molemmilta puolilta ajouraa työpisteen keskikoko oli 0,81 m^3.

Valmet WoodPac -paalainkoealoilla työpisteiden keskikoko oli 0,69 m^3, Timberjack-koealoilla 0,67 m^3 ja Pika RS 2000 -koealoilla 0,59 m^3. Erot johtuivat pääosin paalainkuljettajien käyttämistä kuormaustavoista: Valmet WoodPac -paalaimen kuljettaja kuormasi hakkuutähteitä molemmilta puolilta ajouraa ja Pika RS 2000 -paalainkuljettajat kuormasivat hakkuutähteitä paalaimen syöttöpöydälle vain yhdeltä puolelta ajouraa (paalaimen syöttöpöydän puolelta).

Parhaiten paalauksen aikatutkimuksessa työpisteen kokoa selittivät hakkuutähteen ajouranvarsitiheys, hakkuutähdekasojen ja -karheiden laatu sekä käytetty kuormaustapa (hakkuutähteiden kuormaus paalaimeen yhdeltä puolelta / molemmilta puolilta ajouraa) (kuva 22, kaava 4). Hakkuutähteiden ajouranvarsitiheys laskettiin jakamalla paalattu hakkuutähdemäärä kuormausajomatkalla paalauksessa. Kun paalattavien hakkuutähteiden ajouranvarsitiheys oli korkea, hakkuutähdekasojen kunto hyvä ja hakkuutähteitä kuormattiin molemmilta puolilta ajouraa (hakkuutähteet hakattu molemmille puolille ajouraa), työpisteet olivat isokokoisia.



Kuva 22. Hakkuutähteiden ajouranvarsitiheyden ja käytetyn kuormaustavan vaikutus työpisteiden kokoon.

$y = 0{,}5364 + 0{,}0089x_1 - 0{,}0260x_2 + 0{,}1540x_3$ [4]

missä

y = työpisteen koko, m^3

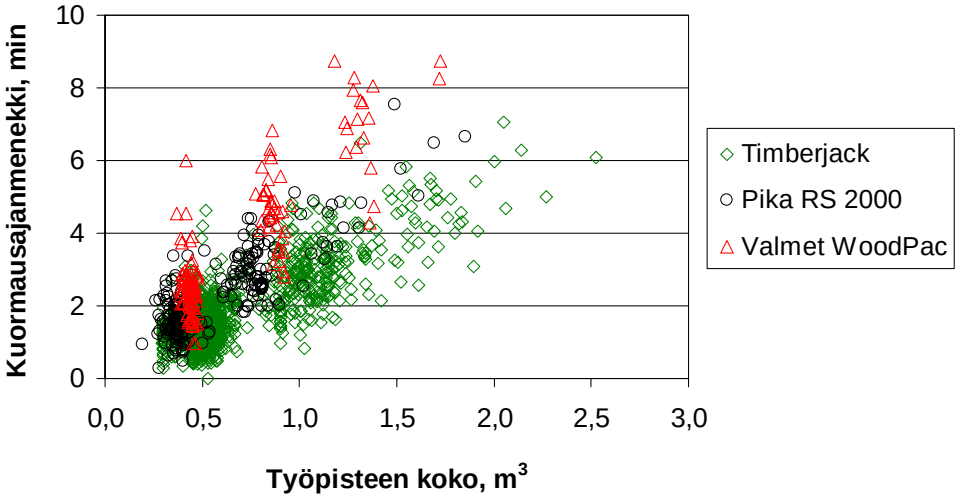
x_1 = hakkuutähteiden ajouranvarsitiheys paalauksessa, m^3 / 100 m

x_2 = hakkuutähdekasojen ja -karheiden laatu (0 = kasat ja karheet hyviä, muutoin 1)

x_3 = kuormaustapa (0 = kuormaus yhdeltä puolelta, 1 = molemmilta puolilta ajouraa)

$R^2 = 0{,}14$

Työpisteen koko puolestaan vaikutti voimakkaasti työpisteessä käytettyyn kuormausaikaan (kuormaus- ja kuormauksen lomitus -työvaiheet). Työpisteen koon lisäksi Timberjack- ja Pika RS 2000 -paalainten kuormausajanmenekkimallissa oli mukana kuormaustapa (kuva 23, kaavat 5 ja 6). Paalaimittain tarkasteltuna paalikohtainen kuormausajanmenekki aikatutkimuksessa oli Timberjack- ja Pika RS 2000 -paalaimilla samalla tasolla (Timberjack: 1,39 min/paali; Pika: 1,49 min/paali). Valmet WoodPac -paalaimella kuormausajanmenekki (2,36 min/paali) oli vajaan minuutin isompi kuin Timberjack- ja Pika RS 2000 -paalaimilla. Kuormauksessa Valmet WoodPac -paalaimella aikaa meni runsaasti pitkien alikasvospuiden katkontaan, ja lisäksi silmävaraisesti arvioituna kuormaustaakat olivat selvästi pienempiä kuin Timberjack- ja Pika RS 2000 -paalaimilla.



Kuva 23. Työpisteen koon vaikutus kuormausajanmenekkiin eri paalaimilla.

<u>Timberjack- ja Pika RS 2000 -paalaimet:</u>

$y = 0{,}2973 + 2{,}4205x_1 + 0{,}286x_2$ [5]

missä

y = kuormausajanmenekki työpisteessä, min

x_1 = työpisteen koko, m^3

x_2 = kuormaustapa (0 = kuormaus yhdeltä puolelta, 1 = molemmilta puolilta ajouraa)

$R^2 = 0{,}62$

<u>Valmet WoodPac -paalain:</u>

$y = 0{,}2845 + 5{,}0407x$ [6]

missä

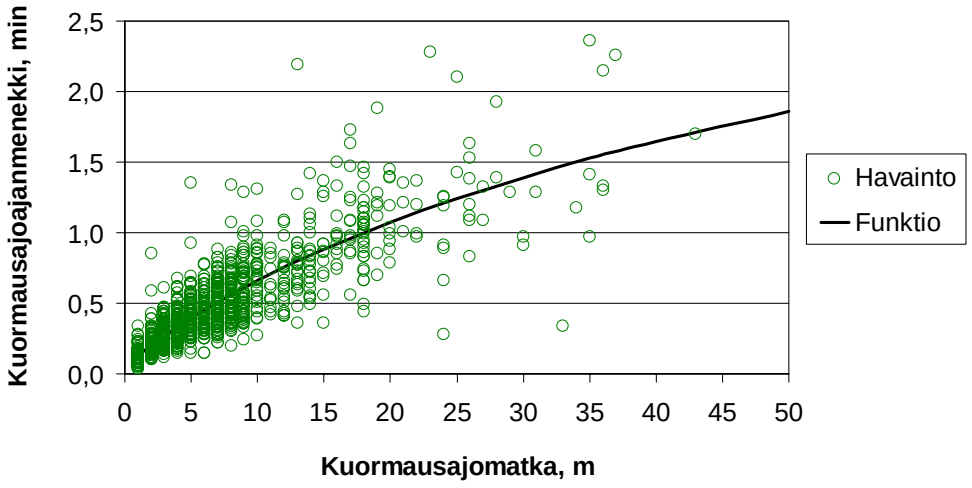
y = kuormausajanmenekki työpisteessä, min

x = työpisteen koko, m^3

$R^2 = 0{,}75$

3.3.1.3 Kuormausajo

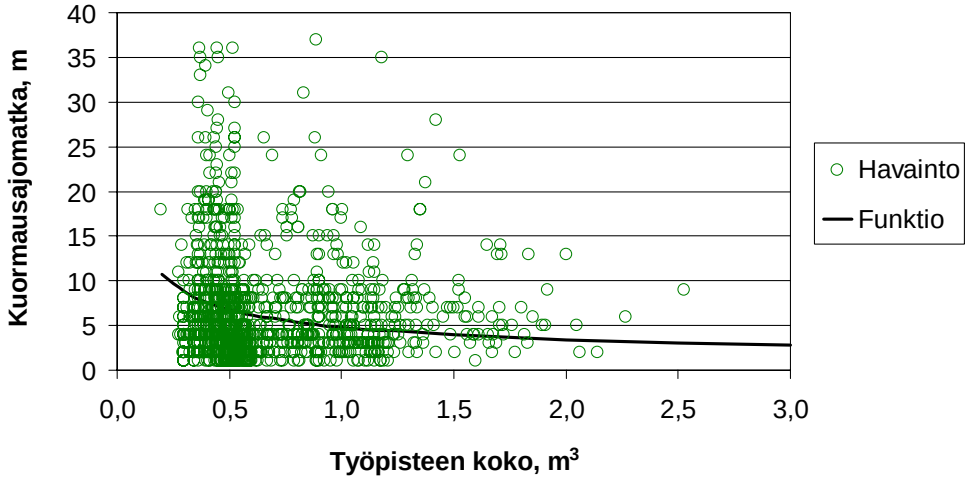
Keskimääräinen kuormausajomatka paalauksen aikatutkimuksessa oli 6,7 m, ja aikaa yhteen kuormausajoon meni keskimäärin 0,45 min. Kuvassa 24 on esitetty kuormausajomatkan vaikutus kuormausajoajanmenekkiin (kaava 7). Työpisteen koko selitti parhaiten kuormausajomatkaa (kuva 25, kaava 8). Mitä pienempiä työpisteet olivat, sitä enemmän oli tehtävä kuormausajoa.



Kuva 24. Kuormausajomatkan vaikutus kuormausajoajan-menekkiin.

$$y = -3{,}8084 + 1{,}3454 \times LN(x + 17{,}7201) \qquad [7]$$

missä
y = kuormausajoajanmenekki, min
x = kuormausajomatka, m
$R^2 = 0{,}73$



Kuva 25. Työpisteiden koon vaikutus kuormausajomatkaan.

$$y = 4{,}7914 / x^{0{,}5} \qquad [8]$$

missä
y = kuormausajomatka, m
x = työpisteen koko, m^3
$R^2 = 0{,}54$

3.3.1.4 Paalaus

Paalaus-työvaihe oli omana työvaiheena Timberjack- ja Pika RS 2000 -paalaimilla 89 %:ssa paalatuista paaleista, eli osa paalausajasta sisältyi muihin osavaiheisiin. Timberjack-paalaimilla paalausajanmenekki oli keskimäärin 0,44 min/paali ja Pika RS 2000 -paalaimella 0,49 min/paali. Timberjack- ja Pika RS 2000 -paalaimilla parhaiten paalauksen tehoajanmenekkiä selitti paalissa olevien sidontakohtien lukumäärä. Mitä enemmän paalissa käytettiin sidontakohtia, sitä enemmän aikaa paalaus-työvaiheeseen kului (kaava 9). Valmet WoodPac -paalaimelle ei löytynyt järkeviä paalausajanmenekin selittäjiä. Valmet WoodPac -paalaimella keskimääräinen paalausajanmenekki oli 0,86 min/paali.

<u>Timberjack- ja Pika RS 2000 -paalaimet:</u>

$$y = -0{,}4367 + 0{,}1475x \qquad [9]$$

missä

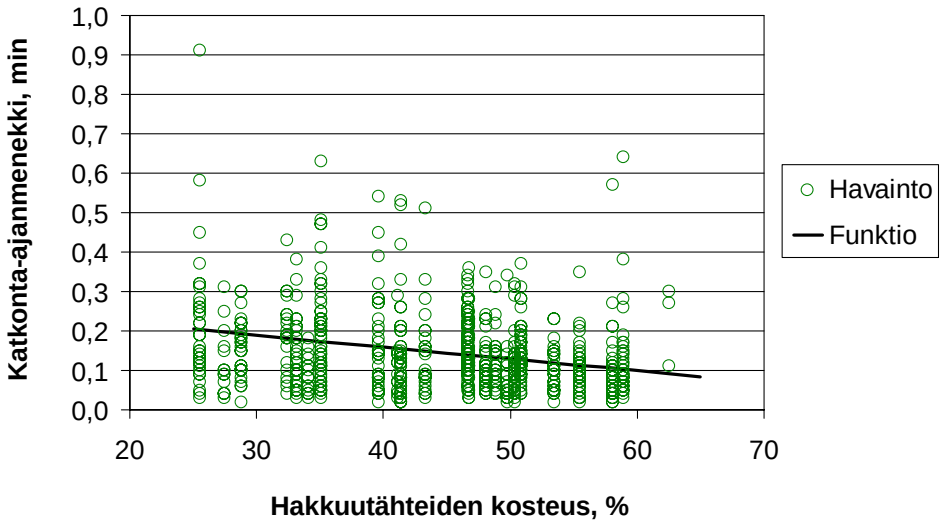
y = paalausajanmenekki, min/paali

x = sidontakohtien lukumäärä, kpl

$R^2 = 0{,}15$

3.3.1.5 Katkonta ja paalin poisto

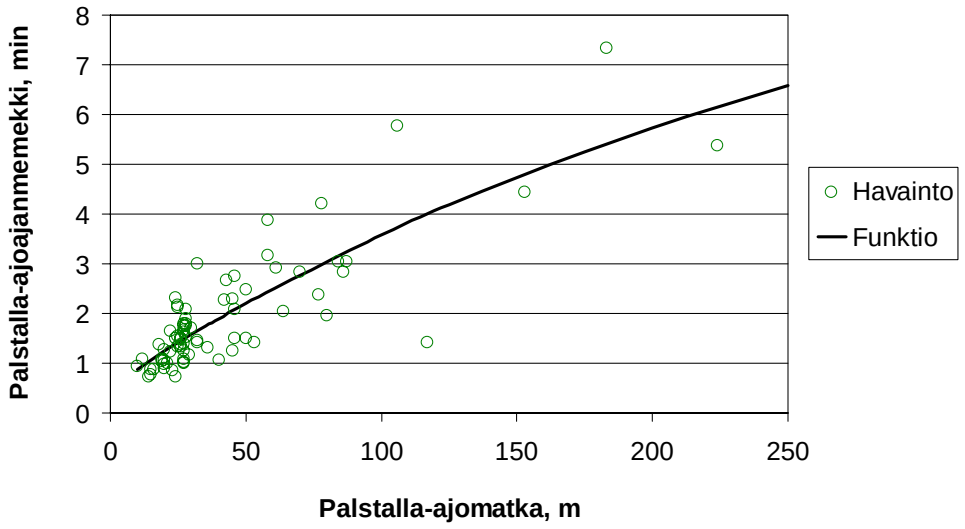
Katkonta-aika esiintyi omana työvaiheena 46 %:lla tehdyistä paaleista. Täten katkonta-aika sisältyi yli puolessa valmistetuista paaleista johonkin muuhun työvaiheeseen, eli kuormauksen lomitus-, kuormausajo- tai palstalla-ajo-työvaiheisiin. Timberjack- ja Pika RS 2000 -paalaimilla paalin katkaisuaika oli samalla tasolla (Timberjack: 0,14 min/paali ja Pika RS 2000: 0,13 min/paali). Parhaiten korjuuolosuhdetekijöistä paalin katkonta -ajanmenekkiä Timberjack- ja Pika RS 2000 -paalaimilla selitti paalattavien hakkuutähteiden kosteus (kuva 26). Valmet WoodPac -paalaimella paalin poisto kesti keskimäärin 0,24 min/paali. Paalin poisto oli omana aikana 87 % Valmet WoodPac -paalaimella tehdyistä paaleista.



Kuva 26. Paalattavien hakkuutähteiden kosteuden vaikutus katkonta-ajanmenekkiin Timberjack- ja Pika RS 2000 -paalaimilla.

3.3.1.6 Palstalla-ajo

Palstalla-ajomatka oli keskimäärin 43 m. Keskimäärin palstalla-ajoon kului aikaa 1,92 min/kerta. Neljällä aikatutkimuskoealalla palstalla-ajoa ei esiintynyt lainkaan (kuva 21). Keskimäärin palstalla-ajoa oli 2,9 kertaa/aikatutkimuskoeala. Kun keskimääräinen tehoaika paalauskoealoilla oli 183 min, palstalla-ajoa tuli keskimäärin runsaan tunnin (63 min) välein. Palstalla-ajomatkan vaikutus palstalla-ajoajanmenekkiin on esitetty kuvassa 27 (kaava 10).



Kuva 27. Palstalla-ajomatkan vaikutus palstalla-ajoajanmenekkiin.

$$y = -36{,}753 + 7{,}1321 \times LN(x + 185{,}838) \qquad [10]$$

missä
y = palstalla-ajoajanmenekki, min
x = palstalla-ajomatka, m
$R^2 = 0{,}69$

3.3.1.7 Mallinnettu tehoajanmenekki ja tehotuntituottavuus

Paalauksen tehoajanmenekki laskettiin seuraavasti: työpisteellä kuluneeseen paalin valmistusaikaan (kuormaus-, kuormauksen lomitus-, paalaus- sekä katkonta- ja paalin poisto -työvaiheet) lisättiin kuormausajo- ja palstalla-ajoajat. Paalin valmistusaika työpisteessä laskettiin paalaimittain kaavoilla 11–14. Hakkuutähteiden oletettiin hakatun kasoille molemmille puolille ajouraa.

Timberjack-paalaimet:
(kuormaus yhdeltä puolelta ajouraa)

$$y = 2{,}5654 / x^{0{,}5} \quad [11]$$

missä
y = paalin valmistusaika työpisteessä, min/m^3
x = työpisteen koko, m^3
$R^2 = 0{,}88$

Pika RS 2000 -paalain:
(kuormaus yhdeltä puolelta ajouraa)

$$y = 3{,}7328 / x^{0{,}5} \quad [12]$$

missä
y = paalin valmistusaika työpisteessä, min/m^3
x = työpisteen koko, m^3
$R^2 = 0{,}86$

Kun hakkuutähteitä kuormattiin molemmilta puolilta ajouraa Timberjack- ja Pika RS 2000 -paalaimilla, paalin valmistusajanmenekkiin (kaavat 11 ja 12) lisättiin kulunut lisäajanmenekki kertoimella c (kaava 13).

$$c = 1{,}1328 + 0{,}1496x \quad [13]$$

missä
c = ajanmenekin lisäyskerroin (kuormaus molemmilta puolilta ajouraa)
x = työpisteen koko, m^3

Valmet WoodPc -paalain:
(kuormaus molemmilta puolilta ajouraa)

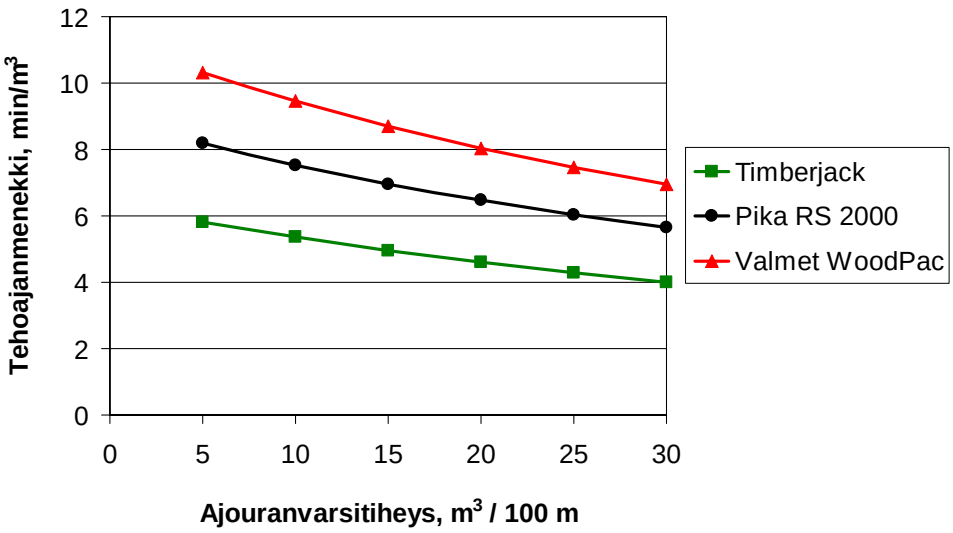
$$y = 5{,}9488 / x^{0{,}5} \quad [14]$$

missä
y = paalin valmistusaika työpisteessä, min/m^3
x = työpisteen koko, m^3
$R^2 = 0{,}91$

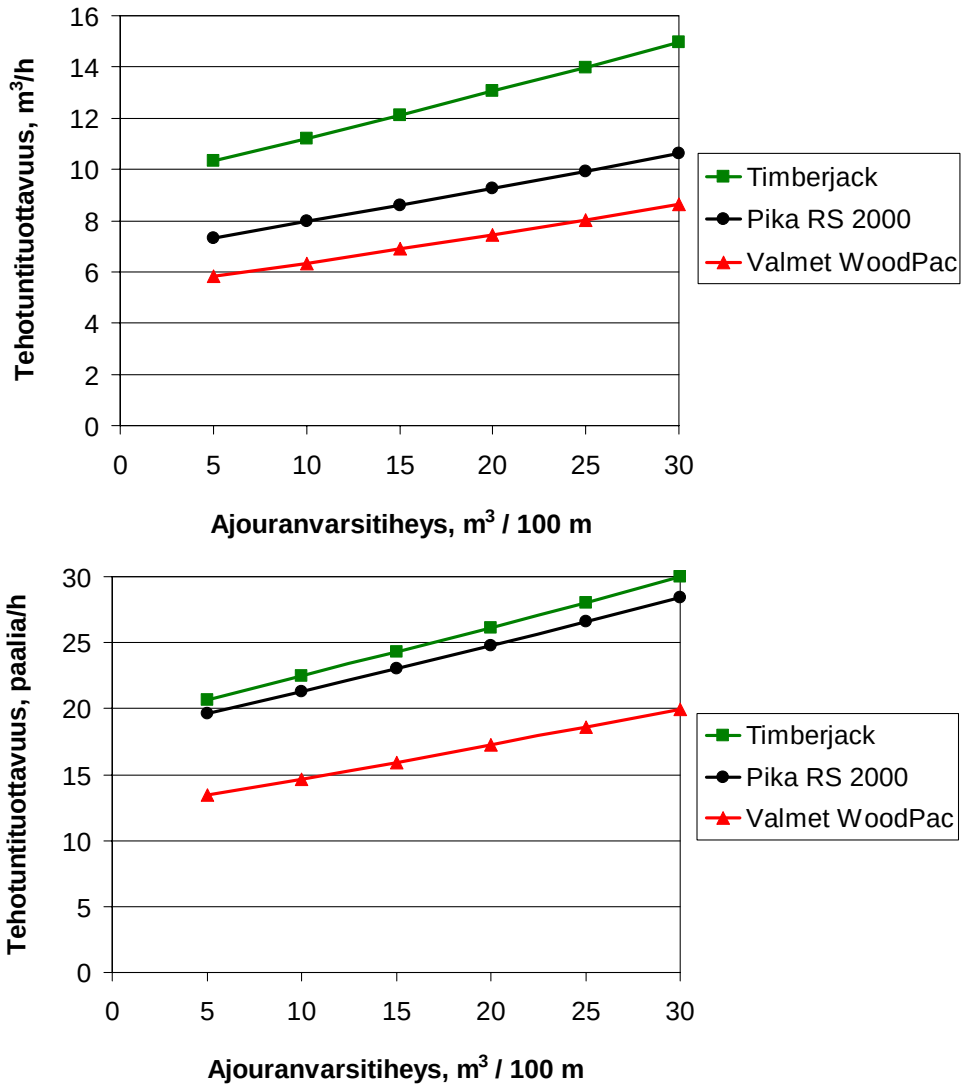
Kuvassa 28 on esitetty tehoajanmenekki paalaimittain paalattavien hakkuutähteiden ajouranvarsitiheyden funktiona, kun hakkuutähdekasat ovat hyviä ja hakkuutähteitä kuormataan paalaimeen molemmilta puolilta ajouraa. Timberjack-paalaimilla tehoajanmenekki oli 5,0 min/m^3 hakkuutähteiden ajouranvarsitiheyden ollessa 15 m^3 / 100 m. Vastaavissa oloissa Pika RS 2000 -paalaimella tehoajanmenekki oli 7,0 min/m^3 ja Valmet WoodPac -paalaimella 8,7 min/m^3.

