

Metsätehon raportti 129
28.2.2002

Hakkuutähteen metsäkuljetusmäärän mittaus

Kaarlo Rieppo

Hakkuutähteen metsäkuljetusmäärän mittaus

Kaarlo Rieppo

Metsätehon raportti 129
28.2.2002

Konsortiohanke: Metsäliitto Osuuskunta, StoraEnso Oyj,
UPM-Kymmene Oyj, Vapo Oy

Asiasanat: hakkuutähde, metsäkuljetus, mittaus

© Metsäteho Oy

Helsinki 2002

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ.....	4
1 JOHDANTO	5
2 TAVOITE.....	5
3 MENETELMIÄ HAKKUUTÄHTEEN METSÄKULJETUSMÄÄRÄN MITTAAMISEKSI.....	6
4 LIUKUVAAN KESKIVARVOON PERUSTUVA MENETELMÄ.....	7
4.1 Menetelmän kuvaus	7
4.2 Työmaakohtaisen kuormaluvun oikeellisuuden merkitys	7
4.3 Menetelmän tarkkuus.....	8
5 KESKIKUORMAKOON HAJONTA KÄYTÄNNÖSSÄ	13
6 NÄKÖKOHTIA MENETELMÄN SOVELTAMISESTA.....	14

TIIVISTELMÄ

Hakkuutähteen metsäkuljetuksen työsuorituksen maksatus tehdään nykyisin yleisimmin kahdessa vaiheessa: ennakkomaksu metsäkuljetuksen päätyttyä ja tasauslasku haketuksen jälkeen. Tässä toimintatavassa ongelmakohtina ovat kaksi erillistä maksatusta samasta työstä ja näiden maksatusten välillä raaka-aineessa tapahtuvat, jopa olennaisesti sen määrään vaikuttavat muutokset.

Hankkeessa kehitettiin hakkuutähteen metsäkuljetusmäärän mittaukseen liukuvaan keskiarvoon perustuva menetelmä, jossa metsäkuljetuksen päätyttyä tehdään vain kertamaksatus. Menetelmä perustuu yrittäjän tai kuljettajan ilmoittamaan työmaakohtaiseen kuormalukuun ja kontrollihaketuksista laskettavaan liukuvaan kuormakoon keskiarvoon. Kuormaluvun ja kuormakoon tulona saadaan työmaan hakkuutähteen määrä, jota käytetään maksatuksen perusteena.

Liukuva kuormakoon keskiarvo lasketaan esimerkiksi viimeisten viiden kontrollihaketuksessa todetun kuormakoon keskiarvona. Kontrollihaketus tehdään satunnaisesti esimerkiksi 1 - 10 työmaan välein. Näillä työmailla hakkuutähteen haketus tehdään niin pian hakkuutähteen metsäkuljetuksen jälkeen kuin mahdollista, jotta raaka-aineessa ei ehdi tapahtua määrään vaikuttavia muutoksia.

Menetelmä ei ole herkkä työmaakohtaisesti ilmoitetun kuormaluvun oikeellisuudelle, kunhan kontrollihaketuskohteiden valinnassa toteutuu satunnaisuus.

Menetelmän tarkkuus riippuu ensisijaisesti kontrollihaketuksin määritettyjen keskikuormakokojen hajonnasta työmaitten välillä. Mitä suurempaa konekohtaista hakemäärää menetelmällä mitataan, sitä luotettavampi on menetelmän antama tulos.

Menetelmää sovellettaessa kuormakoko on määritettävä aina konekohtaisesti. Keskikuormakoon hajontaa on seurattava ja kontrollihaketusväliä muuttamalla pyrittävä riittävään tarkkuuteen.

Tekes on osakkaiden lisäksi rahoittanut hanketta Puuenergian teknologiaohjelmasta.

1 JOHDANTO

Puuenergian käyttöä pyritään voimakkaasti lisäämään. Hankinta- ja tuotantomenetelmät ovat vielä kehittyviä. Tällä hetkellä yleisintä on hakkuutähteen keruu ja kuljetus palstalta välivarastoon tienvarsihaketusta tai käyttöpaikalle kuljetusta varten. Työ tehdään perinteisellä tai laajennetulla kuormatilalla varustetulla kuormatraktorilla ja tavallisella tai tähän tarkoitukseen suunnitellulla hakkuutähdekouralla.

Tuotantoketjun eri vaiheissa hakkuutähdeestä ja hakkeesta tarvitaan erilaisia tietoja. Polttoaineen energiasisältö on voimalaitoksille oleellista, mutta useat työsuoritteet ovat materiaalinkäsittelyä, jossa tilavuusperustainen työmäärän toteaminen on johdonmukaista.

Nykykäytännössä arvioidaan yrittäjittäin kuorman keskikoko ja yrittäjä ilmoittaa leimikoittain ajetut kuormat. Näin saadaan arvio leimikoittain kuljetetusta hakkuutähteen määrästä. Tämän määrän perusteella maksetaan yrittäjälle ennakkomaksu. Haketuksen jälkeen mitatun määrän perusteella tehdään tasauslasku. Haketetun määrän mittaa yleensä haketusyrittäjä.

