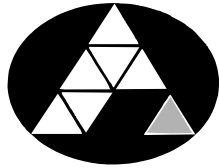


POHJOIS-KARJALAN AMMATTIKORKEAKOULU
Metsätalouden koulutusohjelma

Jyry Eronen

ENERGIAPUUN TILAVUUDEN PINO- JA HAKEMITTAUKSEN
VÄLISEN MUUNTOKERTOIMEN TARKENNUS

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2012



POHJOIS-KARJALAN
AMMATTIKORKEAKOULU

OPINNÄYTETYÖ
Huhtikuu 2012
Metsätalouden koulutusohjelma

Sirkkalantie 12 A
80100 JOENSUU
p. (013) 260 6900 p. (013) 260 6906

Tekijä
Jyry Eronen

Nimeke
Energiapuun tilavuuden pino- ja hakemittauksen välisen muuntokertoimen tarkentaminen
Toimeksiantaja
Enon energiaosuuskunta

Tiivistelmä

Tässä opinnäytetyössä käsitellään energiapuun ja siitä saatavan metsähakkeen välistä tilavuuden suhdetta. Työssä esitellään energiapuun ja hakkeen tilavuuden mittauksessa käytettäviä menetelmiä sekä tarkastellaan tilavuuksien välisiä keskinäisiä suhteita ja muuttujia.

Tutkimusongelmana oli selvittää pinomitatun energiapuun ja siitä haketettavan hakkeen välinen muuntokerroin. Tutkimuksessa käytettävä aineisto koottiin toimeksiantajan puunhankintaa koskevista tiedoista. Lisäksi ongelmaa lähestyttiin järjestämällä haketuskoetta.

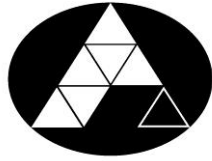
Tutkimusmenetelminä käytettiin aineiston ristiintaulukointia, luokittelua halutuun perusteeseen sekä keskiarvotestejä. Tulosten pohjalta luotiin kuvaajat ja mallit, joiden avulla selvitettiin muuntokertoimien vaihtelua energiapuun ja hakkeen tilavuuden välillä.

Tutkimuksen tulokset osoittivat, että yleisesti käytettyjä muuntokertoimia ei voida käyttää sellaiseen toimeksiantajan puunhankinnassa. Tulosten pohjalta saadut kertoimet poikkesivat merkittävästi yleisesti käytetyistä kertoimista. Tilavuuden mittaustarkkuutta on parannettava, sekä saatuja muuntokertoimia on sovellettava puunhankintaan tapauskohtaisesti.

Kieli
suomi

Sivuja 35
Liitteet
Liitesivumäärä

Asiasanat
energiapuu, metsähake, energiapuun mittaaminen, metsähakkeen mittaaminen



NORTH KARELIA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

THESIS
April 2012
Degree Programme in Forestry
Sirkkalantie 12 A
FIN 80100 JOENSUU
FINLAND
Tel. 358-13-260 6900

Author

Jyry Eronen

Title

Specifying of Conversion Factor for Energy Wood Volume Between Stacked and Forest Chips Measurements

Commissioned by

Eno Energy Cooperative

Abstract

This thesis examines the ratio of volume between energy wood and forest chips. This work portrays the methods used in measurement of volume of forest chips and energy wood and it also examines mutual variables and relations of volume between energy wood and forest chips.

The Research problem was to find out the conversion factor between stacked measured energy wood and forest chips refined from that wood. The Material used in the research was collected from the client's data concerning wood supply. In addition, the research problem was approached by conducting a wood chipping test.

The Research methods used were cross tabulation, classification by wanted premises and mean value tests. Graphs and models to explain the variation of conversion factors between energy wood and woodchips were based on these results.

The results showed that the generally used conversion factors cannot be used directly in the client's wood supply. Conversion factors gained from the results differed greatly from generally used factors. Accuracy of volume measurement needs to be improved and conversion factors gained from the results need to be applied to wood supply case by case.

Language
Finnish

Pages 35
Appendices
Pages of Appendices

Keywords

energy wood, forest chips, energy wood measuring, forest chips measuring

Sisältö

Tiivistelmä

Abstract

1	Johdanto	5
2	Metsähakkeen raaka-aineet.....	5
3	Energiapuun mittaus	6
3.1	Energiapuusta mitattavat suureet	6
3.2	Mittausmenetelmien soveltuvuus.....	7
3.3	Energiapuun pinomittaus	7
3.3.1	Harvennusenergiapuun tilavuuden mittaus tienvarsivarastossa	7
3.3.2	Latvusmassan tilavuuden mittaus tienvarsivarastossa	10
3.3.3	Tyypilliset virhelähteet ja ongelmat tilavuuden mittauksessa	10
3.4	Painomittaus lähikuljetuksen yhteydessä	12
3.5	Energiapuun hakkuukonemittaus	12
4	Hakkeen tilavuuden mittaus	13
4.1	Kiintokuutioista hakkeeksi.....	13
4.2	Hakkeen tilavuuteen vaikuttavia tekijöitä	13
4.2.1	Käytettävän hakkurin tyyppi	13
4.2.2	Muita hakkeen tilavuuteen vaikuttavia tekijöitä.....	14
5	Enon energiaosuuskunta	15
6	Tutkimusongelmien kuvaus	16
7	Tutkimusten toteuttaminen.....	17
7.1	Aineiston kokoaminen.....	17
7.2	Tutkimusmenetelmät ja tutkittavat kohteet.....	19
7.2.1	Varastojen tutkiminen.....	19
7.2.2	Haketuskoe	20
8	Tutkimusten tulokset	20
8.1	Varastojen tutkimus	20
8.1.1	Muuntokertoimen ja varaston koon suhde.....	20
8.1.2	Kauppatavan suhde muuntokertoimeen	22
8.1.3	Ajan vaikutus muuntokertoimeen	24
8.2	Haketuskoe.....	27
9	Tulosten analysointi	28
9.1	Varastojen tutkimus	28
9.1.1	Muuntokertoimen ja varaston koon suhde.....	28
9.1.2	Kauppatavan suhde muuntokertoimeen	29
9.1.3	Ajan vaikutus muuntokertoimeen	29
9.2	Haketuskoe.....	30
10	Johtopäätökset	30
11	Pohdinta.....	31
	Lähteet.....	34

1 Johdanto

Luotettava mittaustulos on yksi merkittävimmistä ongelmista energiapuun tuotantoon, prosessointiin ja käyttöön liittyen. Energiapuun määrän mittaustarkkuus on heikko heterogeenisen koostumuksen, tuotantoprosessin aikana tapahtuvien muutosten sekä usein pieneksi jäävän eräkoon vuoksi (Hakkila 2006, 16). Puutavaran mittaustarkkuus ei koske energiapuukauppaa, joten kansallisesti määrättyjä mittaustarkkuusmenetelmiä ei ole. Nykyään mittaustarkkuudessa käytetään useita eri menetelmiä, joiden tarkkuus on vaihteleva.

Vuonna 2008 keskeiset metsä- ja energia-alan toimijat solmivat sopimuksen energiapuun mittaustarkkuudesta. Sopimuksella sovittiin energiapuun mittaustarkkuuden yleisistä periaatteista ja menettelytavoista. Lisäksi muodostettiin energiapuun mittaustarkkuuskomitea. (Äijälä 2008,1.) Sopimuksen mukaiset energiapuun mittaustarkkuuden menettelytavat ja menetelmät ovat saatavissa Metsäntutkimuslaitoksen julkaisemassa energiapuunmittausoppaassa. Tässä opinnäytetyössä esitettävät mittaustarkkuusmenetelmät ovat kyseisen oppaan mukaisia.

Opinnäytetyössä tutkitaan Enon energiaosuuskunnan energiapuun hankinnassa käytettäviä mittaustarkkuusmenetelmiä, niihin liittyviä virheitä ja virheiden aiheuttajia. Lisäksi työssä määritellään tarvittavia laskennallisia apuvälineitä tutkimustulosten perusteella. Opinnäytetyön tavoitteena on tarkentaa mittaustarkkuudessa käytettäviä muuntokertoimia, tunnistaa suurimpia yksittäisiä virhetekijöitä sekä luoda pohjaa tutkimuksen jatkamiselle tulevaisuudessa.

2 Metsähakkeen raaka-aineet

Metsähake on yleisnimitys hakkeeksi tai murskeeksi hienonnetulle, suoraan metsästä hankitusta raaka-aineesta tehdyille energiapuutuotteelle. Haketta tai

mursketta voidaan valmistaa runkokuusta, hakkuutähteistä ja kannoista. (Vesisenaho 2003, 37 - 39.)

Harvennusenergiapuulla tarkoitetaan karsittua rankaa, joka yleensä koostuu ensiharvennus- tai energiapuuharvennuskohteiden ainespuuksi kelpaamattomasta osasta. Harvennusenergiapuu käsittää myös oksineen korjatun kokopuun. (Lindblad, Äijälä & Koistinen 2010, 29.)

Kantoja hankitaan päätehakkuiden yhteydessä kantojen nostoon sopivilta kohteilta. Kantohaketta voidaan tuottaa kantopuusta sekä järeimmästä juuripuusta. Hakkuutähteet koostuvat päätehakkuiden yhteydessä korjattavista oksista ja ainespuuksi kelpaamattomasta puun latvusosasta. (Vesisenaho 2003, 40.) Hakkuutähteitä kutsutaan myös latvusmassaksi.

3 Energiapuun mittaus

3.1 Energiapuusta mitattavat suureet

Tässä opinnäytetyössä ei käsitellä kannoista saatavaa metsähaketta eikä sen mittausta. Tässä työssä energiapuulla tarkoitetaan karsittua energiarankaa, kokopuuta ja latvusmassaa. Energiapuun mittauksella tarkoitetaan edellä mainittujen puutavaralajien mittausta.

Energiapuusta mitattavia ensisijaisia suureita ovat tilavuus (kiintokuutiometri, $k\text{-}m^3$ tai irtokuutiometri, $i\text{-}m^3$), massa (tuoremassa, kg tai kuivamassa, kg) tai energiasisältö, (megawattitunti, MWh). Mitattaessa mitataan tarkoituksen mukainen suure tai suureet. Mittaus voidaan suorittaa eri työvaiheiden, kuten hakkuun, lähikuljetuksen, haketuksen, murskauksen tai kaukokuljetuksen yhteydessä, sekä käyttöpaikalla. (Lindblad, ym. 2010, 4 - 5.)

3.2 Mittausmenetelmien soveltuvuus

Mittausmenetelmien käytön edellytykset ja mahdollisuudet vaihtelevat energiapuun toimitusketjusta, sen vaiheesta ja käyttötarkoituksesta. Mittausmenetelmä on valittava sen toteutettavuuden ja oletettavissa olevan tarkkuuden perusteella. (Lindblad, ym. 2010, 5.)