Hakkuutähteiden ajouranvarsitiheyden ollessa 15 m^3 / 100 m tehotuntituottavuus Timberjack-paalaimilla oli 12,1 m^3/h (kuva 29). Samalla ajouranvarsitiheydellä Pika RS 2000 -paalaimen tehotuntituottavuus oli 8,6 m^3/h ja Valmet WoodPac -paalaimen tehotuntituottavuus oli 6,9 m^3/h.

Kuutiometripohjaiset tuotokset muunnettiin paaleiksi käyttäen aikatutkimuksissa kullakin paalainmerkillä paalattujen paalien keskikokoa (ks. taulukko 10). Kun hakkuutähdekasat olivat hyviä, hakkuutähteitä kuormattiin paalaimeen molemmilta puolilta ajouraa ja hakkuutähteiden ajouranvarsitiheys oli 15 m^3 / 100 m, Timberjack- ja Pika RS 2000 -paalainten tehotuntituottavuus oli 23–24 paalia/h. Valmet WoodPac -paalaimen tuottavuus oli vajaa kymmenen paalia alempi kuin Timberjack- ja Pika RS 2000 -paalainten tuottavuus (kuva 29).

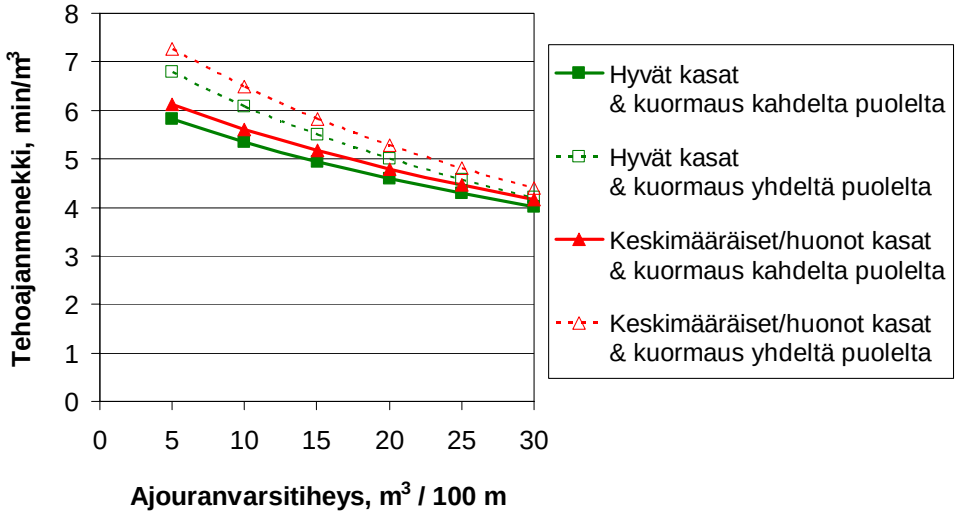


Kuva 28. Hakkuutähteiden paalauksen tehoajanmenekki paalaimittain paalattavan hakkuutähteen ajouranvarsitiheyden funktiona, kun hakkuutähdekasat ovat hyviä ja hakkuutähteitä kuormataan paalaimeen molemmilta puolilta ajouraa.



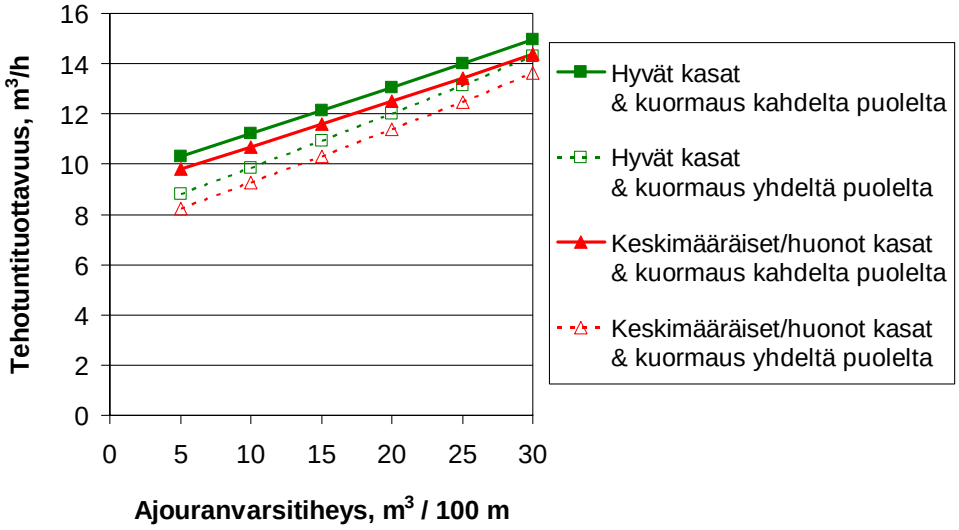
Kuva 29. Paalattavien hakkuutähteiden ajouranvarsitiheyden vaikutus paalauksen m^3/h-tehotuntituottavuuteen (ylhäällä) ja paalia/h-tehotuntituottavuuteen paalaimittain. Hakkuutähdekasat hyväkuntoisia ja hakkuutähteitä kuormataan molemmilta puolilta ajouraa.

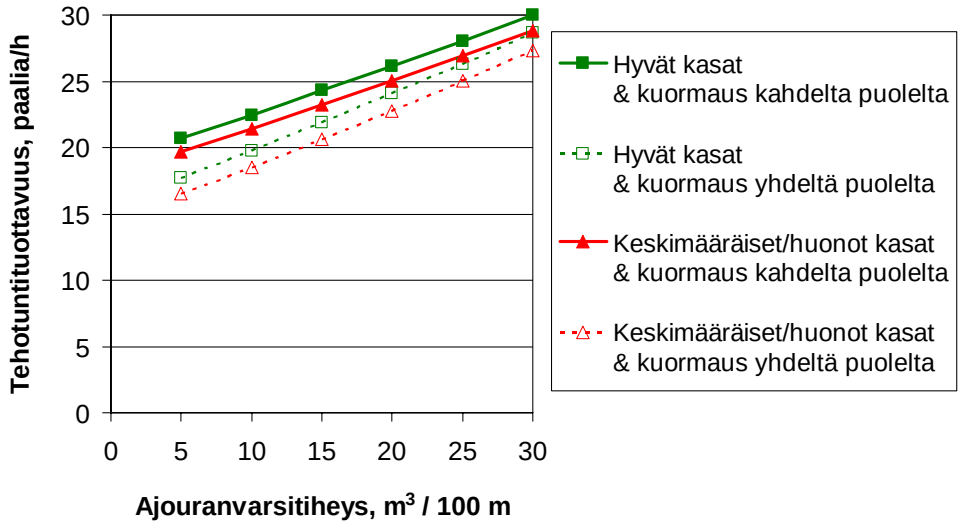
Hakkuutähteiden paalauksen tehoajanmenekkiä tarkasteltiin Timberjack-paalaimilla erilaisissa korjuuoloissa (hyvät kasat / huonot & keskimääräiset kasat) ja erilaisilla kuormaustavoilla (yhdeltä puolelta / molemmilta puolilta ajouraa). Kuva 30 osoittaa, että eniten tehoaikaa meni, kun hakkuutähdekasat olivat huonoja ja hakkuutähteitä kuormattiin vain yhdeltä puolelta ajouraa (hakkuutähteet hakattu molemmille puolille ajouraa). Vähiten aikaa kului, kun hakkuutähdekasat olivat hyviä ja hakkuutähteitä kuormattiin paalaimeen molemmilta puolilta ajouraa. Hyvistä kasoista kuormaus oli nopeaa. Kuormaamalla hakkuutähteitä molemmilta puolilta ajouraa saatiin työpisteiden kokoa kasvatettua ja kuormausajoa vähennettyä, vaikkakin hakkuutähteiden kuormaus yli paalainyksikön oli hitaampaa kuin kuormaus yhdeltä puolelta ajouraa (kaava 5). Hakkuutähteiden ajouranvarsitiheyden kasvaessa ajanmenekkierot pienenivät.



Kuva 30. Hakkuutähteiden paalauksen tehoajanmenekki Timberjack-paalaimilla hakkuutähdekasojen ollessa hyviä tai keskimääräisiä/huonoja ja kuormattaessa hakkuutähteitä yhdeltä puolelta tai molemmilta puolilta ajouraa. Hakkuutähteet hakattu molemmille puolille ajouraa.

Kun hakkuutähdekasat olivat hyviä, hakkuutähteitä kuormattiin molemmilta puolilta ajouraa ja hakkuutähteiden ajouranvarsitiheys oli 15 m^3 / 100 m, paalauksen tehotuntituottavuus Timberjack-paalaimilla oli 12,1 m^3/h (24,3 paalia/h) (kuva 31). Kun hakkuutähteitä kuormattiin yhdeltä puolelta ajouraa, paalaustyön tuottavuus laski 1,2–1,3 m^3/tehotunnissa (2,4–2,6 paalia/tehotunnissa) (ajouranvarsitiheys 15 m^3 / 100 m). Kasojen laadun vaikutus oli pienempi kuin käytetyn kuormaustavan. Kasojen laadun merkitys (kasojen laadun huonontuessa hyvistä keskimääräisiin/huonoihin) oli 0,5–0,6 m^3/tehotunnissa (1,1–1,3 paalia/h) (ajouranvarsitiheys 15 m^3 / 100 m).



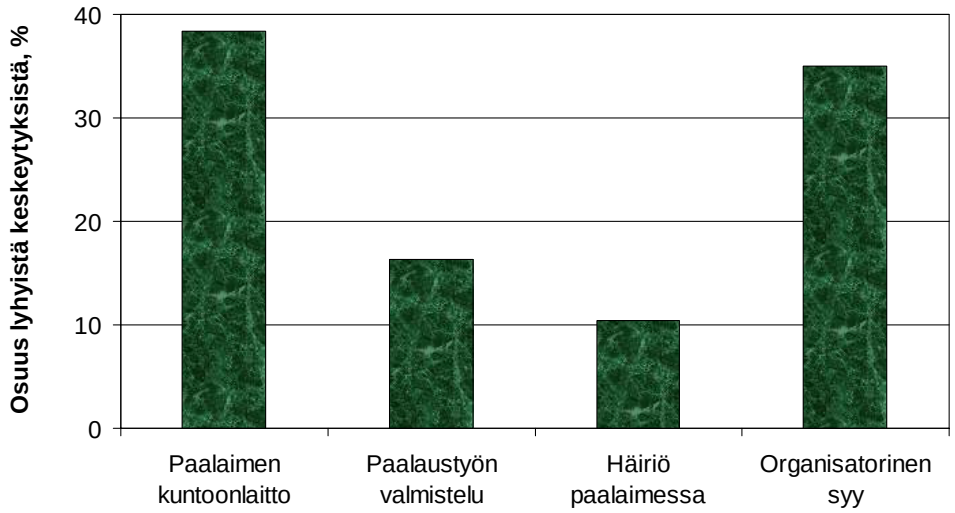


Kuva 31. Hakkuutähteiden paalauksen tehotuntituottavuus Timberjack-paalaimilla paalattaessa hakkuutähteitä hakkuutähdekasoista, jotka ovat hyviä ja keskimääräisiä/huonoja, ja kuormattaessa hakkuutähteitä paalaimeen yhdeltä ja kahdelta puolelta ajouraa. Hakkuutähteet hakattu molemmille puolille ajouraa.

3.3.1.8 Lyhyet keskeytykset

Lyhyitä keskeytyksiä paalauksen aikatutkimuksessa oli keskimäärin 11,6 % käyttöajasta. Koealoittain vaihteluväli oli suuri: 0,6–20,5 %. Kesällä ja talvella tehdyissä aikatutkimuksissa lyhyitä keskeytyksiä oli lähes yhtä paljon (kesä: 11,9 %; talvi: 11,4 % käyttöajasta).

Valtaosin lyhyet keskeytykset johtuivat paalaimesta (kuva 32). Yli kolmasosa lyhyistä keskeytyksistä aiheutui paalaimen kuntoon laittamisesta (esim. teräketjun kiristys tai vaihto). Lyhyistä keskeytyksistä 16 % johtui paalaustyötä valmistelevista toimenpiteistä (esim. paalausnarun lisääminen paalaimen sidontayksikköön). Häiriö paalaimessa (esim. tukos paalainyksikössä, teräketjun lähtö pois terälaipalta, paalausnarun katkeaminen) aiheutti joka kymmenen lyhyen keskeytyksen. Runsaan kolmasosan lyhyistä keskeytyksistä aiheutti organisatorinen syy (esim. urakanantajan tai koneyrittäjän soitto tai käynti tai metsänomistajan käynti työmaalla).

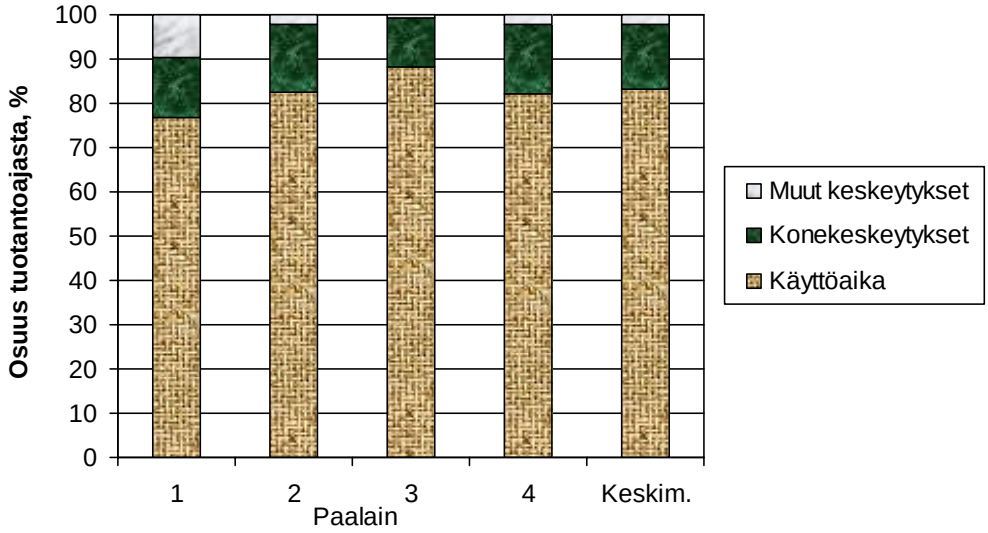


Kuva 32. Lyhyiden keskeytyksien syyt hakkuutähteiden paalauksen aikatutkimuksessa.

3.3.2 Seurantatutkimus

3.3.2.1 Tuotantoaika

Käyttöajan osuus tuotantoajasta oli keskimäärin 83,1 %. Käyttöajan osuus oli paalaimittain 76,8–88,2 %. Tuotantoajan jakautumista käyttöaikaan sekä yli 15 minuutin keskeytyksiin tarkasteltiin paalaimittain (kuva 33). Paalaimesta johtuvien keskeytyksien, eli huoltojen ja korjauksien osuus tuotantoajasta oli keskimäärin 14,6 %. Paalaimesta johtuvien keskeytysten osuus vaihteli paalaimittain 11,0–15,6 %. Muiden kuin paalaimesta johtuvien yli 15 minuutin keskeytysten osuus tuotantoajasta oli paalaimittain 0,8–9,6 %:n välillä ollen keskimäärin 2,3 %. Näihin kuuluivat kuljettajasta, yhteydenpidosta ja muusta syystä johtuvat keskeytykset. Kuljettajasta johtuvien keskeytysten osuus oli keskimäärin 40 %, yhteydenpidon 3 % ja muiden syiden 57 %.

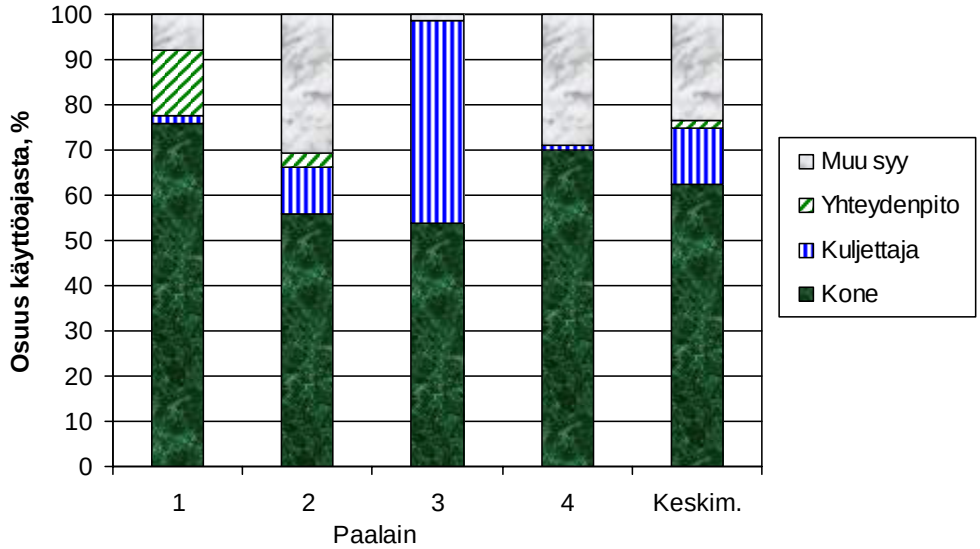


Kuva 33. Tuotantoajan rakenne paalaimittain ja keskimäärin.

3.3.2.2 Käyttöaika

Käyttöaika sisältää paalauksen tehoajan lisäksi lyhyet eli alle 15 minuutin keskeytykset. Lyhyiden keskeytysten osuus käyttöajasta oli keskimäärin 6,7 %. Lyhyiden keskeytysten osuus vaihteli paalaimittain 5,5–9,4 %:n välillä.

Lyhyet keskeytykset koostuivat paalaimesta, kuljettajasta, yhteydenpidosta ja muista syistä johtuvista keskeytyksistä. Kaikista lyhyistä keskeytyksistä keskimäärin 62,6 % oli paalaimesta, 12,2 % kuljettajasta, 1,6 % yhteydenpidosta ja 23,6 % muista syistä johtuvia. Lyhyiden keskeytysten jakautumista tarkasteltiin myös paalaimittain (kuva 34).



Kuva 34. Lyhyiden keskeytysten jakauma eri keskeytyssyihin paalaimittain ja keskimäärin.

