

Seinäjoen
ammattikorkeakoulun
julkaisusarja

B

Risto Lauhanen
Jussi Laurila

Bioenergian hankintalogistiikka

Tapaustutkimuksia
Etelä-Pohjanmaalta

Seinäjoen ammattikorkeakoulun julkaisusarja
B. Raportteja ja selvityksiä 33

Risto Lauhanen
Jussi Laurila

Bioenergian hankintalogistiikka

Tapaustutkimuksia
Etelä-Pohjanmaalta

Seinäjoen ammattikorkeakoulu
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES



Seinäjoki 2008

Seinäjoen ammattikorkeakoulun julkaisusarja
Publications of Seinäjoki University of Applied Sciences

- A. **Tutkimuksia** Research reports
- B. **Raportteja ja selvityksiä** Reports
- C. **Oppimateriaaleja** Teaching materials
- D. **Opinnäytetöitä** Theses

Myynti:

Seinäjoen korkeakoulukirjasto
Keskuskatu 34, 60100 Seinäjoki
puh. 020 124 5040 fax 020 124 5041
seamk.kirjasto@seamk.fi

ISBN 978-952-5336-86-3 (verkkojulkaisu)
ISSN 1797-5573 (verkkojulkaisu)

ISBN 978-952-5336-84-9
ISSN 1456-1743

ALKUSANAT

Etelä-Pohjanmaan Epanet-verkostoon kuuluvan ”Bioenergian tuotannon ja käytön kehittäminen” –tutkimus- ja kehittämishankkeen toiminta käynnistyi osana laajempaa logistiikan verkostohanketta marraskuussa 2005 Seinäjoen ammattikorkeakoulun maa- ja metsätalouden yksikön, Etelä-Pohjanmaan korkeakoulu yhdistyksen sekä Vaasan yliopiston yhteistyönä. Hanketta ovat rahoittaneet EU/EAKR (Etelä-Pohjanmaan tavoite 2 –alue), Etelä-Pohjanmaan TE-keskus sekä Seinäjoen ammattikorkeakoulun maa- ja metsätalouden yksikkö. Lisäksi yksityiset toimijat ovat tukeneet hanketta. Vuoden 2007 lopussa päättynyt ”bioenergiahanke” on keskittynyt erityisesti metsäenergian hankintalogistiikan problematiikkaan. Pelto- ja turve-energiaa on tutkittu metsäenergian jatkeena.

Etelä-Pohjanmaan korkeakoulu yhdistys koordinoi verkostohankkeen. Toiminnanjohtaja Helena Tiilikaiselle, tutkimuspäällikkö Sulevi Riukulehdolle, erikoissuunnittelija Nina Harjunpäälle sekä taloussihteri Liisa Lepälle parhaimmat kiitokset hyvästä yhteistyöstä. Seinäjoen ammattikorkeakoulun maa- ja metsätalouden yksiköstä tekijät kiittävät johtaja Antti Pasilaa, aikuiskoulutusjohtaja Tarmo Vuorenmaata, tutkijayliopettaja Tapani Tasasta sekä talous- ja henkilöstösihteri Marjatta Uusitaloa.

Hankkeen tavoitteiden mukaisesti akuutit ja työelämää palvelevat logistiikatutkimukset on koottu tähän käsillä olevaan Seinäjoen ammattikorkeakoulun sähköiseen julkaisusarjaan, sillä marraskuussa 2007 julkaistun kirjan 300 kappaleen painos on loppumaisillaan. Nykyaikaisen ammattikorkeakoulun tehtäviin kuuluu tutkimustiedon välittäminen alueen eri toimijoiden tarpeisiin. Kokoomajulkaisussa mukana olevat yksittäiset tapaustutkimukset tuovat uutta tietoa bioenergian tuotannosta ja hankinnasta Etelä-Pohjanmaan tavoite 2 –alueella. Tutkimustulosten toivotaan palvelevan myös valtakunnallista metsäenergian tuotannon ja käytön kehittämistä. Hankkeen kokonaisvaltainen synteesi on laadittu hankkeen hallinnollisen loppuraportin yhteydessä.

Käsillä olevan julkaisun ovat kirjoittaneet hankkeen erikoistutkija, MMT Risto Lauhanen Seinäjoen ammattikorkeakoulun maa- ja metsätalouden yksiköstä yhdessä tutkija, MMM Jussi Laurilan kanssa. Pienpuuhakkeen hankintalogistiikkaa koskeva artikkeli tehtiin yhteistyössä Metsäntutkimuslaitoksen Joensuun toimintayksikössä työskentelevien professori, MMT Antti Asikaisen sekä tutkija, MMM Juha Laitilan kanssa. Jussi Laurila on valmistanut julkaisun kuvamateriaalin. Valokuvat ovat tekijöiden, jos ei toisin mainita. Laurila on vastannut myös julkaisun esitaitosta.

Seinäjoen ammattikorkeakoulun tutkimusjohtaja, MMT Hannu Haapala sekä MH, vs. yliopettaja Ossi Vuori Seinäjoen ammattikorkeakoulun maa- ja metsätalouden yksiköstä ovat tarkastaneet julkaisun käsikirjoituksen tehden siihen huomionarvoisia

ja rakentavia parannusehdotuksia. Informaatikko Jaana Latvanen Seinäjoen korkeakoulukirjastosta on avustanut julkaisun suunnittelussa. Julkaisusihteeri Jaana Huhtala Helsingin yliopiston Ruralia-instituutista taittoi julkaisun lopulliseen muotoonsa. Seinäjoen ammattikorkeakoululle lämpimät kiitokset julkaisuforumin tarjoamisesta. Metsämiesten Säätiölle parhaimmat kiitokset Ähtärin Tuomarniemelle myöntämästä apurahasta, joka mahdollisti julkaisun painatuksen perinteisessä kirjamuodossa. Eri-tyiskiitokset Etelä-Pohjanmaan korkeakouluyhdistykseen FT Sulevi Riukulehdolle, FM Nina Harjunpäälle

Ilmajoella ja Ähtärissä huhtikuussa 2008

Tekijät

Sisällys

ALKUSANAT	3
1 ETELÄ-POHJANMAAN TAVOITE 2 –ALUEEN	
METSÄENERGIAPOTENTIAALI	11
1.1 JOHDANTO	12
1.2 AINEISTO JA MENETELMÄT	14
1.2.1 Valtakunnan metsien 9. inventoinnin vuonna 2002 ajantasaistetut pinta-alatiedot	14
1.2.2 Varttuneiden taimikoiden ja nuorten metsien kunnostuskohteiden energiapotentiaalien laskenta	15
1.2.3 Kuusen uudistamisalojen latvusmassan sekä kantojen energia- potentiaalien laskenta	16
1.2.4 Yksityismetsien työtilastot	16
1.2.5 Laskentaohjelmat.....	17
1.3 TULOKSET	17
1.3.1 Varttuneiden taimikoiden energiapotentiaali.....	17
1.3.2 Nuorten kasvatusmetsien energiapotentiaali	18
1.3.3 Uudistuskypsiin kuusikoiden latvusmassapotentiaali	20
1.4 TULOSTEN TARKASTELU	21
LÄHTEET	25
2 ETELÄ-POHJANMAAN TAVOITE 2 –ALUEEN BIOENERGIAVIRRAT	26
2.1 JOHDANTO	27
2.2 AINEISTO JA MENETELMÄT	28
2.2.1 Raakapuuta käyttävät keskeiset tuotanto- sekä lämpö- ja voimalaitokset	28
2.2.2 Tarkastelualueen hakkuukertymät	29
2.2.3 Tarkastelualueen raakapuuvirrat	29
2.2.4 Mustalipeän energiasisältö	30
2.2.5 Nuorten metsien kunnostuskohteet	30
2.2.6 Kuusen uudistamisalojen latvusmassa sekä kannot ja juurakot.....	31
2.2.7 Energiaturve.....	32
2.2.8 Ruokohelpi	32
2.2.9 Laskentamenetelmät	33

2.3	TULOKSET	33
2.3.1	Etelä-Pohjanmaan tavoite 2 -alueelta korjattua raakapuuta käyttävät tuotantolaitokset	33
2.3.2	Etelä-Pohjanmaan tavoite 2 -alueen lämpölaitokset ja kattilat	34
2.3.3	Markkinahakkuumäärät ja hakkuukertymät	35
2.3.4	Seutukunnittaiset puu- ja sivutuotevirrat	35
2.3.5	Mustalipeä.....	39
2.3.6	Metsäenergia	39
2.3.7	Energiaturve.....	41
2.3.8	Ruokohelpi	42
2.4	TULOSTEN TARKASTELU	43
	LÄHTEET	47

3	PIENPUUHAKKEEN HANKINTAKUSTANNUKSET ETELÄ-POHJANMAAN TAVOITE 2 -ALUEELLA	49
3.1	JOHDANTO	50
3.2	AINEISTO JA MENETELMÄT	52
3.3	TULOKSET	55
3.3.1	Eri hankintaketjujen teoreettinen kustannusvertailu.....	55
3.3.2	Yleisimmän hankintaketjun laskennalliset kustannukset tyypileimikossa	56
3.3.3	Hankintakustannuksiin vaikuttavat tekijät tyypileimikossa herkkyysoanalyysien perusteella kaato-kasauskone -hankintaketjulla.....	57
3.3.4	Hankintakustannuksia selittävät mallit.....	59
3.3.5	Kaato-kasauksen ja välivarastohaketuksen hankintakustannukset käytännön työkohteiden perusteella.....	62
3.4	TULOSTEN TARKASTELU	63
	LÄHTEET	66

4	KANNONNOSTON JA METSÄKULJETUKSEN TUOTTAVUUS	68
4.1	JOHDANTO	69
4.2	KIRJALLISUUSKATSAUS	69
4.2.1	Kanto- ja juuripuun ominaisuudet	70
4.2.2	Kannonnostokohteet	71
4.2.3	Kannonnoston kehitys	71
4.2.4	Kannonnoston merkitys	72
4.2.5	Kantojen metsäkuljetus ja varastointi	72
4.2.6	Kannonnoston ympäristönökökohdat.....	73

4.3	AINEISTO JA MENETELMÄT	74
4.3.1	Kannonnosto.....	74
4.3.1.1	Koealat.....	74
4.3.1.2	Tuomarniemi.....	74
4.3.1.3	Isojoki	75
4.3.1.4	Jurva	76
4.3.2	Kantojen metsäkuljetus.....	77
4.4	TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU	78
4.4.1	Tuomarniemen ja Isojoen kannonnostokohteet.....	78
4.4.2	Jurvan kannonnostokohteet	82
4.4.3	Kantojen metsäkuljetus Jurvassa.....	88
4.5	PÄÄTELMÄT	89
	LÄHTEET	91

5 ENERGIÄKÄYTTÖÖN KORJATUN KANTO- JA JUURIPUUN

	KOSTEUDEN VAIHTELU	93
5.1	JOHDANTO	94
5.2	KIRJALLISUUSKATSAUS	94
5.2.1	Kanto- ja juuripuu	94
5.2.2	Kosteuden käsite ja mittaus.....	95
5.2.3	Elävän puun kosteus	96
5.2.4	Puuaineen kosteus	97
5.2.5	Kosteuden merkitys energiakäytön kannalta	97
5.2.6	Kanto- ja juuripuun ominaisuudet	98
5.2.7	Puun solujen huokokset	99
5.2.8	Puun syiden kyllästymispiste	100
5.2.9	Aspiraatio	100
5.2.10	Kutistuminen	101
5.3	AINEISTO JA MENETELMÄT	101
5.3.1	Kohteiden yleiskuvas	101
5.3.2	Näytteenotto ja näytteet	102
5.3.3	Kosteuden määrittäminen.....	103
5.3.4	Aineiston analysointi	103
5.4	TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU	104
5.4.1	Neljän eri mittauskerran leimikoittaiset kosteustulokset.....	104
5.4.1.1	Kosteus välittömästi kannonnoston jälkeen.....	104
5.4.1.2	Kosteus toisen mittauskerran perusteella	105
5.4.1.3	Kosteus kolmannen mittauskerran perusteella	105
5.4.1.4	Kosteus neljännen mittauskerran perusteella	106

5.4.2	Kosteusmittausten yhteenveto.....	106
5.4.3	Kosteuden ja kuivumisajan sekä kuivumisajankohdan välinen korrelaatio	108
5.5	PÄÄTELMÄT	109
	LÄHTEET	111

6	RUOKOHELPIBRIKETTÄ METSÄHAKKEEN JATKEEKSI	112
6.1	JOHDANTO	113
6.2	KIRJALLISUUSKATSAUS	113
6.2.1	Ruokohelpi energiakasvina.....	113
6.2.1.1	Kasvutapa.....	114
6.2.1.2	Kasvupaikkavaatimukset.....	114
6.2.1.3	Viljelmän perustaminen, kasvinsuojelu ja lannoitus	115
6.2.1.4	Korjuu, kuljetus ja korjuutappiot.....	115
6.2.1.5	Varastointi.....	117
6.2.1.6	Käyttö ja ominaisuudet.....	117
6.2.2	Briketöinti ja poltto	118
6.3	AINEISTO JA MENETELMÄT	120
6.3.1	Korjuu	120
6.3.2	Murskaus ja briketöinti	121
6.3.3	Brikekettien poltto	123
6.4	TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU	124
6.4.1	Korjuu	124
6.4.1.1	Niitto.....	124
6.4.1.2	Paalaus ja sato	124
6.4.1.3	Kuljetus ja varastointi	126
6.4.2	Murskaus ja briketöinti	127
6.4.2.1	Paalien murskaus.....	127
6.4.2.2	Briketin puristaminen	128
6.4.3	Brikettien poltto	129
6.4.4	Kannattavuus	129
6.4.4.1	EU-tuet	129
6.4.4.2	Tuotantokustannukset.....	130
6.4.4.3	Murskauksen ja briketöinnin kustannukset.....	132
6.4.4.4	Kokonaiskustannukset	134
6.5	PÄÄTELMÄT	136
	LÄHTEET	138

1 ETELÄ-POHJANMAAN TAVOITE 2 –ALUEEN METSÄENERGIAPOTENTIAALI

Lauhanen, R. & Laurila, J. 2007.

TIIVISTELMÄ

Tutkimuksen tavoitteena oli arvioida Etelä-Pohjanmaan tavoite 2 –alueen eli Kuusio-kuntien, Järviseudun, Eteläisten Seinänaapurien sekä Suupohjan seutukuntien metsäenergiapotentiaali valtakunnan metsien inventointitietojen (VMI9) sekä Puuenergian teknologiaohjelman lukuarvojen avulla. Laskentaan sisällytettiin varttuneiden taimikoiden hoitokohteiden sekä nuorten metsien kunnostuskohteiden energiapuu. Lisäksi mukaan laskettiin kuusivaltaisten metsien uudistamisaloilta saatava latvusmassa sekä kannot ja juurakot. Tavoite 2 –alueella metsäenergian teoreettinen enimmäismäärä oli 8 850 GWh, mistä 74 % oli nuorissa kasvatusmetsissä. Vuotuinen metsäenergian tuotantopotentiaali oli 884 GWh, mistä vastaavasti 58 % painottui nuoriin kasvatusmetsiin. Vuoden 2004 työtilastoihin perustuvien vertailulaskelmien mukaan metsäenergian tuotantopotentiaali oli 946 GWh. Tulokset olivat suuntaa antavia aluetason arvioita, sillä laskelmissa tehtiin monia oletuksia. Tuloksia voidaan käyttää metsäenergian hankintaa ja käyttöä koskevan alueellisen päätöksenteon tukena. Tutkimuksessa esitetään, että metsäenergiavarojen inventoinnin sisällyttäminen valtakunnan metsien inventointiin olisi varmallalla tieteellisellä pohjalla. Myös pienpuun sekä kantojen ja juurakoiden hankinnan tilastointi puukauppatilastojen yhteydessä on tarpeen. Sitä kautta tulokset palvelisivat kaikkia tiedon käyttäjiä tasapuolisesti valtakunnan tasolta aina kuntatasolle asti.

Asiasanat: metsäenergiapotentiaali, varttuneet taimikot, nuoret kasvatusmetsät, kuusen uudistusalat, latvusmassa, kantopuu, juurakot, Etelä-Pohjanmaan tavoite 2 –alue, valtakunnan metsien inventointi.

1.1 JOHDANTO

Bioenergia on biopolttoaineista saatua energiaa. Biopolttoaineita saadaan metsien, soiden ja peltojen kasvibiomassoista. Lisäksi biopolttoaineita saadaan yhdyskuntien, maatalouden ja teollisuuden energiantuotantoon soveltuvista orgaanisista jätteistä. Bioenergia edustaa uusiutuvia energialähteitä, kuten aurinko- tuulienergia ja vesivoimakin. (<http://www.finbioenergy.fi/default.asp?init=true&initID=456;9165>).

Bioenergiapotentiaalin määritelmä riippuu tarkastelutavasta ja olosuhteista (ks. Hakkila 2004, Lampinen ja Jokinen 2006, Maa- ja metsätalousministeriö 2006a). Biologinen bioenergiapotentiaali on fotosynteesin asettama teoreettinen yläraja biologiselle aurinkoenergian hyödyntämiselle (Lampinen & Jokinen 2006). Maatalous- ja metsäteknologinen potentiaali tarkoittaa käytettävissä olevilla teknologioilla tuotettavissa olevaa enimmäismäärää. Kemiallis-fysikaalinen potentiaali puolestaan käsittää käytettävissä olevista polttoaineista tuotettavissa olevan eli konservoitavan teoreettisen energiamäärän. Sosio-ekonominen potentiaali kuvaa eri resurssien ja teknologioiden hyväksyttävyyttä yksilön ja yhteiskunnan kannalta. (Lampinen & Jokinen 2006). Lampisen ja Jokisen (2006) mukaan ekologinen potentiaali taas kuvaa eliömaailman sietokykyä. Taloudellisesti kustannustehokasta ja energiantuotannon ulkoisvaikutukset huomioon ottavaa potentiaalia kutsutaan taloudelliseksi potentiaaliksi. Markkinapotentiaali kuvaa bioenergian markkinoita. (Lampinen & Jokinen 2006). Bioenergiapotentiaalien laskentaan liittyy keskeisesti herkkyyksanalyttinen tarkastelu (Helynen 1999, Ranta 2003, Lampinen & Jokinen 2006), eli esimerkiksi erilaisten kertymärajoitteiden tai kaukokuljetusmatkojen käyttö.

Metsäenergian käytön lisäämistarpeet on tiedostettu fossiilisten polttoaineiden hintojen nousun sekä kasvihuonekaasujen vähentämiseen tähtäävien kansainvälisten sopimusten myötä. Kansallisen metsäohjelman tavoitteiden mukainen vuotuinen metsähakkeen hankintamäärä on 5 miljoonaa kuutiometriä vuoteen 2010 mennessä (Kansallinen metsäohjelma... 1999, Maa- ja metsätalousministeriö 2006a,b), kun se vuonna 2005 oli hieman alle 3 miljoonaa kuutiometriä. Metsäneuvoston laatimassa, alan tulevaisuutta linjaavassa selonteossa metsähakkeen vuotuinen käyttötavoite on 8 miljoonaa kuutiometriä vuoteen 2015 mennessä, mikä merkitsee alalle 3000 uutta työpaikkaa. (Maa- ja metsätalousministeriö... 2006b).

Aina viime vuosiin asti metsävaratietoja on kerätty ja laskettu metsäteollisuudelle kelvollisen ainespuun määrittämistä varten, eikä tarkkoja yksityiskohtaisia metsäbiomassalaskelmia ole ollut tarpeen laatia (Hakkila 2004). Hakkila (2004) on puunkäyttömääriin perustuvissa laskelmissaan tarkastellut metsäbiomassan teoreettista enimmäispotentiaalia sekä korjuutekniset, taloudelliset ja ekologiset rajoitteet huomioon ottavaa korjuukelpoisen metsäenergiapotentiaalin rakennetta valtakunnan

tasolla. Hakkilan (2004) esittämässä arvioissa energiapuu- ja ensiharvennuksista korjuukelpoista runko- ja latvusmassaa kertyi vuositasolla 5 miljoonaa kuutiometriä pienpuuhakkeeksi, mikä vastasi 10 TWh:n vuotuista energiasisältöä. Hakkuutähdehakkeen määrä oli 8 miljoonaa kuutiometriä (16 TWh/a) ja vuotuisen kantomurskeen 2 miljoonaa kuutiometriä eli 4 TWh/a. (Hakkila 2004).

Helynen (1999) on laskenut vuoteen 2010 asti ulottuvat metsäenergiapotentiaalit sen hetken skenaariovaihtoehtojen sekä Metsäkeskus Tapion ja Metsätehon kuntatason työmäärien ennustetietojen pohjalta. Entisen Vaasan läänin alueen hakkuutähdepotentiaalin ennuste vuodelle 2010 oli 260 000 m³ (60 % enimmäismäärästä) ja nuorten metsien kunnostuskohteiden potentiaali vastaavasti 350 000 m³ (48 % enimmäismäärästä) (Helynen 1999). Ranta (2003) puolestaan on kehittänyt uudistamisalojen hakkuutähdepotentiaalin (latvusmassa) määrittämistä ja hankintakustannusten hallintaa varten GIS-pohjaisen optimointimallin, joka rakentuu uudistusalojen ja lämpölaitosten sijaintitietoihin, leimikkotietoihin, mutkittelukertoimiin sekä lineaariseen optimointiin. Rannan (2003) mukaan hakkuutähteen saatavuus oli Etelä-Pohjanmaalla pienempi kuin Keski-Suomessa ja Savossa. Laitilan ym. (2003) valtakunnan metsien 9. inventoinnin tietoihin ja leimikkorajoitteisiin perustuvat laskelmat ovat yhdenmukaisia Rannan (2003) päätuloksen kanssa. Vaasan seudulla metsäenergiaa kertyy nuorista metsistä toisin kuin Joensuun seudulla (Laitila ym. 2003). Maakunnittaiset metsäenergiapotentiaalit ovat viimeksi määrittäneet Elo (2006) sekä Pöyry yhdessä Maa- ja metsätalousministeriön kanssa Pöyryn omien tietojen pohjalta (Maa- ja metsätalousministeriö 2006a). Etelä-Pohjanmaan liiton alueen metsäenergiapotentiaali oli 730 GWh vuoden 2010 päästökauppatilanteessa, mistä enin osa saataisiin uudistusaloilta. Tulos ei ole kuitenkaan yhden mukainen Rannan (2003) eikä Laitilan ym. (2003) tutkimusten kanssa.

Käsillä olevan Euroopan Aluekehitysrahaston, Etelä-Pohjanmaan TE-keskuksen sekä Seinäjoen ammattikorkeakoulun rahoittaman bioenergian tuotannon ja käytön kehittämishankkeen yhtenä toimeksiantona oli arvioida hankerahoituksen rajoittaman Etelä-Pohjanmaan tavoite 2 -alueen metsäenergiapotentiaalia. Tarkastelualueen käytettävissä olevista metsävaratiedosta on kyettävä käytännön päätöksenteon tueksi määrittämään kustannustehokkaasti metsäenergiapotentiaali. (www.seamk.fi/bioenergiahanke 2006).

Tutkimuksen tavoitteena oli arvioida Etelä-Pohjanmaan tavoite 2 -alueen teoreettinen metsäenergian enimmäispotentiaali ja teknis-taloudellisesti korjuukelpoinen vuosipotentiali VMI9:n metsävaratietojen sekä Puuenergian teknologiaohjelman (Hakkila 2004) energiasisältötietojen avulla. Tarkasteluun otettiin mukaan varttuneet taimikot, nuoret kasvatusmetsät sekä hakkuutähdehakkeen tuotantoon että kantojen ja juurakoiden nostoon soveltuvat kuusen uudistamisalat (Hakkila 2004). Harvennus-

hakkuiden latvuksia, kotitarvepolttopuuta eikä klapeja otettu tarkasteluun mukaan. Lisäksi tavoitteena oli verrata tutkimuksen arvioita yksityismetsien työmääriin eli toteutuneeseen metsäenergian tuotantopotentiaaliin vuoden 2004 tilanteessa.

1.2 AINEISTO JA MENETELMÄT

1.2.1 Valtakunnan metsien 9. inventoinnin vuonna 2002 ajantasaistetut pinta-alatiedot

Metsäenergiapotentiaalin laskentaan käytettiin Metsäntutkimuslaitoksen laskemia, vuoden 2002 tilanteeseen ajantasaistettuja Etelä-Pohjanmaan tavoite 2 –alueen kuntakohtaisia VMI9:n metsävaratietoja (Taulukko 1). Kesäkuussa 2006 valmistuneet laskelmat perustuivat maastontarkistuksiin ja monilähdeinventointiin. Tavoite 2 –alueeseen kuuluva Peräseinäjoki eriteltiin laskelmissa ulkopuolisesta Seinäjoen kaupungista.

Taulukko 1. Metsäenergiapotentiaalin laskennassa käytetyt, vuonna 2002 päivitetyt VMI9:n kunnittaiset metsämaan pinta-alat keskeisten kehitysluokkien osalta (km²).

Kunta	Varttuneet taimikot	Nuoret kasvatusmetsät	Uudistuskypsät metsät
Alajärvi	72	212	48
Alavus	69	191	64
Evijärvi	46	95	13
Isojoki	71	187	68
Jalasjärvi	45	182	59
Jurva	43	77	53
Karjajoki	15	44	19
Kauhajoki	104	341	105
Kortesjärvi	43	90	12
Kuortane	42	114	36
Kurikka	32	82	45
Lappajärvi	49	122	19
Lehtimäki	24	77	20
Peräseinäjoki	37	104	27
Soini	52	188	32
Teuva	49	105	53
Töysä	27	71	31
Vimpeli	35	78	12
Ähtäri	78	255	65
Yhteensä	933	2615	781

1.2.2 Varttuneiden taimikoiden ja nuorten metsien kunnostuskohteiden energiapotentiaalien laskenta

Varttuneiden taimikoiden ja nuorten kasvatusmetsien kuntakohtaisista vuoden 2002 pinta-aloista (metsämaalla) sekä vuonna 1997 inventoiduista metsänhoidollisista työtarpeista (Tomppo ym. 1998) laskettiin metsäenergian tuotantoon sopivat pinta-alat (Taulukko 1, Taulukko 2). Koko Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueella varttuneista taimikoista keskimäärin 20 % oli hoitotarpeessa vuosina 2002-2006 (Tomppo ym. 1998). Nuorten kasvatusmetsien hoitotarve oli vastaavasti 25 %. Kuntakohtaisia toimenpidearvioita ei ollut käytettävissä. Samoin tietoja hoitotarpeen jakautumisesta kasvupaikkatyyppien, puustoisuuden tai puulajisuhteiden suhteen ei ollut käytettävissä. Laskennassa käytettiin siis VMI9-tietojen pohjalta staattista tarkastelujakson työtarpeiden keskiarvoa, eikä se sisältänyt vuotuista työtarpeiden vaihtelua.

Taulukko 2. *Metsäenergiapotentiaalien laskennan kuvaus. VMI9:n ajantasaistetuista pinta-ala tiedoista johdettiin vuosikohtaiset arviot.*

1. Kuntakohtaiset VMI9:n vuonna 2002 ajantasaistetut pinta-ala tiedot varttuneista taimikoista, nuorten metsien kunnostuskohteista sekä uudistuskypsistä metsistä.
2. Metsäkeskusalueen keskimääräiset tiedot puuston käsittelytarpeista vuosina 2002–2006 edellä mainituissa kehitysluokissa, sekä arvio kuusikoiden osuudesta uudistuskypsissä metsissä (Tomppo ym. 1998).
3. Työtarpeessa olevat keskimääräiset pinta-ala t kohtien 1. ja 2. perusteella.
4. VMI9:n aikajakson 2002-2006 pinta-alojen jakaminen vuositason.
5. Työlajikohtaiset energiasisällöt; varttuneiden taimikoiden hoito $25 \text{ m}^3/\text{ha} = 50 \text{ MWh}/\text{ha}$, nuoret kasvatusmetsät $50 \text{ m}^3/\text{ha} = 100 \text{ MWh}$ (Maa- ja metsätalousministeriö 2006b), kuusen uudistamisalojen latvusmassa $110 \text{ MWh}/\text{ha}$, kantojen ja juurakoiden $130 \text{ MWh}/\text{ha}$ (Hakkila 2004).
6. Oletus teknis-taloudelliseksi energiapotentiaaliksi 50 % enimmäismäärästä (Hakkila 2004).
7. Työtarpeessa olevien työlajikohtaisten pinta-alojen kertominen työlajikohtaisella energiasisällöllä kohtien 3. ja 4. perusteella.

Käsittelytarpeessa olleita pinta-aloja vastaavat energiasisällöt saatiin kertomalla ne keskimääräisillä energiasisällöillä (MWh/ha). Varttuneiden taimikoiden energiasisältö oli $25 \text{ MWh}/\text{ha}$ (Laitila Juha, Metsäntutkimuslaitos; kirjallinen tieto 10.4.2007) (Taulukko 2). Nuorten kasvatusmetsien kunnostuskohteilla energiapuukertymän oletettiin olevan keskimäärin $50 \text{ m}^3/\text{ha}$ (Maa- ja metsätalousministeriö 2006a). Siten nuorissa kasvatusmetsissä hehtaarikohtainen, keskimääräinen energiasisältö oli 100 MWh ,

kun puun energiasisältö on 2 MWh kiintokuutiometriä kohti (Hakkila 2004, Maa- ja metsätalousministeriö 2006a). Kun metsänhoitotarvetta koskevat pinta-alat energiasisältöineen jaettiin viidellä, saatiin selville kunnittaiset varttuneiden taimikoiden ja nuorten metsien vuotuiset energiasisällöt. Teknis-taloudellisesti korjuukelpoinen potentiaali oli laskelmissa 50 %, mikä vastaa valtakunnan keskitasoa (Hakkila 2004) sekä Länsi-Suomen alueen keskiarvoa (Maa- ja metsätalousministeriö 2006a, ks. myös Ranta 2003).

1.2.3 Kuusen uudistamisalojen latvusmassan sekä kantojen energiapotentiaalien laskenta

Vuonna 2002 tavoite 2 –alueella oli uudistuskypsiä metsiä 78 100 hehtaaria (taulukko 1). Kuusikoiden uudistamisalojen latvusmassan laskentaa varten selvitettiin ensimmäiseksi Etelä-Pohjanmaan kuusivaltaisten uudistuskypsien metsien pinta-ala metsämaalla. Vuonna 1997 uudistuskypsiä kuusikoita oli 34,7 % metsämaan uudistuskypsästä pinta-alasta (Tomppo ym. 1998). VMI9:n maastotöiden (1997) ja VMI9:n täydennyksen (2002) välillä kuusen osuus puuston tilavuudesta oli vähentynyt metsäkeskuksen alueella 10 prosenttiyksikköä. Näin ollen keskimääräisen uudistuskypsien kuusikoiden pinta-alan oletettiin olevan 32 % kaikista metsämaan uudistuskypsistä kohteista, eli kaikkiaan 24 992 hehtaaria. Tästä keskimäärin 23 % eli 5 748 hehtaaria oli tarkastelujaksolla 2002-2006 hakkuun tarpeessa (Tomppo ym. 1998).

Kuusen latvusmassaa saadaan hakkuun jälkeen Hakkilan (2004) mukaan 100-120 MWh/ha. Laskennassa käytettiin energiasisältöä 110 MWh/a (Taulukko 2). Kertomalla pinta-alat ja energiasisällöt, saatiin selville kuusen uudistamisalojen hakkuutähdehakkeen energiapotentiaalin teoreettinen enimmäismäärä. Tästä teknis-taloudellisesti korjuukelpoiseksi oletettiin 50 % (Hakkila 2004). Kun toisen 5-vuotiskauden tarkastelujakson hakkuutarpeessa ollut kuusikoiden uudistusala jaettiin viidellä, saatiin vuotuinen kuusikoiden uudistamisarve sekä sitä vastaavat energiapotentiaalit selville.

Kuusen uudistamisaloilta korjattavien kantojen ja juurakoiden energiapotentiaalin laskennassa käytettiin samoja uudistuskypsien kuusivaltaisten metsien pinta-alatietoja kuin kuusen latvusmassan laskennassa. Kantojen ja juurakoiden energiasisältö oli 130 MWh/ha (Hakkila 2004). Lisäksi arvioitiin kantojen ja juurakoiden energiapotentiaali UPM:n esittämän energiasisällön, 200 MWh/a perusteella (UPM...2006).

