

Metsätehon raportti 148
19.5.2003

Metsäkoneiden polttoaineen kulutuksen mittaaminen

Esitutkimus

Kaarlo Rieppo
Jouko Örn

Metsäkoneiden polttoaineen kulutuksen mittaaminen

Esitutkimus

**Kaarlo Rieppo
Jouko Örn**

Metsätehon raportti 148
19.5.2003

Ryhmähanke: Metsähallitus, Metsäliitto Osuuskunta, Metsäteollisuus ry, Stora Enso Oyj, UPM-Kymmene Oyj, Vapo Timber Oy, Yksityismetsätalouden Työnantajat r.y.

Asiasanat: polttoaineen kulutus, metsäkoneet, hakkuukone, metsätraktori

© Metsäteho Oy

Helsinki 2003

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	4
Tavoite	4
Mittaukset	4
Tulokset	4
Päätelmät	6
Jatkotutkimustarpeet	6
1 JOHDANTO	7
1.1 Projektin taustaa	7
1.2 Tavoite	7
1.3 Projektin organisaatio	7
2 MITTAUSMENETELMÄT	8
2.1 Polttoaineen kulutuksen tason määrittäminen	8
2.2 Työvaihekohtaisen kulutuksen määrittäminen	8
2.2.1 Mittaukset koneista, joissa on CAN-väylä	9
2.2.2 Mittaukset koneista, joissa on ARCNET-verkko	9
2.2.3 Erilliseen tiedonkeruulaitteeseen perustuva polttoaineen kulutuksen mittaus	9
3 AINEISTO	10
3.1 Polttoaineen kulutustason määrittäminen	10
3.1.1 Asennetut mittarit ja niiden jakautuminen	10
3.1.2 Mittausten määrä	12
3.2 Työvaihekohtaisen kulutuksen määrittäminen	13
4 TULOKSET	13
4.1 Polttoaineen kulutuksen tason määrittäminen	13
4.2 Työvaihekohtaisen kulutuksen määrittäminen	21
5 PÄÄTELMÄT	22
6 JATKOTUTKIMUSTARPEET	23

TIIVISTELMÄ

Tavoite

Tutkimuskokonaisuudessa selvitettiin sekä metsäkoneiden että puutavara-autojen polttoaineenkulutusta. Tämän osaprojektin tavoitteena oli kehittää metsäkoneiden polttoaineenkulutuksen mittausmenetelmiä sekä tuottaa tietoa metsäkoneiden polttoaineen kulutustasoista sekä työvaihekohtaisista kulutuksista. Polttoaineenkulutuksen mittaus edesauttaa polttoaineen säästöä. Esimerkiksi viiden prosentin polttoaineen säästöllä saadaan n. 5 milj. euron kustannussäästö vuositasolla puunkorjuussa ja puutavaran autokuljetuksessa.

Mittaukset

Metsäkoneiden polttoaineen kulutustasot mitattiin yrittäjien polttoainesäiliöihin liitetyillä mekaanisilla Piusi K44 -virtausmittareilla. Koneiden käyttäjät kirjasiivat seurantalomakkeille mittausjakson aikana tehtyjen leimikoiden osalta tankatut polttoainemäärät, hakatut kuutiot, ajetut kuormat, leimikon pinta-alan, puuston keskijäretydet, maastotyytit, koneen käyn-nissäoloajat ja tankkausajankohdat.

Hakkuukoneita oli seurannassa 20 ja metsätraktoreita 14. Hakkuukoneet jaoteltiin koon perusteella kevyempiin ja raskaampiin. Metsätraktoreille käytettiin kolmea kokoluokkaa – kevyet, keskikokoiset ja raskaat. Kukin yrittäjä seurasi kulutusta vähintään kuukauden ajan. Näin tuloksia saatiin koko syksyn 2002 ajalta. Kaikki koneet olivat kolmelta suurimmalta konevalmistajalta – Partek Forest Oy, Ponsse Oyj ja Timberjack Oy.

Tankkauksia kertyi mittausjakson aikana yli 650. Polttoainetta hakkuukoneet kuluttivat lähes 56 000 ja metsätraktorit 27 500 litraa. Vastaavat hakatut ja kuljetetut puumäärät olivat 64 000 ja 42 000 m³. Koneiden käyntituntimittareihin tuli tunteja hakkuukoneilla 4 600 ja metsätraktoreilla 2 600.

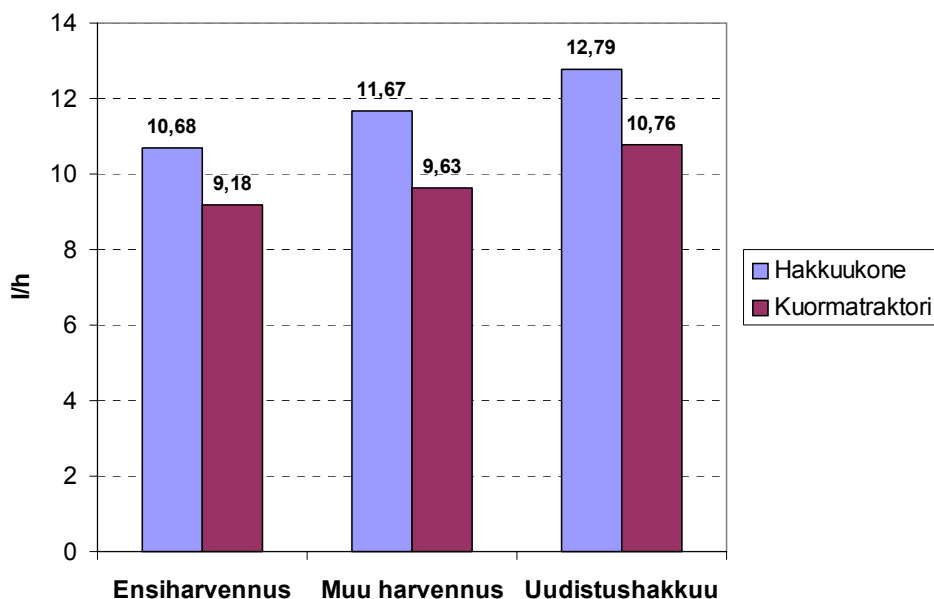
Yhdestä kulutustasotutkimuksessa mukana olleesta hakkuukoneesta kerättiin tarkempaa työvaiheittaista polttoaineen kulutustietoa.

Tulokset

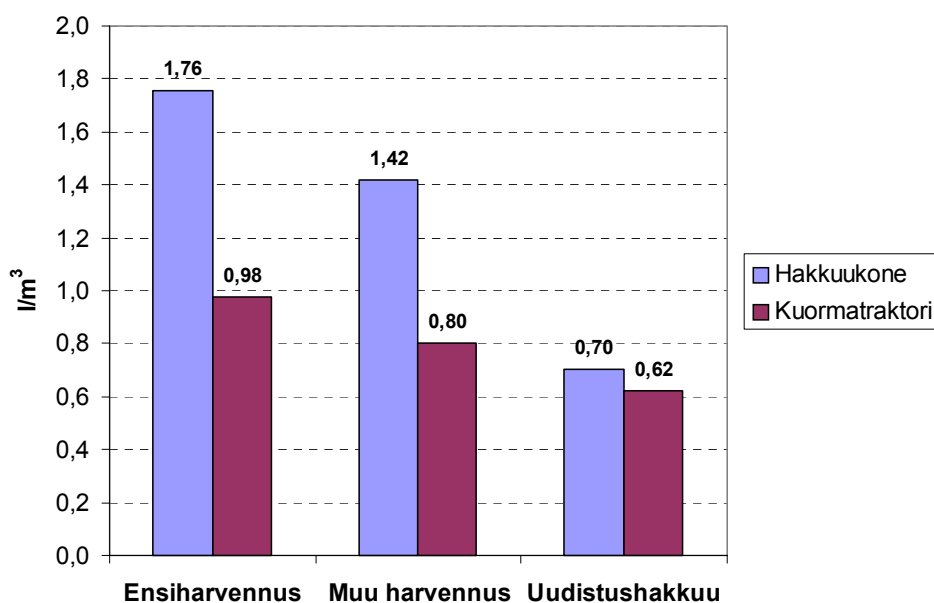
Keskimääräinen polttoaineen tuntikulutus oli hakkuukoneella 12,2 ja kuormatraktorilla 10,5 litraa. Kuutiometriä kohti hakkuukoneella kului polttoainetta 0,87 ja kuormatraktorilla 0,65 litraa. Polttoaineen kulutus riippui molemmilla koneilla myös hakkuutavasta kuvien A ja B mukaisesti.

