

Metsätehon raportti 136
28.8.2002

Hakkuutähteen metsäkuljetuksen ajanmenekki, tuottavuus ja kustannukset

Kaarlo Rieppo

Hakkuutähteen metsäkuljetuksen ajanmenekki, tuottavuus ja kustannukset

Kaarlo Rieppo

Metsätehon raportti 136
28.8.2002

Konsortiohanke: Metsäliitto Osuuskunta, Stora Enso Oyj,
UPM-Kymmene Oyj, Vapo Oy

Asiasanat: hakkuutähde, metsäkuljetus, ajanmenekki,
tuottavuus, kustannus

© Metsäteho Oy

Helsinki 2002

SISÄLLYS

| | |
|---|-----------|
| TIIVISTELMÄ..... | 4 |
| 1 TAUSTA..... | 8 |
| 2 TAVOITE..... | 8 |
| 3 TOTEUTUS..... | 8 |
| 3.1 Aineistot..... | 8 |
| 3.1.1 Tutkimuskoneet ja kuljettajat | 8 |
| 3.1.2 Aikatutkimus | 12 |
| 3.1.3 Seurantatutkimus | 13 |
| 3.2 Tutkimusmenetelmä..... | 14 |
| 4 TULOKSET..... | 15 |
| 4.1 Hakkuutähteen haketetut määrät ja ominaisuudet | 15 |
| 4.2 Talteen kerätyn hakkuutähteen osuus | 18 |
| 4.3 Kuormien ja taakkojen koot..... | 18 |
| 4.4 Ajanmenekki | 19 |
| 4.4.1 Kuormaus..... | 19 |
| 4.4.2 Kuormausajo..... | 21 |
| 4.4.3 Kuormattuna- ja tyhjänäajo | 22 |
| 4.4.4 Purkaminen..... | 24 |
| 4.4.5 Ajanmenekijakaumat | 24 |
| 4.5 Käyttöaikatuoottavuus | 25 |
| 4.5.1 Vihreä hakkuutähde..... | 25 |
| 4.5.2 Ruskea hakkuutähde | 27 |
| 4.5.3 Kasauksen vaikutus tuottavuuteen..... | 29 |
| 4.5.4 Maastoluokan vaikutus tuottavuuteen | 30 |
| 4.6 Seurantatutkimus..... | 32 |
| 4.6.1 Kuormakoot ja saannot..... | 32 |
| 4.6.2 Keskeytykset ja käyttöasteet..... | 32 |
| 4.6.3 Käyttötuntituotos seurantatutkimuksessa | 34 |
| 4.7 Kustannukset..... | 36 |
| 4.7.1 Kustannuslaskennan perusteet ja käyttötuntikustannukset... 36 | |
| 4.7.2 Vihreä hakkuutähde | 36 |
| 4.7.3 Ruskea hakkuutähde | 38 |
| 4.7.4 Kasauksen vaikutus kustannuksiin | 40 |
| 4.7.5 Maastoluokan vaikutus kustannuksiin..... | 40 |
| 4.7.6 Työmaan koon vaikutus kustannuksiin | 42 |
| 4.8 Hakkuutähteen metsäkuljetuksen vuosisuorite | 42 |
| 5 TARKASTELU..... | 44 |
| KIRJALLISUUS..... | 47 |

TIIVISTELMÄ

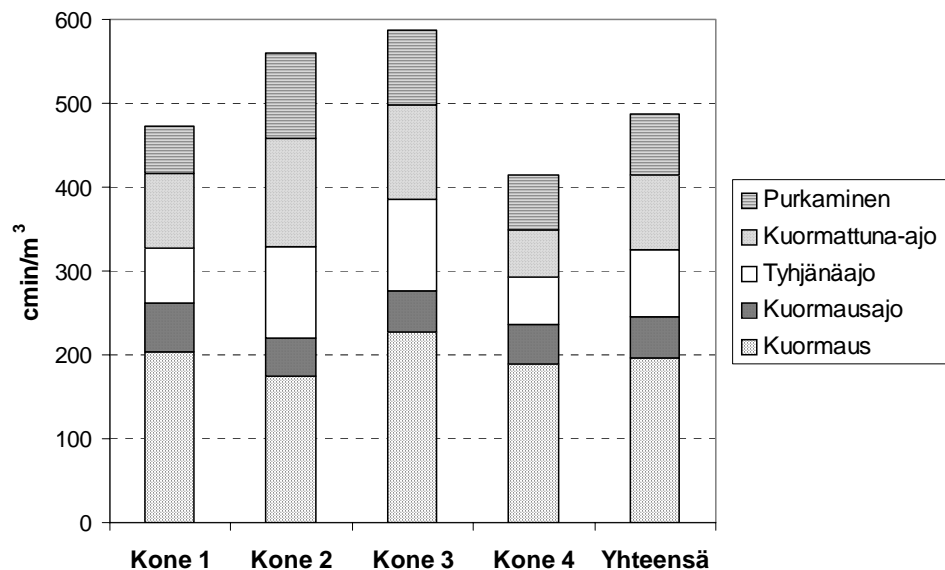
Hakkuutähteen metsäkuljetuksen ajanmenekki, tuottavuus ja kustannukset määritettiin 19 työmaalta ja neljältä kuormatraktorilta kesäolosuhteista. Yhdellä kohteella tehtiin vertailukoe, jossa osalla palstasta hakkuutähteet jätettiin levälleen ja osalla kasoihin. Viidellä työmaalla hakkuutähte oli kuivahtanut eli ruskeaa ja loppuilla tuoretta eli vihreää. Aikatutkimuksen hakemäärä oli 900 m³ (kiintokuutiometriä). Lisäksi kerättiin 9 000 m³:n seuranta-aineisto.

Hakkuutähteestä kerättiin talteen keskimäärin 77 % ja haketta saatiin 20 – 100 m³/ha. Keskimääräinen kuorman koko oli 7,2 m³. Koneittain kuorman koot vaihtelivat 4,8:sta 10,6 m³:iin. Suurimmat kuormat saatiin koneella, jossa oli kallistettavat karikat. Kuormatililan koon lisäksi myös kuormaustapa vaikutti kuorman kokoon – poikittaisella kuormaustavalla kuorman koko kasvoi. Kuorman koko oli vihreällä hakkuutähteellä 7,8 m³ ja ruskealla 5,7 m³ eli reilun neljänneksen pienempi.

Keskimääräinen taakan koko kuormauksessa oli vihreällä hakkuutähteellä 0,19 ja ruskealla 0,15 m³. Purkamisen taakan koot olivat vastavasti 0,42 ja 0,35 m³.

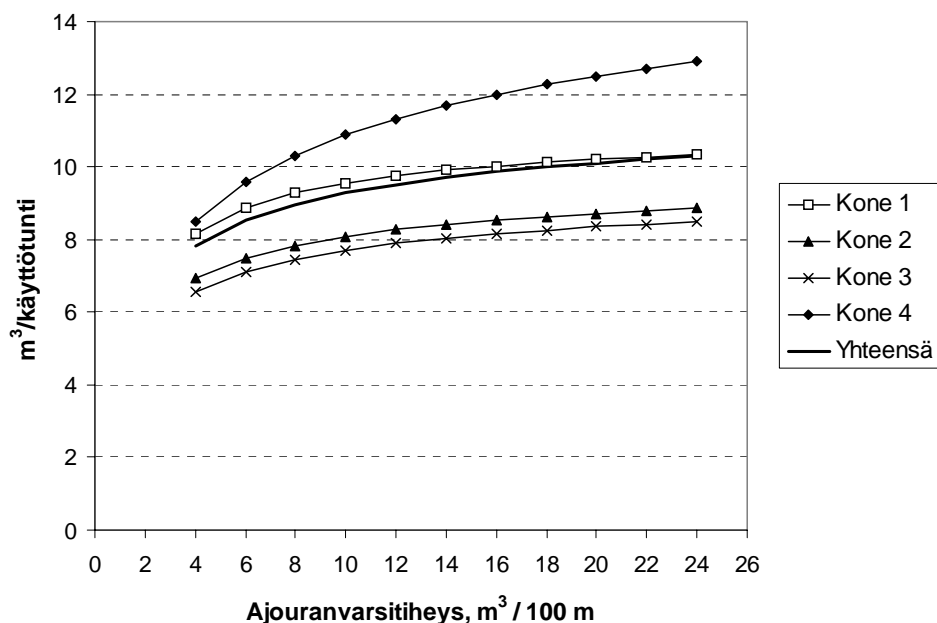
Ajanmenekki-, tuottavuus- ja kustannustarkasteluissa vertailuja tehtiin ajouranvarsi- tiheyden, metsäkuljetusmatkan, kuorman koon, maastoluokan, raaka-aineen tuoreuden, kasojen laadun ja työmaan koon suhteen.

Tehoajanmenekki oli koneittain kuvan A mukainen. Keskimäärin kuormaukseen ja purkamiseen käytettiin 55 % tehoajasta.



Kuva A. Eri työnvaiheiden tehoajanmenekki, kun ajouranvarsi- tiheys on 10 m³ / 100 m, metsäkuljetusmatka 250 m ja kuorman koko aikatutkimuksessa toteutunut.

Ajouranvarsitiheyden kasvaessa 4:stä 24 kuutiometriin sataa ajourametriä kohti suureni koneiden välinen tuottavuusero 30:stä 52 %:iin (kuva B). Erityisesti kuormatilaltaan suurimman koneen tuottavuus nousi muihin nähden voimakkaammin. Tuottavuus oli keskimäärin 9,3 m³/käyttötunti, kun ajouranvarsitiheys oli 10 m³ / 100 m ja metsäkuljetusmatka 250 metriä. Koneittain tuottavuus vaihteli tällöin välillä 7,7 – 10,9 m³/käyttötunti.



Kuva B. Käyttötuntituottavuus ajouranvarsitiheyden mukaan vihreällä hakkuutähteellä, kun metsäkuljetusmatka on 250 m ja kuorman koot aikatutkimuksessa toteutuneet.

Koneiden välinen tuottavuusero kasvoi lähes lineaarisesti metsäkuljetusmatkan pidentyessä. Sadan metrin metsäkuljetusmatkalla ero oli 36 % ja kilometrin matkalla jo 63 %.

Maksimi- ja minimikäyttötuntituottavuuksien suhde kuorman ko'illa 3 – 14 m³ oli 1,09 – 1,14, kun kuorman koko kullakin koneella vakioitiin ja muut tekijät pysyivät aikatutkimuksen mukaisina. Pienin konekohtainen keskikuorman koko tässä aineistossa oli noin 5 m³ ja suurin 10,5 m³. Koneesta riippuen käyttötuntituottavuus nousi 26 – 36 % kuorman koon kasvaessa toteutuneesta minimistä toteutuneeseen maksimiin.

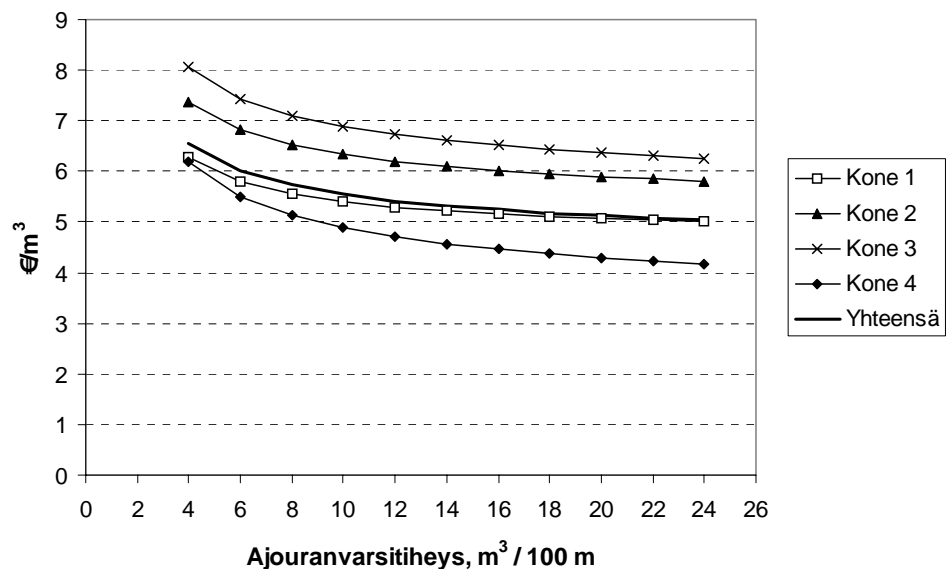
Ruskean hakkuutähteen metsäkuljetuksen tuottavuus oli kuutiomäärissä mitaten lähes viidenneksen pienempi kuin vihreän. Tällöin oletettiin kuorma- ja purkamisajanmenekit sekä kuorman koot aikatutkimuksessa toteutuneen mukaisiksi. Lisäksi oletettiin ruskealla hakkuutähteelä ajouranvarsitiheys neulasten osittaisen irtoamisen vuoksi 15 % pienemmäksi kuin vihreällä.

Levällään olevan hakkuutähteen kuormausaika oli 28 % ja purkamisaika 5 % suurempi kuin kasoissa olevan.

Suppeaksi jääneessä seurantatutkimuksessa koneittaiset käyttötuntituottavuudet olivat 9,4 – 12,8 m³/h. Kuusen osuuden ainespuun hakkuukertymästä kasvaessa käyttötuntituottavuus nousi. Samoin kävi, kun hakkuutähteen prosentuaalinen osuus hakkuukertymään verrattuna suureni.

Kustannuslaskelmissa käyttötuntimäärä oli 2 465 ja koneiden hinnat 192 000 – 210 000 €. Käyttötuntikustannuksiksi muodostui 51,5 – 53,2 €

Vihreän hakkuutähteen metsäkuljetuskustannus oli koneittain 4,9 – 6,9 €/m³ ja keskimäärin 5,55 €/m³, kun ajouranvarsitiheys oli 10 m³ / 100 m ja metsäkuljetusmatka 250 metriä (kuva C). Metsäkuljetusmatkan nousu 250 metristä 500 metriin nosti kustannuksia 27 % eli 1,5 €/m³. Kuorman koon kasvu 5:stä 10,5 m³:iin laski puolestaan kustannuksia reilun euron kuutiometriä kohti.



Kuva C. Vihreän hakkuutähteen metsäkuljetuksen kustannukset ajouranvarsitiheyden suhteen. Metsäkuljetusmatka 250 m.

Tilavuusperusteisessa vertailussa ruskean hakkuutähteen metsäkuljetuskustannus oli suurempi kuin vihreän, mutta energiasisältövertailussa päinvastoin. Tällöin vihreän hakkuutähteen kosteuden oletettiin olevan 50 % ja ruskean 30 %. Lyhemmillä metsäkuljetusmatkoilla ruskean hakkuutähteen korjuun suhteellinen kustannus vihreään verrattuna aleni.

Kasoille hakkuulla saavutettiin hakkuutähteen metsäkuljetuksessa lyhyillä metsäkuljetusmatkoilla yli kymmenen ja pitkilläkin vielä noin 5 prosentin kustannushyöty levälleen jätettyyn hakkuutähteeseen verrattuna.

Maastoluokassa 2 hakkuutähteen metsäkuljetus oli vertailutavasta riip-puen 12 – 21 % ja maastoluokassa 3 21 – 41 % kalliimpaa kuin maasto-luokassa 1, kun ajouranvarsitiheys oli 10 m³ / 100 m ja metsäkuljetus-matka 250 m. Metsäkuljetusmatkan kasvaessa maastoluokkien 2 ja 3 kustannussuhde maastoluokkaan 1 verrattuna muuttui epäedullisem-maksi.

Kun työmaan koko jäi alle 100 m³:n, alkoivat kustannukset merkittävästi nousta ja ne eivät puolestaan enää merkittävästi laskeneet työmaan koon ollessa yli 400 m³.

Kun ajouranvarsitiheys oli 10 m³ / 100 m ja metsäkuljetusmatka 250 m, oli pienimmän tuottavuuden omaavan koneen vuosisuorite 19 000 m³ ja suurimman tuottavuuden omaavan koneen 27 000 m³.

Tässä tutkimuksessa saatu tehotuntuottavuus oli samaa tasoa, noin 2 – 3 % suurempi kuin Asikaisen ym. (2001) tutkimuksessa samanlaisel-la kuorman koolla. Tässä tutkimuksessa tehtyihin yleistyksiin on kuiten-kin suhtauduttava tietyllä varauksella, koska aineisto oli varsin pieni. Oman epävarmuutensa luotettavuuteen toi myös se, että osalla kohteis-ta metsäkuljetuksen ja haketuksen väli oli niin pitkä, että se saattoi vai-kuttaa näiltä kohteilta saadun vihreän hakkuutähteen määrään.

Koneittain tehty tuottavuusvertailu kuormakoon mukaan osoitti, että kuormakoko selitti selvästi voimakkaammin käyttötuntuottavuutta kuin koneet ja kuljettajat. Näin kuorman koon maksimointiin erilaisin kuorma-tila- ja kuormausratkaisuin on pyrittävä.

Ruskea hakkuutähde ei ollut aina kuivempaa kuin vihreä, joten kuivatus ei aina tuota toivottavaa tulosta. Kuivauksen tulisi käytännössä pienentää hakkuutähteen kosteutta parinkymmenen prosentin verran, jotta näin saatu lisäenergia kattaisi sen muuten korkeammat metsäkuljetus-kustannukset. Muita kustannusvaikutuksia, kuten neulasten mahdollisia haittavaikutuksia kattilalle, ei tässä ole huomioitu.

1 TAUSTA

Hakkuutähteiden kuljettaminen kuormatraktorilla irtotavarana tienvarsivaraan on yleisin toimintatapa hakkuutähteen hankintaketjussa. Hakkuutähteen hankintamäärien kasvaessa myös tämän toiminnan osuus edelleen kasvaa, vaikka muitakin, esimerkiksi hakkuutähteen paalaukseen perustuvia menetelmiä kehitellään.

Hanke oli osa Metsätehon "Työsuoritteiden määrittäminen hakkuutähteen metsäkuljetuksessa" -projektia, jota Puuenergian teknologiaohjelman kautta on rahoittanut Metsätehon osakkaiden lisäksi myös Tekes. Projektin alkupe- räisenä tavoitteena oli kehittää hakkuutähteen metsäkuljetusmäärän mitta- usmenetelmä. Tämä osa on raportoitu Metsätehon raporttina 129.

Koska tiedot hakkuutähteiden metsäkuljetuksesta on koettu puutteellisiksi, päätti projektin johtoryhmä, että projektiin sisällytetään myös näiden tieto- jen täydentäminen.