1.2.4 Yksityismetsien työtilastot

Tulosten luotettavuuden arvioimiseksi ja nykyhetken metsäenergian tuotantopotentiaalin määrittämiseksi varttuneiden taimikoiden ja nuorten metsien kunnostussuoritteita

koskevat metsänhoitoyhdistyskohtaiset, vuoden 2004 työtilastot saatiin Metsänomistajien liitto Länsi-Suomen vuosikertomuksesta (Metsänomistajien... 2005). Työmääriä tarkasteltiin myös Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen kanssa (Kuusela 2006, sähköposti 8.8.2006). Metsänomistajien liiton tilastoista saatiin myös kunnittaiset puutavaralajeittaiset hakkuumäärät ja -pinta-alat. Suurten metsänhoitoyhdistysten (mm. Metsänhoitoyhdistys Lakeus) osalta kokonaistyömäärät jyvitetiin kuntatasolle VMI9:n täydennyksen (2002) kuntakohtaisten metsämaata koskevien pinta-alatietojen avulla. Koska metsänhoitoyhdistysten arkistoissa on mukana tilastoidut yksityismetsiä koskevat luvut, saatiin hakkuita koskevat valtion, kuntien, seurakuntien, säätiöiden ja yhtiöiden työmääräarviot kertomalla yksityismetsien hakkuumäärät kertoimella 1,04 (Metsätilastollinen... 2005). Vastaavalla tavalla yksityismetsien varttuneiden taimikoiden ja nuorten metsien kunnostusalat saatiin kertoimella 1,13.

Vuonna 2004 uudistushakkuiden määrä oli Tavoite 2 –alueen yksityismetsissä 784 000 m³, mistä kuusitukin osuus oli 265 000 m³ (Metsänomistajien liitto... 2005). Uudistuskypsiä kuusivaltaisten metsiköiden kuntakohtaisia kokonaispinta-aloja eikä hakkuutarpeita ollut käytettävissä. Sama koski kuusitukin jakaumaa eri hakkuutapojen kesken (ks. Tomppo 1998, Metsänomistajien... 2005, Metsätilastollinen... 2005). Kuntatason laskentaa tarkennettiin sekä VMI9:n kuusitukkimäärien että käytännön kuusitukkikertymäärävion avulla. Kuusitukista oletettiin kertyvän 90 % uudistushakkuista Etelä-Pohjanmaan olosuhteissa (Janne Muhonen Metsäliitto; suullinen arvio 17.11.2006). Siten hakkuumääriä ja pinta-aloja vertaamalla saatiin kuusikoiden uudistamisalaksi arviolta 1570 hehtaaria, mikä koskee kaikkia metsänomistajia.

1.2.5 Laskentaohjelmat

Laskelmat tehtiin Excel-taulukkolaskentaohjelmalla kuntatasolle sekä koko tarkastelualueelle. Tuloksissa esitettiin työlajeittain metsäenergian teoreettinen enimmäispotentiaali, teknis-taloudellinen korjuupotentiaali (50 %) enimmäismäärästä sekä VMI9-pohjainen arvio vuositason tuotantopotentiaalista. Vuositason tuotantopotentiaalien vertailuarvot laskettiin vuoden 2004 työtilastoista (Metsänomistajien liitto... 2005).

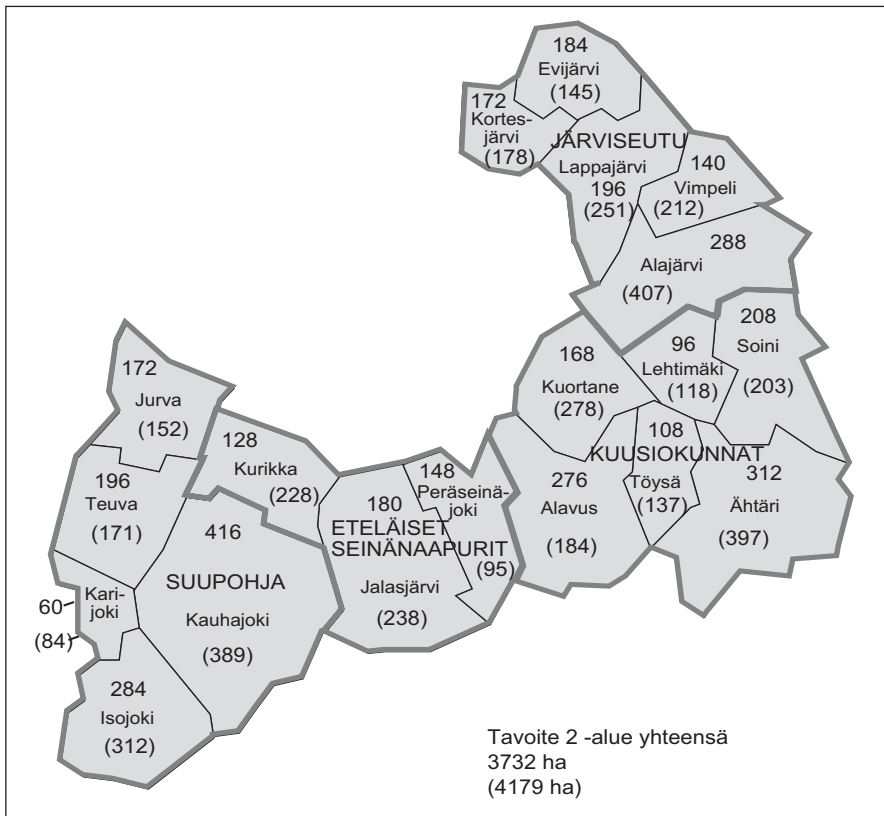
1.3 TULOKSET

1.3.1 Varttuneiden taimikoiden energiapotentiaali

Etelä-Pohjanmaan tavoite 2 –alueella varttuneita taimikoita oli kaikkiaan 93 300 hehtaaria vuoden 2002 tilanteessa. Varttuneiden taimikoiden energiapotentiaalın teoreettinen enimmäismäärä oli 933 GWh, jos hehtaarikohtainen energiasisältö oli 50 MWh/ha ja hoitotarve 20 %. Hoitotarpeessa olleiden varttuneiden taimikoiden

vuotuinen energiasisältö oli 187 GWh/a, josta korjuukelpoinen energiasisältö (50%) oli 93 GWh/a (Taulukko 3).

Vuonna 2004 tavoite 2 –alueen yksityismetsien varttuneita taimikoita hoidettiin 3 692 hehtaarella. Kun vuoden 2004 toteutuneeseen työmäärään lisätään muiden maanomistajien metsät, tavoite 2 –alueen laskennallinen taimikonhoitotarve oli 4 179 hehtaaria. Tätä vastaava (50 MWh/ha) tuotantopotentiaali oli 209 GWh/a (Kuva 1, Taulukko 3).



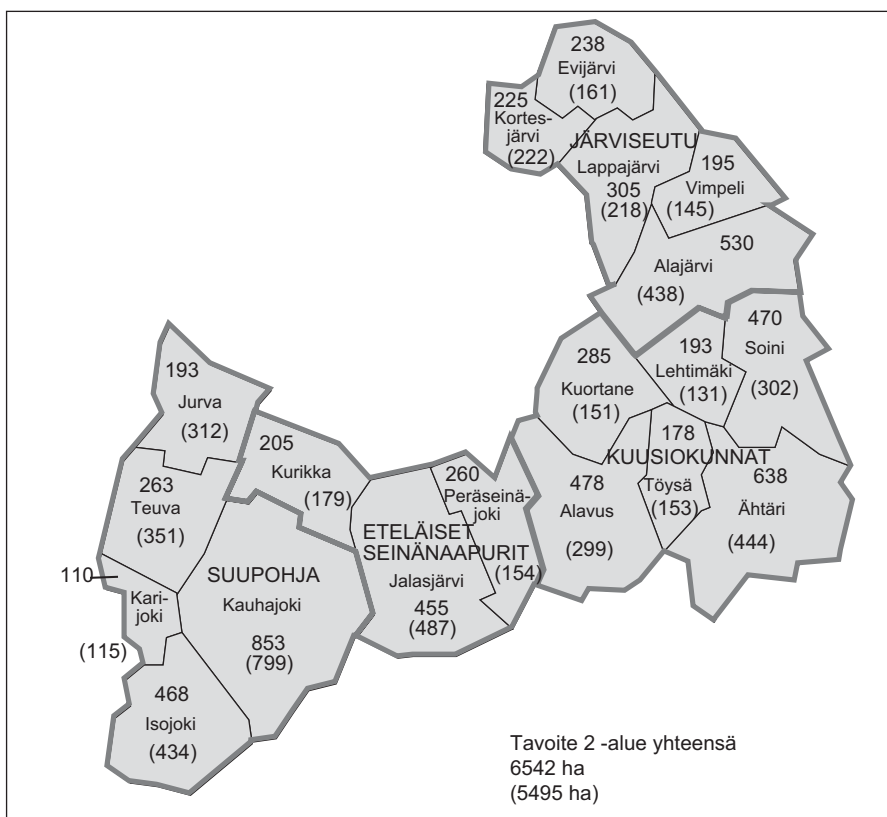
Kuva 1. Varttuneiden taimikoiden vuotuinen hoitotarve hehtaareina VMI9:n mukaan sekä suluisissa toteutuneet työmäärät (tuotantopotentiaalit) hehtaareina. Energiasisältö oli 50 MWh/ha.

1.3.2 Nuorten kasvatusmetsien energiapotentiaali

Etelä-Pohjanmaan tavoite 2 –alueella nuoria kasvatusmetsiä oli kaikkiaan 261 500 hehtaaria vuonna 2002. Hoitotarpeessa olleiden nuorten kasvatusmetsien (25%) energiasisällön teoreettinen enimmäismäärä oli 6 538 GWh (65 375 ha). Vuositasolla nuorten metsien kunnostuskohteiden kokonaisenergiapotentiaali oli 1 308 GWh, jos energiasisältö oli 100 MWh/ha. Eniten potentiaalia oli Kauhajoella ja vähiten

Karijoella. Korjuukelpoisia nuoren metsän kunnostuskohteita oli vuositasolla 6 538 hehtaaria (50 %). Tämä vastasi 654 GWh:n energiasisältöä (Taulukko 3).

Vuonna 2004 nuoria metsiä kunnostettiin tavoite 2 –alueen yksityismetsissä 4 854 hehtaaria (Kuva 2). Muiden omistajien metsät mukaan lukien laskennallinen työmäärä oli 5494 hehtaaria, mikä vastasi tuotantopotentiaalia 549 GWh/a (Taulukko 3).



Kuva 2. Nuorten kasvatusmetsien vuotuinen hoitotarve VMI9:n mukaan sekä suluissa toteutuneet työmäärät (tuotantopotentiaalit) hehtaareina. Energiasisällön saa kertomalla kulloisenkin pinta-alan lukuarvolla 100 MWh/a. Huomaa pyöristyserot kuvan ja tekstin välillä.

Taulukko 3. Metsäenergiapotentiaalit. Selitykset VMI9max = metsäenergiapotentiaalin teoreettinen enimmäismäärä (GWh), VMI9 = vuotuinen teknis-taloudellisesti korjuukelpoinen potentiaali (GWh/a) sekä Työtilastot = yksityismetsien tilastojen perusteella laskettu vuotuinen tuotantopotentiaali (GWh/a). Suluissa prosentteina (%) suhteelliset osuudet. VMI9max sekä VMI9 samat prosentit. VMI = valtakunnan metsien inventointi.

	VMI9max		VMI9	Työtilastot	
Varttuneet taimikot	933	(11%)	93	209	(22%)
Nuorten kasvatusmetsät	6 538	(74 %)	654	549	(58%)
Kuusen uudistamisalojen latvusmassa	632	(7%)	63	86	(9%)
Kuusen uudistamisalojen kannot	747	(8%)	74	102	(11 %)
Yhteensä	8 850	(100%)	884	946	(100%)

1.3.3 Uudistuskypsien kuusikoiden latvusmassapotentiaali

Uudistuskypsiä kuusikoiden pinta-ala oli Etelä-Pohjanmaan tavoite 2 –alueella 24 992 hehtaaria, mistä hakkuun tarpeessa oli 5 748 hehtaaria. Siten uudistushakkuun tarpeessa olleiden kuusikoiden latvusmassan energiapotentiaalin teoreettinen enimmäismäärä oli 632 GWh. Vuositasolla uudistuskypsiä kuusikoita oli 1 150 hehtaaria, ja niiden energiapotentiaali oli 126 GWh/a. Tästä puolet eli 63 GWh/a oletettiin teknis-taloudellisesti korjuukelpoiseksi. Suupohjassa ja Ähtärissä kuusen uudistusaloja ja latvusmassapotentiaalia oli eniten (Taulukko 3, Kuva 3).

Vuonna 2004 kuusikoiden uudistusala oli arviolta 1 570 hehtaaria kaikkien metsänomistajien osalta. Jos latvusmassaa korjattiin 785 hehtaarilta, sitä vastaava tuotantopotentiaali oli 86 GWh/a. Kuusikoiden uudistamisaloilta (5 748 ha) saatavan kantojen ja juurakoiden energiapotentiaalin teoreettinen enimmäismäärä oli vastaavasti 747 GWh. Vuositasolla (1 150 ha) energiapotentiaali oli 149 GWh, mistä korjuukelpoiseksi oletettiin puolet eli 74 GWh/a (Kuva 3, Taulukko 3). Mikäli kantojen ja juurakoiden energiasisältö olisi ollut 200 MWh/ha, korjuukelpoinen energiasisältö olisi ollut 115 GWh/a.

Vuonna 2004 kuusikoiden uudistuspinta-ala oli arviolta 1 570 hehtaaria kaikkien metsänomistajien osalta. Jos kantoja ja juurakoita korjattiin 785 hehtaarilta, sitä vastaava tuotantopotentiaali oli 102 GWh/a. Energiasisällöllä 200 MWh/ha, tuotantopotentiaali olisi 157 GWh/a. Jos kannoista ja juurakoista hyödynnettäisiin 130 MWh/ha:n energiasisällöllä vain noin 13 % (Hakkila 2004), tuotantopotentiaali olisi 27 GWh/a.



Kuva 3. Kuusikoiden uudistamisalojen latvusmassan sekä kantojen ja juurakoiden teknis-taloudellisesti korjuukelpoiset energiasisällöt (GWh/a) kokonaisluvuiksi pyöristettynä VMI9:n perusteella.

1.4 TULOSTEN TARKASTELU

Tutkimuksen tavoitteena oli arvioida Etelä-Pohjanmaan tavoite 2 –alueen metsäenergiapotentiaali nykyhetkellä vuonna 2002 päivitettyjen VMI9:n kuntakohtaisten metsävaratietojen sekä Puuenergian teknologiaohjelman loppuraportissa esitettyjen energiasisältöjen ja teknis-taloudellisten korjuuteknisten potentiaalitietojen avulla (Hakkila 2004). Lisäksi tavoitteena oli verrata metsäenergian hankitaan soveltuvien kohteiden pinta-aloja ja tuotantopotentiaalia vuoden 2004 toteutuneisiin työmääriin (Metsänomistajien... 2005).

Lähtötietojen perusteella oli mahdollista laskea tarkastelualueen metsäenergiapotentiaalit. Metsäenergian vuotuinen tuotantopotentiaali oli noin 900 GWh sekä ajantasaisesti VMI9:n että käytännön metsätyötilastojen perusteella. Vertailun luotettavuuden parantamiseksi Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueen työmääriä ja metsämaan pinta-aloja (Metsätilastollinen 2005...) verrattiin metsänhoitoyhdistysten tilastoihin (Metsänomistajien... 2005). Vertailussa tavoite 2 –alueen metsämaan (6 844 km²; vuosi

2002) ja Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen metsämaan pinta-alan (12 740 km²) suhde oli 53,7 % (Metsätilastollinen... 2005). Varttuneiden taimikoiden työmäärät olivat 52 % Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueella vuonna 2004 toteutetusta, metsätilaston mukaisesta 9 016 hehtaarin työmäärästä. Vastaavasti nuorten metsien kunnostuspinta-ala oli 53,1 % koko metsäkeskusalueen 10 347 hehtaarin työmäärästä. Kuusikoiden uudistamisalan arvio oli työtilastoissa 1 570 hehtaaria, kun se VMI9:n perusteella oli 1 150 hehtaaria. Näin ollen tutkimuksen tulos vuotuisen tuotantopotentiaalin osalta (noin 900 GWh) oli realistinen VMI9:n sekä työtilastojen pohjalta.

Teoreettista enimmäispotentiaalia sekä vuotuista teknis-taloudellista korjuupotentiaalia koskevien tulosten vertailu ei kuitenkaan onnistunut riittävän luotettavasti. Tavoite 2 –alueen ja Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalueen osalta ei ole olemassa aiempia Valtakunnan metsien inventointiin perustuvia metsäenergiapotentiaalitietoja tulosten vertailun tueksi. Helynen (1999), Elo (2006) sekä Pöyry yhdessä Maa- ja metsätalousministeriön (2006b) kanssa ovat esittäneet metsäenergiapotentiaalilaskelmia suuremmille tarkastelualueille. Helysen (1999) mukaan entisen Vaasan läänin alueella nuorten metsien sekä uudistushakkuualueiden metsäenergiapotentiaali oli 610 000 m³ (1 220 GWh) vuoden 2010 tilanteessa. Metsätilastollisen vuosikirjan (2005) metsäpinta-alojen perusteella tästä kohdentui tavoite 2 –alueelle noin 40 % eli 488 GWh, mikä on aliarvio tämän tutkimuksen tuloksiin verrattuna. Helysen (1999) laskelmien jälkeen metsäenergian käyttö on kasvanut yhdessä metsien kasvun kanssa.

Pöyryn ja Maa- ja metsätalousministeriön (2006b) Pöyryn omiin tietoihin perustuvien laskelmien mukaan vuoden 2010 päästökauppatilanteeseen ennakoitu teknis-taloudellinen metsäenergian korjuupotentiaali on Etelä-Pohjanmaan liiton alueella 730 GWh, mistä 26 % painottui nuoriin metsiin toisin kuin tässä tutkimuksessa. Tulos ei ole yhdenmukainen Laitilan ym. (2003) eikä Rannan (2003) tutkimusten kanssa. Etelä-Pohjanmaalla on nimenomaan runsaasti nuoria kasvatusmetsiä VMI9:n mukaan (Metsäntutkimuslaitos... 2006). Aluetason vertailuja hankaloittaa se, että Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalue sisältää Etelä-Pohjanmaan liiton alueen lisäksi osia Pohjanmaan maakunnasta sekä Keski-Pohjanmaasta.

Tämän tutkimuksen tulokset ovat suuntaa antavia arvioita, jotka palvelevat käytännön tietotarpeita ja päätöksentekoa. Arviot eivät päde suoraan kuntatasolla lukuisten laskentaoletusten (ks. Helynen 1999) takia. Tässä tutkimuksessa sovellettu menetelmä oli VMI9-pohjainen, mutta yksinkertaisempi kuin Laitilan ym. (2003) leimikkorajoitteet huomioon ottaneessa tutkimuksessa. Metsänhoitotarpeiden osalta jouduttiin käyttämään VMI9:n metsäkeskusalueittaisia keskiarvoja, sillä kuntakohtaiset VMI9:n esittämät työtarpeet eivät olleet tutkimusresurssien puitteissa käytettävissä. Siten puhtaasti tieteellisesti perustellun laskentamenetelmän kehittäminen ei ollut tässä tutkimuksessa mahdollista. Toisaalta käytännön työtilastoihin (Metsänomistajien liit-

to... 2005, Metsätalostollinen... 2005) kirjatuista varttuneista taimikoista sekä nuorten metsien kunnostuskohteista osa on sellaisia, joista ei kerry lainkaan energiapuuta.

Kantojen ja juurakoiden hyödyntämistä (50%) oli tämän tutkimuksen laskelmissa suurempi kuin Hakkilan (2004) valtakunnallinen keskiarvo (13 %), sillä kantoenergian hankintamäärät ovat tavoite 2 –alueella kasvaneet parin viime vuoden aikana. Maa- ja metsätalousministeriön sekä Pöyryn laskelmissa kantojen hyödyntämistä oli Etelä-Pohjanmaan maakunnassa noin 25 % (Maa- ja metsätalousministeriö... 2006b). Nuorten metsien kunnostuskohteiden hyödyntämistä 50 % (Hakkila 2004) oli lähes sama kuin Helysen (1999) tutkimuksessa (48 %). Latvusmassan hyödyntämistä oli Helysen (1999) tutkimuksessa 60 %, kun se tässä tutkimuksessa oli Hakkilankin (2004) käyttämä 50 %.

Käytännössä energiapuukertymät vaihtelevat kohteittain. Kuusen uudistamisalojen latvusmassan sekä kantojen ja juurakoiden energiasisältöjen osalta sovellettiin energiasisältöjä, jotka olivat keskiarvoja Hakkilan (2004) esittämistä lukuarvoista. Laskenta toi esille myös energiasisältöjen vaihtelut kantojen ja juurakoiden osalta.

Vuoden 2004 metsätyötilastot olivat uusimmat käytettävissä olevat ja 2000-luvun alkupuolen keskiarvoja kuvaavat. Vuoden 2005 tilastoissa, joita ei laskentahetkellä ollut kaikilta osin vielä käytettävissä, korostuu metsäverojärjestelmän muutoksen aiheuttamat poikkeuksellisen suuret kuusikoiden uudistusalat. VMI9:n perusteella uudistuskypsien kuusikoiden määrä oli vähentynyt vuosien 1997 ja 2002 välillä, mikä selittyy osin kuusipuun hyvällä kysynnällä, mutta myös osin metsäverotuksen siirtymävaiheen loppuvuosien hakuilla. Kuusikoiden pinta-ala oli vastaavasti vähentynyt noin kolme prosenttiyksikköä kaikki kehitysluokat huomioon ottaen.

Soiden ennallistamiskohteet eivät olleet laskelmissa mukana metsäenergian lähteinä. Sama koskee vajaatuottoisia ja heikkolaatuisia puustoja sekä metsätuhoalueita, jotka sopisivat metsäenergian raaka-ainelähteiksi. Tutkimusaineistona käytetyt työtilastot (Metsäomistajien liitto... 2005) sisälsivät kaikki, myös maankäytön muutokset huomioon ottavat muut hakuut. Asuntoalueiden tonttihakuut sekä sähkö- ja voimalinjahakuut ovat metsäenergian hankintaan sopivia kohteita siinä missä pellonraivauskohteetkin. Kantojen nostoon sopimattomat kohteet, kuten metsä- ja luonnonsuojelulain mukaiset erityiskohteet vaikuttavat käytännön tarkasteluun.

Metsäenergian käyttö lisääntyy lähivuosina mm. viimeisimpään hallitusohjelmaan kirjattujen tavoitteiden pohjalta. VMI10:n perusteella jatkossa laskettavat potentiaalit tulevat olemaan nykyistä suurempia (Korhonen ym. 2006). Metsäkeskusten laatimien metsäsuunnitelmien aluetason yhteenvetotietoja ei laskelmissa käytetty, sillä se ei ollut tutkimusresurssien puitteissa mahdollista. Metsäsuunnitelmätiedot perustuvat

kulloiseenkin metsäsuunnittelijan osittain subjektiiviseen silmämääräiseen arvioon puuston tilavuuksista ja energiapuukertymistä. Jatkossa tarvitaankin vertailututkimuksia VMI10:n sekä metsäsuunnitelmatietojen kesken. Toisaalta käytännössä yksityiskohtaiset metsäenergian korjuumäärät olisivat tarkasti laskettavissa metsäyhtiöiden tietojärjestelmistä, mikä ei kuitenkaan ole mahdollista liikesalaisuuden takia.

Tutkimuksessa on haluttu tuoda esille käytännön tarpeita palveleva laskentatapa, jota muutkin kansalliset metsäenergiահankkeet voisivat vapaasti soveltaa metsäenergian hankintaa koskevan päätöksenteon tukena. Paikkatietojärjestelmien ja metsäsuunnittelumenetelmien kehittyessä kuntatason metsäenergiapotentiaaleja olisi tarpeen tutkia tarkemmin esimerkiksi laserkeilauksen avulla. Metsäenergiapotentiaalien inventoinnin sisällyttäminen valtakunnan metsien inventointiin olisi varmallalla tieteellisellä pohjalla, ja sen tulokset palvelisivat kaikkia tiedon käyttäjiä tasapuolisesti valtakunnan tasolta aina kuntatasolle asti. Puukauppatilastojen yhteyteen on tarpeen tilastoida vuotuiset metsäenergian hankintamäärät sekä kuusikoiden latvusmassan että kantojen nosto-alueiden pinta-alat.

KIITOKSET

Erikoistutkija Kari T. Korhonen ja tutkija Sakari Tuominen Metsäntutkimuslaitoksesta konsultoivat VMI-aineiston laskennan ja käytön osalta. Metlan professori Erkki Verkasalo sekä tutkijat Anssi Ahtikoski, Paula Jylhä ja Jani Heikkilä Metlasta antoivat laskennan avuksi arvokkaita neuvoja. Metsänomistajien liitto Länsi-Suomen aluepäällikkö Esko Ala-Heikkilä ja toimistosihteeri Maija-Leena Rasku samoin kuin metsänparannuspäällikkö Markku Kuusela Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksesta avustivat käytännön työtilastojen soveltamisessa. Hankintaesimies Heikki Sippola, korjuuesimies Tero Hyvärinen ja ostoiesimies Janne Muhonen Metsäliiton Seinäjoen piiriltä opastivat metsäenergian käytännön hankintamäärissä. Tutkija Juha Laitila Metsäntutkimuslaitoksen Joensuun toimintayksiköstä antoi arvokkaita ja rakentavia kommentteja käsikirjoitukseen. Kaikille edellä mainituille tutkimuksessa avustaneille parhaimmat kiitokset.

LÄHTEET

- Elo, J. 2006. Energia Etelä-Pohjanmaalla. Etelä-Pohjanmaan talous 1/2006: 9-11.
- Hakkila, P. 2004. Puuenergian teknologiaohjelma 1999-2003. Metsähakkeen tuotantoteknologia. Loppuraportti. Tekes. Teknologiaohjelmaraportti 5.
- Helynen, S. 1999. Production and consumption potentials for bioenergy in Finland to the year 2010. VTT publications 404.
- Kansallinen metsäohjelma 2010. 1999. Maa- ja metsätalousministeriö. MMM:n julkaisuja 2.
- Korhonen, K.T. , Heikkinen, J. , Henttonen, H., Ihalainen, A. , Pitkänen, J. & Tuomainen, T. 2006. Suomen metsävarat 2004-2005. Metsätieteen aikakauskirja 1B: 183-221.
- Laitila, J. , Sikanen, L. , Asikainen, A. , Tahvanainen, T. & Korhonen, K. T. 2003. Forest energy potential of young stands –methods of estimation and significance in Finland. Bioenergy2003. International Nordic Bioenergy Conference From 2nd to 5th of September 2003. Proceedings. ss. 171-175.
- Lampinen, A. & Jokinen, E. 2006. Suomen maatalojen energiantuotantopotentiaalit. Ekologinen perspektiivi. Jyväskylän yliopiston bio- ja ympäristötieteiden laitoksen tiedonantoja 84.
- Maa- ja metsätalousministeriö. 2006a. Metsäenergian tuotannon, korjuun ja käytön kustannustehokkuus sekä tukijärjestelmien vaikuttavuus päästökaupan olosuhteissa. Pöyry Forest Industry Consulting. 52A07161-Ejpc-1. 9.8.2006. Loppuraportti.
- Maa- ja metsätalousministeriö. 2006b. Metsäsektorin tulevaisuuskatsaus- Metsäneuvoston linjaukset metsäsektorin painopisteiksi ja tavoitteiksi. MMM:n julkaisusarja 11. 36 s. Saatavissa: http://www.mmm.fi/fi/index/ministerio/tiedotteet/tiedotearkisto/061002_kmotulevaisuus.html.
- Metsänomistajien liitto Länsi-Suomi. 2005. Etelä-Pohjanmaan Metsänhoitoyhdistysten vuosikertomukset 2004. Kansio Seinäjoen aluetoimistolla.
- Metsätalastollinen vuosikirja. 2005. <http://www.metla.fi/julkaisut/metsatilastollinen/vsk/>
- Ranta, T. 2003. Logging residues from regeneration fellings for biofuel production – a GIS-based availability analysis. Bioenergy2003. International Nordic Bioenergy Conference From 2nd to 5th of September 2003. Proceedings. ss. 176-183.
- Tomppo, E., Henttonen, H., Korhonen, K.T., Aarnio, A., Ahola, A., Heikkinen, J., Ihalainen, A., Mikkilä, H., Tonteri, T. & Tuomainen, T. 1998. Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueen metsävarat ja niiden kehitys 1968-97. Metsätieteen aikakauskirja 2B: 293-374.
- UPM. 2006. Metsäenergian hankinta. Kantopolttoaineen plussia. Moniste 14.2.2006.

2 ETELÄ-POHJANMAAN TAVOITE 2 –ALUEEN BIOENERGIIVIRRAT

Lauhanen, R. & Laurila, J. 2007

TIIVISTELMÄ

Selvityksen tavoitteena oli laskea Etelä-Pohjanmaan tavoite 2 –alueen vuotuiset, keskimääräiset bioenergiavirratt metsäteollisuuden sivutuotteiden, metsäenergian, energiaturpeen ja ruokohelven osalta. Selvityksen tulokset olivat suuntaa antavia arvioita tarkastelualueen bioenergiavirroista seutukuntatasolla. Bioenergiavirratt muuttuvat koko ajan, koska metsäteollisuustuotteiden maailmanmarkkinat vaikuttavat tuotantolaitosten vuotuiseseen ainespuun käyttöön ja raakapuuvirtoihin. Samoin toisiaan korvaavien energialähteiden hinnat, suurten laitosten päästöoikeuksien hintamuutokset sekä laitosinvestoinnit muuttavat metsäenergia, energiaturve- ja ruokohelpivirtoja. Tuloksia voidaan käyttää metsäenergian hankintaa koskevan ja bioenergian käyttöä lisäävän päätöksenteon tukena. Jaloste-, kuten puupelletti- tai klapivirtoja ei ollut mahdollista selvittää. Samoin puutalo- ja huonekaluteollisuuden sivutuotteita ei tarkasteltu. Selvityksessä esitetään tarve metsäenergian tuotantoa ja käyttöä koskeville valtakunnallisille ja alueellisille vuositilastoille.

Asiasanat: bioenergia, energiaturve, Etelä-Pohjanmaa, kuitupuu, logistiikka, kuori, purilaat, ruokohelpi, sahanpuru, sahatukit, vaneritukit.

2.1 JOHDANTO

Bioenergian käytön lisäämistarpeet on tiedostettu laajalti ilmaston muutoksen torjunnan osana. Lisäksi fossiilisten polttoaineiden hintojen nousu on lisännyt kiinnostusta biopolttoaineiden käyttöä kohtaan. Muun muassa Metsäneuvoston laatimassa, viimeisimmässä alan tulevaisuutta linjaavassa selonteossa metsähakkeen vuotuiseksi käyttötavoitteeksi on asetettu 8 miljoonaa kuutiometriä vuositasolla vuoteen 2015 mennessä (Maa- ja metsätalousministeriö... 2006b). Bioenergian ja erityisesti metsäenergian tuotannon ja käytön lisäämistarpeet on kirjattu myös uuden hallituksen hallitusohjelmaan.

Tähän saakka metsävaratietoja on perinteisesti kerätty ja laskettu metsäteollisuuden tarvitseman ainespuun osalta. Tarkkoja metsäbiomassapotentiaaleja ei ole ollut tarpeen laskea. (Hakkila 2004). Muun muassa metsäpoliittisen selonteon sekä hallitusohjelman toteutumisen seurannan kannalta tarvitaan ajan tasalla olevaa tietoa metsäenergian tuotantomääristä. Toisaalta varsinkin Etelä-Pohjanmaalla energiaturve on ollut tärkeä työllistäjä (<http://www.seamk.fi/bioenergiahanke>).

Bioenergiämäärien ja -potentiaalien lisäksi on ilmennyt tarvetta selvittää metsä-, pelto- ja turve-energian logistisia kulkusuuntia eli bioenergiavirtoja. Viimeisin Metsäntutkimuslaitoksen raakapuun kulkuvirtatutkimus on julkaistu kymmenen vuoden takaisten tuotantolaitos- ja hankintamäärätietojen perusteella (Peltola & Västilä 2001). Flyktman ym. (2005) ovat tarkastelleet energiaturpeen tuotantoa ja käyttöä maakunnittain. Flyktman ja Paappanen (2005) puolestaan ovat arvioineet ruokohelven tuotanto- ja hankintamahdollisuuksia. Uuden tiedon tuottamisen lisäksi nykyhetken bioenergiavirtoja analysoimalla voidaan löytää lisäksi mahdollisia irrationaalisia ja tehottomia kuljetusreittejä sekä arvioida bioenergiatuotannossa tarvittavia resursseja.