Hakkuukoneella polttoaineen tuntikulutus kasvoi sekä muussa harvenushakkuussa että uudistushakkuussa, kun hakkuukoneen tuotos kasvoi. Tuottavuuden kasvun myötä polttoaineen kulutus m³:iä kohti kuitenkin pieneni. Kuormatraktorilla polttoaineen tuntikulutuksen ja tuotoksen

välillä ei ollut selvää riippuvuutta. Tuottavuuden kasvun myötä polttoaineen kulutus tilavuutta kohti pieneni kuormatraktorilla merkittävästi.



Kuva A. Polttoaineen kulutus hakkuutavan mukaan aikayksikköä kohti.



Kuva B. Polttoaineen kulutus hakkuutavan mukaan m³:ä kohti.

Puuston keskijäreys näytti lisäävän myös polttoaineen tuntikulutusta sekä hakuukoneilla että kuormatraktoreilla. Järeiden kasvaessa tuottavuus nousi etenkin hakuukoneilla merkittävästi nopeammin kuin polttoaineenkulutus kasvoi, joten m³:ä kohti polttoaineen kulutus pieneni puuston järeiden kasvaessa.

Metsätraktorilla polttoaineen tuntikulutus ei riippunut metsäkuljetusmatkan pituudesta.

Ensiharvennuksessa kevyempien hakkuukoneiden polttoaineen kulutus tuntia kohti oli pienempi kuin raskaampien, vaikka samanaikaisesti näiden tuottavuus oli jopa hieman parempi. Näin kevyempien hakkuukoneiden polttoaineen kulutus m³:iä kohti oli ensiharvennuksessa reilua kolmannesta pienempi kuin raskaammilla koneilla.

Suppean työvaihekohtaisen kulutustutkimuksen tuloksen mukaan puun kaatosahaus sekä puun karsinta ja katkonta olivat työvaiheita, jotka vievät suhteellisesti enemmän polttoainetta kuin aikaa.

Päätelmät

Selvitys oli pilot-hanke, jolla pyrittiin saamaan kuva polttoaineen kulutustasosta lumettomissa olosuhteissa ja kehittämään metsäkoneiden polttoaineen kulutusmittauksen menetelmiä. Poikkeuksellisen kuivan syksyn 2002 johdosta tulokset vastaavat hyviä olosuhteita.

Tulosten perusteella voidaan todeta, että hakkuukoneiden ja metsätraktoreiden välillä on polttoaineen kulutuksessa merkittävä ero ja että hakkuukoneella polttoaineen tuntikulutus riippuu selvästi tuottavuudesta. Näiden vaikutusta on aiheellista tarkastella myös konekustannus- ja ympäristölaskelmissa.

Saatu polttoaineen kulutustaso antaa liian positiivisen kuvan koko vuoden jaksolle yleistettynä. Lisää aineistoa eri olosuhteista olisi kerättävä, jotta keskimääräiset ja olosuhteittaiset polttoaineen kulutusluvut voitaisiin luotettavasti määrittää. Olisi pyrittävä myös työvaihekohtaiseen kulutusmittaukseen. Tähän on uusilla metsäkoneilla hyvät mahdollisuudet, koska ne on yleensä varustettu jo ns. CAN-väylällä, josta tämä tieto on suhteellisen helposti saatavissa.

Jatkotutkimustarpeet

Sekä kustannus- että ympäristö- ja elinkaarilaskennan tarkentamiseksi tarvitaan lisätietoa muun muassa kaluston eri kokoluokkien, olosuhteiden kuten eri hakkuutapojen, puuston järeyden ja vuodenaikojen sekä tuottavuuden vaikutuksista polttoaineenkulutukseen. Elinkaarilaskentaa varten puunkorjuuvaiheiden polttoaineen kulutustiedon tasoista tietoa pitäisi saada myös puuntuotannon töistä.

Polttoaineen kulutustieto on ympäristö- ja elinkaarilaskennassa päästö- kertoimien ohella tärkein päästölaskennassa käytettävä tunnus. Päästölaskennan tarkentamiseksi tulisi selvittää mahdollisuudet mitata myös pakokaasupäästöjä vastaavissa käyttöolosuhteissa samalla kun tarkempia polttoaineen kulutusmittauksiakin tehdään.

Jatkotutkimuksia suunniteltaessa on syytä ottaa huomioon myös polttoainekulutuksen säästöön ja päästöjen vähentämiseen tähtäävän koulutuksen ja opetussimulaattorien tarpeet.

1 JOHDANTO

1.1 Projektin taustaa

Metsäkoneiden ja puutavara-autojen kustannuslaskennassa käytettävät polttoaineen kulutusarvot perustuvat vanhoihin arvioihin ja kokemuksiin. Erilaisia kulutukseen vaikuttavia muuttujia ei ole aikaisemmin tutkittu. Puutavara-autojen osalta kustannuslaskelmissa käytetään funktioita, jotka on laadittu 1980-luvulla.

Tutkimuksen tarkoituksena oli määrittää nykyiset kulutustasot puunkorjuuketjussa ja erilaisten muuttujien vaikutukset polttoaineen kulutukseen. Tuntemalla kulutustasot ja tunnistamalla kulutukseen vaikuttavat tekijät voidaan vähentää puunkorjuuketjun energiankulutusta ja ympäristökuormitusta. Samalla on mahdollista alentaa myös kustannuksia; esimerkiksi viiden prosentin säästö polttoaineen kulutuksessa tarkoittaa n. 5 milj. euron kustannussäästöä vuositasolla puunkorjuussa ja puutavaran autokuljetuksessa.

Tutkimuskokonaisuudessa on selvitetty sekä metsäkoneiden että puutavara-autojen polttoaineen kulutusta. Tässä raportoidaan tutkimuksen tulokset metsäkoneiden osalta. Puutavara-autojen polttoaineen kulutuksen tutkimustulokset on esitetty erillisessä raportissa.

1.2 Tavoite

Tämän osaprojektin tavoitteena oli kehittää metsäkoneiden polttoaineen kulutuksen mittaamenetelmiä sekä tuottaa tietoa polttoaineen kulutustasoista sekä työvaihekohtaisista kulutuksista metsäkoneiden osalta.

1.3 Projektin organisaatio

Projektin johtoryhmän muodostivat seuraavat mukana olleiden Metsätehon osakkaiden edustajat:

- Hannu Airavaara, UPM-Kymmene Oyj, puheenjohtaja
- Pertti Blomberg, Metsähallitus
- Kari Immonen, Yksityismetsätalouden Työnantajat r.y.
- Kari Peltonen, Metsäliitto Osuuskunta
- Kimmo Roininen, Stora Enso Oyj
- Harri Rumpunen, Metsäteollisuus ry

Tämän osaprojektin käytännön suorituksesta vastasi Metsätehon johdolla Jyväskylän ammattikorkeakoulu (JAMK), jossa vastuullisena vetäjänä oli logistiikan lehtori Mikko Keskinen. Projektiassistentit Erno Lehtinen, Janne Herukka, Timo Nisula ja Henri Vuolle huolehtivat käytännön toteutuksesta mittareiden asennuksista alkaen. He vastasivat myös alihankkijan työn raportoinnista Metsäteholle. Tämän raportin ovat osin alihankkijan rapor-

toiman työn ja omien lisäanalyysien pohjalta kirjoittaneet Kaarlo Rieppo ja Jouko Örn.

2 MITTAUSMENETELMÄT

2.1 Polttoaineen kulutuksen tason määrittäminen

Metsäkoneiden polttoaineen kulutustasot mitattiin mekaanisilla Piusi K44 -virtausmittareilla, jotka liitettiin yrittäjien polttoainesäiliöihin. Valmistajan mittarille ilmoittama mittaustarkkuus on ± 1 %.

Tarkoitus oli, että seurantaan olisi yhdellä mittarilla saatu koko korjuuketju. Tämä ei kuitenkaan kovin hyvin onnistunut. Osaltaan tähän vaikutti se, että osalla yrittäjistä oli vain kuormatraktori tai hakkuukone. Toisena syynä oli se, että hakkuukone ja kuormatraktori tankattiin usein erillisistä säiliöistä, mikä johtui siitä, että koneet siirtyivät eri aikoina leimikolta toiselle.

Tarkoituksena oli myös saada seurantaan mahdollisimman tasaisesti koneita kolmelta suurimmalta konevalmistajalta – Partek Forest, Ponsse ja Timberjack. Tässä ei kuitenkaan onnistuttu, koska konejakauma ei ole tasainen ja riittävän yrittäjäjoukon mukaan saaminen oli muutenkin varsin työlästä.