Nykyisessä menettelytavassa on ongelmana se, että joudutaan tekemään kaksi maksatusta. Tämän vuoksi leimikkotiedot on pidettävä erillään. Toisena ongelmana on maksatusten välinen aikajänne, jonka pituus vaihtelee ja on joskus jopa vuosi. Pitkän varastointiajan aikana hakkuutähdevarastossa ehtii tapahtua muutoksia, jonka vuoksi kuljetetun ja haketetun hakkuutähteen määräraero voi olla pahimmissa tapauksissa jopa kymmeniä prosentteja.

2 TAVOITE

Tavoitteena oli kehittää käytäntöön soveltuva hakkuutähteen metsäkuljetusmäärän mittaamenetelmä. Menetelmän tuli perustua kertamaksatukseen, ja se ei saanut sisältää pitkää viivettä työn suorituksen ja maksun määrityksen välillä. Lisäksi menetelmän oli sovelluttava urakkatyöhön ja oltava oikeudenmukainen.

Sekä tuotantoketjuun että urakointiin sopiva hakkuutähteen metsäkuljetusmäärän mittaamenetelmä poistaisi tuotantoketjussa nykyiset maksatukseen ja eräkohtaiseen seurantaan liittyvät hankaluudet. Ratkaisulla olisi tuotantaloudellisen merkityksen lisäksi positiivinen vaikutus urakoinnin ilmapiiriin ja lämpölaitosten polttoainetoimitusten ohjaukseen.

3 MENETELMIÄ HAKKUUTÄHTEEN METSÄKULJETUSMÄÄRÄN MITTAAMISEKSI

Tässä raportissa esitellään menetelmä, joka perustuu liukuvaan keskiarvo-kuormaan. Kehitetyn menetelmän lisäksi hankkeessa tulivat esille seuraavat menetelmät:

1. Nykyinen menetelmä, jossa arvioidaan kuorman keskikoko ja kerrotaan se yrittäjän ilmoittamalla kuormien lukumäärällä. Tämän perusteella maksetaan yrittäjälle ennakkomaksu. Lopullinen maksatus tehdään haketuksen jälkeen mitatun hakemäärän perusteella.
2. Hakkuutähteen määrän arviointi puulajeittain jälkikäteen leimikolta hakatun ainespuumäärän perusteella. Tulosta voidaan korjata järeiden mukaisilla kertoimilla. Edellyttää hakkuutähteen saantoprosentin seuraamista.
3. Hakkuutähteen tilavuuden estimointi harvesterin tietojärjestelmässä hakkuun yhteydessä (Joensuun yliopiston kehittämä menetelmä). Edellyttää myös hakkuutähteen saantoprosentin seurantaa.
4. Hakkuutähteen punnitus kuormauksen yhteydessä kuormainvaa'alla tai kuormatilaan asennetulla vaa'alla. Lisäksi tarvitaan tieto tai ainakin arvio hakkuutähteen kosteudesta. Edellyttää konekohtaista investointia vaakaan.
5. Hakkuutähdekasan tilavuuden määrittäminen välivarastolla. Tarkka mittaaminen on työlästä ja edellyttää työmaakohtaista käyntiä tai yrittäjän/kuljettajan tekemää mittausta.
6. Joutuisuuteen perustuva aikapalkkaus, jossa määritetään hakkuutähteen metsäkuljetuksen suorittajan joutuisuus työssä ja suhteutetaan aikapalkka joutuisuuteen. Joutuisuuskerrointa seurataan ja muutetaan tarvittaessa.
7. Hehtaariohtainen taksa. Edellyttää hakkuutähteen hehtaariohtaisen määrän selvittämistä ainakin karkeasti. Saantoprosenttia on myös seurattava.