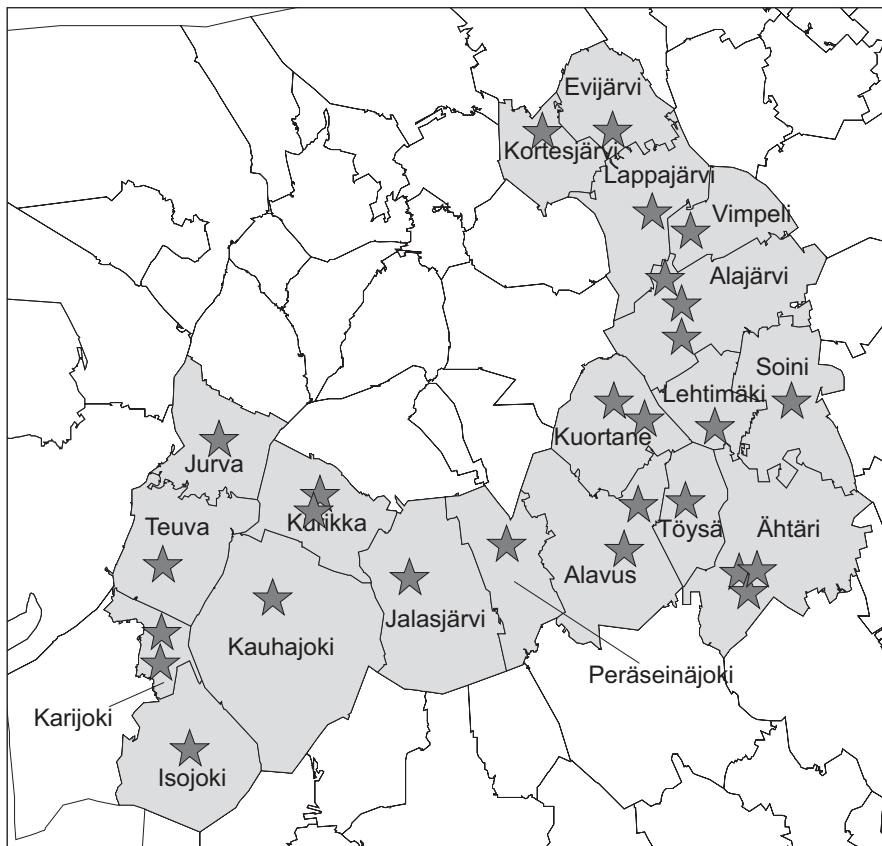
Käsillä olevan EAKR:n, Etelä-Pohjanmaan TE-keskuksen sekä Seinäjoen ammattikorkeakoulun rahoittaman bioenergian tuotannon ja käytön kehittämishankkeen toimeksiannon mukaisesti tämän selvityksen tarkoituksena oli arvioida Etelä-Pohjanmaan tavoite 2 -alueen bioenergiavirrat. Tavoite 2 -alueeseen kuuluvat Suupohjan, Eteläisten Seinänaapureitten, Kuusiokuntien ja Järviseudun seutukunnat. Tarkoituksena oli arvioida raakapuuvirroista saha- ja vaneriteollisuuden sivutuotevirrat kuoren, purun- sekä vaneriviilun sorvauksessa syntyvien tähteiden ja purilaiden osalta. Tavoitteena oli määrittää myös selluteollisuudessa syntyvän mustalipeän määrät. Metsäenergiavirta-arvioihin sisällytettiin kuusen uudistamisaloilta kerättävä latvusmassa, kannot ja juurakot sekä nuorten metsien kunnostuskohteilta saatava pienpuu. Lisäksi energiaturpeen ja ruokohelven osalta tavoitteena oli laatia arviot ja kulkuvirtakaaviot. Harvennushakkuiden latvuksia eikä kotitarvepolttopuuta sisällytetty laskelmiin. Samoin jalosteet, kuten klapit- ja pelletit jätettiin selvityksen ulkopuolelle liikesalaisuutta koskevien syiden perusteella. Puutaloteollisuutta ja sen sivutuotteita ei tarkasteltu.

2.2 AINEISTO JA MENETELMÄT

2.2.1 Raakapuuta käyttävät keskeiset tuotanto- sekä lämpö- ja voimalaitokset

Keskeiset tarkastelualueen raakapuuta käyttävät tuotantolaitokset sekä kattilatehoaan yli 20 MW:n lämpö- ja voimalaitokset selvitettiin haastattelemalla Osuuskunta Metsäliiton ja UPM:n metsän Seinäjoen piirien asiantuntijat (Heikki Sippola, Metsäliitto, 2.2.2007, Matti J. Huhtala, UPM Metsä, 15.2.2007). Haastatteluissa ei haluttu kysyä liikesalaisuuksia eikä tarkkoja puumääriä.

Lisäksi Tavoite 2 –alueen biopolttoaineiden (metsähake, sivutuotteet, ruokohelpi, turve) käyttöä arvioitiin VTT:n kattilatilaston (Helynen & Flyktman 2006) avulla sekä Metsäkeskuksen kattilatilastojen avulla. VTT:n tilastossa oli mukana vuoden 2005 osalta merkittävät Vapo oyj:n, kuntatason ja yksityisen sektorin energia- ja lämpölaitokset, joiden kattilateho ylitti 1 MW (Kuva 1). Metsäkeskuksen tilastoissa oli mukana erityisesti paikalliset toimijat, joiden kattilateho oli enintään 1 MW.



Kuva 1. Etelä-Pohjanmaan tavoite 2 –alueella sijaitsevat yli 1 MW lämpölaitokset (Helynen & Flyktman 2006, Metsäkeskus 2007).

2.2.2 Tarkastelualueen hakkuukertymät

Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueen hakkuukertymät saatiin selville Metsäntutkimuslaitoksen julkaisemista Metsätilastollisista vuosikirjoista (2003, 2004, 2005, 2006). Kunnittaiset ja seutukunnittaiset keskimääräiset vuosien 2000-2004 puutavaralajikohtaiset yksityismetsien markkinahakkuumäärät saatiin Etelä- ja Keski-Pohjanmaan alueellisesta metsäohjelmasta (Mäki-Hakola 2006). Metsäohjelmassa tilastoidut kunnittaiset markkinahakkuumäärät perustuivat Metsäntutkimuslaitoksen Metinfo-palveluun sekä metsäkeskuksen omiin alueellisiin metsäsunnitelmätietoihin (Mäki-Hakola 2006). Isojoen ja Karijoen osalta yhdistetyt hakkuumäärät jaettiin kuntatasolle VMI9-mukaisten metsämaan pinta-alojen suhteessa (Metsäntutkimus... 2006). Valtion ja yhtiöiden metsien markkinahakkuumäärät lisättiin tilastoihin kertomalla yksityismetsien luvut kertoimella 1,04 Metsätilastollisen vuosikirjan (2004) metsäpinta-alatietojen ja markkinahakkuumäärien perusteella.

2.2.3 Tarkastelualueen raakapuuvirrat

Tarkastelualueelta hakattua raakapuuta käyttävien keskeisten tuotantolaitosten puuvirtojen (tukit ja kuitupuu) pääsuunnat selvitettiin haastattelemalla Osuuskunta Metsäliiton ja UPM:n metsän Seinäjoen piirien asiantuntijat (Heikki Sippola, Metsäliitto, 2.2.2007, Matti J. Huhtala, UPM Metsä, 15.2.2007; haastattelut). Mäki-Hakolan (2006) esittämien markkinahakkuumäärien ja raakapuuvirtojen pääsuuntien perusteella määritettiin arviot seutukunnittaisista puutavaralajikohtaisista raaka-puuvirroista. Sekä Metsäliiton että UPM:n markkinaosuuksien oletettiin laskelmissa olevan 50 % kussakin kunnassa ja seutukunnassa. Metsäliiton ja UPM:n markkinahakkuumääräarvioista vähennettiin tavoite 2 -alueen keskeisten PK-sahojen puut käyttäen apuna Suomen sahat ry:n Internet-sivuilla (<http://www.suomensahat.fi>) mainittuja PK-sahojen kapasiteettitietoja ja puunkäyttömääriä. Lisäksi PK-sahoilta tiedusteltiin puhelimitse arvioita tuotanto- ja puunkäyttömääriä tutkimuskäyttöä varten ilman liikesalaisuustietoja.

Suomen sahat ry:n (<http://www.suomensahat.fi>) Internet-sivuilla mainittujen sahakoh- taisten ostoestimiesalueiden perusteella määritettiin tavoite 2 -alueelle muualta tulevat puuvirrat. Laskelmissa sahatukien hankinta jyvitetiin kuntatasolle. Esimerkiksi, jos saha hankkisi 50 000 kuutiometriä mäntytykkia 10 kunnan alueelta, olisi kuntakoh- tainen laskennallinen hankintakiintiö siten 5 000 kuutiometriä. Näin laskettiin myös tavoite 2 -alueelle muualta tulevien mänty- ja kuusitukien arviomäärä.

Puuvirtojen perusteella laskettiin metsäenergiaksi kelpaavan kuoren määräksi 12 % (Hakkila 2004) ja purun määräksi 10 % ilman hävikkiä (Verkasalo 2006: suullinen

tieto 13.11.2006) kunkin puutavaralajin kuorellisesta kiintotilavuudesta. Kuoren ja purun energiasisällöksi oletettiin 2 MWh kiintokuutiometriä kohti (Alakangas 2000). Koivutukeista laskettiin vaneriteollisuuden sivutuotteiden kokonaismääräksi 67 %, josta kuoren osuus oli 12 %. Käytännössä vanerikuutiometrin valmistukseen tarvitaan noin kolme kuutiometriä tukkia (ks. esim. <http://www.visuvesi.fi>).

2.2.4 Mustalipeän energiasisältö

Mänty- ja lehtikuitupuusta kemiallisesti valmistettavan sellun sivutuotteena syntyy mustalipeää. Mekaaniseen massanvalmistukseen kelpaamaton kuusikuitupuun tilastoidaan lisäksi havukuitupuuksi mäntykuitupuun sekaan. Tavoite 2 –aluetta lähinnä sijaitsevat sellutehtaat sijaitsevat Pietarsaareissa (UPM Wisaforest) sekä Kaskisissa, Raumalla ja Äänekoskella (Botnia). Tarkastelualueen omilta PK-sahoilta toimitetaan lisäksi sahojen hakkeita sellutehtaille.

Mustalipeän määräksi arvioitiin puolet kemiallisen sellun valmistukseen toimitettavan mänty- ja koivukuitupuun kuivamassasta. Jos kiintokuutiometri tuoretta, kuorellista havupuuta painaa 850 kg (koivupuun 900 kg/m³), ja tästä vähennetään veden massa (50 %) ja kuoren osuus (12 %) pois, silloin jäljelle jäävästä kuivamassasta puolet päätyy selluksi ja toinen puoli mustalipeäksi, muiksi jäteliemiksi ja energiaksi. Alakangas (2000) on ilmoittanut mustalipeän energiasisällöksi 13 MJ/kg. Villan (2007) mukaan 1 MWh = 3,6 GJ. Lisäksi tavoite 2 –alueelta korjattavista mänty- ja koivutukeista oletettiin selluhakkeeksi päätyvän 28 %. Käytännössä kuutiometristä sahatukkaa saadaan noin 50 % sahatavaraa, 12 % kuorta, 10 % purua ja loput sellunvalmistukseen sopivaa haketta. Tavoite 2 –alueelle toimitetuista mänty- ja koivutukeista arvioitiin myös selluhakkeen ja mustalipeän määrät. Mekaaniseen massanvalmistukseen toimitettavasta kuusisa-hanhakkeesta ei mustalipeää kerry eikä energiaa saada talteen.

2.2.5 Nuorten metsien kunnostuskohteet

Vuoden 2004 nuorten metsien kunnostuskohteiden pinta-alat saatiin Metsänomistajien liitto Länsi-Suomen vuosikertomuksista metsänhoitoyhdistyksittäin (Metsänomistajien... 2005). Koska metsänhoitoyhdistysten tilastoissa on mukana tilastoidut yksityismetsiä koskevat luvut, saatiin valtion, kuntien, seurakuntien, säätiöiden ja yhtiöiden työmääräarviot kertomalla yksityismetsien pinta-alat kertoimella 1,13 (Metsätilastollinen... 2005). Suurten metsänhoitoyhdistysten pinta-alat jaettiin kuntatasolle valtakunnan metsien 9. inventoinnin metsäpinta-alojen suhteessa (Metsäntutkimuslaitos... 2006).

Nuorten kasvatusmetsien kunnostuskohteilla energiapuukertymän oletettiin olevan keskimäärin 50 m³/ha (Maa- ja metsätalousministeriö 2006a), jolloin keskikertymää vastaava energiasisältö oli 100 MWh/ha. Puun energiasisältö oli siis keskimäärin 2 MWh kiintokuutiometriä kohti (Hakkila 2004, Maa- ja metsätalousministeriö 2006a).

Tavoite 2 –alueelle jäävä, nuorista kasvatusmetsistä saatava pienpuu laskettiin Metsäkeskuksen kattilatilaston avulla. Seutukunnittaisista kokonaiskattilatehoista arvioitiin pienpuuhakkeen käyttö. Laskelmissa 1 MW:n laitoksen oletettiin käyttävän pienpuuhaketta keskimäärin 3500 irtokuutiometriä vuodessa (Juha Viirimäki; suullinen tieto 5.6.2007). Hakekuutiometrit muunnettiin kiintokuutiometreiksi jakamalla ne kertoimella 2,5. Laskelmissa yksi kiintokuutiometri puuta sisälsi 2 MWh energiaa (Hakkila 2004). Lisäksi kattilateholtaan enintään 1 MW:n lämpölaitosten oletettiin käytännössä toimivan pienpuuhakkeella. Palaturpeen, polttoöljyn, ruokohelven ynnä muiden tukipolttoaineiden käyttö arvioitiin marginaaliseksi. Tukipolttoaineiden käyttö vaihtelee, eikä niiden käyttömäärien arviointi olisi onnistunut luotettavasti. Loput pienpuuhakkeesta arvioitiin toimitettavan tavoite 2 -alueen ulkopuolelle Vaskiluodon voiman Seinäjoen Voimalaitokselle (<http://www.vv.fi/Default.aspx?id=390929>) asiantuntijoiden kanssa käytyjen keskustelujen perusteella (Heikki Sippola, Metsäliitto; Matti J. Huhtala, UPM Metsä, puhelinhaastattelut toukokuussa 2007). Tarkasteluhetkellä vain Metsäliitto hankki nuorten metsien kunnostuspuuta, jota mm. Biowatti ja Vapo oyj edelleen toimittivat Seinäjoen Voimalaitokselle.

2.2.6 Kuusen uudistamisalojen latvusmassa sekä kannot ja juurakot

Hakkuutähdehakkeen eli kuusen uudistamisalojen latvusmassan (irtonainen latvusmassa sekä hakkuutähdepaalit) laskennassa selvitettiin ensimmäiseksi Etelä-Pohjanmaan kuusivaltaisten uudistuskypsien metsien pinta-ala metsämaalla (Metsäntutkimuslaitos... 2006). Keskimääräinen uudistuskypsien kuusikoiden pinta-ala oli 32 % kaikista metsämaan uudistuskypsistä kohteista eli kaikkiaan 24 992 hehtaaria tavoite 2 –alueella. Tästä hakkuun tarpeessa oli keskimäärin 23 % oli tarkastelujaksolla 2002-2006 (Tomppo ym. 1998).

Uudistuskypsien kuusivaltaisten metsiköiden kuntakohtaisia kokonaispinta-aloja ja hakkuutarpeita ei ollut käytettävissä. Sama koski kuusitukin jakaumaa eri hakkuutapojen kesken (ks. Tomppo 1998, Metsänomistajien... 2005, Metsätalostollinen... 2005). Siksi kuntatason laskentaa tarkennettiin sekä VMI9:n kuusitukkimäärien että käytännön kuusitukkikertymääarvioiden avulla. Kuusitukista oletettiin kertyvän 90 % uudistushakkuista Etelä-Pohjanmaan olosuhteissa (Janne Muhonen Metsäliitto;

suullinen arvio 17.11.2006). Näin ollen vuotuinen kuusikoiden uudistamisala oli 1 570 hehtaaria työtilaston perusteella sekä 1 150 hehtaaria VMI9:n perusteella.

Hakkuutähdehakkeen eli latvusmassan hehtaarikohtainen energiasisältö oli Hakkilan (2004) mukaan 100-120 MWh/ha. Laskennassa käytettiin keskiarvoa 110 MWh/a. Kantojen ja juurakoiden energiasisältö oli vastaavasti 130 MWh/ha (Hakkila 2004). Kertomalla pinta-alat ja energiasisällöt, saatiin selville kuusen uudistamisalojen metsäenergiapotentialin teoreettinen enimmäismäärä. Tästä teknis-taloudellisesti korjuukelpoiseksi oletettiin 50 % (Hakkila 2004). Kun toisen 5-vuotiskauden tarkastelujakson hakkuutarpeessa ollut kuusikoiden uudistusala jaettiin viidellä, saatiin vuotuinen kuusikoiden uudistamistarve sekä sitä vastaavat potentiaalit selville.

Kuusen uudistamisaloilta korjattava metsäenergia integroituu ainespuun korjuuseen (Hakkila 2004). Asiantuntijahaastattelujen perusteella Järviseudulta ja Kuusiokunnista latvusmassa sekä kannot ja juurakat toimitettiin Alholmens Kraft Ab:lle Pietarsaareen (50 %), ja loput (50 %) Vaskiluodon Voiman Seinäjoen voimalaitokselle. Eteläisten Seinänaapureitten ja Suupohjan seutukunnista latvusmassa, kannot ja juurakat toimitettiin Seinäjoen voimalaitokselle (Heikki Sippola, Metsäliitto; Matti J. Huhtala, UPM Metsä, puhelinhaastattelut toukokuussa 2007).

2.2.7 Energiaturve

Kunnittaiset turvetuotantoalat saatiin selville Peuran (2003) raportista. Etelä-Pohjanmaan energiaturpeen tuotantomäärät ja -alat johdettiin Flyktmanin (2005) tutkimuksesta. Peuran (2003) sekä Flyktmanin (2005) tutkimusten perusteella tavoite 2 -alueen vuotuisiksi energiaturpeen tuotantoalaksi arvioitiin 9024 hehtaaria, ja energiasisällöksi 425 MWh/ha/a. Tavoite 2 -alueen energiaturpeen käyttö laskettiin VTT:n kattilatilastosta (Helynen & Flyktman 2006). Alueen ulkopuolelle menevät turvevirrat arvioitiin asiantuntijalausuntojen perusteella (Ahti Rinnasto, Vaskiluodon voima, Kyösti Rannila, Fortum oyj, Jorma Honkanen Vapo oy; suullinen tieto toukokuu 2007).

2.2.8 Ruokohelppi

Ruokohelven kunnittaiset tuotantoalat saatiin Etelä-Pohjanmaan TE-keskuksen vuoden 2006 tilastoista. Tavoite 2 -alueeseen kuuluvan Peräseinäjoen tuotantoalan oletettiin olevan 77 % koko Seinäjoen tuotantoalasta. Flyktmanin ja Paappasen (2005) tutkimuksen perusteella ruokohelpeä kannatti toimittaa 70 kilometrin säteiseltä hankinta-alueelta leijupoltolla toimiviin lämpö- ja sähköä tuottaviin laitoksiin. Vapon

(2006) mukaan hankinta-alueen säde oli enintään 80-90 kilometriä kannattavalle ruokohelven käytölle (<http://www.vapo.fi>). Ruokohelven enimmäiskäyttömääräksi on asetettu 10 % kunkin laitoksen kiinteän polttoaineen määrästä. Peltotuotannossa ruokohelven energiasisällöksi on määritetty 22 MWh/ha/a. (Flyktman ja Paappanen 2005). Vapo oy konsultoi ruokohelven kulkuvirtoja (Marjo Lähteenmaa; puhelinhaastattelu toukokuussa 2007). Lisäksi paikallisesta ruokohelven viljelystä ja käytöstä keskusteltiin sekä Ähtärin että Kuortaneen energiaosuuskuntien edustajien kanssa (Kari Lahtela, Veli-Matti Ruismäki; neuvottelu Kuortaneella 5.6.2007, puhelu Kari Lahtelalle 12.6.2007).

2.2.9 Laskentamenetelmät

Etelä-Pohjanmaan tavoite 2 –alueen bioenergiavirrat laadittiin Excel-taulukkolaskentaohjelmalla. Tavoite 2 –alueelta ulos suuntautuvat raakapuuvirrat eriteltiin puutavaralajeittain mäntytukin, mäntykuitupuun, kuusitukin, kuusikuitupuun, koivutukin sekä lehtikuitupuun osalta. Puumääristä laskettiin kuoren, purun sekä mustalipeän määrät. Metsäenergian, energiaturpeen sekä ruokohelven osalta esitettiin vuositason tuotantopotentiaalit ja arvioitu käyttö. Päätulokset esitettiin energialähteittäin ja seutukunnittain karttamateriaalin muodossa.

2.3 TULOKSET

2.3.1 Etelä-Pohjanmaan tavoite 2 -alueelta korjattua raakapuuta käyttävät tuotantolaitokset

Tarkastelualueella ei ole kemiallista metsäteollisuutta Ähtärin Vääräkosken kartonkitehtaan toiminnan päättymisen jälkeen. Alueen kuitupuut käytetään pääosin Pohjanmaan rannikkoalueen, Pirkanmaan ja Keski-Suomen tuotantolaitoksilla. Metsä-Botnian ja M-realin tehtaat Kaskisissa, Kyröskoskella ja Äänekoskella ovat merkittäviä alueelta toimitetun kuitupuun käyttäjiä. UPM metsä toimittaa mänty- ja koivukuitupuuta erityisesti Pietarsaaren tehtailleen kemialliseen massan ja paperin valmistukseen. Kuusikuitupuuta käyttävät UPM:n Jämsänkosken tehdas sekä M-realin Kyröskosken ja Kirkniemen tehtaat mekaanisessa massanvalmistuksessa.

Etelä-Pohjanmaan tavoite 2 –alueelta koivutukit toimitetaan Visuveden, Suolahden ja Jyväskylän vaneritehtaille. UPM metsän hankkimat mänty- ja kuusitukit päätyvät pääosin Pietarsaareen Alholman sahalle. Metsäliiton hankkimat mäntytukit käytetään Merikarvian ja Teuvan sahoilla, sekä kuusitukit Kyröskosken ja Vilppulan sahoilla.

Tavoite 2 -alueen merkittävimmät sahalaitekset toimivat Teuvalla (Metsäliiton Kaskisten Teuvan saha, tukin käyttö noin 150 000 m³/a), Alajärvellä (Myllyahon saha, tukin käyttö noin 300 000 m³/a) ja Isojoella (Isojoen saha, tukin käyttö noin 250 000 m³/a). Soinissa toimiva Kohiwood on Suomen ainoita liimalevyn valmistajia, joka sahaa pienpuuta (pikkutukin käyttö noin 255 000 m³/a). Merkittäviä työllistäjiä ovat myös Akonkosken saha Töysässä (tukin käyttö noin 60 000 m³/a), Luopajärven saha Jalasjärvellä (n. 50 000 m³/a tukin käyttö) sekä Viitalan saha Peräseinäjoella (noin 50 000 m³/a tukin käyttö).

Järviseudulle toimitettiin sahatukkia muualta Etelä-Pohjanmaalta ja Keski-Suomesta noin 100 000 m³. Käytännössä sahatukit käytettiin Alajärvellä Myllyahon sahalla. Kuusiokuntien alueelle Soiniin Kohiwoodille pikkutukkia toimitettiin Keski-Suomesta noin 150 000 m³ sekä Töysään Akonkosken sahalle noin 25 000 m³ tukkia. Eteläisten Seinänaapureitten alueelle toimitettiin Jalasjärvelle Luopajärven sahalle noin 20 000 m³ tukkia sekä Peräseinäjoelle Viitalan sahalle 35 000 m³. Isojoen sahalle tuotiin Rannikolta, Satakunnasta ja Pirkanmaalta sahatukkia noin 190 000 m³. Teuvalle ja Merikarvialle toimitettiin sahatukkia noin 480 000 m³, mistä Teuvan Kaskisten sahan osuudeksi arvioitiin noin 210 000 m³ kuusitukit ja mäntytukit mukaan lukien. Siten tavoite 2 -alueelle toimitettiin muualta sahatukkia yhteensä noin 730 000 m³, josta mäntytukin osuus oli noin 529 000 m³.

Stora Enso oy:n metsäosasto aloitti puunhankinnan tavoite 2 -alueella vuonna 2007, eikä siltä osin lopullisia puunkäyttölukuja ole tässä vaiheessa mahdollista arvioida. Yhtiö on alkanut toimittaa kuusipuuta Itä- ja Kaakkois-Suomen sahoilleen ja tehtailleen sekä mäntykuitupuuta Oulun tehtailleen.

2.3.2 Etelä-Pohjanmaan tavoite 2 -alueen lämpölaitokset ja kattilat

Merkittävin päästökaupan piirin kuuluva tarkastelualueen lähellä sijaitseva laitos on Vaskiluodon voiman omistama Seinäjoen voimalaitos (Sevo). VTT:n tilaston (Helynen & Flyktman 2006) mukaiset, kattilateholtaan yli yhden megawatin laitokset vuoden 2005 osalta on esitelty sijaintikunnittain kuvassa 1. Niiden yhteenlaskettu kattilateho oli tavoite 2 -alueella noin 80 MW. Lisäksi Metsäkeskus Etelä-Pohjanmaan tilastoimat, kattilateholtaan yli 1 MW:n lämpölaitokset vuoden 2006 tilanteessa on esitelty samassa kuvassa. Kuusiokuntien alueella kattilateholtaan alle yhden megawatin lämpölaitosten yhteenlaskettu teho oli noin 12 000 MW. Vastaava lukuarvo Järviseudulla oli noin 3 000 MW, Suupohjassa 5 000 MW sekä Eteläisissä Seinänaapureissa 3 000 MW.

2.3.3 Markkinahakkuumäärät ja hakkuukertymät

Vuonna 2004 Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalueen markkinahakkuumäärä oli 3 796 000 m³ ja hakkuukertymä 4 412 000 m³. Hakkuukertymästä oli 1 700 000 m³ tukkipuuta, 2 201 000 m³ kuitupuuta ja 511 000 m³ polttopuuta. Metsäyhtiöiden omista metsistä markkinahakkuiden osuus oli 32 000 m³. Mäntytukkia hakattiin 905 000 m³, kuusitukkia 771 000 m³ ja lehtipuutukkia 23 000 m³. Mäntykuitupuuta puolestaan hakattiin 1 118 000 m³, kuusikuitupuuta 553 000 m³ ja lehtipuutukkia 530 000 m³. Näissä hakkuumäärissä on mukana pienten sahojen rahtisahaus, muttei polttopuumääriä. Tukin määrästä markkinahakkuiden 1 602 000 m³ osuus oli 94 % ja kuitupuun osalta 2 189 000 m³ eli 99 %.

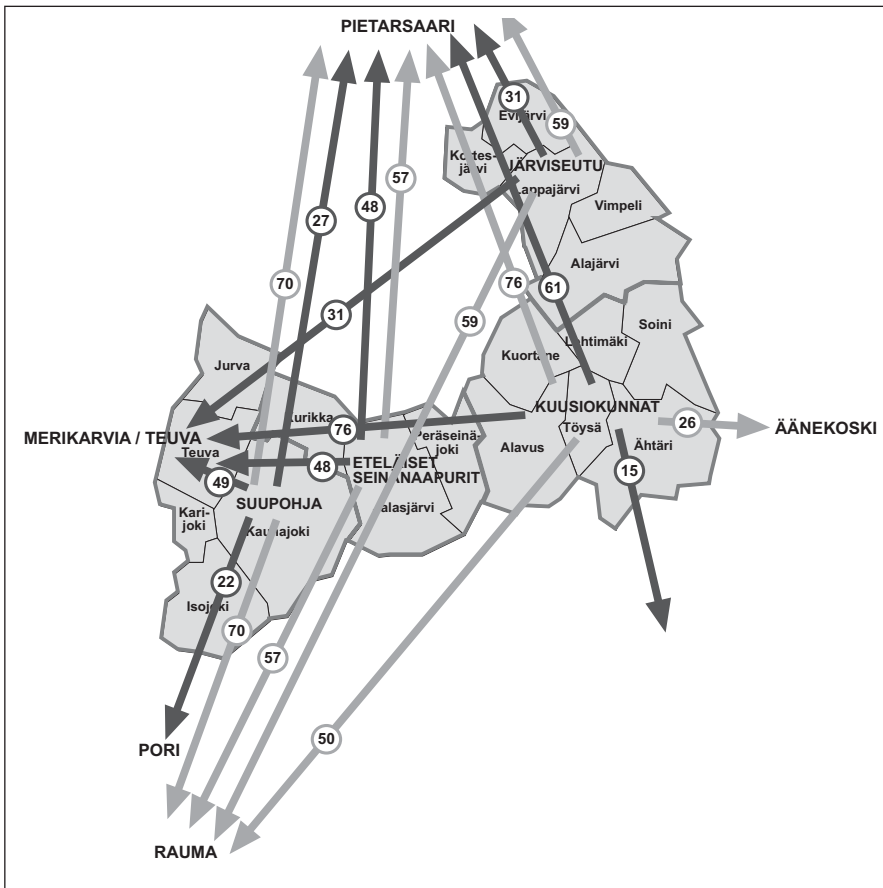
Vuoden 2004 hakkuutilastot Etelä-Pohjanmaan tavoite 2 –alueelle jyvitettyinä kuvaavat 2000-luvun alkupuolen tilannetta kuntatasolla ja yhteenlaskettuna seutukuntatasolla (Kuva 2). Vuoden 2004 hakkuumäärästä saadaan tavoite 2 –alueen kokonaishakkuumääräksi 2 171 000 m³ eli noin 57 % koko Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueen hakkuumäärästä (Mäki-Hakola 2006).

Vuonna 2006 Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueen markkinahakkuumäärä oli 3 149 000 m³ ja hakkuukertymä 3 764 000 m³. Hakkuukertymästä 1 374 000 m³ oli tukkipuuta, 1 885 000 m³ kuitupuuta ja 505 000 m³ polttopuuta. Vuonna 2006 metsäyhtiöiden markkinahakkuiden osuus Etelä-Pohjanmaalla sijaitsevista omista metsistään oli 85 000 m³ (Sevola ja Suihkonen 2007). Vuoden 2006 tilastoissa ilmenee selvästi metsäyhtiöiden hakkuumäärien kasvu yhtiöiden omissa metsissä, kun yksityismetsien puukauppa ja hakkuut vähenivät (Metsätilastollinen... 2005).

2.3.4 Seutukunnittaiset puu- ja sivutuotevirrat

VTT:n kattilatilaston (Helynen & Flyktman 2006) mukaan tavoite 2 –alueella metsäteollisuuden sivutuotevirtojen käyttö oli yhteensä 107 GWh vuonna 2005. Etelä-Pohjanmaan tavoite 2 –alueelta toimitettiin raakapuuta maakunnan ulkopuolelle kaikkiaan noin 1,9 milj. kuutiometriä. Alueelta toimitetun kuoren lämpöarvo oli 444 TWh/a sekä tukkien purun ja vaneriteollisuuden sivutuotteiden lämpöarvo noin 170 TWh/a kuntatason hakkuutilastosta (Mäki-Hakola 2006) lasketun perusteella.