Kaikki mukana olleet yrittäjät sitoutuivat täyttämään polttoaineenkulutus-seurantalomakkeita, joihin merkittiin jokaisen mittausjakson aikana tehtyjen leimikoiden osalta tankatut polttoainemäärät, hakatut kuutiot, ajetut kuormat, leimikon pinta-ala, puuston keskijäreys, maastotyyppi, koneen käynnissäoloaika ja tankkausajankohta. Lisäksi yrittäjiltä kerättiin tekniset tiedot seurannassa olleista koneista sopimuslomakkeella.

Kukin yrittäjä seurasi kulutusta vähintään kuukauden ajan. Näin tuloksia saatiin koko syksyn 2002 ajalta.

2.2 Työvaihekohtaisen kulutuksen määrittäminen

Työvaihekohtaisen polttoaineen kulutuksen mittaaminen voidaan toteuttaa helpoimmin niissä koneissa, joissa alustakoneen toimintojen ja moottorin hallinnan tiedonsiirtoon käytetään ns. CAN-väylätekniikkaa tai ARCNET-verkkoa tai näiden yhdistelmää. Vanhemmissa konemalleissa, joissa ei edellä mainittuja tiedonsiirtotekniikkoja käytetä, mittaukset pitäisi toteuttaa moottorikartan, koneen kierros- ja lämpötilamittarien, alustakoneen hakkuulaitteen ja nosturin anturoinnin sekä erillisen polttoaineen virtausmittarin avulla.

Tässä tutkimuksessa työvaihekohtaista polttoaineen kulutusmittausta kokeiltiin yhdessä CAN-väylällä varustetussa hakkuukoneessa.

2.2.1 Mittaukset koneista, joissa on CAN-väylä

Lähes kaikissa uusissa metsäkoneissa on jo käytössä CAN-väyläteknikka (CAN = Controller Area Network).

Monen moottorin CAN-väylästä saadaan tarvittavat tiedot polttoaineenkulutuksen määrittämiseksi ilman lisäantureita. CAN-väylää käytettäessä myös asennustyö lyhenee huomattavasti, kun tarvitsee kytkeä ainoastaan tiedonkeruulaite väylään ja määritellä mitä tietoa halutaan kerätä.

Nosturin liiketietojen keruu onnistuu myös CAN-väylästä. Monet valmistajat ovat yhdistäneet alustakoneen ja nosturin säädöt hakkuulaitteen mittalaitteeseen. Voidaankin todeta, että CAN-väylässä kulkee koneen kaikki informaatio.

Nykyisin myös kuormatraktoreissa on käytössä CAN-väylä sekä ns. kuormatraktoripääte, johon on yhdistetty koneen koko hallinta. Näin ollen myös kuormatraktorista saadaan tarvittavat tiedot CAN-väylästä.

2.2.2 Mittaukset koneista, joissa on ARCNET-verkko

Ainoastaan Ponsella on käytössään järjestelmä, jossa moottorin ja alustakoneen tiedonsiirto hoidetaan CAN-väylällä, mutta hakkuulaitteelle ARCNET-verkolla (ARCNET = Attached Recourses Computing Network). ARCNET-verkko eroaa kuitenkin niin paljon tiedonsiirtotekniikaltaan CAN-väylästä, ettei näiden keskinäistä tiedonvälitystä voida toteuttaa ilman erikoisjärjestelyjä. Tällöin ARCNET-verkkoon asennetaan erikoisosa, joka muuntaisi hakkuulaitteen ja nosturin toimintatiedot joko CAN-väylään tai RS232-sarjaliikenteeseen sopivaksi.

Periaatteessa pitäisi olla myös mahdollista, että Ponsse 4G -mittausjärjestelmään tehtäisiin sen verran muutoksia, että ARCNET-verkosta tarvittavat tiedot lähetettäisiin CAN-väylään. Tämä edellyttäisi Ponssen suostumusta ja työpanosta. Jos toinen näistä on mahdollista toteuttaa, niin polttoaineen kulutuksen mittaamiseen riittää yksi CAN-väylään liitettävä tiedonkeruulaite.

2.2.3 Erilliseen tiedonkeruulaitteeseen perustuva polttoaineen kulutuksen mittaus

Muutaman vuoden vanhoissa koneissa ei välttämättä ole CAN-väylää, joten mittaukset on tehtävä erillisillä antureilla. Tarvittavia antureita ovat lämpö-, kierrosnopeus-, polttoaineenkulutus- ja kuormituksen mittaasanturit. Kuormituksen mittaamiseen tarvitaan joko paine- ja virtausmittari tai tieto laskeetaan moottorikartan avulla. Dynamometri ei sovellu metsäolosuhteisiin. Paine- ja virtausmittarit ovat kalliita, varsinkin kun virtausmittarin virtaustilavuuden on oltava 500 l/min. Näin kuormitustiedon hankinta on järkevintä suorittaa moottorikartan avulla. Kuormitus saadaan selville moottorikartan avulla, kun tiedetään moottorin kierrosnopeus ja polttoaineenkulutus. Van-

hemmissä koneissa moottorikarttojen tiedot eivät ole aina luotettavia, koska koneiden polttoaineensyöttöpumppujen säätöjä on saatettu muuttaa.

Moottoreissa on yleensä lämpötila- ja kierroslukuanturit ja näitä voidaan käyttää hyväksi mittauksia tehtäessä, jos näiden mittaustarkkuudet ovat riittävät.

Lisäksi on asennettava polttoaineenvirtausmittarit sekä imu- että paluuletkuun. Laskemalla imu- ja paluuvirtauksen erotus saadaan koneen kuluttama polttoaineen määrä.

Tiedonkeruu hakkuukoneesta

Työvaihetietojen keräämistä varten on kaapattava tietoa keskusyksikön ja hakkuulaitteen välillä kulkevista kaapeleista. Näin saadaan tiedot hakkuulaitteen tilasta, kuten sahaus, syöttö ja hakkuulaite kaatoasennossa. Tilavuustiedot lienee järkevintä ottaa työmaan loputtua PRD-tiedostosta. Runko- ja pölkkykohtaiset tiedot saadaan STM-tiedostosta.

Kuormaimen ja alustakoneen liiketietojen keruu onnistuu, mutta vaatii paljon johdotusta ja sisääntulolinjoja tiedonkeruulaitteelta. Yksi keino on tehdä väliadapteri nosturin hallintavivusta lähtevään johtoon tai venttiilipöydän sähkökeloihin tulevaan johtoon. Vanhemmissa koneissa on käytetty monen eri hydraulikkakomponenttivalmistajien osia, joten osien kirjo on laaja.

Tiedonkeruu kuormatraktorista

Kuormatraktorista tiedonkeruu onnistuu samalla periaatteella kuin hakkuukoneestakin. Puumäärätietojen keräys ei ole kuitenkaan yhtä tarkkaa kuin hakkuukoneissa. Kuormatraktoreissa on harvoin vaakoja, joten tietojen keruu työmaatasolla on järkevin vaihtoehto, sillä hakkuukoneesta on saatavilla tarkka työmaakohtainen hakkuumäärä.

3 AINEISTO

3.1 Polttoaineen kulutustason määrittäminen

3.1.1 Asennetut mittarit ja niiden jakautuminen

Mittareita asennettiin 22 kpl eri puolille Suomea pohjoisinta Lappia lukuun ottamatta.

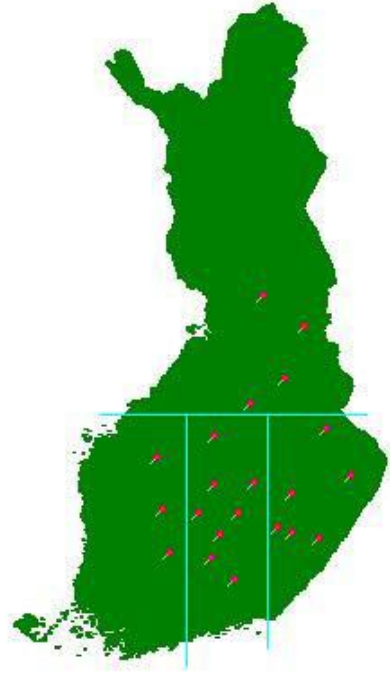
Alueellisesti yrittäjät jakaantuivat oheisen karttakuvan aluejaon mukaisesti seuraavasti:

- Pohjois-Suomi 4 kpl
- Länsi-Suomi 3 kpl
- Keski-Suomi 9 kpl
- Itä-Suomi 6 kpl

Seurannassa oli mukana 20 **hakkuukonetta** valmistajittain seuraavasti:

- Ponsse 9 kpl
- Timberjack 10 kpl
- Valmet 1 kpl

Hakkuukoneet jaettiin kokoluokkiin seuraavasti:



TAULUKKO 1 Kevyemmät hakkuukoneet

Valmistaja	Konemalli	Vuosimalli
Ponsse	HS10	1996
Ponsse	Beaver	2002
Timberjack	1070	2000
Timberjack	1070	2001
Timberjack	1070	2001
Timberjack	1070C	2001

TAULUKKO 2 Raskaammat hakkuukoneet

Valmistaja	Konemalli	Vuosimalli
Ponsse	HS 15 Ergo	1992
Ponsse	HS15e	1992
Ponsse	HS15	1996
Ponsse	HS 16 Ergo	1997
Ponsse	HS 16 Ergo	1998
Ponsse	HS 16	1998
Ponsse	HS 16	1999
Timberjack	1270B	1998
Timberjack	1270B	1999
Timberjack	1270B	1999
Timberjack	1270C	2000
Timberjack	1270C	2000
Timberjack	1270C	2002
Valmet	911	1998

Kuormatraktoreita seurannassa oli yhteensä 14. Näiden merkkijakauma oli:

- Ponsse 5 kpl
- Timberjack 8 kpl
- Valmet 1 kpl

Kuormatraktoreiden kokoluokkajakauma oli seuraava:

TAULUKKO 3 Kevyet kuormatraktorit

Valmistaja	Konemalli	Vuosimalli
Ponsse	S 10	1996
Timberjack	810C	2001

TAULUKKO 4 Keskikokoiset kuormatraktorit

Valmistaja	Konemalli	Vuosimalli
Ponsse	Bison	1999
Ponsse	Bison	2002
Ponsse	Caribo	2001
Timberjack	1010B	2002
Timberjack	1110	-
Timberjack	1110	1996
Timberjack	1210	1992
Valmet	840.1	2001

TAULUKKO 5 Raskaat kuormatraktorit

Valmistaja	Konemalli	Vuosimalli
Ponsse	S15e	1999
Timberjack	1410	1998
Timberjack	1410	1999
Timberjack	1410	1999

3.1.2 Mittausten määrä

Mittausjakso sijoittui elokuusta joulukuun loppuun 2002. Yrittäjäkohtaisten mittausjaksojen pituudet vaihtelivat sen mukaan, milloin yrittäjä oli lähtenyt mukaan tutkimukseen. Mittausjaksojen pituudet vaihtelivat yhdestä kuukaudesta jopa kuuteen kuukauteen. Tankkauksia oli mittausjakson aikana 659 kpl. Tapahtumista saatujen tietojen jakauma on esitetty taulukossa 6.

TAULUKKO 6 Tankkaustiedot

	Tankkauksia, kpl	Tankattu määrä, litraa	Hakattu/kuljetettu määrä, m ³	Koneen käyntitunnit tuntimittarin mukaan
Hakkuukone	331	55 766	63 717	4 557
Kuormatraktori	328	27 558	42 279	2 622
Yhteensä	659	83 324	105 996	7 179

3.2 Työvaihekohtaisen kulutuksen määrittäminen

Yhdestä kulutustasotutkimuksessa mukana olleesta koneesta kerättiin tarkempaa työvaihekohtaista polttoaineen kulutustietoa. Tiedot saatiin yhteistyössä kyseisen metsäkonevalmistajan kanssa. Varsinaisia yksityiskohtaisia numerotietoja ei osapuolten sopimuksen perusteella kuitenkaan esitetä. Tiedot sisälsivät hetkellisiä kulutus- ja kuormitusarvoja.

Seuratut työvaiheet olivat kaatosahaus, puun karsinta- ja katkonta, nosturin käyttö ja ajo. Niistä mitattiin kaatoaikaa, moottorin kuormitusta ja kierroslukua.

Mahdollisessa jatkohankkeessa muuttujia olisi lisättävä, että päästöihin ja kulutukseen vaikuttavia moottorin sisäisiä ja ulkoisia tekijöitä voitaisiin käsitellä ja yksilöidä tarkemmin. Tällaisia muuttujia ovat esimerkiksi moottorin lämpötila, ulkoilman lämpötila ja kosteus, paikkatieto, puulaji ja pako kaasujen lämpötila.

Paikkatiedon avulla saadaan määritetyksi esimerkiksi maasto-olosuhteet ja metsäkuljetusmatka. CAN-väylästä voidaan suoraan kerätä koneen toimintaan liittyvien tapahtumien vaikutusta kulutus- ja päästöarvoihin.

4 TULOKSET

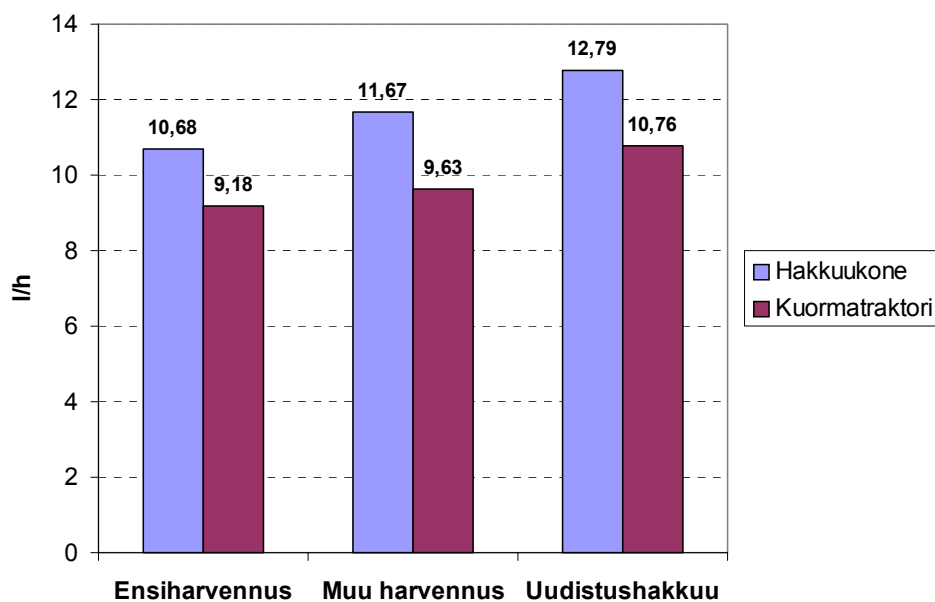
4.1 Polttoaineen kulutuksen tason määrittäminen

Hakkuukoneella koko aineistossa keskimääräinen polttoaineen tuntikulutus oli reilut 12 litraa ja kuormatraktorilla lähes kaksi litraa vähemmän (taulukko 7). Kuutiometriä kohti hakkuukoneella kului polttoainetta 0,87 ja kuormatraktorilla 0,65 litraa. Polttoaineen kulutus riippui molemmilla koneilla myös hakkuutavasta (kuvat 1 - 3). Tulokset ovat aineistosta laskettuja keskimääräisiä arvoja. Näin eri vertailujen välillä eivät kaikki olosuhdetekijät ole välttämättä samanlaisia, joka voi osaltaan tehdä tulosten keskinäisen vertailun epävarmemmaksi.

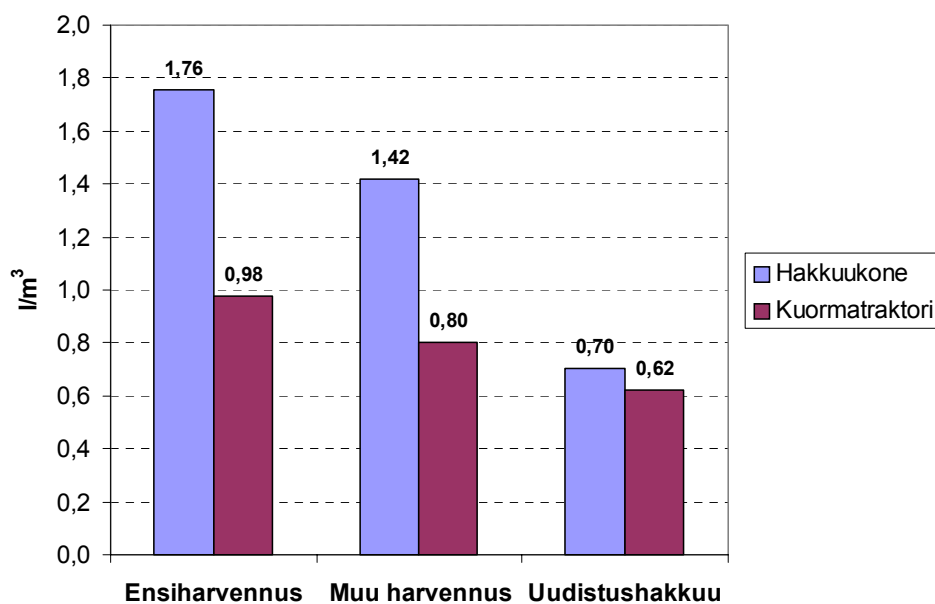
Nykyisin käytettäviin polttoaineen kulutuslukuihin verrattuna saadut tunti- ja m³-kohtaiset kulutusluvut ovat Metsätehon korjuutilaston hakkuutapajakautumalla laskettuna hakkuukoneilla nykyisiä korkeammat ja kuormatraktorille nykyisiä alemmat. Eroihin voivat varsinaisen polttoaineen kulutuksen lisäksi vaikuttaa erot tuottavuuden ja koneiden käyttöajan määrittämissä.