Mittausmenetelmät jaetaan tulostarkkuuden mukaan ensi- ja toissijaisesti käytettäviin mittausmenetelmiin. Ensisijaisten menetelmien tarkkuus on riittävä energiapuun työ- ja luovutusmittaukseen. Ensisijaisesti käytettäviä mittausmenetelmiä ovat:

- metsähakkeen ja murskeen tilavuuden mittaus
- energiapuun massan mittaus (muunto tilavuudeksi tarvittaessa)
- hakkuukonemittaus
- käyttöpaikalla tehtävät, laatuohjeisiin ja standardeihin perustuvat mitaukset.

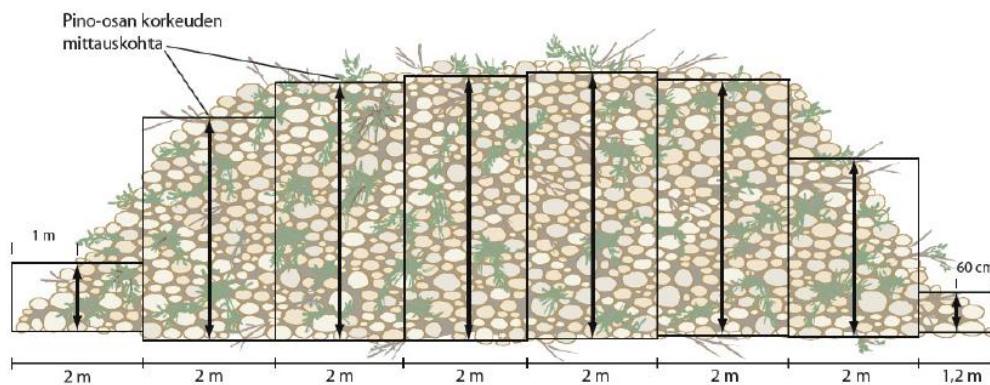
Toissijaisten mittausmenetelmien tulostarkkuus on selvästi heikompi, kuin ensisijaisilla mittausmenetelmillä. Toissijaiset mittausmenetelmät soveltuvat käytettäviksi määrääarvioiden ja ennakkomaksujen perusteina. Harvennusenergiapuun eli kokopuun ja karsitun rangan, mittaus pinossa on toissijaisesti käytettävä mittausmenetelmä. (Lindblad, ym. 2010, 5.)

3.3 Energiapuun pinomittaus

3.3.1 Harvennusenergiapuun tilavuuden mittaus tienvarsivarastossa

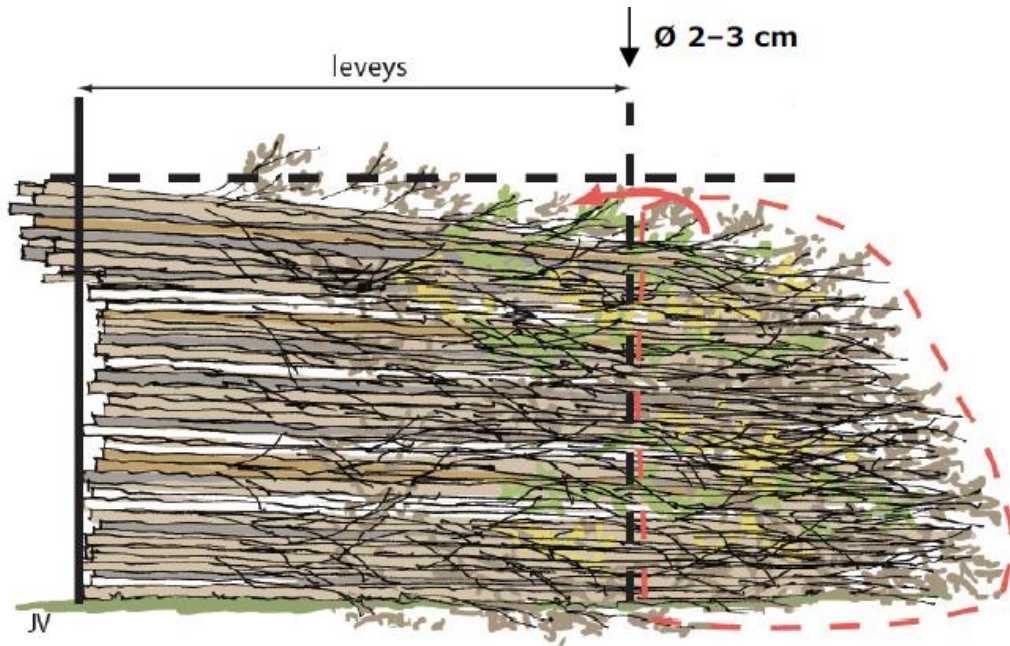
Pinon pituus mitataan reunimmaisten pölkkyjen ulkoreunojen etäisyytenä toisistaan yhden desimetrin tarkkuudella. Pituus mitataan ainoastaan pinon etureunasta. Pinon takareunan pituuden poikkeama etureunan pituudesta otetaan huomioon pinon korkeuden mittauksessa. (Lindblad, ym. 2010, 19.)

Pinon korkeus mitataan jakamalla pino kahden metrin pituisiin osiin. Pinonosista mitataan keskikorkeus. Jokaisen pinonosan korkeus mitataan pinonosan pituuden puolivälistä tasaavaa 5 cm:n luokitusta käyttäen. Korkeudet mitataan pinon etureunasta. Jos pinon pituus ylittää 20 metriä, voidaan pino jakaa kolmen metrin pituisiin osiin. Viimeisen pinonosan pituus mitataan yhden desimetrin tarkkuudella. Viimeisen pinonosan korkeuden mittauksessa otetaan huomioon joko lisäyksenä tai vähennyksenä pinon etu- ja takareunan pituuksien ero. Pinossa oleva lumi, jää tai muu vieras aine vähennetään pinonosien korkeudesta. (Lindblad, ym. 2010, 20.)



Kuva 1. Piirros pinonosien korkeuden määrittämisestä. (Kuva: Energiapuun mitta-usopas 2010)

Pinon leveys voidaan määrittää harvennusenergiapuun keskipituutena. Pinon etu- ja takasivut arvioidaan silmävaraisesti pinon päästä katsoen (kuva 2). Tasoituskohtien välimatka mitataan yhden desimetrin tarkkuudella. Määrittäminen tehdään pinon molemmista päistä ja tuloksille lasketaan keskiarvo. Pinon takasivun tasoituskohta on siinä, missä pinon runkojen paksuus alkaa olla noin 2 - 3 cm. Tätä ohuempien rungon latvaosien osuus kasan tilavuudesta on vähäinen (0 - 2 %), joten niitä ei ole tarkoituksen mukaista mitata. (Lindblad, ym. 2010, 21.)



Kuva 2. Piirros pinon leveyden määrittämisestä. (Kuva: Energiapuun mittausopas 2010)

Kiintotilavuusprosentti tarkoittaa pinon kiinto- ja kehystilavuuden suhdetta. Pinomittauksessa kiintotilavuusprosentti määräytyy pinon korkeuden ja pölkkyjen keskiläpimitan perusteella. Pinon korkeus on pinon etureunasta mitattujen pinonosien korkeuksien keskiarvo. Pinon korkeuden luokituksessa käytetään taavaavaa yhden metrin luokitusta. Pölkkyjen keskiläpimitta on pinon etusivulta määritetty katkaisuleikkausten läpimitan aritmeettinen keskiarvo. Läpimittaluokan määrittämisessä ei huomioida eroa rungon tyvestä tai ylempää rungosta katkaistujen pölkkyjen välillä. Läpimittaluokka määritetään joko mittaamalla pölkkyjen päiden läpimittoja pinon etusivulta ja laskemalla näiden keskiarvo tai arvioimalla keskiarvo silmävaraisesti. (Lindblad, ym. 2010, 22.) Käytännössä keskiarvo määritellään lähes aina silmävaraisesti.

Taulukon luvut (Taulukko 1.) perustuvat mäntykokopuun kiintotilavuusprosentteihin. Karsitulla rankapuulla käytetään kokopuun kiintotilavuusprosentteja, joihin lisätään 10 %. (Lindblad, ym. 2010, 22 - 23.)

Taulukko 1. Taulukko kokopuun kiintotilavuusprosentista. (Energiapuun mittausopas 2010)

Keskiläpimitta*,cm	Pinon korkeus, m			
	2,0	3,0	4,0	5,0
5	24	26	28	30
7	25	27	29	31
9	27	29	31	33
11	29	31	33	35
13	30	32	34	36
15	32	34	36	38

* Pinon etusivulla määritelty katkaisuleikkausten läpimitan aritmeettinen keskiarvo.

Koko pinon kehystilavuus lasketaan pinonosien kehystilavuuksien summana. Pinon kiintotilavuus lasketaan kehystilavuuden ja kiintotilavuusprosentin tulona. (Lindblad, ym. 2010, 22 - 23.)

3.3.2 Latvusmassan tilavuuden mittaus tienvarsivarastossa

Latvusmassan pinomittaus suoritetaan lähes samalla menetelmällä, kuin harvennusenergiapuun pinomittaus. Kasoista mitataan pituus, korkeus ja leveys. Kasan kehystilavuus saadaan kertomalla saadut mitat keskenään. Latvusmassakan ulottuvuuksien mittaaminen on usein haasteellista, koska ne ovat usein jopa puolipallon muotoisia.

Latvusmassan kiintotilavuuskertoimena käytetään yleensä arvoa 20 prosenttia irtotilavuudesta (Puhakka, Alakangas, Alanen, Airaksinen, Soini, Siponen & Kainulainen 2001, 16). Kiintotilavuuskertoimen on kuitenkin havaittu vaihtelevan voimakkaasti. Enon energiaosuuskunnan mittauksissa kiintotilavuuden vaihteluväli on ollut arviolta luokkaa 15 - 25 prosenttia irtotilavuudesta.

3.3.3 Tyypilliset virhelähteet ja ongelmat tilavuuden mittauksessa

Energiapuun pinomittaukseen sisältyy useita virheitä aiheuttavia tekijöitä. Mitattava pino on yleensä koostumukseltaan varsin heterogeeninen. Käytännössä tämä vaikeuttaa mm. pinon ulkomittojen tarkkaa mittaamista. Kasan ladonnan

suorittaneen ajokonemiehen ammattitaito vaikuttaa merkittävästi kasan lopulliseen muotoon ja näin ollen sen mitattavuuteen. Lisäksi puutavaran vaihtelevat läpimittaluokat ja ladonnan huono laatu vaikeuttavat muuntokertoimen määrittämistä, etenkin kun se tehdään usein silmävaraisesti. Muita virheitä aiheuttavia tekijöitä ovat mm: (Saramäki 2012).