3.3.2.3 Konekeskeytykset

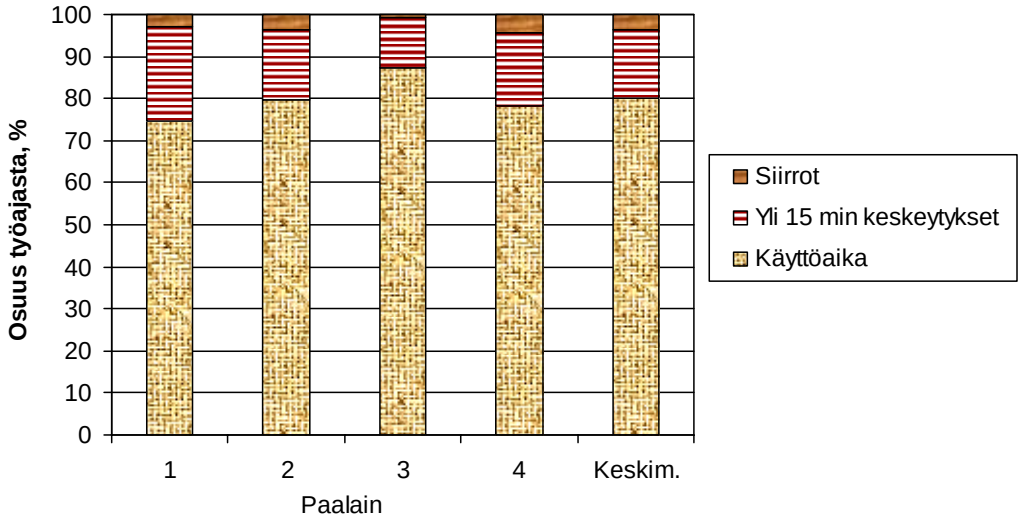
Paalaimista 1 ja 2 saatiin tietoa myös konekeskeytyksien syistä. Konekeskeytyksille saatiin selitykset 63 %:sta paalaimen 1 ja 83 %:sta paalaimen 2 kaikista konekeskeytyksistä. Tarkastelu sisältää sekä alle että yli 15 minuutin konekeskeytykset. Molemmilla paalaimilla noin neljäsosa konekeskeytyksistä johtui teräketjusta tai naruista. Teräketjulla keskeytykset aiheutuivat sen uudelleen paikalleen laitosta tai sen vaihdosta. Naruilla keskeytykset aiheutuivat narujen katkeamisesta, sotkeutumisesta tai niiden loppumisesta.

Yleiseen huoltoon eli paalaimen rasvaukseen ja puhdistukseen yms. molemmilla paalaimilla kului myös noin neljäsosa konekeskeytysajasta. Tankkaukseen kului 8–10 % ja peruskoneesta johtuviin korjauksiin 8–12 % keskeytysajasta. Paalaimen 2 keskeytysselityksissä oli paalainyksiköstä johtuviin keskeytyksiin kirjattu 13 % keskeytysajoista.

3.3.2.4 Työaika

Työaika kuvaa aikaa, joka kului hakkuutähteiden paalaukseen kaikkiaan. Työaika sisältää käyttöajan, pitkät keskeytykset ja siirrot. Korjaamoajasta tutkimuksessa ei saatu tietoa.

Työajan osuus kokonaisajasta oli keskimäärin 32 %. Siirtojen osuus työajasta oli keskimäärin 3,5 %. Tuotantoajan osuus työajasta oli paalaimittain 95,5–99,2 %. Työajan rakenne paalaimittain sekä keskimäärin on esitetty kuvassa 35.



Kuva 35. Työajan rakenne paalaimittain sekä keskimäärin.

3.3.2.5 Siirrot

Tietoa siirtoajoista saatiin 61 % kaikista seurantaan osuneita työmaista. Paalaimista 2 ja 4 siirron ajanmenekistä saatiin tieto 81 ja 73 % työmaista. Paalaimista 1 ja 3 tietoja siirron ajanmenekistä saatiin vain muutamalta työmaalta. Paalainten 2 ja 4 siirtojen keskimääräinen osuus työajasta oli 4 %.

Paalainten siirtomatkoista tietoja saatiin kaikkiaan 60 % kaikista työmaista. Työmaiden välinen siirtomatka oli keskimäärin 20,0 km ja siirtoaika 1,3 tuntia. Työmaiden välinen siirtomatka vaihteli muutamasta sadasta metristä jopa 150 kilometriin.

3.3.2.6 Käyttöasteet

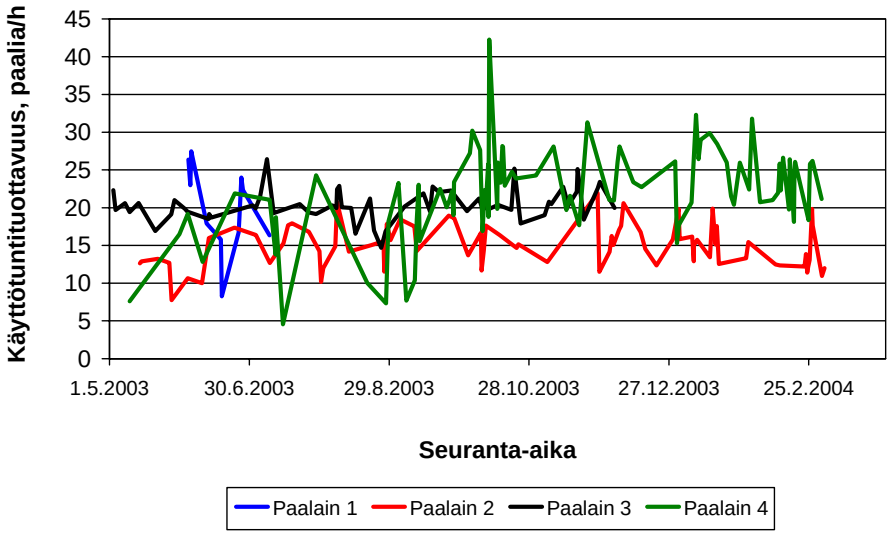
Käyttöasteet laskettiin paalaimittain sekä keskimäärin. Työajalla painotettu tekninen käyttöaste oli keskimäärin 82,4 % ja toiminnallinen käyttöaste 77,9 %. Paalaimittain tekninen käyttöaste oli 81,5–86,3 %. Toiminnallinen käyttöaste oli paalaimittain 72,6–84,9 %. Paalaimella 3 toiminnallinen käyttöaste nousi muita korkeammaksi osin vähäisten siirtoaikatietojen vuoksi. Käyttöasteiden laskennassa puuttuva korjaamoaikatieto korvattiin käyttämällä laskelmissa hakkuukoneille ja metsätraktoreille määritettyä keskimääräistä korjaamoaikaa (Kuitto ym. 1994).

3.3.2.7 Käyttötuntituottavuus

Tuottavuudet laskettiin seurantajakson mukaisina pitkän ajan tuottavuuksina erikseen kuljettajille, paalaimille sekä kaikille paalaimille keskimäärin. Seurantatutkimuksessa tuottavuutta tarkasteltiin ensisijaisesti käyttötunnissa tehtyjen paalien määrällä. Paalaimelta 4 ei pystytty laskemaan kuljettajakohtaisia tuottavuuksia ajalta 8.5.2003–9.9.2003 puuttuvien työvuorotuotostietojen vuoksi.

Tieto paalauksen tuottavuudesta saatiin kaikkiaan 307 leimikosta. Kaikkien kohteiden ja paalainten perusteella laskettu hakkuutähteiden paalauksen keskimääräinen käyttötuntituottavuus oli 18,1 paalia/h. Paalaimittain käyttötuntituottavuus oli keskimäärin 14,9–20,6 paalia/h. Työvuorokohtainen paalauksen käyttötuntituottavuus oli keskimäärin 10–25 paalia/h. Tuotantotuntituottavuus oli keskimäärin 14,9 paalia/h. Tuotantotuntituottavuus oli paalaimittain keskimäärin 12,3–18,1 paalia/h. Kuljettajittain työmaakohtainen käyttötuntituottavuus oli keskimäärin 13,2–26,1 paalia/h. Parhaimmillaan työmaan keskimääräinen käyttötuntituottavuus oli 42,3 paalia/h.

Tuottavuus vaihteli melkoisesti paalaimittain sekä leimikoittain (kuva 36). Paalaimilla 2 ja 4 on nähtävissä hienoista tuottavuuden kasvua seuranta-ajan kuluessa. Seurannan alkaessa molemmissa näissä paalaimissa kuljettajana oli henkilö, jolla oli kokemusta paalaustyöstä vasta muutaman kuukauden ajalta. Paalaimen 3 kuljettajalla oli noin 3,5 vuoden kokemus paalaustyöstä tutkimuksen alkaessa. Hänen tuottavuustasonsa pysyi samana läpi seurantatutkimuksen.



Kuva 36. Leimikkokohtainen käyttöaikatuottavuus paalaimittain seuranta-aikana.

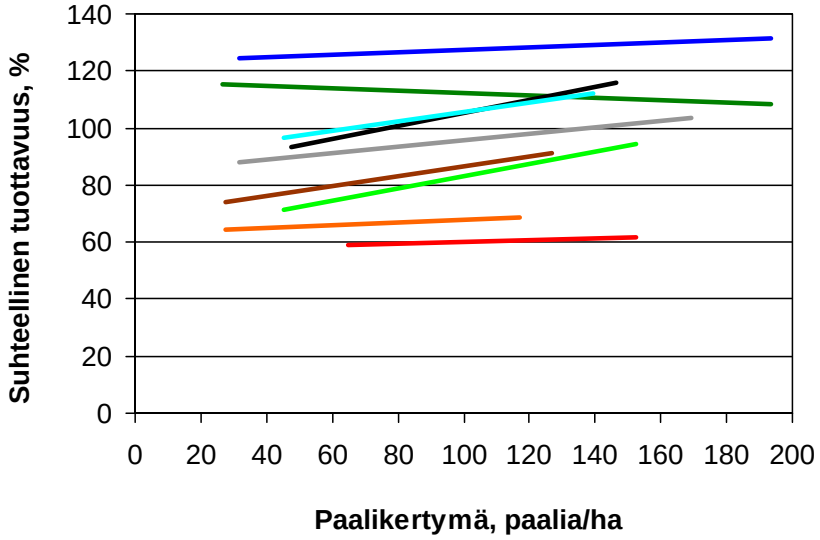
Paalainten tuottavuutta tarkasteltiin myös tehtyinä kuutiometreinä. Kuutiometripohjaisen tuottavuuden määrittämisessä käytettiin aikatutkimuksessa määritettyjä paalainkohtaisia paalin keskikokoja. Paalaimen 1 paalin keskikokona käytettiin 0,49 m^3, 0,54 m^3 paalaimella 2, 0,54 m^3 paalaimella 3 ja 0,43 m^3 paalaimella 4. Tarkastelu kuutiometrimäärinä ei ole täysin luotettavaa, koska ei ole tarkkaa konekohtaista tietoa tehtyjen paalien koosta ja sen vaihtelusta työmaittain. Myös yksittäisellä kuljettajalla saattoi olla vaikutusta tehtyjen paalien kokoon. Kuutiometreinä paalauksen käyttötuntituottavuus oli keskimäärin 9,1 m^3/h. Paalaimittain käyttötuntituottavuus oli 8,0–11,0 m^3/h.

3.3.2.8 Kuljettajan ja korjuuolojen vaikutus tuottavuuteen

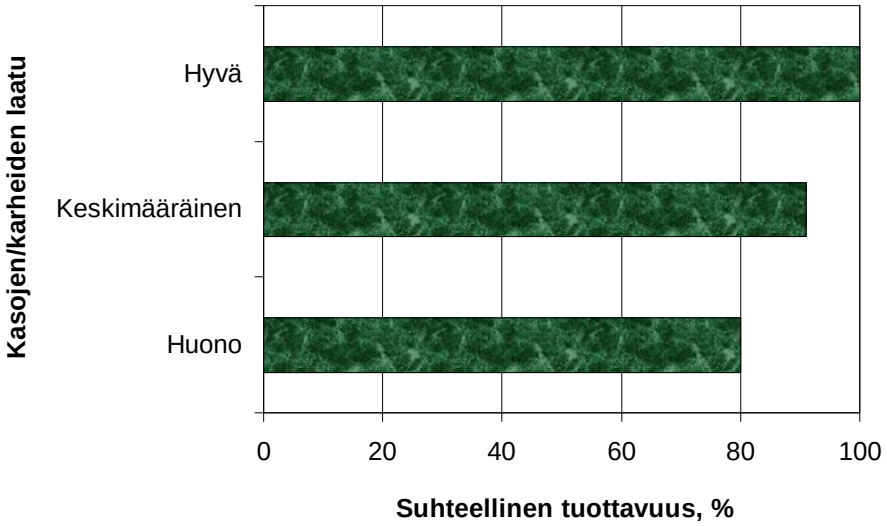
Kuljettajalla oli erittäin merkitsevä vaikutus paalauksen tuottavuuteen. Työmaan korjuuolojen vaikutusta tuottavuuteen tarkasteltiin kuljettajittain. Kuljettajakohtaisessa tarkastelussa oli mukana 12 kuljettajaa neljältä paalaimelta. Paalaimen 1 tarkastelua haittasi työmaiden vähyys. Korjuuolojen vaikutus tuottavuuteen vaihteli kuljettajittain. Yksittäisillä kuljettajilla merkitseviksi tekijöiksi osoittautuivat alikasvoksen määrä, kasojen ja karheiden kunto, hehtaarikohtainen paalikertymä (kuva 37) sekä kuusen ja männyn hehtaarikohtaiset ainespuukertymät. Tarkastelussa ei tullut esiin yksiselitteistä tekijää, joka näyttäisi vaikuttavan paalauksen tuottavuuteen kaikilla kuljettajilla.

Kolmella kuljettajalla alikasvoksen määrä osoittautui tuottavuuteen vaikuttavaksi tekijäksi. Heillä runsas alikasvos alensi tuottavuutta. Hakkuutähdemuodostelmien kunto osoittautui viidellä kuljettajalla tuottavuuteen vaikuttavaksi tekijäksi. Heillä kasojen kunnon huonontuminen laski tuottavuutta.

Yhdellä kuljettajalla (paalaimen 3 kuljettaja) kasojen kunnon merkitys osoittautui erittäin merkitseväksi. Kuvassa 38 on esitetty kasojen ja karheiden kunnon vaikutus paalauksen tuottavuuteen.



Kuva 37. Paalikertymän vaikutus paalauksen käyttötuntituottavuuteen kuljettajittain. Tuottavuustaso 100 = keskimääräinen tuottavuus.



Kuva 38. Hakkuutähdekasojen ja -karheiden kunnon vaikutus paalauksen tuottavuuteen. Käyttötuntituottavuus 100 = 20,1 paalia/h.

- Hyväkuntoisten kasojen ja karheiden päältä ei ollut ajettu ja hakkuutähteet olivat kasoissa ja karheissa samansuuntaisesti.
- Paalaustyömailla, joissa kasat ja karheet olivat keskimääräisiä, pääosa kasoista ja karheista oli hyviä, mutta osa myös huonoja.
- Huonokuntoisten kasojen ja karheiden päältä oli ajettu ja/tai hakkuutähteet eivät olleet yhdensuuntaisesti kasoissa ja karheissa.

Kuljettajakohtaisessa tarkastelussa korjuuolojen vaikutuksesta tuottavuuteen kolmella kuljettajalla tuottavuuteen vaikuttavana tekijänä oli kuusen hehtaarikohtainen hakkuukertymän määrä. Heillä kuusen hehtaarikohtaisen ainespuukertymän kasvaessa tuottavuus kasvoi. Yhdellä kuljettajalla oli havaittavissa, että männyn hehtaarikohtaisen hakkuukertymän kasvaessa tuottavuus laski. Neljällä kuljettajalla tuottavuus korreloi paalikertymän kanssa. Hehtaarikohtaisella paalikertymällä tarkasteltiin kohteelta talteen saadun hakkuutähteen määrää. Oletuksena oli, että kohteella oleva hakkuutähteenmäärä oli sidoksissa sieltä tehtyjen paalien määrään. Toisin sanoen paalattavan hakkuutähteen määrän lisääntyessä tuottavuus parani näillä kuljettajilla.

3.3.2.9 Seurantakerroin

Seurantakerroin laskettiin sekä aikatutkimuksessa että seurantatutkimuksessa olleiden kuljettajien 22, 31 ja 41 aika- ja seurantatutkimusaikojen perusteella. Aikatutkimusajoista kuljettajakohtainen käyttöaika (min/paali) laskettiin kuljettajakohtaisen tehoajan ja aikatutkimuksessa keskimäärin olleiden lyhyiden keskeytysten (11,6 %) perusteella. Seurantatutkimusaineistoista laskettiin kullekin kuljettajalle keskimääräinen käyttöaika. Kuljettajakohtainen seurantakerroin saatiin jakamalla seurantatutkimuksen käyttöaika aikatutkimuksen käyttöajalla. Keskimääräinen seurantakerroin saatiin kuljettajakohtaisten seurantakertoimien keskiarvona. Kuljettajakohtaiset kertoimet sekä keskimääräinen seurantakerroin on esitetty taulukossa 13.

TAULUKKO 13 Paalauksen seurantakertoimen määritys.

Kuljettaja	Käyttöajanmenekki, min/paali		Kerroin
	Aikatutkimus	Seurantatutkimus	
22	2,64	3,89	1,470
31	2,57	2,95	1,148
41	2,06	2,48	1,203
			Seurantakerroin = 1,274

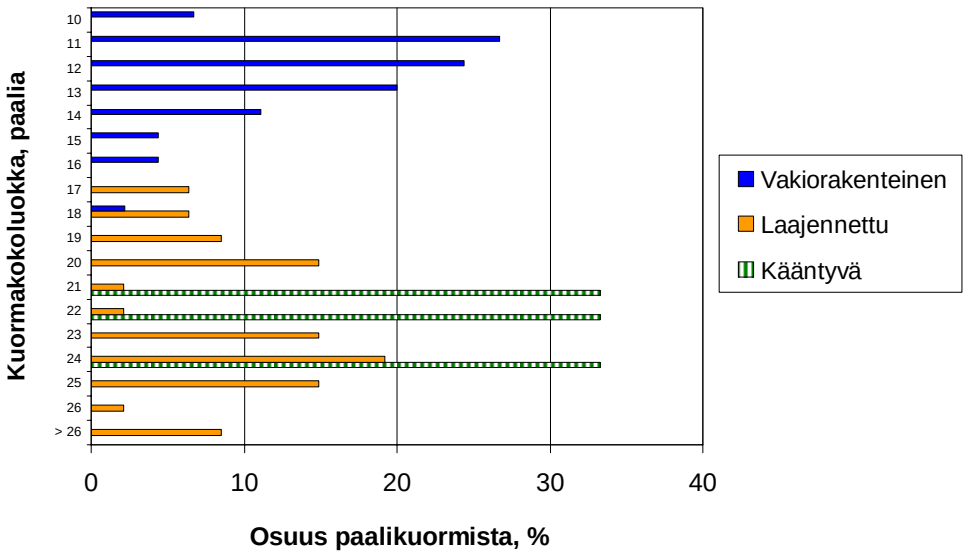
3.4 Paalikuormien koot

3.4.1 Aikatutkimus

Kuljetettaessa paaleja vakiorakenteisilla metsätraktoreilla kuormaan mahtui yksi paalirivi (ks. kuvat 7 ja 8). Vakiorakenteisen metsätraktorin kuorman keskikoko oli 12,5 paalia. Yleisimmin vakiorakenteisella metsätraktorilla kuljetetuissa kuormissa oli 11–13 paalia (kuva 39). Suurimmassa vakiorakenteisella metsätraktorilla kuljetetussa kuormassa oli 18 paalia.

Kun metsätraktorin kuormatila oli laajennettu, kuormaan mahtui kaksi paaliriviä (ks. kuvat 9 ja 10). Yhdellä koealalla paaleja kuljetettiin metsätraktorilla, jossa kuormatila oli laajennettu, mutta kuormatila ei ollut riittävän pitkä kahdelle paaliriville. Tällä metsätraktorilla kuljetettiin neljä paalikuormaa, joissa kaikissa oli 17 paalia. Kuormat oli täytetty siten, että kuorman keskellä oli yksi paalirivi ja sen kummassakin päässä 3–4 paalia poikittain.

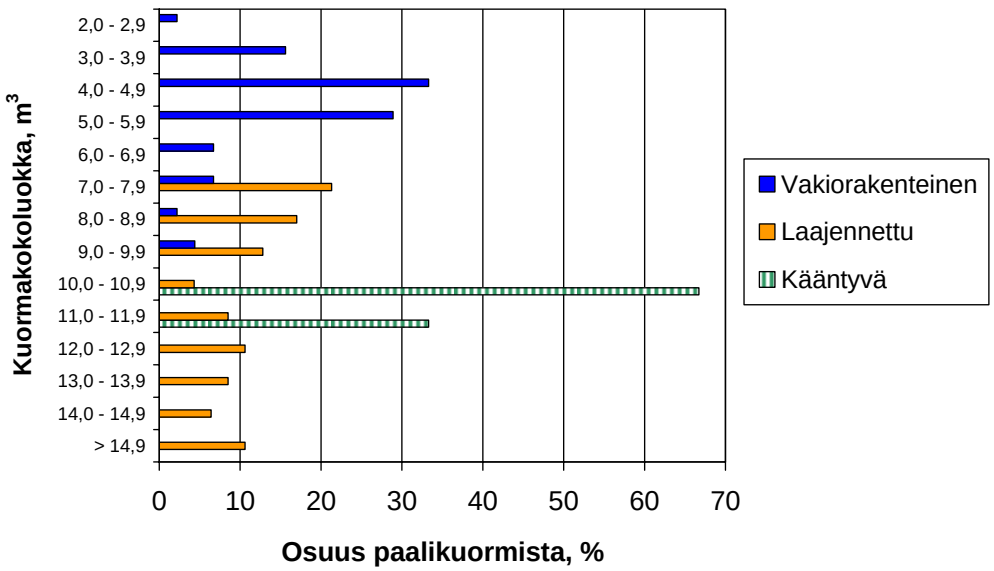
Keskiraskailla laajennetulla kuormatilalla varustetuilla metsätraktoreilla, joissa oli kaksi paaliriviä ja jotka olivat täysiä, kuorman keskikoko oli 19,0 paalia. Vaihteluväli kuormakooissa oli 17–20 paalia/kuorma. Raskaalla laajennetulla metsätraktorilla kuorman keskikoko oli 25,4 paalia. Vaihteluväli kuormakooissa oli suurta: 17–38 paalia/kuorma. Kääntyvällä kuormatilalla varustetulla Pika 828 Combi -korjurilla (Pika RS 2000 -paalaimen peruskone) kuljetettiin vain kolme kuormaa; kuormien koko oli 21–24 paalia.