4 LIUKUVAAN KESKIARVOON PERUSTUVA MENETELMÄ

4.1 Menetelmän kuvaus

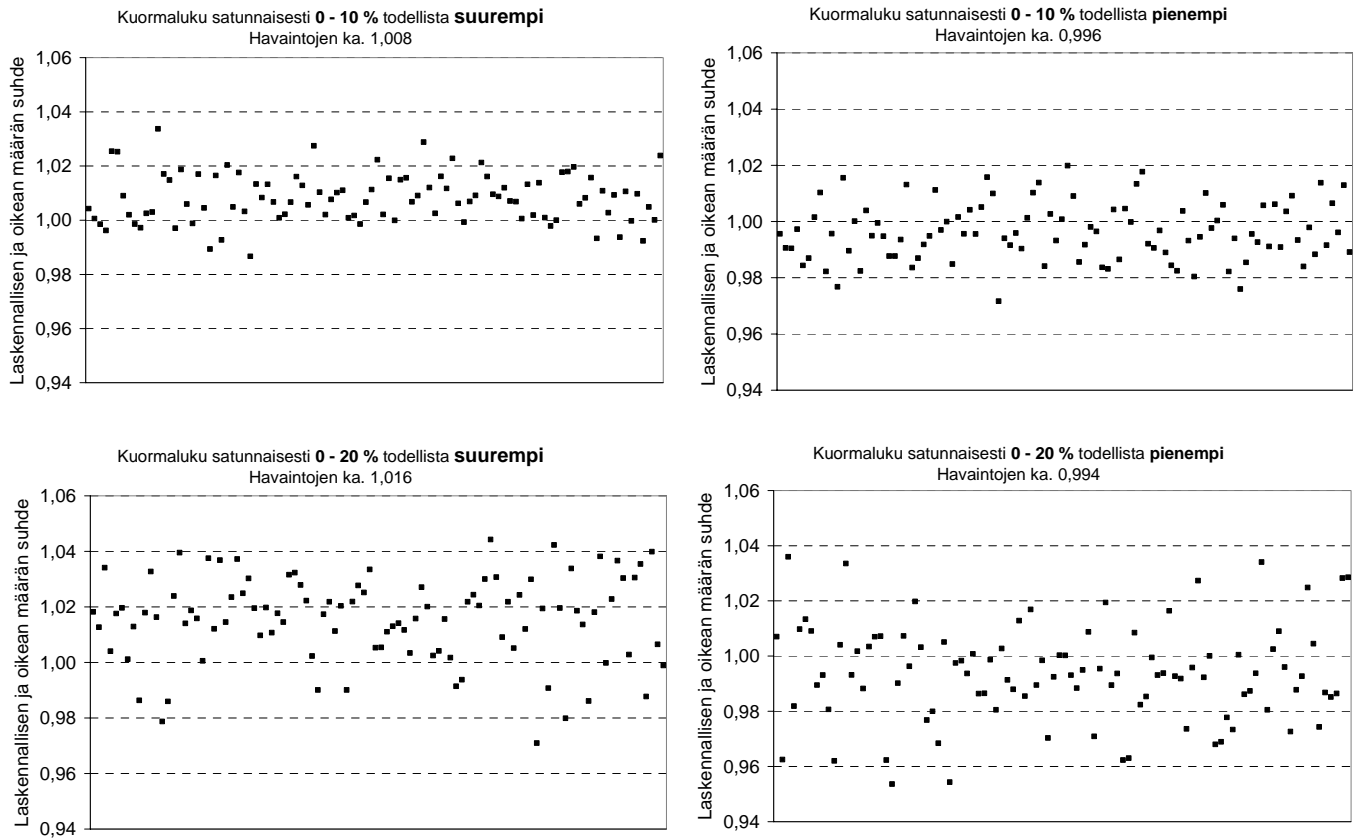
Kehitetty hakkuutähteen metsäkuljetusmäärän mittausmenetelmä perustuu yrittäjän tai kuljettajan ilmoittamaan työmaakohtaiseen kuormalukuun ja liukuvaan kuormakoon keskiarvoon. Ilmoitetun kuormaluvun ja liukuvan kuormakoon tulona saadaan työmaan hakkuutähteen määrä, jota käytetään maksatuksen perusteena. Työmaakohtainen maksatus tehdään kertaluonteisesti näin saadun määrän perusteella. Haketettun hakkuutähteen määrä mitataan irtokuutiometreinä.

Liukuva kuormakoon keskiarvo lasketaan viimeisten (esimerkiksi 3 - 6) kontrollihaketuksessa todettujen kuormakokojen keskiarvona ja tätä kuorman keskikokoa käytetään aina seuraavaan kontrollihaketukseen saakka. Kontrollihaketus tehdään satunnaisesti 1 - n työmaan välein (n esimerkiksi 6 - 15). Näillä työmailla hakkuutähteen haketus tehdään niin pian hakkuutähteen metsäkuljetuksen jälkeen kuin mahdollista, jotta raaka-aineessa ei ehdi tapahtua määrään vaikuttavia muutoksia, kuten neulasten irtoamista. Näillä kohteilla myös haketus tehdään erityisen tarkasti ja hakkeen irtokuutiometri määrän mittaus hyvin huolellisesti. Kontrollihaketuksen kuormakoko lasketaan haketettun irtokuutiometri määrän ja työmaalta ilmoitettujen kuljetettujen kuormien osamääränä. Kuljetettujen hakkuutähdekuormien lukumäärä on ilmoitettava ennen kuin metsäkuljetuksen tekijä saa tietää, että kyseessä on työmaa, jolla tehdään kontrollihaketus.

4.2 Työmaakohtaisen kuormaluvun oikeellisuuden merkitys

Yrittäjä tai kuljettaja ilmoittaa jokaisen työmaan hakkuutähteen metsäkuljetuksen jälkeen, kuinka monta kuormaa kyseiseltä työmaalta on kuljetettu. On mahdollista, että joskus kuormaluvun ilmoituksessa tulee virhe, ts. ilmoitettu kuormaluku ei olekaan tarkalleen oikea. Ainakin teoreettisesti on myös mahdollista, että kuormaluku ilmoitetaan tahallisesti väärin. Kehityksessä hakkuutähteen metsäkuljetusmäärän mittausmenetelmässä kuormaluvun oikeellisuudella ei kuitenkaan ole juuri merkitystä lopulliseen hakemäärään, kun kyseessä on riittävän isot hakemäärät ja kun eritoten ilmoitettu kuormamäärä on virheellinen satunnaisesti eli se voi yhtä hyvin sattua kontrollihaketuskohteelle kuin muullekin työmaalle.