- puutavaran mutkaisuus
- puutavaran oksaisuus
- puutavaran jäisyys etenkin oksikkaan puun yhteydessä
- kasassa oleva lumi ja jää
- mittauksen suorittajan käyttämät vääristymiä aiheuttavat oikopolut mittauksessa.

Edellä mainittujen virhelähteiden lisäksi mittaustulokseen vaikuttaa mittauksen suorittanut henkilö ja hänen ammattitaitonsa. Mittauksen suorittajalla on merkittävä vaikutus pinomittauksen tarkkuuteen. (Junkkonen & Lindblad 2005.) Luotettavan tuloksen saaminen voi olla mittausteknisesti hankalaa, etenkin jos mittaaja suorittaa mittauksen yksin. Mittaukset suoritetaan yleensä mittakeppiä ja mittanauhaa apuna käyttäen.

Myös energiapuupinon mittauksen ajankohta vaikuttaa mittaustulokseen. Kokopuukasa painuu huomattavasti, jopa 10 prosenttia pinon alkuperäisestä korkeudesta neljän ensimmäisen kuukauden aikana. Painumisesta 40 prosenttia tapahtuu ensimmäisenä viikkona kasauksen jälkeen, jonka jälkeen painuminen jatkuu maltillisemmin. (Laurila & Rauhanen 2010, 28.)

Tulevaisuudessa kasojen mittaus voi helpottua, kun kokopuukasoihin hakataan entistä enemmän järeämpää puuainesta. Energiapuun hinnan noustessa kuitupuun osuus todennäköisesti kasvaa, jolloin pinon tiiviys ja mitattavuus paranevat (Hakkila 2006, 8).

3.4 Painomittaus lähikuljetuksen yhteydessä

Energiapuun massa mitataan yleensä metsätraktoriin tai puutavara-auton kuormaimeen sijoitetulla vaakalaitteella. Massa voidaan mitata kuormina tai kourataakkoina. Mittauserän punnitustulos ilmaistaan vähintään 10 kg:n tarkkuudella tai mittalaitteen ilmoitustarkkuudella. Mittauserän sisältämiä vierasaineita, kuten lunta tai maata ei vähennetä arvioiden perusteella mittaustuloksista. Vaakalaitteen tarkkuutta seurataan punnitsemalla massaltaan tunnettuja kappaleita määrätyn väliajoin tai olosuhteiden muuttuessa, jolloin vaakalaite kalibroidaan tarvittaessa. (Lindblad, ym. 2010, 7.)

Massan muuntaminen tilavuudeksi tapahtuu käyttämällä tuoretiheyden ja/tai kuivatuoretiheyden muuntokertoimia. Tuoretiheys tarkoittaa yleisesti puuaineen tuoremassan ja tuoreena mitatun tilavuuden suhdetta. Kuivatuoretiheys taas tarkoittaa puuaineen kuivamassan ja tuoreena mitatun tilavuuden suhdetta. Massan ja tilavuuden välisiin muunnoksiin tarvittavat alueittaiset tuoretiheysluvut ovat saatavissa Metlan julkaisemassa energiapuun mittausoppaasta.

3.5 Energiapuun hakkuukonemittaus

Energiapuuta voidaan mitata hakkuukonemittauksella, jos puutavara korjataan harvennuskohdeilla. Tällöin energiapuu korjataan rankapuuna ja pölkyt syötetään hakkuukoneen kouran läpi, jolloin koneen mittalaite mittaa työstettävän puutavaran tilavuuden.

Hakkuukonemittaus on tarkka menetelmä, jos mittalaitteen tarkkuutta kontrolloidaan (Salakari & Heimonen 1998, 53). Hakkuukoneen käsitellessä useita pölkkyjä samanaikaisesti niin sanotulla joukkokäsittelymenetelmällä mittauksen tarkkuus heikkenee huomattavasti (Heikkilä, Laitila, Tanttu, Lindblad, Sirén, Asikainen, Pasanen, & Korhonen 2005, 48).

4 Hakkeen tilavuuden mitta

4.1 Kiintokuutioista hakkeeksi

Hakkeen tilavuus määritellään yleisesti siten, että yksi kiintokuutiometri (m^3) energiapuuta vastaa noin 2,5 hakekuutiota ($i\text{-}m^3$), vaihteluvälin ollessa 2,2 - 2,6. Muuntokerroin päinvastoin on yleisesti 0,4 vaihteluvälin ollessa 0,38 - 0,46. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että 0,4 kiintokuutiota (m^3) energiapuuta on noin yksi hakekuutiometri ($i\text{-}m^3$). (Knuuttila 2003, 11.)

Eri tuotanto-organisaatioissa käytettävien tiiviyskertoimien välillä on eroja, eikä yhteisesti tunnustettuja virallisuonteisia kertoimia ole tarjolla. Yleisesti käytetty keskiarvo 0,4 ei ota huomioon vaihtelua aiheuttavia tekijöitä. (Hakkila 2006, 19.) Enon energiaosuuskunta käyttää muuntokertoimena arvoa 0,4.

Haketuksessa saadun hakkeen tilavuus voidaan mitata hakekontin tiedossa olevan tilavuuden avulla. Toimeksiantajan takauksessa energiapuu haketetaan suoraan tienvarsivarastosta kuorma-autoon sijoitetulla hakkurilla. Hake puhalletaan toisen kuorma-auton lavalla olevaan konttiin, jolla se kuljetetaan käyttöpäikalle. Menetelmää kutsutaan välivarastohaketukseksi (Laitila, Leinonen, Flyktman, Virkkunen & Asikainen 2010, 37).

4.2 Hakkeen tilavuuteen vaikuttavia tekijöitä

4.2.1 Käytettävän hakkurin tyyppi

Hakkurit jaotellaan toimintaperiaatteensa mukaisesti kolmeen eri luokkaan: laikka-, rumpu- ja ruuvihakkureihin. Välivarastohaketuksessa käytettävät hakkurit saavat käyttövoimansa alusta-ajoneuvon, vetoyksikön tai hakkurin omasta moottorista. (Kuitto 2005, 99.)

Laikkahakkuri on yleinen pienhakkurityyppi. Teräpyörän sivupinnalle on kiinnitetty 2 - 6 terää säteen suuntaisesti. Puut syötetään vinosti kohti teräpyörän sivupintaa (Puhakka, ym. 2001, 19). Laikkahakkuri soveltuu parhaiten kokopuulle,

karsitulle rangalle ja muille tasalaatuisille raaka-aineille. Laikkahakkuri ei sovellu latvusmassan hakettamiseen pienen syöttöaukkonsa ja maa-ainesherkkyytensä vuoksi. Laikkahakkurilla saadaan haketettua tasalaatuista haketta. (Kuitto 2005, 100.)

Ruuvihakkuri soveltuu parhaiten sahapintojen ja karsitun rangon hakettamiseen. Hakettavana osana toimii ruuvimainen terä, joka vetää haketettavan puun hakkurin sisään. Erillistä kuljetinta ei tarvita. Ruuvihakkureilla voidaan valmistaa myös palahaketta. (Kuitto 2005, 100.)

Rumpuhakkurissa hakettavana osana toimii syötettävää puuainesta kohtisuoraan oleva rumpu. Lieriömäisen rummun ulkokehälle on yleensä kiinnitetty 2 - 6, joskus jopa 15 - 20 terää. Rumpuhakkuri soveltuu myös latvusmassan hakettamiseen. Rumpuhakkuri kestää kivien- ja maa-aineksen joutumista hakkuriin hakkurityypeistä parhaiten, joskin sitä on vältettävä. (Kuitto 2005, 100.) Rumpuhakkurissa on yleensä syöttörullat, jotka helpottavat raaka-aineen syöttöä hakkurin nieluun (Puhakka, ym. 2001, 19).

Hakkurityyppi vaikuttaa hakkeen palakokoon ja muotoon. Mitä isompia ja paksumpia palat ovat, sitä enemmän hakepalojen väliin jää tyhjää tilaa, jolloin hakkeen tiheys laskee. Myös epätasainen palakokojakauma laskee hakkeen tiheyttä. Hakkurin kuormaustekniikka vaikuttaa myös hakkeen tiheyteen. Puhaltava hakkuri kuormaa tiheämmän kuorman kuin hakkeen vapaasti kuorman pudottava hakkuri. (Hakkila 2001, 24.)

4.2.2 Muita hakkeen tilavuuteen vaikuttavia tekijöitä

Hakkureitten ominaisuuksien lisäksi saatavan hakkeen määrään ja tilavuuteen vaikuttaa lukuisia muita tekijöitä. Hakettamatta jääneen raaka-aineen jääminen varastopaikalle voi joskus nousta merkittäväksi hakkeen määrää vähentäväksi tekijäksi. Tämä voi johtua mm. siitä, että raaka-aine on kelpaamatonta hakettavaksi jäisyyden tai maa-ainesten takia. Joskus raaka-aine hajoaa kappaleiksi, kun sitä syötetään hakkuriin mm. liian pitkän varastointiajan takia jolloin se on alkanut lahoamaan. (Saramäki 2012.)

Puutavaran läpimitta, oksaisuus ja puutavaralaji vaikuttavat hakkeen määrään. Mitä paksumpaa ja vähäoksisempaa hakkeen raaka-aine on, sitä enemmän siitä saadaan haketta pinomitattuun tilavuuteen nähden. Puutavaralajin vaikutus korostuu etenkin latvusmassaa hakettaessa, jolloin runsas neulasten variseminen aiheuttaa hakemäärän alenemista. (Saramäki 2012.) Hakkeen kuljetus vaikuttaa hakkeen tiheyteen, koska hake painuu kuljetuksen aiheuttaman tärinän voimasta (Hakkila 2006, 19.). Myös raaka-aineen kosteus ja vuodenaika vaikuttavat syntyvän hakkeen määrään (Alakangas 2000, 48).

5 Enon energiaosuuskunta

Enon energiaosuuskunta on lämpöä toimittava energiaosuuskunta. Osuuskunta omistaa kolme lämpölaitosta (kuva 3.) ja 9800 metriä lämpöverkkoa. Lämpö myydään Joensuun Enossa ja Uimaharjussa sijaitseville julkisille ja yksityisille kiinteistöille. Lämmitettävä rakennustilavuus on yhteensä 288 000 kuutiometriä (m³). Osuuskunnan lämpölaitosten vuosittainen energiantuotanto on noin 15 000 MWh, jonka tuottamiseen kuluu noin 24 000 hakekuutiota (i-m³) haketta. (Enon energiaosuuskunta 2012, 1.)