Kuva 39. Vakiorakenteisella metsätraktorilla sekä laajennetulla ja kääntyvällä kuormatilalla varustetuilla metsätraktoreilla kuljetetut paalikuormat (paalia/kuorma).

Kun tarkastellaan kuutiometripohjaisia paalikuormia, vakiorakenteisella metsätraktorilla kuljetettiin keskimäärin 5,2 m^3:n paalikuormia (kuva 40). Keskiraskaalla laajennetulla kuormatilalla varustetulla metsätraktorilla paalikuormat, jotka olivat täysiä ja joissa oli kaksi paaliriviä, olivat kooltaan keskimäärin 65 % suurempia (8,6 m^3) kuin vakiorakenteisen metsätraktorin kuormat. Raskaalla kuormatilaltaan laajennetulla metsätraktorilla kuormakoko oli keskimäärin 12,5 m^3. Suurimmat raskaalla laajennetulla kuormatilalla varustetulla metsätraktorilla kuljetetut paalikuormat olivat 20–22 m^3. Kääntyvä kuormatilaisella Pika 828 -korjurilla kuljetettiin keskimäärin 10,7 m^3:n kuormia.

Painoltaan vakiorakenteisilla metsätraktoreilla kuljetetut paalikuormat olivat keskimäärin 4,1 tonnia (vaihteluväli: 2,2–8,7 tonnia). Keskiraskailla laajennetulla kuormatilalla varustetuilla metsätraktoreilla kuljetetut paalikuormat painoivat keskimäärin 6,6 tonnia (5,0–9,0 tonnia). Raskaalla laajennetulla metsätraktorilla paalikuormien keskikoko oli 10,7 tonnia (4,9–19,9 tonnia). Energiasisällöltään vakiorakenteisella metsätraktorilla kuljetetuissa paalikuormissa oli keskimäärin 11,3 MWh/kuorma ja laajennetulla kuormatilalla varustetulla keskiraskaalla metsätraktorilla keskimäärin 19,1 MWh/kuorma ja raskaalla metsätraktorilla keskimäärin 25,2 MWh/kuorma.



Kuva 40. Vakiorakenteisella metsätraktorilla sekä laajennetulla ja kääntyvällä kuormatilalla varustetuilla metsätraktoreilla kuljetetut paalikuormat (m^3/kuorma).

3.4.2 Seurantatutkimus

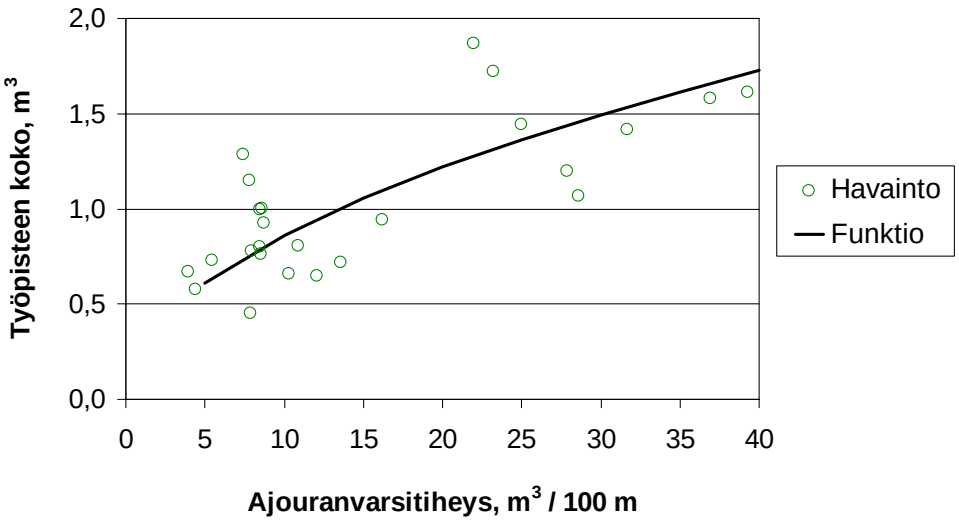
Seurantatutkimuksessa oli mukana vain metsätraktoreita, joissa oli laajennettu kuormatila. Keskimääräinen kuormakoko voitiin määrittää 55 työmaalle. Metsätraktoreille 31 ja 41 ei voitu määrittää kuormakokoja puuttuvien paalitietojen vuoksi. Kuormakoko määritettiin myös kuutiometreinä. Paalin kokona käytettiin paalauksen aikatutkimuksessa kyseisten paalaimien keskimääräisiä paalin kokoja. Kuormakoko oli keskimäärin 24 paalia eli 12,1 m^3. Metsätraktorilla 21 keskimääräinen kuormakoko oli 27 paalia (14,5 m^3), metsätraktorilla 22 keskimäärin 29 paalia (15,9 m^3) ja metsätraktorilla 42 keskimäärin 20 paalia (8,4 m^3).

3.5 Paalien metsäkuljetuksen tuottavuus

3.5.1 Aikatutkimus

3.5.1.1 Kuormaus

Kuvassa 41 on esitetty paalatun hakkuutähteen ajouranvarsitiheyden vaikutus työpisteiden kokoon. Ajouranvarsitiheys on laskettu jakamalla kuljetettu paalimäärä kuormausajossa ajettua sataa metriä kohden. Työpisteen keskikoko oli paalien metsäkuljetuskoealoilla keskimäärin 0,97 m^3. Keskimääräinen ajouranvarsitiheys metsäkuljetuskoealoilla oli 15,4 m^3 / 100 m. Työpisteen koko voitiin määrittää kaavalla 15.

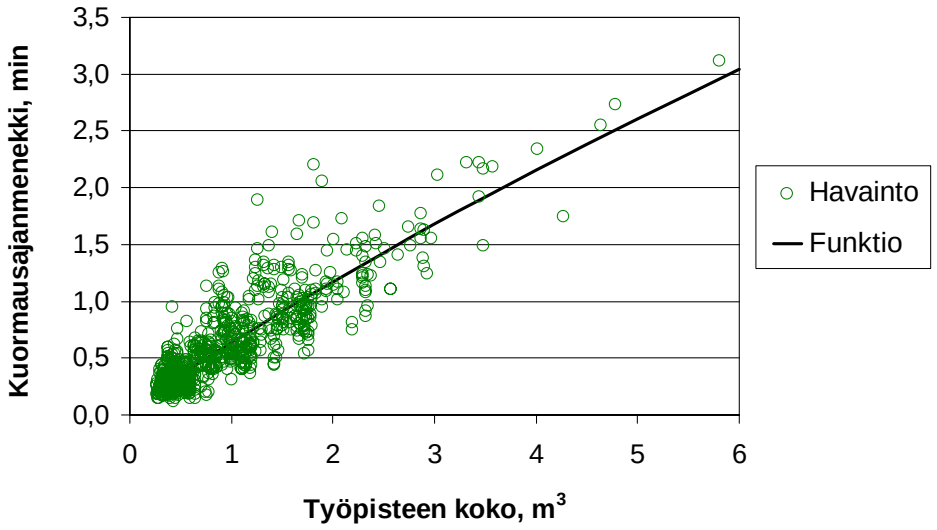


Kuva 41. Ajouranvarsitiheyden vaikutus työpisteiden kokoon.

$$y = 0{,}2727x^{0{,}5} \qquad [15]$$

missä
y = työpisteen koko, m^3
x = ajouranvarsitiheys, m^3 / 100 m
$R^2 = 0{,}94$

Työpisteen koolla oli vuorostaan merkittävä vaikutus työpisteellä käytettyyn kuormausaikaan (kuva 42). Käytetyllä kouralla (tavallinen puutavarakoura / hakkuutähdekoura) ei ollut merkittävää vaikutusta varsinaisen kuormauksen ajanmenekkiin. Varsinainen kuormausajanmenekki voidaan esittää kaavalla 16. Varsinaisen kuormausajanmenekin lisäksi kuormauksen apuaikoihin (kuorman järjestelyt ja työn suunnittelu) kului aikaa keskimäärin 0,02 min/m^3. Kuormauksessa taakassa oli aina vain yksi paali.



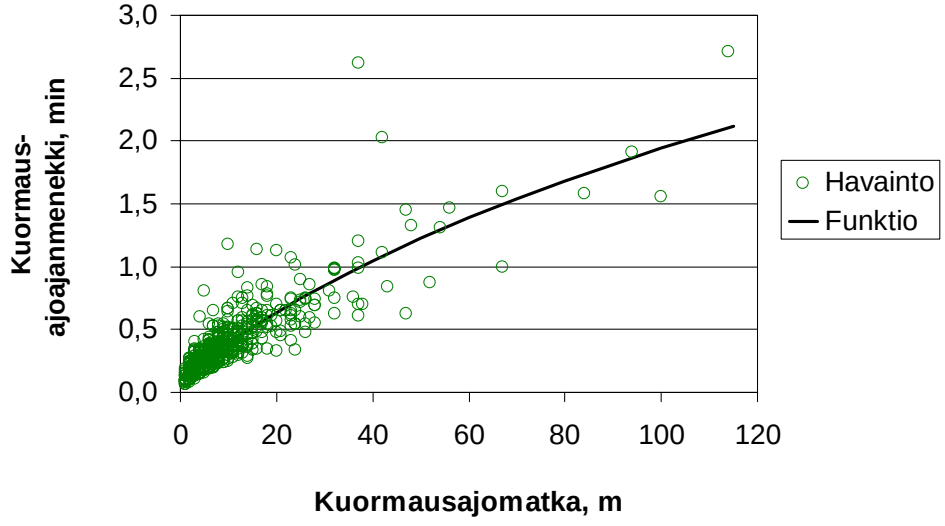
Kuva 42. Työpisteen koon vaikutus varsinaiseen kuormausajanmenekkiin.

$$y = -24{,}4052 + 8{,}9719 \times LN(x + 15{,}3049) \qquad [16]$$

missä
y = varsinainen kuormausajanmenekki työpisteessä, min
x = työpisteen koko, m^3
$R^2 = 0{,}92$

3.5.1.2 Kuormausajo

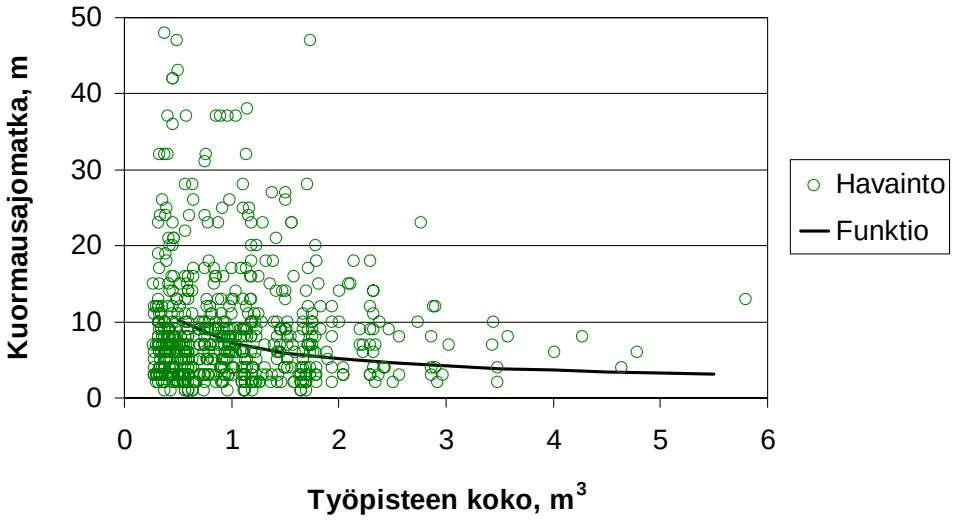
Keskimääräinen kuormausajomatka paalien metsäkuljetuksen aikatutkimuksessa oli 10,0 m, ja aikaa yhteen kuormausajosiirtoon meni 0,37 min. Kuvassa 43 on esitetty kuormausajoajanmenekki kuormausajomatkan funktiona (kaava 17).



Kuva 43. Kuormausajomatkan vaikutus kuormausajoaikaan.

$y = -8{,}6699 + 2{,}0646 \times LN(x + 70{,}6716)$ [17]
missä
y = varsinainen kuormausajoajanmenekki, min
x = kuormausajomatka, m
$R^2 = 0{,}75$

Kuormausajomatka oli puolestaan riippuvainen työpisteiden kooista (kuva 44, kaava 18): mitä suuremmat työpisteet olivat, sitä vähemmän kuormausajoa oli tehtävä. Varsinaisen kuormausajoajanmenekin lisäksi kuormausajon valmisteluihin ja päättämisiin kului keskimäärin 0,08 min/kerta. Näitä apuaikoja esiintyi keskimäärin 18 %:ssa kuormausajokerroista.

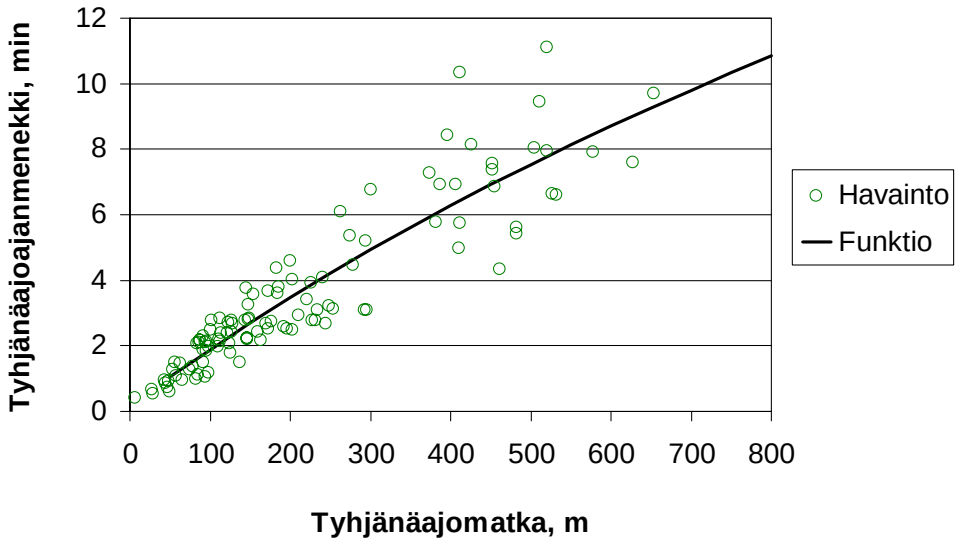


Kuva 44. Työpisteiden koon vaikutus kuormausajomatkaan.

$y = 7{,}2436 / x^{0{,}5}$ [18]
missä
y = kuormausajomatka, m
x = työpisteen koko, m^3
$R^2 = 0{,}54$

3.5.1.3 Tyhjänäajo

Keskimääräinen tyhjänäajomatka paalien metsäkuljetuksen aikatutkimuksessa oli 214 m. Aikaa yhteen tyhjänäajokertaan meni keskimäärin 3,5 min. Kuvassa 45 on havainnollistettu tyhjänäajomatkan vaikutus varsinaiseen tyhjänäajoajanmenekkiin (kaava 19). Varsinaisen tyhjänäajoajanmenekin lisäksi tyhjänäajon valmisteluihin ja päättämisiin meni aikaa keskimäärin 0,19 min/kerta. Tyhjänäajon apuaikoja esiintyi 69 %:ssa ajokerroista.



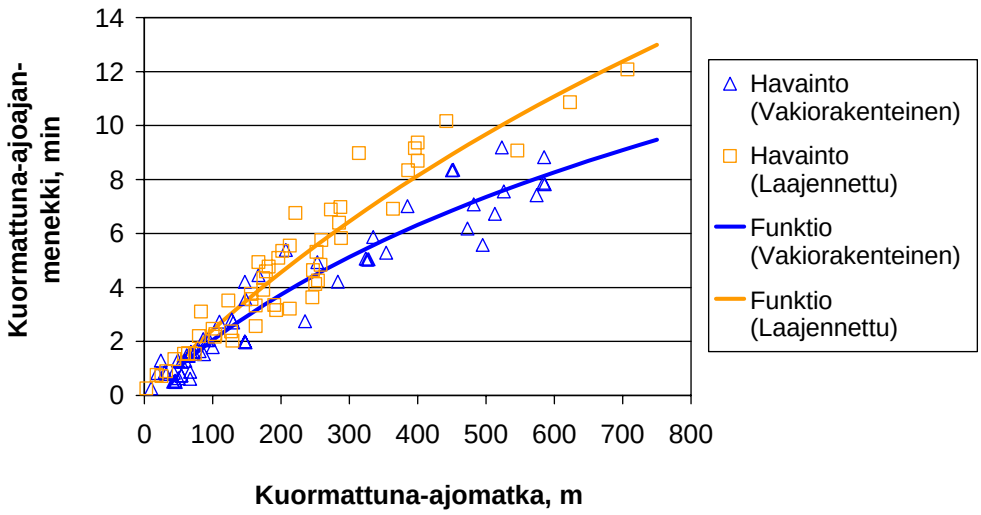
Kuva 45. Tyhjänäajomatkan vaikutus tyhjänäajoajanmenekkiin.

$$y = -124{,}4531 + 18{,}0638 \times LN(x + 990{,}633) \qquad [19]$$

missä
y = tyhjänäajoajanmenekki, min
x = tyhjänäajomatka, m
$R^2 = 0{,}84$

3.5.1.4 Kuormattuna-ajo

Keskimääräinen kuormattuna-ajomatka aikatutkimuksissa oli 221 m, ja aikaa yhteen kuormattuna-ajokertaan kului keskimäärin 4,2 min. Kuormattuna-ajomatkan vaikutus varsinaiseen kuormausajoaikaan on esitetty kuvassa 46. Varsinainen kuormattuna-ajoajanmenekki oli selvästi isompi metsätraktoreilla, joissa oli laajennettu kuormatila, kuin vakiorakenteisilla metsätraktoreilla (kaavat 20 ja 21). Varsinaisen kuormausajoajan lisäksi aikaa meni kuormattuna-ajon valmisteluihin ja päättämisiin keskimäärin 0,16 min/kerta. Valmistelua ja päättämisiä esiintyi 66 %:ssa kuormattuna-ajokerroista.



Kuva 46. Kuormattuna-ajomatkan vaikutus kuormattuna-ajoajanmenekkiin vakiorakenteisilla metsätraktoreilla ja metsätraktoreilla, joissa oli laajennettu kuormatila.

<u>Vakiorakenteinen metsätraktori</u>:

$$y = -46{,}7377 + 8{,}0488 \times LN(x + 329{,}086) \qquad [20]$$

missä

y = varsinainen kuormattuna-ajoajanmenekki, min

x = kuormattuna-ajomatka, m

$R^2 = 0{,}93$

<u>Laajennetulla kuormatilalla varustettu metsätraktori</u>:

$$y = -106{,}841 + 16{,}5735 \times LN(x + 630{,}318) \qquad [21]$$

missä

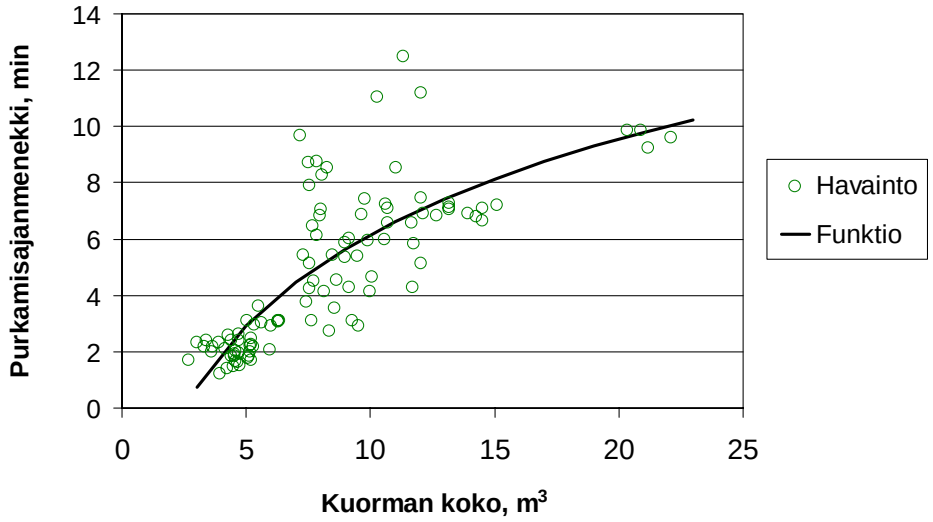
y = varsinainen kuormattuna-ajoajanmenekki, min

x = kuormattuna-ajomatka, m

$R^2 = 0{,}91$

3.5.1.5 Purkaminen

Purkamisessa taakassa oli lähes aina yksi paali. Muutamissa purkamistaakoissa oli kaksi paalia. Kuvassa 47 on esitetty varsinainen purkamisajanmenekki purettavan kuormakoon funktiona (kaava 22).