TAULUKKO 7 Polttoaineen kulutus keskimäärin
koko aineistossa

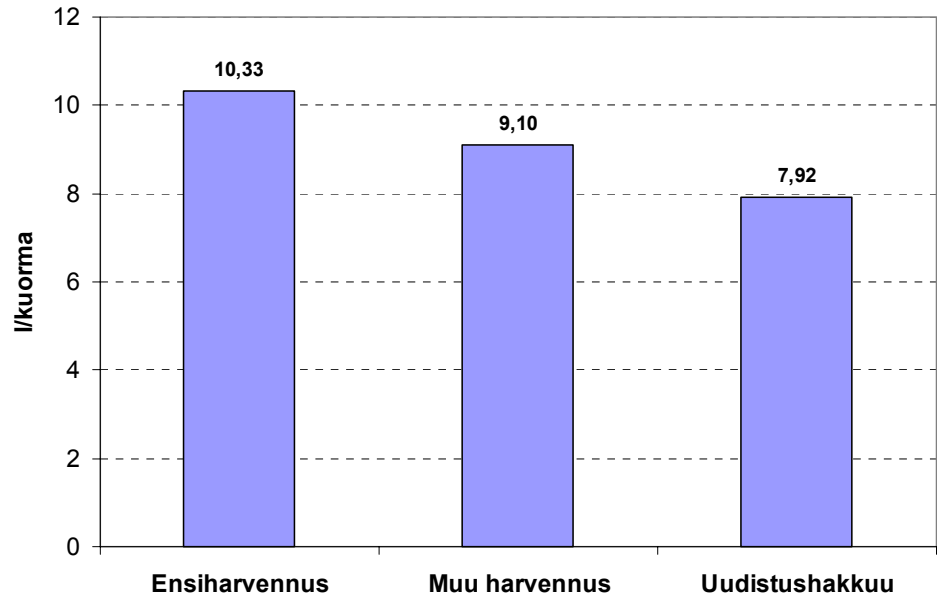
Kulutus	Hakkuukone	Kuormatraktori
l / h	12,20	10,51
l / kuorma	-	8,15
l / m ³	0,87	0,65



Kuva 1. Polttoaineen kulutus hakkuutavan mukaan aikayksikköä kohti.



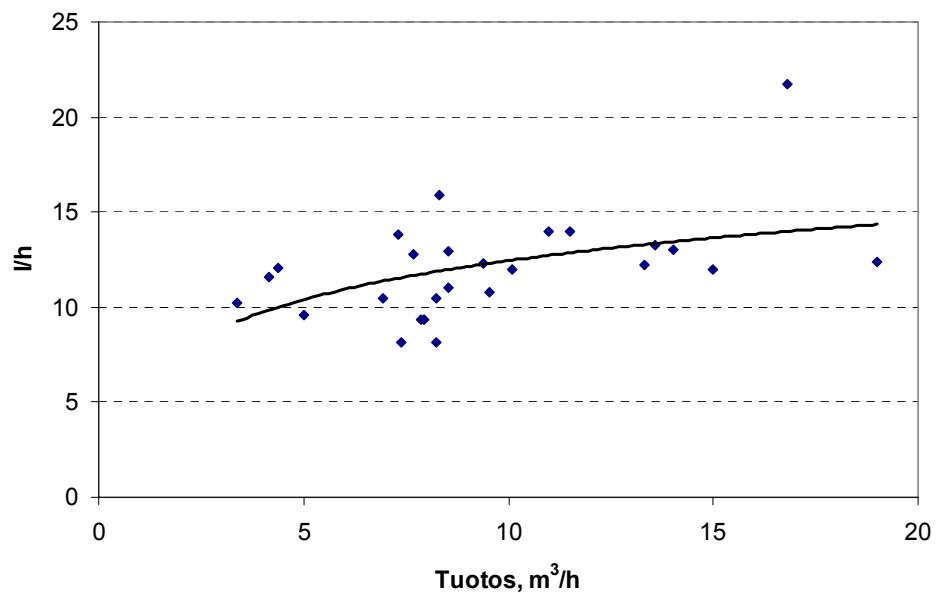
Kuva 2. Polttoaineen kulutus hakkuutavan mukaan m³:ä kohti.



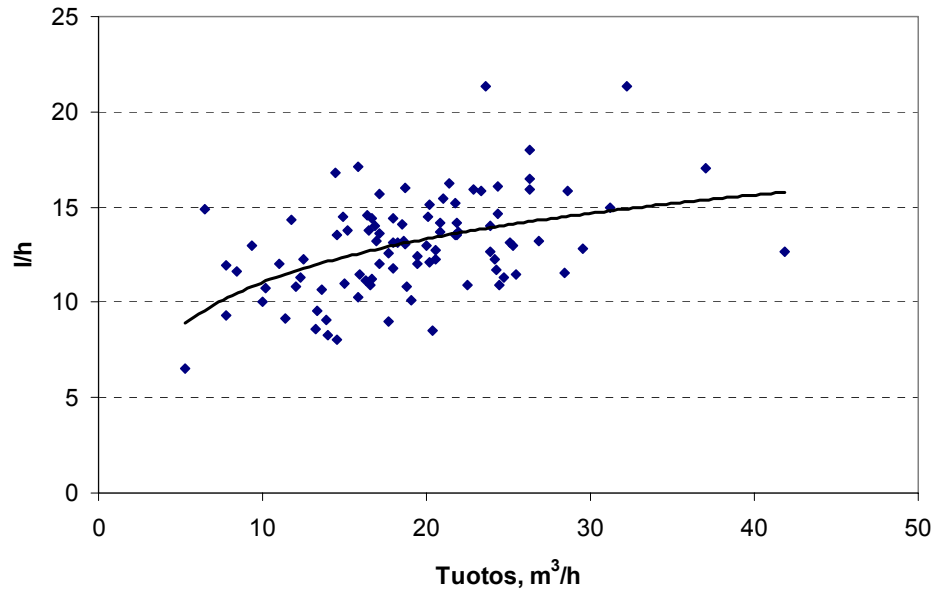
Kuva 3. Polttoaineen kulutus hakkuutavan mukaan kuormatraktorilla kuormaa kohti.

Hakkuukoneella polttoaineen tuntikulutus kasvoi sekä muussa harvennushakkuussa että uudistushakkuussa, kun hakkuukoneen tuotos kasvoi (kuva 4 ja 5). Ensiharvennuksen pienessä aineistossa tällaista riippuvuutta ei ollut. Tuottavuuden kasvun myötä kuitenkin polttoaineen kulutus m^3 :iä kohti pienenee (kuvat 6, 7 ja 8).

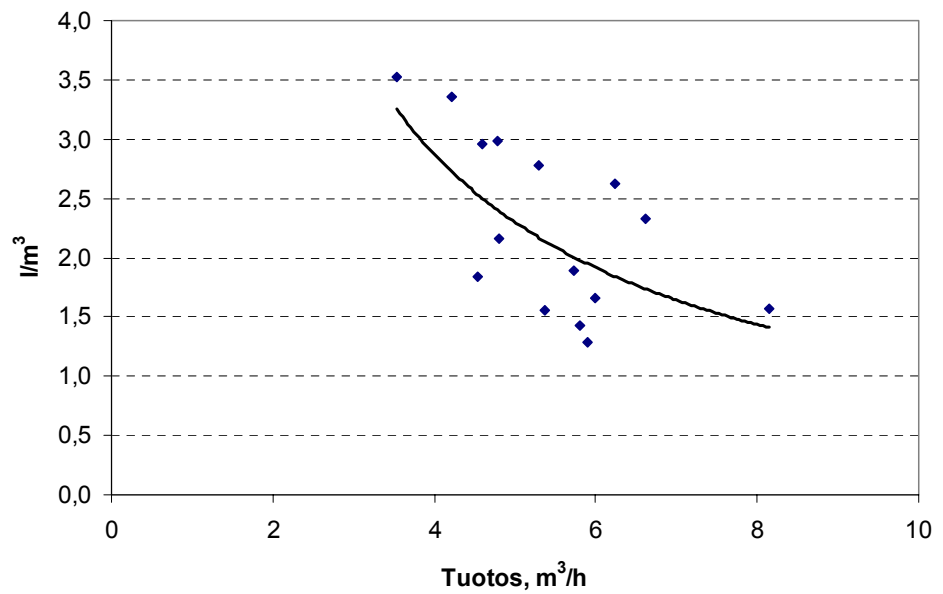
Kuormatraktorilla polttoaineen tuntikulutuksen ja tuotoksen välillä ei ollut selvää riippuvuutta. Tuottavuuden kasvun myötä polttoaineen kulutus m^3 :iä kohti pieneni merkittävästi (kuvat 9, 10 ja 11).