Osuuskunnan työllistävä vaikutus puun hankinnassa, haketuksessa, kuljetuksessa, laitosten hoidossa sekä taloushallinnossa vuonna 2012 on noin viisi henkilötyövuotta. Kokonaistyöllisyysvaikutuksiksi osuuskunta arvioi 7 - 10 henkilötyövuotta. Osuuskunnan puunhankinnasta vastaa Metsäpalvelu Turunen Oy. Haketuksesta ja hakkeen kuljetuksesta vastaa Tese Oy. (Enoenergiaosuuskunta 2012, 1.)



Kuva 3. Uimaharjun lämpölaite. (Kuva: Enon energiaosuuskunta)

6 Tutkimusongelmien kuvaus

Opinnäytetyön ensimmäisessä tutkimustehtävässä käsitellään Enon energiaosuuskunnan energiapuun ostossa ilmenevää ongelmaa. Yleisesti käytetyt keskiarvolliset muuntokertoimet 0,4 ja 2,5 eivät pidä paikkaansa muunnettaessa energiapuuta kiintotilavuudesta haketilavuudeksi ja päinvastoin. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että yksi pinomitattu kiintokuutio energiapuuta ei ole sama, kuin 2,5 irtokuutiota hakemitattua haketta, vaikka kertoimilla laskemalla näin pitäisi olla. Muuntokertoimen lisäksi ensimmäisessä tutkimuksessa tarkastellaan varastoista saatavien tietojen perusteella mahdollisia muuntokertoimeen vaikuttavia syy-seuraussuhteita.

Ensimmäinen tutkimusongelma koskee toimeksiantajan ostamia pinomitattuja varastoja. Ensimmäiseen tutkimusongelmaan liittyen tarkastellaan myös painomitattujen varastojen muuntokertoimia, mutta niitä ei käsitellä tässä tutkimuksessa syvällisemmin.

Toisena tutkimuskohteena tarkastellaan rankapuun kiintotilavuuden ja siitä syntyvän hakkeen irtotilavuuden välistä mahdollisimman tarkkaa muuntokerrointa. Tutkimusta varten järjestettiin haketuskoee.

7 Tutkimusten toteuttaminen

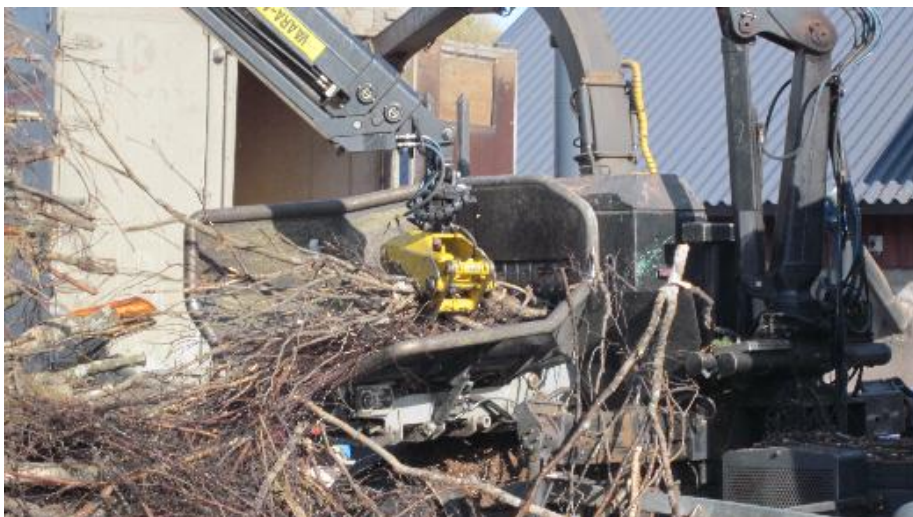
7.1 Aineiston kokoaminen

Ensimmäisen tutkimusongelman aineisto on hankittu keräämällä tietoja luotettavasti dokumentoiduista varastoista. Varastot on ostettu ja hakettu aikavälillä 12.2007 - 3.2012. Aineisto sisältää 57 pinomitattua varastoa. Varastoista 53 oli kokopuuta ja neljä kappaletta latvusmassaa. Lisäksi tietoja on kerätty kuudesta painomitatusta kokopuuvarastosta. Pinomitattujen varastojen pinomitattu kuutiomäärä on 8743 k-m³ ja hakettu hakemäärä 20789 i-m³. Painomitattujen varastojen mitattu kiintokuutiomäärä oli 1660 k-m³ ja hakemäärä 3263 i-m³. Hakemäärä vastaa lähes osuuskunnan vuosikulutusta.



Kuva 4. Hakkuriauto hakettamassa kokopuuvarastoa. Taustalla hakkeenkuljetusauto takaperin sekä lämpölaitos. (Kuva: Jyry Eronen)

Tutkimuksissa haketetut varastot on hakettu ja hake on mitattu seuraavalla kalustolla. Hakkurina on käytetty Keslan C645A rumpuhakkuria (kuva 5.), joka saa käyttövoimansa alusta-ajoneuvosta (kuva 4.).



Kuva 5. Keslan rumpuhakkuri C645 toiminnassa. Haketettava kokopuu syötetään kouralla hakkurin nieluun, jossa syöttörullat imevät sen hakkuriin. Hakkuri puhaltaa hakkeen takana näkyvään hakkeenkuljetusauton hakekonttiin. (Kuva: Jyry Eronen)

Hakkeen kuljetusauton hakekonttina on käytetty sisätilavuudeltaan 47 kuutiometrin (m^3) konttia, jonka avulla hakemäärät on mitattu. Kontin sisämitat ovat 7,22 (pituus) x 2,47 (leveys) x 2,50 (korkeus) metriä. Näin kontin sisätilavuudeksi muodostuu 44,58 m^3 .

Kontti kuitenkin täytetään siten, että hake kohoaa kummuksi yli reunojen, joten kontin lopulliseksi tilavuudeksi muodostuu 47 m^3 . Ensiksi kontti on täytetty puhaltamalla hake konttiin avoimen takaoven kautta, minkä jälkeen ovi on suljettu (kuva 6.). Lopuksi kontti on täytetty loppuun puhaltamalla hake päältäpäin, minkä jälkeen kontin päälle on asennettu peite. Syntyneet hakemäärät on mitattu haketuspaikalla ennen kuljetusta. (Liimatta 2012.)



Kuva 6. Hakkeen puhallus kuljetusauton konttiin takaoven kautta. (Kuva: Jyry Eronen)

7.2 Tutkimusmenetelmät ja tutkittavat kohteet

7.2.1 Varastojen tutkiminen

Ensimmäisen tutkimusongelman tarpeisiin varastoista kerättiin seuraavat tiedot:

- pinomitatut kiintokuutiot ($k\text{-m}^3$)
- haketetut irtokuutiot ($i\text{-m}^3$)
- puutavaralaji
- kauppatyyppi
- mittauksen ja haketuksen välinen aika kuukausina.

Tiedot koostettiin varastokohtaisesti ja tämän jälkeen ne syötettiin Microsoft Excel-taulukkolaskentaohjelmaan. Ensiksi laskettiin varastokohtaiset muuntokerroimet. Tämän jälkeen tiedoista laskettiin tarvittavat keskiarvot ja keskihajonnat, jonka jälkeen aineistosta muodostettiin halutut kuvaajat, taulukot ja laskelmat ristiintaulukoimalla seuraavista tiedoista:

- muuntokerroimen ja pinomitattujen varastojen tilavuuden välinen yhteys
- muuntokerroimen ja painomitattujen varastojen tilavuuden välinen yhteys
- pystykaupalla ostettujen pinomitattujen varastojen muuntokerroimen ja tilavuuden välinen yhteys

- hankinta- ja käteiskaupalla ostettujen pinomitattujen varastojen muuntokertoimen ja tilavuuden välinen yhteys
- mittaus- ja haketusajan suhde muuntokertoimeen kauppatyypeittäin
- mittaus- ja haketusajan suhde muuntokertoimeen aikaluokittain.

Taulukoiden regressiosuorat on laskettu pienimmän neliösumman menetelmällä. Kuvaajat ovat lineaarisia. Lineaarisella mallilla on pyritty hakemaan aineistosta parasta kuvaajaa. Lisäksi taulukoissa on muodostettujen suorien lausekkeet sekä selityskertoimet.

7.2.2 Haketusko

Haketustutkimus suoritettiin hakettamalla 185 kiintokuution ($k\text{-m}^3$) hakkuukonemittauksella mitattu erä karsittua rankaa. Puulajina oli harmaaleppä. Muuntokerroin laskettiin jakamalla kiintokuutiot ($k\text{-m}^3$) saadulla hakekuutiomäärällä ($i\text{-m}^3$).

Haketus suoritettiin välivarastohaketuksena Kontiolahden kunnan alueella. Haketuksen ja hakkeen mittauksen suoritti Tese Oy. Kalustona käytettiin kappaleessa 7.1 kuvattua kalustoa.

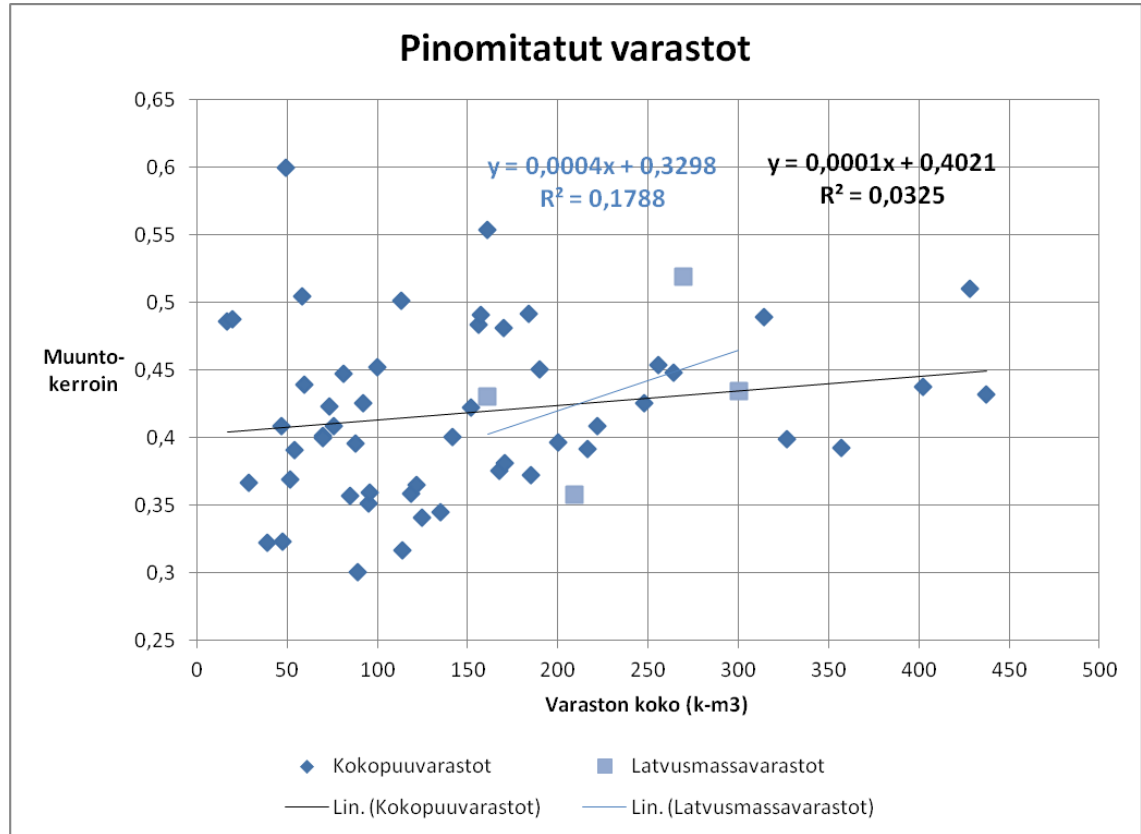
8 Tutkimusten tulokset

8.1 Varastojen tutkimus

8.1.1 Muuntokertoimen ja varaston koon suhde

Ensimmäiseksi tutkittiin pinomitattujen varastojen ja muuntokertoimen välistä suhdetta kokonaisvaltaisesti koko pinomitattu aineisto huomioon ottaen. 8743 $k\text{-m}^3$ pinomitatusta energiapuusta hakettiin 20789 $i\text{-m}^3$ haketta, jolloin kuutioihin perustuvaksi muuntoluvuksi muodostui 0,421. Varastokohtaisten muuntolukujen keskiarvoksi muodostui 0,419.