Kuvassa 1 on esitetty laskennallisen ja oikean hakemäärän suhteen vaihtelu, kun kuormien työmaakohtainen lukumäärä on satunnaisesti suurempi tai pienempi kuin oikea. Kuvissa on esitetty myös suhteellisten erojen keskiarvot. Näiden perusteella voidaan todeta, että ilmoitettujen kuormien lukumäärän ollessa oikeaa suurempi, johtaa tämä hakemäärän lievään yliarviointiin. Kuormien lukumäärän ollessa oikeaa pienempi, johtaa tämä hakemäärän lievään aliarviointiin. Virheet ovat hyvin suurissa hakemäärissä (työmaita $100 \cdot 55 = 5500$) vain noin prosentin. Pienemmissä hakemäärissä (yksittäiset pisteet kuvassa; työmaita $55 = 10$ kontrollia \cdot keskimääräinen kontrolliväli $5,5$ ($n = 1 - 10$)) suhteelliset erot ovat kahden prosentin luokkaa, kun kuormalukuvirhe on enintään 10 % ja enintään kuuden prosentin luokkaa kuormalukuvirheen ollessa maksimissaan 20 %.



Kuva 1. Laskennallisen hakemäärän ja oikean hakemäärän (= 1,00) suhde työmaa-kohtaisen kuormaluvun ollessa todellista suurempi tai pienempi. Jokainen piste tarkoittaa sellaista aineistoa, johon sisältyy 10 kontrollihaketusta ja kontrollihaketus on tehty satunnaisesti 1 - 10 työmaan jälkeen. Kullakin työmaalla kuormien lukumäärä vaihtelee satunnaisesti välillä 6 - 50.

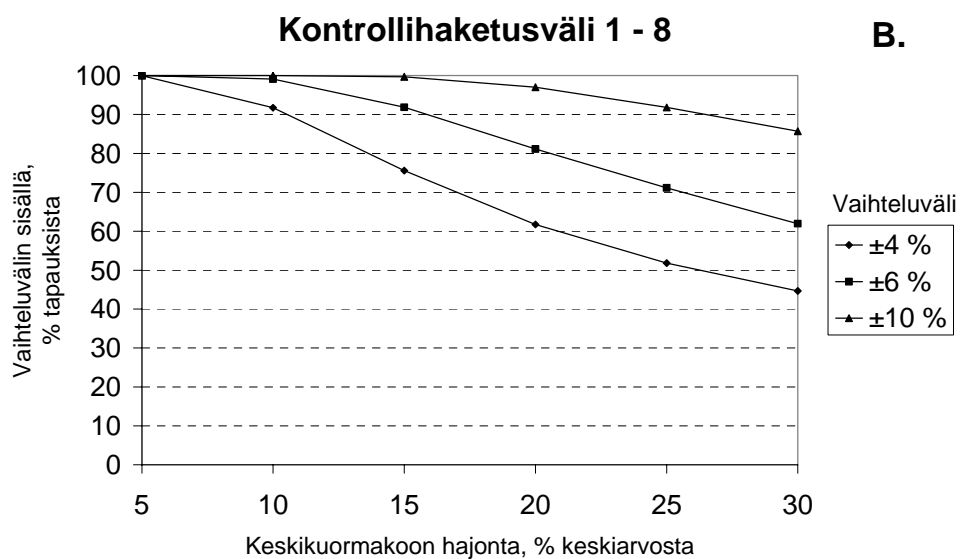
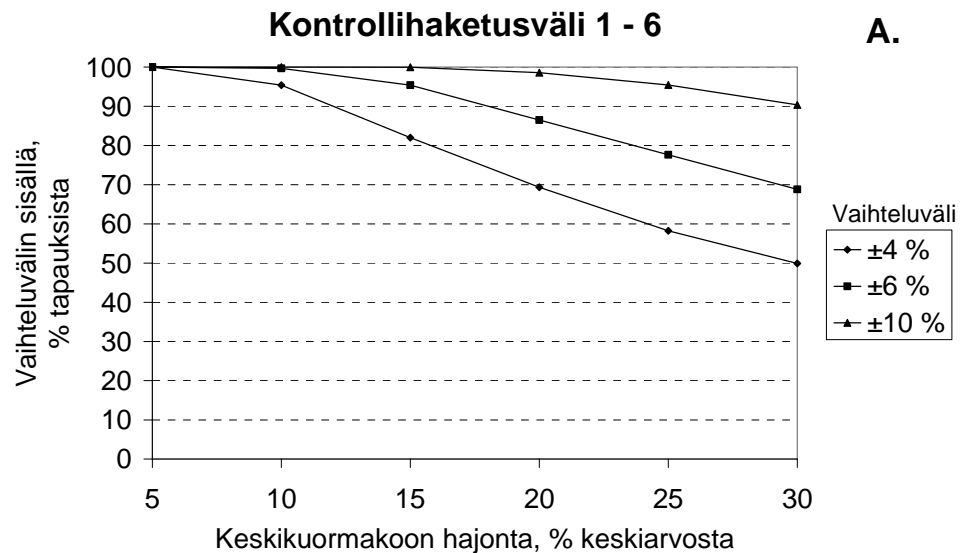
4.3 Menetelmän tarkkuus