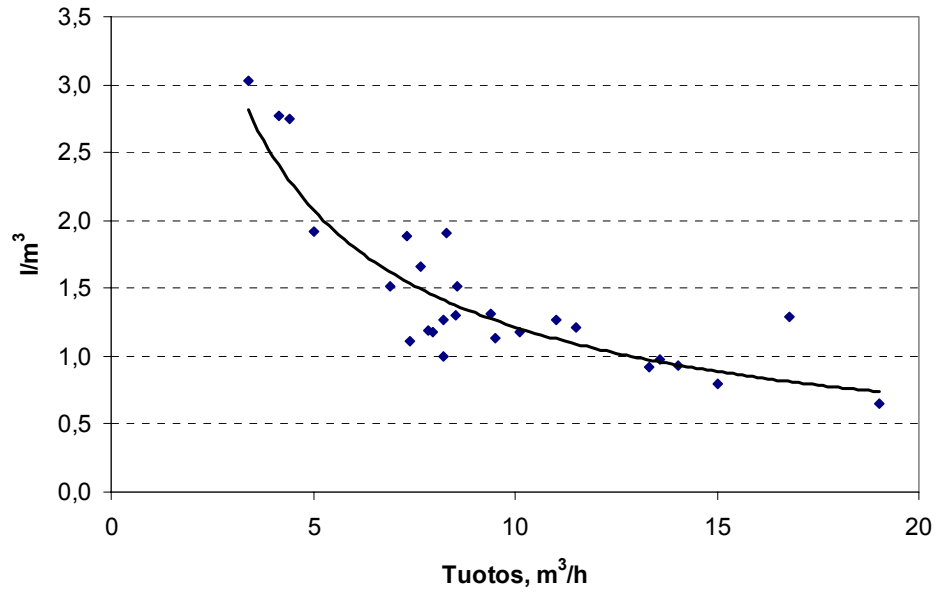
Kuva 4. Polttoaineen tuntikulutuksen riippuvuus hakkuukoneen tuotoksesta muussa harvennuksessa.



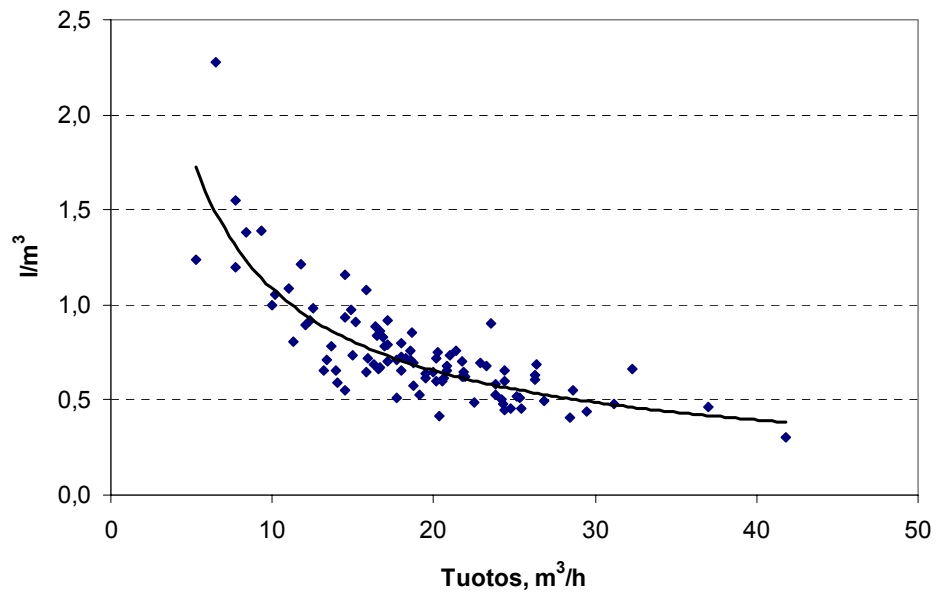
Kuva 5. Polttoaineen tuntikulutuksen riippuvuus hakkuukoneen tuotoksesta uudistushakkuussa.



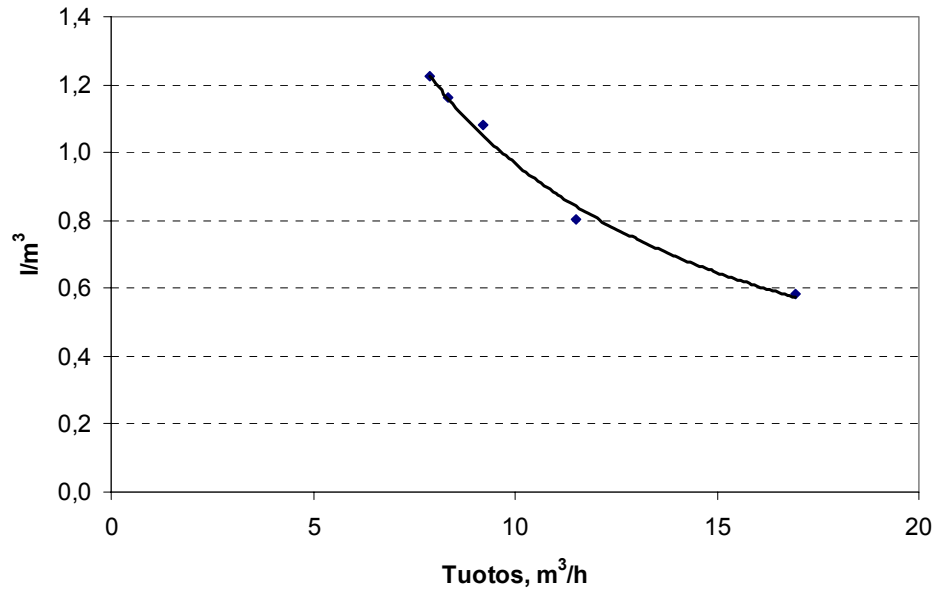
Kuva 6. Polttoaineen m³-kohtaisen kulutuksen riippuvuus hakkuukoneen tuotoksesta ensiharvennuksessa.



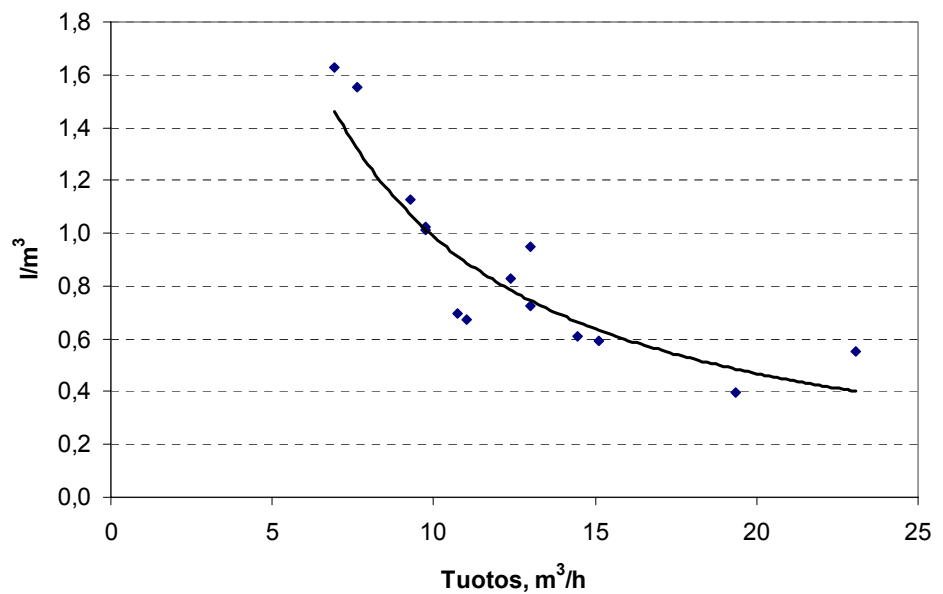
Kuva 7. Polttoaineen m³-kohtaisen kulutuksen riippuvuus hakkuukoneen tuotoksesta muussa harvennuksessa.