Varastokohtaisten muuntolukujen keskihajonta on 0,062. Selityskertoimet ovat heikot, latvusmassavarastoissa regressiosuoran selittävyysaste jää 17,88 % ja kokopuuvarastoissa 3,325 %.

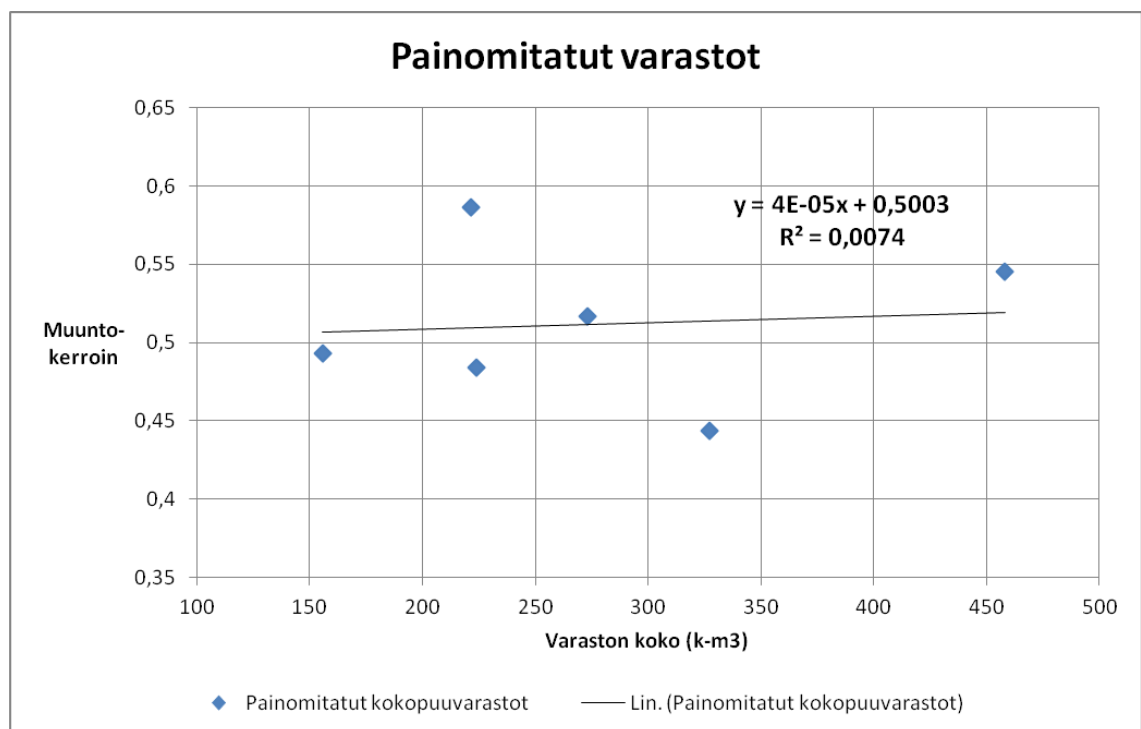


Kuvio 1. Muuntokerroimen ja pinomitattujen varastojen tilavuuden välinen yhteys.

Varaston koolla on tulosten perusteella selvä vaikutus muuntokerroimeen. Muuntokerroin nousee varaston koon kasvaessa. Muuntokerroimien hajonta on huomattavan suuri (kuvio 1.). Kuviossa 1. x-akseli kuvaa varaston kokoa kiinto-kuutioittain (pinomitta). Y-akseli kuvaa muuntokerroimen vaihtelua varastoittain. Kokopuuvarastot on kuvattu vinoneliöillä, latvusmassavarastot neliöillä, kokopuuvarastojen trendi mustalla suoralla sekä latvusmassavarastojen trendi sinisellä suoralla. Yhtälöt ja luottamusarvot on kuvattu suorilla vastaavilla väreillä.

Latusmassavarastot on eritelty samassa taulukossa. Muissa laskelmissa latusmassaa ei ole eritelty latusmassavarastojen pienen määrän johdosta. Lisäksi toimeksiantajan näkökulmasta erottelu ei ollut myöskään tarpeellista.

Painomitatuissa varastoissa oli 1660 k-m³ kokopuuta ja niistä muodostunut hakemäärä oli 3263 i-m³. Kuutioiden perusteella muuntoluvuksi muodostui 0,509. Varastokohtaisten muuntolukujen keskiarvoksi muodostui 0,512. Varastokohtaisten muuntolukujen keskihajonta on 0,050. Myös painomitatuissa varastoissa muuntokerroin kasvoi varaston koon kasvaessa (kuvio 2.) Kuviossa 2 x-akseli kuvaa varaston kokoa kiintokuutioittain (painomitta), y-akseli muuntokertoimen vaihtelua, siniset vinoneliöt painomitattuja varastoja ja musta suora kuvaa painomitattujen varastojen trendiä. Suoran selityskertoimen on erittäin heikko, vain 0,74 %.

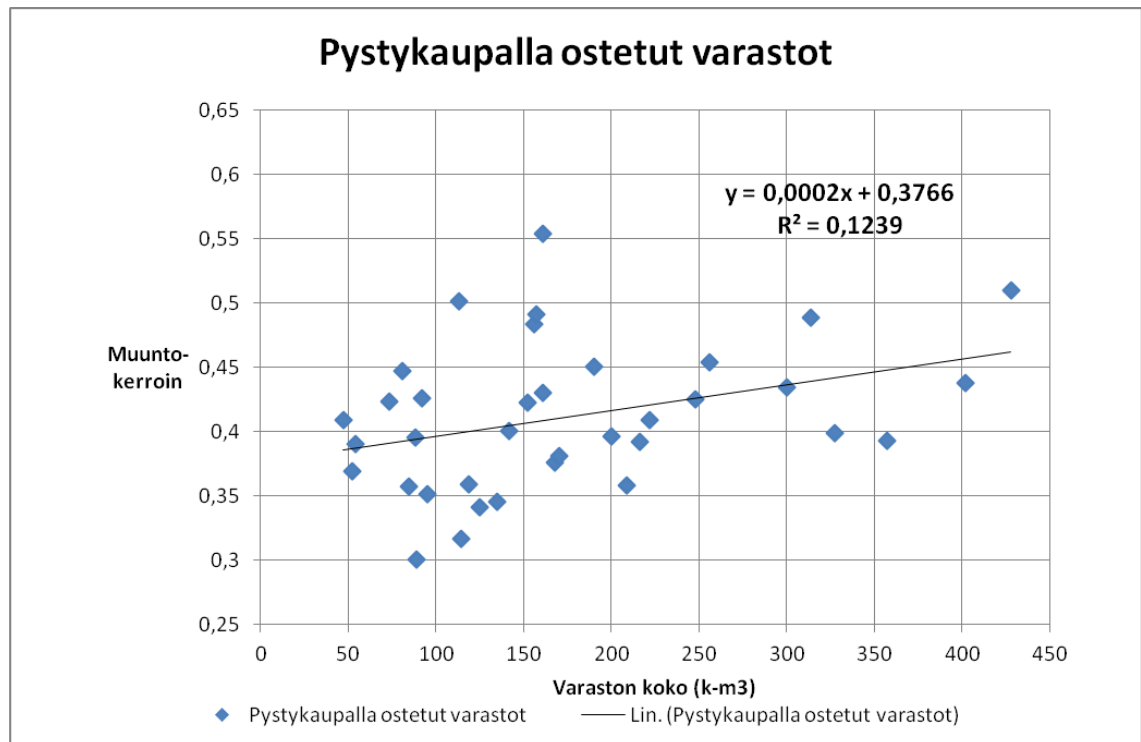


Kuvio 2. Muuntokertoimen ja painomitattujen varastojen tilavuuden välinen yhteys.