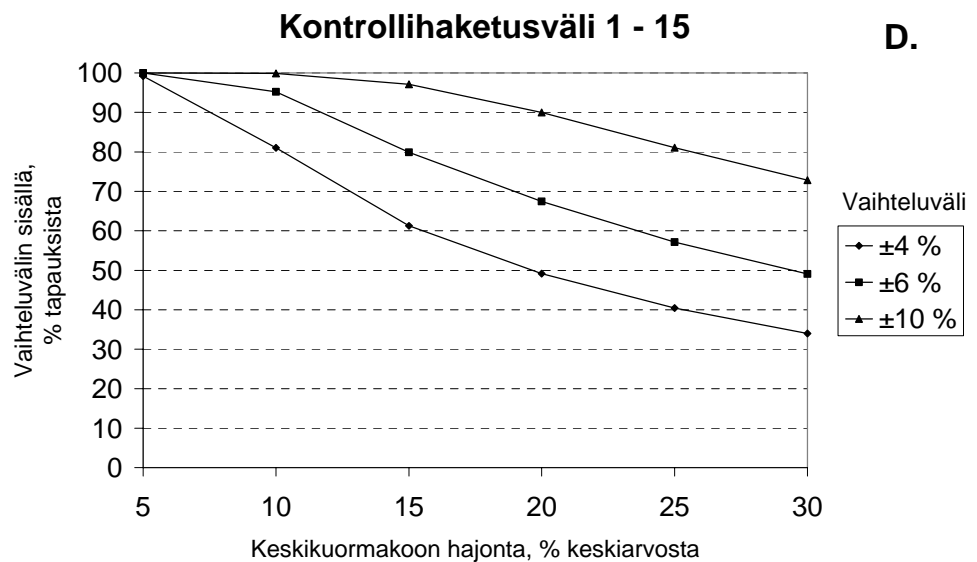
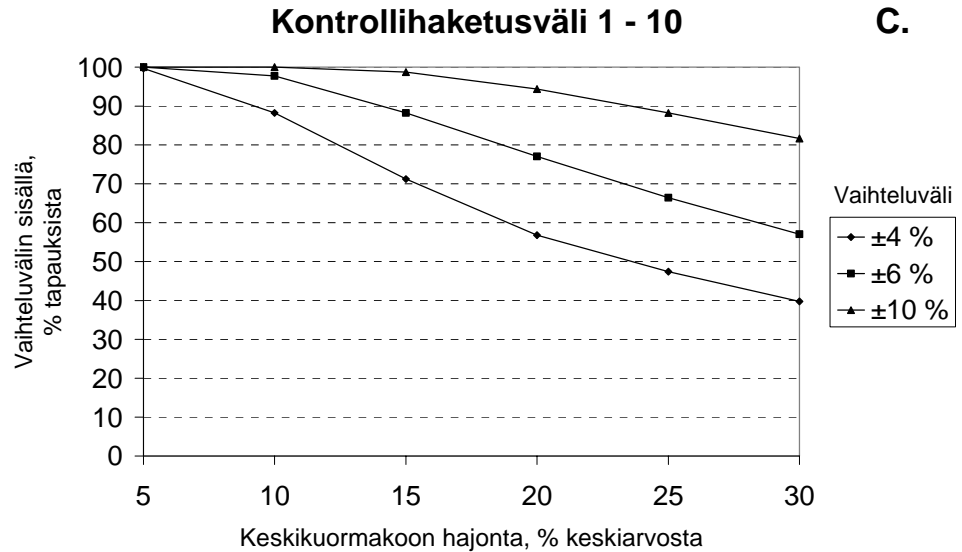
Kehitetyn menetelmän tarkkuuden määrittämisessä oletettiin, että kuormaluku työmaittain pitää tarkkaan paikkansa.

Menetelmän tarkkuus riippuu ensisijaisesti kontrollihaketuksin määritettyjen keskikuormakokojen hajonnasta työmaitten välillä. Mitä pienempi tämä hajonta on, sitä parempi on menetelmän tarkkuus. Lisäksi menetelmän tarkkuus riippuu siitä, kuinka usein kontrollihaketuksia tehdään. Mitä useammin keskikuormakokoa tarkistetaan kontrollihaketuksin, sitä parempaan tarkkuuteen päästään. Edelleen menetelmän tarkkuuteen vaikuttaa jonkin verran se, kuinka monta viimeistä haketuskontrollin määritettyä keskikuormakokoa on mukana liukuvan keskikuormakoon laskennassa. Mitä enemmän näitä tekijöitä on, sitä parempi on menetelmän tarkkuus. Huonona puolena liukuvan keskikuormakoon tekijöiden määrän kasvattamisessa on se, että tällöin liukuva keskikuormakoko reagoi todellisiin keskikuormakokoon vaikuttaviin tekijöihin, esimerkiksi olosuhdetekijöihin hitaammin.