Kuva 47. Varsinainen purkamisajanmenekki purettavan kuormakoon funktiona.

$$y = -6{,}1060 + 5{,}1620 \times LN(x + 0{,}7604) \qquad [22]$$

missä
y = varsinainen purkamisaika, min
x = kuorman koko, m^3
$R^2 = 0{,}84$

Metsätraktorissa olleella kouratyypillä (tavallinen puutavarakoura / hakkuutähdekoura) ei ollut merkittävää vaikutusta purkamisen ajanmenekkiin. Tavallisella puutavarakouralla varsinainen purkamisajanmenekki oli 0,58 ja hakkuutähdekouralla 0,59 min/m^3. Keskimäärin varsinaiseen purkamiseen aikaa kului 0,58 min/m^3. Varsinaisen purkamisajanmenekin lisäksi apuaikoihin (varastokasan järjestelyt) kului aikaa keskimäärin 0,01 min/m^3.

3.5.1.6 Tehoajanmenekki ja sen rakenne

Kuvassa 48 on esitetty paalien metsäkuljetuksen tehoajanmenekki vakiorakenteisella ja kuormatilaltaan laajennetulla raskaalla metsätraktorilla, kun metsäkuljetusmatka on 250 m ja ajouranvarsitiheys 15 m^3 / 100 m. Kuormakoko on tutkimuksessa toteutunut (vakiorakenteinen metsätraktori: 5,2 m^3 ja laajennetulla kuormatilalla varustetulla raskaalla metsätraktorilla: 12,5 m^3). Kuvassa 49 on esitetty paalien metsäkuljetuksen tehoajanmenekin rakenne. Tehoajanmenekki määritettiin kaavalla 23:

$y = (x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5) / k$ [23]

missä

y = paalien metsäkuljetuksen tehoajanmenekki, min/m^3

x_1 = tyhjänäajoajanmenekki valmisteluineen ja päättämisineen, min

x_2 = kuormausajanmenekki apuaikoineen, min

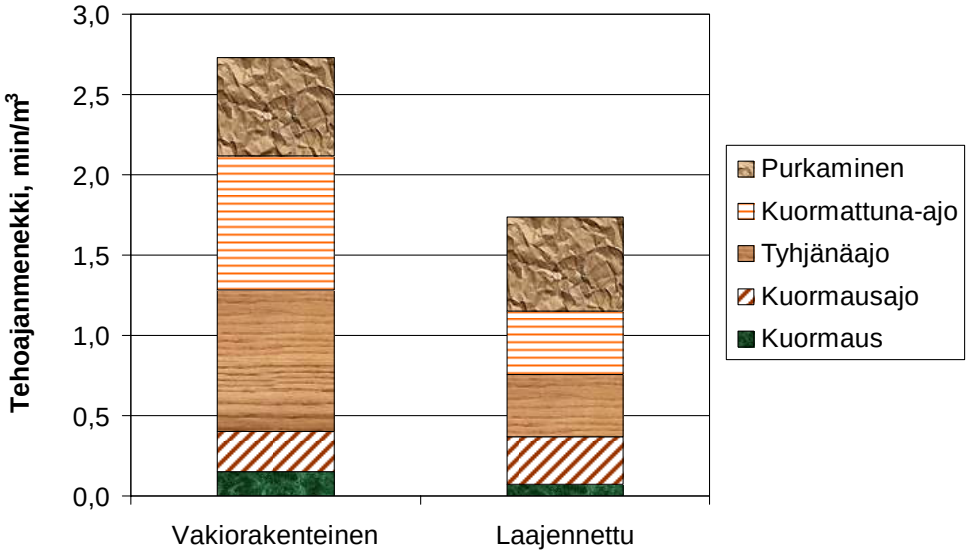
x_3 = kuormausajoajanmenekki valmisteluineen ja päättämisineen, min

x_4 = kuormattuna-ajoajanmenekki valmisteluineen ja päättämisineen, min

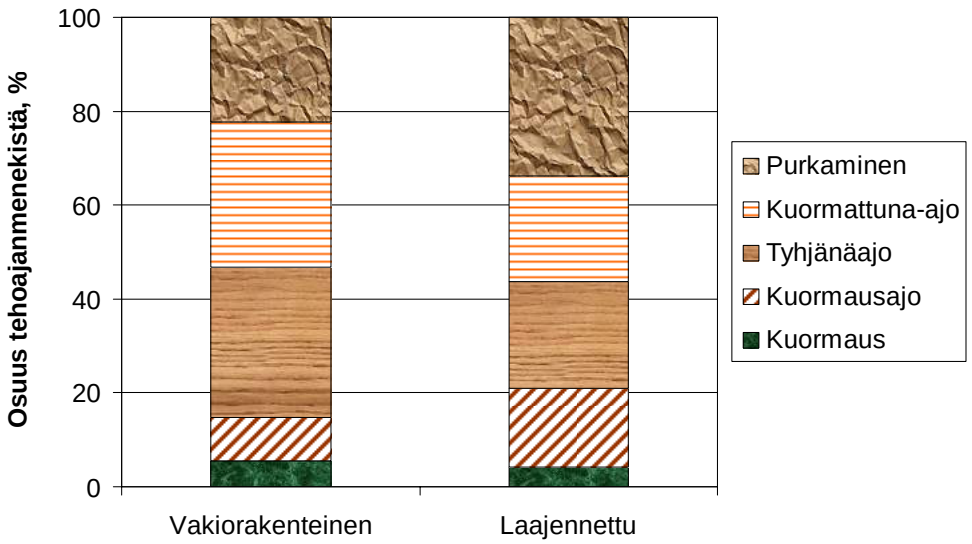
x_5 = purkamisajanmenekki apuaikoineen, min

k = kuorman koko, m^3

Pienestä kuormakoosta johtuen vakiorakenteisella metsätraktorilla kului aikaa suhteellisen paljon tyhjänä- ja kuormattuna-ajoihin (kuvat 48 ja 49). Laajennetulla kuormatilalla varustetulla metsätraktorilla purkamiseen meni yli kolmannes tehoajanmenekistä. Kääntyvällä kuormatilalla varustetulle metsätraktorille ei tehty tehoajanmenekin mallinnusta, koska siinä kuorman koko oli hyvin lähellä laajennetulla kuormatilalla varustettua metsätraktoria.



Kuva 48. Paalien metsäkuljetuksen tehoajanmenekki vakiorakenteisella ja kuormatilaltaan laajennetulla raskaalla metsätraktorilla. Metsäkuljetusmatka 250 m, ajouranvarsitiheys 15 m^3 / 100 m ja kuormakoko tutkimuksessa toteutunut (vakiorakenteinen metsätraktori: 5,2 m^3 ja laajennetulla kuormatilalla varustettu raskas metsätraktori: 12,5 m^3).

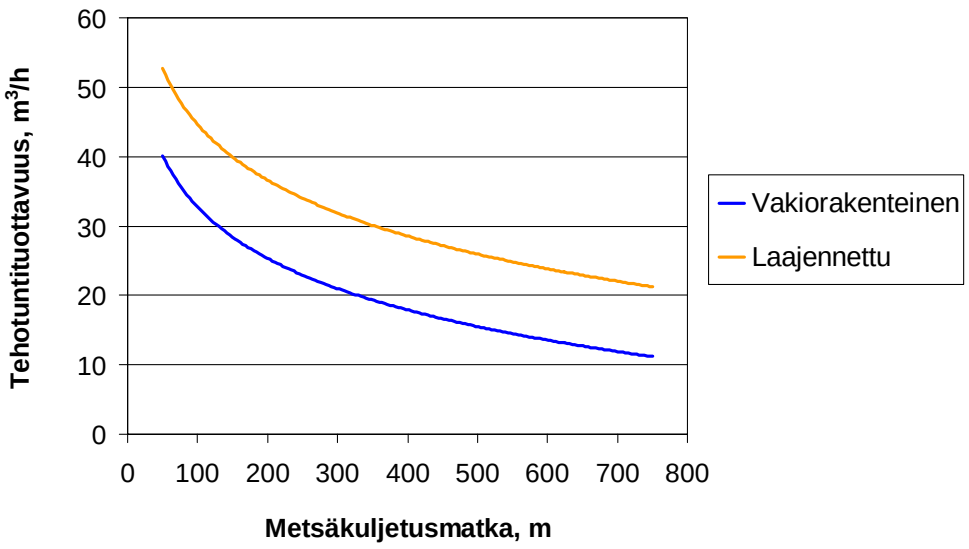


Kuva 49. Paalien metsäkuljetuksen tehoajanmenekin rakenne vakiorakenteisella ja kuormatilaltaan laajennetulla raskaalla metsätraktorilla. Metsäkuljetusmatka 250 m, ajouranvarsitiheys 15 m^3 / 100 m ja kuormakoko tutkimuksessa toteutunut (vakiorakenteinen metsätraktori: 5,2 m^3 ja laajennetulla kuormatilalla varustettu raskas metsätraktori: 12,5 m^3).

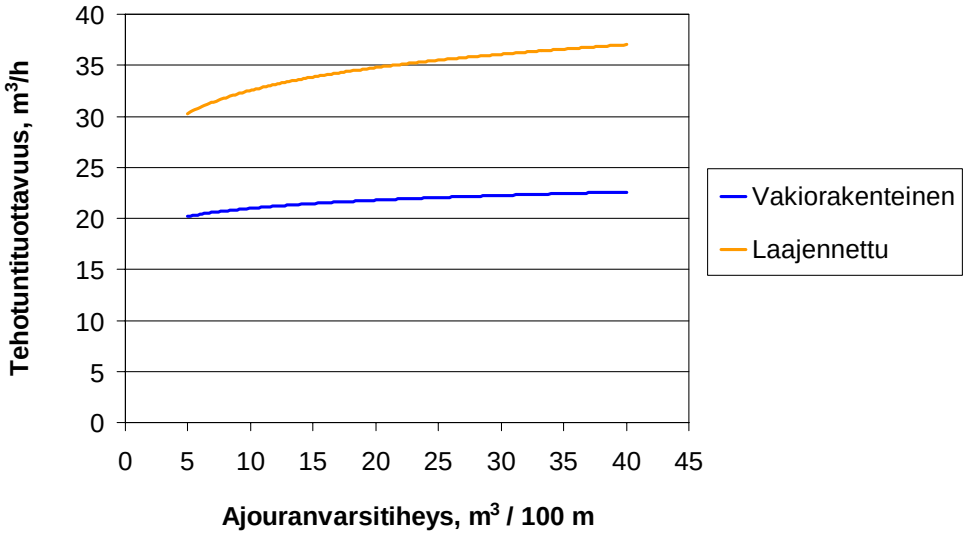
3.5.1.7 Tehotuntituottavuus

Kuvissa 50–52 on esitetty paalien metsäkuljetuksen tehotuntituottavuus metsäkuljetusmatkan, ajouranvarsitiheyden sekä kuormakoon funktiona. Kuvista nähdään, että metsäkuljetusmatkalla ja kuormakoolla oli suurin vaikutus paalien metsäkuljetuksen tuottavuuteen. Ajouranvarsitiheyden vaikutus oli sen sijaan vähäisempi.

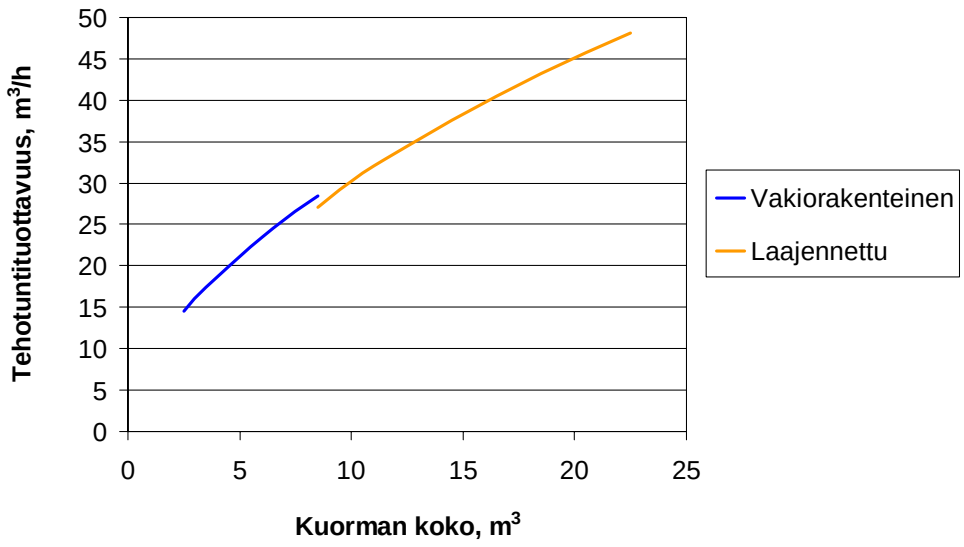
Metsäkuljetusmatkan ollessa 250 m ja ajouranvarsitiheyden 15 m^3 / 100 m paalien metsäkuljetuksen tehotuntituottavuus oli 22,0 m^3/h vakiorakenteisella metsätraktorilla ja 34,5 m^3/h raskaalla kuormatilaltaan laajennetulla metsätraktorilla. Metsäkuljetusmatkan kasvaessa tuottavuusero vakiorakenteisen ja kuormatilaltaan laajennetun metsätraktorin välillä kasvoi.



Kuva 50. Metsäkuljetusmatkan vaikutus paalien metsäkuljetuksen tehotuntituottavuuteen. Ajouranvarsitiheys 15 m^3 / 100 m ja kuormakoko tutkimuksessa toteutunut (vakiorakenteinen metsätraktori: 5,2 m^3 ja laajennetulla kuormatilalla varustettu raskas metsätraktori: 12,5 m^3).



Kuva 51. Ajouranvarsitiheyden vaikutus paalien metsäkuljetuksen tehotuntituottavuuteen. Metsäkuljetusmatka 250 m ja kuormakoko tutkimuksessa toteutunut (vakiorakenteinen metsätraktori: 5,2 m^3 ja laajennetulla kuormatilalla varustettu raskas metsätraktori: 12,5 m^3).



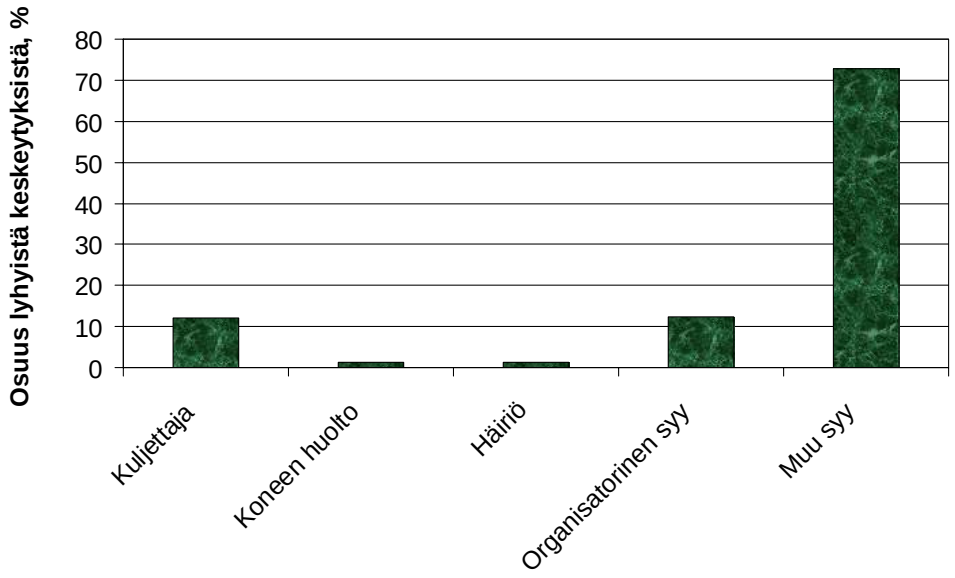
Kuva 52. Kuormakoon vaikutus paalien metsäkuljetuksen tehotuntituottavuuteen. Metsäkuljetusmatka 250 m ja ajouran varsitiheys 15 m^3 / 100 m.

Haluttaessa tarkastella paalien metsäkuljetuksen tehotuntituottavuutta paaleina paalia/tehotunti-tuottavuus saadaan kertomalla m^3/h-tuottavuus kahdella (kuljetettavien paalien oletetaan olevan kooltaan 0,5 m^3).

3.5.1.8 Lyhyet keskeytykset

Paalien metsäkuljetuksen aikatutkimuksessa lyhyiden keskeytysten osuus käyttöajasta oli keskimäärin 1,9 %. Talvella keskeytyksiä oli hieman enemmän (2,4 %) kuin kesällä (1,1 %). Kahdeksalla aikatutkimuskoealalla ei ollut lainkaan lyhyitä keskeytyksiä. Lyhyitä keskeytyksiä oli erittäin vähän johtuen suureksi osaksi siitä, että aikatutkimukset olivat suhteellisen lyhytkestoisia. Yhden paalien metsäkuljetustutkimusjakson pituus oli keskimäärin runsaat kaksi tuntia.

Yleisimmin lyhyen keskeytyksen syy paalien metsäkuljetuksen aikatutkimuksessa oli muu, ennalta-arvaamaton syy (kuva 53). Tällaiseksi luokiteltiin mm. paalin siirtäminen pois traktorin ajoreitiltä ja kuormasta pudonneen paalin nostaminen takaisin kuormaan. Lyhyiden keskeytyksien syynä oli myös kuljettajan ruokailu- ja lepotauko ja organisatorinen tekijä (esim. puhelinsoitto koneyrittäjältä tai urakanantajalta). Huolto tai koneen korjaus aiheuttivat vain parilla koealalla lyhyitä keskeytyksiä.

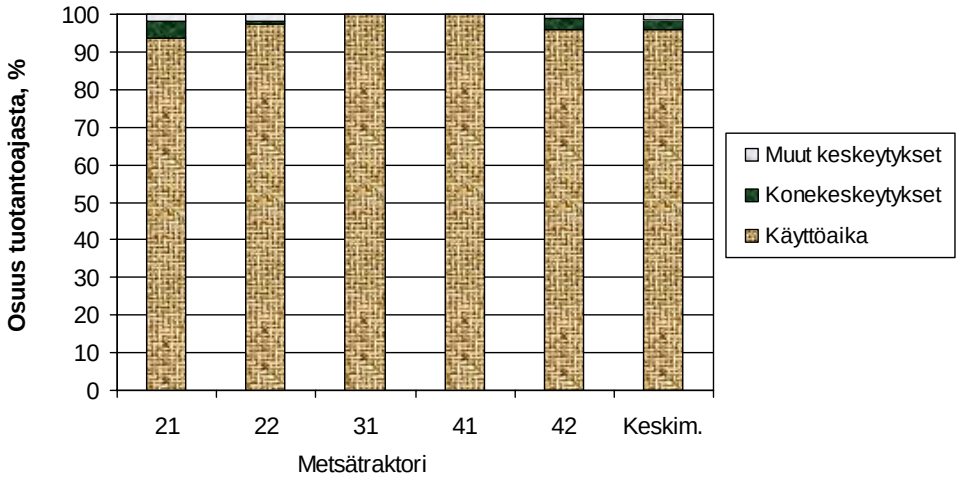


Kuva 53. Lyhyiden keskeytyksien syyt paalien metsäkuljetuksen aikatutkimuksessa.

3.5.2 Seurantatutkimus

3.5.2.1 Tuotantoaika

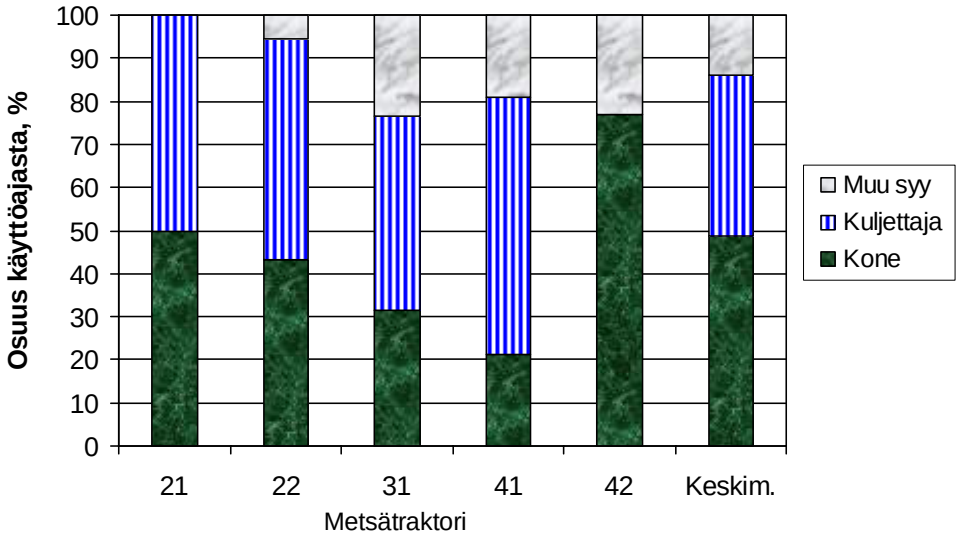
Käyttöajan osuus tuotantoajasta oli keskimäärin 95,9 %. Käyttöajan osuus vaihteli metsätraktoreittain 93,7–100 %:n välillä. Tuotantoajan jakautumista käyttöaikaan sekä yli 15 minuutin keskeytyksiin tarkasteltiin metsätraktoreittain (kuva 54). Metsätraktorista johtuvien yli 15 minuutin keskeytysten osuus tuotantoajasta oli keskimäärin 4,1 %. Metsätraktorista johtuneiden keskeytysten osuus vaihteli koneittain 0–4,3 %:iin. Muiden kuin metsätraktorista johtuneiden keskeytysten osuus tuotantoajasta oli keskimäärin 1,4 %. Muista syistä kaksi kolmasosaa oli kuljettajasta johtuvia ja loput muista syistä johtuvia keskeytyksiä. Muiden keskeytysten osuus tuotantoajasta oli metsätraktoreittain 0–1,9 %.