8.1.2 Kauppatavan suhde muuntokertoimeen

Pystykaupalla ostettuja painomitattuja varastoja oli yhteensä 36 kpl, niiden yhteenlaskettu energiapuun määrä oli 6300 k-m³ ja niistä oli haketettu 15154 i-m³ haketta. Varaston keskikoko oli 175 k-m³ ja niistä saatiin haketta keskimäärin 421 i-m³. Kuutioiden perusteella muuntoluvuksi muodostui 0,416. Varastokohtaisten muuntolukujen keskiarvoksi muodostui 0,412. Varastokohtaisten muun-

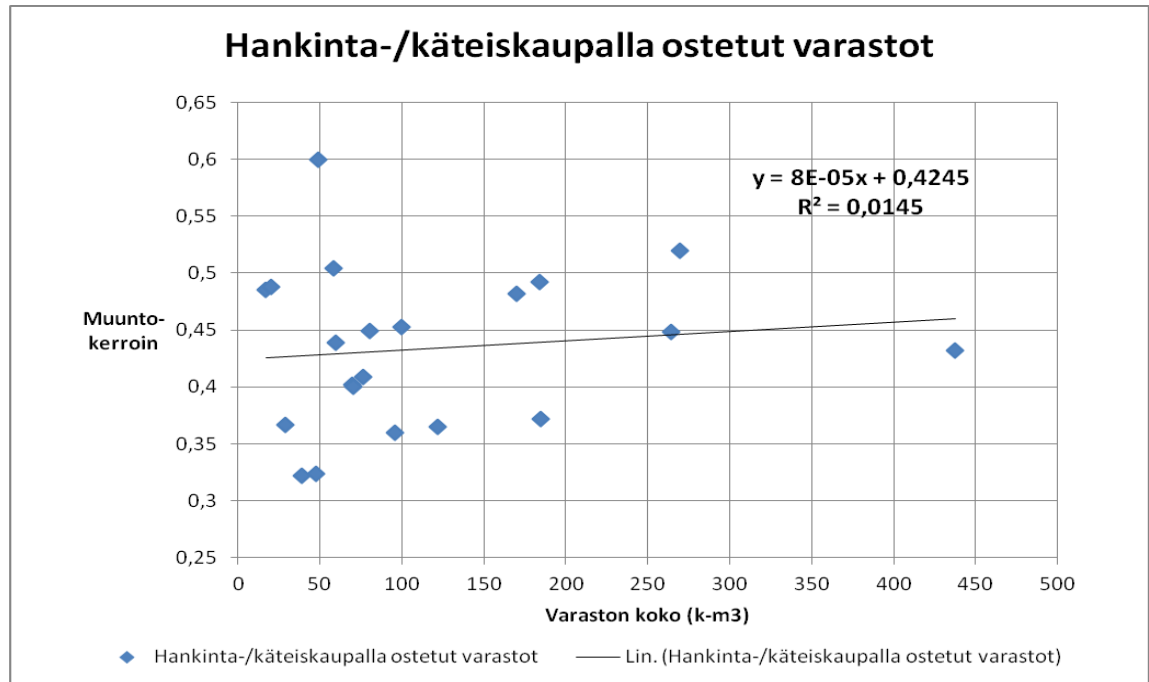
tolukujen keskihajonta on 0,056. Pystykaupalla ostetuissa varastoissa muunto-kerroin kasvaa varaston koon kasvaessa (kuvio 3.). Selityskerroin on 12,39 %.



Kuvio 3. Pystykaupalla ostettujen pinomitattujen varastojen muuntokerroimen ja tilavuuden välinen yhteys.

Hankinta- tai käteiskaupalla ostettuja pinomitattuja varastoja oli yhteensä 21 kpl, niiden yhteenlaskettu energiapuun määrä oli 2444 k-m³ ja niistä oli haketettu 5635 i-m³ haketta. Varaston keskikoko oli 116 k-m³ ja niistä saatiin haketta keskimäärin 268 i-m³. Kuutioiden perusteella muuntoluvuksi muodostui 0,434. Varastokohtaisten muuntolukujen keskiarvoksi muodostui myös 0,434. Varastokohtaisten muuntolukujen keskihajonta on 0,070. Hankinta- ja käteiskaupalla ostetuissa varastoissa muuntokerroin kasvaa varaston koon kasvaessa. Kasvu on voimakkaampaa verrattuna pystykaupalla ostettuihin varastoihin (kuvio 4.). Suoran selityskerroin on heikko, vain 1,45 %.

Kuvioissa 3 ja 4 x-akseli kuvaa varaston kokoa kiintokuutioittain (pinomitta). Y-akseli kuvaa muuntokerroimen vaihtelua. Siniset vinoneliöt ja mustat suorat kuvaavat tietoa kuvioiden selitteiden mukaisesti.

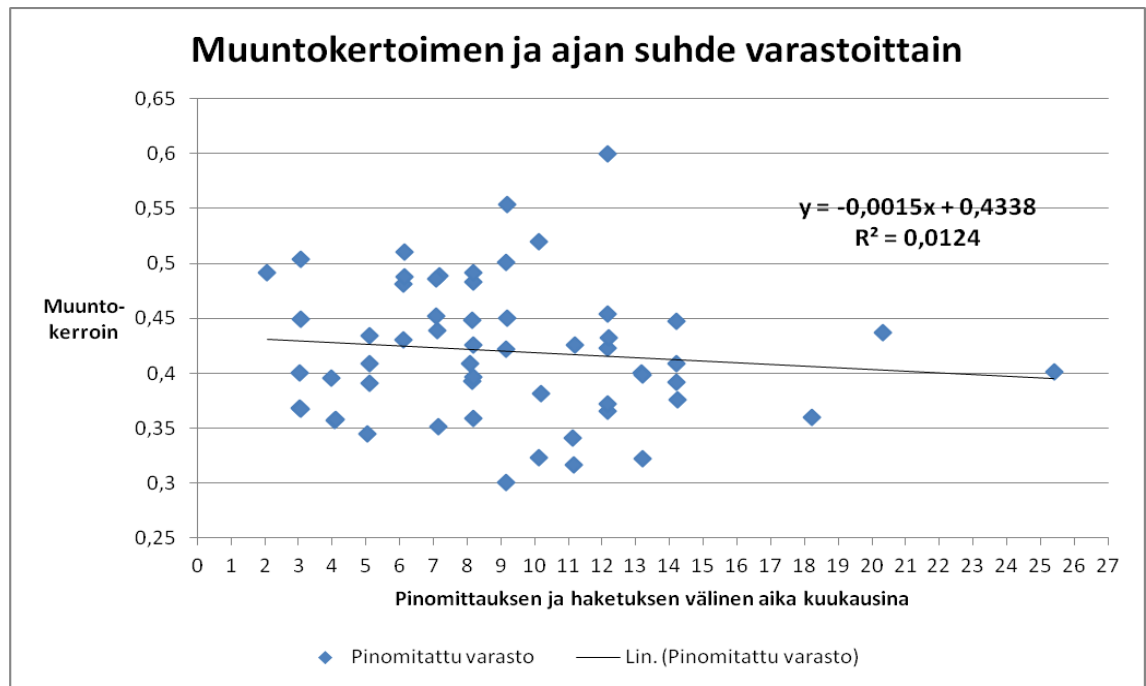


Kuvio 4. Hankinta- ja käteiskaupalla ostettujen pinomitattujen varastojen muuntokerroimen ja tilavuuden välinen yhteys.

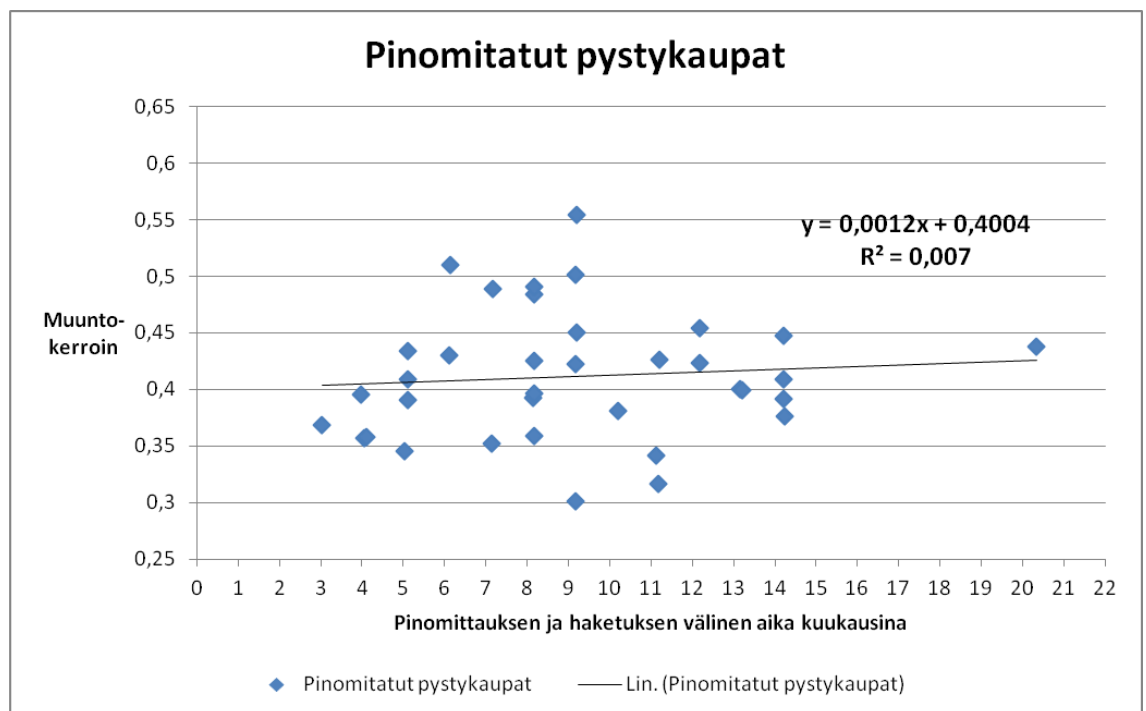
8.1.3 Ajan vaikutus muuntokerroimeen

Mittausajankohdan ja haketuksen välisen ajan vaikutusta muuntokerroimeen tarkasteltiin ensiksi graafisesti. Kaikkia pinomitattuja varastoja tarkasteltaessa muuntokerroin laskee ajan kuluessa (kuvio 5.) Kauppataivoittain tarkasteltuna pystykaupalla ostettujen varastojen muuntokerroin kasvaa (kuvio 6.). Hankinta- ja käteiskaupalla ostettujen varastojen muuntokerroin taas laskee huomattavan voimakkaasti (kuvio 7.).

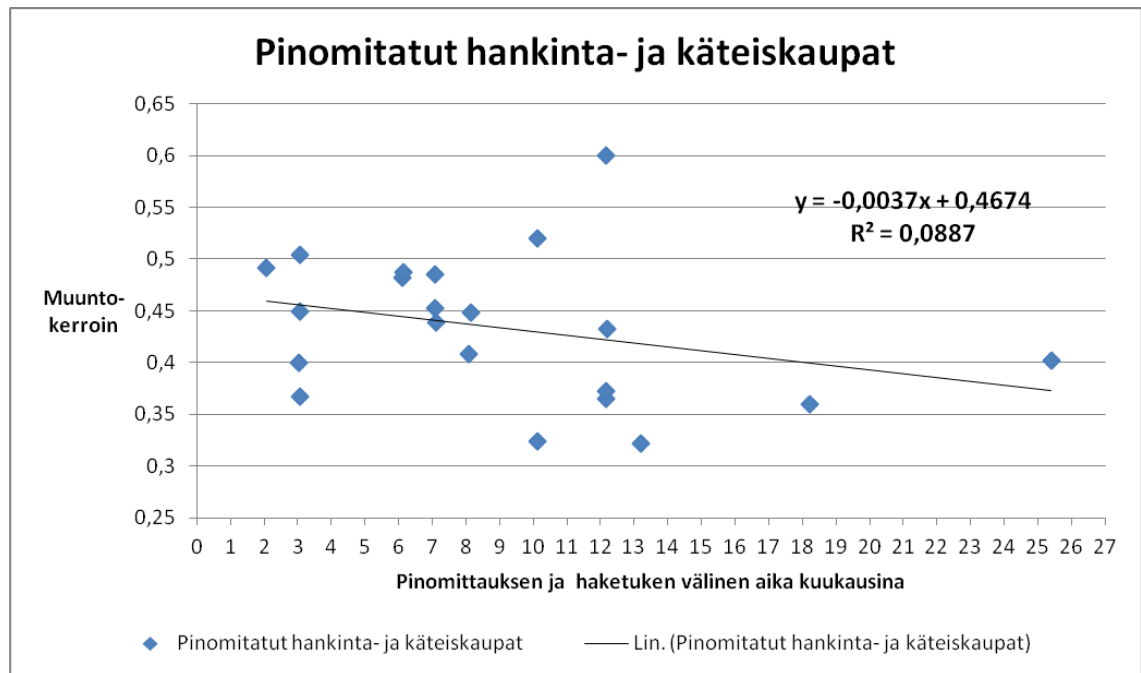
Kuvioissa 5, 6 ja 7 x-akseli kuvaa pinomittauksen ja haketuksen välistä aikaa kuukausina, y-akseli muuntokerroimen vaihtelua. Siniset vinoneliöt ja mustat suorakuvauvat tietoa kuvioiden selitteiden mukaisesti. Ajan vaikutusta kuvaavissa suorissa selityskertoimet jäävät alhaisiksi.