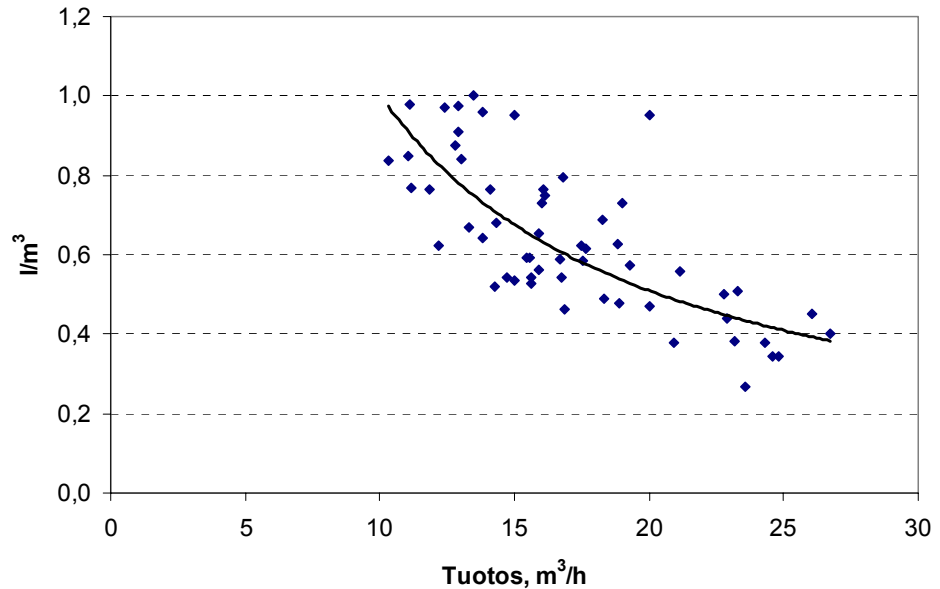
Kuva 8. Polttoaineen m³-kohtaisen kulutuksen riippuvuus hakkuukoneen tuotoksesta uudistushakkuussa.



Kuva 9. Polttoaineen m³-kohtaisen kulutuksen riippuvuus kuormatraktorin tuotoksesta ensiharvennuksessa.



Kuva 10. Polttoaineen m³-kohtaisen kulutuksen riippuvuus kuormatraktorin tuotoksesta muussa harvennuksessa.



Kuva 11. Polttoaineen m³-kohtaisen kulutuksen riippuvuus kuormatraktorin tuotoksesta uudistushakkuussa.

Hakkuukoneella tuottavuus riippuu voimakkaasti puuston järeydestä. Taulukon 8 tulosten mukaan järeyys näyttää lisäävän myös polttoaineen tuntikulutusta. Järeiden kasvaessa tuottavuus nousee kuitenkin merkittävästi nopeammin kuin polttoaineen kulutus kasvaa, joten m³-kohtainen polttoaineen kulutus pienenee puuston järeyden kasvaessa. Tuottavuus on määritetty koneen tuntimittarilta saatua käynnissäolotuntia kohti, joten nämä tuottavuusarvot eivät ole vertailukelpoisia yleisiin muissa tuottavuustutkimuksissa esitettyihin arvoihin. Tuottavuus on tässä vain yhtenä polttoaineen kulutukseen vaikuttavana muuttujana. Havainnot tarkoittavat tankkaustapahtumia.

Ensiharvennuksessa kevyempien hakkuukoneiden tuottavuus oli hieman suurempi kuin raskaampien ja samanaikaisesti polttoaineenkulutus tuntia kohti oli pienempi (taulukko 9). Näin kevyempien hakkuukoneiden polttoaineen m³-kohtainen kulutus oli reilua kolmannesta pienempi kuin raskaammilla. Myös muissa puuston järeyksluokissa kevyempien hakkuukoneiden polttoaineen kulutus tuntia kohti säilyi pienempänä kuin raskaampien. Kun isommat hakkuukoneet ovat kuitenkin muuten järeämissä puustoissa tuotokseltaan suurempia, tasoittuu myös polttoaineen m³-kohtainen kulutus. Aineistot näissä vertailuissa ovat varsin pieniä.

TAULUKKO 8 Polttoaineen kulutus hakkuukoneella puuston järeyden mukaan

Puuston keskijäreyys, dm ³	m ³ /h	l/h	l/m ³	Havaintoja
enintään 100	5,23	10,83	2,07	78
100 – 250	9,66	11,11	1,15	67
250 – 450	18,31	12,93	0,71	86
yli 450	18,78	12,90	0,69	69

TAULUKKO 9 Polttoaineen kulutus hakkuukoneella hakkuutavoittain konekoon mukaan

Ensiharvennus, puuston keskijäreys enintään 100 dm ³				
Konekoko	m ³ /h	l/h	l/m ³	Havaintoja
Kevyemmät	5,45	8,36	1,53	19
Raskaammat	4,98	12,28	2,47	20
Muu harvennus, puuston keskijäreys 100 - 250 dm ³				
Konekoko	m ³ /h	l/h	l/m ³	Havaintoja
Kevyemmät	8,49	9,97	1,18	12
Raskaammat	9,49	11,81	1,24	19
Uudistushakkuu, puuston keskijäreys yli 450 dm ³				
Konekoko	m ³ /h	l/h	l/m ³	Havaintoja
Kevyemmät	16,39	10,51	0,64	13
Raskaammat	21,72	13,78	0,63	49

Myös metsätraktorilla puuston järeys näyttäisi vaikuttavan jonkin verran polttoaineen tuntikulutukseen (taulukot 10 ja 11).

TAULUKKO 10 Puuston järeiden vaikutus polttoaineen kulutukseen kuormatraktorilla koko aineistossa

Keskijäreys, dm ³	m ³ /h	l/h	l/m ³	Havaintoja
max 100	9,59	8,58	0,89	18
100 - 250	12,37	9,78	0,79	32
250 - 450	19,54	9,54	0,49	72
yli 450	17,51	10,87	0,62	52

TAULUKKO 11 Polttoaineen kulutus keskikokoisella ja raskaalla kuormatraktorilla puuston eri järeyksillä uudistushakkuissa

	m ³ /h	l/h	l/m ³	Havaintoja
Puuston keskijäreys 250 - 450 dm ³				
Keskikokoinen	19,82	8,91	0,45	52
Raskas	18,74	11,34	0,61	20
Puuston keskijäreys yli 450 dm ³				
Keskikokoinen	16,04	9,50	0,59	21
Raskas	19,31	12,26	0,64	28

Millään metsätraktorin konekokoluokalla – kevyet, keskikokoiset ja raskaat – polttoaineen tuntikulutus ei riippunut metsäkuljetusmatkan pituudesta. Tämä antaa viitettä siitä, että ajonaikainen kulutus, siis yhteensä tyhjänä ja kuormattuna, vie suurin piirtein saman verran polttoainetta tuntia kohti kuin muutkin työvaiheet. Näin m³-kohtainen polttoaineen kulutus luonnollisesti kasvaa metsäkuljetusmatkan pidentyessä, koska metsätraktorin tuottavuus pienenee matkan pidetessä.

Maastoluokitukseen oli tiedonkeruulomakkeella seuraavat vaihtoehdot: tasainen, mäkinen, kantava ja upottava. Näistä kaksi ensimmäistä ja kaksi

viimeistä oli tarkoitettu pareiksi. Osa oli kuitenkin vastannut vain toiseen näistä pareista. Maastoluokitus tehtiin laskennassa seuraavasti: 1 = tasainen, tasainen kantava ja kantava, 2 = mäkinen ja mäkinen kantava sekä 3 = upottava, tasainen upottava ja mäkinen upottava. Raskaiksi luokitelluilla metsätraktoreilla ei ollut näiden luokkien välillä kulutuslukemissa merkittäviä eroja. Keskikokoisilla metsätraktoreillakaan ei ollut suurta eroa polttoaineen tunti- ja m³-kohtaisissa kulutuksissa tasaista ja mäkestä maastoa sisältävien luokkien 1 ja 2 välillä (taulukko 12). Upottavuutta sisältäneen luokan kulutusluvut olivat sen sijaan jonkin verran näitä kahta muuta luokkaa korkeammat. On huomattava, että havaintojen määrä tässä luokassa jäi kovin pieneksi.