Järviseudulta kertyi runsaasti mäntykuitupuuta (noin 120 000 m³) ja mäntytukkia seutukunnan muihin puutavaralajeihin verrattuna (Kuva 2). Alueen puuvirta suuntautui Pietarsaaren tehtaille, mutta mäntytukkia hankittiin myös Teuvan ja Merikarvian sahaille (Kuva 2). Kuusikuitupuuta toimitettiin rautateitse Lohjan Kirkniemen tehtaille (Kuva 3). Puun kuorta Järviseudulta kertyi runsaat 39 000 kiintokuutiometriä, ja sen

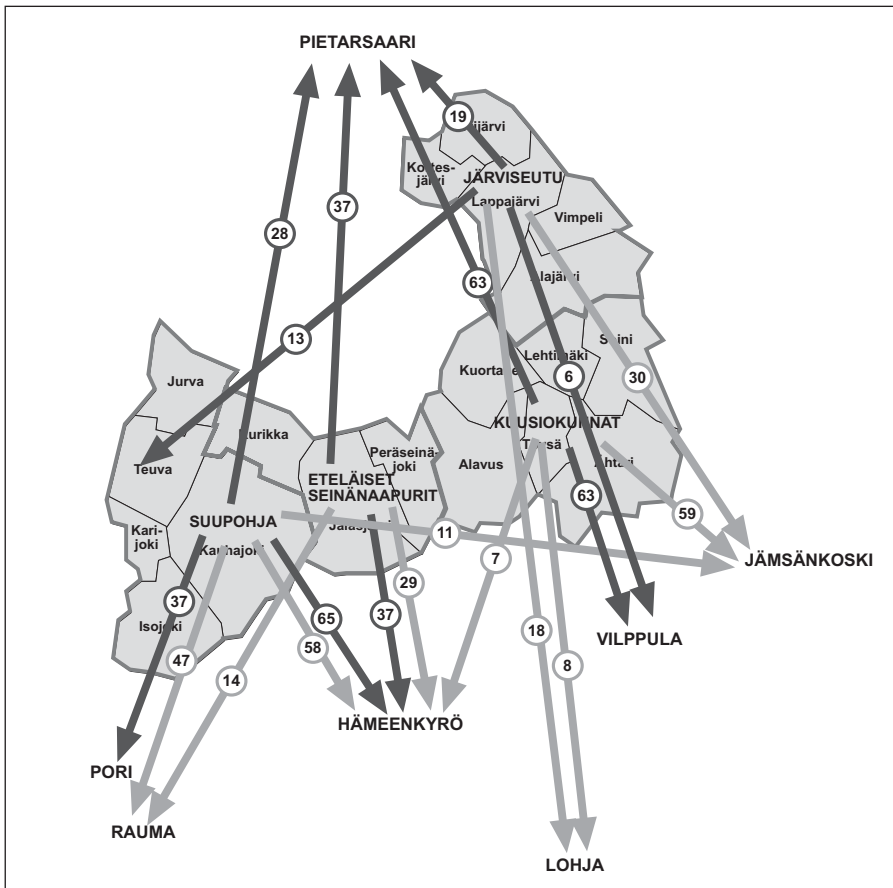


Kuva 2. Seutukunnittaiset, vuotuiset mäntyraakapuuvirrat (1000 kiinto-m³). Selitykset: tumma nuoli tukkipuu ja vaalea nuoli kuitupuu. Laskentaperusteina Mäki-Hakolan (2006) esittämä keskimääräinen kunnittainen hakkuutilasto, asiantuntijoiden kertomat raakapuutoimittusten pääsuunnat vähennettynä tarkastelualueen sahojen tukin käytöllä.

lämpöarvo oli 78 TWh/a. Purua ja vaneriteollisuuden sivutuotteita kertyi yli 11 000 m³, mikä vastasi 23 TWh:n lämpöarvoa vuositasona.

Kuusiokunnista mäntyraakapuuta hankittiin Pietarsaaren tuotantolaitoksille sekä Teuvan ja Merikarvian sahoille. Mäntykuitupuuta kulkeutui Rauman tuotantolaitosten ohella myös Äänekosken tehtaille. Kuusitukkia vietiin Vilppulan sahalle ja kuusikuitupuuta Jämsänkosken hiomoon. Kuusiokunnista kertyy eniten vaneritukkia muihin Etelä-Pohjanmaan tavoite 2 -alueen seutukuntiin verrattuna. Puun kuorta Kuusiokunnista kertyi 137 TWh/a sekä purua ja purilaita 62 TWh/a.

Suupohjasta kuusitukkia kertyi mäntytukkia enemmän. Mäntytukkien päävirrat suuntautuivat Pietarsaaren sekä Teuvan ja Merikarvian sahoille. Kuusitukit hankittiin Pietarsaaren, Porin sekä Kyröskosken sahoille. Kuusikuitupuuta toimitettiin



Kuva 3. Seutukunnittaiset, vuotuiset kuusiraakapuvirrat. Selitykset: tumma nuoli tukkipuu ja vaalea nuoli kuitupuua. Laskentaperusteina Mäki-Hakolan (2006) esittämä keskimääräinen kunnittainen hakkuutilasto, asiantuntijoiden kertomat raakapuu-toimitusten pääsuunnat vähennettynä tarkastelualueen sahojen tukin käytöllä.

Kyröskoskelle mekaanisen massan valmistukseen. Puun kuorta kulkeutui maakunnan ulkopuolelle 135 TWh/a sekä purua ja vaneriteollisuuden purilaita 49 TWh/a.

Eteläisistä seinänaapureista raakapuuta kertyi kaikkiaan noin 390 000 kuutiometriä. Koivukuitupuuta hankittiin etupäässä Kaskisten tehtaille, mutta myös Pietarsaaren kemialliseen massanvalmistukseen (Kuva 4). Kuorta seutukunnasta kertyi 93 TWh/a sekä purua ja vaneritukeista purilaita 37 TWh/a.

Lisäksi tavoite 2-alueelle toimitetusta, arviolta noin 715 000 m³:n sahatukkimäärästä saatiin kuorta noin 87 600 m³, jonka energiasisältö oli 175 TWh/a (Kuva 5). Purun osuus on 73 000 m³, ja sen energiasisältö oli 146 TWh/a.

2.3.5 Mustalipeä

Tavoite 2 –alueelta kemialliseen massanvalmistukseen toimitettavan mänty- ja lehtikuitupuun kuivamassasta noin puolet päätyy mustalipeäksi ja energiaksi (ks. Kuva 2, Kuva 4). Kaikkiaan tarkastelualueelta hakattiin mäntykuitupuuta 524 000 m³. Kun siitä vähennettiin puun kuoren osuus ja tuoremassa jaettiin neljällä, saatiin mustalipeää, jäteliemiä ja energiaa noin 98 000 000 kg. Tätä vastaava energiasisältö (13 MJ/kg) oli 354 TWh/a. Vastaavasti koivukuitupuusta (241 000 m³) saatiin energiaa 172 TWh/a. Mäntykuitupuuksi luokiteltavan kemialliseen massanvalmistukseen toimitettavan kuusikuitupuun osuutta ei voida tässä yhteydessä eritellä liikesalaisuuksia rikkomatta.

Tavoite 2 -alueelta hakattiin mäntytukkia 547 000 m³. Tästä noin 28 % eli 153 160 m³ (130 186 000 kg) päätyi selluhakkeeksi kemialliseen massanvalmistukseen. Edelleen 32 547 000 kg eli 118 TWh/a päätyi energiaksi. Vastaavasti tavoite 2 –alueelle muualta toimitetusta mäntytukista (529 000 m³) kertyi saharaketta 148 120 m³ (125 902 000 kg) (Kuva 5). Alueen ulkopuolisilla sellutehtailla siitä saatiin mustalipeää 31 475 500 kg sekä energiaa 114 TWh/a.

2.3.6 Metsäenergia

Vuonna 2004 nuoria metsiä kunnostettiin tavoite 2 –alueen yksityismetsissä 4854 hehtaaria. Muiden omistajien metsät mukaan lukien laskennallinen työmäärä oli 5494 hehtaaria. Nuoren metsän kunnostuskohteen energiasisällön ollessa 100 MWh/ha, tarkastelualueen tuotantopotentiaali oli 549 GWh/a.

Nuoren metsän kunnostuskohteiden vuotuinen tuotantopotentiaali oli Järvisseudulla 118 GWh/a, Kuusiokunnissa 148 GWh/a, Suupohjassa 201 GWh/a ja Eteläisissä seinänaapureissa 82 GWh/a. Metsäkeskuksen kattilatilaston perusteella nuorista metsistä saatavaa pienpuuhaketta käytettiin Järvisseudulla 9 GWh/a, Kuusiokunnissa 33 GWh/a, Suupohjassa 13 GWh/a sekä Eteläisissä Seinänaapureissa 8 GWh/a (Kuva 6). Näin ollen suurin osa tavoite 2 –alueen nuorten metsien energiapuusta toimitettiin laskentahetkellä Vaskiluodon Voiman Seinäjoen voimalaitokselle tuotantopotentiaalın ja käyttöarvioiden perusteella.

Vuonna 2004 tavoite 2 –alueen uudistuskypsien kuusikoiden pinta-ala oli noin 1570 hehtaaria. Vuositasolla tavoite 2 –alueen korjuukelpoisen latvusmassan vuotuinen energiasisältö oli 63 GWh. Vastaavasti kantojen ja juurakoiden osalta vuotuinen tuotantopotentiaali oli 74 GWh/a. Kuusen uudistamisaloilta kertyvää latvusmassaa sekä kantoja ja juurakoita oli mahdollista toimittaa Järvisseudulta 9 GWh/a Pietarsaaren Alholmens Kraft Ab:n voimalaan sekä toinen puoli Vaskiluodon Voiman Seinäjoen



Kuva 6. Nuorten metsien kunnostuskohteiden vuotuiset (GWh) energiavuovirrat seutukunnittain vuoden 2004 työtaloston perusteella. Kuvan luvuista on jo vähennetty energiapuun seutukunnittainen oma käyttö Metsäkeskuksen kattilatilaston perusteella.

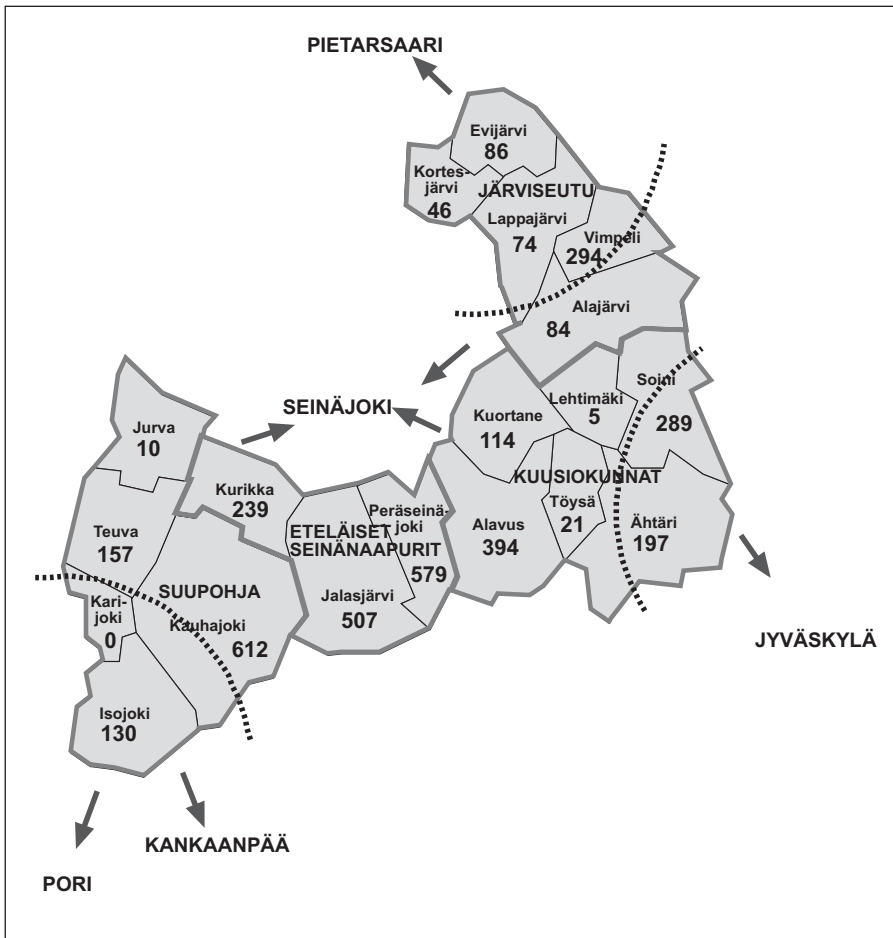


Kuva 7. Kuusen uudistamisaloilta korjattavissa oleva latvusmassa sekä kannot ja juurakot (GWh/a) eli puolet teknis-taloudellisesta korjuupotentiaalista. Ainespuun korjukseen integroitava metsäenergia kuljetetaan suurille lämpö- ja voimalaitoksille.

voimalaitokselle edellyttäen, että puolet kuusikoiden uudistamisalojen metsäenergiasta käytetään (Kuva 7). Vastaavasti Kuusiokunnista toimitetaan Alholmens Kraftille 21 GWh/a ja Seinäjoelle 21 GWh/a. Eteläisten seinänaapureitten alueelta toimitetaan 19 GWh/a ja Suupohjasta 58 GWh/a Seinäjoen voimalaitokselle (Kuva 7).

2.3.7 Energiaturve

Etelä-Pohjanmaan on energiaturpeen osalta omavarainen, eikä maakuntaan toimiteta muualta energiaturvetta (Flyktman 2005). Energiaturpeen tuotantoala on noin 10 000 ha, mikä energiasisällöltään on 4,3 TWh/a (Flyktman 2005). Tavoite 2 –alueen energiaturvepotentiaali on vastaavasti 3,8 TWh/a (9024 tuotantohehtaaria x 425 MWh/ha/a) (Kuva 8).



Kuva 8. Energiaturpeen kunnittaiset tuotantopotentiaalit (GWh/a) ja kulkusuunnat. Seutukuntien oma käyttö kuvattu tekstissä

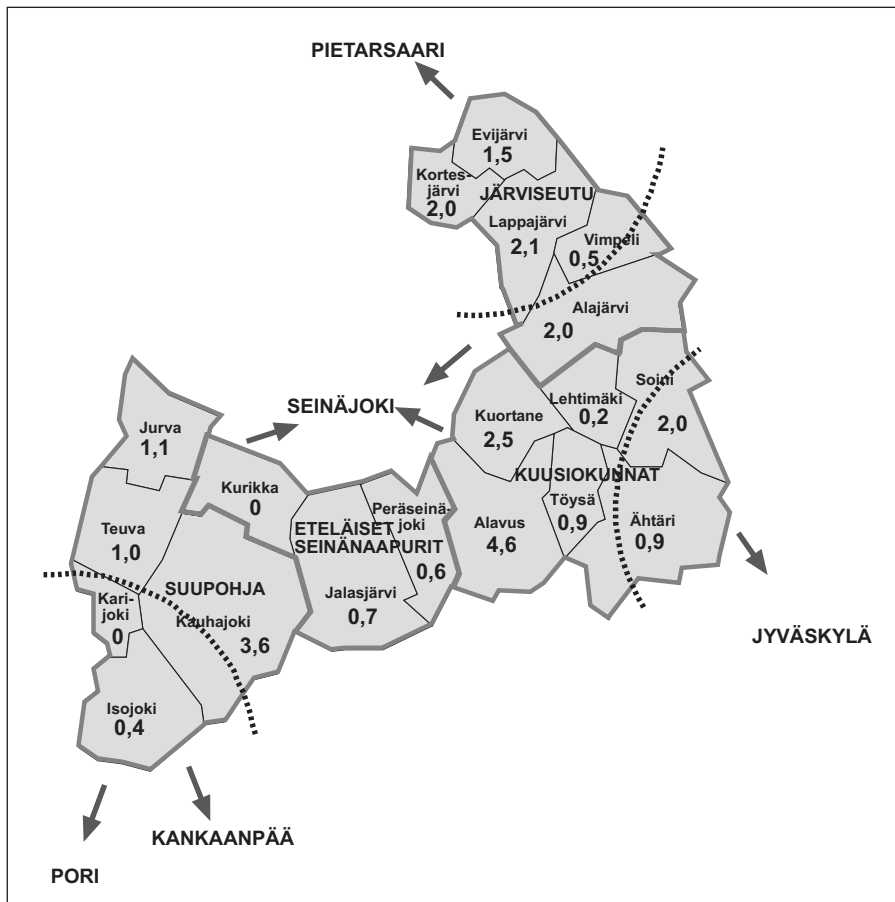
VTT:n kattilatilaston (Helynen & Flyktman 2006) mukaan vuonna 2005 Etelä-Pohjanmaan tavoite 2 –alueella käytettiin energiaturvetta 217 GWh, mistä noin 4 GWh/a Järviseudulla, 58 GWh/a Kuusiokunnissa, 88 GWh/a Eteläisissä Seinänaapurissa sekä 67 GWh/a Suupohjan alueella. Keskimääräisen turpeen energiasisällön (350-425 MWh/ha/a) perusteella tavoite 2 –alueen energiaturpeen oma käyttö vastaa noin 510-620 hehtaarin vuotuisia tuotantopinta-alaa. Näin ollen Järviseudulta energiaturvetta toimitettiin muualle noin 580 GWh/a, Kuusiokunnista noin 960 GWh/a, Eteläisistä Seinänaapureista noin 1 240 GWh/a sekä Suupohjasta 840 GWh/a (Kuva 8). Yhteensä tavoite 2 –alueelta toimitettiin energiaturvetta muualle noin 3 620 GWh/a eli noin 94 % alueen vuotuisesta keskimääräisestä turvetuotannosta.

Merkittävin energiaturpeen käyttäjä on Vaskiluodon Voima oy:n Seinäjoen voimalaitos, joka käyttää 10 % Suomen energiaturpeesta (Kuva 8). Tämä vaatii noin 4300 - 6800 ha tuotantopinta-alaa riippuen mm. vuotuisista tuotanto-olosuhteista. Järviseudulta energia-turve kannatti laskentahetkellä kuljettaa Alholmens Kraft Ab:n voimalaitokselle Pietarsaareen. Ähtäristä ja Soinista kannattava kuljetusmatka on Jyväskylän alueelle, sekä Suupohjasta Isojoelta ja Kauhajoelta Porin ja Kankaanpään voimalaitoksille (Ahti Rinnasto, Sevo, Kyösti Rannila, Fortum oyj, Jorma Honkanen, Vapo oy, suulliset tiedot; toukokuu 2007).

2.3.8 Ruokohelpi

Vuonna 2005 ruokohelvellä ei vielä ollut käytännön merkitystä alueen lämpö- ja voimalaitoksissa VTT:n kattilatilaston perusteella (Helynen & Flyktman 2006). Vuonna 2006 Etelä-Pohjanmaan tavoite 2 –alueen osalta ruokohelven tuotantomäärä oli 26,8 GWh (Kuva 9). Koko Etelä-Pohjanmaan liiton alueella ruokohelven energiasisältö oli 31,7 GWh tuotantoalan ollessa 1439,31 hehtaaria kaikkiaan 142 maatilalla. Vaskiluodon Voima oy:n Seinäjoen voimalaitos on tehnyt viljelysopimuksia 700 hehtaarin alalle.

Järviseudulta ruokohelpi kannatti kuljettaa Alholmens Kraft Ab:n tuotantolaitokselle Pietarsaareen (Kuva 9). Ähtäristä ja Soinista ruokohelpeä oli mahdollista toimittaa kannattavasti Jyväskylän seudun voimalaitoksille. Suupohjasta, Isojoelta ja Kauhajoelta, kannattava kuljetussuunta oli Porin ja Kankaanpään laitoksille (Kuva 9). Ruokohelpeä käytetään suurilla lämpö- ja voimalaitoksilla, mutta sitä käytetään merkittävästi myös Kuortaneen ja Ähtärin energiaosuuskuntien lämpölaitoksilla eli arvioilta noin 1,0 GWh/a briketteinä ja irtosilppuna hakkeen seassa (Lahtela ja Ruismäki 2007; suullinen tieto).



Kuva 9. Ruokohelven kunnittaiset tuotantopotentiaalit (GWh/a) sekä kulkusuunnat. Seutukuntien oma käyttö kuvattu tekstissä.

2.4 TULOSTEN TARKASTELU

Selvityksen tavoitteena oli määrittää Etelä-Pohjanmaan tavoite 2 –alueen bioenergiavirrat. Tulokset olivat suuntaa antavia arvioita tarkasteluhetken olosuhteissa. Raakapuuvirtoja sekä metsäenergiaa koskevat arviot esitettiin seutukunnittain, sillä yksityiskohtainen kuntatason tarkastelu olisi ollut epätarkkaa. Käytännössä bioenergiavirrat ovat alati muuttuvia, eikä oikeita tuloksia voi yksikäsitteisesti eikä seikkaperäisesti laskea. Siinä missä metsäteollisuustuotteiden maailmanmarkkinat, luonnonolot ja puukauppaimasto vaikuttavat sahojen ja tehtaiden vuotuisen puunkäyttöön ja raakapuuvirtoihin, toisiaan korvaavien energialähteiden hinnat, suurten laitosten päästöoikeuksien hintamuutokset sekä laitosinvestoinnit muuttavat metsäenergia, energiaturve- ja ruokohelpivirtoja (Helynen 1999, Ranta 2003, Hakkila 2004, Lauhanen & Laurila 2007).

Energiaturpeen ja ruokohelven energiavirta-arviot oli mahdollista laskea selkeästi aikaisempien tutkimusten (Flyktman ym. 2005, Flyktman & Paappanen 2005) ja ajan tasalla olevien tilastojen perusteella. Sen sijaan metsäenergiaa ja metsäteollisuuden sivutuotteita koskevissa laskelmissa jouduttiin tekemään monia oletuksia ja yksinkertaistuksia. Metsäkeskustason hakkuutilastoja tarkasteltaessa on otettava huomioon, että Etelä-Pohjanmaan liiton alueen lisäksi Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalueeseen kuuluu suomenkielinen Kyrönmaa, joka on osa Pohjanmaan (Österbotten) liiton aluetta. Lisäksi Etelä-Pohjanmaan metsäkeskukseen kuuluvat Perhonjoki- ja Lestijoki-laaksot entisen Keski-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueelta. Hakkuutilastot edustivat raakapuukaupan peruspuutavaralajeja. Pikkutukkeja eikä havuvanerin valmistuksessa käytettäviä kuusen sorvitukkeja ei eritelty laskelmissa.

Metsäteollisuuden raakapuu-, sivutuote- ja selluhakevirrat ovat varsin monimutkaisia ja niitä on hankala selvittää liikesalaisuuksia rikkomatta. Kuusiokuntien alueen kuusitukeista Keski-Suomessa syntyvä saharake voi kulkeutua Kaakkois-Suomen tehtaille. Sahojen ja sellutehtaiden muodostamat integraatit esimerkiksi Pietarsaareissa taas hyödyntävät saharakkeen samalla tehdasalueella. Lisäksi PK-sahojen ja suurten metsäyhtiöiden välisissä puukaupoissa on useita eri toimintamalleja. Tässä selvityksessä oletettiin, että PK-sahojen metsänomistajilta ostamat kuitupuut kuljetetaan metsästä suoraan sellutehtaille eikä turhaan PK-sahojen varastoille, vaikkakin laskennan lopputuloksen kannalta asialla ei ole merkitystä.

Metsäyhtiöiden tietojärjestelmistä olisi voinut nopeasti laskea vuoden 2006 tuotantolaitoskohtaiset hankintamäärät ja puuvirrat, mutta se ei ollut tietosuojasyistä mahdollista eikä tutkimuseettisesti perusteltua. Sama koskee energiaturve- ja ruokohelpivirtojen laskentaa energiayhtiöiden atk-järjestelmistä. Vuoden 2004 metsäyhtiötilastojen käyttö sivutuote- ja metsäenergiavirtojen laskennassa kuvaa keskimääräistä 2000-luvun alkupuolen tilannetta. Vuoden 2005 tilastoissa korostuvat metsäverojärjestelmän muutoksen aiheuttamat poikkeuksellisen suuret kuusikoiden uudistusalat, mutta saman vuoden puunkäyttömäärissä näkyy myös kemiallisen metsäteollisuuden työselkkaus. Vuoden 2006 alkupuolella puukauppaa käytiin rauhallisesti metsäverojärjestelmän siirtymävaiheen päätyttyä, mutta tarkasteluhetkellä puukauppa oli tavanomaista vilkkaampaa.

Selvityksen raakapuuvirrat olivat yhteneviä Peltolan ja Västilän (2001) esittämiin puun kulkusuuntiin, vaikkakin Pietarsaaren ja Kaskisten tuotantolaitoksilla vuosina 2004–2005 toteutetut investoinnit ovat lisänneet kuitupuun kysyntää Etelä-Pohjanmaan metsistä. Markkinahakkuu- ja hakkuukertymätilastot kuvaavat hyvin myös tarkastelun alueen ja koko Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalueenkin metsien rakennetta VMI9:n tietoihin verrattuna (Tomppo ym. 1998, Metsäntutkimuslaitos... 2006). Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueelta hankitaan merkittävästi mänty- ja koivukuitupuuta. Toisaalta koivutukin vähäinen hankintamäärä on tyypillistä Etelä-Pohjanmaalle.

Mikäli Venäjän raakapuutullit toteutuvat, lisää se entisestään kotimaisen raakapuun kysyntää. Tuotantolaitoksille kelpaavan raakapuun allokointi metsäteollisuuden tarpeisiin on koko kansantalouden edun mukaista (Hakkila 2004). Metsä- ja puuenergian käytön lisäämistavoitteet eivät saa johtaa kuitupuuksi kelpaavan raaka-aineen polttamiseen (Hakkila 2004). Puuenergian käytön lisäämisessä energiapaju on hiilensitojana hyvä vaihtoehto, jotta metsäteollisuuden ainespuun hankinta toisaalla turvataan. Energiapajun käytön lisääminen edellyttää maataloustukia sekä korjuuteknologian rationaalista kehittämistä (prof. Veli Pohjonen; suullinen tieto 6.6.2007).

Selvityksessä esitetyt metsäenergian käyttöarviot edustavat työmääriin pohjautuvia vuotuisia tuotantopotentiaaleja ja ovat käytännössä yliarvioita, sillä osasta nuorten metsien kunnostuskohteita ei kerry lainkaan energiapuuta. Metsäkeskus Etelä-Pohjanmaan arvioi metsänparannustukea saaneiden kohteiden keskimääräiseksi hehtaarikertymäksi noin 15-20 m³/ha. Kaikista nuorten metsien kunnostuskohteista noin 80 % eli noin 8 000 on ollut tukikelpoisia Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueella (Markku Kuusela, Metsäkeskus Etelä-Pohjanmaa; suullinen tieto 7.6.2007). Toisaalta kuusen uudistamisalojen kantoenergiasta hyödynnettiin maassamme vain runsaat 10 % pari vuotta sitten (Hakkila 2004). Kantoenergian hankintamäärät ovat sittemmin muun muassa Etelä-Pohjanmaalla kasvaneet (Heikki Sippola, Metsäliitto; suullinen tieto 2.2.2007).

Metsähakkeen rakennetta ei eritelty VTT:n kattilatilastossa (Helynen & Flyktman 2006), mikä vaikuttaa selvityksen laskelmiin. Yli 1 MW:n laitosten metsähakkeen käyttöksi arvioitiin 16 GWh/a tavoite 2 –alueella. Järviseudulla metsähakkeen käyttö oli noin 5 GWh/a, samoin kuin Kuusiokunnissa. Suupohjassa metsähaketta käytettiin noin 3 GWh/a ja Eteläisissä Seinänaapureissa noin 2 GWh/a Helysen ja Flyktmanin (2006) tilaston perusteella.

Tämän selvityksen laskemat ovat käytettävissä bioenergian tuotantoa ja käyttöä koskevan päätöksenteon tukena. Laskemat eivät tuoneet esille ei-rationaalisia kuljetusreittejä. Kuusikuitupuun kuljettaminen Järviseudulta Lohjan Kirkniemen tuotantolaitoksille perustuu rautatiekuljetuksen edullisuuteen kyseisellä reitillä sekä talvivarastoihin. Raakapuun autokuljetusmatkat UPM:n Seinäjoen piiriltä Pietarsaaren tehtaille ovat viimeaikoina pidentyneet ja kustannukset kasvaneet junanvaunupulan takia. Samaan aikaan Kainuun ja Itä-Suomen puuta on toimitettu rautateitse Pietarsaaren tehtaille, missä junien purkukapasiteetti on rajallista (UPM Metsä... 2007).

Uusimmassa hallitusohjelmassa sekä kansallisessa metsäohjelmassa esitettyjen metsäenergian kasvavien hankintatavoitteiden seuranta edellyttää jatkossa luotettavaa, tarkkaa ja kokonaisvaltaista tilastointia. Metsäenergian tuotantoa ja käyttöä koskevien kasvavien alueellisten tietotarpeiden ja maakunnallisten hankkeiden osalta olisi hyvä,

jos tarkat tilastot olisivat käytettävissä muiden metsätyötilastojen tavoin Metsätilastollisessa vuosikirjassa puukauppa- ja hakkuutilastojen tavoin.

KIITOKSET

Hankintaesimies Heikki Sippola Metsäliiton Seinäjoen piiriltä, piiripäällikkö Matti J. Huhtala UPM Metsän Seinäjoen piiriltä kertoivat tarkastelualueen raakapu- ja metsäenergiavirtojen pääsuunnista. Metsäpäällikkö Pekka Hyvösaho kertoi Kohiwood oy:n puunhankinnasta samoin kuin muiden alueen PK-sahojen ja tuotantolaitosten edustajat. Ahti Rinnasto Vaskiluodon voimasta, Kyösti Rannila Fortum oy:stä sekä Jorma Honkanen Vapo oy:stä kuvasivat alueen energiaturvevirtoja. Energianeuvoja Juha Viirimäki Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksesta antoi asiantuntevia neuvoja Etelä-Pohjanmaan pienipuuhakkeen käytöstä. Ruokohelven käyttöä kommentoivat Veli-Matti Ruismäki Kuortaneen energiaosuuskunnasta, Kari Lahtela Ähtärin energiaosuuskunnasta sekä Marjo Lähteenmaa Vapo oy:stä. Energiapajun mahdollisuuksia arvioi professori Veli Pohjonen Helsingin yliopistosta. Kaikille edellä mainituille asiantuntijoille lämpimät kiitokset.

LÄHTEET

- Alakangas, E. 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT tiedotteita 2045.
- Flyktman, M. 2005. Energia- ja ympäristöturpeen kysyntä ja tarjonta vuoteen 2020 mennessä. VTT Prosessit. Tutkimusselostus PRO2/2085/05. 28.12.2005.
- Flyktman, M. & Paappanen, T. 2005. Ruokohelven käyttökapasiteettiselvitys. VTT prosessit. Tutkimusselostus PRO2105/06. 22.4.2005.
- Hakkila, P. 2004. Puuenergian teknologiaohjelma 1999-2003. Metsähakkeen tuotantoteknologia. Loppuraportti. Tekes. Teknologiaohjelmaraportti 5.
- Helynen, S. 1999. Production and consumption potentials for bioenergy in Finland to the year 2010. VTT publications 404.
- Helynen, S. & Flyktman, M. 2006. VTT:n kattilatilasto vuodelta 2005. Etelä-Pohjanmaan tavoite 2 –alueen kattilateholtaan yli 1 MW:n lämpö- ja voimalaitosten kattila- ja polttoainetilastot. Excel-taulukko emailina hankkeen käyttöön.
- Kansallinen metsäohjelma 2010. 1999. Maa- ja metsätalousministeriö. MMM:n julkaisuja 2.
- Lauhanen, R. & Laurila, J. 2007. Bioenergian tuotannon haasteet ja tutkimustarpeet. 58 s. <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2007/mwp042.htm>
- Maa- ja metsätalousministeriö. 2006a. Metsäenergian tuotannon, korjuun ja käytön kustannustehokkuus sekä tukijärjestelmien vaikuttavuus päästökaupan olosuhteissa. Pöyry Forest Industry Consulting. 52A07161-Ejpc-1. 9.8.2006. Loppuraportti.
- Maa- ja metsätalousministeriö. 2006b. Metsäsektorin tulevaisuuskatsaus- Metsäneuvoston linjaukset metsäsektorin painopisteiksi ja tavoitteiksi. MMM:n julkaisusarja 11. 36 s. Saatavissa: http://www.mmm.fi/fi/index/ministerio/tiedotteet/tiedotearkisto/061002_kmotulevaisuus.html.
- Metsäkeskus Etelä-Pohjanmaan kattilatilasto. 2007. Kattilateholtaan enintään 1 MW:n lämpölaitosten kattilatilasto. Excel-taulukko.
- Metsänomistajien liitto Länsi-Suomi. 2005. Etelä-Pohjanmaan Metsänhoitoyhdistysten vuosikertomukset 2004. Kansio Seinäjoen aluetoimistolla.
- Metsätilastollinen vuosikirja. 2005. <http://www.metla.fi/julkaisut/metsatilastollinen/vsk/>
- Mäki-Hakola, P. 2006. Etelä- ja Keski-Pohjanmaan alueellinen metsäohjelma 2006–2010. Metsäkeskus Etelä-Pohjanmaa.
-

- Peura, P. 2003. Tarttooko joku –tarjooko kuka. Etelä-Pohjanmaan ympäristöteknologiaklusterin esiselvitys. Vaasan yliopisto, Levon instituutti. Julkaisuja 103.
- Ranta, T. 2003. Logging residues from regeneration fellings for biofuel production – a GIS-based availability analysis. Bioenergy2003. International Nordic Bioenergy Conference From 2nd to 5th of September 2003. Proceedings. ss. 176-183.
- Sevola, Y. & Suihkonen, V. 2007. Hakkuut ja puuston poistuma metsäkeskuksittain. Metsäntutkimuslaitos, metsätilastollinen tietopalvelu. Suomen virallinen tilasto. Metsätilastotiedote 857.
- Tomppo, E. , Henttonen, H. , Korhonen, K.T. , Aarnio, A. , Ahola, A. , Heikkinen, J. , Ihalainen, A. , Mikkilä, H. , Tonteri, T. & Tuomainen, T. 1998. Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueen metsävarat ja niiden kehitys 1968-97. Metsätieteen aikakauskirja 2B:. 293-374.
- UPM Metsä. 2007. Puukauppa vauhdissa Pohjanmaalla. UPM Metsän tiedotuslehti 3/2007. ss. 8-11.
- Villa, A. 2007. Fuel switching, energy saving and carbon trading – three ways to control carbon dioxide emissions in the Finnish forest industry. University of Joensuu, Faculty of Forestry. Dissertations 35.
-

3 PIENPUUHAKKEEN HANKINTAKUSTANNUKSET ETELÄ-POHJANMAAN TAVOITE 2 -ALUEELLA

Lauhanen, R., Laitila, J., Laurila, J. & Asikainen, A. 2007

TIIVISTELMÄ

Tutkimuksen tavoitteena oli laskea pienpuuhakkeen hankintakustannukset vuoden 2006 tilanteessa Etelä-Pohjanmaan tavoite 2 -alueen toimintaaloissa ja selvittää hankintakustannuksiin vaikuttavia tekijöitä. Tavoitteena oli määrittää hankintakustannukset erilaisissa simuloiduissa leimikoissa sekä laatia hankintaketjuittaiset kustannusmallit. Laskelmat simuloitiin Metsäntutkimuslaitoksen ohjelmistolla tuoreelle puulle hankintaketjuittain ja leimikoittain kaikkiaan 1296 eri vaihtoehdolle. Lisäksi kustannukset laskettiin samalla ohjelmistolla mittattujen nuoren metsän kunnostuskohteiden (n=23) perusteella. Kaikki laskelmat tehtiin vuoden 2006 kone- ja kalustokustannusten perusteella. Ohjelmistolla lasketut hankintakustannukset olivat 26,0-61,2 €/m³ hankintaketjusta, leimikosta ja kaukokuljetusmatkasta riippuen. Hakkuukertymän runkojen keskikoko vaikutti eniten hankintakustannuksiin. Laskelmien mukaan koneellinen kaato-kasaus oli metsurityötä kannattavampaa, kun rungon koko ylitti 10 dm³. Korjuri oli korjuuvertailun kallein vaihtoehto. Käyttöpaikkahaketus oli välivarastohaketusta kannattavampaa, ja varastolla kuivatun pienpuun hankinta oli kalliimpaa kuin tuoreen kuutiometriä kohti tarkastellen. Energiasisältöä kohti tarkasteltuna tilanne oli päinvastainen. Tutkimustuloksia voidaan käyttää metsäenergian hankintaa koskevan päätöksenteon apuna.