Menetelmän tarkkuutta edellä esitettyjen tekijöiden suhteen selvitettiin laskentamallilla, jossa kuorman keskikoon työmaittain oletettiin vaihtelevan normaalijakaumaa noudattaen. Normaalijakaumasta arvottiin satunnaisesti kullekin työmaalle keskikuormakoko. Tämän ja samalle työmaalle satunnaisesti arvotun kuormien lukumäärän tulona saatiin kunkin työmaan ”todellinen” hakemäärä. Näin saatua hakemäärää verrattiin työmaittain voimassa olevan liukuvan kuormakoon keskiarvoon ja kyseisen työmaan kuormaluvun tulona saatuun laskennalliseen hakemäärään. Laskentamallissa voitiin vaihdella keskikuormakoon hajontaa vapaasti, maksimi kontrolliväli oli 15 ja liukuvaan kuormakoon keskiarvoon oli mahdollista ottaa 3 - 6 viimeistä kontrolliarvoa. Kuormia työmaittain oletettiin olevan satunnaisesti välillä 6 - 50 ja keskikuormakooksi lähtötilanteessa oletettiin 20 i-m³. Keskikuormakoko ei sinänsä vaikuta menetelmän tarkkuuteen, mutta sen vaihtelulla on merkitystä.

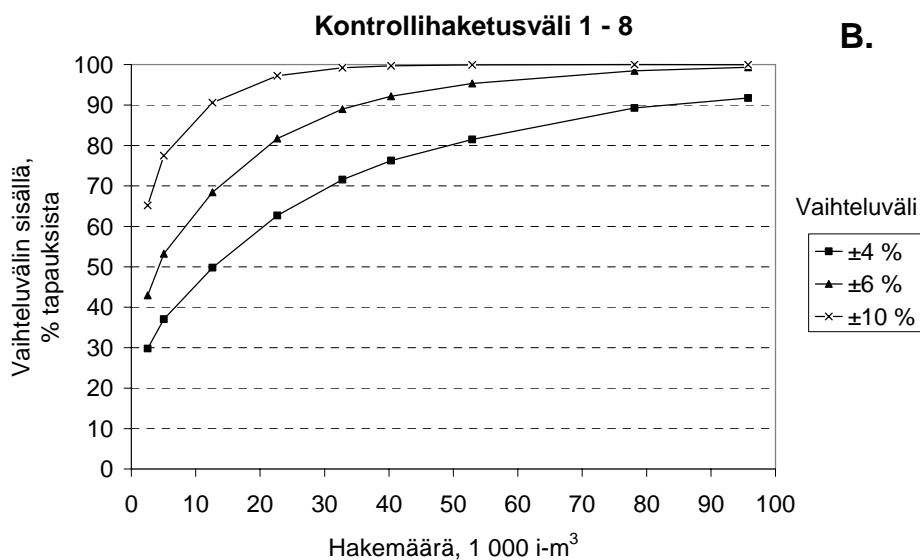
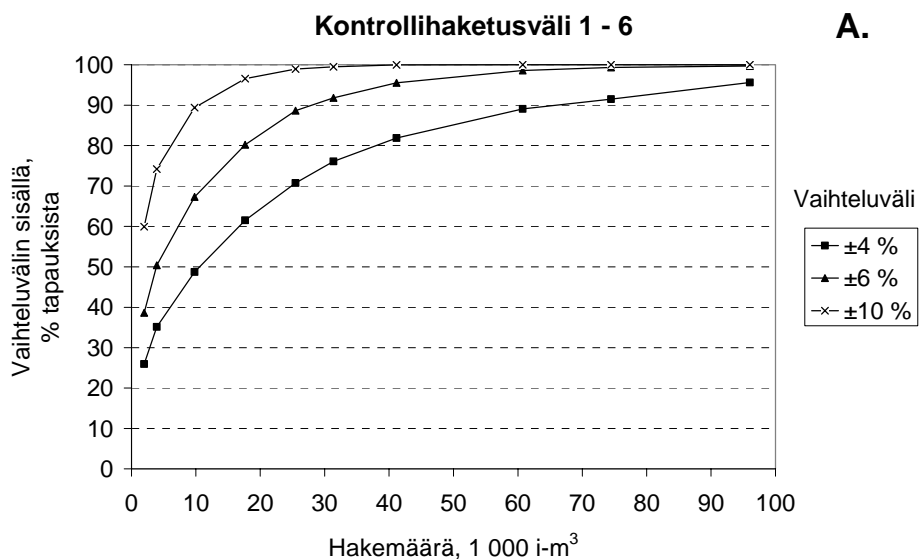
Alla olevassa kuvassa 2 (A - D) on esitetty menetelmän tarkkuudet erilaisilla kontrollihaketusväleillä ja erilaisilla keskikuormakoon hajonnoilla.