Projektin johtoryhmän muodostivat seuraavat Metsätehon osakkaiden edus- tajat:

- Tapio Peltoniemi, Metsäliitto Osuuskunta, puheenjohtaja
- Sami Honkanen, Stora Enso Oyj
- Tapo Lehtoranta, Vapo Oy
- Matti Markkila, UPM-Kymmene Oyj

2 TAVOITE

Tavoitteeksi asetettiin hakkuutähteiden irtonaisena tehtävän metsäkuljetuk- sen alustavien ajanmenekkien, tuottavuuksien ja kustannuksien määrittämi- nen. Tärkeimmiksi selvitettäväksi tekijöiksi määritettiin kaluston (kuormati- lan koko), metsäkuljetusmatkan, hakkuutähteen määrän ja puulajisuhteiden vaikutusten selvittäminen hakkuutähteen metsäkuljetuksen ajanmenekkiin. Suppeammin selvitettäväksi tekijöiksi määritettiin hakkuutähteen kasojen laatu (hakattu kasoille/levälleen), hakkuutähteen tuoreus ja maasto. Työ- maan koon vaikutus määritettäisiin laskennallisesti.

3 TOTEUTUS

3.1 Aineistot

3.1.1 Tutkimuskoneet ja kuljettajat

Tutkimukseen valittiin neljä kuormatraktoria (kuvat 1, 2, 3 ja 4). Koska ko- neita oli tutkimukseen mahdollista ottaa vain muutama, valittiin eteläisestä ja keskisestä Suomesta sellaisia yrittäjiä, joiden toiminta hakkuutähteiden metsäkuljetuksessa oli jo vakiintunutta. Kaksi koneista osoitti urakanantaja- na Metsäliitto. Toinen näistä toimi Kouvolan ympäristössä ja toinen Etelä- Pohjanmaalla. Toiset kaksi konetta osoitti UPM-Kymmene, ja ne urakoivat

Jämsän seudulla. Koneiden valinnassa kriteerinä oli se, että mukaan haluttiin kuormatiloiltaan erikokoisia ratkaisuja. Yksityiskohtaiset tiedot tutkimuskoneista on esitetty taulukossa 1.



Kuva 1. Koneen 1 kuljettaja käytti kuorman teossa poikittaisladontatekniikkaa, mikä suurensi kuorman kokoa.



Kuva 2. Kone 2 kuljettamassa tuoretta hakkuutähdettä.



Kuva 3. Kone 3 kuormaamassa ruskeaa hakkuutähdettä.



Kuva 4. Koneella 4 karikat voitiin kallistaa sivulle, mikä kasvatti kuormatilaa jopa 50 %.

TAULUKKO 1

Tutkimuskoneiden tekniset tiedot

| Kone | Merkki ja malli (pyöri-en lkm) | Nosturi (ulottu-vuus, m) | Koura (piikkien lkm) | Kuorma-tilan muutok-set | Kuormatilan kehystilavuus, m ³ | | | |
|------|--------------------------------|--------------------------|------------------------------------|--|---|------------|------------------------|------------|
| | | | | | Perus-kuor-matila | Jat-ko-osa | Kuk-kura ¹⁾ | Yh-teen-sä |
| 1 | Timber-jack 1010B (6) | Timber-jack 61F (9,7) | Loglift RX30 (4) | 1,3 m jatkettu perätila | 17,1 | 4,5 | 8,1 ²⁾ | 29,7 |
| 2 | Timber-jack 1010 (6) | Loglift F70 (10,1) | Puutava-rakouras-ta muun-neltu (4) | 1,2 m jatkettu perätila | 18,1 | 5,4 | 7,5 ²⁾ | 31,0 |
| 3 | Valmet 860 (8) | Cranab 850 (8,9) | Loglift RX50 (4) | Jatko-karikat 0,5 m | 19,8 | - | 7,9 ²⁾ | 27,7 |
| 4 | Valmet 838 (8) | Fiskars 70 (10,3) | Fiskars 025 (oma muun-nelma) (4) | Sivulle kallistu-vat kari-kat ja jatkettu perätila | Karikat pystyssä | | | |
| | | | | | 16,4 | 5,4 | 6,9 ²⁾ | 28,7 |
| | | | | | Karikat sivulle kallistettuina | | | |
| | | | | | 22,4 | 7,3 | 13,5 ³⁾ | 43,2 |

1) Kukkuran tilavuuden määrittäminen:

Kukkuran pohjamuodon on oletettu olevan ellipsi, jonka pituus (a) on kuormatilan pituus ja leveys (b) on kuormatilan leveys. Kukkuran korkeusmuodon on oletettu olevan puoliellipsi, jonka korkeuden suhde leveyteen on c. Kukkuran tilavuus voidaan laskea kaavalla:

$$V = \frac{\pi \cdot a \cdot b^2 \cdot c}{6}$$

2) Kukkuran korkeuden suhde leveyteen 0,5

3) Kukkuran korkeuden suhde leveyteen 0,3, koska erityisen leveä kuormatila

Kuljettajien kokemukset puutavaran- ja hakkuutähteen metsäkuljetuksesta ennen aikatutkimusten aloittamista olivat:

- Kone 1: 12 vuotta puutavaranajoa ja 2 vuotta hakkuutähteen ajoa
- Kone 2: 18 vuotta puutavaranajoa ja 1 vuosi hakkuutähteen ajoa
- Kone 3: 2 vuotta puutavaranajoa ja 2 viikkoa hakkuutähteen ajoa
- Kone 4: 20 vuotta puutavaranajoa ja 1 vuosi hakkuutähteen ajoa

Kolmella kuljettajalla oli siten hyvin vankka kokemus puutavaran ajosta ja myös hyvä kokemus hakkuutähteen metsäkuljetuksesta. Koneen 3 kuljettajalla kokemus puutavaran ajosta oli selvästi vähäisempi kuin muilla ja erityisesti hänen kokemuksensa hakkuutähteen ajosta ennen tutkimusta oli vähäinen. Koska hakkuutähteen metsäkuljetus ei eroa työn teknisenä suoritusena paljontaan puutavaran ajosta, suoriutui tämäkin kuljettaja tästä työstä kuitenkin jo hyvin.

3.1.2 Aikatutkimus

Aikatutkimusaineisto kerättiin kesäolosuhteissa toukokuun lopulta syyskuun puoliväliin 2001. Työntutkimukset teki Metsätehon työntutkija Kari Uusi-Pantti. Aineisto muodostui kaikkiaan 132 kuormasta.

Taulukoissa 2 ja 3 on esitetty koneittain toteutuneiden aikatutkimuskohteiden tietoja. Aikatutkimuskohteet olivat niin kuusivaltaisia, että puulajien vaikutusta ei voitu selvittää. Tavoitteena oli, että hakkuutähteiden haketus tehtäisiin heti keruun jälkeen. Tässä ei kuitenkaan läheskään aina käytännön operatiivisista syistä johtuen onnistuttu.

TAULUKKO 2 Aikatutkimuskohteet

| Kone | Työmaa | Aikatutkimuspäivä | Haketuspäivä | Metsäkuljetuksesta haketukseen, päiviä | Hakkuutähteen laatu | Kasojen laatu | Kuormien lukumäärä | Hakemäärä, m ³ |
|------|--------|-------------------|--------------|--|---------------------|---------------|--------------------|---------------------------|
| 1 | 1 | 29.5. | 8.6. | 10 | v | kas. | 8 | 68 |
| 1 | 2 | 6.6. | 13.6. | 7 | v | kas. | 8 | 70 |
| 1 | 3 | 7.8. | 22.8. | 15 | v | kas. | 6 | 54 |
| 1 | 4 | 8.8. | 8.11. | 92 | r | kas. | 6 | 39 |
| 1 | 5/1 | 11.9. | 20.9. | 9 | v | lev. | 4 | 39 |
| 1 | 5/2 | 12.9. | 21.9. | 9 | v | kas. | 4 | 44 |
| 2 | 1 | 31.5. | 19.7. | 49 | v | * | 12 | 56 |
| 2 | 2 | 5.6. | 27.6. | 22 | v | * | 6 | 26 |
| 2 | 3 | 29.6. | 4.7. | 5 | r | kas. | 9 | 41 |
| 2 | 4 | 9.8. | 25.8. | 16 | v | kas. | 6 | 35 |
| 2 | 5 | 5.9. | 30.11. | 86 | v | kas. | 7 | 30 |
| 3 | 1 | 2.8. | 7.8. | 5 | r | kas. | 6 | 23 |
| 3 | 2 | 3.8. | 16.8. | 13 | r | kas. | 8 | 29 |
| 3 | 3 | 15.8. | 17.1.02 | 155 | v | kas. | 5 | 34 |
| 3 | 4 | 22.8. | 30.11. | 100 | v | kas. | 6 | 33 |
| 4 | 1 | 20.6. | 13.10. | 115 | v | * | 7 | 67 |
| 4 | 2 | 21.6. | 18.10. | 119 | v | * | 5 | 44 |
| 4 | 3 | 27.6. | 17.10. | 112 | v | * | 5 | 38 |
| 4 | 4 | 28.6. | 15.10. | 109 | r | * | 8 | 76 |
| 4 | 5 | 13.9. | 12.10. | 29 | v | karh. | 6 | 81 |

v = vihreä eli tuore, r = ruskea eli kuivahtanut, * = osittain karhella, kas. = kasoissa, lev. = levällään, karh. = karhella

TAULUKKO 3 Aikatutkimuskohteiden puusto- ja kertymätietoja

| Kone | Työmaa | Keski-järeys ¹⁾ , dm ³ | Hakkuu-kertymä ¹⁾ , m ³ /ha | Hakkuu-tähde (m ³) / Hakkuu-määrä (m ³) ¹⁾ , % | Puulajiosuudet ¹⁾ , % | | |
|------|--------|--|---|---|----------------------------------|-------|------------|
| | | | | | Kuusi | Mänty | Lehti-puut |
| 1 | 1 | 275 | 265 | 26 | 77,7 | 14,9 | 7,5 |
| 1 | 2 | 823 | 252 | 18 | 98,2 | 1,0 | 0,8 |
| 1 | 3 | 499 | 336 | 22 | 93,6 | 1,6 | 4,8 |
| 1 | 4 | 663 | 328 | 11 | 96,2 | 3,5 | 0,2 |
| 1 | 5 | 456 | 212 | 29 | 88,4 | 6,6 | 5,0 |
| 2 | 1 | 401 | 157 | 18 | 88,7 | 8,8 | 2,5 |
| 2 | 2 | 557 | 295 | 20 | 76,7 | 22,6 | 0,7 |
| 2 | 3 | 419 | 237 | 14 | 66,7 | 32,4 | 0,9 |
| 2 | 4 | 527 | 248 | 21 | 69,4 | 24,7 | 5,9 |
| 2 | 5 | 602 | 356 | 10 | 71,3 | 26,3 | 2,5 |
| 3 | 1 | - | - | - | - | - | - |
| 3 | 2 | - | - | - | - | - | - |
| 3 | 3 | 207 | 210 | 35 | 79,8 | 18,4 | 1,8 |
| 3 | 4 | - | - | - | - | - | - |
| 4 | 1 | 386 | 199 | 17 | 69,8 | 28,1 | 2,1 |
| 4 | 2 | 532 | 241 | 9 | 80,9 | 12,5 | 6,6 |
| 4 | 3 | 205 | 273 | 14 | 81,3 | 10,3 | 8,4 |
| 4 | 4 | 607 | 210 | 18 | 91,9 | 8,1 | 0,0 |
| 4 | 5 | 524 | 386 | 15 | 93,0 | 6,9 | 0,1 |

1) määritetty koko leimikolta; aikatutkimus vain osalta leimikkoa

3.1.3 Seurantatutkimus

Samanaikaisesti aikatutkimusten kanssa aloitettiin kullakin koneella ja alkuperäisen tarkoituksen mukaan myös kahdella muulla koneella seurantatutkimus, jota jatkettiin loka-marraskuulle 2001 saakka. Eri syistä johtuen aineistoa seurantatutkimuksesta kertyi niukasti.

Kaikkiaan seuranta-aineistoa saatiin 51 työmaalta. Nämä jakautuivat koneittain taulukon 4 mukaisesti. Koneet 1, 2, 3 ja 4 ovat samoja kuin aikatutkimusosassa. Kone 5 oli pelkästään seurantatutkimuksessa.

TAULUKKO 4 Seuranta-aineiston määrä koneittain

| Kone | Työmaita |
|----------|----------|
| 1 | 17 |
| 2 | 11 |
| 3 | 3 |
| 4 | 12 |
| 5 | 8 |
| Yhteensä | 51 |

3.2 Tutkimusmenetelmä

Koneittaiset ajanmenekit selvitettiin työmaakohtaisin kelloaikatutkimuksin. Sama kuljettaja käytti samaa konetta kaikissa aikatutkimuskohteissa. Yksittäisten kuormien tilavuutta ei määritetty eikä kuormia punnittu. Kunkin aikatutkimuserän tilavuus hakkeena ($i\text{-m}^3$) mitattiin, erät punnittiin ja niiden kosteudet määritettiin Metsäliiton ja UPM-Kymmenen toimesta heidän normaaleilla hakkuutähteen vastaanoton rutiineilla. Hakkeen irtotilavuus ($i\text{-m}^3$) muunnettiin kiintotilavuudeksi (m^3) kertoimella 0,40.

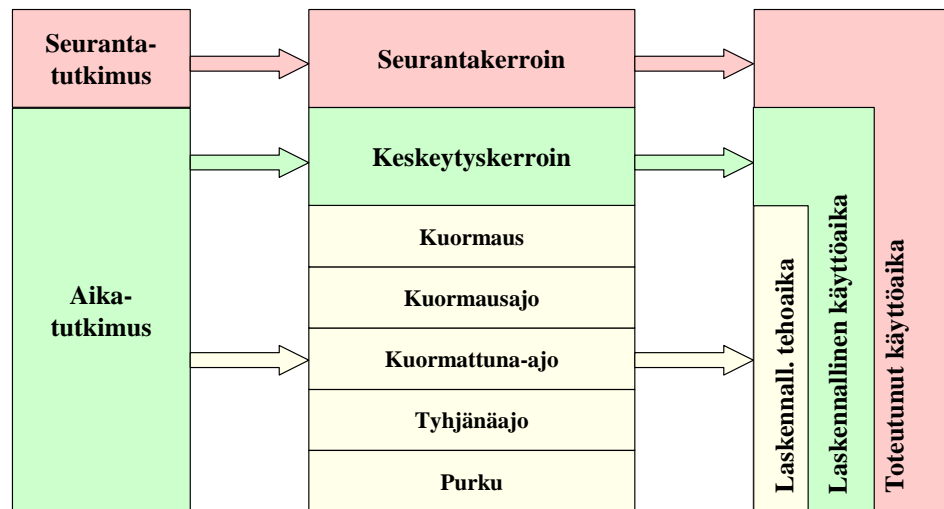


Kuva 5. Aikatutkimuserä valmiina haketettavaksi.

Yksittäisten kuormien tilavuudet määritettiin laskennallisesti. Kuormakoko laskettiin kuormauksen ja purkamisen perusteella määritettyjen kuormakokojen sekä työmaakohtaisen keskikuormakoon keskiarvona. Kuormaukseen perustuvat kuormakoot määritettiin kuormakohtaisten täysien kuormaustaakkojen lukumäärän perusteella. Täysien kuormaustaakkojen lukumääränä käytettiin arvoa, joka saatiin vähentämällä kuormittaisesta kuormaustaakkojen kokonaismäärästä kuormakohtainen kasojen määrä. Tämä perustui siihen, että jokaisella kasalla viimeiset taakat ovat vajaita. Purkamistaakkojen kuormittaisesta kokonaismäärästä vähennettiin puolestaan yksi, koska viimeiset purkamistaakat ovat yleensä vajaita. Toisaalta ei vähennetty enemmän, koska varsinkin ensimmäinen taakka voi olla tavallista suurempi. Tällä purkamistaakkojen määrällä painottaen saatiin purkamiseen perustuva kuormakoko.

Aikatutkimuksella selvitettiin eri työvaiheiden ajanmenekit. Näiden summana saatiin laskennallinen tehoaika (kuva 6). Aikatutkimusaineiston perusteella määritetyt lyhyiden (alle 15 min) keskeytysten osuudet olivat koneit-

tain 3,8 – 9,0 % ja keskimäärin 5,3 % tehoajasta. Koska aikatutkimusaineisto oli suppeahko, ei sen avulla määritettyjä lyhyiden keskeytysten osuuksia käytetty laskennallisen käyttöajanmenekin määrittämisessä, vaan tukeuduttiin tämän osalta aineistoltaan laajempaan Metsätehon viimeisimpään puutavaran metsäkuljetuksen ajanmenekkitutkimukseen. Laskennallinen käyttöaika saatiin näin lisäämällä tämän tutkimuksen perusteella saatuun tehoajaan lyhyiden keskeytysten osuus keskeytyskertoimella 1,085. Koska myös seuranta-aineiston määrä jäi pieneksi, tukeuduttiin myös tältä osin edellä mainittuun tutkimukseen, josta saadulla seurantakerroimella 1,224 laskennallinen käyttöaika muutettiin vastaamaan toteutunutta käyttöaika. Samoja kertoimia käytettiin kaikille koneille ja yleistykselle.



Kuva 6. Ajanmenekin laskentatapa.