Asiasanat: Etelä-Pohjanmaan tavoite 2 -alue, hankintakustannukset, lämpölaitokset, logistiikka, nuoret kasvatusmetsät, pienpuuhake.

3.1 JOHDANTO

Kansallisessa metsäohjelmassa vuotuisesti metsähakkeen hankintatavoitteeksi on asetettu 5 miljoonaa kuutiometriä vuoteen 2010 mennessä (Kansallinen metsäohjelma... 1999, Maa- ja metsätalousministeriö 2006a,b). Vuonna 2006 metsähaketta käytettiin jo 3,4 miljoonaa kuutiometriä (Ylitalo 2007). Metsäneuvoston selonteossa metsähakkeen vuotuisesti käyttö tavoitteeksi on asetettu 8 miljoonaa kuutiometriä vuoteen 2015 mennessä, minkä työllisyysvaikutuksen on arvioitu olevan 3000 lisätyöpaikkaa (Maa- ja metsätalousministeriö... 2006b). Asikainen (2007) puolestaan on laskenut metsäenergian korjuun ja kuljetuksen työllistävän Suomessa 5000 henkeä vuonna 2020, jos vuotuinen hankintamäärä nousee 10 miljoonaan kuutiometriin.

Metsähaketta saadaan pääasiassa kuusikoiden uudistamisaloilta sekä nuorten metsien kunnostuskohteilta (Hakkila 2004). Uudistamisalojen latvusmassan sekä kuusen kantojen ja juurakoiden hankinta kytkeytyy kustannustehokkaaseen metsäteollisuuden ainespuun hankintaan ja metsänuudistamiseen (Hakkila 2004). Paikalliset, kattilatelholtaan 1,0-2,5 MW:n lämpölaitokset ovat merkittäviä pienpuuhakkeen käyttäjiä.

Runsaan 15 vuoden aikana lämpöyrittäjien hoitamien lämpölaitosten lukumäärä on kasvanut muutamasta laitoksesta noin 300 laitokseen (Solmio 2006). Toiminta-alueen ja hankintasäteen kasvaessa kaukokuljetuskustannukset kasvavat, mikä asettaa haasteita pienen mittakaavan lämpöyrittämiselle. Sen sijaan suuret hankintaorganisaatiot voivat saada toimitusmäärien kasvun sekä tietojärjestelmien tuomia synergiaetuja. (Asikainen ym. 2001). Puuenergian teknologiaohjelma asetti latvusmassahakkeen hankintakustannusten tavoitehinnaksi 20 €/m³ eli 10 €/MWh sekä pienpuuhakkeelle 30 €/m³ eli 15 €/MWh (Hakkila 2004). Sitten metsähakkeen keskihinta käyttöpaikalla on kohonnut. Vuonna 2005 se oli 11,1 €/MWh ja vuonna 2006 12,0 €/MWh.

Nuoren metsän hoito turvaa jatkossa metsän suotuisan kasvukehityksen ja tulevia hakkuumahdollisuuksia. Puusto järeytyy ja tulevaisuuden korjuukustannukset laskevat. Samalla korjuuvaurioiden riski vähenee (Tapio... 2005). Nuoren metsän kunnostuskohteelta on poistettava kantoläpimitaltaan vähintään 4 cm paksuja puita vähintään 1000 kpl/ha, mikäli työkohteelle halutaan tukea. Kun hoitokohteelta luovutetaan ulkopuoliselle puuta energiakäyttöön, on pienin tuettava puuerä 20 kiintokuutiometriä. Kasvatettavan puuston keskiläpimitan on rinnankorkeudelta oltava alle 16 cm nuoren metsän käsittelyn jälkeen. Vastaavasti puuston tulee olla tulella alle 10-14 metriä pitkä. Jäljelle jäävän hehtaarikohtaisen runkoluvun on oltava männiköissä 800-1 400, kuusikoissa 1 100-1 300, rauduskoivikoissa 700-1 100 sekä hieskoivikoissa 1 100-1 400.

Pienpuuhakkeen hankintakustannuksiin vaikuttavat samat leimikkotekijät kuin ainespuun hankintakustannuksiin (Uusitalo 2003). Poistettavien runkojen keskikoon pienentyessä ja metsäkuljetusmatkan kasvaessa hankintakustannukset kasvavat. Leimikon pinta-alan ja hehtaarikohtaisen kertymän kasvaessa korjuun yksikkökustannukset vastaavasti alenevat. Kaukokuljetusmatkan piteneminen nostaa osaltaan hankintakustannuksia. (Laitila ym. 2004, Laitila 2005, Kärhä ym. 2006). Aikanaan lämpölaitoksen energiapuun kustannustehokas hankintasäde Mikkelin seudulla oli 40 km (Saksa 1996, Saksa & Teittinen 1996). Energiapuun prosessoimaton, löyhä olomuoto hankaloittaa tiiviiden autokuormien tekemistä (Asikainen 2007), jolloin osa kantavuudesta jää hyödyntämättä.

Käytännössä pienpuuhakkeen korjuu ei nuorista metsistä onnistu ilman tukia (Hakkila 2004). Nuorten metsien hoitokohteilta kerätylle energiapuulle maksetaan korjuutukea 7 € kiintokuutiometriä kohti. Lisäksi haketusukea maksetaan hakkeen toimittajalle 1,7 € irtokuutiometriä kohti (Kuusela 2004, Tapio 2005, Maa- ja metsätalousministeriö... 2006a). Etelä-Pohjanmaalla metsänomistajan saama hehtaarituki on viime vuosina ollut noin 200 € nuorten metsien kunnostuskohteen toteutustavasta riippuen. Voimassa oleva metsäsuunnitelma kohottaa metsänomistajan saamaa tukea noin 25 €/ha. (Kuusela 2004).

Lopputuotteen eli lämmön ja/tai sähkön hinnat vaikuttavat energialaitosten puustamaksukykyyn. Eri polttoaineet, kuten öljy, turve, kivihiili tai puu ovat toisiaan korvaavia hyödykkeitä (Hakkila 2004, Lauhanen & Laurila 2007). Myös päästöoikeuden hinta vaikuttaa eri polttoaineiden käyttöön ja kysyntään. Kattilahoittoa yli 1 MW:n laitokset voivat tilanteen mukaan käyttää jyrshinturvetta ja puuta. Sen sijaan enintään 1 MW:n lämpölaitokset käyttävät käytännössä pienpuuhaketta, joten laitostasolla polttoaineet eivät aina ole toisiaan korvaavia. Solmion (2006) mukaan esimerkkilaitosten lämmön myyntihinta oli 30-50 €/MWh, kun polttoainekulut olivat noin 10-18 €/MWh eli noin 20-36 €/m³. Tutkittujen lämpölaitosten myyntikate oli 1-30 €/MWh.

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli I) laskea Etelä-Pohjanmaan tavoite 2 -alueen toimijoiden tarpeisiin nuorten metsien kunnostuskohteilta saatavan kokopuuhakkeen hankintakustannuksia erilaisilla simuloiduilla hankintaketjuilla ja leimikkovaihtoehdoilla sekä II) arvioida leimikkotekijöiden ja kaukokuljetusmatkan vaikutuksia hankintakustannuksiin. Lisäksi III) tarkoituksena oli laatia kustannusmallit eri hankintaketjuille hankintakohteen hinnoittelun tueksi sekä arvioida niiden toimivuutta. Tutkimuksen kokeellisessa osassa tavoitteena oli IV) määrittää hankintakustannukset käytännön leimikkoaineiston perusteella ja keskimääräisellä kaukokuljetusmatkalla.

3.2 AINEISTO JA MENETELMÄT

Laskennassa sovellettiin Metsäntutkimuslaitoksessa kehitettyä, Laitilan (2006) esittelemää Excel-pohjaista laskentaohjelmaa, joka laskee pienpuuhakkeen hankintakustannukset vaihtoehdoille hankintaketjuille. Laskentamallin syöttötietoja olivat mm. leimikon puulajisuhteet sekä leimikkotekijät; hakkuukertymä (m^3/ha), hakkuukertymän rungon keskikoko (dm^3/runko), metsäkuljetusmatka (m) ja leimikon pinta-ala (ha) (Taulukko 1). Puulajisuhteet olivat laskelmissa samat kuin Etelä-Pohjanmaata koskeissa valtakunnan metsien 9. inventoinnissakin. Männyn osuudeksi oletettiin 77 %, kuusen 3 %, koivun 18 % sekä muiden puulajien 2 % Etelä-Pohjanmaalla (Tomppo ym. 1988). Lisäksi syöttötietona annettiin kaukokuljetusmatka (km) väli-varastolta käyttöpäikalle, työn. koneiden ja materiaalien yksikkökustannukset sekä pienpuun kosteutta ja varastointia koskevat yleiset parametrit.

Laskennan syöttötietoina käytettiin vuoden 2006 kustannuksia (Taulukko 1). Esimerkiksi kaato-kasauskoneen ja korjurin käyttötuntikustannukset olivat 67 € ja metsätraktorin 55 €/h. Metsurin päivätaksa oli 160 €. Mallin taustalla olevat tuottavuusfunktiot perustuvat aikatutkimuksiin (Laitila 2006). Laskennassa energiapuun kosteus oli kaatotuoreena 53 % ja 8 kuukauden väli-varastoinnin jälkeen 35 %. Kokopuun varastointi- ja kuivumishävikki oli 5 %. Tienvarsivarastoon sitoutuneen pääoman koroksi oletettiin 6 %. Laskentatuloksina saatiin pienpuuhakkeen hankintakustannukset (€/m³ ja €/MWh) eri hankintaketjuille sekä tuoreena korjatun että varastolla kuivatetun kokopuun osalta.

Taulukko 1. Laskennassa käytetyt kustannukset ilman arvonlisäveroa. Herkkyysanalyysissä kustannuksia nostettiin ja laskettiin 10 %. Pienpuun kantohinta oli laskelmissa kokoo ajan 0 €/m³. Taulukon kuutiometrit ovat kiintokuutiometrejä, jos ei toisin mainita.

Muut kulut	Pienpuun kantohinta, 0 €/m ³ Organisaatiokulut, 2 €/m ³ Energiapuuvarastojen peittämissä, 1 €/m ³
Energiapuun valmistus ja metsäkuljetus	Kaato-kasauskoneen käyttötuntikustannus, 67 €/h Käyttötunti/tehotunti -kerroin, 1,30 Kaato-kasauskoneen siirtokustannus, 67 €/kerta Korjurin kuormakoko, 6,2 m ³ Korjurin käyttötuntikustannus, 67 €/h Käyttötunti/tehotunti -kerroin, 1,25 Korjurin siirtokustannus, 67 €/kerta Metsurin päiväkustannus, 160 €/päivä Kuormatraktorin kuormakoko, 6 m ³ Kuormatraktorin käyttötuntikustannus, 55 €/h Käyttötunti/tehotuntikerroin, 1,20 Metsätraktorin siirtokustannus, 55 €/kerta

Välivarastohaketus / käyttöpaikkamurskaus	Välivarastohakkurin tuottavuus, 85 irtto-m ³ /h Tuottavuuden lasku kuivalla puulla, 15 % Haketuskustannus, 5,5 €/ irtto-m ³ Hakkurin siirtokustannus, 47 €/kerta Käyttöpaikkamurskaus kokopuulle, 2 €/m ³
Kaukokuljetus hakkeena tai kokopuuna	Hakeauton kuormakoko, 110 irtto-m ³ Kuormaus- ja purkukustannus, 55 €/h Ajotuntikustannus, 80 €/h Purkuaika, 0,5 h Apu aika, 0,3 h Kokopuuauton kuormakoko, 25 m ³ Kuormaus- ja purkukustannus, 54 €/h Ajotuntikustannus, 80 €/h Kuormausaika, 1 h Purkuaika, 0,5 h Apu aika, 0,3 h

Tutkitut hankintaketjut olivat:	
Koneellinen kaato-kasaus, metsäkuljetus, välivarastohaketus, hakkeen autokuljetus;	kone vv
Koneellinen kaato-kasaus, metsäkuljetus, kokopuun autokuljetus, käyttöpaikkahaketus;	kone kph
Korjuri, välivarastohaketus, hakkeen autokuljetus;	korjuri vv
Korjuri, kokopuun autokuljetus, käyttöpaikkahaketus;	korjuri kph
Metsuri, metsäkuljetus, välivarastohaketus, hakkeen autokuljetus;	metsuri vv
Metsuri, metsäkuljetus, kokopuun autokuljetus, käyttöpaikkahaketus;	metsuri kph

Tutkimuksen teoriaosan laskelmissa tutkittiin leimikkotekijöiden ja kaukokuljetusmatkan vaikutusta pienpuuhakkeen hankintakustannuksiin. Hakkuukertymän rungon keskikoko oli joko 10, 30, 50 tai 70 dm³, kun hehtaarikohtainen kertymä oli 30, 50 tai 70 m³. Metsäkuljetusmatka oli vastaavasti 100, 200 tai 300 metriä, ja leimikon pinta-ala 1, 3 tai 5 hehtaaria. Kaukokuljetusmatka puolestaan oli 20, 40 tai 60 km.

Herkkyysanalyysillä tutkittiin eri tekijöiden vaikutusta hankintakustannuksiin; esimerkiksi kustannuksia (Taulukko 1) muutettiin 10 %. Lisäksi eri leimikkotekijöiden ja kaukokuljetusmatkan vaikutusta hankintakustannuksiin tilanteessa, jossa hankintakustannusten tavoitehinnaksi asetettiin 30 €/m³ eli 15 €/MWh (Hakkila 2004, Solmio 2006). Herkkyysanalyysissä varastointi- ja kuivumishävikki oli 10 %. Lisäksi tutkittiin tukien vaikutusta pienpuuhakkeen korjuun kannattavuuteen. Laskelmissa korjuutuki oli 7 € kiintokuutiometriä sekä haketustuki 1,7 € irtokuutiometriä kohti. Korjuuseen ja haketukseen sai siten yhteensä tukea 11,3 € kiintokuutiometriä kohti. (Kuusela 2004, Tapio 2005, Maa- ja metsätalousministeriö... 2006a).

Korrelaatioanalyysin ja regressioanalyysin avulla tutkittiin hankintakustannuksiin vaikuttavia tekijöitä sekä laadittiin eri hankintaketjujen kustannuksia selittävät yksinkertaiset, mutta selitysvoimaiset laskentayhtälöt eli lineaariset monimuuttujamallit. Hankintakustannuksia selitettiin leimikkotekijöillä sekä kaukokuljetusmatkalla. Laskelmat tehtiin SPSS 14.0 –tilastolaskentaohjelmistolla.

Tutkimuksen kokeellisessa osassa selvitettiin kaato-kasauksen ja välivarastohaketuksen kannattavuutta Metsäntutkimuslaitoksen laskentaohjelmiston ja tarkastelualueen keskimääräisten leimikkotietojen avulla. Laskelmissa käytettiin vuonna 2006 toteutettuja Etelä-Pohjanmaan tavoite 2 –alueen nuorten metsien kunnostuskohteiden leimikkotietoja, jotka saatiin nuorten metsien kunnostuskohteiden työnjälkitutkimuksen ohessa (Mäntymaa 2007). Kaikkiaan tutkittiin 23 nuoren metsän hoitokohdetta. Leimikoiden keskimääräisten tunnuslukujen käyttö ei vaarantanut metsänomistajan tai puuta käyttävien osapuolten tietosuojaa. Männyn osuus keskimääräisestä hakkuukertymästä oli 50 %, kuusen 25 %, koivun 25 % (Mäntymaa 2007). Nuoren metsän kunnostuskohteen keskimääräinen (n=23) kartalta mitattu pinta-ala oli 3,7 hehtaaria. Mikäli suurin leimikko olisi jätetty laskelmista pois, olisi työmaan keskipinta-ala ollut 2,8 hehtaaria. Vastaavasti Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen tilastoima keskimääräinen energipuukertymä 32 m³/ha, inventoitu hakkuupoistuma 1 160 runkoa hehtaarilla, poistuman rungon keskijäreys 29 dm³ ja kartalta mitattu työmaakohtainen metsäkuljetusmatka 238 metriä (Taulukko 4). Jos työmaa jakautui useaan, esimerkiksi kolmeen eri työlohkoon, metsäkuljetusmatkana käytettiin eri lohkojen keskiarvoa. Keskimääräiseksi kaukokuljetusmatkaksi oletettiin 40 km, jolloin pienpuuhakkeen hankinnassa oletettiin toimittavan kuntatasolla (Saksa 1996, Saksa & Teittinen 1996, Laitila 2005b).

Lisäksi tehtiin vertailulaskelmia samoilla leimikkotunnuksilla tilanteessa, jossa kokopuun sijaan hankittiin karsittua rankaa (Laitila 2005b). Metsurityön tuottavuustiedot saatiin metsäalan palkkausta koskevasta koulutusaineistosta (Metsäalan... 2006). Yli 3,6 metriä pitkän ensiharvennusrangan (rungon tilavuus alle 50 dm³) kaatokasauksen tuotos oli Etelä- ja Itä-Suomessa keskimäärin 7,2 m³ per metsurin työpäivä ottaen huomioon Mäntymaan (2007) esittämät poistuman puulajisuhteet. Nuoren metsän kunnostuskohteella rangahakkuun päivätuotoksen arvioidaan kuitenkin olevan noin 5,0 m³.

3.3 TULOKSET

3.3.1 Eri hankintaketjujen teoreettinen kustannusvertailu

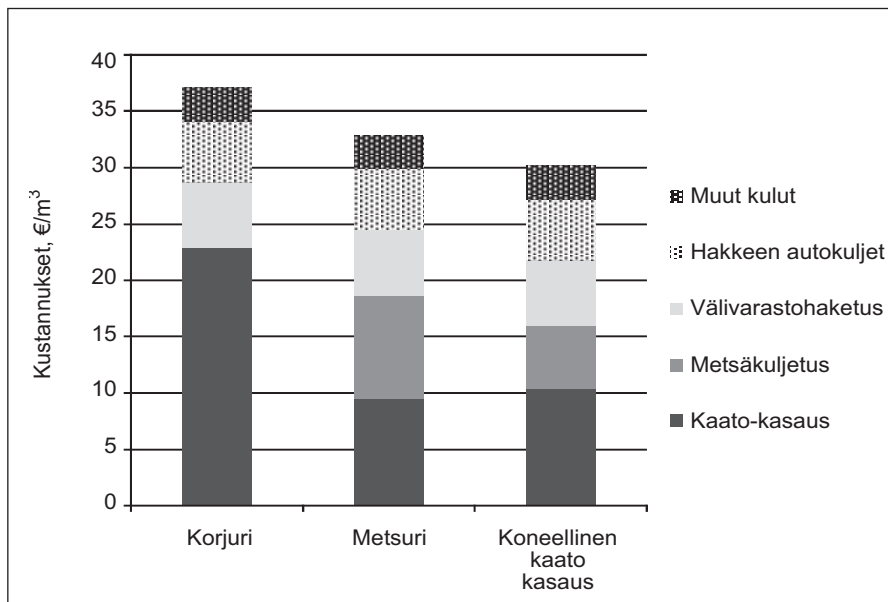
Koneellisen kaato-kasauksen ja välivarastohaketuksen hankintakustannukset olivat 26,0-53,4 €/m³ leimikkotekijöistä ja kaukokuljetusmatkasta riippuen ilman korjuun ja haketuksen tukia (Taulukko 2). Jos välivarastohaketuksen sijasta käytettiin käyttöpaikkahaketusta, kustannukset olivat vastaavasti 24,7-52,2 €/m³. Sekä kaadon että metsäkuljetuksen suorittavalla korjurilla hankintakustannukset olivat puolestaan 32,4-61,2 €/m³. Jos korjurin ja välivarastohaketuksen sijaan hyödynnettiin korjuria ja käyttöpaikkahaketusta, merkitsi se alhaisempia, 31,1-60,1 €/m³:n hankintakustannuksia ilman tukia (Taulukko 2). Metsuri oli keskimäärin koneellista kaato-kasausta kalliimpi, mutta korjuri edullisempi vaihtoehto hankintakustannusten ollessa 29,2-47,2 €/m³.

Mallilaskelmien mukaan koneellinen korjuu oli metsurityötä kannattavampaa, kun rungon koko ylitti 10 dm³. Korjuri oli kallein vaihtoehto (Kuva 1). Lisäksi käyttöpaikkahaketus oli käytetyillä laskenta-arvoilla ja oletuksilla kannattavampaa kuin välivarastohaketus. Kuivatun pienpuun hankinta oli vaihtoehdosta riippuen 1,8-4,8 €/m³ (6-9 %) kalliimpaa kuin tuoreen, sillä kuivan puun haketuksessa työn tuottavuus oli alhaisempi kuin tuoreen. Sen sijaan energiasisältöä kohti laskettuna kuivatun pienpuun hankinta oli edullisempaa (0,0-0,7 €/MW/h) kuin tuoreena korjatun.

Taulukko 2. Pienpuuhakkeen hankintakustannukset hankintaketjuittain ilman tukia, sekä leimikkotekijöiden ja kaukokuljetusmatkan vaikutukset niihin. Selitykset: a) leimikon pinta-ala 3 ha, metsäkuljetusmatka 200 m, hakkuukertymä 50 €/m³ sekä rungon koko 30 €/m³. Kaukokuljetusmatka 40 km. Lisäksi b) edullisin ja c) kallein hankintaketju.

Leimikon pinta-ala, ha	Metsäkuljetusmatka, m	Kertymä m ³ /ha	Rungon koko, dm ³	Kuljetusmatka, km	Kustannus €/m ³	
Koneellinen kaato-kasaus ja välivarastohaketus						
a	3	200	50	30	40	33,9
b	5	100	70	70	20	26,0
c	1	300	30	10	60	53,4
Koneellinen kaato-kasaus ja käyttöpaikkahaketus						
a	3	200	50	30	40	33,2
b	5	100	70	70	20	24,7
c	1	300	30	10	60	52,2
Korjuri ja välivarastohaketus						
a	3	200	50	30	40	38,4
b	5	100	70	70	20	32,4
c	1	300	30	10	60	61,2

Korjuri ja käyttöpaikkahaketus						
a	3	200	50	30	40	37,7
b	5	100	70	70	20	31,1
c	1	300	30	10	60	60,1
Metsuri ja välivarastohaketus						
a	3	200	50	30	40	37,4
b	5	100	70	70	20	29,2
c	1	300	30	10	60	47,2
Metsuri ja käyttöpaikkahaketus						
a	3	200	50	30	40	36,7
b	5	100	70	70	20	27,9
c	1	300	30	10	60	46,1



Kuva 1. Pienpuuhakkeen hankintakustannukset (€/m³) hankintaketjuittain (korjuri, metsuri, koneellinen kaato-kasaus) ja eri osatekijöineen (kaato-kasaus, metsäkuljetus, välivarastohaketus, hakkeen kaukokuljetus, muut kulut) tutkimuksen tyyppileimikossa. Korjuri tekee sekä kokopuun kaato-kasauksen että metsäkuljetuksen. Tyyppileimikko on kuvattu tekstissä sekä kuvan 2 selityksissä.

3.3.2 Yleisimmän hankintaketjun laskennalliset kustannukset tyyppileimikossa

Koneellinen kaato-kasaus, metsätraktori, välivarastohaketus ja autokuljetus hakkeena on tarkastelualueella yleisin pienpuuhakkeen hankintaketju, joten sen kustannuksia verrattiin Puuenergian teknologiaohjelman tavoitehintaan (30 €/m³, 15 €/MWh). Tavoitehintaa (30,2 €/m³) vastasi vuoden 2006 kustannustasolla ”tyyppileimikko”,

jossa rungon keskikoko oksineen oli 60 dm³, metsäkuljetusmatka 200 m, pinta-ala 3,0 hehtaaria sekä hakkuukertymä 50 m³/ha. Kaukokuljetusmatka puolestaan oli 40 km. Tällöin koneellinen kaato-kasaus maksoi 10,3 €/m³ ja metsäkuljetus 5,7 €/m³ (Kuva 1). Välivarastohaketus maksoi 5,8 €/m³, hakkeen kaukokuljetus 5,4 €/m³ hankinnan yleiskulujen ollessa 3,0 €/m³. Metsurityö oli koneellista kaato-kasausta kallimpi vaihtoehto korjurin ollessa kaikkein kallein vertailun korjuumenetelmistä (Kuva 1).

Puuenergian tutkimusohjelman asettama hankintakustannusten tavoitehintaa saavutettiin hehtaarin kokoisissa leimikoissa ilman korjuun ja haketuksen tukia 200 metrin metsäkuljetusmatkalla ja 20 kilometrin kaukokuljetusmatkalla, jos poistettujen runkojen keskikoko oli vähintään 50 litraa ja hakkuukertymä vähintään 70 m³. Samoin tavoitehintaa saavutettiin, jos hakkuukertymä oli vähintään 50 m³ ja rungon koko 70 litraa. Vastaavissa olosuhteissa kolmensadan metrin metsäkuljetusmatkalla ja 40 kilometrin kaukokuljetusmatkalla korjuukustannukset ylittivät asetetun tavoitehinnan.

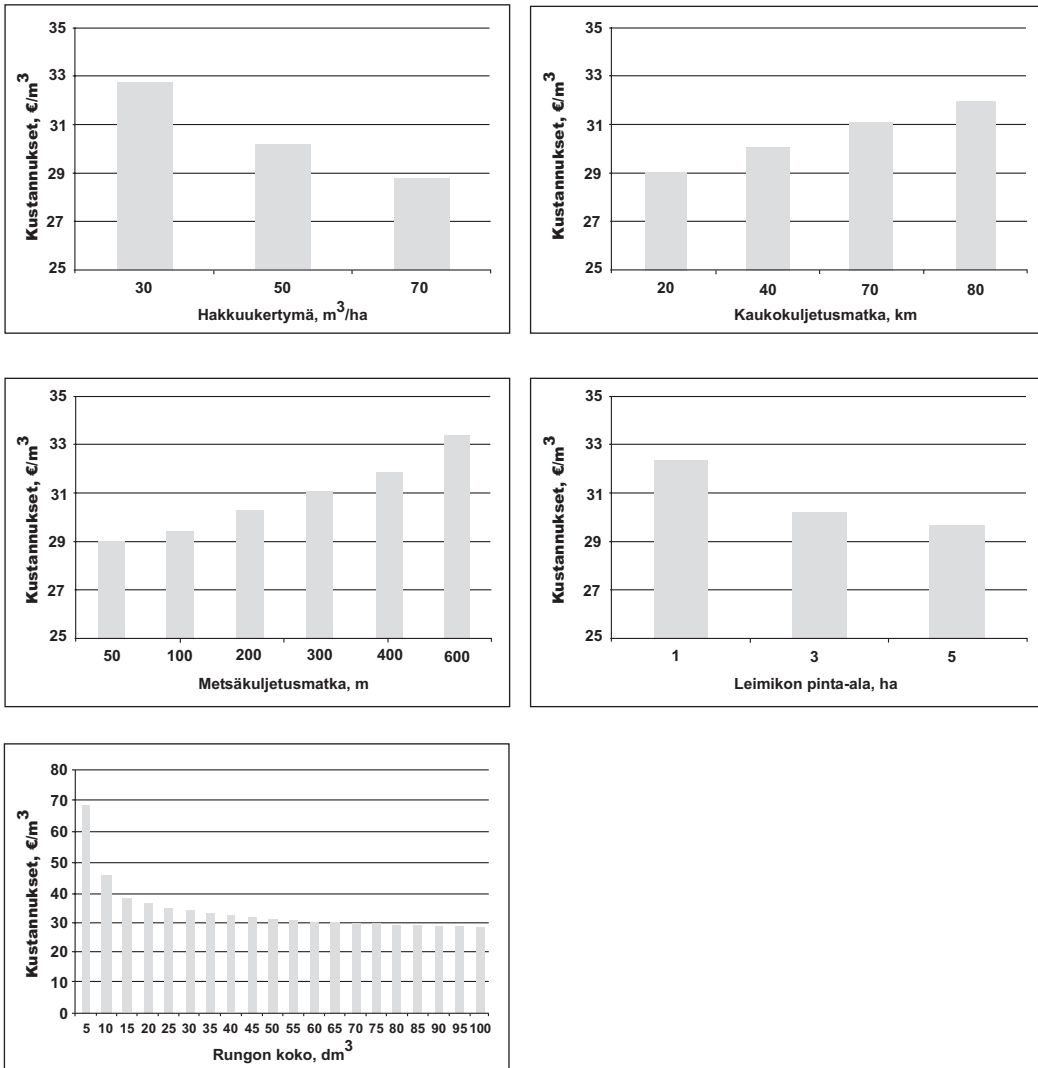
Kolmen hehtaarin leimikoissa 100 metrin metsäkuljetusmatkalla ja 20 kilometrin kaukokuljetusmatkalla hankintakustannus alitti tavoitehinnan ilman korjuun ja haketuksen tukia, kun hakkuukertymä oli 30 m³/ha ja rungon koko vähintään 70 dm³. Kannattavuusraja alitettiin, jos kertymä oli 70 m³/ha ja poistettavan rungon koko vähintään 30 dm³. Edelleen hankinta kannatti, jos metsäkuljetusmatka oli 300 metriä, kaukokuljetusmatka 60 km, hakkuukertymä 70 m³/ha ja rungon koko vähintään 70 dm³.

Viiden hehtaarin leimikoissa 200 metrin metsäkuljetusmatkalla ja 20 kilometrin kaukokuljetusmatkalla hankintakustannusten tavoitehintaa saavutettiin kaato-kasaus-ketjulla ilman tukia, kun hakkuukertymä oli 70 m³/ha ja poistettavan rungon koko 30 dm³. Samalla metsäkuljetusmatkalla ja hakkuukertymällä, mutta 40 kilometrin kaukokuljetusmatkalla rungon koon piti olla vähintään 50 dm³, ettei asetettua hankintakustannusten tavoitearajaa ylitetty. Kannattavuuskriteeri (30 €/m³) alittui myös, kun metsäkuljetusmatka oli 300 metriä, kaukokuljetusmatka 60 kilometriä, hakkuukertymä 70 m³/ha ja rungon koko 70 dm³.