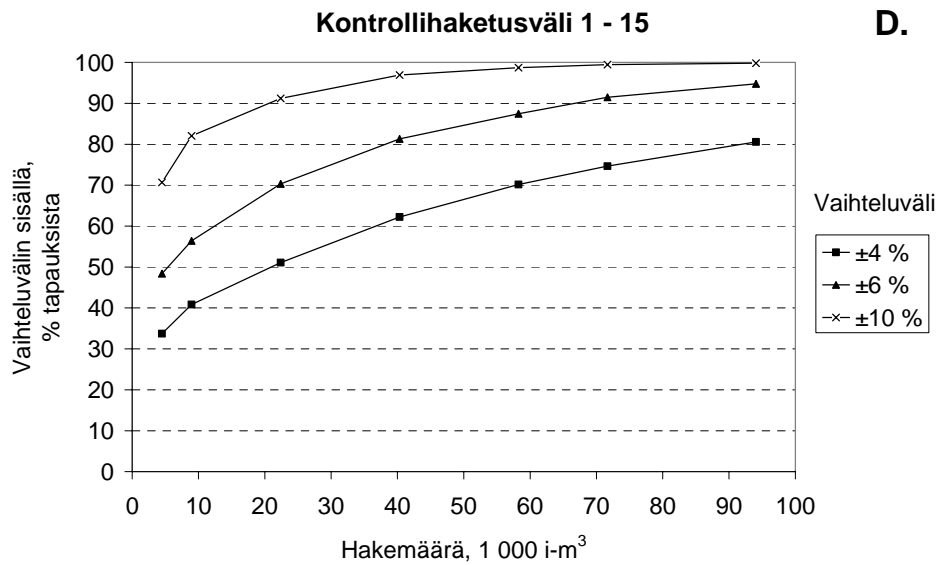
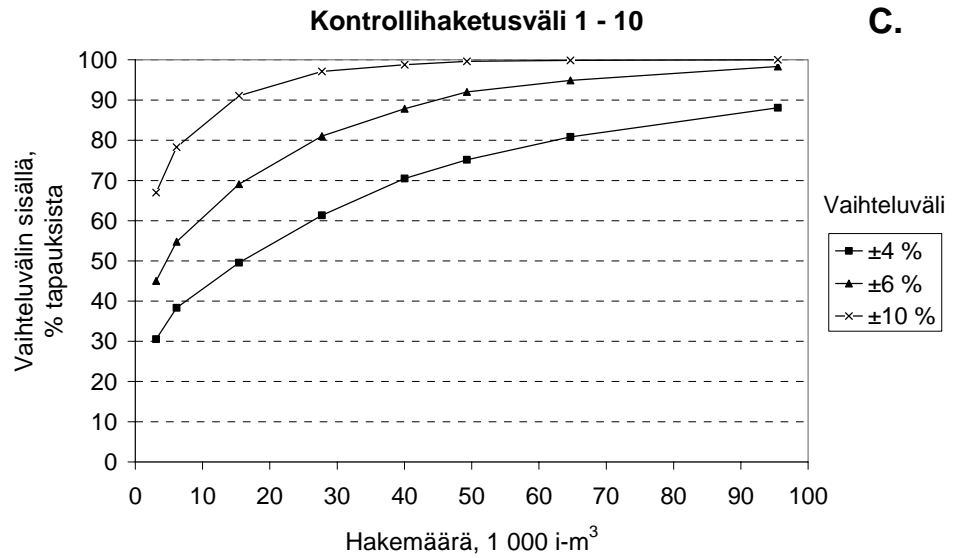




Kuva 2. Menetelmän tarkkuus eri kontrollihaketusväleillä. Kun kontrolliväli on 1 - n, tehdään kontrollihaketus satunnaisesti tällä välillä eli keskimäärin kontrollihaketusväli on $(1 + n)/2$. Vaihteluväli tarkoittaa sitä, että hakkuutähteen määrän kokonaisvirhe on vaihteluvälin ilmoittamissa rajoissa. Hakemääränä laskennoissa on käytetty noin 40 000 i-m³:ä. Koska hakemäärä on kutakuinkin vakio, on eri kontrollihaketusväleillä eri määrä kontrollihaketuksia seuraavasti (kontrollihaketusväli ja kontrollihaketusten lukumäärä): 1 - 15 ja 9, 1 - 10 ja 13, 1 - 8 ja 16, 1 - 6 ja 21. Liukuvan keskikuormakoon laskennassa on käytetty viittä viimeistä kontrollihaketuksessa todettua keskikuormakokoa.

Liukuvan keskikuormakoon tekijöiden määrä vaikuttaa menetelmän kokonaistarkkuuteen varsin vähän. Kuvassa 2 esiintyvän käsitteen *vaihteluväli* sisälle saadaan maksimissaan 4 prosenttiyksikköä enemmän havainnoista, kun liukuvan keskikuormakoon laskennassa käytetään kolmen tekijän sijasta kuutta. Sen sijaan hakemäärällä on suuri merkitys menetelmän tarkkuuteen (kuva 3, A - D). Mitä suurempaa konekohtaista hakemäärää menetelmällä mitataan, sitä luotettavampi on menetelmän antama tulos.