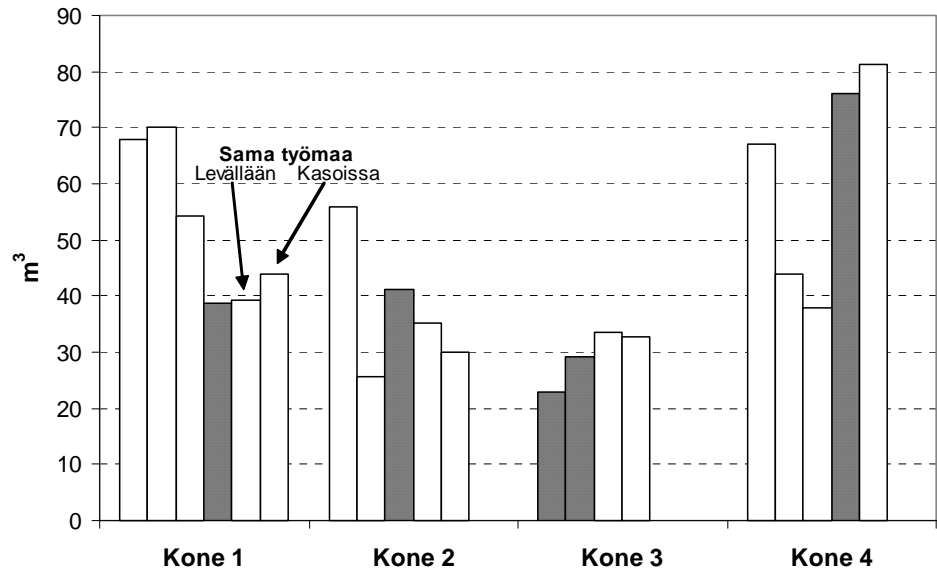
4 TULOKSET

4.1 Hakkuutähteen haketetut määrät ja ominaisuudet

Aikatutkimuserien kokonaishakemäärä oli 927 m³ ja se jakautui koneittain seuraavasti:

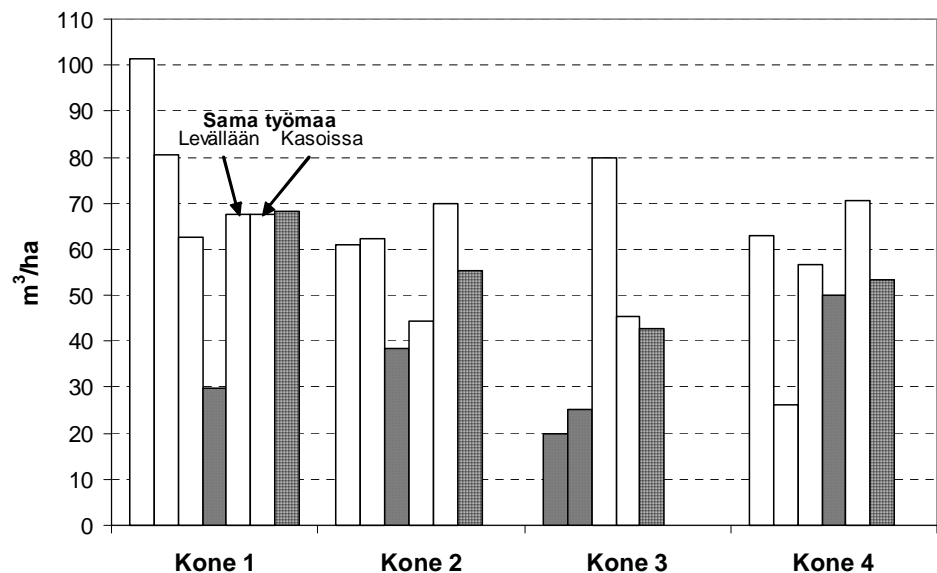
- Kone 1: 314 m³
- Kone 2: 188 m³
- Kone 3: 119 m³
- Kone 4: 306 m³

Työmaakohtaiset hakemäärät vaihtelivat reilusta 20:stä 80 m³:iin (kuva 7).



Kuva 7. Hakuutähdehaketetut määrät työmaittain. Vihreät hakuutähdekohteet valkoisilla ja ruskeat harmailla pylväillä.

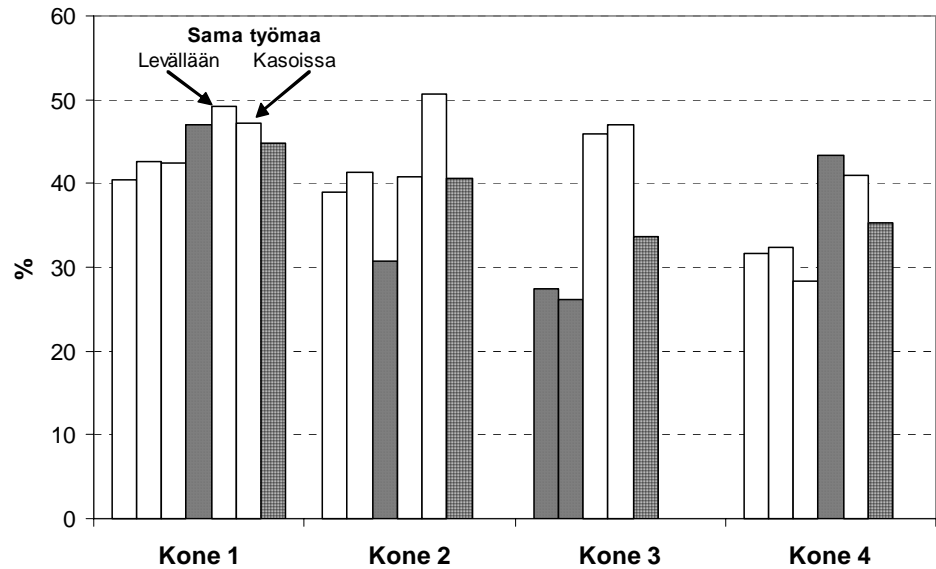
Hehtaaria kohti haketta saatiin enimmillään reilut sata ja alimmillaan parikymmentä kiintokuutiometriä, joten vaihtelua oli runsaasti. Myös konekohtaisesti vaihtelua oli varsin hyvin. Ruskean hakuutähdehaketetyn hehtaarisäntö oli yleensä pienempi kuin vihreän (kuva 8).



Kuva 8. Haketetut määrät pinta-alaa kohti työmaittain. Vihreä hakuutähde valkoisilla, ruskea harmailla ja keskimääräiset konekohtaiset arvot ruudutetuilla pylväillä.

Vihreällä hakkuutähteellä ajouranvarsitiheydet olivat työmaittain 4,5 – 16,5 ja ruskealla hakkuutähteellä 3,5 – 9,2 m³ / 100 m.

Vihreän hakkuutähteen kosteudet olivat 28 – 51 % ja ruskean 26 – 47 %. Koneilla 2 ja 3 ruskean hakkuutähteen kohteet olivat kosteudeltaan selvästi pienempiä kuin vihreän, mutta koneella 4 ruskealla kohteella oli kostein hakkuutähde (kuva 9).



Kuva 9. Hakkuutähteen kosteudet työmaittain. Vihreä hakkuutähde valkoisilla, ruskea harmailla ja keskimääräiset ruuduteuilla pylväillä.

Taulukoissa 5 ja 6 on esitetty työmaittaiset tuore- ja kuiva-tuoretiheysarvot.

TAULUKKO 5 Hakkuutähteen tuoretiheydet. Koneella 1 työmaa 5 on tehty levälleen ja 5/2 samalla työmaalla kasoille

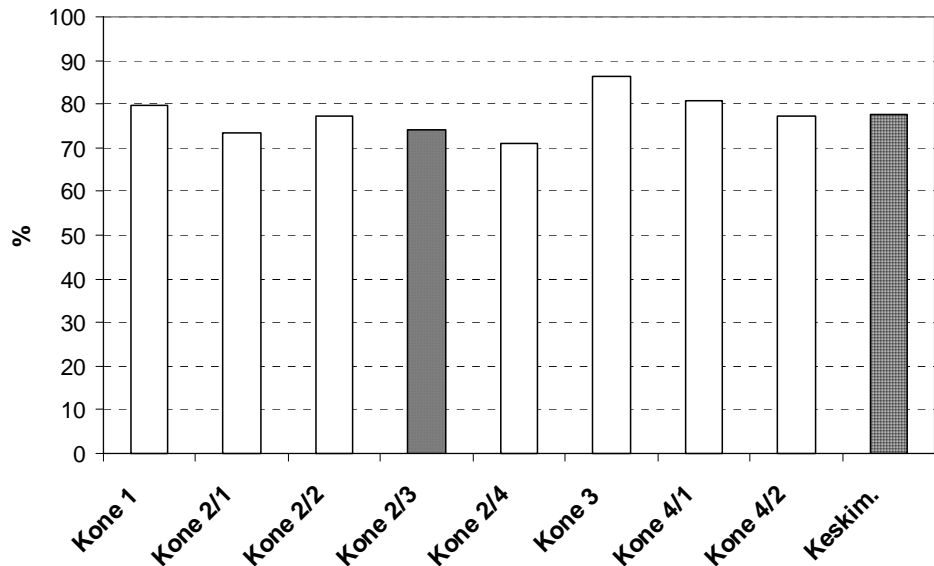
| Työmaa | Tuoretiheys, kg/m ³ | | | |
|---------|--------------------------------|--------|--------|--------|
| | Kone 1 | Kone 2 | Kone 3 | Kone 4 |
| 1 | 663 | 668 | 706 | 701 |
| 2 | 765 | 726 | 632 | 625 |
| 3 | 786 | 654 | 726 | 603 |
| 4 | 860 | 754 | 781 | 771 |
| 5 | 1 011 | 1 073 | | 676 |
| 5/2 | 932 | | | |
| Keskim. | 836 | 775 | 711 | 675 |

TAULUKKO 6 Hakkuutähteen kuiva-tuoretiheydet. Koneella 1 työmaa 5 on tehty levälleen ja 5/2 samalla työmaalla kasoille

| Työmaa | Kuiva-tuoretiheys, kg/m ³ | | | |
|---------|--------------------------------------|--------|--------|--------|
| | Kone 1 | Kone 2 | Kone 3 | Kone 4 |
| 1 | 395 | 408 | 512 | 479 |
| 2 | 439 | 426 | 466 | 423 |
| 3 | 453 | 453 | 392 | 432 |
| 4 | 455 | 446 | 414 | 437 |
| 5 | 514 | 530 | | 400 |
| 5/2 | 492 | | | |
| Keskim. | 458 | 452 | 446 | 434 |

4.2 Talteen kerätyn hakkuutähteen osuus

Kahdeksalta kohteelta määritettiin, kuinka suuri osuus hakkuutähteen kokonaismäärästä kerättiin talteen. Osuus vaihteli jonkin verran koneittain ja oli keskimäärin 77 % (kuva 10).



Kuva 10. Talteen kerätyn hakkuutähteen osuus. Harmaa pylväs on ruskeata hakkuutähdettä, muut vihreätä.

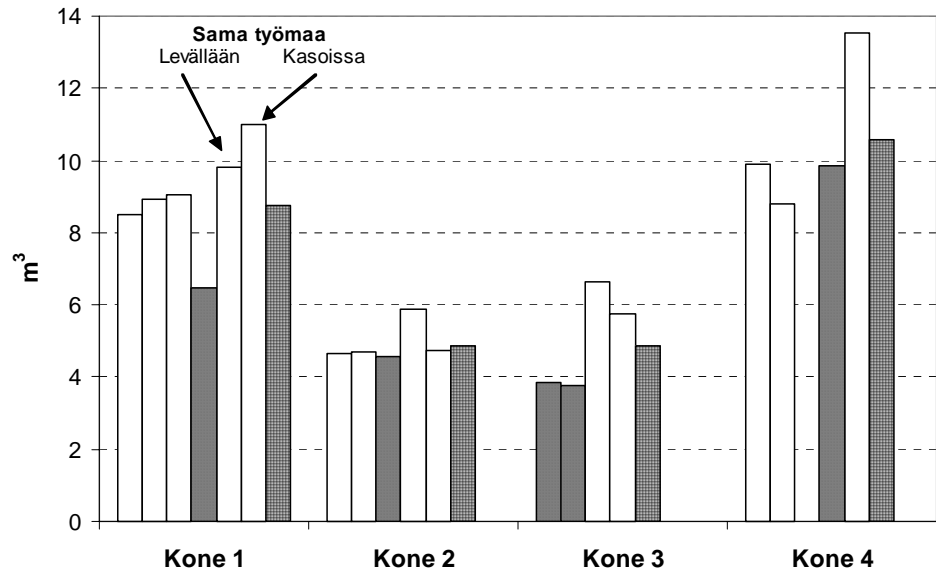
4.3 Kuormien ja taakkojen koot

Kuorman ko' oissa oli koneittain merkittäviä eroja (kuva 11). Koneilla 1 ja 4 kuormakoot olivat selvästi suurempia kuin koneilla 2 ja 3. Keskimääräiset täysien kuormien kuormakoot olivat:

- Kone 1: 8,8 m³
- Kone 2: 4,8 m³
- Kone 3: 4,8 m³
- Kone 4: 10,6 m³
- Kaikki keskimäärin: 7,2 m³

Koneella 4 jouduttiin kohteella 3 ajamaan karikat pystyssä, koska ajoreitti kulki metsän läpi. Tällä kohteella kuormien keskikoko oli 7,6 m³.

Vihreällä hakkuutähteellä keskimääräinen kuorman koko oli 7,8 ja ruskealla 5,7 m³. Ruskealla hakkuutähteellä kuorman koko oli siten reilun neljänneksen pienempi kuin vihreällä.



Kuva 11. Kuormien keskikoot työmaittain. Mukana vain täysiksi luokitellut kuormat. Vihreän hakkuutähteen kuormat valkoisilla, ruskean harmailla ja keskimääräiset ruudutetuilla pylväillä.

Keskimääräinen taakan koko kuormauksessa oli vihreällä hakkuutähteellä 0,19 ja ruskealla 0,15 m³. Purkamisen taakan koot olivat yli kaksi kertaa niin suuret: vihreällä 0,42 ja ruskealla 0,35 m³. Konekohtaiset taakan koot on esitetty taulukossa 7. Koneella 2 erityisesti vihreän hakkuutähteen purkamisen taakkakoko oli muita selvästi pienempi.

TAULUKKO 7 Kuormauksen ja purkamisen taakan koot (m³)

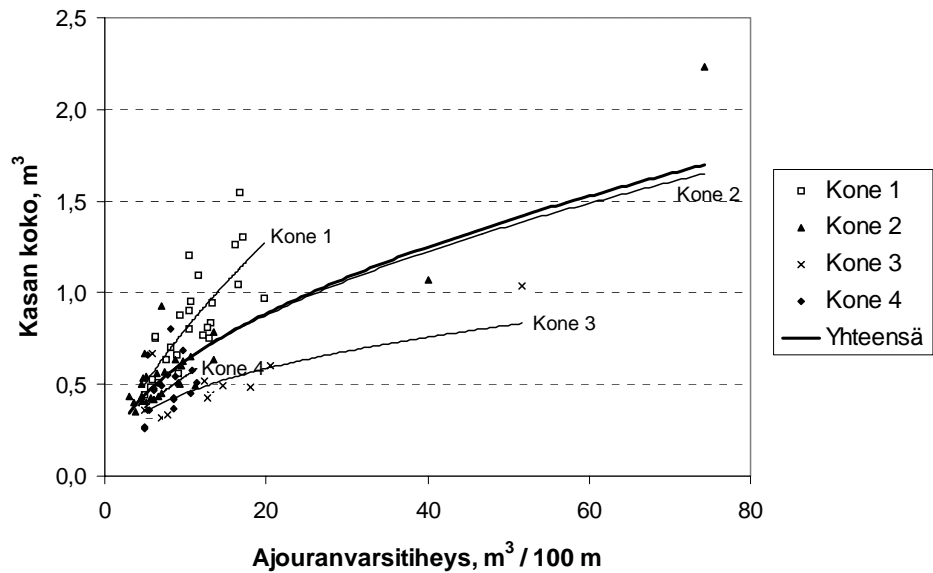
| Kone | Kuormaus | | Purkaminen | |
|---------|----------|--------|------------|--------|
| | Vihreä | Ruskea | Vihreä | Ruskea |
| 1 | 0,20 | 0,16 | 0,51 | 0,37 |
| 2 | 0,16 | 0,14 | 0,27 | 0,32 |
| 3 | 0,22 | 0,11 | 0,51 | 0,36 |
| 4 | 0,21 | 0,22 | 0,43 | 0,33 |
| Keskim. | 0,19 | 0,15 | 0,42 | 0,35 |

4.4 Ajanmenekki

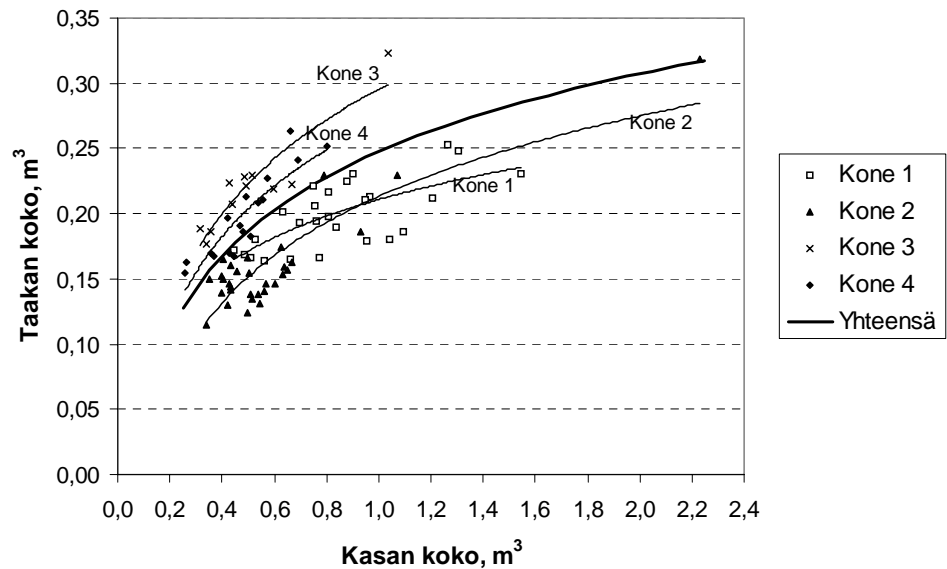
4.4.1 Kuormaus

Kuormauksella tarkoitetaan varsinaiseen hakkuutähteen kuormaamiseen kuluvaa aikaa työpisteessä. Työpisteiden väliset siirtymiset valmisteluineen ja päättämisineen sisältyvät kuormausajoon.

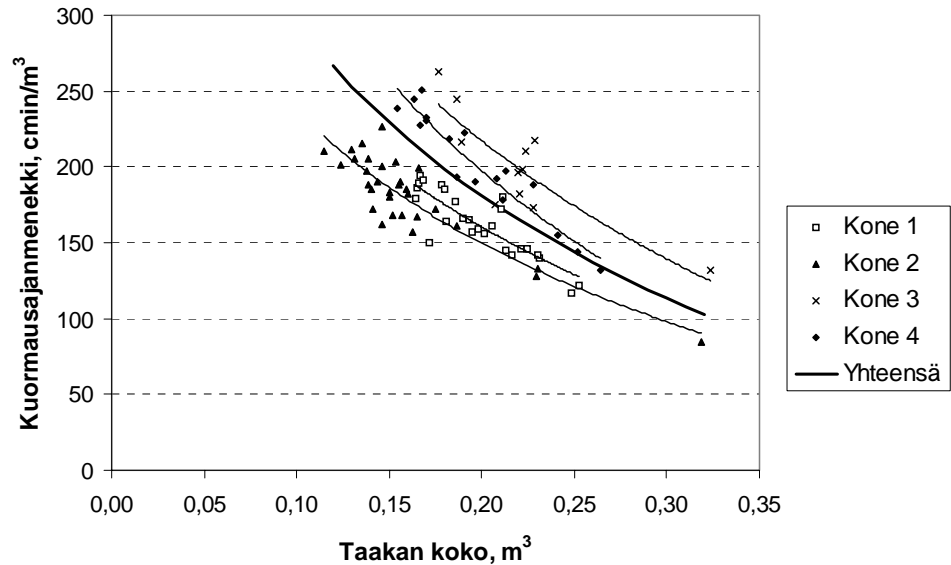
Ajouranvarsitiheyden kasvaessa myös kasakoko kasvoi. Suuremmasta kasasta puolestaan saatiin isommat taakat. Kuormauksen ajanmenekki riippui taasen taakan koosta. Kuvissa 12, 13 ja 14 on esitetty nämä havaintojoukot ja niihin perustuvat mallinnukset koneittain ja koko aineistossa vihreälle hakkuutähteelle.