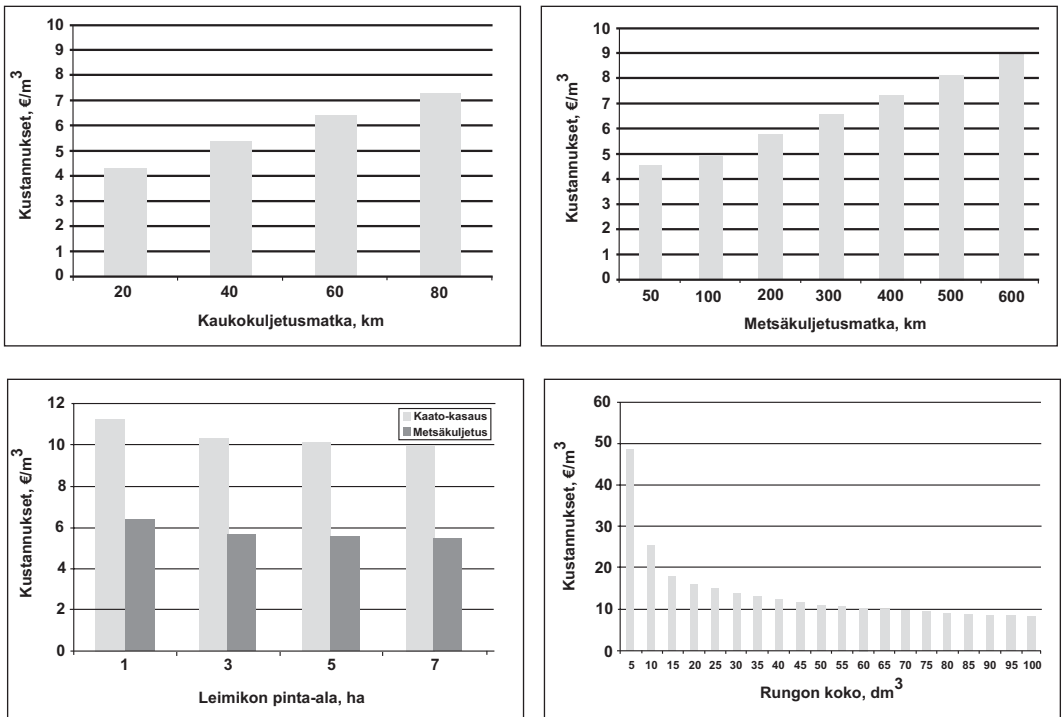
3.3.3 Hankintakustannuksiin vaikuttavat tekijät tyyppileimikossa herkkyyksianalyysien perusteella kaato-kasauskone -hankintaketjulla

Tyyppileimikossa hankintakustannukset olivat 30,2 €/m³. Herkkyyksianalyysien perusteella hakkuukertymän rungon keskikoko vaikutti eniten pienpuuhakkeen korjuu- ja hankintakustannuksiin. Hankintakustannukset laskivat 69 eurosta 28 euroon kiinto-kuutiometriä kohti, kun rungon koko kasvoi 5 dm³:sta 100 dm³:een (Kuva 2, Kuva

3). Tällöin perustilanteen muut tekijät olivat ennallaan. Hakkukertymän kasvu 30 m³/ha:sta 70 m³/ha:iin laski kustannukset 33 €/m³:n tasolta 29 €/m³:iin eli hankinta-kustannukset laskivat 4 €/m³. Kun metsäkuljetusmatka piteni 50 metristä 600 metriin, kohosivat kustannukset vastaavasti tasolta 29 €/m³ tasolle 33 €/m³. Kaukokuljetusmatkan ollessa 20 kilometriä hankintakustannukset olivat 29 €/m³. Matkan ollessa 70 kilometriä, kustannukset olivat 31 €/m³. Jos leimikon pinta-ala oli yksi hehtaari, hankintakustannukset olivat 32 €/m³ ja 5 hehtaarin leimikossa ne olivat 30 €/m³, mikä osaltaan johtuu koneiden siirtokustannusten vähenemisestä.



Kuva 2. Kokopuun koneellinen kaato-kasaus, metsätraktori, välivarastohaketus, hakkeen autokuljetus -hankintaketjun kokonaiskustannuksia (30 €/m³) koskeva herkkyyssanalyysitarkastelu tyyppileimikkoon verrattuna. Tyyppileimikossa hakkuukertymä on 50 m³/ha, poistettavan rungon keskikoko 60 dm³, pinta-ala 3 ha, metsäkuljetusmatka 200 m sekä hakeauton kaukokuljetusmatka 40 km. Herkkyyssanalyysissa muutettiin yhtä tekijää kerrallaan muiden tekijöiden ollessa vakioita

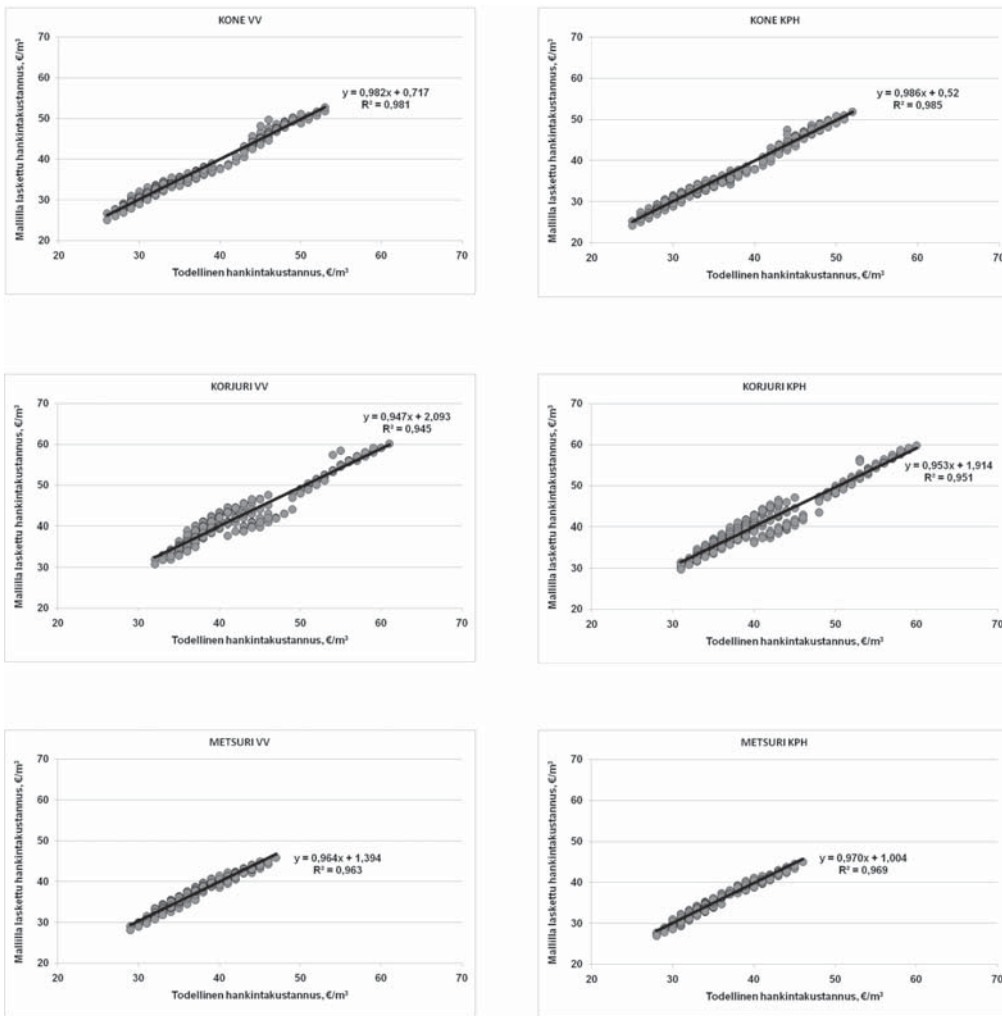


Kuva 3. Leimikkotekijöiden ja kaukokuljetusmatkan vaikutus hankintakustannuksiin kuvan 2 hankintaketjua ja tyyppileimikkoa koskevan herkkyyksianalyysin perusteella. Kuvasarjassa metsäkuljetusmatkan vaikutus metsäkuljetuskustannuksiin, leimikon pinta-alan vaikutus korjuukustannuksiin, kaukokuljetusmatkan vaikutus kaukokuljetuskustannuksiin sekä rungon koon vaikutus hakkuukustannuksiin.

Korjuun ja haketuksen tuet olivat laskelmissa 11,3 € kiintokuutiometriä kohti. Jos tavoitehankintahinta on 30,2 €/m³, silloin tuettu bruttohankintahinta voi olla enimmillään 41,5 €/m³. Tulosten perusteella käytännössä alle 15 dm³:n puita ei kannattanut korjata tyyppileimikossa koneellinen kaato-kasaus, metsäkuljetus, välivarastohaketusketjulla (Kuva 2). Pienissä, hehtaarin kokoisissa leimikoissa korjuu- ja haketustuet olivat tarpeen tarkastelluilla metsäkuljetusmatkoilla niissä kohteissa, joilla hakkuukertymän rungon keskikoko oli enintään 30 dm³, hakkuukertymä enintään 30 m³/ha sekä kaukokuljetusmatka vähintään 40 kilometriä. Korjuri- ja metsurityön korkeiden kustannusten takia tukien merkitys korostui selvästi enemmän kuin koneellisessa kaato-kasaustyössä.

3.3.4 Hankintakustannuksia selittävät mallit

Leimikkotekijät ja kaukokuljetusmatkat eivät korreloineet keskenään, joten oli mahdollista laatia hankintaketjuittain hankintakustannuksia selittävät regressioyhtälöt (Taulukko 3, Kuva 4).



Kuva 4. Regressiomallilla laskettujen hankintaketjuittaisten hankintakustannusten (y-akseli) vertailu las-kentaohjelmistolla määritettyjen hankintakustannusten (x-akseli) kesken. Mallit olivat tilastollisesti erittäin merkitseviä, samoin regressiokertoimet ($p < 0,001$). Selitykset hankintaketjuille tekstissä, sekä malleille taulukossa 3.

Taulukko 3. Pienpuuhakkeen hankintakustannuksia kuvaavat, eri hankintaketjuille laaditut selitysmallit. Selitykset: malleihin kuuluvat; vakio = vakiotermi, x_1 = leimikon pinta-ala (ha), x_2 = metsäkuljetusmatka (m), x_3 = kaukokuljetusmatka (km), x_4 = hakkuukertymä (m^3/ha) ja x_5 = rungon koko. Selitettävät hankintakustannukset (€/m³) hankintaketjuittain; kone vv, kone kph, korjuri vv, korjuri kph, metsuri vv ja metsuri kph ovat selitettyinä tekstissä. F-arvo kuvaa mallin merkitsevyyttä ja t-arvot yksittäisten regressiokertoimien merkitsevyyttä. Konetyötä kuvaavat mallit muotoa esim. kone vv = vakio – $b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 - b_4 \cdot x_4 + b_5 \cdot 1/x_5$, ja metsurityössä esim. metsuri kph = vakio – $b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 - b_4 \cdot x_4 - b_5 \cdot x_5$.

SELITETTÄVÄ TEKIJÄ	Vakio	SELITTÄVÄ TEKIJÄ					MALLIN HYVYYS		
		X1 Pinta-ala	X2 Meku- matka	X3 Kauko- matka	X4 Kertymä	X5 Rungon koko			
Konevv t-arvo	33,120 121,3	-0,079 -24,5	0,009 13,2	0,052 16,2	-0,123 -38,5	182,360 118,4	R ² F	0,981 3326,1	p<0,001
Konekph t-arvo	29,240 121,4	-0,549 -19,3	0,009 15,0	0,093 32,6	-0,109 -38,8	182,010 134,0	R ² F	0,985 4242,2	p<0,001
Korjurivv t-arvo	40,840 81,4	-0,524 -8,8	0,010 8,8	0,054 9,0	-0,172 -29,4	188,110 66,5	R ² F	0,945 1111,9	p<0,001
Korjurikph t-arvo	36,820 76,8	-0,297 -5,2	0,011 9,3	0,096 17,0	-0,160 -28,6	190,830 70,6	R ² F	0,951 1248,7	p<0,001
Metsurikph t-arvo	40,070 178,4	-0,245 -9,5	0,008 15,5	0,092 35,8	-0,035 -13,7	-0,172 -90,9	R ² F	0,969 2013,5	p<0,001
Metsurivv t-arvo	43,880 183,2	-0,449 -16,3	0,008 14,0	0,052 18,7	-0,047 -17,3	-0,172 -85,5	R ² F	0,963 1688,0	p<0,001

Hankintakustannuksia selittävät mallit olivat tilastollisesti erittäin merkitseviä (n=324, p<0,001) mallien F-arvojen perusteella (Taulukko 3). Mallien selitysasteet olivat 94,5-98,5 % hankintaketjusta (n=324) riippuen. Lineaariset mallit selittivät metsurityötä riittävän hyvin, mutta koneellisen kaato-kasauksen ja korjurin osalta rungon koon käänteisluku ($1/x_5$) paransi mallien selitysastetta. Mallien regressiokertoimet olivat t-arvojen perusteella erittäin merkitseviä (Taulukko 3). Leimikon pinta-alan ja hehtaarikohtaisen hakkuukertymän tulo osoittautui yksittäisiä muuttujia heikommaksi selittäjäksi (regressiokertoimen t-arvo =2,811, p<0,001), eikä sitä otettu malleihin mukaan.

Laskentaohjelmistolla laskettuja todellisia hankintakustannuksia verrattiin regressiomalleilla laskettuihin arvoihin (Kuva 4). Todellisten hankintakustannusten ja mallilla laskettujen kustannusten erotusten keskiarvo oli nolla hankintaketjuittain (n=324) tarkastellen.

3.3.5 Kaato-kasauksen ja välivarastohaketuksen hankintakustannukset käytännön työkohteiden perusteella

Koneellista kaato-kasausta ja välivarastohaketusta käytettäessä pienpuuhakkeen hankintakustannukset olivat 37,2 €/m³ ilman tukia Etelä-Pohjanmaan tavoite 2 –alueen keskimääräisessä nuoren metsän kunnostuskohteessa (ks. Taulukko 4). Metsurityönä tehdyn kohteen hankintakustannukset olivat vastaavasti 39,7 €/m³. Keskikustannukset ylittivät Puuenergian teknologiaohjelman tavoitehankintahinnan ilman tukia. Työmaakohtainen tarkastelu osoitti kuitenkin hankintakustannusten vaihtelevan merkittävästi. Koneellista kaato-kasausta käytettäessä kustannukset olivat 26,9-85,6 €/m³ ja metsurityön osalta 30,9-57,1 €/m³ (Taulukko 4). Puuenergian teknologiaohjelman tavoitehankintakustannus oli mahdollista alittaa 8,7 % kohteista ja vain koneellista kaato-kasausta käytettäessä. Hakkuupoistuman rungon keskijäreyden pieneneminen lisäsi metsurityön kannattavuutta.

Mikäli kokopuun valmistuksen sijaan olisi hankittu karsittua rankaa, olisivat hankintakustannukset olleet keskimääräisessä leimikossa 39,9 €/m³ ilman tukia konehakkuuta ja välivarastohaketusta käytettäessä. Tuoreen rankapuun metsäkuljetus (4,9 €/m³) oli edellisempää kuin tuoreen kokopuun (6,8 €/m³), mutta karsinta- ja katkonta lisäsivät rangan (20,8 €/m³) koneellisen hakkuun kustannuksia kokopuun (16,1 €/m³) koneelliseen kaato-kasaukseen verrattuna.

Mikäli rankaa olisi hakattu metsurityönä päiväpalkalla, hakkuukustannus olisi ollut 32,0 €/m³ ilman tukia. Siten hankintakustannukset olisivat olleet 51,2 €/m³ eli 14,0 €/m³ korkeammat kuin koneellisen kaato-kasauksen vaihtoehdossa (37,2 €/m³).

Taulukko 4. Otos Etelä-Pohjanmaan tavoite 2 –alueen nuorten metsien hoitokohteiden leimikkotiedoista (n=23) vuodelta 2006. Kuvassa mukana lisäksi hankintakustannukset (€/m³) koneellinen kaato-kasaus ja välivarastohaketus – ketjulle sekä metsurityö ja välivarastohaketus –ketjuille. Jos kustannus on vahvennettu se on konetyötä, ja muilta osin metsurityötä. Jos valintasarakeessa on v, on valittu väärä korjuuketju. Esimerkiksi leimikko 11 olisi pitänyt tehdä metsurityönä.

Leimikko, nro	Pinta-ala, ha	Kokonaiskertymä, m ³	Hehtaari-kertymä, m ³ /ha	Metsäkuljetusmatka, m	Poistuma, runkoa/ha	Poistuman keskijäreys, dm ³ /runko	Hankintakustannus		Valinta
							Konetyö, EUR/m ³	Metsurityö, EUR/m ³	
1	1,6	119	74	140	950	78	27,8	31,4	
2	7,5	506	67	95	944	71	26,9	30,9	
3	4,1	69	17	100	1356	12	52,7	44,7	
4	1,3	26	20	40	1050	19	48,1	43,7	
5	1,8	43	24	90	960	25	41,7	42,1	v
6	3,2	44	14	180	1466	9	62,3	47,3	v
7	1,4	22	16	110	1100	14	56,1	46,4	
8	6,0	53	9	313	1609	6	85,6	49,9	v
9	1,2	51	43	150	1106	38	59,0	37,9	
10	2,5	40	16	300	950	17	51,5	45,3	
11	4,9	60	12	670	1232	10	65,9	49,4	v
12	3,1	40	13	190	1232	11	61,1	46,1	
13	1,2	57	48	375	1000	48	34,7	37,9	v
14	1,2	34	28	270	1140	25	43,0	42,9	
15	1,1	53	48	200	1025	47	33,5	36,6	
16	3,5	41	12	160	686	17	52,9	44,6	v
17	2,3	183	80	350	1880	42	31,0	36,7	
18	1,1	21	19	240	850	23	49,4	45,5	v
19	4,0	196	49	67	1100	45	30,4	33,7	
20	24,2	1138	47	720	1300	36	36,3	40,9	
21	2,8	65	23	330	1175	20	44,8	43,7	
22	2,8	53	19	430	1214	16	50,6	46,6	
23	2,1	20	10	200	1280	7	81,0	57,1	v
Keskiarvot	3,7	128	32	238	1157	29	49,0	42,7	

3.4 TULOSTEN TARKASTELU

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää nuorten metsien kunnostuskohteilta saatavan pienpuuhakkeen hankintakustannuksia sekä niihin vaikuttavia tekijöitä Etelä-Pohjanmaan tavoite 2 -alueella vuoden 2006 toimintaolosuhteissa. Lisäksi tavoitteena oli laatia hankintakustannuksia selittäviä yhtälöitä (monimuuttujamalleja).

Kaukokuljetusmatkan ollessa 40 kilometriä, metsäkuljetusmatka 200-300 metriä ja leimikon pinta-ala noin 3 hehtaaria, pienpuun hankinta kannatti kohdentaa kohteisiin, joissa hakkuukertymä oli vähintään 70 m³/ha ja poistettavien runkojen keskikoko vähintään 50 dm³. Hankinta kannatti vastaavasti, jos kertymä oli 50 m³/ha ja hakkuukertymän rungon koko vähintään 70 dm³. Tällöin Puuenergian teknologiaohjelmassa esitetty pienpuuhakkeen hankintakustannusten enimmäishinta (30 €/m³) oli mahdol-

lista alittaa ilman korjuu- ja haketustukia (Hakkila 2004). Kuluneen kahden vuoden aikana metsähakkeen hankintakustannukset ovat kuitenkin kohonneet noin 20 % (Ylitalo 2007), mikä vastaisi nykyhetken tavoitehintaa 36 €/m³. Etelä-Pohjanmaan tavoite 2 –alueen tyypillisellä nuoren metsän hoitokohteella hankintakustannukset olivat 37,2-39,7 €/m³ ilman tukia vuoden 2006 tilanteessa.

Mallilaskelmien mukaan koneellinen kaato-kasaus oli edullisempaa kuin metsurityö, ja metsurityö puolestaan edullisempi vaihtoehto kuin korjuri. Edelleen käyttöpaikka-haketus oli välivarastohaketusta edullisempaa. Käyttöpaikkahaketus tosin perustuu suuriin haketusmääriin ja sitä harvoin käytetään paikallisilla kattilatehoillaan alle 1 MW:n lämpölaitoksilla. Käytännön kohteita koskevat laskelmat osoittivat hankintakustannuksissa olevan merkittävää vaihtelua.

Laskelmat ja tulokset olivat yhdenmukaisia aikaisempien tutkimustulosten kanssa (Asikainen ym. 2001, Laitila ym. 2004, Laitila 2005a,b, Kärhä ym. 2006). Poistettavien runkojen keskikoon pieneneminen nosti selvimmin hankintakustannuksia. Herkkyyssanalyysien perusteella hakkuukertymän, metsäkuljetusmatkan ja kaukokuljetusmatkan kasvun vaikutukset hankintakustannusten kasvuun eivät olleet niin voimakkaita kuin rungon koon merkitys. Nykyiset korjuu- ja haketustuet huomioon ottaen hakkuukertymän rungon keskikoon tulisi olla vähintään 15 dm³, jotta hankinta kannattaisi.

Tulokset pätevät annetuilla laskentaoletuksilla ja annetulla vuoden 2006 kustannustasolla. Jokainen lämpöyrittäjä tai pienpuun toimittaja tekee aina omat kannattavuuslaskelmansa vastaten omista päätöksistään. Lisäksi jokaisella toimijalla on aina omat kannattavuustavoitteensa ja päätöksentekokriteerinsä.

Kustannustason nousu ja metsäenergian kasvava kysyntä nostavat mitä todennäköisimmin pienpuun hankintakustannuksia jatkossa. Lisäksi esillä ollut tuontipuun tullimaksujen nousu lisännee teollisuuden kiinnostusta ensiharvennusten kuitupuuhun. Toisaalta pienpuun hankinnan arvioidaan jatkossa keskittyvän aiempaa enemmän varttuneisiin taimikoihin uudisteilla olevan metsätalouden rahoituslain myötä (ks. HE 177/2006...). Hakkilan (2004) mukaan pienikokoisen energiapuun korjuu ei kannatta ilman julkista tukea. Tämän tutkimuksen laskelmat toivat esille pienpuun korjuun kalleuden varsinkin, jos hakkuukertymät ja poistettavien runkojen keskikoko alenevat kun energiapuuta aletaan hankkia varttuneista taimikoista.

Laskelmissa tuotettiin erilaisia leimikkovaihtoehtoja. Toisaalta käytännön inventoinnit ja laskelmat osoittivat nuorten metsien hoitokohteiden olevan hakkuukertymän ja puusototunnusten osalta hyvin monimuotoisia, kun niitä verrataan hoidettuihin ainespuun hankintakohteisiin (ks. myös Tapion... 2002). Laskennassa oli mukana leimikoita, joissa hakkuukertymän rungon keskikoko oli 70 dm³. Tällöin liikutaan rajapinnassa, jossa kuitupuuta siirtyy energiapuuksi.

Tutkimuksessa laadittiin eri hankintaketjujen hankintakustannuksia selittävät monimuuttujamallit, jotka olivat rakenteeltaan yksikertaisia ja tilastollisesti merkitseviä. On huomattava, että mallit sovitettiin kustannusmalleilla laskettuihin tuloksiin. Tällöin mallien selitysaste on huomattavasti korkeampi, kuin tilanteessa, jossa mallit laadittaisiin suoraan leimikoista kerättyihin kustannushavaintoihin. Mittavan empiirisen leimikkoaineiston kerääminen metsäyhtiöiden ja lämpöyrittäjien tietojärjestelmistä ei olisi ollut kuitenkaan perusteltua tietosuojasyiden vuoksi. Laaditut mallit onkin tehty käytettäväksi esimerkiksi käytännön kustannuslaskentasovelluksissa, kun tietyn kohteen korjuukustannuksia ja -kelpoisuutta arvioidaan.

Uudistusalojen latvusmassan korjuu on osoittautunut kannattavaksi toiminnaksi osana tietojärjestelmäohjattua ainespuun asiakaslähtöistä puunhankintaa. Kantojen ja juurakoiden hankintalogistiikasta ja -kustannuksista tarvitaan uutta ja julkista tutkimustietoa. Jatkossa on tarpeen tutkia hankintavaihtoehtoja, joissa teollisuuden sellupuuksi kelpaava kokopuuna korjattu kuitupuuta voidaan tienvarsivarastolla, terminaalissa tai viimeistään tehtaalla eritellä poltopuusta (Kärhä ym. 2007). Metsäenergiaa on mahdollista saada myös muualta kuin perinteisiltä metsäkohteilta. Pellonraivausalueet, soiden ennallistamiskohteet sekä metsätuhoalueet sopisivat metsäenergian raaka-ainelähteiksi. Näitä erikoiskohteita koskevia työntutkimuksia ja kannattavuuslaskelmia tarvitaan metsäenergian kysynnän kasvaessa. Pienpuun käytöstä nestemäisten puupohjaisten biopoltoaineiden valmistuksessa tarvitaan myös lisätietoa.

KIITOKSET

Hankintaesimies Heikki Sippola Metsäliiton Länsi-Suomen hankinta-alueesta sekä piiripäällikkö Matti J. Huhtala UPM Metsän Seinäjoen piiriltä antoivat arvokkaita käytännön näkemyksiä laskentaan ja käsikirjoitukseen. Alueneuvoja Timo Ala-Kanto Suomenselän metsänhoitoyhdistyksestä sekä lehtorit Esa Eloranta ja Hannu Humalämäki Ähtärin Tuomarniemeltä antoivat arvokkaita neuvoja metsurityönä tapahtuvan rangan hakkuusta. Metsänparannuspäällikkö Markku Kuusela Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksesta konsultoi metsänparannustukiasioissa. Edellä mainituille lämpimät kiitokset.

LÄHTEET

- Asikainen, A. , Ranta, T. , Laitila, J. & Hämäläinen, J. 2001. Hakkuutähdehakkeen kustannustekijät ja suurimittakaavainen hankinta. Joensuun yliopisto, Metsätieteellinen tiedekunta. Tiedonantoja 131.
- Asikainen, A. 2007. Metsä uusiutuvan energian lähteenä. Esitelmä. Tieteen päivät, 10.1.2007, Helsingin yliopisto. Esitelmäkalvot osoitteessa: <http://www.smts.fi/tieteenpaivat07.html>
- Hakkila, P. 2004. Puuenergian teknologiaohjelma 1999-2003. Metsähakkeen tuotantoteknologia. Loppuraportti. Tekes. Teknologiaohjelmaraportti 5.
- Hakkila, P. 2006. Selvitys energiapuun mittauksen järjestämisestä ja kehittämisestä. Dnro:n 4191/67/2005/MMM mukainen selvitystehtävä. 25.2.2006. Moniste.
- HE 177/2006 vp. Hallituksen esitys Eduskunnalle metsätalouden rahoituslaiksi ja laiksi tuloverolain muuttamisesta. 91 s. <http://www.finlex.fi/fi/esitykset/he/2006/20060177/pdf>
- Kansallinen metsäohjelma 2010. 1999. Maa- ja metsätalousministeriö. MMM:n julkaisuja 2.
- Kuusela, M. 2004. Rahoituslain mukaiset mp-töiden tuet Etelä-Pohjanmaalla, MMM:n asetus nro 97/01, annettu 19.12.2001, voimaan 1.1.2002, asetus juurikäävän torjunnasta voimaan 10.12.2003. Koostetaulukko. Metsäkeskus Etelä-Pohjanmaa.
- Kärhä, K. , Keskinen, S. , Liikkanen, R. & Lindroos, J. 2006. Kokopuun korjuu nuorista metsistä. Metsätehon raportti 193. 12.9.2006.
- Kärhä, K. , Laitila, J. & Jylhä, P. 2007. Aines- ja energiapuun integroitu hankinta. Kehittyvä puuhoolto. Seminaari metsäammattilaisille 14.-15.2.2007. Paviljonki, Jyväskylä. Seminaarijulkaisu. Metsäteho. ss. 67-74.
- Laitila, J. 2005a. Pienpuun korjuu harvennusemetsistä. Kehittyvä puuhoolto 2005 –seminaari metsäammattilaisille 16.17.2.2005 Paviljonki, Jyväskylä. Metsätehon seminaarijulkaisu: 76-81.
- Laitila, J. 2005b. Rankahakkeen kustannuslaskentaohjelma. Metsäntutkimuslaitos. Excel-ohjelmisto.
- Laitila, J. 2006. Cost and sensitive analysis tools for forest energy procurement chains. Forestry Studies / Metsäanduslikud Uurimused 45, 5-10.
- Laitila, J. , Asikainen, A. , Sikanen, L., Korhonen, K.T. , Nuutinen, Y. 2004. Pienpuuhankkeen tuotannon kustannustekijät ja toimituslogistiikka. Puuenergia. Metlan työraportteja 3. <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2004/mwp003.htm>.

-
- Lauhanen, R. & Laurila, J. 2007. Bioenergian tuotannon haasteet ja tutkimustarpeet. Metlan työraportteja 42. 58 s. Internet-julkaisu. <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2007/mwp042.htm>
- Maa- ja metsätalousministeriö. 2006a. Metsäenergian tuotannon, korjuun ja käytön kustannustehokkuus sekä tukijärjestelmien vaikuttavuus päästökaupan olosuhteissa. Pöyry Forest Industry Consulting. 52A07161-Ejpc-1. 9.8.2006. Loppuraportti.
- Maa- ja metsätalousministeriö. 2006b. Metsäsektorin tulevaisuuskatsaus- Metsäneuvoston linjaukset metsäsektorin painopisteiksi ja tavoitteiksi. MMM:n julkaisusarja 11. 36 s. Saatavissa: http://www.mmm.fi/fi/index/ministerio/tiedotteet/tiedotearkisto/061002_kmotulevaisuus.html.
- Metsäalan palkkaus 2005. Koulutusaineisto. Metsäpalkkauksen kehittäminen projektiryhmä 19.1.2005. XIV painos.
- Mäntymaa, S. 2007. Korjuujäljen seuranta energiapuun korjuukohteissa. Seinäjoen ammattikorkeakoulu, Maa- ja metsätalouden yksikkö, Ähtäri. Opinnäytetyö.
- Saksa, T. 1996. Energiapuun hankinta suuressa mittakaavassa. Helsingin yliopiston Maaseudun tutkimus- ja koulutuskeskus, Mikkeli. Julkaisuja 48.
- Saksa, T. & Teittinen, A. 1996. Metsähakkeen hankintakustannukset ja aluetaloudelliset vaikutukset. Helsingin yliopiston Maaseudun tutkimus- ja koulutuskeskus, Mikkeli. Julkaisuja 47.
- Solmio, H. 2006. Lämpöyrittämisen kannattavuus. Teho 4: 41-42.
- Tapio. 2005. Kestävän metsätalouden rahoitustuki. Opasvihkonen.
- Tapion Taskukirja. 2002. Kustannusosakeyhtiö Metsälehti. 24. uudistettu painos. Gummerus Kirjapaino Oy, Jyväskylä.
- Tomppo, E., Henttonen, H., Korhonen, K.T., Aarnio, A., Ahola, A., Heikkinen, J., Ihalainen, A., Mikkilä, H., Tonteri, T. & Tuomainen, T. 1998. Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueen metsävarat ja niiden kehitys 1968-97. Metsätieteen aikakauskirja 2B: 293-374.
- Uusitalo, J. 2003. Metsäteknologian perusteet. Metsälehti Kustannus. Helsinki.
- Ylitalo, E. 2007. Puun energiakäyttö 2006. Metsätalotiedote 867. Metsäntutkimuslaitos. Suomen Virallinen Tilasto.
-

4 KANNONNOSTON JA METSÄKULJETUKSEN TUOTTAVUUS

Laurila, J. & Lauhanen, R. 2007.

TIIVISTELMÄ

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää kannonnoston ja kantojen metsäkuljetuksen tuottavuutta Etelä-Pohjanmaan tavoite 2 –alueella. Kannonnostoa seurattiin viidellä ja metsäkuljetusta yhdellä työmaalla. Kohteista kaksi oli pellonraivauskohdetta ja kolme kuusen uudistamisalaa. Tutkimuksen tulokset perustuvat maastossa tehtyihin aikaseurantamittauksiin sekä koneenkuljettajien pitämiin tuntipäiväkirjoihin.