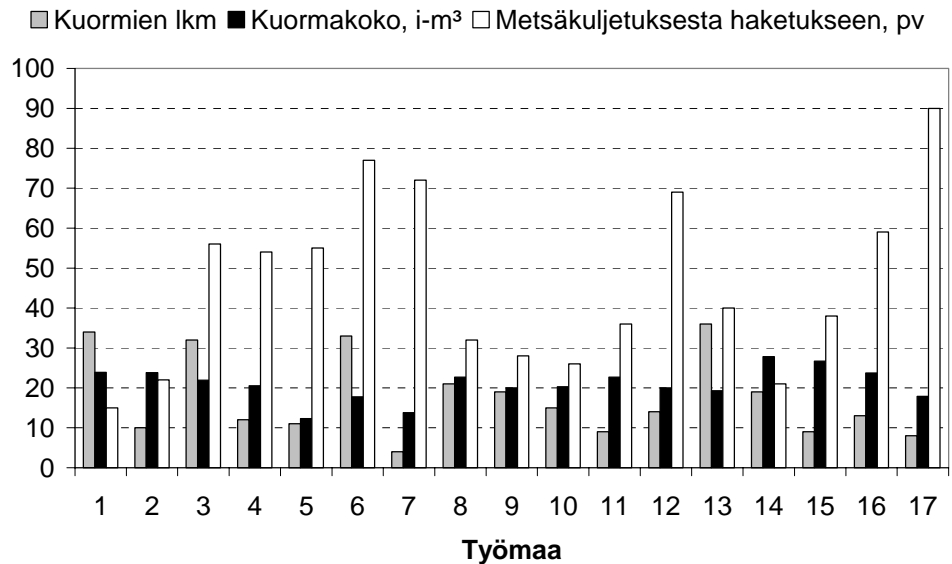


Kuva 3. Hakemäärän vaikutus kehitetyn hakkuutähteen metsäkuljetusmäärän mittausmenetelmän tarkkuuteen eri kontrollihaketusväleillä. Laskennoissa keskikuormakoon hajontana on käytetty 15:tä %, työmaan kuormaluku on satunnaisesti 6 - 50 ja liukuva keskiarvo on laskettu viiden viimeisen kontrollihaketuksessa todetun keskikuormakoon perusteella.

5 KESKIKUORMAKOON HAJONTA KÄYTÄNNÖSSÄ

Keskikuormakoon hajonnan määrittämiseksi oli tarkoitus kerätä kuudelta koneelta aineistoa työmaakohtaisesta keskikuormakoosta. Eri syistä johtuen aineistoa kertyi kuitenkin niukasti, joten tämän aineiston perusteella ei saatu kuin viitteitä keskikuormakoon hajonnasta.

Suurin yhtä konetta koskeva aineistomäärä oli 17 työmaata (kuva 4). Keskikuormakoon työmaiden välinen hajonta oli 19,4 %. Aineistoon sisältyi joitakin kohteita, joissa metsäkuljetuksen ja haketuksen väli oli suhteellisen pitkä. Keskikuormakoon hajonta niissä yhdeksässä kohteessa, joissa tämä väli oli enintään 50 päivää, oli 12,7 % (suurimman ja pienimmän keskikuorman suhde 1,4). Niissä kahdeksassa kohteessa, joissa tämä väli oli puolestaan yli 50 päivää, oli hajonta 21,2 % (suurimman ja pienimmän keskikuorman suhde 1,9).



Kuva 4. Keskikuormakoon vaihtelu koneella 4

TAULUKKO Keskikuormakoon hajonta työmaiden välillä eri koneilla

Kone	Keskikuormakoon hajonta, %	Työmaiden määrä	Suurimman ja pienimmän keskikuormakoon suhde
1	30,5	10	2,4
2	32,6	11	2,2
3	34,5	8	2,8
4	19,4	17	2,3

6 NÄKÖKOHTIA MENETELMÄN SOVELTAMISESTA

Kuormakoko määritetään aina konekohtaisesti. Uudelle koneelle kuormakoko määritetään joko aiempaan kokemukseen perustuen tai laskennallisesti. Kuormakoko voidaan määrittää koneittain myös kuljettajakohtaisesti tai jopa raaka-ainelaadittain eli esim. vihreälle ja ruskealle hakkuutähteelle erikseen. Mikäli koneessa voidaan käyttää muuntuvaa kuormatilaa, esim. levitettäviä pankkoja, on kaikille käytettäville vaihtoehdoille määritettävä omat keskikuormakoot.

Mitä vähemmän on keskikuormakomäärityksiä eri tekijöiden suhteen, sitä yksinkertaisempi on menetelmää soveltaa. Kuormakokojen määrittäminen erilaisille tekijöille ei välttämättä edes paranna menetelmän tarkkuutta, koska kontrollihaketuksia tulee tällöin näille kuormakokotekijöille vähemmän, mikä suurentaa hajontaa ja johtaa epäluotettavampaan liukuvan kuormakoon keskiarvoon. Jos kuormakoot eri tekijöiden takia poikkeavat kuitenkin selvästi toisistaan, on perusteltua käyttää näille tekijöille omaa keskikuormakokoa.

Keskikuormakoon hajontaa on seurattava ja kontrollihaketusväliä muuttamalla pyrittävä riittävään tarkkuuteen. Hajonnan pienessä voidaan kontrollihaketusväliä suurentaa ja päinvastoin. Keskikuormakoon hajonnan suuruuteen vaikuttavia syitä on analysoitava, jotta voidaan vaikuttaa siihen, että hajontaa saadaan pienennettyä ja näin menetelmän tarkkuutta parannettua tai kontrollihaketusten määrää vähennettyä.

Mikäli keskikuormakoon hajonta nousee jollakin koneella niin suureksi, että menetelmän antama tarkkuus ei ole enää osapuolia tyydyttävä, on käytettävä muunlaista hakkuutähteen metsäkuljetusmäärän mittausmenetelmää.