Kuva 12. Kasan koon riippuvuus ajouranvarsitiheydestä vihreällä hakkuutähteellä.



Kuva 13. Kasan koon vaikutus taakan kokoon vihreän hakkuutähteen metsäkuljetuksessa.



Kuva 14. Taakan koon vaikutus vihreän hakkuutähteen metsäkuljetuksen kuormausajanmenekkiin.

Kuormauksen ajanmenekkipunktio koko aineistolle on:

$$y = -166,91 \cdot \ln(0,08650 \cdot \ln(0,20114 \cdot x^{0,49512}) + 0,24737) - 87,530$$

missä

y = kuormauksen ajanmenekki, cmin/m^3 ja

x = ajouranvarsitiheys, $\text{m}^3 / 100 \text{ m}$

Varsinaisen kuormauksen lisäksi järjestelyyn kuormauksen yhteydessä käytettiin aikaa koneittain $3,2 - 22,7 \text{ cmin/m}^3$ ja keskimäärin $6,4 \text{ cmin/m}^3$.

4.4.2 Kuormausajo

Kuormausajoon sisältyivät työpisteiden väliset siirtymiset. Kuormausajo katsottiin alkaneeksi, kun varsinainen kuormaus työpisteessä päättyi ja päättyneeksi kuormauksen jälleen alkaessa uudessa työpisteessä. Kuormausajonopeudet määritettiin maastoluokittain konekohtaisesti ja koska kuormauksen apuaikoja oli hyvin vähän, ne sisällytettiin suoraan kuormausajoon.

Kuormausajon ajanmenekki määritettiin kaavalla:

$$y = \frac{(s/b)}{k}$$

missä

y = kuormausajon aika, cmin/m^3

$s = k / (x / 100)$, missä x = ajouranvarsitiheys, $\text{m}^3 / 100 \text{ m}$

b = ajonopeus maastoluokittain (m/min) ja

k = kuorman koko, m^3

Konekohtaiset kuormausajonopeudet on esitetty taulukossa 8. Jokaiselta koneelta ei ollut riittävää määrää havaintoja kaikista maastoluokista, jotta kuormausajonopeus olisi voitu määrittää luotettavasti.

TAULUKKO 8 Kuormausajonopeudet (m/min)

| Maasto- luokka | Kone | | | |
|-------------------|------|------|------------|------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | 17,6 | 22,2 | 20,6 | 20,6 |
| 2 | 16,4 | 15,3 | vähän hav. | 17,5 |
| 3 | 10,4 | 12,8 | ei hav. | vähän hav. |

4.4.3 Kuormattuna- ja tyhjänäajo

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

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

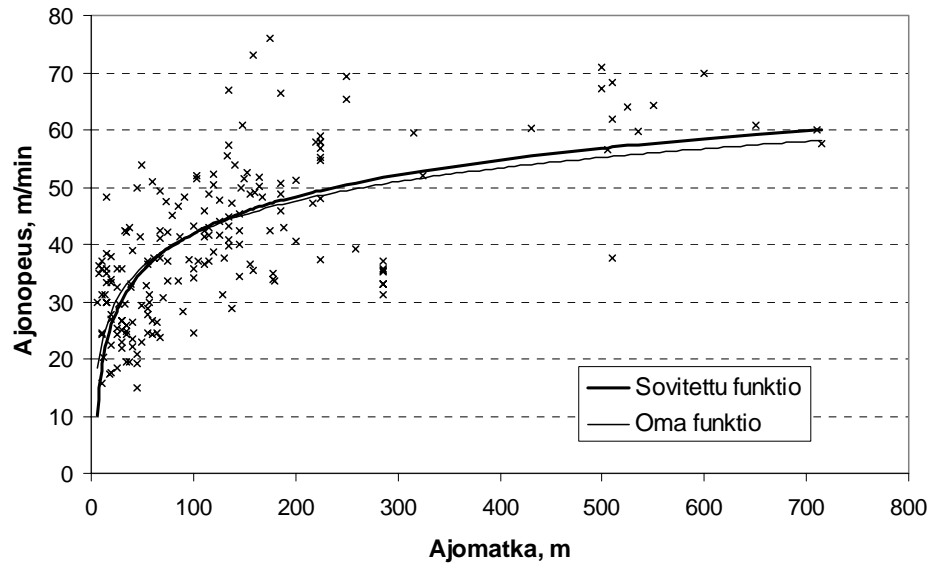
Ajanmenekit mallinnettiin matkan funktiona. Perustasona mallinnuksessa käytettiin maastoluokkaa 1. Maastoluokkien 2 ja 3 nopeutta hidastava vaikutus laskettiin suhteessa perustasaan (taulukko 9). Kuorman koolla ei ollut loogista yhteyttä kuormattuna-ajonopeuteen.

Kuormattuna- ja tyhjänäajon ajanmenekkien laskemista varten laskettiin ensin kuormattuna- ja tyhjänäajon kuljetusmatkat seuraavasti:

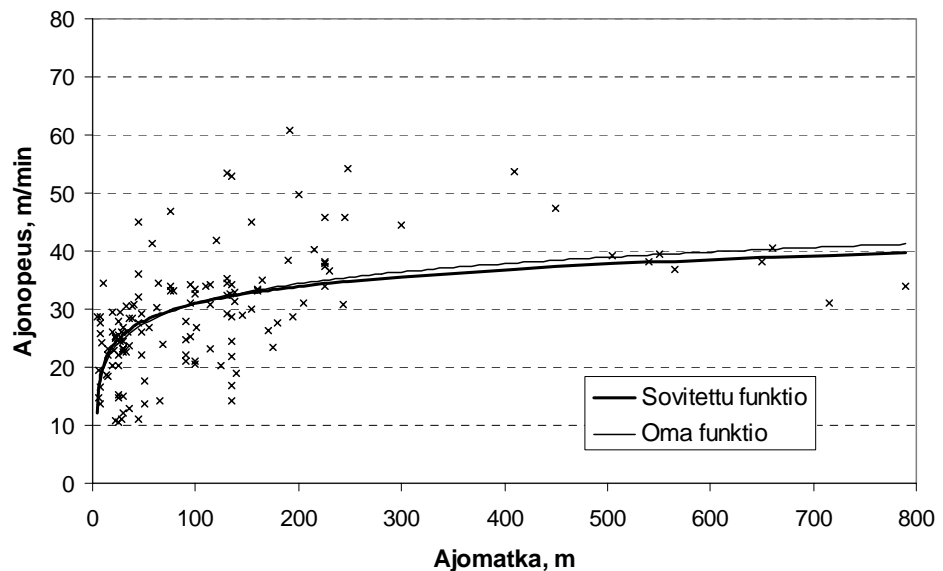
$$Kuormattuna\text{-ajomatka} = Keskikuljetusmatka - \frac{Kuormausajomatka}{2}$$

$$Tyhjänäajomatka = 2 \times Keskikuljetusmatka - Kuormattuna\text{-ajomatka}$$

Koska tämän tutkimuksen aineistomäärä nopeushavaintojen osalta oli suppea, käytettiin nopeuksien matkan mukaisessa mallinnuksessa viimeisimmässä puutavaran metsäkuljetuksen ajanmenekkitutkimuksessa saatuja funktion muotoja, jotka sovitettiin tämän tutkimuksen nopeushavaintojen tasolle. Koko aineistossa nämä sovitetut funktiot ja tähän aineistoon laaditut funktiot olivat lähes samanlaiset (kuvat 15 ja 16). Kuitenkin yksittäisten koneiden osalta, kun havaintojen määrä pieneni oleellisesti, oli funktioiden välillä merkittävämpiä eroja.



Kuva 15. Tyhjänäajonopeudet koko aineistossa.



Kuva 16. Kuormattuna-ajonopeudet koko aineistossa.

Tyhjänä- ja kuormattuna-ajon ajanmenekit määritettiin kaavoilla:

$$yt = \frac{mt}{0,86779 \cdot 0,10492 \cdot \ln(1,02966 \cdot mt - 3,12) \cdot k}$$

$$yk = \frac{mk}{0,71145 \cdot 0,058272 \cdot \ln(18,1013 \cdot mk - 53,7465) \cdot k}$$

missä

yt = tyhjänäajon ajanmenekki, cmin/m³

yk = kuormattuna-ajon ajanmenekki, cmin/m³

mt = tyhjänäajon matka, m

mk = kuormattuna-ajon matka, m

k = kuorman koko, m³

Tyhjänäajonopeuden apuaika oli keskimäärin 2,62 cmin/m³ ja kuormattuna-ajon vastaavasti 1,77 cmin/m³.

TAULUKKO 9 Maastoluokan suhteellinen vaikutus ajonopeuteen keskimäärin koko aineistossa

| Maastoluokka | Tyhjänäajo | Kuormattuna-ajo |
|--------------|------------|-----------------|
| 1 | 1,00 | 1,00 |
| 2 | 0,79 | 0,74 |
| 3 | 0,77 | 0,65 |

4.4.4 Purkaminen

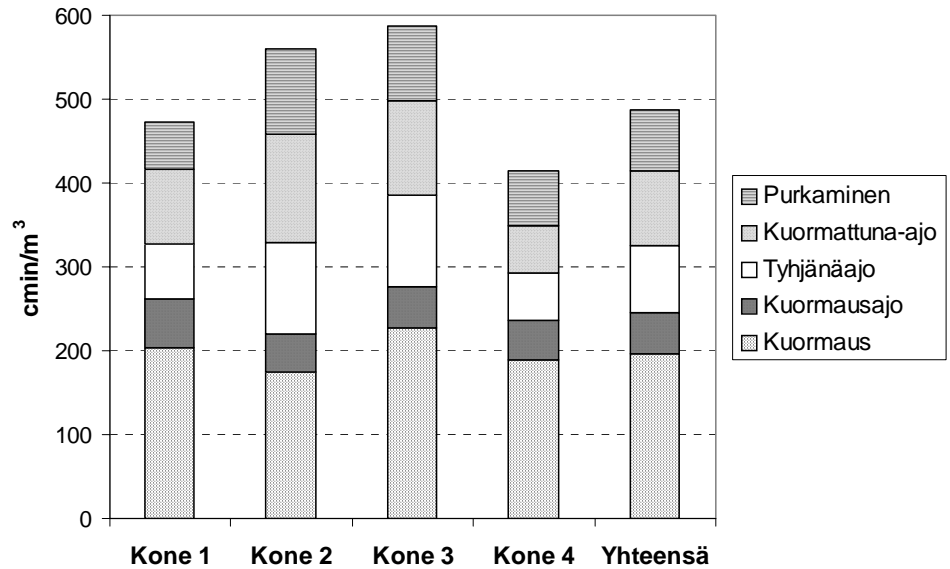
Purkamisaikaan sisältyi varsinaisen taakkojen noston lisäksi myös mahdolliset siirtymiset varastopaikalla. Varastokasan järjestely erotettiin omaksi ajakseen. Purkamisajat laskettiin konekohtaisesti ja koko aineistolle keskimäärin. Ajanmenekit purkamisen ja varastokasan järjestelyn osalta on esitetty taulukossa 10. Purkamisen ajanmenekit koskevat vain vihreää hakkuutähdettä. Varastokasan järjestelyn ajat on määritetty koko aineistosta, johon siis sisältyy myös ruskea hakkuutähdde.

TAULUKKO 10 Purkamis- ja varastokasan järjestelyajat (cmin/m³)

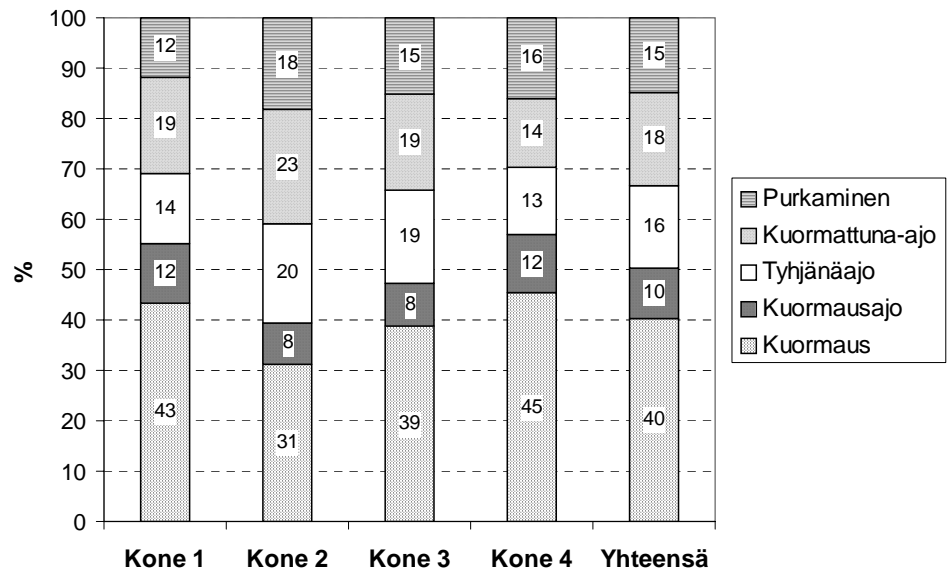
| Kone | Purkaminen | Varastokasan järjestely | Yhteensä |
|-------------|------------|-------------------------|----------|
| 1 | 48,40 | 7,36 | 55,76 |
| 2 | 78,92 | 22,06 | 100,98 |
| 3 | 62,26 | 27,16 | 89,42 |
| 4 | 55,15 | 11,47 | 66,62 |
| Keskimäärin | 58,07 | 14,22 | 72,29 |

4.4.5 Ajanmenekijakaumat

Kuvassa 17 on esitetty absoluuttinen ja kuvassa 18 suhteellinen ajanmenekijakauma. Pienten kuormakokojen johdosta koneilla 2 ja 3 tyhjänä- ja kuormattuna-ajot veivät selvästi enemmän aikaa kuin koneella 1 ja erityisesti koneella 4. Kone 2 oli kuormauksessa nopein, mutta purkamisessa hitain. Koneelta 1 purkaminen sujui nopeimmin. Keskimäärin kuormaukseen ja purkamiseen käytettiin 55 % kokonaistehoajanmenekistä.



Kuva 17. Eri työvaiheiden absoluuttinen tehoajanmenekki, kun ajouranvarsitiheys on 10 m³ / 100 m, metsäkuljetusmatka 250 m ja kuorman koko aikatutkimuksessa toteutunut.

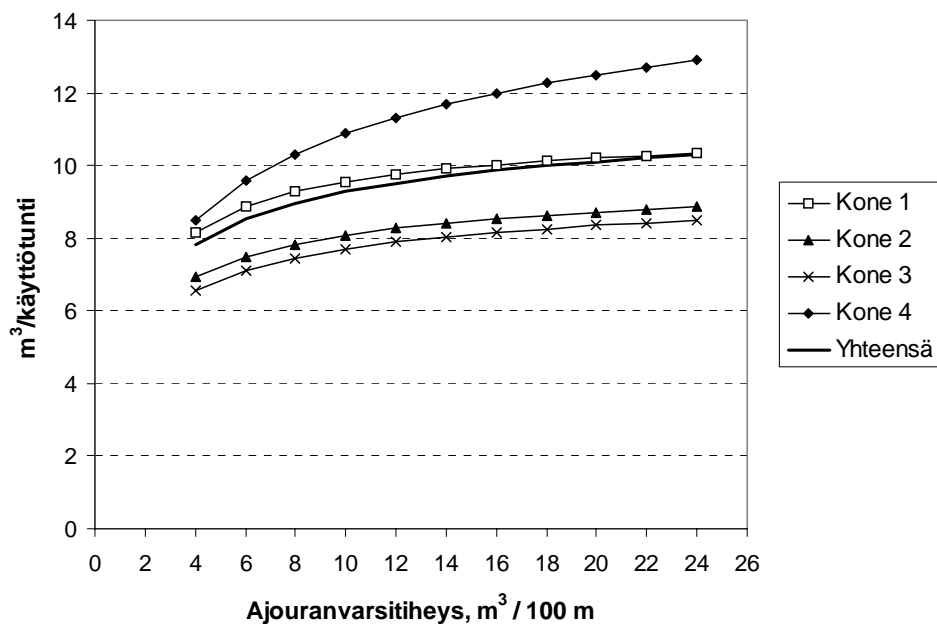


Kuva 18. Eri työvaiheiden suhteellinen tehoajanmenekki, kun ajouranvarsitiheys on 10 m³ / 100 m, metsäkuljetusmatka 250 m ja kuorman koko aikatutkimuksessa toteutunut.

4.5 Käyttöaikatuoottavuus

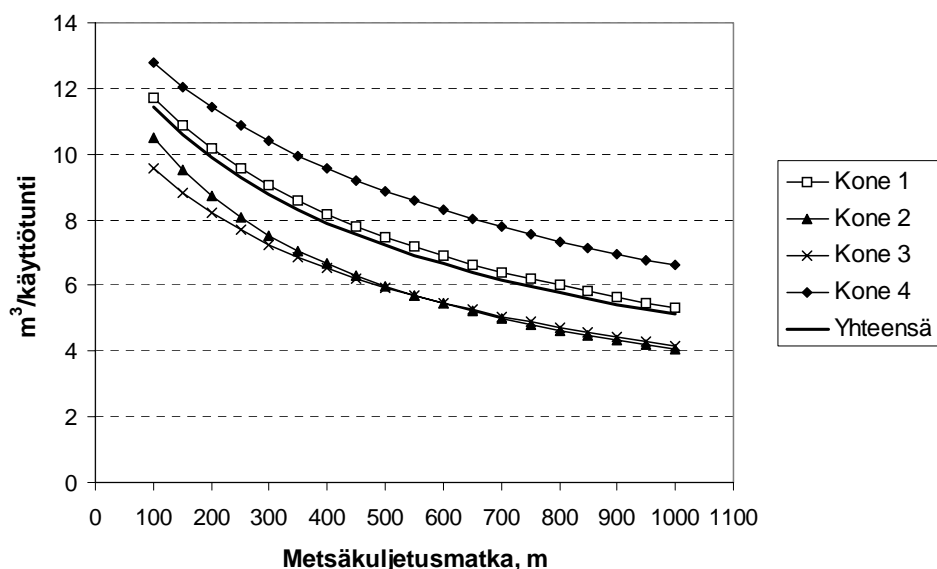
4.5.1 Vihreä hakkuutähde

Vihreän hakkuutähdeä metsäkuljetuksen käyttötuntituottavuudet ajouranvarsitiheyden, metsäkuljetusmatkan ja kuorman koon mukaan ovat kuvien 19, 20 ja 21 mukaiset.