Kuva 54. Tuotantoajan rakenne metsätraktoreittain ja keskimäärin.

3.5.2.2 Käyttöaika

Alle 15 minuutin keskeytysten osuus käyttöajasta oli keskimäärin 2,2 %. Lyhyiden keskeytysten osuus oli metsätraktoreittain 0,3–10,0 %. Lyhyet keskeytykset koostuivat metsätraktorista, kuljettajasta ja muista syistä. Kaikista lyhyistä keskeytyksistä keskimäärin 48,6 % johtui metsätraktorista, 37,6 % kuljettajasta ja 13,8 % muista syistä. Lyhyiden keskeytysten jakaumat metsätraktoreittain sekä keskimäärin on esitetty kuvassa 55.

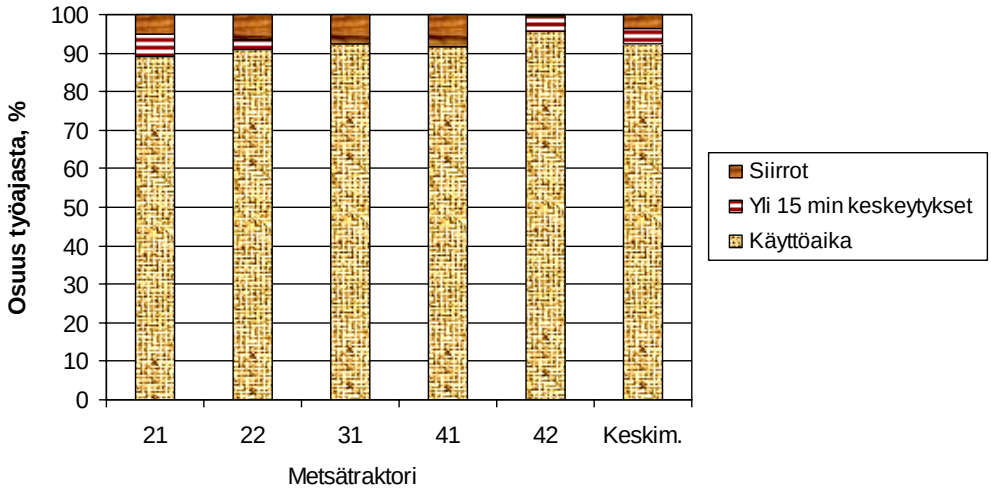


Kuva 55. Lyhyiden keskeytyksien jakauma eri keskeytyssyihin.

3.5.2.3 Työaika ja siirrot

Työaika kuvaa aikaa, joka kului kaikkiaan hakkuutähdepaalien metsäkuljetukseen. Työaika sisältää käyttöajan, pitkät keskeytykset sekä siirrot. Korjaamoajasta tutkimuksessa ei saatu tietoa. Työajan osuus tutkimuksen kokonaisajasta oli 16,6 %. Tuotantoajan osuus työajasta oli keskimäärin 96,3 %. Metsätraktoreittain tuotantoajan osuus työajasta oli 91,6–99,7 %.

Siirtojen osuus työajasta oli keskimäärin 3,7 %. Siirtojen osuus työajasta vaihteli metsätraktoreittain 0,3 %:sta 8,4 %:iin. Tutkimuksessa ei saatu tietoa metsätraktoreiden siirtomatkoista. Siirtoaika saatiin keskimäärin 55 % työmaista. Yhdeltä metsätraktorilta siirtoajanmenekistä tieto saatiin vain 13 % työmaista. Siirtoon kului aikaa valmisteluineen keskimäärin 0,9 tuntia. Työajan rakenne on kuvattu metsätraktoreittain ja keskimäärin kuvassa 56.



Kuva 56. Työajan rakenne metsätraktoreittain sekä keskimäärin.

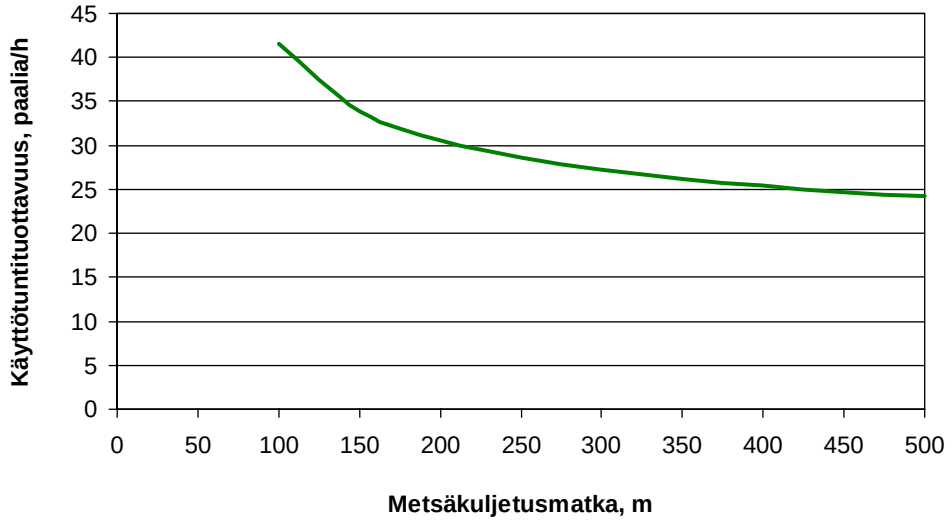
3.5.2.4 Käyttöasteet

Käyttöasteet laskettiin metsätraktoreittain sekä keskimäärin. Käyttöasteiden laskennassa puuttuva korjaamoaikatieto korvattiin käyttämällä Kuiton ym. (1994) metsätraktoreille määrittämää keskimääräistä korjaamoaikaa. Työajalla painotettu tekninen käyttöaste oli keskimäärin 94,4 % ja toiminnallinen käyttöaste 89,9 %. Metsätraktoreittain tekninen käyttöaste oli 92,8–97,1 % ja toiminnallinen käyttöaste 86,5–92,9 %.

3.5.2.5 Käyttötuntituottavuus

Hakkuutähdepaalien metsäkuljetuksen keskimääräinen käyttötuntituottavuus oli 34 paalia/h (16,6 m^3/h) metsäkuljetusmatkan ollessa 230 m. Parhaimmillaan käyttötuntituottavuus oli 72 paalia/h (37,7 m^3/h). Metsätraktoreittain keskimääräinen käyttötuntituottavuus oli 31–35 paalia/h (15,2–18,8 m^3/h) metsäkuljetusmatkan ollessa 130–260 m.

Seuranta-aineiston perusteella määritettiin keskimääräinen käyttötuntituottavuus paalien metsäkuljetukselle metsäkuljetusmatkan funktiona (kuva 57). Keskimääräinen kuormakoko oli 25 paalia.



Kuva 57. Paalien metsäkuljetuksen käyttötuntituottavuus metsäkuljetusmatkan funktiona. Kuorman koko 25 paalia.

3.5.2.6 Seurantakerroin

Hakkuutähdepaalien metsäkuljetuksen seurantakerroin määritettiin sekä aika- että seurantatutkimuksessa olleiden metsätraktoreiden ja kuljettajien perusteella (metsätraktorit 21, 22 ja 42). Seurantakertoimen määritystä varten laskettiin aikatutkimuksen perusteella muodostetuilla funktioilla laskennallinen tehoaika seurantatyömaille. Laskennassa keskimääräisen paalin kokona käytettiin metsätraktoreilla 21 ja 22 0,54 m^3 ja metsätraktorilla 42 0,43 m^3. Funktiossa lyhyiden keskeytysten osuutena käytettiin aikaisempien metsäkuljetustutkimuksien lyhyiden keskeytysten osuutta 7,55 % (Kuitto ym. 1994). Funktioiden perusteella lasketun käyttöajan sekä seurantatutkimuksen mukaisen käyttöajan suhteen määritettiin seurantakerroin. Aikatutkimuksen ja seurannan välinen kerroin oli keskimäärin 1,88.

3.6 Polttoaineen kulutus

3.6.1 Paalaimet

Paalaimen 1 polttoaineenkulutuksesta ei saatu seurantatietoa, mutta yrittäjän tekemien omien kulutusseurantojen mukaan paalaimen 1 polttoaineen kulutus oli keskimäärin 14 l/h.

Seuranta-aineiston perusteella voitiin määrittää keskimääräinen polttoaineen kulutus kolmelle paalaimelle (paalaimet 2–4). Tankkaustieto saatiin 78 leimikolta paalaimella 2, 35 leimikolta paalaimella 3 ja 98 leimikolta paalaimella 4. Näiden paalainten polttoaineenkulutus käyttötuntia kohden oli keskimäärin 13,4 litraa. Käyttötuntikulutus oli paalaimittain 12,2–14,2 litraa. Yhden paalin tekoon kului polttoainetta keskimäärin 0,7 litraa.

3.6.2 Metsätraktorit

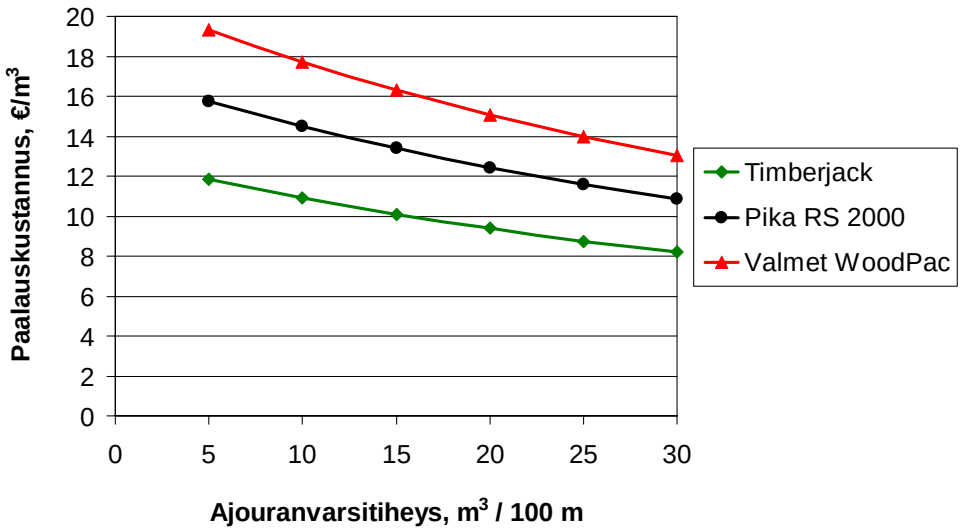
Tietoja metsätraktoreiden polttoaineen kulutuksesta saatiin vain yhdeltä metsätraktorilta (metsätraktori 22) ja siltäkin vain kuukauden ajanjaksolta (17 työmaata). Metsätraktorina oli Timberjack 1410B. Metsätraktorin polttoaineen kulutus käyttötuntia kohti oli keskimäärin 13,0 litraa.

3.7 Kustannukset

3.7.1 Paalaus

Paalauksen tehoaika muunnettiin käyttöajaksi kertoimella 1,131 lisäämällä siihen alle 15 minuutin keskeytyksien osuus (lyhyitä keskeytyksiä paalauksen aikatutkimuksessa keskimäärin 11,6 % käyttöajasta). Paalauksen aikatutkimuksen käyttöajanmenekki muunnettiin vastaamaan paalauksen seurannan ajanmenekkiä kertoimella 1,274 (ks. taulukko 13).

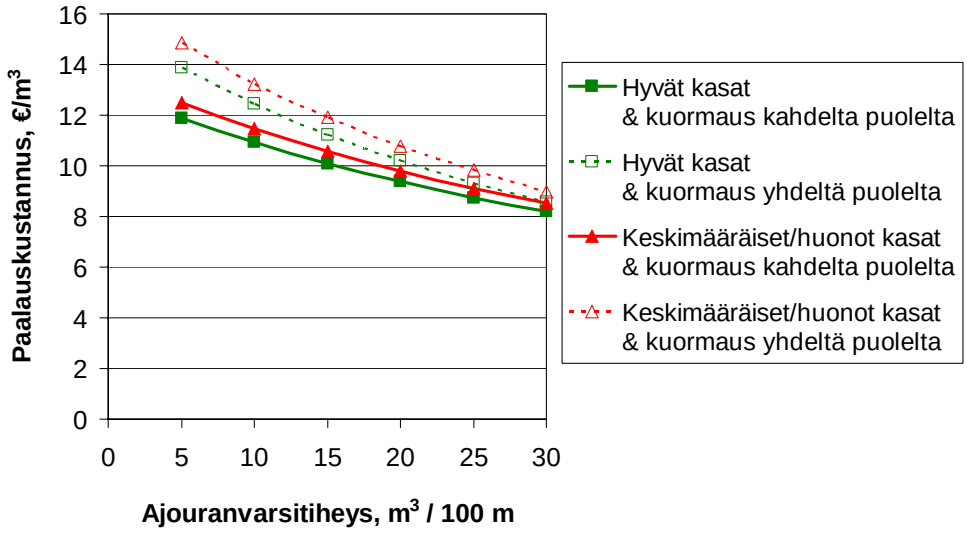
Timberjack-paalaimella paalauskustannukset olivat 10,1 €/m^3, kun hakkuutähteiden ajouranvarsitiheys oli 15 m^3 / 100 m, hakkuutähdekasat olivat hyvälaatuisia ja hakkuutähteitä kuormattiin molemmilta puolilta paalainta (kuva 58). Ajouranvarsitiheyden ollessa kaksinkertainen (30 m^3 / 100 m) paalauskustannukset laskivat 8 €/m^3:n tasolle. Pika RS 2000- ja Valmet WoodPac -paalaimilla paalauskustannukset olivat huomattavasti korkeammat kuin Timberjack-paalaimella.



Kuva 58. Paalauskustannukset eri paalaimilla, kun hakkuutähdekasat ovat hyviä ja hakkuutähteitä kuormataan paalaimeen molemmilta puolilta ajouraa.

Kuvassa 59 on esitetty Timberjack-paalaimella paalauskustannukset, kun hakkuutähdekasojen laatu vaihtelee ja hakkuutähteitä kuormataan yhdeltä tai molemmilta puolilta ajouraa. Hakkuutähdekasojen laadun heikkeneminen hyvistä keskimääräisiin/huonoihin lisäsi kustannuksia runsaat 0,5 €/m^3.

Kun hakkuutähteitä kuormattiin molemmilta puolilta ajouraa ja kasat olivat hyviä, paalauskustannukset olivat 10,1 €/m^3 (ajouranvarsitiheys 15 m^3 / 100 m). Kuormattaessa hakkuutähteitä paalaimeen yhdeltä puolelta ajouraa (hakkuutähteet hakattu molemmille puolille ajouraa) ja kun kasat olivat hyviä, paalauskustannukset olivat 11,2 €/m^3. Kuormaustavan vaikutus kustannuksiin oli täten suurempi kuin hakkuutähdekasojen laadun vaikutus.



Kuva 59. Paalauskustannukset Timberjack-paalaimella, kun hakkuutähdekasojen laatu ja käytetty kuormaustapa vaihtelevat.

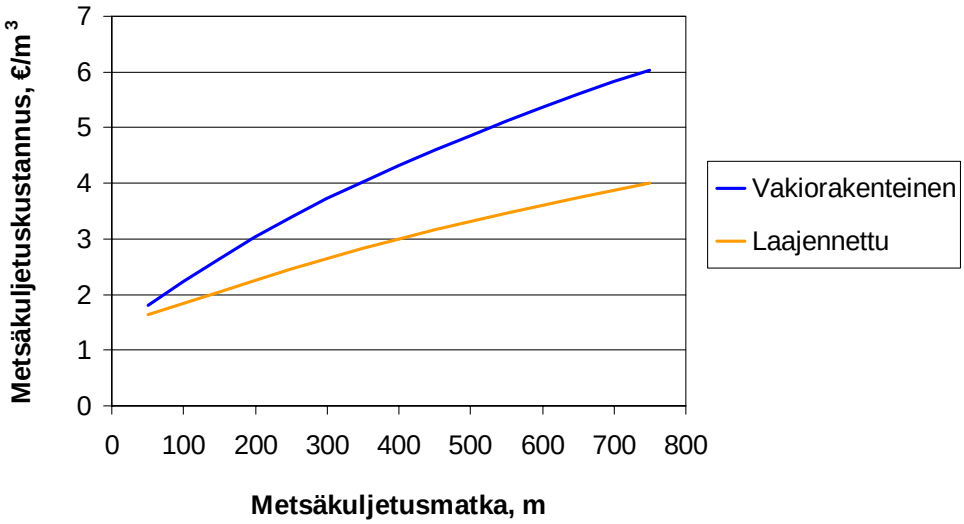
3.7.2 Paalien metsäkuljetus

Paalien metsäkuljetuksen aikatutkimuksessa lyhyitä keskeytyksiä oli keskimäärin 1,9 % käyttöajasta. Täten keskeytyskertoimeksi tulisi 0,019, mikä on hyvin alhainen arvo verrattuna aiempiin metsäkuljetustutkimuksiin (1,084) (esim. Kuitto ym. 1994). Paalien metsäkuljetuksen seurantatutkimuksesta saatiin seurantakertoimeksi 1,880, mikä on vastaavasti todella korkea arvo (vrt. 1,224 Kuitto ym. 1994).

Tutkimuksessa muunnettaessa paalien metsäkuljetuksen tehoaika käyttöajaksi käytettiin kerrointa 1,084. Muunnettaessa paalien metsäkuljetusaikatutkimuksen käyttöajanmenekki vastaamaan paalauksen seurannan ajanmenekkiä käytettiin kerrointa 1,224 (vrt. Kuitto ym. 1994).

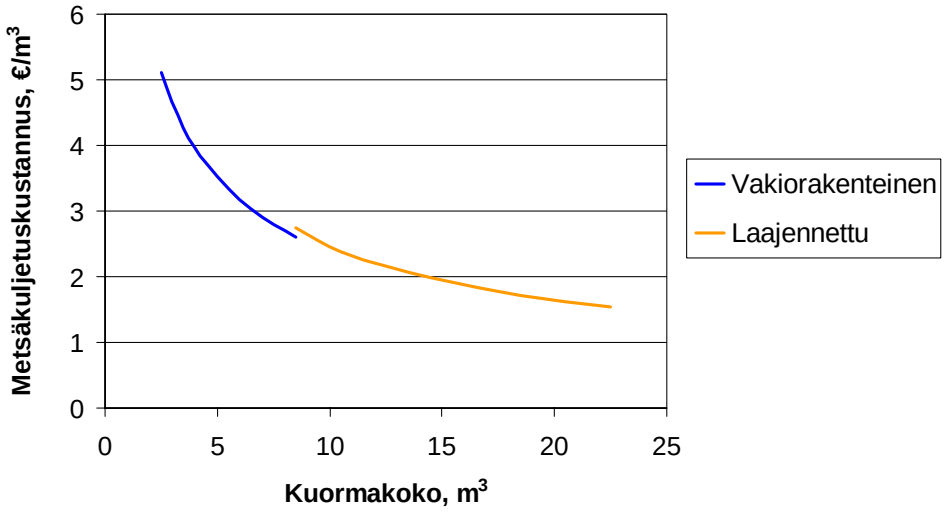
Vakiorakenteisen metsätraktorin käyttötuntikustannuksena käytettiin 56 €/h (keskiraskas metsätraktori) ja laajennetulla kuormatilalla varustetun metsä-

traktorin käyttötuntikustannuksena 64 €/h (raskas metsätraktori). Metsäkuljetusmatkan ollessa 250 m ja ajouranvarsitiheyden ollessa 15 m^3 / 100 m paalien metsäkuljetuskustannukset olivat 3,4 €/m^3 vakiorakenteisella metsätraktorilla ja 2,5 €/m^3 laajennetulla kuormatilalla varustetulla raskaalla metsätraktorilla (kuva 60).



Kuva 60. Paalien metsäkuljetuskustannukset vakiorakenteisella keskiraskaalla ja kuormatilaltaan laajennetulla raskaalla metsätraktorilla metsäkuljetusmatkan funktiona. Ajouranvarsitiheys 15 m^3 / 100 m ja kuormakoko tutkimuksessa toteutunut (vakiorakenteinen metsätraktori: 5,2 m^3 ja laajennetulla kuormatilalla varustettu raskas metsätraktori: 12,5 m^3).

Metsäkuljetusmatkan ohella kuormakoolla oli merkittävä vaikutus paalien metsäkuljetuksen tuottavuuteen ja edelleen kustannuksiin. Kuvassa 61 on esitetty paalien metsäkuljetuskustannukset kuormakoon funktiona. Vakiorakenteisella metsätraktorilla päästään 3 €/m^3:n tasolle metsäkuljetuskustannuksissa. Laajennetulla kuormatilalla varustetulla metsätraktorilla metsäkuljetuskustannukset olivat 2,0 €/m^3 14,5 m^3:n kuormakoolla.