Kuusen uudistamisaloilla kannonnoston ajanmenekki oli 9-11 h/ha. Pellonraivauskohteilla ajanmenekki oli huomattavasti suurempi, keskimäärin jopa 25 h/ha. Tuloksiin vaikuttaa merkittävästi kannonostokohteen kantojen järeys ja lukumäärä. Myös nostotyössä käytettävän kaivinkoneen koolla on huomattava merkitys. Koneen tulisi mieluummin kuulua yli 20 tonnin painoluokkaan, jotta nostotyö sujuisi tehokkaasti.

Kantojen metsäkuljetus tavallisella kuormatraktorilla on mahdollista ilman kuormatilan muutostöitä. Työn tuottavuutta voitaisiin kuitenkin parantaa rakentamalla sopivasta materiaalista kuormatilaan pohja. Metsäkuljetuksen ajanmenekistä noin puolet kuluu kuormaukseen ja noin neljäsosa kuorman purkamiseen. Tyhjänä ja kuormattuna ajoon kuluu kumpaankin hieman alle 15 % kokonaisajanmenekistä. Tutkimuksen tuloksia voidaan käyttää kanto- ja juurakkoenergian hankintaa ja käyttöä koskevan alueellisen päätöksenteon tukena.

Asiasanat: Etelä-Pohjanmaan tavoite 2 –alue, juurakko, juuripuu, kannonnosto, kanto, kantojen metsäkuljetus, kantopuu, tuottavuus

4.1 JOHDANTO

Kanto- ja juuripuu on arvokasta biopolttoainetta, jota kannattaa hyödyntää. Hehtaarin suuruiselta pinta-alalta voidaan saada jopa 200 MWh kanto- ja juurakkoenergiaa (UPM 2006). Usein kantojen energiasisältö on kuitenkin noin 120-140 MWh/ha (Hakkila 2004, Mietala 2004). Kannonnostolla on myös metsähygieenistä merkitystä, sillä se vähentää maannousemasienen (*Heterobasidium annosum* L.) tartuntariskiä seuraavaan puusukupolveen. Edellä mainituista seikoista huolimatta kantojen energiakäyttö on edelleen melko vähäistä verrattuna hyödynnettävissä olevaan potentiaaliin. Viimeaikoina kantoenergian käyttö on kuitenkin lisääntynyt.

Kannonnostoa ja kantojen metsäkuljetusta on tutkittu melko vähän, vaikka ne ovat merkittäviä osia kantoenergian hankinnan logistiikassa. Kannonnostoa ja kantojen metsäkuljetusta voidaan tarkastella mm. tuottavuuden sekä kantoenergian laadun näkökulmasta. Hyvälaatuinen kantoenergia ei sisällä lainkaan irtomaata ja on riittävän kuivaa. Tuottavuuteen vaikuttaa merkittävästi käytettävä konekalusto, kannonnostokohde ja koneenkuljettajan taidot. Kantoenergian laatuun taas vaikuttaa kaivinkoneen kuljettajan huolellisuus ja maa-aineksen puhdistamiseen käytetty aika. Kantoenergian laatua voidaan parantaa tuottavuuden kustannuksella ja päinvastoin.

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää kannonnoston ja kantojen metsäkuljetuksen tuottavuutta Etelä-Pohjanmaan tavoite 2 -alueella. Kannonnostoa seurattiin sekä kahdella pellonraivauskohteella että kolmella metsämaan kohteella. Yhteensä kannonnostoa seurattiin viidellä eri työmaalla, joista yksi sijaitsi Ähtärissä, yksi Isojoella ja kolme Jurvassa. Kantojen metsäkuljetusta havainnoitiin yhdellä Jurvan kohteella, joka oli pinta-alaltaan suurin. Kannonnostosta mitattiin yhteensä 50 koealaa ja kantojen metsäkuljetuksessa seurattiin 19 kuormaa. Mittaukset tehtiin kesällä 2006. Lisäksi tutkimusraportin kirjallisuuskatsaukseen koottiin aikaisempaa tutkimustietoa kannonnostosta.

4.2 KIRJALLISUUSKATSAUS

Kanto- ja juuripuu sisältää huomattavan osan puun biomassasta. Kuusella kanto- ja yli 5 cm paksun juuripuun osuus on 22-30% kaupallisen rungon massasta. Männyllä kanto- ja juuripuun määrä on alhaisempi 23-24% kaupallisen rungon massasta. Männyllä runko- ja juuripuun välissä olevan kantopuun osuus paalujuurineen on noin 60% koko kanto- ja yli 5 cm paksujen juurien kokonaismäärästä. Kuusella vastaava osuus on pienempi arvon ollessa noin 35%. (Hakkila 1975; Kärkkäinen 2003)

4.2.1 Kanto- ja juuripuun ominaisuudet

Kantoläpimitaltaan 30 cm paksuisen kuusen juurakon läpimitta on Etelä-Suomen korpimailla 3,1 m, kun huomioidaan juuret 5 cm minimiläpimittaan saakka. Kuusella sivujuurien osuus koko kanto- ja juuripuun osuudesta on kangasmailla $\frac{2}{3}$ ja suomilla jopa $\frac{3}{4}$ kuiva-aineesta. Metsäntutkimuslaitoksen aineiston mukaan tukkipuukuusikon juurakon keskisyvyys oli kivennäismailla Etelä-Suomessa 39 cm ja Pohjois-Suomessa 31 cm. (Hakkila 1976)

Hiili, vety ja happi muodostavat noin 99 % puun kuiva-aineen alkuainekoostumuksesta. Kuorettoman puun tuhkapitoisuus on noin 0,5 % ja havupuun kuoren noin 2 %. Kannoista ja juurista murskattu polttoaine voi sisältää myös huomattavan määrän maata. Hiekka ja multa voivatkin nostaa kantoenergian tuhkapitoisuuden jopa 3,8-13,0 prosenttiin ja aiheuttavat ongelmia poltossa (Alakangas 2000).

Veden osuus vaihtelee sekä puun eri osien välillä että saman lajin eri yksilöiden välillä. Kuusen pintapuun uloimmissa lustoissa kosteus voi olla jopa 60 %, kun taas sydänpuun kosteus on vain noin 30 %. (Saranpää & Tuimala 1997) Juurakossa kosteus yleensä lisääntyy kannosta kohti juurenkärkeä siirryttäessä. Nilsson ja Hyppel (1968) ovat mitanneet kuusen rungon tyven pintapuun kosteudeksi 60%. Etäisyydellä 0-1 metriä tyvestä kohti juurta on kosteudeksi mitattu 62-64% ja kauempana kuin 1 m tyvestä kohti juuren kärkiä on kosteudeksi mitattu 62-75 %. (Kärkkäinen 2003)

Useilla havupuilla juuripuun tiheys on runkupuun tiheyttä korkeampi (Kärkkäinen 2003). Hakkilan (1975) tutkimusten mukaan kuusen kantopuun tiheys (394 kg/m^3) on alempi kuin juurien tiheys. Männyllä tilanne on päinvastainen kantopuun tiheyden ollessa keskimäärin 476 kg/m^3 . Juuripuun keskimääräinen kuiva-tuoretiheys oli männyllä 469 kg/m^3 ja kuusella 452 kg/m^3 . Kuusella juuri- ja runkupuun tiheyden välinen ero on siis muutamia kymmeniä kilogrammoja, mutta männyllä vähemmän. Tarkasteltaessa koko juurakkoa (juuri- ja kantopuu) saadaan männyllä keskimääräiseksi tiheydeksi 473 kg/m^3 ja kuusella 432 kg/m^3 . (Hakkila 1975) Männyllä tulokset pätevät ainoastaan tarkasteltaessa uuttamattoman puun tiheyttä, koska männyn kanto sisältää huomattavan määrän uuteaineita. Kannon korkea uuteainepitoisuus johtuu taas korkeasta sydänpuuosuudesta. Sydänpuun uuteainepitoisuus on pintapuuta huomattavasti korkeampi. Juuripuussa ei sen sijaan esiinny sydänpuuta juuri lainkaan. Mikäli suljetaan pois uuteaineiden vaikutus tiheyteen, niin männyn kanto- ja juuripuun välillä ei ole olennaista tiheyseroa. (Kärkkäinen 2003)

Kuusen runko-, oksa-, kanto-, ja juuripuun lämpöarvot vaihtelevat keskenään hyvin vähän. Käytännössä kuusen runko-, oksa-, kanto- ja juuripuun tehollinen lämpöarvo on $19,3 \text{ MJ/kg}$ eli noin $5,4 \text{ kWh/kg}$. Männyn eri osien puuaineen lämpöarvon välillä

sen sijaan esiintyy jonkin verran vaihtelua. Huomattavin ero 2,8 MJ/kg (0,8 kWh/kg) on kantopuun ja muiden osien välillä. Eroa selittää erityisesti kantopuun korkea uuteainepitoisuus. (Kärkkäinen 2003)

4.2.2 Kannonnostokohteet

Kantojen nostossa keskitytään kuusen uudistusaloihin. Kannonnostoon soveltuvia kohteita ovat kangasmetsät, joiden kasvupaikkatyyppi on kuivahko kangas tai sitä viljavampi. Juurikäypää esiintyvillä kuivilla kankailla voidaan kantoja myös nostaa. Mustikkaturvekankailla ja sitä rehevimmiltä turvekankailla voidaan kantoja niin ikään nostaa. Kannonnostoa ei suositella pohjavesialueille eikä kallioisille ja kivisille kasvupaikoille. (Äijälä ym. 2005)

4.2.3 Kannonnoston kehitys

Aikoinaan juuri- ja kantopuuta käytettiin tervan ja puuhiilen valmistuksessa sekä polttopuuna. (Hakkila 1976) Suomen maaseutuväestö käytti peltojen raivauksessa ja muissa maansiirtotöissä irrotettuja juurakoita polttoaineena yli 200000 k-m³/v vuonna 1938. (Koivulehto 1969)

Stenzel jakoi jo vuonna 1946 kannonnoston menetelmät neljään eri kategoriaan: 1. koneelliset menetelmät, 2. käsityömenetelmät, 3. räjäytysmenetelmät ja 4. puun kaato juurakoineen. (Ahonen & Mäkelä 1972) Kannonnosto kiiloilla ja kangilla oli vuosikymmeniä sitten vielä yleisin nostotapa. Näillä menetelmillä kahden miehen päivätuotos kantohalkoja oli kantojen koosta ja maaperästä riippuen 2-5 m³. (Koivulehto 1969)

Kantojen maasta irrottamiseen tarvitaan suuria voimia. Suoralla nostolla 20-35 cm läpimittainen männynkanto edellyttää maasta irrotukseen 700-800 kN voimaa. Hakkuun ja kannonnoston välisen ajan piteneminen laskee nopeasti nostoon tarvittavan voiman suuruutta. (Hakkila 1975). Kantojen mukana nousee aina myös epäpuhtauksia. Kivet ja irtomaa estävät kantojen haketuksen leikkaavilla terillä. Kiviä voi olla myös kantojen sisällä. Ainoastaan järeiden kantojen korjuu voi olla taloudellisesti kannattavaa. (Hakkila 1976)

Nykyään kantojen nosto tapahtuu kaivinkoneella ja siihen kytketyllä erikoisrakenteisella muokkaimella (Mietala 2004, UPM 2006). Parhaiten kannonnosto onnistuu 20 - 25 tonnin kaivinkoneilla kuusikoissa. Laitila ym. (2007) mittasivat nostotyön tuottavuudeksi 13,0 m³/tehotunti (kantoläpimitta 40 cm ja nostettavien kantojen luku-

määrä 500 kpl/ha). Nostotyön yhteydessä tehty maanmuokkaus alensi tuottavuuden 9,2 m³/tehotunnissa. (Laitila ym. 2007) Suuret yli 30 senttimetrin läpimittaiset kannot paloitellaan 2-4 osaan, ja siirretään kuivumaan kasoihin. Paloittelun tavoitteena on puhtaus, kuivuminen ja suurempi pinotiheys. Nostettujen juurakoiden irtomaan määrä on riippuvainen maalajista, irrotustavasta, koneen kuljettajasta ja juuriston muodosta. (Koivulehto 1969; Lauhanen & Laurila 2007) Ylivuotinen varastointi parantaa kantopuun laatua (puhtautta) tienvarsivarastossa sateiden, kuivumisen ja pakkasen johdosta. (Hakkila 1976; Hakkila & Aarniala 2004)

4.2.4 Kannonnoston merkitys

Kannonnostolla voidaan ennalta torjua kuusen maannousemasiinen eli juurikäävän (*Heterobasidium annosum* L.) ja tukkimiehentäin (*Hylobius abietis*) hyökkäyksiä uuteen puusukupolveen. (Hakkila 2004, Halonen 2005, Metsäteho 2006, Riitahaka 2006) Juurikäävän leviämisen riskialueella voi kannonnostoon saada kestävän metsätalouden rahoituslain mukaista tukea (Laki kestävän metsätalouden rahoituksesta 1996). Kantojen noston yhteydessä suoritettava maanpinnan käsittely alentaa uudistamiskustannuksia, koska erillistä maanmuokkausta ei tällöin tarvita. (UPM 2006) Maanmuokkauksessa on huolehdittava, että uudistusalueelle tehdään tasaisesti riittävä määrä istutuspaikkoja. Korjuualalla oleva veden vaivaama kohde naveromätätetään tarvittaessa. Tarpeetonta maanpinnan paljastamista ja syvien kuoppien muodostumista tulee kuitenkin välttää. (Äijälä ym. 2005; Palviainen 2007)

Uudistusalojen vesakoitumisriski on otettu esille kantojen nostoon liittyen. On mahdollista, että havupuuistutukset epäonnistuvat tai taimikonhoidon kustannukset kasvavat. Vesakoitumiseen vaikuttaa mm. kasvupaikkatekijät. Asiasta on kuitenkin olemassa vain vähän tutkimustietoa ja asiantuntijanäkemyksetkin kannonnoston vaikutuksesta uudistamisalan vesakoitumiseen ovat vaihtelevia. (Metsäteho 2006). Kannonnosto saattaa lisätä kiintoaineen ja ravinteiden huuhtoutumista, koska kantojen korjuussa rikkoontuu laaja-alaisesti pintamaata. (Palviainen 2007)

4.2.5 Kantojen metsäkuljetus ja varastointi

Mäkelän (1972) tutkimuksissa kantojen metsäkuljetuksen tuottavuus oli 1,3 kuormaa tunnissa, kun työ suoritettiin Tree Farmer -vetotraktorilla ja hydraulisella kuormaimella varustetulla peräkärriyllä, jonka tilavuus oli 18 m³. (Mäkelä 1972) Laitilan ym. (2007) tutkimuksessa kantojen lähikuljetuksen tuottavuudeksi saatiin 7,8 m³ tehotunnissa (metsäkuljetusmatka 250 m, kuormakoko 7,0 m³ ja kertymä 60 m³/ha).

Kanto- ja juuripuun epämääräisestä muodosta johtuen on niiden pinotiheys huomattavasti kuitupuun pinotiheyttä alhaisempi. (Mäkelä 1972) Hakkilan (1976) tutkimusten mukaan pilkottujen kantojen pinotiheyskerroin Joutseno-Pulp Oy:n tehtaalle saapuessa oli 0,27-0,36. Alhainen pinotiheys nostaa kuljetuskustannuksia ja kantojen palakoko vaikuttaa kuormauksen ja purkamisen tuottavuuteen (Mäkelä 1972; Hakkila 1976). On taloudellista rakentaa kuormatraktorin kuormatila mahdollisimman suureksi. (Hakkila 1976)

Kantoenergian varastopaikka on syytä sijoittaa kantavan tien varteen. Näin voidaan varmistaa murskauksen ja kaukokuljetuksen onnistuminen. (Riitahaka 2006) Varastoinnissa on huomioitava kantojen vaatima suuri tilantarve. Hehtaarin alalta nostetun kantovaraston pituus on noin 40 m. (Koistinen & Äijälä 2006) Varastojen turvallisuus- ja siisteysasiat ovat niin ikään tärkeitä, seurattavia asioita. Varastopaikan on jäätävä siistiksi myös kaukokuljetuksen jälkeen. (Riitahaka 2006)

4.2.6 Kannonnoston ympäristönäkökohdat

Kantoja nostettaessa on tärkeää huomioida myös ympäristönäkökohdat. Tällä hetkellä tutkimustietoa kannonnoston ympäristövaikutuksista pohjavesiin, maaperän eroosioon tai läheisiin pienvesiin on kuitenkin niukasti saatavilla. Kantojen ja juurakoiden korjuun ympäristövaikutukset olisi syytä tutkia perusteellisesti. (Lauhanen & Laurila 2007).

Metsäluonnon erityisen tärkeät elinympäristöt ja muut luontokohteet rajataan kannonnoston ulkopuolelle. Nisäkkäiden, lintujen ja kekomuurahaisten pesiä ei saa vahingoittaa kantojen korjuun yhteydessä. (Metsälaki 1996; Niemelä 2006) Vesiensuojelullisista syistä ojien varsiin tulee jättää vähintään 2 - 3 metrin käsitlemätön suojakaistale. Purojen, norojen ja lähteiden varsilla kaistan leveyden tulee olla vähintään 3-5 metriä. Vesistöjen varsilla suojakaistaleen on oltava vähintään 7-10 metriä. (Niemelä 2006) Eroosioherkillä rinteillä sekä hiekka- ja hietapohjaisilla mailla kannot on syytä jättää kokonaan korjaamatta. (Koistinen & Äijälä 2006). Kannonnoston ulkopuolelle suositellaan jätettäväksi kohteet, joissa kallion päällä on vain ohut maakerros. Säästö- ja lahopuiden ympäristössä tulee kannonnostoa myös välttää. (Äijälä ym. 2005)

Kannonnostokohteelta ei nosteta kaikkia kantoja, vaan osa kannoista jätetään turvaamaan metsäluonnon monimuotoisuutta säästökantoina. Pieniläpimittaisten alle 15 cm läpimittaisten kantojen nostaminen ei ole ollut edes taloudellisesti kannattavaa. (Hakkila 2004; Halonen 2005) Kuusen, männyn ja lehtipuiden kantoja jätetään tasaisesti nostamatta noin 15 - 20 kpl/ha. (Halonen 2005; Riitahaka 2006). Tapion ohjeissa savi- ja silttimaille suositellaan jätettäväksi vähintään 50 kpl/ha eri puu-

lajien kantoja. (Äijälä ym. 2005) Vanhat kannot suositellaan jätettävän kokonaan korjaamatta. Säästökannoiksi ei sen sijaan saa jättää tuoreita kantoja, joissa on lahoa. (Äijälä ym. 2005)

4.3 AINEISTO JA MENETELMÄT

4.3.1 Kannonnosto

Kannonnostoa seurattiin Etelä-Pohjanmaan tavoite 2 –alueella kolmella eri paikkakunnalla. Yhteensä seurantakohteita oli viisi, joista kolme sijaitsi Jurvassa, yksi Ähtärissä ja yksi Isojoella. Kannonnoston jälkeisen maankäyttötavan mukaan kohteet jakautuivat kahteen eri päätyyppiin: kannonnosto metsämaalla ja pellonraivaus. Jurvan kolmella kohteella maankäyttömuotoa ei muutettu kannonnoston jälkeen, vaan näillä alueilla jatkettiin metsätaloutta edelleen. Sen sijaan Isojoella metsämaa otettiin kannonnoston ja raivauksen jälkeen maatalousmaakäyttöön ja Ähtärissä metsämaa raivattiin riistapelloksi. Toisin kuin Ähtärissä ja Isojoella niin Jurvassa osa kannoista jätettiin maahan säästökannoiksi. Näin voitiin turvata lahopuuta ravintona käyttävien eliökantojen säilyminen monimuotoisena.

4.3.1.1 Koealat

Nostotyön tuottavuutta seurattiin suorakaiteen muotoisilla koealoilla, joiden pituus oli 15 metriä. Koealan leveys oli kaivinkoneen keskimääräinen koealakohtainen työskentelyleveys. Teoriassa koealan leveys olisi voinut olla koneen ulottuvuus kerrottuna kahdella. Käytännössä koealan leveys oli kuitenkin pienempi, koska koneen ulottuvuutta ei hyödynnetty kokoajan maksimaalisesti. Pituussuunnassa koealat merkittiin kuitunauhalla etukäteen maastoon. Kannonnoston edetessä nostetun ja nostamattoman alueen rajaa merkittiin myös kuitunauhalla maastoon leveyden mittauksen helpottamiseksi. Koealan leveysmittauksia tehtiin keskimäärin kolme jokaiselta koealalta. Koealojen leveydet olivat 7,5-17,0 metriä.

4.3.1.2 Tuomarniemi

Tuomarniemen kannonnostokohde sijaitsi Ähtärissä (lat. 62° 35') ohutturpeisella ojitetulla metsämaalla, jonka ravinteisuus vastasi lehtomaisen kankaan metsätyyppiä. Pinta-alaltaan (0,4 ha) kohde oli tämän tutkimuksen kannonnostoseurantakohteista pienin. Avohakkuu oli tehty kannonnostoa edeltävänä talvena.

Nostotyössä käytettiin vuoden 2000 mallia olevaa Caterpillar 312B L –kaivinkonetta (kuva 1). Koneen massa oli 16 t ja puomin ulottuvuus 7,8 m. Kohteella tehtiin kannonnoston yhteydessä riistapellon raivaus. Koska kyseessä oli riistapellon raivaus, niin kohteen kaikki kannot nostettiin eikä säästökantoja jätetty. Tuomarniemen kohteelta kannonnostotyöstä mitattiin yhteensä 9 koealaa, joiden perusteella keskimääräiset tuottavuudet ja ajanmenekit laskettiin. Lisäksi ennen kannonnostoa mitattiin kantojen läpimitat (cm) ja kuorenpaksuudet (mm).



Kuva 1. Caterpillar 312B L kannonnostossa riistapellonraivauskohteella Tuomarniemellä.

4.3.1.3 Isojoki

Isojoen kannonnostokohde raivattiin maatalousmaaksi. Alueen maalaji oli suurimmaksi osaksi turvemaata ja osittain kivennäismaata. Kohteen pinta-alaa ei mitattu. Ravinteisuudeltaan maaperä vaihteli tuoreen ja lehtomaisen kankaan välillä. Nostettavat kannot olivat läpimitaltaan huomattavasti pienempiä kuin mitä ravinteisuuden perusteella olisi voinut odottaa. Pieni läpimitta oli seurausta hoitamattoman metsän ylitiheydestä.

Isojoen kohde poikkesi muista kannonnostoseurantakohteista metsänhakuun ja kannonnoston välisellä ajalla, sillä kannonnosto tehtiin vasta kolmen vuoden kuluttua hakuusta. Nostotyö tehtiin Åkerman H7 CET –kaivinkoneella jonka vuosimalli oli 1993 (kuva 2). Koneen massa oli noin 19 t ja ulottuvuus 9,0 m. Kannonnostoa seurattiin yhteensä 7 koealalla ja havainnot tehtiin 14.7. ja 18.7.2006.



Kuva 2. Åkerman H7 kannonnostossa Isojoella.

4.3.1.4 Jurva

Jurvassa kannonnostoa seurattiin kolmella eri kohteella joiden yhteispinta-ala oli 19,5 ha. Suurin kannonnostokuvio oli 9,7 ha ja pienin 3,9 ha. Maalajiltaan kohteet olivat kivennäismaata. Ravinteisuus vaihteli tuoreen ja lehtomaisen kankaan välillä. Metsänhakuu oli tehty kannonnostoa edeltävänä talvena. Kannot olivat järeitä. Kannonosto ja laikutus tehtiin Hitachi Zaxis 225 –kaivinkoneella, jonka vuosimalli oli 2003 (kuva 3). Koneen massa oli 24 t ja ulottuvuus 9,6 m. Osa kannoista jätettiin maahan säästökannoiksi. Kannonnoston yhteydessä tehtiin myös laikutus metsän uudistamisen varmistamiseksi. Kannonnostoa seurattiin yhteensä 34 koealalla (Jurva 1 = 11, Jurva 2 = 14 ja Jurva 3 = 9).



Kuva 3. Hitatachi Zaxis 225 kannonnostotyössä Jurvassa.

4.3.2 Kantojen metsäkuljetus

Kantojen metsäkuljetusta seurattiin yhdellä, pinta-alaltaan suurimmalla, Jurvan kannonnostokohteella (Jurva 1). Kannonnostosta metsäkuljetukseen oli kulunut aikaa hieman yli kuukausi. Kannot olivat kannonnoston jäljiltä noin 1-2 kuormatraktorin kuorman suuruisissa kasoissa hakkuuaukealla, josta ne ajettiin tienvarsivarastoon. Metsäkuljetus tapahtui Ponsse S15 –kuormatraktorilla, joka oli vuosimallia 1995 (kuva 4). Käyttötunteja koneeseen oli kertynyt noin 8000 tuntia. Kuormatraktorin kuormatilan tekninen tilavuus oli 20,7 m³. Kannonajossa kuormatraktorin kuormatilan pohjalla käytettiin muutamaa tukkia alustana, jolloin kuormatilan tekninen tilavuus oli hieman alle 20 m³.

Yhteensä kantojen metsäkuljetusta seurattiin 19 kuorman osalta. Seurannassa mitattiin kuormakohtaista metsäkuljetukseen kulunutta aikaa. Kuormakohtainen metsäkuljetukseen kulunut aika jaettiin neljään eri työvaiheeseen: ajo tyhjänä, kuormaus, ajo kuormattuna ja kuorman purku. Lisäksi mitattiin lankamittalaiteella kuormakohtainen metsäkuljetusmatka.



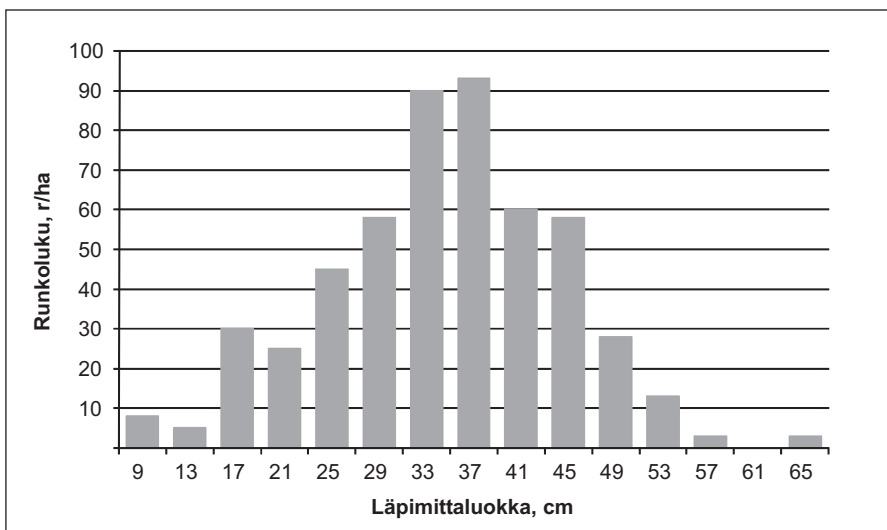
Kuva 4. Ponsse S15 kantojen metsäkuljetuksessa Jurvassa.

4.4 TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU

4.4.1 Tuomarniemen ja Isojoen kannonnostokohteet

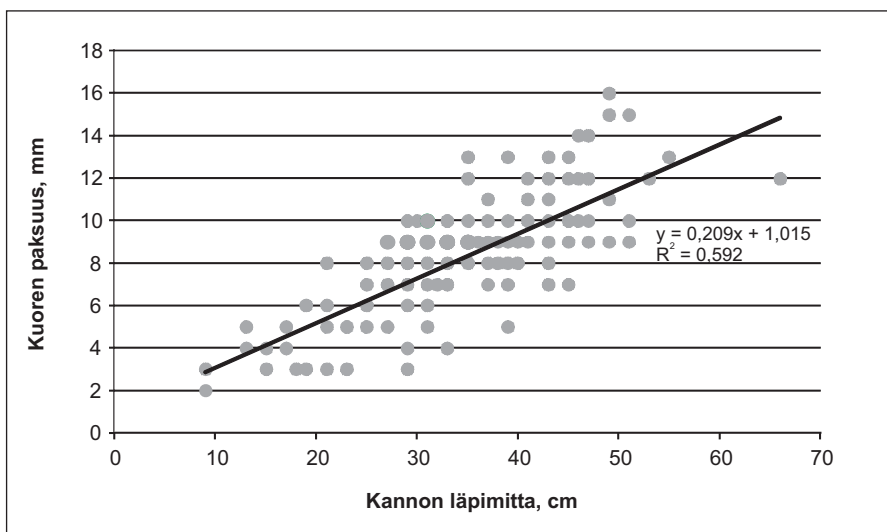
Tuomarniemen ja Isojoen kannonnostokohteet poikkeavat normaalista metsämaalla suoritettavasta kannonnostosta, jonka yhteydessä tehdään yleensä myös laikutus. Tuomarniemen kannonnostokohde raivattiin riistapelloksi ja Isojoen kohde raivattiin maatalousmaaksi. Pellon raivauksen ajanmenekki on eri luokkaa kuin pelkän metsämaalla suoritettavan kannonnoston ajanmenekki. Tämän takia Tuomarniemen ja Isojoen tuloksia ei voi verrata sellaiseen kannonnostokohteeseen, jossa metsänkäyttömuoto ei muutu.

Tuomarniemen kannonnostokohteella kantojen läpimitat mitattiin ennen kannonnostoa. Minimikantoläpimittaluokaksi valittiin 9 cm. Mittaustuloksista laskettiin runkolukusarja (kuva 5). Eniten kantoja oli 37 cm läpimittaluokassa ja lähes yhtä paljon luokassa 33 cm. Suurin mitattu kanto oli läpimitaltaan 65 cm. Keskimääräinen kantoläpimitta oli 33,5 cm. Kuviolta mitattiin yhteensä 206 kantoa. Laskennallisesti hehtaaria kohti kantoja kertyi 519 kpl/ha.



Kuva 5. Tuomarniemen kannonnostokohteen runkolukusarja, kantojen osalta.

Kantoläpimittojen mittausten yhteydessä mitattiin myös kantojen kuoren paksuuksia. Kuoren paksuus mitattiin yhteensä 185 kannosta. Läpimitan ja kuoren paksuuden välistä korrelaatiota kuvaa suora $y = 0,209X + 1,015$, jonka selitysaste on 0,59 (kuva 6). Keskimääräinen kuoren paksuus oli 8,2 mm.

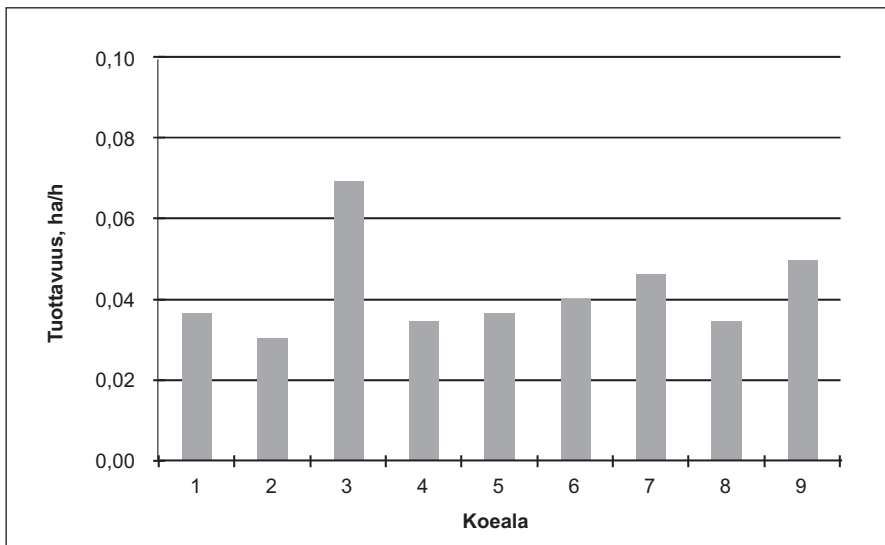


Kuva 6. Kantoläpimitan ja kuoren paksuuden välinen riippuvuus Tuomarniemen kannonnostokohteella.