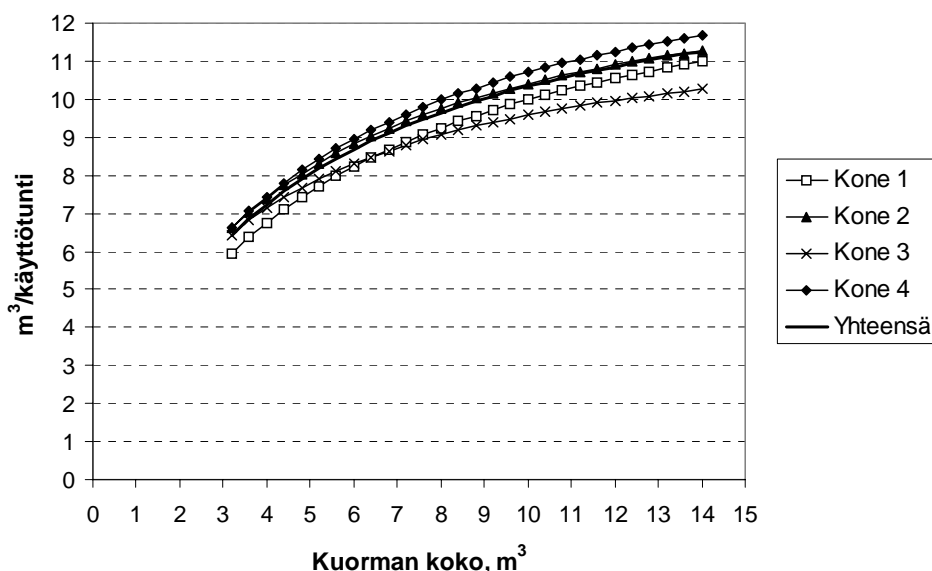
Kuva 19. Käyttötuntituottavuus ajouranvarsitiheyden mukaan vihreällä hakkuutähteellä, kun metsäkuljetusmatka on 250 m ja kuorman koot aikatutkimuksessa toteutuneet.

Pienillä ajouranvarsitiheyksillä koneiden välinen suurin tuottavuusero oli 30 %. Varsinkin koneen 4 tuottavuus kasvoi suhteessa muihin enemmän ajouranvarsitiheyden kasvaessa ja niinpä maksimi- ja mimituottavuuden suhde ajouranvarsitiheydellä 24 m³ / 100 m oli jo 52 %. Koneiden 1, 2 ja 3 välinen tuottavuusero pysyi välillä 1,5 – 2,0 m³/h kaikilla määrätetyillä ajouranvarsitiheyksillä.



Kuva 20. Käyttötuntituottavuus metsäkuljetusmatkan mukaan vihreällä hakkuutähteellä, kun ajouranvarsitiheys on 10 m³ / 100 m ja kuorman koot aikatutkimuksessa toteutuneet.

Koneiden välinen tuottavuusero oli pienimmillään, 36 %, metsäkuljetusmatkan ollessa lyhimmillään. Ero kasvoi lähes lineaarisesti 63 %:iin metsäkuljetusmatkan kasvaessa 1 000 metriin. Maksimikäyttötuntuottavuusero koneiden välillä oli lyhyillä metsäkuljetusmatkoilla reilut ja pitkillä vajaat 3 m³/h.



Kuva 21. Käyttötuntuottavuus vihreällä hakkuutähteellä kuormakoon mukaan, kun metsäkuljetusmatka on 250 m ja ajouranvarsitiheys 10 m³ / 100 m.

Kun kuorman koko kullakin koneella vakioitiin ja muut tekijät pysyivät aikatutkimuksen mukaisina, oli maksimi- ja minimikäyttötuntuottavuuksien suhde eri kuorman ko' oilla 1,09 – 1,14. Pienin konekohtainen keskikuorman koko tässä aineistossa oli noin 5 m³ ja suurin puolestaan 10,5 m³. Koneesta riippuen käyttötuntuottavuus nousi 26 – 36 % keskikuorman koon kasvaessa toteutuneesta minimistä toteutuneeseen maksimiin.

4.5.2 Ruskea hakkuutähde

Ruskean hakkuutähteen metsäkuljetuksen tuottavuutta verrattiin suhteellisesti vihreään. Vertailu tehtiin ajouranvarsitiheyden suhteen neljällä eri perusteella (kuva 22) ja metsäkuljetusmatkan suhteen yhdellä perusteella (kuva 23).

Vertailut olivat:

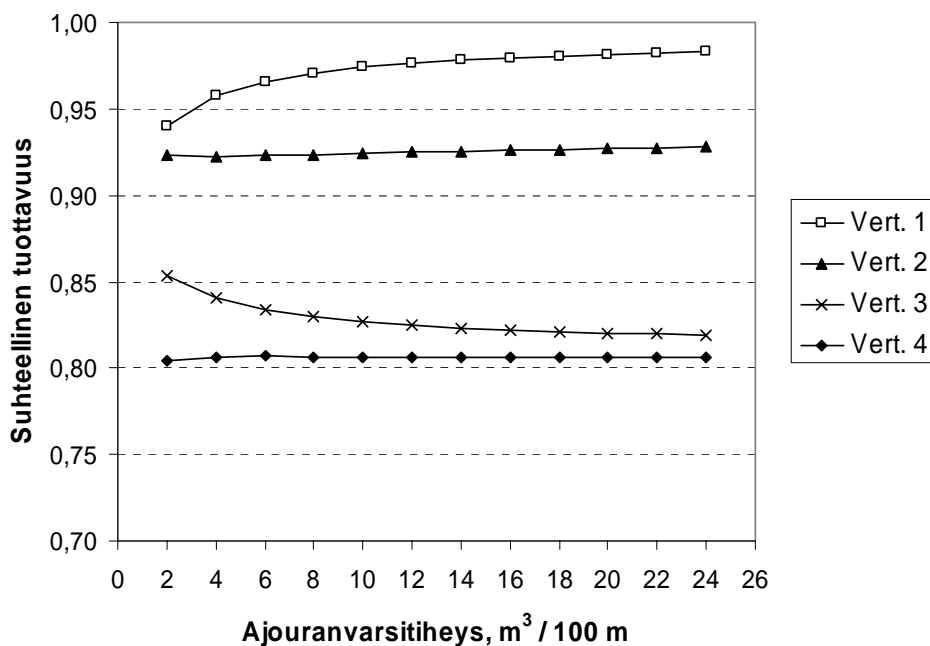
Vertailu 1 = Ruskealla hakkuutähteellä ajouranvarsitiheys oletettiin 15 % pienemmäksi kuin vihreällä, koska ainakin suurin osa neulasista on tippunut. Muut aikatutkimuksen tekijät oletettiin vihreälle ja ruskealle hakkuutähteelle samoiksi.

Vertailu 2 = Kuormaus- ja purkamisajanmenekit oletettiin aikatutkimuksessa toteutuneen mukaisiksi. Kuormankokona käytettiin koko aineiston keskimääräistä arvoa (7,2 m³). Ajouranvarsitiheys oli molemmille sama.

Vertailu 3 = Kuormaus- ja purkamisajanmenekit oletettiin aikatutkimuksessa toteutuneen mukaisiksi. Kuorman koot oletettiin aikatutkimuksessa toteutuneen mukaisiksi (vihreällä 7,8 ja ruskealla 5,7 m³). Ajouranvarsitiheys oli molemmille sama.

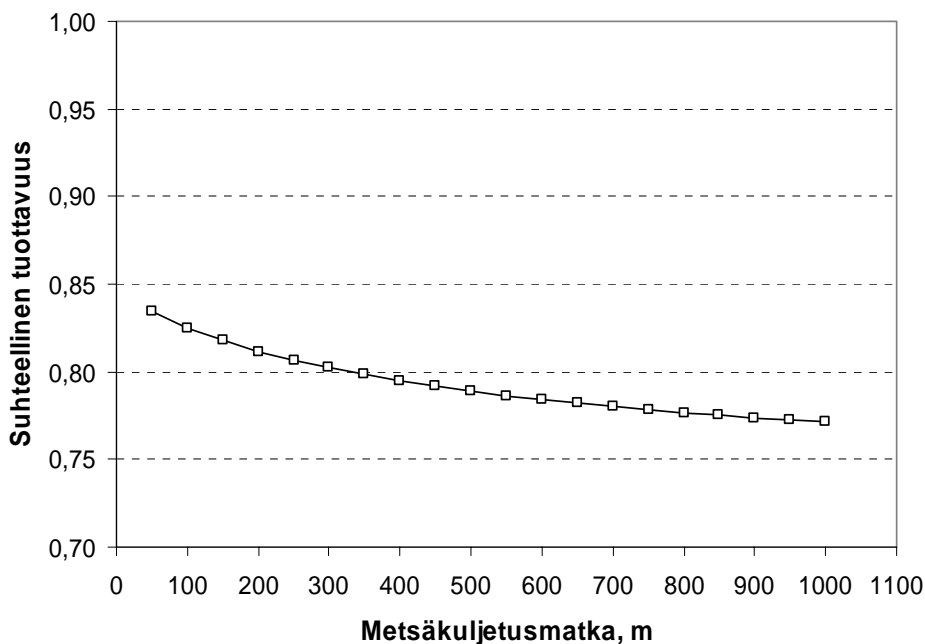
Vertailu 4 = Kuormaus- ja purkamisajanmenekit sekä kuorman koot oletettiin aikatutkimuksessa toteutuneen mukaisiksi. Ruskealla hakkuutähteellä ajouranvarsitiheys oletettiin 15 % pienemmäksi kuin vihreällä.

Ruskean ja vihreän hakkuutähteen vertailu 1 kuvaa saman kohteen keruuta vihreänä tai ruskeana olettaen, että mitään muuta eroa keruussa ei ole. Pelkän ajouranvarsitiheyden muuttuminen vaikuttaa kuormaus- ja kuormausajoaikaa lisäävästi. Tämän vaikutus kokonaistuottavuuteen on 2 – 6 %. Kun kaikki tässä aineistossa toteutuneet tekijät otettiin huomioon ajouranvarsitiheyden pienenemisen lisäksi (Vertailu 4), oli ruskean hakkuutähteen metsäkuljetuksen tuottavuus lähes viidenneksen pienempi kuin vihreän.



Kuva 22. Ruskean hakkuutähteen metsäkuljetuksen tuottavuus vihreään verrattuna ajouranvarsitiheyden mukaan. Vertailut selitety tekstissä. Ajouranvarsitiheys on vihreän hakkuutähteen mukaan niissä tapauksissa (Vert. 1 ja 4), joissa ne eroavat ruskealla ja vihreällä. Metsäkuljetusmatka 250 m.

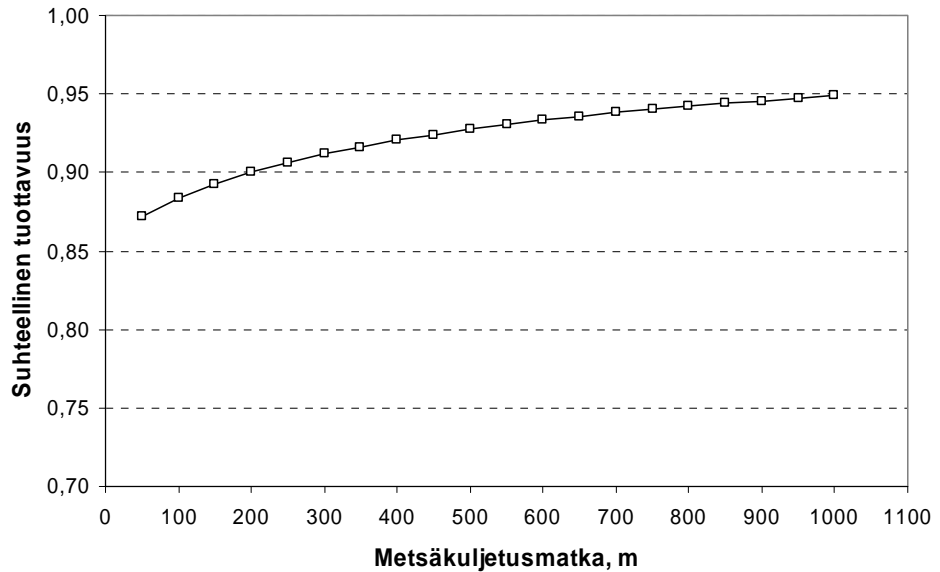
Lyhyemmillä metsäkuljetusmatkoilla tuottavuus ruskealla hakkuutähteellä oli parempi suhteessa vihreään kuin pidemmillä (kuva 23).



Kuva 23. Ruskean hakkuutähteen metsäkuljetuksen tuottavuus vihreään verrattuna metsäkuljetusmatkan mukaan. Vertailu 4 (vertailu selitetty tekstissä). Vihreällä hakkuutähteellä ajouranvarsitiheys 10 m³ / 100 m ja ruskealla 15 % pienempi.

4.5.3 Kasauksen vaikutus tuottavuuteen

Kasauksen merkitystä tuottavuuteen selvitettiin yhdellä koneella ja kuljettajalla samalla työmaalla, jolla osalla palstasta hakkuutähteet kasattiin hakkuun yhteydessä ja osalla jätettiin hakkuutähteet levälleen. Levällään olevan hakkuutähteen kuormausaika oli 28 % ja purkamisaika 5 % suurempi kuin kasoissa olevan. Lyhyillä metsäkuljetusmatkoilla tämä aiheutti reilun 10 prosentin ja pitkillä metsäkuljetusmatkoilla 5 prosentin tuottavuuden laskun (kuva 24). Koska aineisto perustui vain yhteen vertailukokeeseen, ei laskelmissa huomioitu sitä, että aikatutkimusaineistossa kuorman koko levälleen jätetyssä osiossa oli kymmenisen prosenttia pienempi (ks. kuva 11) kuin kasoilleen hakatulla osiolla.



Kuva 24. Levälleen hakatun hakkuutähteen metsäkuljetuksen tuottavuus verrattuna kasoille hakattuun. Kuormakoon oletettu olevan kummassakin sama. Ajouranvarsitiheys 10 m³ / 100 m.

4.5.4 Maastoluokan vaikutus tuottavuuteen

Maastoluokan vaikutus tuottavuuteen on kuvissa 25 ja 26 esitetty kolmella eri vertailulla ajouranvarsitiheyden suhteen ja kuvassa 27 yhdellä vertailulla metsäkuljetusmatkan suhteen.

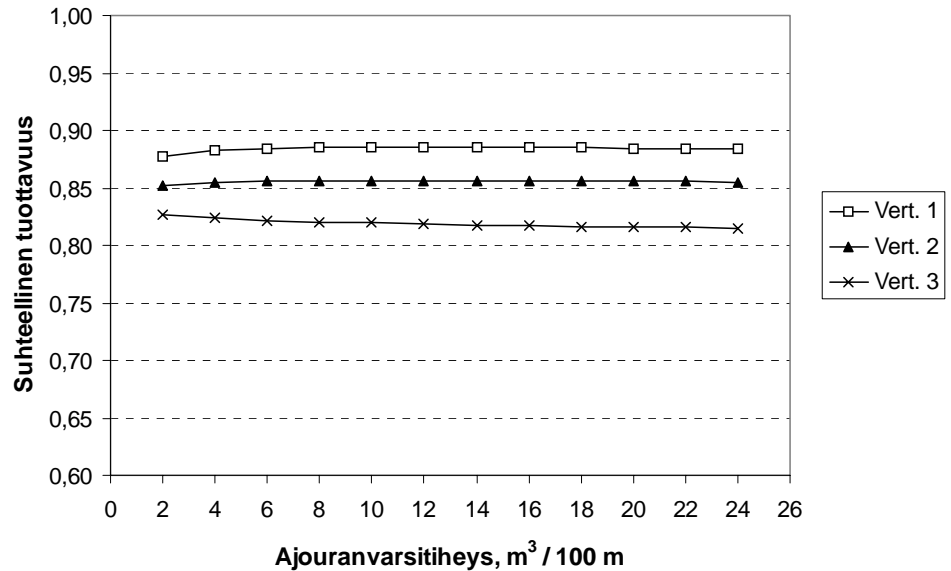
Vertailut olivat:

Vertailu 1 = Maastoluokka huomioitu aineistoon perustuen kuormaus-, tyhjänä- ja kuormattuna-ajonopeuksien hidastumisina. Kuormausajanmenekkiin maastoluokalla ei oletettu olevan vaikutusta. Purkamisajanmenekkiin maastoluokalla ei vaikutusta.

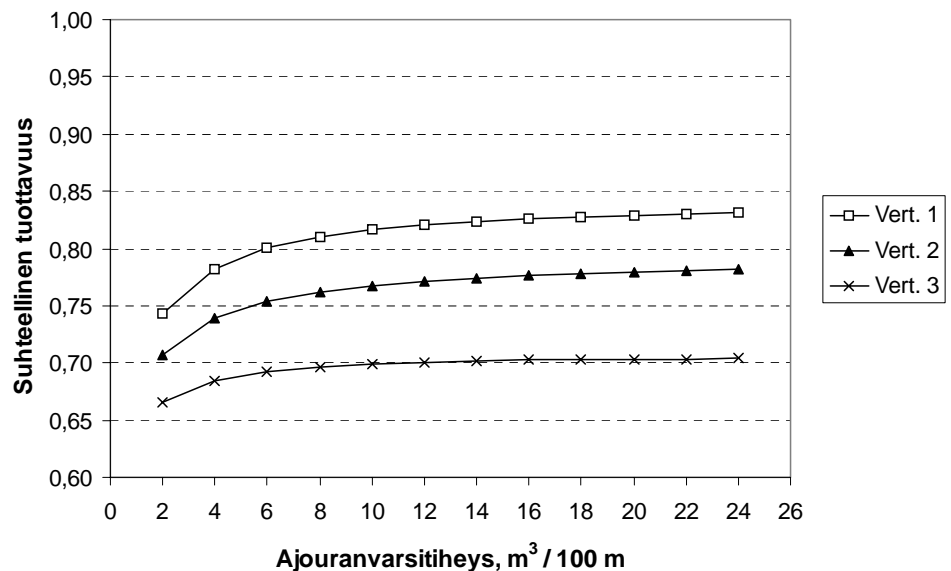
Vertailu 2 = Maastoluokka huomioitu aineistoon perustuen kuormaus-, tyhjänä- ja kuormattuna-ajonopeuksien hidastumisina. Kuormausajanmenekin oletettu olevan maastoluokassa 2 10 % ja maastoluokassa 3 20 % hitaampaa kuin maastoluokassa 1. Purkamisajanmenekkiin maastoluokalla ei vaikutusta.

Vertailu 3 = Maastoluokka huomioitu aineistoon perustuen kuormaus-, tyhjänä- ja kuormattuna-ajonopeuksien hidastumisina. Kuormausajanmenekin oletettu olevan maastoluokassa 2 10 % ja maastoluokassa 3 20 % hitaampaa kuin maastoluokassa 1. Kuormakoon oletettu olevan maastoluokassa 2 10 % ja maastoluokassa 3 20 % pienempi kuin maastoluokassa 1. Purkamisajanmenekkiin maastoluokalla ei vaikutusta.