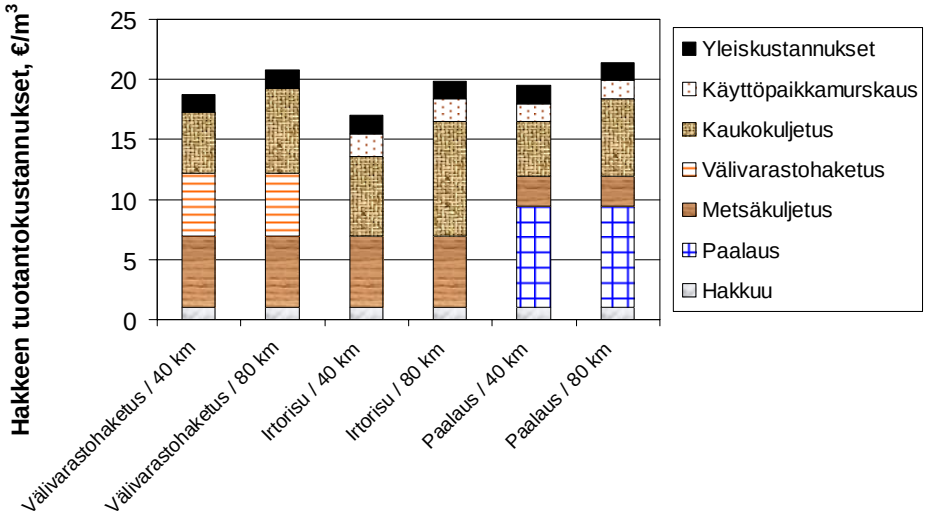
Kuva 61. Kuormakoon vaikutus paalien metsäkuljetuskustannuksiin. Metsäkuljetusmatka 250 m ja ajouranvarsitiheys 15 m^3 / 100 m.

4 HAKKUUTÄHDEHAKKEEN TUOTANTOKETJUJEN KUSTANNUSVERTAILU

Paalaus-tuotantoketjulla (paalaus, hakkuutähdepaalien metsäkuljetus, hakkuutähdepaalien kaukokuljetus, käyttöpaikkamurskaus) tuotetun hakkuutähdehakkeen tuotantokustannuksia verrattiin muiden yleisimpien hakkuutähdehakkeen tuotantoketjujen kustannuksiin. Nykyisin yleisin hakkuutähdehakkeen tuotantoketju on välivarastohaketus-tuotantoketju (hakkuutähteiden metsäkuljetus, välivarastohaketus, hakkuutähdehakkeen kaukokuljetus). Irtorisu-tuotantoketju (hakkuutähteiden metsäkuljetus, hakkuutähteiden kaukokuljetus, käyttöpaikkamurskaus) on lisännyt viime aikoina osuuttaan. Palstahaketus-tuotantoketju jätettiin pois kustannusvertailuista, koska sillä tuotetut hakkuutähdehakevolyymit eivät ole suuria Suomessa.

Metsäkuljetusmatkan ollessa 250 m ja kaukokuljetusmatkan 80 km hakkuutähdehakkeen tuotantokustannukset käyttöpaikalla olivat kaikilla tuotantoketjuilla noin 20 €/m^3 (10 €/MWh) (kuva 62). Paalaus- ja välivarastohaketus-tuotantoketjuilla tuotetun metsähakkeen tuotantokustannukset olivat jonkin verran korkeammat kuin irtorisu-tuotantoketjulla.

Kaukokuljetusmatkan ollessa puolet lyhyempi (40 km) tuotantokustannukset laskivat välivarastohaketus- ja paalaus-tuotantoketjuilla noin 2 €/m^3. Irtorisu-tuotantoketjun kustannukset laskivat enemmän, noin 3 €/m^3.



Kuva 62. Hakkuutähdehakkeen tuotantokustannukset välivarastohaketus-, irtorisu- ja paalaus-tuotantoketjuilla. Metsäkuljetusmatka 250 m ja kaukokuljetusmatka 40 ja 80 km.

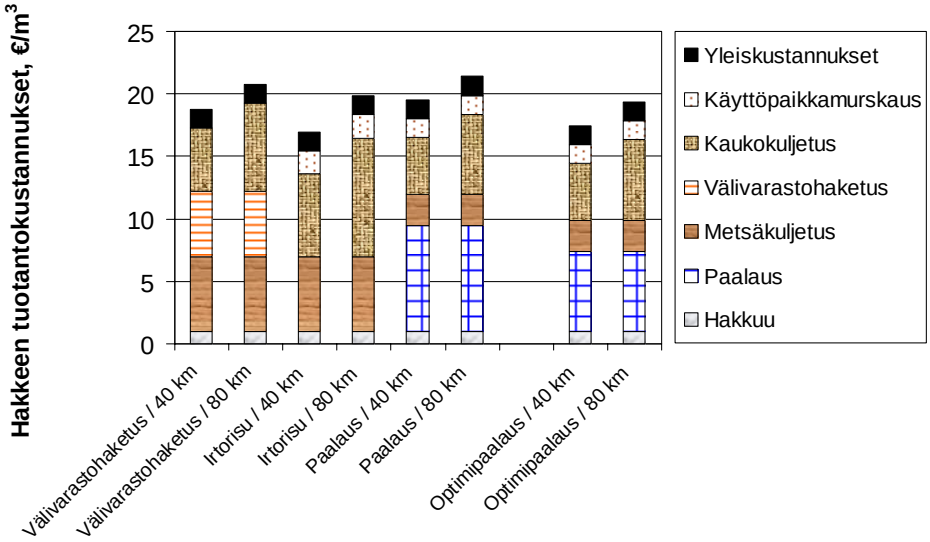
5 OPTIMAALINEN PAALAUS-TUOTANTOKETJU

Kuvan 62 paalauskustannukset laskettiin sivuilla 34 ja 35 esitetyillä lähtöarvoilla (käyttötuntituottavuus: 18,1 paalia/h (10,0 m^3/h); paalin keskikoko: 0,55 m^3; käyttötunnit: 2 650 h/v; paalinaruna sisal-naru). Näin laskien kustannuslaskelman esittämä käyttötuntikustannus oli 85 €/h ja paalauksen yksikkökustannus 8,5 €/m^3.

Paalauskustannukset voitaisiin kuitenkin saada painettua alle 6,5 €/m^3:n. Tämä edellyttää, että:

- paalauksen keskimääräinen tuottavuus nousisi kaksi paalia käyttötunnissa korkeammaksi (18,1:stä 20,1:een) (parantuneet korjuuolot: hakkuutähteet hakattu yhdelle puolelle ajouraa isoihin hyviin kasoihin; paalainkuljettajien lisääntynyt paalauskokemus ja tehokkaammat työskentelytavat)
- paalien keskikoko kasvaisi 0,55:stä 0,6 m^3:iin
- paalaimet toimisivat kaksivuorotyössä (3 000 käyttötuntia/v)
- paalien sidontanaruna käytettäisiin muovinarua (paalausnarukustannus: 0,18 €/paali (alv. 0 %)).

Kun paalausta saadaan tehostettua, paalaus-tuotantoketju on tuotantokustannuksiltaan kilpailukykyisin metsähakkeen tuotantoketju pidemmillä, yli 60 km:n kaukokuljetusmatkoilla (kuva 63).



Kuva 63. Hakkuutähdehakkeen tuotantokustannukset välivarastohaketus-, irtorisu- ja paalaus-tuotantoketjuilla (vrt. kuva 62) sekä optimipaalaus-tuotantoketjulla, jossa paalausta on tehostettu. Metsäkuljetusmatka 250 m ja kaukokuljetusmatka 40 ja 80 km.

6 TARKASTELU JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimushankkeessa koottu aineisto on laajin paalaus- ja paalien metsäkuljetustutkimusaineisto, mitä on kerätty (vrt. Andersson ja Nordén 2000, Hämäläinen 2000, Korpilahti 2001, Poikola ym. 2002, Lindberg 2003, Cuchet ym. 2004). Aikatutkimuksissa paalattiin ja kuljetettiin lähes 2 000 paalia. Paalauksen seuranta-aineisto muodostui lähes 100 000 paalista. Paalien metsäkuljetuksen seuranta-aineisto koostui yli 30 000 paalista. Korjuuolosuhteet olivat aika- ja seurantatutkimuksissa hyvin samantyyppiset (vrt. taulukot 4 ja 5).

Paalauksen seurantatutkimuksessa oli mukana vain Timberjack-pohjaisia paalaimia. Paalauksen aikatutkimusaineisto muodostui myös valtaosin Timberjack-paalaimilla paalatuista paaleista. Pika RS 2000- ja Valmet WoodPac -paalaimista kerätty aineisto jäi suhteellisen pieneksi. Valmet WoodPac -paalainta käytti vain yksi kuljettaja ja Pika RS 2000 -paalainta kaksi eri kuljettajaa. Lisäksi tutkitut Pika RS 2000- ja Valmet WoodPac -paalaimet olivat prototyyppiasteella aikatutkimuksia tehtäessä. Nämä seikat on otettava huomioon erityisesti tarkasteltaessa Pika RS 2000- ja Valmet WoodPac -paalainten tuloksia.

Vaikka paalien metsäkuljetuksen seuranta-aineisto oli suhteellisen laaja, se jäi noin kolmannekseen tavoitteestaan. Erityisiä ongelmia paalien metsäkuljetuksen seurantaan aiheutti se, että Pohjanmaalla paalien metsäkuljetus oli useiden paikallisten koneyrittäjien hoidettavana. Myös se, että paaleja kuljettavilla metsätraktoreilla tehtiin enimmäkseen muuta työtä kuin paalien metsäkuljetusta, vaikeutti seurannan toteutusta.

Paalien metsäkuljetuksen seurantakertoimeksi saatiin 1,880, joka on epärealistisen korkea. Tämän vuoksi jouduttiin käyttämään aiemmista metsäkuljetustutkimuksista saatua seurantakerrointa (1,224). Aiemman seurantakertoimen käyttö on perusteltua, koska paalien metsäkuljetus on luonteeltaan samantyyppistä kuin ainespuun metsäkuljetus.

Paalauksen aika- ja seurantatutkimuksissa havaittiin, että hakkuutähdekasojen ja -karheiden kunnolla on merkittävä vaikutus paalauksen tuottavuuteen. Kun kasat olivat keskimääräisiä, tuottavuus oli seurantatutkimuksessa noin 10 % pienempi kuin paalattaessa hakkuutähteitä hyvälaatuisista kasoista ja karheista. Kasojen ja karheiden ollessa huonoja, tuottavuus oli 20 % pienempi kuin paalattaessa hyväkuntoisista kasoista ja karheista. Hyvälaatuisista kasoista ja karheista myös hakkuutähdekertymä oli korkeampi. Hakkuutähdekasojen laadun heikkeneminen hyvistä keskimääräisiin/huonoihin merkitsi paalauskustannuksiin runsaan 0,5 €/m^3:n lisäystä.

Seurantatutkimuksessa vain joka toisella työmaalla hakkuutähdekasojen ja -karheiden kunto oli hyvä. Jatkossa on kiinnitettävä huomiota siihen, että hakkuutähdekasat ja -karheet ovat hyvälaatuisia (latvat on hakattu samansuuntaisesti ja hakkuutähdekasojen ja -karheiden päältä ei ole ajettu).

Kun hakkuutähteet hakataan kasoihin, ne hakataan yleisimmin molemmille puolille ajouraa. Kun hakkutähteet hakataan karheille, hakkuutähteet puidaan yhdelle puolelle ajouraa. Paalattaessa hakkuutähteitä karheilta hakkuutähteitä kuormataan paalaimeen vain yhdeltä puolelta paalainta. Kun hakkuutähteitä paalataan kasoista, jotka on hakattu molemmille puolille ajouraa, hakkuutähteitä voidaan kuormata paalaimeen joko yhdeltä puolelta tai molemmilta puolilta paalainta. Hakkuutähteiden kuormaus molemmilta puolilta kasvattaa selvästi työpisteiden kokoa, vähentää kuormausajoa ja nostaa paalaustyön tuottavuutta.

Hakkuutähteiden kuormaus yhdeltä puolelta on kuitenkin nopeampaa Timberjack- ja Pika RS 2000 -paalaimilla: hakkuutähteitä ei tarvitse nostaa yli paalainyksikön paalaimen syöttöpöydälle. Valmet WoodPac -paalaimella hakkuutähteiden kuormaus molemmilta puolilta ajouraa ei ole hitaampaa: Valmet WoodPac -paalaimessa hakkuutähteitä ei tarvitse nostaa yli paalainyksikön.

Hakkutähdekasojen ja -karheiden laadun lisäksi on siis kiinnitettävä huomiota kasojen sijoitteluun hakkuussa. Tutkimuksessa paalauksen tuottavuus ei eronnut, oliko hakkuutähteet hakattu kasoille vai karheille. Tämä luultavasti siksi, että hakkuutähteiden ollessa karheilla yhdellä puolella ajouraa niitä ei tarvinnut nostaa yli paalainyksikön. Kun hakkuutähteet on hakattu isoihin kasoihin, ainespuun metsäkuljetuksessa voidaan helpommin välttää hakkuutähdemuodostelmien päältä ajoa. Näin ollen mikäli mahdollista, hakkuutähteet olisi pyrittävä hakkaamaan mieluummin yhdelle puolelle ajouraa isoihin kasoihin erityisesti silloin, kun leimikon hakkuutähdekertymä ei ole suuri.

Hakkuutähdekasojen ja -karheiden kunnon ja hakkuutähdekertymän lisäksi muilla korjuuolosuhdetekijöillä ei ollut merkittävää ja selvää vaikutusta hakkuutähteiden paalauksen tuottavuuteen. Muutamilla paalainkuljettajilla runsas alikasvos laski paalauksen tuottavuutta ja kuusen hehtaarikohtainen ainespuukertymä nosti paalaustyön tuottavuutta.

Ihanteellista paalausleimikkoa voitaisiin täten luonnehtia isokokoiseksi (yli 4 ha) päätehakkuukuusikoksi, josta on hakattu yli 1 000 m^3 ainespuuta ja jossa on ollut jonkin verran alikasvospuustoa. Alikasvos on raivattu ennen hakkuuta. Pelkistä kuusen oksista ei synny niin hyviä paaleja kuin hakkuutähteestä, jossa on mukana pitkiä alikasvosrunkoja, jotka toimivat paalien tukirankoina. Korkea kuusiainespuukertymä takaa sen, että leimikosta on saatavissa runsaasti risua paalattavaksi. Isoille hyville kasoille yhdelle puolelle ajouraa hakatut hakkuutähteet nopeuttavat paalausta.

Paalien energiasisältöä ajatellen olisi eduksi, jos hakkuutähteet saisivat kuivahtaa joitakin viikkoja palstalla ennen niiden paalausta. Hakkuutähteiden kuivatuksella voidaan välttää turha veden kuljettaminen. Paalausta ja erityisesti paalien metsäkuljetusta helpottaa, jos leimikon maasto on suhteellisen tasainen ja kantava. Lisäksi logistisesti on hyödyksi, jos paalausleimikko sijaitsisi tienvarressa lähellä edellistä paalausleimikkoa ja paalien käyttökohdetta. Nämä seikat on otettava huomioon valittaessa paalattavia leimikoita.

Näyttäisi siltä, että itse hakkuutähdepaalain on paalaustyön tuottavuuden ”pullonkaula”. Kun hakkuutähteiden paalausta tehdään sellaisissa korjuuoloissa, joissa on mahdollista kuormata hakkuutähteitä paalaimeen riittävästi koko ajan, ei hakkuutähteiden paalauksen tuottavuus ole riippuvainen hakkuutähteiden kuormauksesta. Mutta voi olla, että paalaustoiminto on sen verran hidas, että hakkuutähteiden paalausta voitaisiin korjuuolojen puolesta tehdä nopeamminkin. Jos hakkuutähteiden kuormausta joudutaan hidastamaan paalaimen takia, eivät korjuuolojen vaikutukset tule esiin tuottavuuteen vaikuttavina tekijöinä.

Tarkasteltaessa eri paalainten tuottavuuksia voidaan todeta, että Timberjack-paalaimet olivat tuottavuudeltaan (m^3/h) omalla tasollaan. Timberjack-paalainten tuottavuuden taustalla on usean vuoden kehitystyö. Tutkitut Pika RS 2000- ja Valmet WoodPac -paalaimet olivat prototyyppikoneita, joita on kehitetty aikatutkimuksien jälkeen ja joita kehitetään edelleen. Aikatutkimuksissa Pika RS 2000- ja Valmet WoodPac -paalaimet osoittivat potentiaalinsa.

Paalaimia on vielä kehitettävä. Usean paalainkuljettajan ja -yrittäjän mukaan Timberjack 1490D -paalaimen syöttöä olisi parannettava, ettei hakkuutähteitä tarvitsisi työnnellä runsaasti kuormaimella paalaimen syöttörullille. Suurin ”pullonkaula” tutkitussa Pika RS 2000 -paalaimessa oli paalikoko: paalit olivat aikatutkimuksessa keskimäärin 0,1 m^3 pienempiä kuin Timberjack- ja Valmet WoodPac -paalaimilla. Valmistaja on kehittänyt Pika RS 2000 -paalainta; nykyään tuotannossa olevalla Pika RS 2000 -paalaimella paalin koko on lähellä Timberjack- ja Valmet WoodPac -paalaimia. Lisäksi Pika RS 2000 -paalaimessa paalin pituuden mittatarkkuutta on parannettava; Pika RS 2000 -paalaimella tehtyjen paalien pituus vaihteli liikaa (kuva 15).

Valmet WoodPac -paalaimella hakkuutähteiden kuormaus paalaimeen oli hidasta varsinkin silloin, kun hakkuutähteiden joukossa oli runsaasti pitkiä runkoja, joita jouduttiin katkomaan kourasahalla. Lisäksi teräketju lähti useasti pois terälaipalta. Kuormauksen hitaus johtui myös siitä, että kuormattavat taakat olivat suhteellisen pieniä. Paalaimeen kuormattavan hakkuutähteen määrää jouduttiin säännöstelemään paalaimen toiminnan takaamiseksi.

Valmet WoodPac -paalaimella paalit olivat kehysmitoiltaan suurimpia, ja paalien dimensiot eivät vaihdelleet suuresti paaleittain. Timberjack- ja Pika RS 2000 -paalaimilla vaihtelu paalien dimensioissa oli suurempaa. Osin tätä selittää se, että paalaimien paalaustekniikka erosi toisistaan. Toisaalta osin tätä selittää se, että Valmet WoodPac -paalainta käytti vain yksi kuljettaja; kaikilla muilla paalainmerkeillä oli useampia kuljettajia. Seurantatutkimuksessa Timberjack 1490D -paalaimilla paalien keskikoko oli 0,57–0,67 m^3. Aikatutkimuksissa paalien keskikoko jäi Timberjack-paalaimilla 0,5 m^3:iin.

Vihreällä hakkuutähteellä paalin tavoitekokona voidaan pitää 0,60–0,65 m^3. Paalattaessa ruskeaa, kuivahtanutta hakkuutähdettä em. tavoitetasolle on vaikea päästä. Tällöin paalien tavoitetasona voidaan pitää 0,55–0,60 m^3. Paalien kokoa on syytä kontrolloida koehaketuksin. Myös kevyempää

paalainkuljettajan tekemää paalikoon seurantaa on syytä harkita: paalainkuljettaja mittaa työvuoron alussa tekemänsä esimerkiksi seitsemän paalin pituuden ja läpimitan ja vertaa niitä annettuihin tavoitedimensioihin. Jatkossa olisi kehitettävä paalaimiin myös paalikoon mittaus, mikä perustuisi paalin dimensioihin, paalaimessa käytettyihin puristuspaineisiin ja paalatun hakkuutähteen tuoreuteen.

Paalaimilla havaittujen tuottavuuserojen taustalla on myös paalainkuljettajat. Muutaman kuukauden paalauskokemus ei välttämättä luo riittävää taitotasoa, jota paalaustyössä tarvitaan. Paalaustyön tekee haasteelliseksi se, että useaa työvaihetta on kyettävä tekemään samanaikaisesti ja eri työvaiheita on pystyttävä lomittamaan jouhevasti toisiinsa.

Erityisen tärkeää on, että hakkuutähteiden kuormaus -työ kyetään valtaosin lomittamaan muihin työvaiheisiin. Tutkimuksessa kuljettajat pystyivät lomittamaan keskimäärin vajaan kaksi kolmasosaa kuormauksesta johonkin muuhun työvaiheeseen. Paalainkuljettajittain ja työmaittain kuormauksen lomituksen osuus vaihteli runsaasti (kuva 21). Pyrittäessä tehostamaan paalaustyön tuottavuutta on hyödyksi, jos:

- palstalla-ajoa voidaan välttää
- kuormausajon aikana tehdään jotakin muuta työvaihetta, esim. paalausta
- pelkkää paalausta (paalaus-työvaihe) on mahdollisimman vähän
- pelkkää kuormausta (kuormaus-työvaihe) on mahdollisimman vähän ja
- kuormauksen lomitus -työvaiheen osuus on mahdollisimman suuri.