Kuvio 5. Mittaus- ja haketusajan suhde muuntokertoimeen pinomitatuissa varastoissa.



Kuvio 6. Mittaus- ja haketusajan suhde muuntokertoimeen pystykaupalla ostetuissa varastoissa.



Kuvio 7. Mittaus- ja haketusajan suhde muuntokerroimeen hankinta- ja käteiskaupalla ostetuissa varastoissa.

Graafisen tarkastelun lisäksi mittausajankohdan vaikutusta tutkittiin jakamalla aineisto aikaluokkiin kauppatavoittain. Tulokset ovat luettavissa taulukosta (taulukko 2.).

Ensimmäisessä sarakkeessa on luokiteltu varastot aikaluokittain ja kauppatavoittain. Aikaluokat kuvaavat pinomittauksen ja haketuksen välistä aikaa kuukausina. Toisessa sarakkeessa on varastojen yhteenlaskettu pinomitattu kiintokuutiomäärä. Kolmannessa sarakkeessa on varastojen yhteenlaskettu hakekuutiomäärä. Neljännessä sarakkeessa on kuutioilla laskettu muuntokerroin. Viidennessä sarakkeessa on varastojen määrä kappaleittain ja kuudennessä sarakkeessa aikaluokiteltujen varastojen varastokohtaisten muuntokerroimien keskiarvo. Seitsemännessä sarakkeessa on varaston koko aikaluokittaisena keskiarvona pinomitattuina kiintokuutioina.

Taulukko 2. Pinomittauksen- ja haketuksen välisen ajan vaikutus muuntoker-
toimiin.

Mittauksen ja haketuksen välisen ajan vaikutus muuntokertoimeen						
pystykaupat	pino-m ³ (k-m ³)	hake-m ³ (i-m ³)	kerroin kuutioittain	varastojen määrä (kpl)	varastojen keskikerroin	Varaston keskikoko, pino- m ³ (k-m ³)
0-6 kk	1145,1	2949,0	0,38830112	8	0,38225725	143,1
6-10 kk	2941,4	6693,0	0,43947408	15	0,43718655	196,1
10-14 kk	1299,0	3299,0	0,39375568	8	0,39269937	162,4
14-yli kk	914,1	2213,0	0,41305920	5	0,41233588	182,8
hankintakaupat	pino-m ³ (k-m ³)	hake-m ³ (i-m ³)	kerroin kuutioittain	varastojen määrä (kpl)	varastojen keskikerroin	Varaston keskikoko, pino- m ³ (k-m ³)
0-6 kk	421,5	922,0	0,45715835	5	0,44256315	84,3
6-10kk	706,7	1561,0	0,45272261	7	0,45762633	101,0
10-14kk	1149,5	2711,3	0,42396636	7	0,41925818	164,2
14-yli kk	165,9	441,0	0,37619048	2	0,38063735	83,0

8.2 Haketusko

Opinnäytetyön toisessa tutkimusongelmassa tarkasteltiin rankapuun ja hakkeen välistä muuntokerrointa. Haketuksen ja hakkeen mittauksen suoritti Tese Oy. Haketuskalustona käytettiin kappaleessa 7.1 kuvattua Tese Oy:n kalustoa.

Koe suoritettiin hakettamalla 185 k-m³ hakkuukonemittauksella mitattu erä kar-
sittua rankaa. Erästä saatiin 415 i-m³ haketta. Muuntokerroin laskettiin jakamal-
la kiintokuutioiden (k-m³) saadulla hakekuutiomäärällä (i-m³), jolloin tulokseksi saa-
tiin 0,446.

Hakkeen mittaus suoritettiin hakeauton kontin avulla haketuspaikalla. Kokeessa
haketetun rangan keskiläpimitta oli 13 cm, minimiläpimitta oli kuusi (6) cm
ja se oli tehty kolme (3) metriä pitkään määrämittaan. Puulajina oli harmaalep-
pää. Haketus ja mittaus suoritettiin maaliskuussa 2012. Hakettava puutavara
oli jäässä. Haketuksen ja mittauksen toteuttaja on työskennellyt hakeyrittäjänä
12 vuotta.

9 Tulosten analysointi

9.1 Varastojen tutkimus

9.1.1 Muuntokertoimen ja varaston koon suhde

Pinomitattujen varastojen yhteenlasketun kiintokuutiomäärän ja hakemäärän perusteella muuntoluvuksi muodostui 0,421. Muuntokerroin poikkeaa selvästi yleisesti käytetystä arvosta 0,4, mutta toisaalta pysyy tunnetun vaihteluvälin (0,38 - 0,46) sisällä. Kuvio 1 havainnollistaa hyvin varastojen muuntokertoimien vaihtelua, jotka voivat yksittäisten varastojen osalta hyvinkin merkittäviä. Varastokohtaisten muuntolukujen keskiarvot eivät poikenneet merkittävästi kiintokuutioiden perusteella lasketusta muuntoluvusta. Kuvaajan selityskerroin jäi heikoksi johtuen varastokohtaisten muuntokertoimien suuresta hajonnasta.

Latvusmassavarastojen muuntokertoimien vaihtelut olivat kuvion mukaan huomattavia, mutta vaihtelua ei voida yleistää pienen otannan (4 kpl latvusmassa varastoja) vuoksi. Latvusmassavarastoista ei tehty muita laskelmia, mutta ne jätettiin muissa laskelmissa käytettyyn aineistoon edustamaan toimeksiantajan normaalia puunhankintaa. Latvusmassavarastojen kuvaajan selityskerroin oli alhainen.

Painomitattujen varastojen kuutioiden perusteella laskettu kerroin oli 0,509, joka on selkeästi yli normaalin vaihteluvälin. Varastokohtainen muuntokertoimien keskiarvo ei poikennut merkittävästi kuutioiden perusteella lasketusta. Varastokohtaisten muuntokertoimien keskihajonta jäi pienemmäksi, kuin pinomitattujen varastojen. Painomitattujen varastojen otanta oli pieni (6 kpl), joten tulosta ei voida pitää luotettavana, mutta tässä tapauksessa suuntaa antava tulos riittää toimeksiantajalle. Kuvaajan selityskerroin oli erittäin heikko, johtuen pienestä otannasta sekä varastokohtaisten muuntokertoimien huomattavasta vaihtelusta.

9.1.2 Kauppatavan suhde muuntokertoimeen

Kuutioiden perusteella muuntoluvuksi pystykaupalla ostetuissa varastoissa muodostui 0,416, joka on huomattavasti enemmän mitä perusmuuntokerroin, mutta toisaalta vähemmän kuin kaikkien pinomitattujen varastojen kerroin. Kuvion 3 mukaan muuntokerroin kasvaa huomattavasti varaston koon kasvaessa. Huomattavaan kasvun yleistykseseen on suhtauduttava varauksella, koska suuria, yli 250 k-m³ pystykaupalla ostettuja varastoja oli vain seitsemän.

Hankinta- ja käteiskaupalla ostetuissa varastoissa kuutioiden perusteella muuntokertoimeksi muodostui 0,434. Varastokohtaisten muuntolukujen keskiarvo ei juuri poikennut kuutioittain lasketusta. Muuntokerroin oli huomattavasti suurempi kuin pystykaupoissa. Myös hankinta- ja käteiskaupalla ostettujen varastojen muuntoluvun huomattiin nousevan varaston koon kasvaessa, muttei niin voimakkaasti kuin pystykaupalla ostettujen varastojen.

9.1.3 Ajan vaikutus muuntokertoimeen

Graafisesti tarkasteltuna mittauksen ja haketuksen välisen ajan kasvaminen vaikuttaa muuntokertoimeen laskevasti, kun tarkastellaan kaikkia pinomitattuja varastossa samassa kaaviossa.

Kun tarkasteltiin ajan vaikutusta kauppatavoittain, löytyi mielenkiintoinen ilmiö. Pystykaupalla ostettujen varastojen muuntokerroin kasvoi ajan kuluessa. Hankinta- ja käteiskaupalla ostettujen varastojen muuntokerroin taas laski huomattavasti. Havaintoa ei pystytty selvittämään käytetyn aineiston pohjalta. Ilmiö voi johtua aineiston suppeudesta tai jostain tuntemattomasta tekijästä.

Aikaluokittain tarkasteltuna muuntokertoimissa esiintyi selkeää vaihtelua. Varastoittain lasketut muuntokertoimet eivät poikenneet merkittävästi kuutioittain lasketuista muuntokertoimista. Pystykaupalla ostetuissa varastoissa, joiden pino- ja hakemittauksen välinen aikaluokka oli 6 - 10 kk, oli selkeä poikkeama muuntokertoimissa verrattuna muihin aikaluokkiin. Muut aikaluokat poikkesivat myös toisistaan. Aikaluokittaisen varastoluokituksen luokkakohtainen varastomäärä on kuitenkin niin pieni, että havaintoihin tulee suhtautua varauksella.

Hankinta- ja käteiskaupalla ostettujen varastojen aikaluokittelussa ilmeni, että muuntokerroin laskee pinomittaus- ja haketusajan kasvaessa. Kyseinen tarkastelu antaa samansuuntaisen tuloksen kuin graafinen tarkastelu (kuvio 7.).

9.2 Haketuskoee

Haketuskokeessa rankapuun ja hakkeen väliseksi muuntokertoimeksi muodostui 0,446. Kokeessa saatua tulosta voidaan pitää suhteellisen luotettavana erän kohtuullisen suuren koon puolesta.