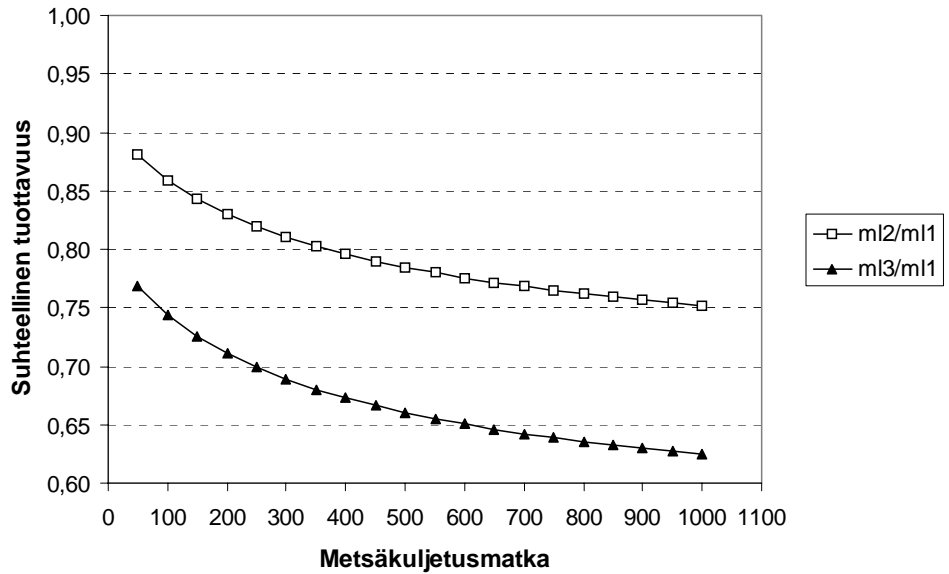
Maastoluokassa 2 tuottavuus on vertailuperusteista riippuen 12 – 18 % pienempi kuin maastoluokassa 1. Maastoluokassa 3 vastaavat raja-arvot ovat 17 – 33 %. Vertailussa 3 maastoluokkien 2 ja 3 suhteellinen tuottavuus maastoluokkaan 1 nähden heikkenee metsäkuljetusmatkan kasvaessa.



Kuva 25. Hakkuutähteen metsäkuljetuksen suhteellinen tuottavuus maastoluokassa 2 verrattuna maastoluokkaan 1 ajouranvarsitiheyden mukaan. Metsäkuljetusmatka 250 m. Vertailut on selitetty tekstissä.



Kuva 26. Hakkuutähteen metsäkuljetuksen suhteellinen tuottavuus maastoluokassa 3 verrattuna maastoluokkaan 1 ajouranvarsitiheyden mukaan. Metsäkuljetusmatka 250 m. Vertailut on selitetty tekstissä.



Kuva 27. Hakkuutähteen metsäkuljetuksen suhteellinen tuottavuus maastoluokissa 2 ja 3 verrattuna maastoluokkaan 1 metsäkuljetusmatkan mukaan. Ajouranvarsitiheys 10 m³ / 100 m. Vertailu 3 (selitetty tekstissä).

4.6 Seurantatutkimus

4.6.1 Kuormakoot ja saannot

Kuormakoot ja hakkuutähteen saannot olivat seurantatutkimuksessa taulukon 11 mukaiset. Keskimääräinen hakkuutähteen saanto oli 50 m³/ha. Koneen 3 osalta arvoja ei voitu määrittää puutteellisten tietojen vuoksi. Koneen 4 työmaista jätettiin kuormakoon laskennassa pois ne kohteet, joissa oli jouduttu ajamaan karikat pystyssä.

Hakkuutähdettä kertyi seuranta-aineistossa keskimäärin 187 m³/työmaa. Kuusen osuus oli ainespuun hakkuukertymästä 81 %.

TAULUKKO 11 Kuormakoot ja hakkuutähteen saannot seurantatutkimuksessa

| Kone | Kuormakoko, m ³ | Hakkuutähteen saanto, m ³ /ha |
|------|----------------------------|--|
| 1 | 8,4 | 54 |
| 2 | 6,1 | 46 |
| 4 | 9,9 | 47 |
| 5 | 8,9 | 53 |

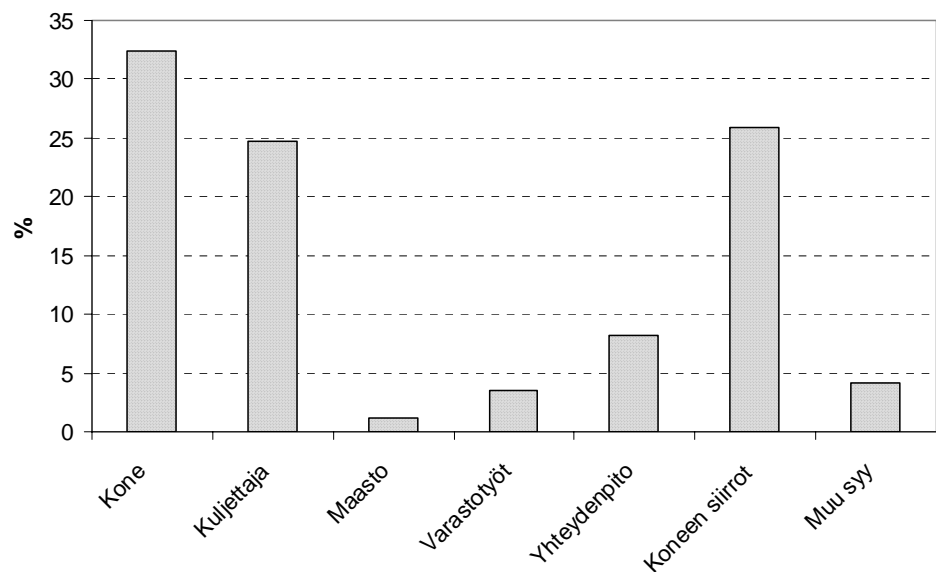
4.6.2 Keskeytykset ja käyttöasteet

Työajan seurantatietoa saatiin neljältä koneelta yhteensä 53 työmaalta. Kokonaishakkuutähteen määrä oli reilut 9 000 m³. Yli 15 minuutin keskeytysten osuus tuotantoajasta oli noin 9 %, joten käyttöasteeksi tuli keskimäärin 91 % (taulukko 12). Koneella 4 keskeytysten osuus oli selvästi suurempi

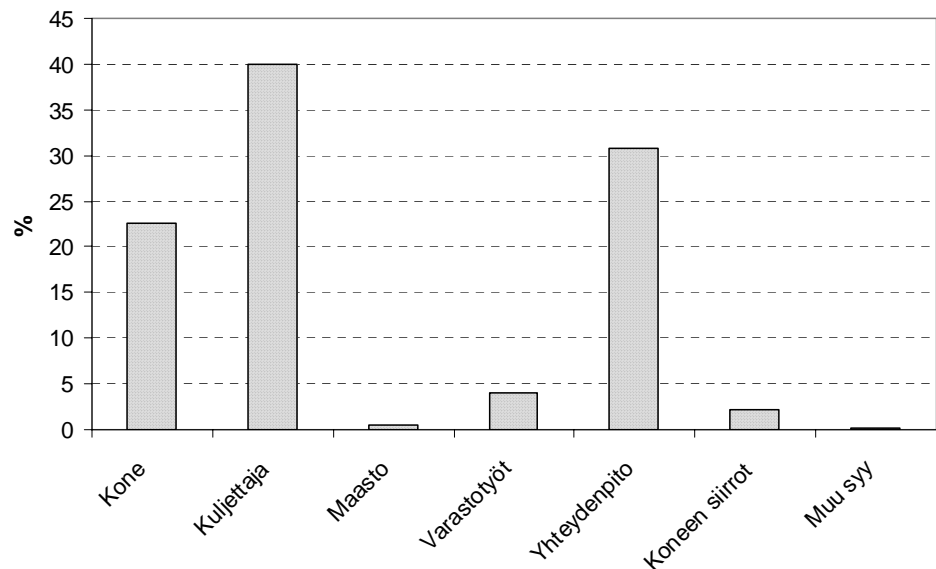
kuin muilla koneilla. Kolmannes yli 15 minuutin keskeytyksistä aiheutui koneesta ja neljännekset kuljettajasta ja koneen siirroista (kuva 28). Alle 15 minuutin keskeytyksistä kuljettajan ja koneen lisäksi hyvin merkittävän osan, lähes kolmanneksen, aiheutti yhteydenpito (kuva 29).

TAULUKKO 12 Keskeytykset, käyttöasteet ja keskeytysvälit

| Kone | Yli 15 min:n keskeytysten osuus tuotantoajasta, % | Käyttöaste, % | Keskeytysväli, h |
|-------------|---|---------------|------------------|
| 1 | 5,3 | 94,7 | 12,6 |
| 2 | 4,8 | 95,2 | 10,4 |
| 4 | 24,8 | 75,2 | 2,3 |
| 5 | 9,6 | 90,4 | 8,7 |
| Keskimäärin | 8,9 | 91,1 | 7,0 |



Kuva 28. Yli 15 minuutin keskeytysten syyt.



Kuva 29. Alle 15 minuutin keskeytysten syyt.

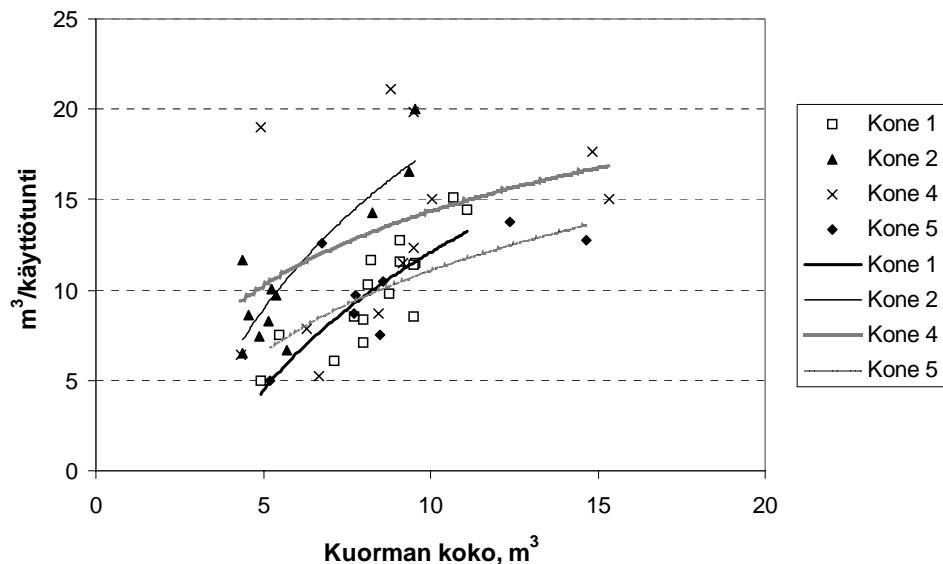
4.6.3 Käyttötuntituotos seurantatutkimuksessa

Keskimääräiset konekohtaiset käyttötuntituottavuudet olivat 9,4 – 12,8 m³/h (taulukko 13). Koneen 2 tuottavuus oli seuranta-aineistossa suurempi kuin koneen 1. Aikatutkimusaineistossa tilanne oli päinvastoin. Käyttötuntituottavuus riippui kaikilla koneilla selvästi toteutuneesta kuorman koosta (kuva 30) ja luonnollisesti metsäkuljetusmatkasta. Kuormakoot vaihtelivat melkoisesti samallakin koneella työmaalta toiselle.

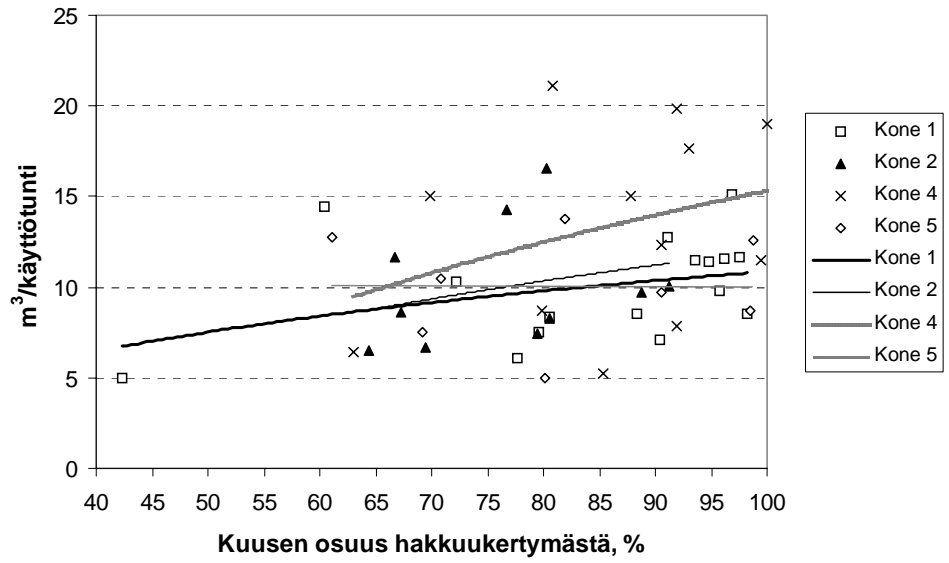
Myös kuusen osuuden ainespuun hakkuukertymästä kasvaessa käyttötuntituottavuus nousi (kuva 31). Samoin kävi, kun hakkuutähteen prosentuaalinen osuus hakkuukertymään verrattuna suureni (kuva 32). Hakkuukertymän kasvaessa kolmella koneesta neljästä käyttötuntituottavuus kasvoi, mutta varsin lievästi. Yhdellä koneella trendi hakkuukertymän suhteen oli jopa hieman laskeva.

TAULUKKO 13 Käyttötuntituotokset seurantatutkimuksessa

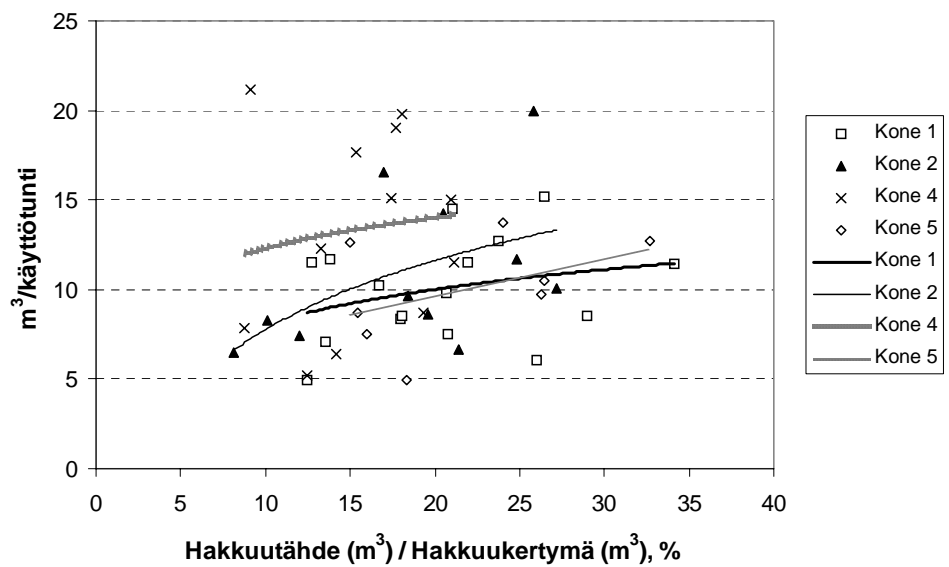
| Kone | Tuottavuus, m ³ /käyttötunti |
|-------------|---|
| 1 | 9,4 |
| 2 | 10,5 |
| 4 | 12,8 |
| 5 | 10,1 |
| Keskimäärin | 10,3 |



Kuva 30. Käyttötuntituottavuuden riippuvuus kuorman koosta seurantatutkimusaineistossa.



Kuva 31. Kuusen osuuden vaikutus käyttötuntituottavuuteen seurantatutkimusaineistossa.



Kuva 32. Hakkuutähde/hakkuukertymä-osuuden vaikutus käyttötuntituottavuuteen.

4.7 Kustannukset

4.7.1 Kustannuslaskennan perusteet ja käyttötuntikustannukset

Kustannuslaskelmat tehtiin Metsäteho Oy:n korjuun kustannuslaskentaohjelmaa soveltaen.

Käyttötuntimäärän laskemisen oletukset olivat:

- touko-marraskuu kahta ja joulukuuhuhtikuuhun yhtä vuoroa
- lomien ja seisokkeiden touko-marraskuussa 4 ja joulukuuhuhtikuussa 2 viikkoa
- käyttöaste 85 %

Näillä oletuksilla käyttötuntimääräksi tuli 2 465.

Koneille 1 ja 2 sekä yleistykselle hintoina laskelmissa käytettiin 192 000 euroa. Hintoihin sisältyi hakkuutähdevarustuksen – kuorman laajennukset ja hakkuutähdekoura perinteisen sijasta – hintana 5 000 euroa. Koneet 3 ja 4 olivat 8-pyöräisiä ja siten kalliimpia kuin 4-pyöräiset koneet 1 ja 2. Kone 3 oli myös kooltaan muita suurempi, joten sen hintana käytettiin 215 000 euroa. Koneen 4 hinta puolestaan oli 210 000 euroa. Koneessa 3 ei ollut hakkuutähdevarustusta, joten sen hintaan ei sisällynyt tästä hintalisää. Koneen 4 hakkuutähdevarustuksen hinnan osuus oli 8 000 euroa.

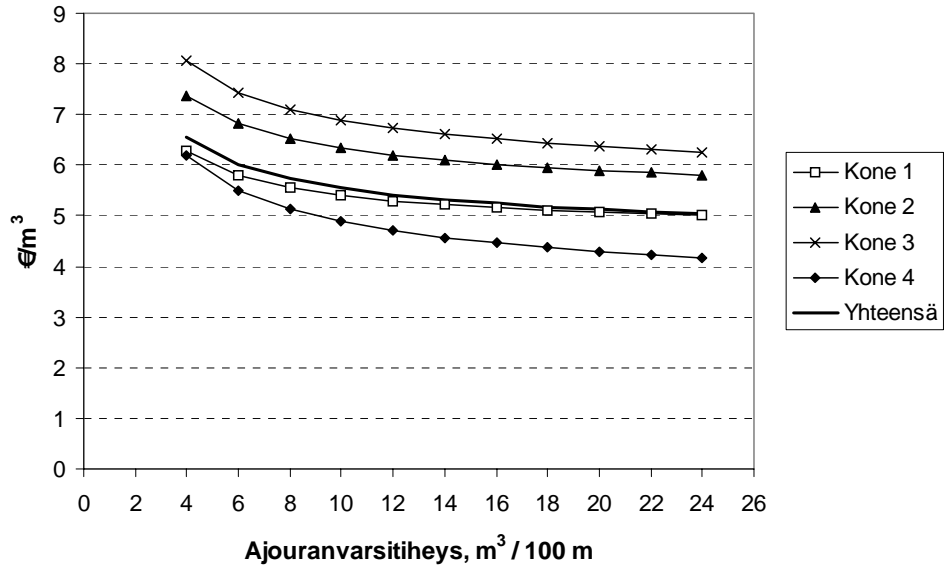
Polttoaineen kulutuksena koneelle 3 käytettiin 13:a ja muille 12:ta litraa käyttötunnissa.