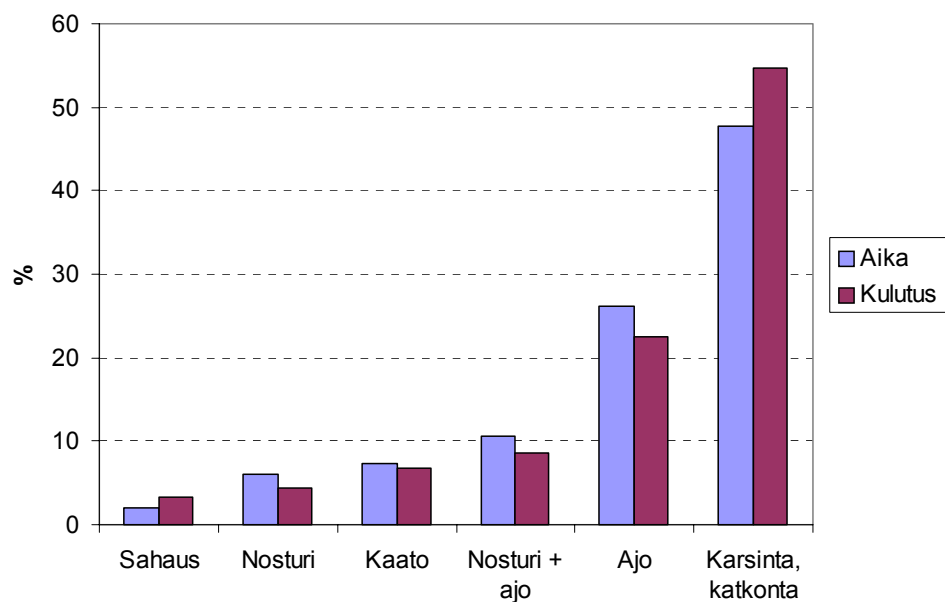
TAULUKKO 12 Polttoaineen kulutus keskikokoisilla metsätraktoreilla tutkimuksessa käytetyn maastoluokkajaotuksen mukaan

Maastoluokka	m ³ /h	l/h	l/m ³	Havaintoja
1	17,36	9,87	0,57	127
2	14,35	9,42	0,66	28
3	10,65	10,81	1,01	13

Lunta oli enimmillään joissakin havainnoissa kolmisenkymmentä senttimetriä, mutta vertailukelpoisia tankkaushavaintoja lumen merkityksen selvittämiseksi ei tämä aineisto sisältänyt, koska lumiaineisto jäi kaikkiaan hyvin vähäiseksi.

4.2 Työvaihekohtaisen kulutuksen määrittäminen

Työvaihekohtaisen kulutustutkimuksen tulos on esitetty kuvassa 12. Tuloksen mukaan puun kaatosahaus sekä puun karsinta ja katkonta ovat työvaiheita, jotka vievät suhteellisesti enemmän polttoainetta kuin aikaa.



Kuva 12. Työvaihekohtaiset aika- ja kulutusosuudet eräällä hakkuukoneella.

5 PÄÄTELMÄT

Tämä tutkimus oli tarkoitettu pilot-hankkeeksi, jossa kehitetään mittausmenetelmiä ja kokeillaan niitä käytännössä. Aineistoa metsäkoneiden polttoaineenkulutustason määrittämiseksi pyrittiin kuitenkin saamaan riittävä määrä lumettomalta ajanjaksolta. Alkuperäisen tavoitteen mukaisesti pyrittiin ottamaan mukaan tutkimukseen yhteensä 24 koneketjua. Tässä ei kuitenkaan täysin onnistuttu, koska useimmilta yrittäjiltä mukaan saatiin vain yksi kone. Kokonaismäärä jäi 20:een hakkuukoneeseen ja 14:ään kuormatraktoriin.

Alkuperäisen aineistonkeruujakson piti olla 1 - 2 kuukautta elo-lokakuussa. Lähinnä yrittäjien mukaan saannin vaikeuden takia ajanjakso kuitenkin venyi elokuusta joulukuun 2002 loppuun saakka. Poikkeuksellisen kuivan syksyn johdosta olosuhteet olivat kuitenkin koko jaksolla hyvät. Kuivasta kesäkelistä siirryttiin lähes suoraan routaiseen keliin. Loppuaikoina oli jonkin verran myös lunta, mutta ei ilmeisesti niin paljon, että se olisi vaikuttanut ainakaan lisäävästi polttoaineenkulutukseen. Pieni lumimäärä tasoittaa metsäkoneen kulkua ja voi päinvastoin vaikuttaa jopa alentavasti polttoaineenkulutukseen. Lumihavaintoja oli kuitenkin liian vähän, jotta niiden perusteella olisi tätä voinut todeta.

Työvaihekohtaisen kulutusaineiston keruu ei toteutunut alkuperäisen tavoitteen mukaisesti. Alkuperäisestä Motec-tiedonkeruulaitteeseen perustuvasta mittausmenetelmästä luovuttiin. Markkinoille viime aikoina tulleissa koneissa on useimmiten jo CAN-väylät, joihin perustuen työvaihekohtainen polttoaineenkulutuksen mittaus on jatkossa mahdollista toteuttaa yksinkertaisimmin. Näitä mittausmahdollisuuksia ja valmiuksia selvitettiin eri metsäkonevalmistajien kanssa mahdollista jatkohanketta ajatellen.

Tähänastisissa metsäkoneiden kustannuslaskelmissa on oletettu hakkuukoneelle ja kuormatraktorille kummallekin sama polttoaineen tuntikulutus. Tämän tutkimuksen tulosten perusteella näiden koneiden välillä näyttäisi tuntikulutuksessa olevan kuitenkin selvä ero. Tutkimuksen tulosten mukaan hakkuukoneen tuntikulutuksen ja tuottavuuden välillä on selvä riippuvuus. Myös kevyemmiksi luokitelluilla hakkuukoneilla polttoaineen kulutus pienempiuustoisissa hakkuissa oli merkittävästi pienempi kuin raskaammilla.

Hakkuukoneen ja kuormatraktorin sekä eri kokoluokkia edustavien hakkuukoneiden polttoaineen kulutuserojen ja hakkuukoneen tuottavuuden ja polttoaineen tuntikulutuksen riippuvuuden merkitys olisi syytä arvioida nykyisin laskelmissa käytettäviin polttoaineen kulutuslukuihin. Samalla on syytä arvioida nykyisin käytettävien ja tämän tutkimuksen tunti- ja m³-kohtaisten kulutusten taustalla olevien käyttöaika- ja tuotosmääritysten erojen vaikutus.

Edellä esitetyt kulutusarvot perustuvat hyviin olosuhteisiin, joten on todennäköistä, että ne antavat aliarvion metsäkoneiden polttoaineen kulutuksesta

koko vuoden ajalle. Syksyn 2002 olosuhteet olivat poikkeuksellisen hyvät. Kevään kelirikon ja talven paksumman lumen ajat jäivät aineiston ulkopuolelle. Näistä olosuhteista tulisi hankkia lisääaineistoa, jotta voitaisiin luotettavasti määrittää polttoaineen kulutus eri olosuhteissa ja keskimäärin koko vuodelle.

6 JATKOTUTKIMUSTARPEET

Nyt tehty tutkimus osoittaa, että polttoaineen kulutus riippuu useasta osatekijästä eikä tuntikulutuksen ja suoritekohtaisen kulutuksen riippuvuus ole välttämättä suoraviivainen. Nyt tehdyn tutkimuksen aineiston suppeuden takia tarvitaan lisätietoa tarkistuksia varten.

Sekä kustannus- että ympäristö- ja elinkaarilaskennan tarkentamiseksi tarvitaan lisätietoa muun muassa kaluston eri kokoluokkien, olosuhteiden kuten eri hakkuutapojen, puuston järeyden ja vuodenaikojen sekä tuottavuuden vaikutuksista polttoaineen kulutukseen. Elinkaarilaskentaa varten puunkorjuuvaiheiden polttoaineen kulutustiedon tasoista tietoa pitäisi saada myös puuntuotannon töistä.

Polttoaineen kulutustieto on ympäristö- ja elinkaarilaskennassa päästökerrotoimien ohella tärkein päästölaskennassa käytettävä tunnus. Päästölaskennan tarkentamiseksi tulisi selvittää mahdollisuudet mitata myös pakokaasupäästöjä vastaavissa käyttöolosuhteissa samalla kun tarkempia polttoaineen kulutusmittauksiakin tehdään.

Jatkotutkimuksia suunniteltaessa on syytä ottaa huomioon myös polttoaineen kulutuksen säästöön ja päästöjen vähentämiseen tähtäävien koulutuksen ja opetussimulaattorien tarpeet.