Muuntokerroin ylittää selvästi yleisesti käytetyn kertoimen. Toisaalta tulos ei ole yllättävä, kun verrataan sitä aiheesta tehtyihin muihin tutkimuksiin. Rumpuhakurilla haketetun rankapuun ja hakkeen välinen muuntokerroin on joidenkin tutkimusten mukaan 0,43 - 0,56 riippuen olosuhteista ja rangan laadusta (Alakan-gas 2000, 65.).

10 Johtopäätökset

Tulosten perusteella voidaan tehdä johtopäätös, että muuntokerroin 0,4 ei pidä paikkaansa tässä tutkimuksessa käytetyssä varasto- ja haketusaineistossa. Otannan suuren koon vuoksi voidaan tutkimuksen tulos yleistää varauksin toimeksiantajan puunhankintaan.

Painomitattujen varastojen muuntokerroin oli selvästi korkeampi kuin pinomittauksilla varastoilla. Saadut varastokohtaiset kertoimet ja keskiarvot ovat selvästi yleisesti käytettyä kerrointa korkeammat. Arvo 0,4 on aineiston perusteella selvästi käyttökelpoton painomitattujen varastojen kiintotilavuuden ja hakemäärän arvioinnissa. Tulokseen on kuitenkin suhtauduttava suurella varauksella, koska otanta oli pieni, eikä painomittauksessa käytettyjä kuiva-tuoretiheyslukuja ja mittausolosuhteita ei ollut tiedossa.

Muuntokerroin kasvoi varaston koon kasvaessa kauppatavasta riippumatta. Tästä voidaan päätellä, että jatkossa pinomittauksen tarkkuuteen on kiinnitettävä erityistä huomiota etenkin suurempia varastoja mitattaessa. Muuntolukujen varastokohtainen hajonta paljastui huomattavan suureksi kaikissa varastoissa.

Kauppatapa paljastui tulosten perusteella merkittäväksi kertoimen vaihtelua aiheuttavaksi tekijäksi. Pystykaupalla ostettujen varastojen keskiarvollinen muuntokerroin oli huomattavasti lähempänä yleisesti käytettyä kerrointa kuin hankinta- ja pystykaupalla ostetuissa varastoissa. Tutkimustulosten perusteella hankinta- ja pystykaupalla ostettujen varastojen pinomittaukseen on jatkossa kiinnitettävä erityistä huomiota sekä selvitettävä mahdollisia virheiden aiheuttajia.

Mittauksen ja haketuksen välinen aika vaikutti muuntokertoimeen laskevasti. Kauppatavoittain eroteltuna pystykaupalla ostetuissa varastoissa muuntokerroin nousi, joka voidaan tulkita varauksella varastotappioksi. Hankinta- ja käteiskaupalla ostetuissa varastoissa muuntokerroin puolestaan laski huomattavasti, mille ei löydy selitystä tutkimuksessa käytetyn aineiston perusteella.

Myös haketuskokeessa muuntokerroin ylitti reilusti arvon 0,4, joka oli toimeksiantajan oletus. Kokeella saatiin tieteellistä tukea oletukselle. Saatua arvoa ei kuitenkaan voida yleistää jatkossa muihin rankapuun haketuksiin, koska kyseessä on vain yksittäinen koe. Tuloksen perusteella haketuskokeita kannattaa jatkaa tarkemman muuntokertoimen määrittämiseksi.

11 Pohdinta

Opinnäytetyö antaa toimeksiantajalle kuvauksen pino- ja hakemitattujen varastojen tilavuuden mittauseroista ja eroista mittauseroista ja eroista mittauseroista ja eroista mittauseroista välillä. Lisäksi tuloksista saatavia johtopäätöksiä ja tutkimustuloksia voidaan käyttää tulevaisuudessa hyödyksi ennustettaessa pinomitattujen varastojen mittaustarkkuutta suhteessa hakkeen mitattuun tilavuuteen.

Opinnäytetyö ottaa kantaa mittaustuloksien eroavaisuuksien lisäksi myös aineistossa käytettäviin muihin muuttujiin. Tutkimuksen avulla voidaan päätellä mahdollisia mittaustuloksiin vaikuttavia virheiden aiheuttajia. Valitettavasti varastoaineisto ei sisältänyt luotettavia tietoja puutavaran pituuksista, keskiläpimitoista, kosteudesta sekä varaston puulajista. Näitten tietojen avulla aineistoa olisi pystytty luokittelemaan tarkemmin ja mittauserojen syy- ja seuraussuhteita olisi pystytty selvittämään kattavammin.

Opinnäytetyön tutkimukset kuitenkin täyttävät toimeksiantajan tarvitseman tiedon puutteen. Saatujen muuntokertoimien avulla pystytään jatkossa arvioimaan tarkemmin varastojen yhteenlaskettua energiapuumäärää, korjuu- ja haketus-kustannuksia sekä varastoista saatavaa hakemäärää.

Esimerkkinä voidaan käyttää seuraavaa tapausta. Varastossa on 10000 pinomittattua kuutiota kokopuuta ja tästä saadaan muuntokertoimella 0,4 (toisinpäin 2,5) 25000 hakekuutiota. Jos käytetään kuitenkin ensimmäisen tutkimuksen tulosten perusteella saatua kerrointa 0,42 (toisinpäin noin 2,381), tarvitaan 25000 hakekuution tuottamiseen 10500 kiintokuutiota energiapuuta. Vastaavasti 10000 kiintokuutiosta saadaan 23810 hakekuutiota.

Kyseinen esimerkki muodostuu ongelmalliseksi etenkin silloin, kun maksetaan urakoitsijoille tienvarteen toimitettujen energiapuukiintokuutioiden perusteella sekä oletetaan siitä saatavan haketta yleisen muuntokertoimen perusteella. Toimeksiantajan tappiot voivat tällöin muodostua merkittäviksi.

Hankinta- ja käteiskaupalla maksetaan yleensä 80 % varaston arvosta ja loppumaksu maksetaan haketuksen jälkeen. Lisäksi maksut perustuvat hakettuihin hakekuutioihin, joiden perusteella lasketaan maksun perusteena olevat kiintokuutiot yleisesti käytetyillä kertoimilla. Tällöin toimeksiantajalle ei muodostu tappioita, vaikka varastosta saataisiin vähemmän haketta, mitä yleiset muuntokertoimet antavat olettaa.

Hakkeen todellisen tilavuuden mittaus kontissa voi olla hankalaa. Käytettävässä aineistossa mitatut kontit on yleensä täytetty ns. kukkuralleen, eli kontin todellisen sisätilavuuden yli menevän hakkeen osuus tilavuudesta on todennäköisesti määritelty silmämääräisesti arvioiden.

Lisäksi vajaiden hakekuormien tilavuuden tarkka mittaus on hankalaa, koska hake on puhaltunut konttiin hankalasti mitattavaksi kasaksi. Hakkeen ominaisuudet vaihtelevat riippuen raaka-aineesta ja olosuhteista, joten yksiselitteistä kerrointa ei voida määrittää.

Lopuksi on siis muistettava, että varastoissa olevat puumäärät tai niistä haketetut hakemäärät eivät ole absoluuttisia, vaan ainoastaan eri mittaustavoilla laskettuja arvoja. Energiapuun ja hakkeen mittauksessa on molemmissa ovat virhelähteensä. Molemmat tilavuuden mittauksessa käytetyt menetelmät vaativat tarkempia tutkimuksia, ennen kuin voidaan tehdä tarkkoja laskelmia todellisista tilavuuksista kyseisten mittausmenetelmien perusteella.

Lähteet

- Alakangas, E. 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. Espoo. VTT.
- Enon energiaosuuskunta. 2012. Eno energia vuonna 2012. Eno energia osuuskunta.
<http://www.enonenergia.fi/node/2>.
2.2.2012.
- Hakkila, P. 2001. Metsähakkeen energiatiheys. Puuenergia 1/2000. Helsinki. Puuenergia ry.
- Hakkila, P. 2006. Selvitys energiapuun mittauksen järjestämisestä ja kehittämisestä. Maa- ja metsätalousministeriö.
http://wwwb.mmm.fi/julkaisut/tyoryhmuuistiot/2006/trm2006_8.pdf
.1.3.2012.
- Heikkilä, J., Laitila, J., Tantt V., Lindblad, J., Sirén, M., Asikainen, A., Pasanen, K. & Korhonen, K.,T. 2005. Karsitun energiapuun korjuuvaihtoehdot ja kustannustekijät. METLA.
<http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2005/mwp010.pdf>.
18.4.2012.
- Junkkonen, R. & Lindblad, J. 2005. Pinomittauksen tarkkuus, Uutta energiapuun mittauksessa. Biomas.
http://www.biomass.fi/upload/Uutta_energiapuun_mittauksessa_Lindblad.pdf.
18.4.2012.
- Kuitto, P-J.(toim.). 2005. Metsästä polttoaineeksi – polttihakkeen tuotannon puoli vuosisataa. FINBIO - Suomen bioenergiayhdistys.
- Knuutila, K.(toim.). 2003. Puuenergia. Jyväskylä. Jyväskylän teknologiakeskus Oy ja Benet Bioenergiaverkosto.
- Laitila, J., Leinonen, A., Flyktman, M., Virkkunen, M. & Asikainen, A. 2010. Metsähakkeen hankinta- ja toimituslogistiikan haasteet ja kehittämistarpeet. Helsinki. VTT.
- Laurila, J. & Rauhanen, R. 2010. Kokopuu painuu kokoon. Bioenergia.
http://www.puuenergia.fi/bioenergia-lehti/files/be_1_2010_kokopuu_painuu.pdf.
2.3.2012.
- Liimatta, T. Suullinen tiedonanto. 18.4.2012.

- Lindblad, J., Äijälä, O. & Koistinen, A. 2010. Energiapuun mittaus. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio ja Metsäntutkimuslaitos.
http://www.metla.fi/metinfo/tietopakettit/mittaus/aineistoja/energiapuun_mittausopas_EMT_hyvaksyty_27092010.pdf.
10.2.2012.
- Puhakka, A., Alakangas, E., Alanen, V., Airaksinen, L., Soini, R., Siponen, T. & Kainulainen, S. 2001. Hakelämmitysopas. Joensuu, Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu.
- Salakari, H. & Heimonen, R. 1998. Koneellinen puunkorjuu. Helsinki. Kustannus osakeyhtiö metsälehti.
- Saramäki, M. Suullinen tiedonanto 2.3.2012.
- Vesisenaho, T. 2003. Puuenergia. artikkeli. Jyväskylä. Jyväskylän teknologiakeskus Oy ja Benet Bioenergiaverkosto.
- Äijälä, O. 2008. Tiedote energiapuun mittauksen pelisäännöistä. Vantaa. Metla.
<http://www.metla.fi/tiedotteet/2008/2008-02-19-energiapuunmittaus.htm>.
2.3.2012.