Käyttötuntikustannukset em. perusteiden ja ajouranvarsitiheyden ollessa 10 m³ / 100 m ja metsäkuljetusmatkan 250 metriä olivat:

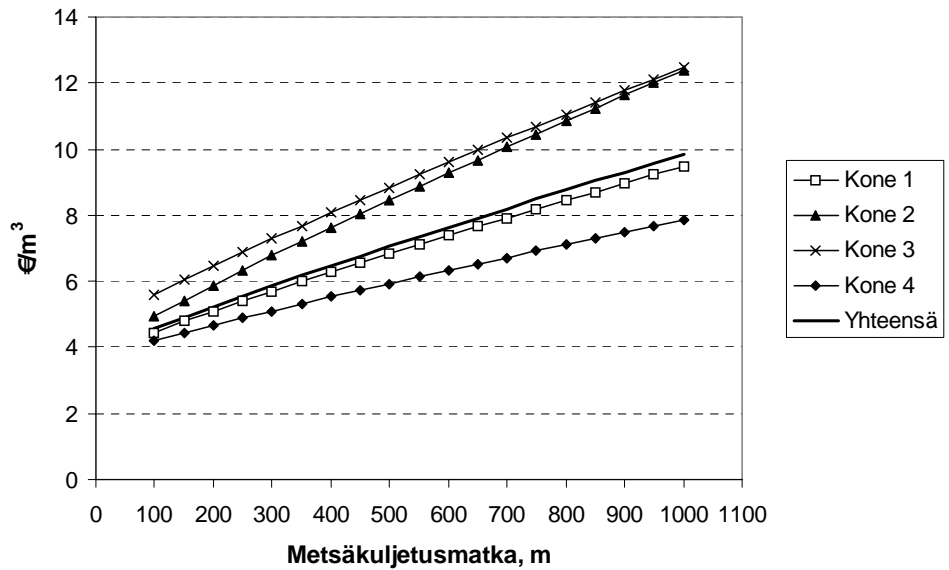
| Kone | Käyttötuntikustannus, € |
|-------------|-------------------------|
| 1 | 51,6 |
| 2 | 51,2 |
| 3 | 53,0 |
| 4 | 53,2 |
| Keskimäärin | 51,5 |

4.7.2 Vihreä hakkuutähde

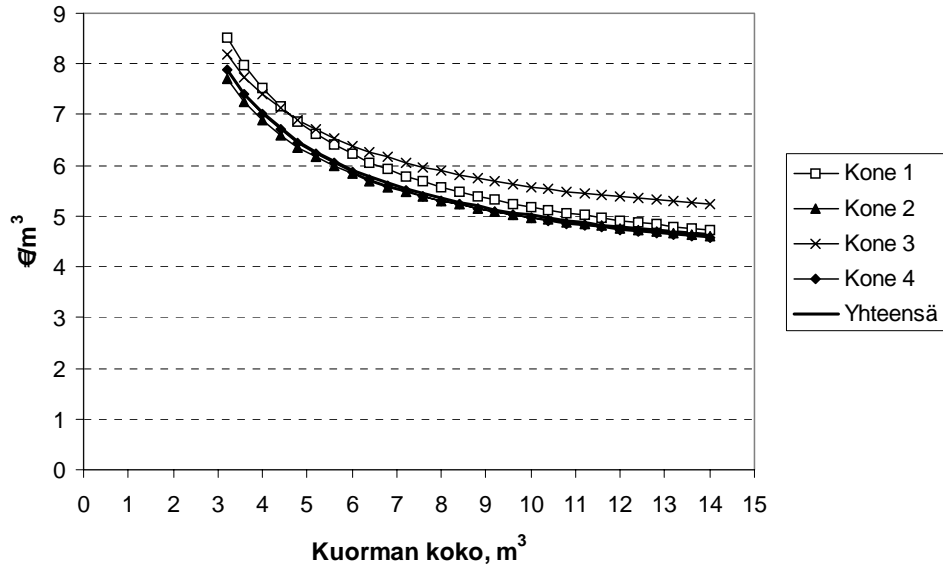
Kuvissa 33, 34 ja 35 on esitetty vihreän hakkuutähdevarustuksen metsäkuljetuksen kustannukset ajouranvarsitiheyden, metsäkuljetusmatkan ja kuorman koon suhteen. Keskimääräisissä olosuhteissa – ajouranvarsitiheys 10 m³ / 100 m ja metsäkuljetusmatka 250 metriä – vihreän hakkuutähdevarustuksen metsäkuljetuskustannus oli koko aineistossa 5,55 €/m³. Vaihtelu koneiden välillä oli 5 – 7 €/m³. Kuorman koon kasvaminen 5:stä 10,5 m³:iin laskee kustannuksia reilun euron kuutiometriä kohti.



Kuva 33. Vihreän hakkuutähteen metsäkuljetuksen kustannukset ajouranvarsitiheyden suhteen. Metsäkuljetusmatka 250 m.



Kuva 34. Vihreän hakkuutähteen metsäkuljetuksen kustannukset metsäkuljetusmatkan suhteen. Ajouranvarsitiheys 10 m³ / 100 m.



Kuva 35. Vihreän hakkuutähteen metsäkuljetuksen kustannukset kuorman koon suhteen. Ajouranvarsitiheys 10 m³ / 100 m ja metsäkuljetusmatka 250 m.

4.7.3 Ruskea hakkuutähde

Ruskean ja vihreän hakkuutähteen metsäkuljetuskustannuksia verrattiin sekä tilavuutta (m³) että energiasisältöä (MWh) kohti (taulukko 14 ja kuva 36). Perusvertailussa oletettiin, että vihreän hakkuutähteen kosteus on 50 % ja ruskean 30 %. Vastaavat energiasisällöt olivat 1,98 ja 2,44 MWh/m³. Yleisesti tilavuusperusteisessa vertailussa ruskean hakkuutähteen metsäkuljetuskustannus oli suurempi kuin vihreän, mutta energiasisältövertailussa päinvastoin. Lyhemmillä metsäkuljetusmatkoilla ruskean hakkuutähteen korjuun suhteelliset kustannukset vihreään verrattuna paranivat.

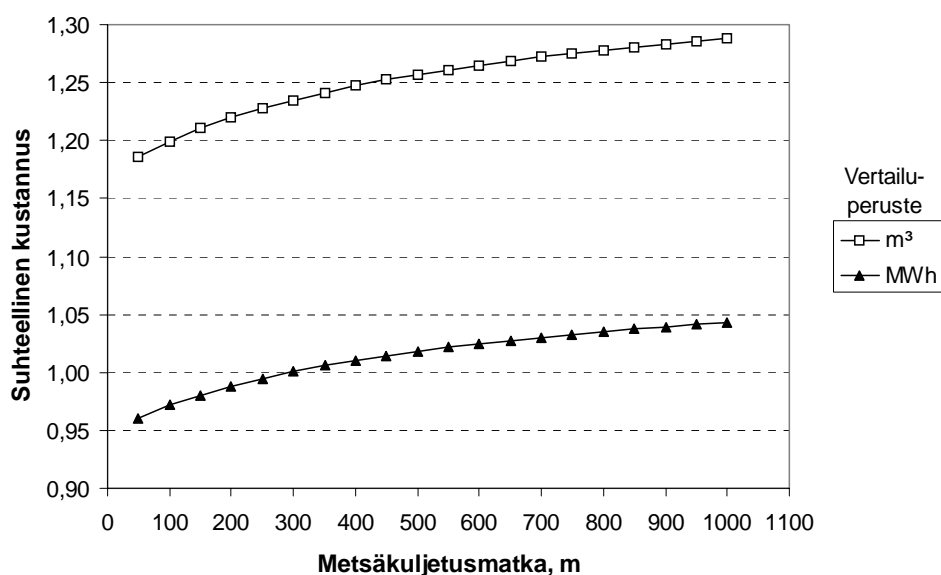
TAULUKKO 14 Ruskean hakkuutähteen metsäkuljetuskustannukset vihreään verrattuna, kun ajouranvarsitiheys vaihtelee välillä 2 – 24 m³ / 100 m ja metsäkuljetusmatka on 250 m. Vertailujen määrittelyt esitetty tekstissä kohdassa 4.5.2

| Vertailu | Vertailuperuste | |
|----------|----------------------------|--------------------|
| | Tilavuus (m ³) | Energiamäärä (MWh) |
| 1 | 1,06 – 1,02 | 0,86 – 0,82 |
| 2 | 1,08 – 1,07 | 0,88 – 0,87 |
| 3 | 1,17 – 1,21 | 0,94 – 0,98 |
| 4 | 1,23 – 1,23 | 1,00 – 0,99 |

Eri vertailujen herkkyyksianalyysit energiasisällön suhteen vihreän ja ruskean hakkuutähteen kosteusprosenttien mukaan on esitetty taulukossa 15. Vertailussa 1 ruskea hakkuutähde tulee käytännössä aina edullisemmaksi. Vertailussa 2 ruskea täytyy saada korjattua kymmenisen prosenttiyksikköä kuivempana kuin vihreä, jotta sen korjuu tulisi edullisemmaksi. Vertailuissa 3 ja 4 ruskean on puolestaan oltava vähintään 20 prosenttiyksikköä kuivempaa kuin vihreän.

TAULUKKO 15 Ruskean hakkuutähteen metsäkuljetuskustannukset vihreään verrattuna, kun ajouranvarsitiheys on 10 m³ / 100 m ja metsäkuljetusmatka 250 m. Vertailuperusteena hakkuutähteen energiasisältö (MWh). Vertailujen määrittelyt esitetty tekstissä kohdassa 4.5.2

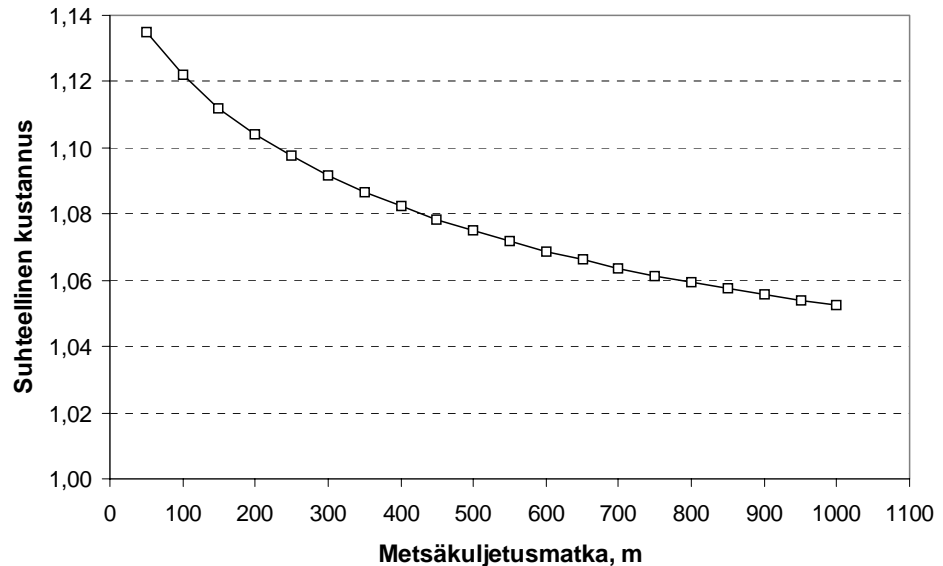
| Vertailu | Suhteelliset metsäkuljetuskustannukset: ruskea/vihreä | | | | | |
|----------|---|--------|------|------|------|------|
| | Hakkuutähteen kosteus, % | | | | | |
| | Ruskea | Vihreä | | | | |
| | | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 |
| 1 | 20 | 0,85 | 0,80 | 0,76 | 0,71 | 0,67 |
| | 25 | 0,89 | 0,84 | 0,79 | 0,75 | 0,70 |
| | 30 | 0,93 | 0,88 | 0,83 | 0,78 | 0,73 |
| | 35 | 0,97 | 0,92 | 0,87 | 0,82 | 0,77 |
| | 40 | 1,03 | 0,97 | 0,92 | 0,86 | 0,81 |
| 2 | 20 | 0,89 | 0,84 | 0,80 | 0,75 | 0,70 |
| | 25 | 0,93 | 0,88 | 0,83 | 0,78 | 0,74 |
| | 30 | 0,98 | 0,92 | 0,87 | 0,82 | 0,77 |
| | 35 | 1,02 | 0,97 | 0,92 | 0,86 | 0,81 |
| | 40 | 1,08 | 1,02 | 0,96 | 0,91 | 0,85 |
| 3 | 20 | 0,99 | 0,94 | 0,89 | 0,84 | 0,78 |
| | 25 | 1,04 | 0,98 | 0,93 | 0,87 | 0,82 |
| | 30 | 1,09 | 1,03 | 0,97 | 0,91 | 0,86 |
| | 35 | 1,14 | 1,08 | 1,02 | 0,96 | 0,90 |
| | 40 | 1,20 | 1,14 | 1,07 | 1,01 | 0,95 |
| 4 | 20 | 1,01 | 0,96 | 0,91 | 0,86 | 0,80 |
| | 25 | 1,06 | 1,01 | 0,95 | 0,89 | 0,84 |
| | 30 | 1,11 | 1,05 | 0,99 | 0,94 | 0,88 |
| | 35 | 1,17 | 1,11 | 1,04 | 0,98 | 0,92 |
| | 40 | 1,23 | 1,16 | 1,10 | 1,03 | 0,97 |



Kuva 36. Ruskean hakkuutähteen metsäkuljetuskustannukset vihreään verrattuna metsäkuljetusmatkan mukaan vertailussa 4 (vertailu määritelty tekstissä kohdassa 4.5.2). Ajouranvarsitiheys vihreällä 10 m³ / 100 m ja ruskealla 15 % pienempi.

4.7.4 Kasauksen vaikutus kustannuksiin

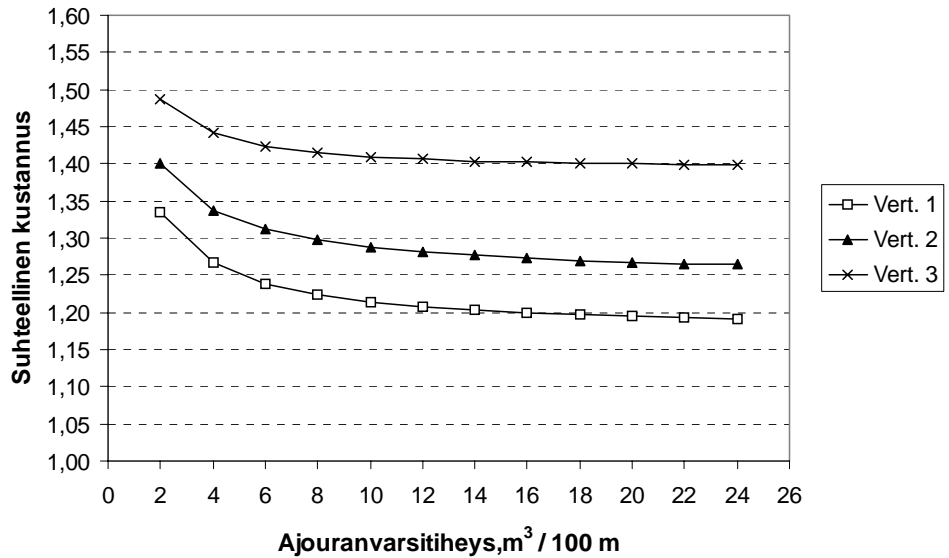
Kasoille hakkuulla saavutettiin hakkuutähteen metsäkuljetuksessa lyhyillä metsäkuljetusmatkoilla yli kymmenen ja pitkilläkin vielä noin 5 prosentin kustannushyöty levälleen jätettyyn hakkuutähteeseen verrattuna (kuva 37).



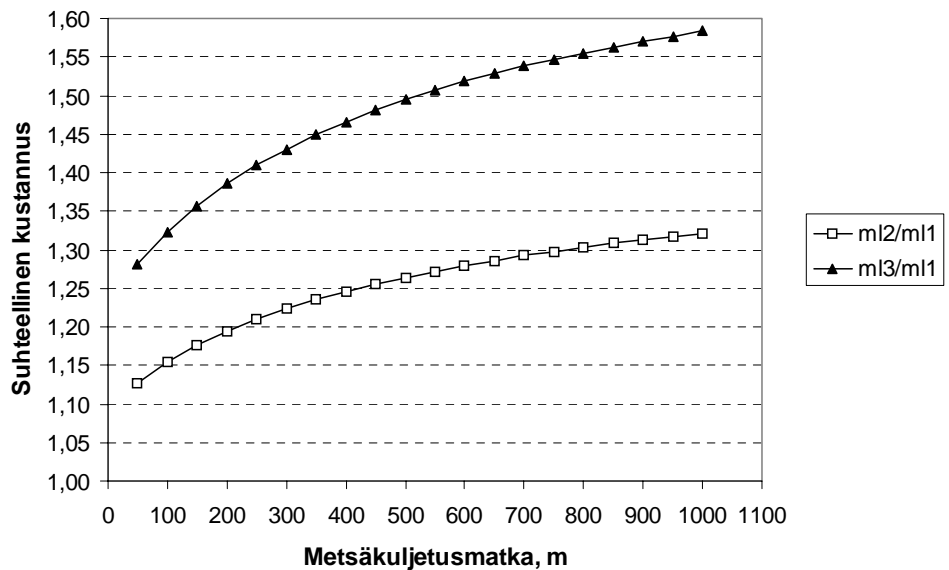
Kuva 37. Levälleen jätetyn hakkuutähteen metsäkuljetuksen suhteelliset kustannukset verrattuna kasoille hakattuun. Ajouranvarsitiheys 10 m³ / 100 m.