Metsäoppilaitosten olisikin jatkossa tarjottava myös paalainkuljettajakoulutusta. Koulutukselle on kova tarve, kun hakkuutähdepaalainten lukumäärä ja paalausvolyymit kasvavat lähitulevaisuudessa.

Hakkuutähdepaalien metsäkuljetustutkimuksessa havaittiin, että metsätraktorin kuormatilan laajentaminen kasvattaa kuormakokoa keskiraskaalla metsätraktorilla vajaa kymmenen paalia ja raskaalla metsätraktorilla runsaat kymmenen paalia. Kuormatilan laajentaminen ei aiheuta suuria lisäkustannuksia. Tosin takapainoinen kuormakoko rasittaa melkoisesti metsätraktorin takateliä ja aiheuttanee korjaus- ja huoltokuluja enemmän kuin esimerkiksi kuljetettaessa ainespuuta. Tehdyt kustannuslaskelmat osoittivat, että kuljetettaessa hakkuutähdepaaleja metsätraktorin kuormatilan on oltava laajennettu, erityisesti kuljetettaessa paaleja pidempiä matkoja.

Tehdyn hakkuutähdehakkeen tuotantoketjujen kustannustarkastelun mukaan hakkuutähdehakkeen tuotantoketjujen kustannukset olivat hyvin lähellä toisiaan. Lyhyillä kaukokuljetusmatkoilla irtorisu-tuotantoketjulle muodostui hienoinen kustannusetu välivarastohaketus- ja paalaus-tuotantoketjuihin nähden (kuva 62).

Tutkimuksen perustella voidaan sanoa, että paalaus-tuotantoketjun kalleimman osavaiheen – paalauksen – tuottavuutta pitää saada nostettua ja sen kustannuksia laskettua. Kun paalausta saadaan tehostettua, paalaus-tuotantoketju on tuotantokustannuksiltaan kilpailukykyisin metsähakkeen tuotantoketju pidemmillä, yli 60 km:n kaukokuljetusmatkoilla (kuva 63).

LÄHTEET

Andersson, G. & Nordén, B. 2000. Fiberpac 370. Systemstudie komprimering av avverkningsrester. Skogforsk, Arbetsrapport 448.

Asikainen, A. 2004. Puunkorjuu ja kuljetus. Julkaisussa: Harstela, P. (toim.). Metsähake ja metsätalous. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 913: 26–36.

Cuchet, E., Roux, P. & Spinelli, R. 2004. Performance of a logging residue bundler in the temperate forests of France. Biomass & Bioenergy 27(1): 31–39.

Haarlaa, R., Harstela, P., Mikkonen, E. & Mäkelä, J. 1984. Metsätyöntutkimus. Helsingin yliopiston metsäteknologian laitos, Tiedonantoja 46.

Hillebrand, K. & Nurmi, J. 2001. Hakkuutähteiden laadunhallinta. VTT Energian raportteja 2/2001.

Hämäläinen, J.M. 2000. Hakkuutähteen varastoinnin kustannusvaikutukset metsähakkeen suurimittakaavaisessa tuotannossa. Joensuun yliopisto, Metsätieteellinen tiedekunta, Metsäteknologian ja puutalouden pro gradu -työ.

Korpilahti, A. 2001. Käyttöpaikallahaketukseen perustuva puupolttoaineen tuotanto – PUUY02. Julkaisussa: Alakangas, E. (toim.). Puuenergian teknologiaohjelman vuosikirja 2001. Puuenergian teknologiaohjelman vuosiseminaari, Jyväskylä, 5.–6.9.2001. VTT Symposium 216: 137–152.

Kuitto, P-J., Keskinen, S., Lindroos, J., Oijala, T., Rajamäki, J., Räsänen, T. & Terävä, J. 1994. Puutavaran koneellinen hakkuu ja metsäkuljetus. Metsätehon tiedotus 410.

Lindberg, P. 2003. Bundling of forest fuel. 2 nd Forest Engineering Conference, 12-15 May 2003, Växjö, Sweden, Seminaariesitelmä.

Poikola, J., Backlund, C., Korpilahti, A., Hillebrand, K. & Rinne, S. 2002. Risutukkitekniikan edellytykset suurimittaisessa puupolttoainehankinnassa – PUUT19. Julkaisussa: Alakangas, E. (toim.). Puuenergian teknologiaohjelman vuosikirja 2002. Puuenergian teknologiaohjelman vuosiseminaari, Joensuu, 18.–19. syyskuuta 2002. VTT Symposium 221: 141–156.

Timperi, A. 2004. Metsäenergia ja koneenrakentajan liiketoiminta. Puuenergian teknologiaohjelman päätösseminaari ”Metsähake - tehokasta, taloudellista ja laadukasta tuotantoa”, Puuenergian teknologiaohjelman päätösseminaari, Jyväskylä, 17.–18. maaliskuuta 2004, Seminaariesitelmä.

USDA Forest Service. 2004. Forest Residue Bundling Evaluation (FRBE). http://www.fs.fed.us/fmsc/sdu/biomass/bundling/index.php

Ylitalo, E. (toim.). 2004. Puupolttoaineiden käyttö energiatuotannossa 2003. Metsäntutkimuslaitos, Metsätilastotiedote 719.

Paalauksen seurantatutkimuksessa käytetty työvuorolomake.

TYÖVUOROLOMAKE

TYÖMAALOHKON TIEDOT

Lohkon nro:	
Aloitusaika: pvm: klo: (vain uuden lohkon alkaessa)	**Lopetusaika:** pvm: klo: (vain lohkon päättyessä)
Koneen siirtomatka ed. lohkolta: km	**Hakkuutähteet:** 1 Kasoissa 2 Karheilla
	Kasojen/karheiden kunto: 1 Hyvä 2 Keskimääräinen 3 Huono
	Alikasvosta: 1 Vähän, 2 Runsaasti **Maasto:** 1 Normaali, 2 Vaikea

TYÖVUORO (kaikki ajat 5 minuutin tarkkuudella)

Kuljettajan nimi:

Työvuoro (tai uusi lohko) **alkoi:** pvm: / 2003 klo:

Keskeytykset työvuoron aikana									
Kestoaika	**Keskeytyksen syy** (ympyröi sopiva vaihtoehto)								**2 v**
	Kone	Kuljettaja	Varastotyöt	Yhteydenpito	Tiedonsiirto	Koneen siirrot	Jatkettu lähikuljetus	Muu syy + selitys	(X)
	1	2	3	4	5	6	7	8	
	1	2	3	4	5	6	7	8	
	1	2	3	4	5	6	7	8	
	1	2	3	4	5	6	7	8	
	1	2	3	4	5	6	7	8	
	1	2	3	4	5	6	7	8	
	1	2	3	4	5	6	7	8	
	1	2	3	4	5	6	7	8	
	1	2	3	4	5	6	7	8	
	1	2	3	4	5	6	7	8	
	1	2	3	4	5	6	7	8	
	1	2	3	4	5	6	7	8	
	1	2	3	4	5	6	7	8	
	1	2	3	4	5	6	7	8	
	1	2	3	4	5	6	7	8	

Tutkimuksesta johtuvat tehtävät työvuoron aikana yhteensä: tuntia min

Työvuoro (tai lohko) **päättyi:** pvm: / 2003 klo:

Risutukkeja valmistettiin: kpl

TYÖMAALOHKO ALOITETAAN TÄYDELLÄ TANKILLA.
MUISTA MERKITÄ TANKATTU POLTTOAINEMÄÄRÄ *(selitys-kohtaan)!*

LIITE 2

Paalien metsäkuljetuksen seurantatutkimuksessa käytetty työvuorolomake.

TYÖVUOROLOMAKE

TYÖMAALOHKON TIEDOT

Lohkon nro:	
Aloitusaika: pvm: klo: (vain uuden lohkon alkaessa)	**Lopetusaika:** pvm: klo: (vain lohkon päättyessä)

TYÖVUORO (kaikki ajat 5 minuutin tarkkuudella)

Kuljettajan nimi:

Työvuoro (tai uusi lohko) **alkoi**: pvm: / 2003 klo:

Keskeytykset työvuoron aikana									
Kestoaika	**Keskeytyksen syy** (ympyröi sopiva vaihtoehto)								**2 v**
	Kone	Kuljettaja	Varastotyöt	Yhteydenpito	Tiedonsiirto	Koneen siirrot	Jatkettu lähikuljetus	Muu syy + selitys	(X)
	1	2	3	4	5	6	7	8	
	1	2	3	4	5	6	7	8	
	1	2	3	4	5	6	7	8	
	1	2	3	4	5	6	7	8	
	1	2	3	4	5	6	7	8	
	1	2	3	4	5	6	7	8	
	1	2	3	4	5	6	7	8	
	1	2	3	4	5	6	7	8	
	1	2	3	4	5	6	7	8	
	1	2	3	4	5	6	7	8	
	1	2	3	4	5	6	7	8	
	1	2	3	4	5	6	7	8	
	1	2	3	4	5	6	7	8	
	1	2	3	4	5	6	7	8	
	1	2	3	4	5	6	7	8	

Tutkimuksesta johtuvat tehtävät työvuoron aikana yhteensä: tuntia min

Työvuoro (tai lohko) **päättyi**: pvm: / 2003 klo:

Kuormia ajettiin: kpl

TYÖMAALOHKO ALOITETAAN TÄYDELLÄ TANKILLA.
***MUISTA MERKITÄ TANKATTU POLTTOAINEMÄÄRÄ** (selitys-kohtaan)!*

Seurantatutkimuksessa käytetty yrittäjälomake.

YRITTÄJÄLOMAKE

YRITTÄJÄ

TYÖVUOROJEN ULKOPUOLELLA TEHDYT TYÖT

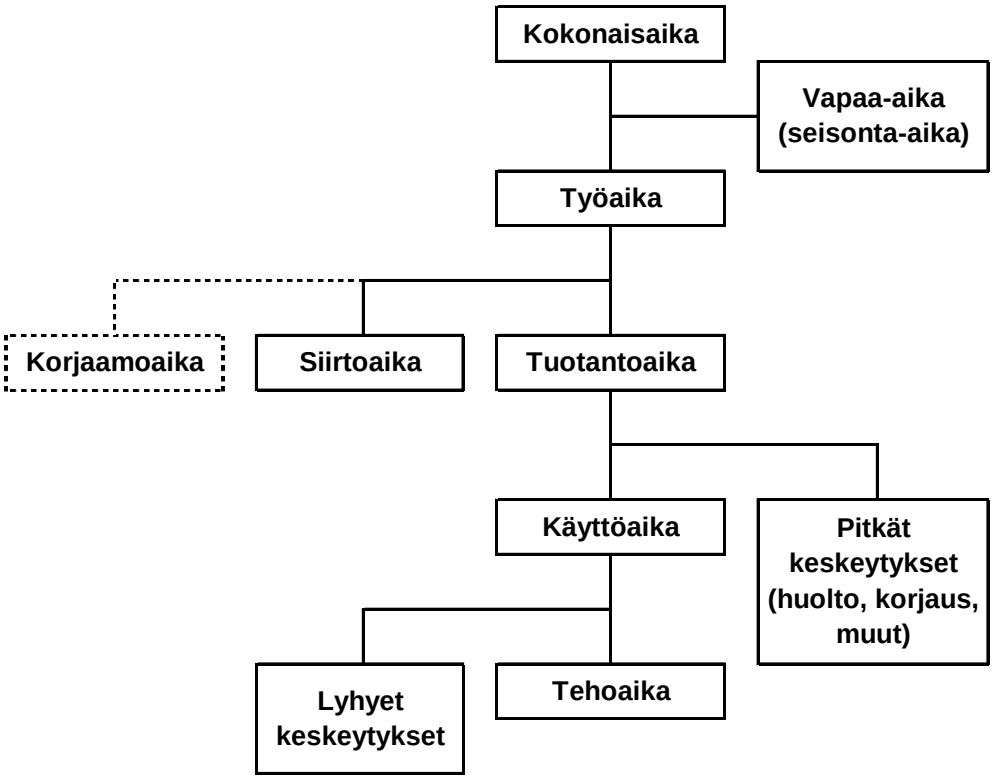
Päivä- **määrä**	**Työn** **kesto**	**Lohkon nro**	**Työlaji** (ympyröi sopiva vaihtoehto)				
	(15 min. tarkkuu-della)		Koneen siirto ed. lohkolta	Koneen huollot, korjaukset	Tiedon siirto	Tutkimus	Muu tehtävä + selitys
			1	2	3	4	5
			1	2	3	4	5
			1	2	3	4	5
			1	2	3	4	5
			1	2	3	4	5
			1	2	3	4	5
			1	2	3	4	5
			1	2	3	4	5
			1	2	3	4	5
			1	2	3	4	5
			1	2	3	4	5
			1	2	3	4	5
			1	2	3	4	5
			1	2	3	4	5
			1	2	3	4	5
			1	2	3	4	5
			1	2	3	4	5
			1	2	3	4	5
			1	2	3	4	5
			1	2	3	4	5
			1	2	3	4	5
			1	2	3	4	5
			1	2	3	4	5
			1	2	3	4	5
			1	2	3	4	5
			1	2	3	4	5

Paalauksen ja paalien metsäkuljetuksen aikatutkimuskoealoilta kerätyn aineiston määrä sekä korjuuolot aikatutkimuskoealoilla.

	111	112	121	122	123	124	125	131	132	133	134	135	141	142	143	144	145	146	251	252	253	254	255	261	371	372	373
Aikatutkimusjakso,																											
- kesä	x	x	x	x				x	x				x	x					x	x	x						
- talvi					x	x	x			x	x	x			x	x	x	x				x	x				
- kevät																									x	x	x
Paalattujen paalien määrä, kpl	72	80	78	39	94	100	80	71	70	100	100	100	72	66	100	66	35	87	40	73	70	69	100	-	80	61	68
Kuljetettujen paalien määrä, kpl	68	78	73	41	149	90	100	66	63	52	68	70	73	67	97	-	-	94	35	72	72	48	86	67	60	53	55
Lämpötila talvella (paalaus), ^{o}C	-	-	-	-	-4	-2	-7	-	-	-7	-6	-9	-	-	-7	-7	-9	-9	-	-	-	-15	-15	-	-	-	-
Lunta kasojen/karheiden päällä, cm	-	-	-	-	10	10	0	-	-	10	1	1	-	-	5	1	10	0	-	-	-	20	0	-	-	-	-
Paalauskoealan pinta-ala, ha	0,7	0,5	0,8	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	0,2	0,6	0,4	0,4	0,4	0,6	0,5	-	0,7	0,9	0,6
Ainespuun hakkuukertymä, m^3/ha	200	143	312	143	219	319	274	185	150	260	275	218	189	188	186	113	182	132	240	257	233	306	341	280	207	320	309
josta (%):																											
- kuusta	87	92	89	89	95	78	78	66	66	90	77	61	53	57	55	0	1	73	74	86	73	76	73	71	96	72	99
- mäntyä	7	7	6	5	4	18	16	24	0	8	8	25	41	..	44	26	90	10	29	8	23	13	22	2	0	13	0
- lehtipuuta	7	1	2	6	0	3	5	10	33	2	15	15	6	..	2	74	9	17	1	7	4	10	6	27	4	16	1
Keskijäreys, dm^3	600	363	552	440	640	349	615	221	250	420	305	..	310	256	232	129	182	291	721	417	261	495	586	192	117	508	640
Hakkuutähteet,																											
- kasoissa	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x					x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
- karheilla														x	x	x											
- kasoissa ja karheilla							x										x										
Kasojen/karheiden sijoittelu,																											
- yhdellä puolella ajouraa														x	x	x	x			x	x			x			
- molemmilla puolilla	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x					x	x			x	x		x	x	x
Kuormaustapa,																											
- yhdeltä puolelta ajouraa	x	x	x	x				x	x		x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			
- molemmilta puolilta					x	x	x			x		x													x	x	x
Kasojen/karheiden kunto,																											
- hyvä		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			x	x		x			x						x
- keskimääräinen													x	x			x		x	x			x		x	x	
- huono	x																					x		x			
Hakkuutähteet palstalla ennen paalausta, pv	25	34	37	73	97	116	9	18	305	83	26	42	34	..	117	61	72	22	104	168	..	38	11	76	14	122	151
Hakkuutähteiden kosteus, %	40	41	35	32	54	59	47	33	29	56	50	48	26	43	58	49	63	50	28	34	41	47	51	58	35	33	49
Hakkuutähteiden laatu,																											
- vihreä	x	x	x		x	x	x	x		x	x	x		x	x	x	x	x				x	x	x	x	x	x
- ruskea				x					x				x						x	x	x						
Alikasvosta,																											
- vähän	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x			x
- runsaasti																		x							x	x	
Maasto,																											
- normaali	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			x
- vaikea																									x	x	
Metsäkuljetusmatka, m	279	125	258	314	317	117	269	302	143	547	192	709	287	465	134	-	-	308	112	168	135	549	305	488	478	374	107

..) ei tietoa.

Metsätyöntutkimuksen ajanjaottelu.



Kokonaisaika = Seurantajakson pituus, vrk × 24 h

Työaika = Koko se aika, joka kuluu tietyn työtehtävän suorittamiseen.

Vapaa-aika = Kokonaisaika – Työaika.

Tuotantoaika = Aika, joka kuluu yksittäisellä työmaalla työtehtävän suorittamiseen.

Siirtoaika = Koneiden ja työntekijöiden siirtoaika työalueelta toiselle.

Korjaamoaika = Aika, joka kuluu sellaisiin korjaus- ja huoltotöihin, joita ei tavanomaisena työnä voida tehdä työmaalla. Korjaamoaikaan sisältyy koneen siirtoaika korjaamolle ja siellä varsinaiseen korjaukseen, huoltoon ja varaosien odotukseen kulunut aika.

Tehoaika = Suoranaisesti työn suorittamiseen kulunut aika.

Käyttöaika = Aika, joka välittömästi tai välillisesti kuluu työn suorittamiseen työmaalla ja sisältää tehoajan lisäksi lyhyet keskeytykset.

Keskeytykset = Ajat, jotka eivät kuulu suoraan johonkin tiettyyn työnosaan. Keskeytyksiä ovat muun muassa koneiden huollot ja korjaukset, kuljettajan tauot jne. Keskeytykset jaetaan lyhyisiin ja pitkiin keskeytyksiin.

Lyhyet keskeytykset = Keskeytyksiä, jotka ovat kestoltaan 15 minuuttia tai alle.

Pitkät keskeytykset = Keskeytyksiä, jotka ovat kestoltaan yli 15 minuuttia.

Paalien ominaisuudet, paali- ja hakkuutähdekertymät aikatutkimuskoealoittain.

	111	112	121	122	123	124	125	131	132	133	134	135	141	142	143	144	145	146	251	252	253	254	255	261	371	372	373
Sidontakohtien lukumäärä, kpl	6	6	6	8	8	8	6	6	6	6	6	6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	6	6	6	6	6	6
Pituus, cm	294	307	294	304	304	298	308	307	311	320	315	320	285	284	294	286	297	292	308	305	302	292	286	329	311	313	313
Läpimitta, cm	76	73	76	72	70	72	72	74	70	72	73	72	70	71	74	72	69	74	68	67	69	64	63	68	74	73	73
Kehystilavuus, m^3	1,32	1,27	1,32	1,23	1,16	1,22	1,25	1,33	1,21	1,30	1,30	1,30	1,09	1,13	1,25	1,16	1,10	1,24	1,12	1,06	1,13	0,94	0,89	1,21	1,33	1,30	1,30
Massa, kg	405	351	328	352	511	545	485	363	295	613	499	408	231	240	468	431	551	297	259	265	316	336	285	453	324	301	367
Tuoretiheys, kg/m^3	769	786	727	702	900	951	836	709	668	919	871	849	637	804	943	857	985	865	656	718	783	837	876	944	722	704	854
Tilavuus, m^3	0,53	0,45	0,45	0,50	0,57	0,57	0,58	0,51	0,44	0,67	0,57	0,48	0,36	0,30	0,50	0,50	0,56	0,34	0,40	0,37	0,40	0,40	0,33	0,48	0,45	0,43	0,43
Tilavuussuhde, %	40	35	34	41	49	47	47	39	36	51	44	37	33	26	40	43	51	28	35	35	36	43	37	40	34	33	33
Energiatiheys, MWh/m^3	2,22	2,18	2,32	2,39	1,90	1,77	2,06	2,37	2,47	1,85	1,97	2,02	2,55	2,13	1,79	2,00	1,69	1,98	2,50	2,35	2,19	2,05	1,96	1,79	2,34	2,38	2,01
Energiasisältö, MWh	1,17	0,97	1,05	1,20	1,08	1,02	1,19	1,21	1,09	1,24	1,13	0,97	0,92	0,64	0,89	1,01	0,95	0,68	0,99	0,87	0,88	0,82	0,64	0,86	1,05	1,02	0,86
Paalikertymä, paalia/ha	103	160	98	56	134	145	138	118	117	172	154	125	103	110	167	132	175	158	100	183	175	124	200	97	114	68	124
Hakkuutähdekertymä, m^3/ha	54	71	44	28	76	83	80	61	52	115	88	60	37	33	83	66	68	54	40	67	71	50	65	47	51	29	53
Hakkuutähdekertymä, MWh/ha	120	156	102	67	145	147	164	143	127	213	174	121	95	70	148	133	165	108	99	158	154	102	127	83	120	69	107
Hakkuutähde-/ainespuu-kertymän suhde, %	27	50	14	20	35	26	29	33	34	44	32	28	20	17	44	59	54	41	16	26	30	16	19	17	25	9	17