4.7.5 Maastoluokan vaikutus kustannuksiin

Maastoluokassa 2 hakkuutähteen metsäkuljetus oli vertailuissa 1, 2 ja 3 (vertailut selitetty tekstin kohdassa 4.5.4) 12, 16 ja 21 % kalliimpaa kuin maastoluokassa 1, kun ajouranvarsitiheys oli 2 – 24 m³ / 100 m ja metsäkuljetusmatka 250 m. Maastoluokan 3 kustannusvaikutukset vastaavissa vertailuissa ajouranvarsitiheyden suhteen on esitetty kuvassa 38. Kuvassa 39 on esitetty maastoluokkien 2 ja 3 kustannussuhteet maastoluokkaan 1 verrattuna vertailussa 3 metsäkuljetusmatkan suhteen. Metsäkuljetusmatkan kasvaessa maastoluokkien 2 ja 3 kustannussuhde muuttuu epäedullisemmaksi maastoluokkaan 1 verrattuna.



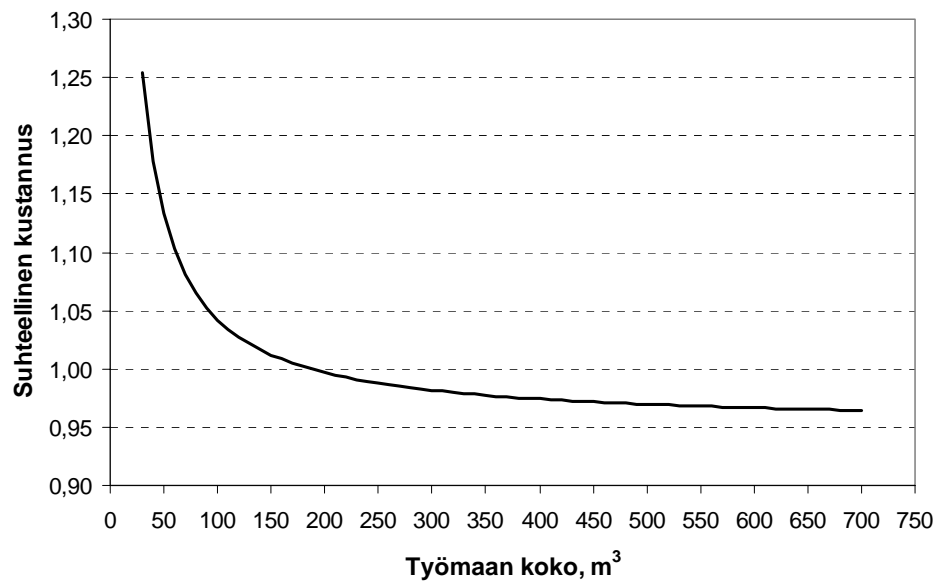
Kuva 38. Hakkuutähteen metsäkuljetuksen suhteellinen kustannus maastoluokassa 3 maastoluokkaan 1 verrattuna ajo-uranvarsitiheyden suhteen. Metsäkuljetusmatka 250 m. Vertailut selitety tekstissä kohdassa 4.5.4.



Kuva 39. Hakkuutähteen metsäkuljetuksen suhteellinen kustannus maastoluokissa 2 ja 3 maastoluokkaan 1 verrattuna, kun ajo-uranvarsitiheys on 10 m³ / 100 m. Vertailu 3 (selitety tekstissä kohdassa 4.5.4).

4.7.6 Työmaan koon vaikutus kustannuksiin

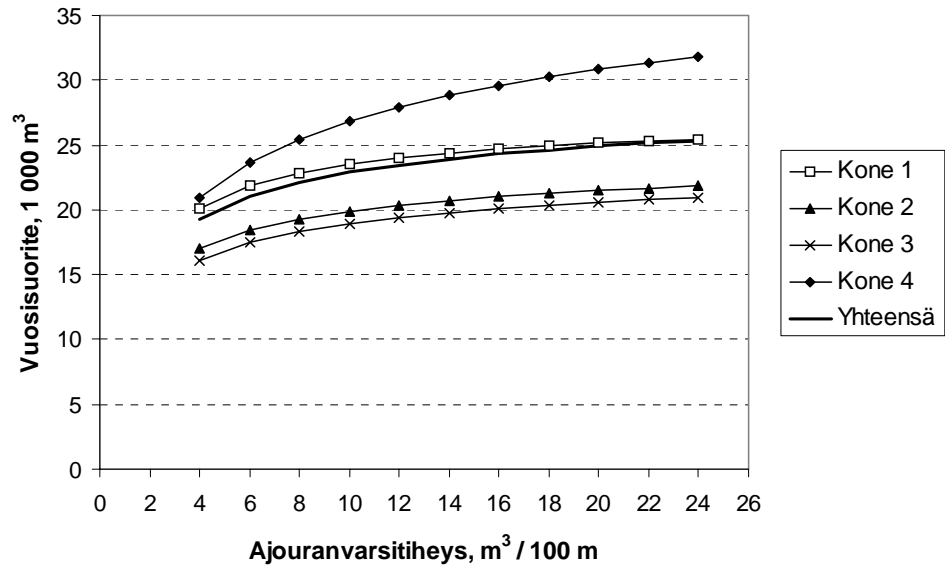
Työmaan koon vaikutusta hakkuutähteen metsäkuljetuksen kustannuksiin selvitettiin laskennallisesti. Peruslaskennoissa työmaan kokona käytettiin seurantatutkimuksessa toteutunutta 187 m³:ä. Tässä vertailussa työmaan kokoa varioitiin välillä 30 – 700 m³ ja kustannuksia verrattiin peruslaskelmaan. Laskenta perustui koneista tehtyyn yleistykseen. Kustannukset alkavat merkittävästi nousta, kun työmaan koko jää alle 100 m³:n ja ne eivät puolestaan enää merkittävästi laske työmaan koon ollessa yli 400 m³ (kuva 40).



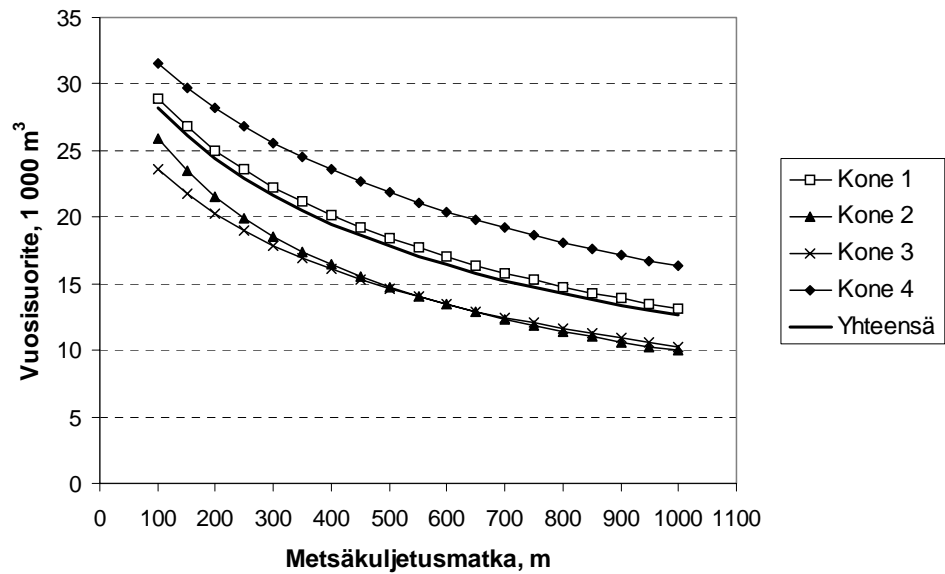
Kuva 40. Työmaan koon vaikutus vihreän hakkuutähteen metsäkuljetuksen kustannuksiin yleistetyillä tuottavuusarvoilla. Ajouranvarsitiheys on 10 m³ / 100 m ja metsäkuljetusmatka 250 m.

4.8 Hakkuutähteen metsäkuljetuksen vuosisuorite

Kun käyttötuntien määrä on 2 465 tuntia, vaihtelee vihreän hakkuutähteen metsäkuljetuksen vuosisuorite ajouranvarsitiheyden ja metsäkuljetusmatkan suhteen kuvien 41 ja 42 mukaisesti. Kun ajouranvarsitiheys on 10 m³ / 100 m ja metsäkuljetusmatka 250 m, on pienimmän tuottavuuden omaavan koneen vuosisuorite 19 000 m³ ja suurimman tuottavuuden omaavan koneen 27 000 m³. Metsäkuljetusmatkan piteneminen 250 metristä 500 metriin pienentää vuosisuoritetta noin 5 000 m³.



Kuva 41. Vihreän hakkuutähteen metsäkuljetuksen vuosisuorite ajouranvarsitiheyden suhteen, kun metsäkuljetusmatka on 250 m ja kuorman koot aikatutkimuksessa toteutuneet.



Kuva 42. Vihreän hakkuutähteen metsäkuljetuksen vuosisuorite metsäkuljetusmatkan suhteen, kun ajouranvarsitiheys on 10 m³ / 100 m ja kuorman koot aikatutkimuksessa toteutuneet.

5 TARKASTELU

Aikatutkimusaineisto kerättiin kesäolosuhteissa. Aineisto käsitti vain neljä konetta ja neljä kuljettajaa. Kuljettajat olivat kuitenkin varsin kokeneita hakkuutähteen metsäkuljetukseen. Kaikkiaan aineisto oli kuitenkin varsin suppea, mikä aiheuttaa epävarmuutta aineistosta tehtyihin yleistyksiin.

Koska tämän tutkimuksen seuranta-aineisto oli pieni, muutettiin tässä saadut tuottavuudet vastaamaan käytännön tasoa aiemmasta laajemmasta puutavaran metsäkuljetustutkimuksesta saaduista kertomin.

Aikatutkimuksen analysoinnissa kuormattuna- ja tyhjänäajojen funktioiden muodot perustuivat myös em. kuormatraktoritutkimukseen. Funktioille tehtiin tasokorjaukset tähän aineistoon perustuen. Omista aikaturkimushavainnoista tehdyt funktiot noudattivat kuitenkin näitä kuormatraktoritutkimuksen funktioita varsin hyvin. Ajonopeuteen vaikutti siis matkan pituus toisin kuin Asikaisen ym. (2001) tutkimuksessa. Kuorman koko puolestaan ei tässä aineistossa vaikuttanut kuormattuna-ajonopeuteen toisin kuin Asikaisen ym. (2001) tutkimuksessa.

Useilla kohteilla aikaturkimuksen ja haketuksen väli oli niin pitkä, että se saattoi vaikuttaa ainakin vihreän hakkuutähteen määrään alentavasti. Tämä pienentää vastaavasti tuottavuusarvoja ja voi siten antaa ruskean ja vihreän hakkuutähteen vertailussa liian positiivisen kuvan ruskean hakkuutähteen hankinnasta.

Kuormako'oissa oli koneiden välillä eroja, mutta erot eivät ainakaan koneiden 1 ja 2 välillä selittyneet kuormatilan kokoeroilla. Selittävänä tekijänä lienee ollut koneen 1 kuljettajan käyttämä poikittainen kuormaustapa. Koneittain tehty tuottavuusvertailu kuormakoon mukaan (kuva 21) osoitti, että kuormakoko selitti selvästi voimakkaammin käyttötuntituottavuutta kuin koneet ja kuljettajat. Näin kuorman koon maksimointiin erilaisin kuormatila- ja kuormausratkaisuilla on pyrittävä.

Ruskea hakkuutähde ei ollut aina kuivempaa kuin vihreä. Se oli yhdellä koneella jopa kosteinta. Tämän perusteella kuivatus ei aina tuota toivottavaa tulosta. Kuivauksen tulisi käytännössä pienentää hakkuutähteen kosteutta parinkymmenen prosentin luokkaa (taulukko 15, vertailut 3 ja 4), jotta näin saatu lisäenergia kattaisi sen muuten korkeammat metsäkuljetuskustannukset. Muita kustannusvaikutuksia, kuten neulasten mahdollisia haittavaikutuksia, kattilalle ei tässä ole huomioitu.

Työmaalla, jossa tehtiin koe, jossa osalla alueesta hakkuutähteet jätettiin levälleen ja osalla kasoihin, kasat olivat suurempia kuin kasat tällä koneella yleensä eli kasaus oli tehty normaalia huolellisemmin. Käytännössä kustannusero näiden menetelmien välillä voinee siten olla hieman pienempi kuin tässä saatu. Toisaalta kun laskelmassa ei otettu huomioon levälleen jätetyn ja kasoihin hakatun hakkuutähteen keruun kuormakokoeroa, mikä oli kasoihin hakatun eduksi kymmenisen prosenttia, vaikuttaisi tämä kustannuksiin päinvastoin.

Osuus, joka hakkuutähteestä kerättiin talteen, vaihteli jonkin verran koneelta toiselle. Tämä johtunee siitä, että toinen kuljettaja oli tottunut keräämään hakkuutähteen tarkemmin talteen kuin toinen. Koko aineistossa hakkuutähteestä jäi palstalle 23 %, mikä on jopa vähemmän kuin suositeltava noin kolmannes koko hakkuutähteen määrästä.

Tässä tutkimuksessa saatu tehotuntituottavuus oli samaa tasoa, noin 2 – 3 % suurempi, kuin Asikaisen ym. (2001) tutkimuksessa samanlaisella kuorman koolla. Korpilahden (2001) tutkimuksessa hakkuutähteen metsäkuljetuksen käyttötuntituottavuus oli 9,3 m³, kun kuorman koko oli 10,3 m³ ja metsäkuljetusmatka 300 metriä. Tässä tutkimuksessa vastaava arvo oli 9,8 m³.

Oijalan ym. (1999) tutkimuksessa hakkuutähteen metsäkuljetuksen tuottavuus oli kuusivaltaisilla kohteilla 8,5 – 12,2 m³/tehotunti kuljetusmatkan vaihdellessa 130 ja 390 metrin välillä. Tässä tutkimuksessa käytetyillä kertoimilla arvot olisivat 6,4 – 9,2 m³/käyttötunti. Ainoalla mäntykoelalla tuottavuudet olivat samaa tasoa kuin parhaalla kuusikoelalla, vaikka kuljetusmatka oli selvästi pidempi. Tässä tutkimuksessa vastaavilla metsäkuljetusmatkoilla, kun ajouranvarsitiheys oli 10 m³ / 100 m, tuottavuus oli vihreällä hakkuutähteellä 8 – 11 m³/käyttötunti eli 20 – 25 % suurempi. Merkittävin syy eroon lienee kuormako'oissa. Oijalan ym. (1999) tutkimuksessa kuormakoot jäivät pieniksi ollen kuusen hakkuutähteillä 3,3 – 3,9 m³ ja männyn hakkuutähteillä 4,5 m³. Tässä raportoidussa tutkimuksessa kuormakoko oli keskimäärin 7,2 m³.

Saurasen ja Vesisenahon (1996) mukaan hakkuutähteen metsäkuljetuskustannukset normaalikuormatilaaisella kuormatraktorilla, joka on varustettu hakkuutähdekouralla, olivat 250 metrin metsäkuljetusmatkalla noin 3,7 €/m³. Tavallisella puutavarakouralla varustetulla kuormatraktorilla kustannuksiksi tuli 4,3 €/m³. Tässä tutkimuksessa vastaavat kustannukset saatiin merkittävästi suuremmiksi eli 5,6 €/m³ ajouranvarsitiheyden ollessa 10 m³/100 m. Syynä eroon voi olla kustannustason yleisen nousun lisäksi ainakin erilaisten kertoimien käyttäminen käytännön käyttötuntituotosta tehoajan perusteella määritettäessä. Myös hakkuutähteen määrässä tutkimuskohteilla voi olla eroa.

Hakkuutähteen kuivumisen myötä neulasat varisevat, ohuet oksat katkeilevat ja kuorikin irtoaa osittain. Kosteusprosentti laskee 50 – 60 %:sta jopa 20 – 30 %:iin. Toisaalta talteensaattava hakkuutähteen määrä vähenee jopa 33 % pääasiassa neulasten karisemisen takia (Sauranen ja Vesisenaho 1996). Tämän hankkeen laskennoissa hakkuutähteen määrän oletettiin vähennettäväksi ruskeana korjattuna vain 15 %. Käytännössä usein ruskean hakkuutähteen metsäkuljetuskustannus lienee jonkin verran suurempi vihreään hakkuutähteeseen verrattuna kuin tässä raportissa on esitetty.

Vesisenahon (1994) tutkimuksessa hakkuutähteen kuormaaminen traktoriin oli lähes 70 % hitaampaa niiden ollessa levällään maastossa verrattuna siihen, että ne olivat hakkuun jälkeen kasoissa korjuu-urien sivuilla. Myös hakkuutähdekuorman purkaminen oli tällöin reilut 10 prosenttia hitaampaa.

Tässä tutkimuksessa tehdyssä yhdessä kokeessa saatiin selvästi pienemmät arvot – 28 ja 5 %.

Saman Vesisenahon (1994) tutkimuksen mukaan hakkuutähteen metsäkuljetuksen käyttötuntuottavuus oli 340 metrin ajomatalla 27 % suurempi, kun hakkuutähteet olivat kasoissa verrattuna siihen, kun ne olivat levällään. Tässä tutkimuksessa tämä vaikutus oli vain vajaat 10 %.

Vesisenahon (1994) tutkimuksessa hakkuutähteen metsäkuljetuskustannus 250 metrin metsäkuljetusmatkalla oli 6,8 €/m³, kun hakkuutähteet olivat kasoissa ja 9,3 €/m³, kun hakkuutähteet olivat levällään. Tässä raportoidussa tutkimuksessa vastaavat arvot olivat 5,6 ja 6,1 €/m³, kun ajouranvarsitiheys oli 10 m³ / 100 m. Vesisenahon tutkimuksessa kuljettaja työskenteli ensimmäistä kertaa hakkuutähteen korjuutyömaalla.

KIRJALLISUUS

- Asikainen, A., Ranta, T., Laitila, J. & Hämäläinen, J.** 2001. Hakkuutähdehakkeen kustannustekijät ja suurimittakaavainen hankinta. Joensuu yliopisto. Tiedonantoja 131.
- Korpilahti, A.** 2001. Käyttöpaikallahaketukseen perustuva puupolttoaineen tuotanto – PUUY02. Puuenergian teknologiaohjelman vuosikirja 2001. VTT Espoo 2001.
- Kuitto, P.-J., Keskinen, S., Lindroos, J., Oijala, T., Rajamäki, J., Räsänen, T. & Terävä, J.** 1994. Puutavaran koneellinen hakkuu ja metsäkuljetus. Metsätehon tiedotus 410.
- Oijala, T., Saksa, T. & Sauranen, T.** 1999. Hakkuutähteen korjuumenetelmien vertailu ja vaikutus metsänuudistamiseen. Bioenergian tutkimusohjelma. Julkaisuja 27.
- Sauranen, T. & Vesisenaho, T.** 10.1.1996. Hakkuutähteen hankinta – nykytekniikka ja toteutus. Bioenergian tutkimusohjelma. Keski-Suomen Metsäenergia -projekti D106.
- Vesisenaho, T.** 26.9.1994. Hakkuutähteen korjuututkimus Äänekoskella. Väliraportti. Bioenergian tutkimusohjelma. Keski-Suomen Metsäenergia -projekti D106.