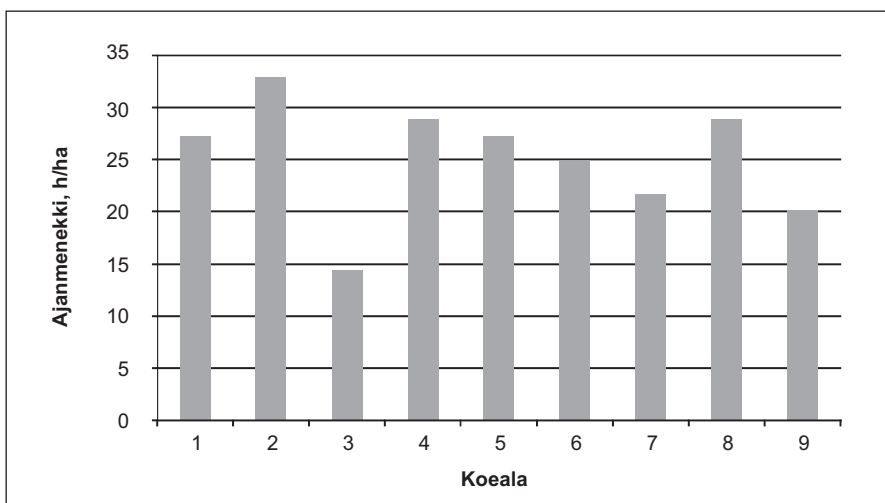
Kannonnoston tuottavuutta selvitetiin yhdeksän koalalan mittausten perusteella. Kuvasessa 7 jokainen pylväs esittää koalakohtaista nostotyön tuottavuutta. Alimmillaan tuottavuus oli 0,03 ha/h ja ylimmillään 0,07 ha/h. Keskimääräinen tuottavuus oli 0,04

ha/h ja keskihajonta 0,012 ha/h. Kolmannella koealalla tuottavuus oli selkeästi muiden koealojen arvoja korkeampi. Selittävänä tekijänä saattoi olla kantojen vähäisempi määrä ko. koealalla.

Kannonnoston koealakohtainen ajanmenekki oli ylimmillään lähes 33 h/ha ja alimmillaan 14,5 h/ha (kuva 8). Keskimääräinen ajanmenekki oli noin 25 h/ha ja keskihajonta n. 5,5 h/ha. Ajanmenekki on melko korkea verrattuna jäljempänä oleviin Jurvan tuloksiin. On kuitenkin muistettava, että Tuomarniemen kohteella tehtiin riistapellonraivaus ja raivaustyössä käytetty kaivinkone oli kevyehkö (16 t).



Kuva 7. Kannonnoston koealakohtainen tuottavuus Tuomarniemen riistapeltokohteella.



Kuva 8. Kannonnoston koealakohtainen ajanmenekki Tuomarniemen riistapeltokohteella.

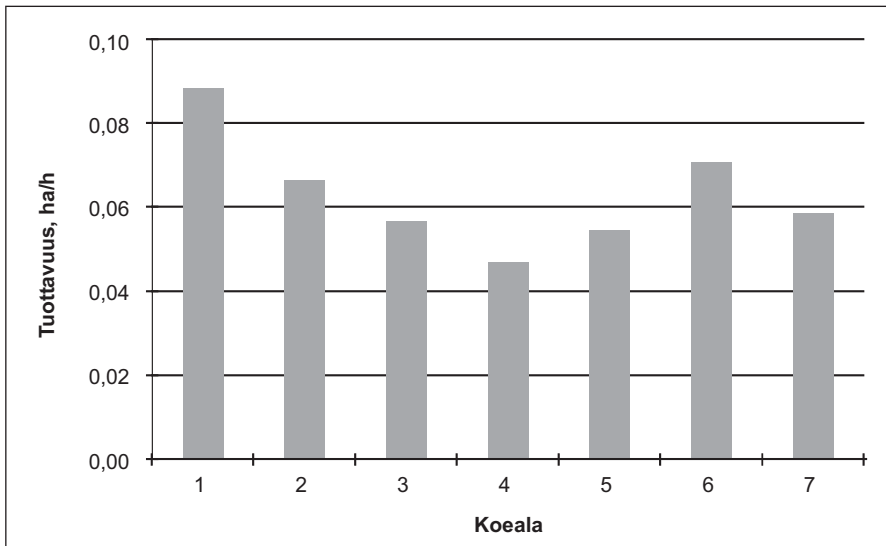
Isojoella metsänhakuusta oli kulunut kolme vuotta ennen kuin kannot nostettiin. Tämän takia kannot olivat jo selkeästi alkaneet lahota. Laho vaikuttaa lämpöarvoon negatiivisesti, mutta nostotyöhön sillä näytti olevan positiivinen vaikutus. Kolmen vuoden aikana hienojuuristo oli ehtinyt sen verran lahota, että ne eivät enää sitoneet kovin paljon maata juurakoihin (kuva 9). Kannot nousivat selvästi helpommin ja juurakot sisälsivät huomattavasti vähemmän maata kuin kohteella, jossa hakuusta kannonnostoon on kulunut lyhyt aika.



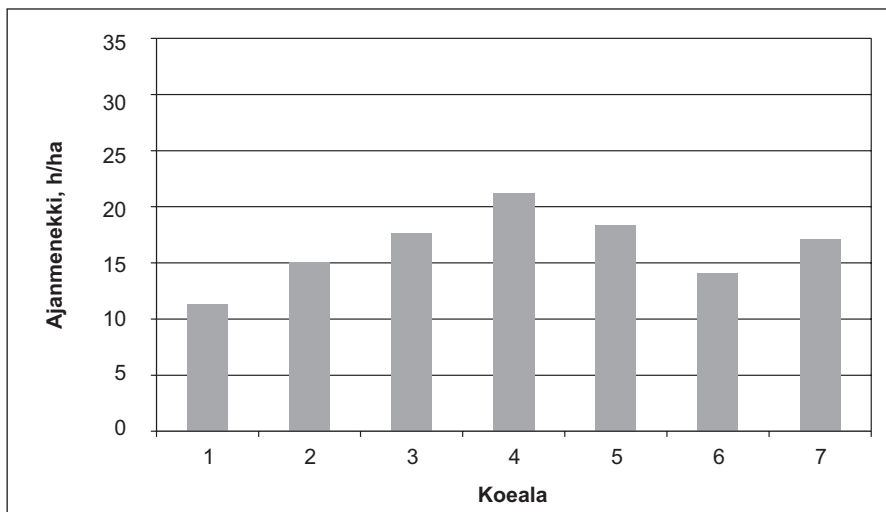
Kuva 9. Kolmen vuoden kuluttua hakuusta nostettuja kantoja.

Yhteensä Isojoella mitattiin seitsemän koealaa. Alimmillaan tuottavuus oli 0,047 ha/h ja ylimmillään 0,088 ha/h (kuva 10). Koealojen keskimääräinen tuottavuus oli 0,063 ha/h ja keskihajonta 0,012 ha/h. Keskimääräinen tuottavuus oli Isojoella 0,021 ha/h korkeampi kuin Tuomarniemessä, joka myös oli pellonraivauskohde.

Kannonnoston ajanmenekki oli suurin koealalla numero neljä ollen hieman yli 21 h/ha (kuva 11). Alimmillaan ajanmenekki oli noin 11,5 h/ha koealalla numero 1. Ajanmenekin keskiarvo oli 16,4 h/ha ja keskihajonta vähän yli 3 h/ha. Isojoella ajanmenekki oli lähes 9 h/ha pienempi kuin Tuomarniemessä. Ero johtunee hakuun ja kannonnoston välisistä eripituisista ajoista. Tuomarniemessä hakkuu ja kannonnosto tehtiin samana vuonna, kun Isojoella hakuusta aikaa oli kulunut kolme vuotta. Kannonnostotyössä käytetyt kaivinkoneet poikkesivat myös toisistaan. Isojoella työskennellyt kaivinkone oli noin 3 tonnia painavampi kuin Tuomarniemessä käytetty kone.



Kuva 10. Kannonnoston tuottavuus ha/h koealoittain Isojoella. Tuottavuuden keskiarvo 0,06 ha/h.



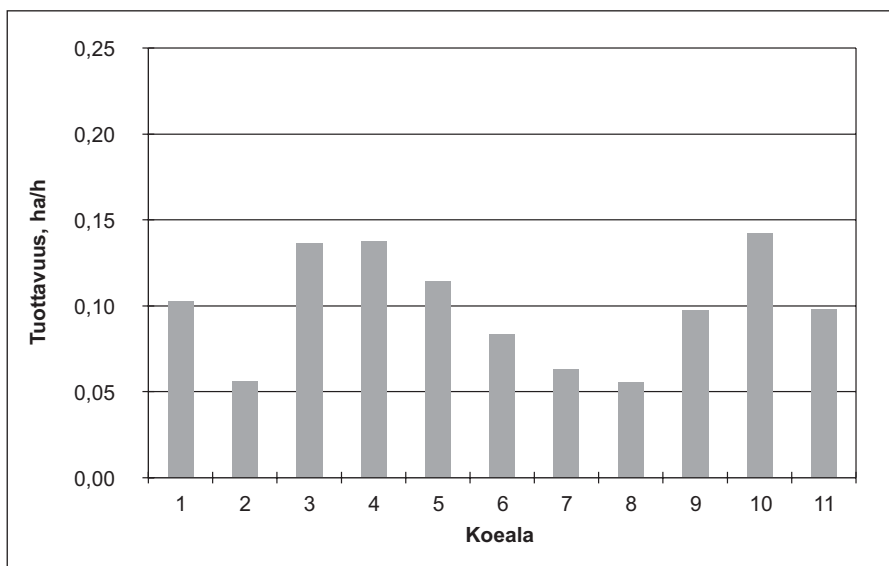
Kuva 11. Kannonnoston ajanmenekki h/ha koealoittain Isojoella.

4.4.2 Jurvan kannonnostokohteet

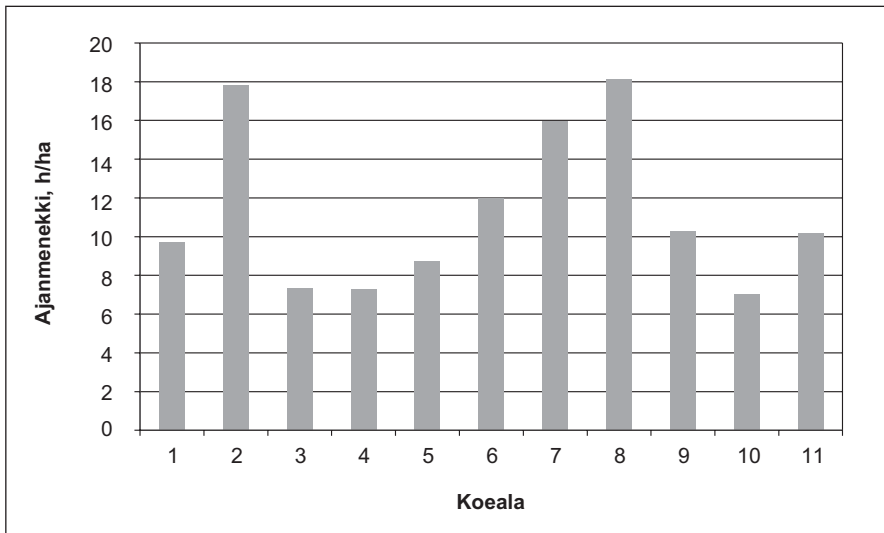
Jurvassa kannonnostoa seurattiin kolmella eri kohteella, joissa hakkuu sekä kannonnosto tehtiin samana vuonna. Kannonnoston yhteydessä tehtiin myös laikutus. Metsänkayttömuotoa ei siis muutettu, kuten kävi Tuomarniemellä sekä Isojoella. Kaikki kolme kohdetta olivat olosuhteiltaan ja maaperältään hyvin samantyyppisiä. Ensimmäisellä kohteella (Jurva 1) kannonnoston tuottavuutta sekä ajanmenekkiä tutkittiin 11 koealalla. Toisella kohteella (Jurva 2) koealoja oli 14 ja kolmannella kohteella (Jurva 3) koealoja oli 9.

Jurva 1 –kohteella alhaisin tuottavuus oli 0,055 ha/h ja korkein 0,143 ha/h (kuva 12). Kaikkien koealojen keskimääräinen tuottavuus oli 0,099 ha/h ja keskihajonta 0,032 ha/h. Tuottavuus on 2,4 kertaa suurempi kuin Tuomarniemen kohteella ja 1,6 kertaa suurempi kuin Isojoen kohteella. On kuitenkin muistettava, että Tuomarniemellä ja Isojoella metsämaa raivattiin kannonnoston yhteydessä pelloksi, johon kuuluu huomattavasti enemmän aikaa kuin pelkkään kannonnostoon. Eroja korostanee vielä se, että Jurvassa työskennellyt kaivinkone oli Tuomarniemellä ja Isojoella käytettyjä koneita huomattavasti järeämpi.

Kannonnoston ajanmenekki oli Jurva 1 –kohteella keskimäärin 11,3 h/ha ja keskihajonta 4,2 h/ha (kuva 13). Alimmillaan kannonnostoon kului aikaa 7 h/ha ja ylimmillään noin 18 h/ha. Koealan 2, 7 ja 8 ajanmenekit ovat selkeästi muita koealoja korkeampia. Mikäli koealoja 2,7 ja 8 ei laskettu mukaan, niin koealojen keskihajonta oli ainoastaan 1,8 h/ha.

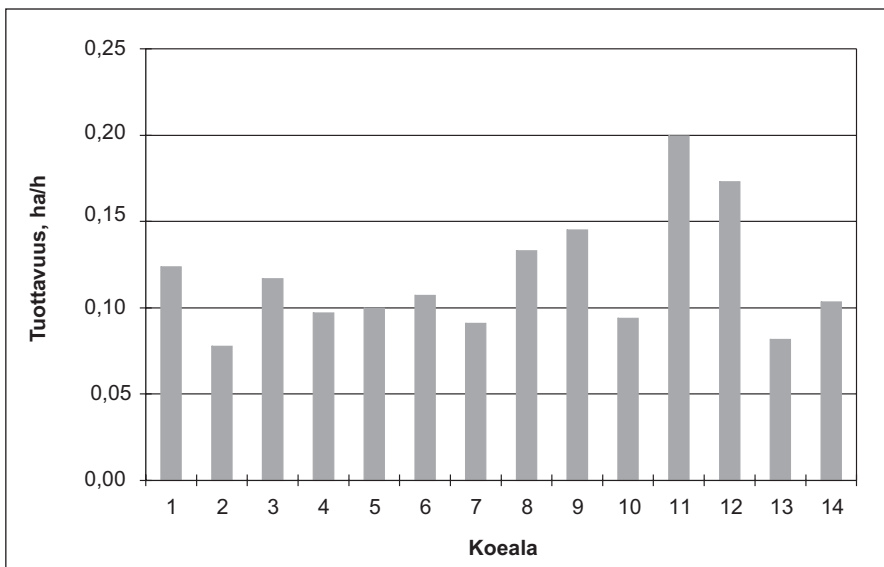


Kuva 12. Jurva 1 –kohteen kannonnoston tuottavuus ha/h koealoittain.



Kuva 13. Jurva 1 –kohteen kannonnoston ajanmenekki h/ha koealoittain.

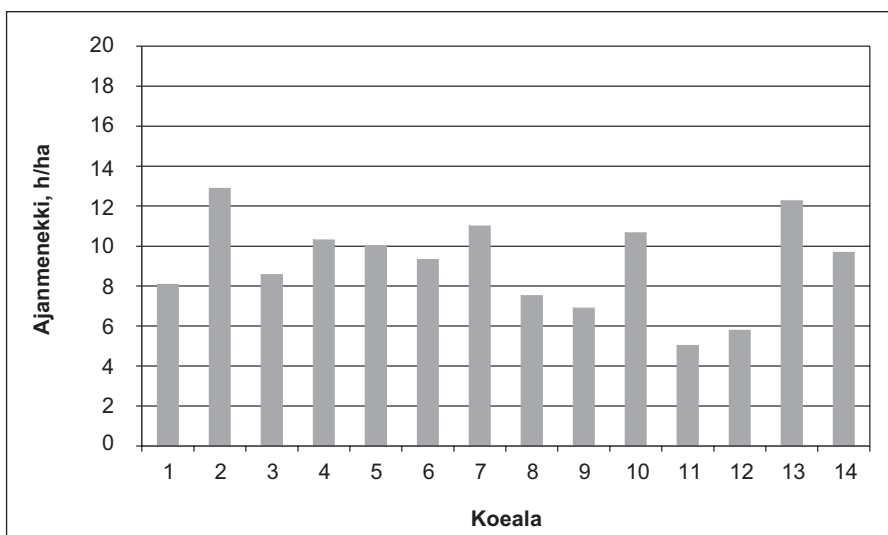
Kohteen Jurva 2 kannonnoston tuottavuus oli alimmillaan 0,078 ha/h ja ylimmillään 0,200 ha/h (kuva 14). Keskimääräinen tuottavuus oli 0,117 ha/h ja keskihajonta 0,035 ha/h. Jurva 2 –kohteella nostotyön tuottavuus oli 1,2 kertaa suurempi kuin kohteella Jurva 1.



Kuva 14. Jurva 2 –kohteen kannonnoston tuottavuus ha/h koealoittain.

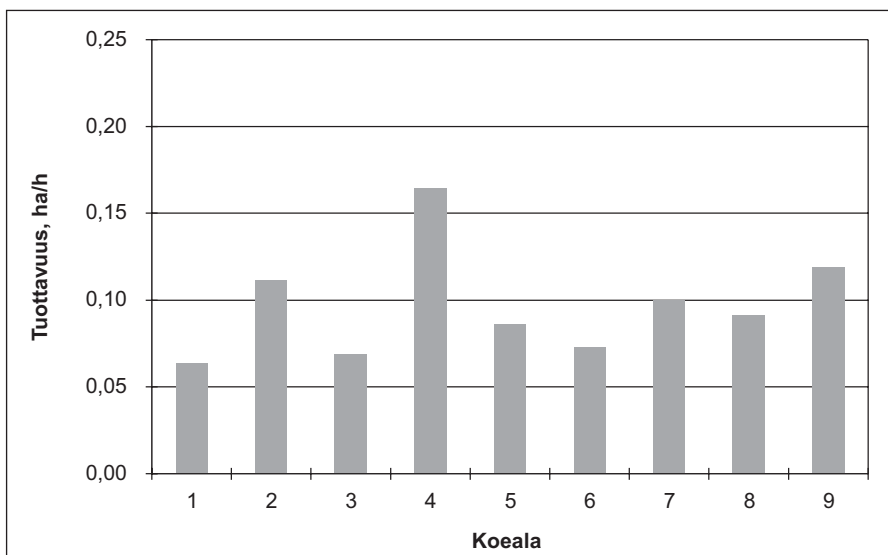
Alimmillaan kannonnoston ajanmenekki Jurva 2 –kohteella oli 5,0 h/ha ja ylimmillään 12,9 h/ha (kuva 15). Kaikkien koalojen keskimääräinen ajanmenekki oli 9,1 h/ha ja keskihajonta 2,3 h/ha. Jurva 2 –kohteen keskihajonta oli lähes puolet pienempi kuin kohteella Jurva 1. Keskimääräinen hehtaarikohtainen ajanmenekki oli 2,2

tuntia vähemmän kuin kohteella Jurva 1. Ajanmenkki oli noin 16 tuntia vähemmän kuin Tuomarnimen riistapellonraivauskohteella ja 7,3 tuntia vähempi kuin Isojoen pellonraivauskohteella.



Kuva 15. Jurva 2 –kohteen kannonnoston ajanmenekki h/ha koealoittain.

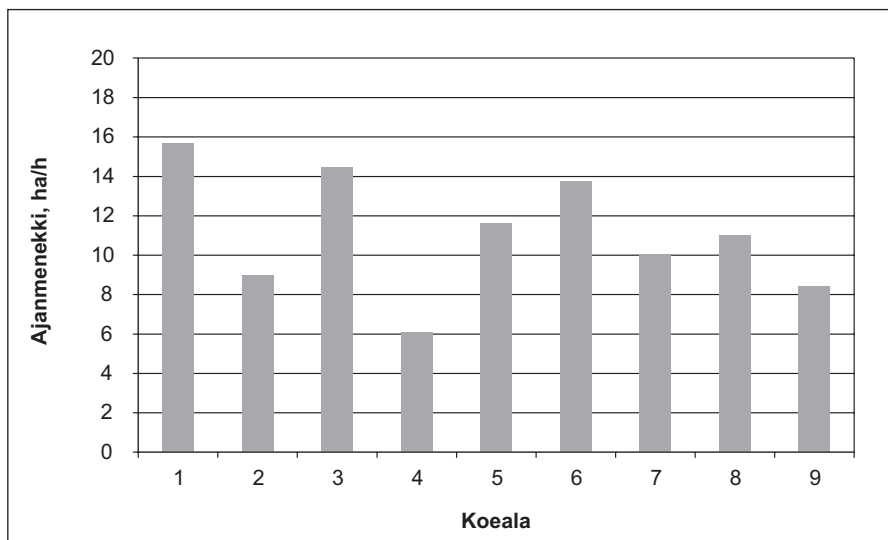
Jurva 3 –kohteen koealoilla keskimääräinen tuottavuus oli 0,098 ha/h ja keskihajonta 0,031 ha/h (kuva 16). Keskihajonta oli pienin Jurvan kolmesta kohteesta, erot ovat kuitenkin melko pieniä. Huonoin tuottavuus Jurva 3 –kohteella oli ensimmäisellä koealalla 0,064 ha/h. Korkein tuottavuus oli koealalla neljä 0,165 ha/h. Jurva 1 ja Jurva 3 –kohteilla mitattujen koealojen keskimääräiset nostotyön tuottavuudet olivat



Kuva 16. Jurva 3 –kohteen kannonnoston tuottavuus ha/h koealoittain.

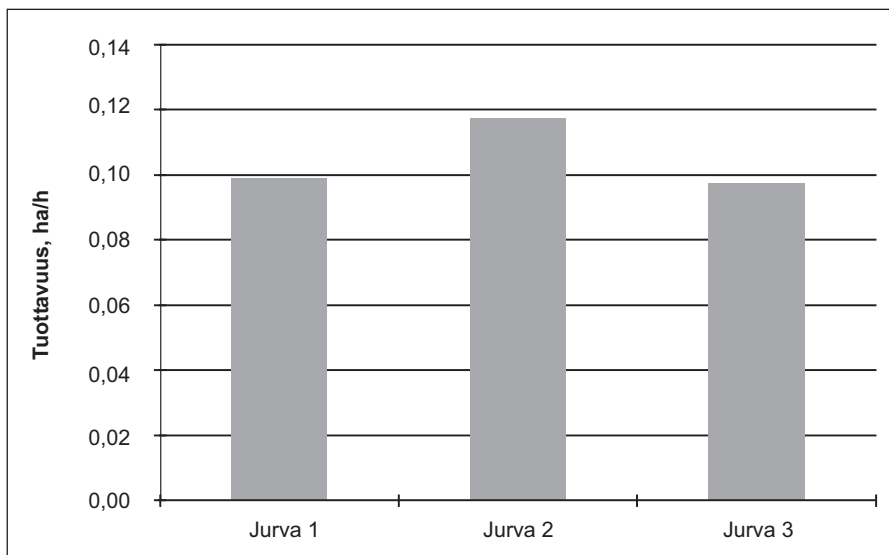
kutakuinkin samat. Jurva 2 kohteella tuottavuus oli noin 1,2 kertaa suurempi kuin Jurva 3 –kohteella. Jurva 3 –kohteella mitattiin myös 0,6 ha koeruutu, jolla tuottavuus oli 0,050 ha/h. Koeruudun alueella oli isoja kantoja.

Pienin nostotyön ajanmenekki Jurva 3 –kohteella oli 6,1 h/ha (kuva 17). Eniten aikaa kului ensimmäisellä koealalla 15,7 h/ha. Yhdeksän koealan keskimääräinen nostotyön ajanmenekki oli 11,1 h/ha ja keskihajonta 3,1 h/ha. Erikseen mitatulla 0,60 hehtaarin koeruudulla ajanmenekki oli 20 h/ha. Koeruudulta mitattu tulos oli ajanmenekiltään 7,1 h/ha korkeampi kuin Jurvan kolmen kohteen keskimääräinen ajanmenekki, jotka mitattiin 15 metrin pätkinä.



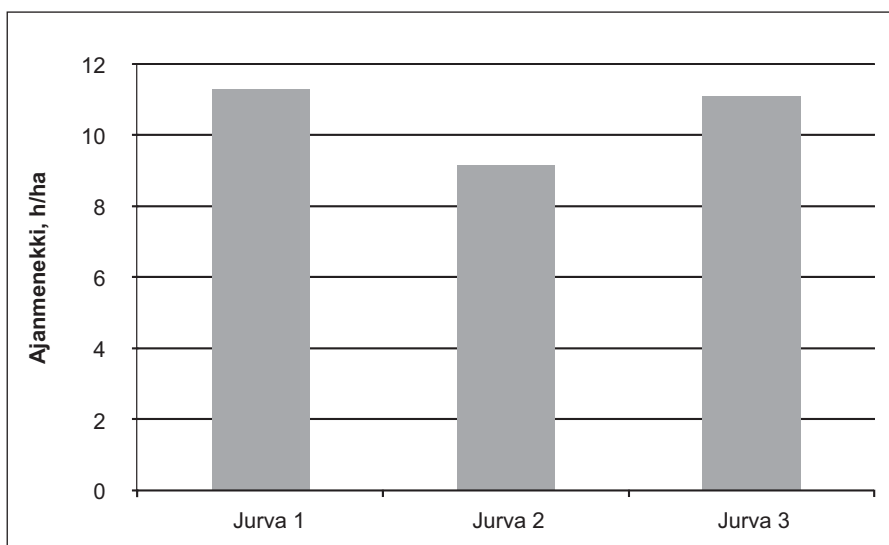
Kuva 17. Jurva 3 –kohteen kannonnoston ajanmenekki h/ha koealoittain.

Kuvaan 18 on koottu Jurvan kolmen kohteen kannonnoston tuottavuuden keskiarvot. Kohteiden Jurva 1 ja 3 keskiarvot olivat lähes samat. Kohteella Jurva 2 tuottavuus oli noin 1,2 kertaa suurempi kuin kohteilla Jurva 1 ja 3. Suurin keskihajonta 0,035 ha/h oli kohteen Jurva 2 koealojen välillä ja pienin 0,031 ha/h Jurva 3 kohteella. Jurvan kolmen kannonnostokohteen tuottavuuden keskiarvo oli 0,091 ha/h.



Kuva 18. Kannonnoston tuottavuus (ha/h) kolmella kohteella Jurvassa.

Vähiten aikaa 9,1 h/ha kannonnostoon kului kohteella Jurva 2 (kuva 19). Jurva 1 ja 3 ajanmenekit olivat hieman yli 11 h/ha. Jurva 1 –kohteen koalojen keskihajonta oli kaikkein suurin 4,2 h/ha ja kohteen Jurva 2 kaikkein pienin 2,3 h/ha. Jurvan kolmen kohteen keskimääräinen ajanmenekki oli 10,5 h/ha. Jurvan kohteisiin verrattuna Tuomarnimen riistapellonraivauskohteen ajanmenekki oli noin 2,4-kertainen ja Isojoella noin 1,6-kertainen.



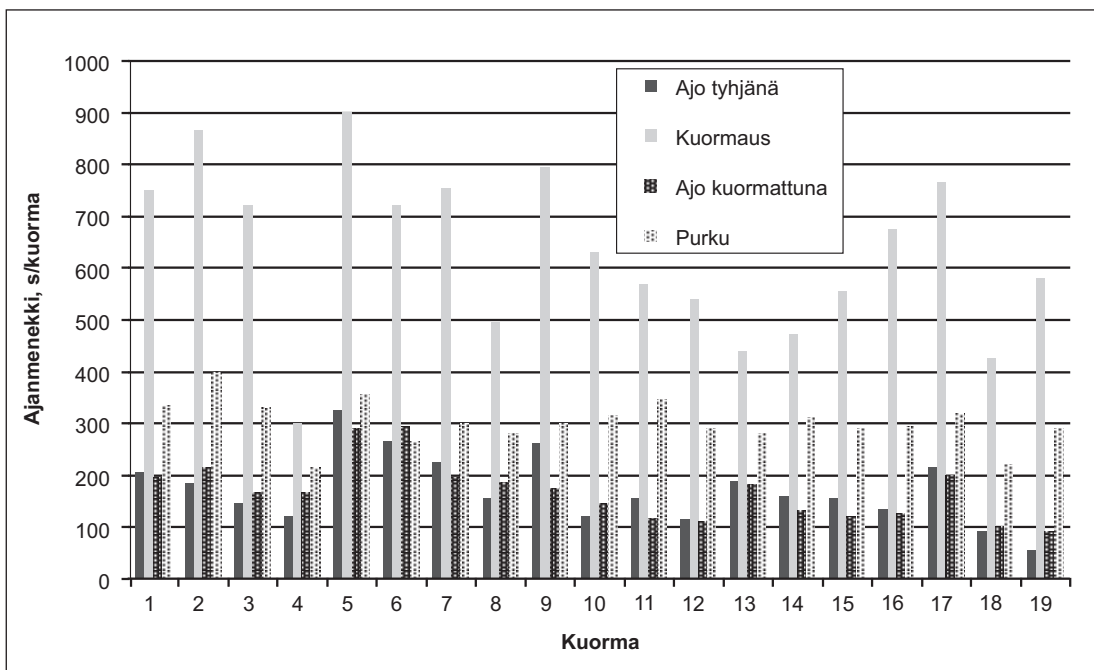
Kuva 19. Kannonnoston ajanmenekki kolmella kohteella Jurvassa.

4.4.3 Kantojen metsäkuljetus Jurvassa

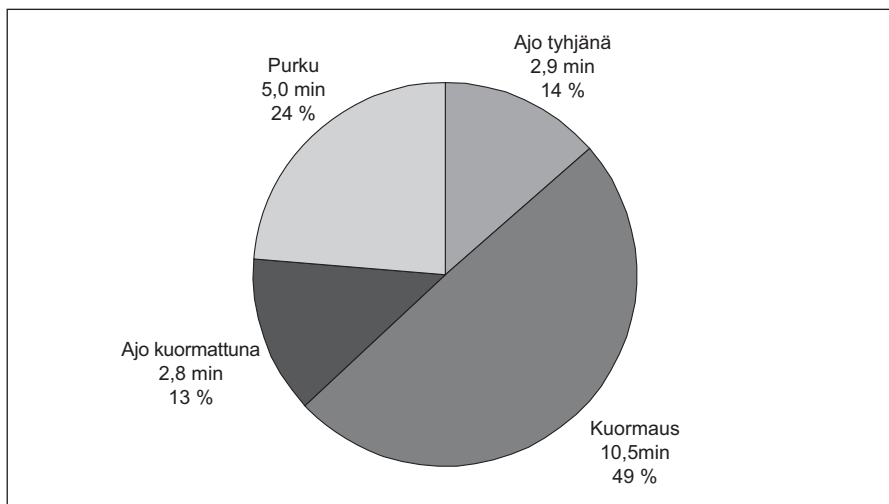
Kantojen metsäkuljetusta tutkittiin Jurva 1 –kohteella, jossa havainnoitiin yhteensä 19 kantokuorman metsäkuljetusta. Metsäkuljetuksen työvaiheet jaettiin neljään päävaiheeseen: ajo tyhjänä, kuormaus, ajo kuormattuna ja kuorman purku. Kuvassa 20 esitetään kuormakohtaiset ajanmenekit työvaiheittain.

Suunnilleen puolet metsäkuljetuksen ajasta kuluu kuormaukseen (kuva 21). Keskimäärin kuormaukseen kului aikaa 10,5 min/kuorma. Toiseksi eniten aikaa 5,0 min/kuorma kului kuorman purkuun. Tämä on noin neljäsosa kuormakohtaisesta kokonaisajanmenekistä. Tyhjänä (2,9 min/kuorma) ja kuormattuna (2,8 min/kuorma) ajoon kului lähes yhtä paljon aikaa. Tyhjänä ajon hieman suurempaa ajanmenekkiä kuormattuna ajoon verrattuna voidaan selittää metsäkuljetusmatkan pituudella. Tyhjänä ajo lopetettiin kauempana kuin mistä kuormattuna ajo aloitettiin.

Eri työvaiheiden välillä pienin keskihajonta oli kuorman purussa 43 s/kuorma ja suurin kuormauksessa 162 s/kuorma. Seurattujen kuormien tyhjänä ajon keskihajonta oli 66 s/kuorma ja kuormattuna ajon 57 s/kuorma. Kuormattuna ajon pienempi keskihajonta tyhjänä ajoon verrattuna johtuu lyhyemmästä ajomatkasta ja tasaisemmasta ajonopeudesta.



Kuva 20. Kantojen metsäkuljetuksen kuormakohtaiset ajanmenekit työvaiheittain Jurvassa.



Kuva 21. Metsäkuljetuksen eri vaiheiden ajanmenekit.

4.5 PÄÄTELMÄT

Kanto- ja juuripuu on arvokasta biopolttoainetta, joka kannattaa hyödyntää. Kantojen nosto metsämaalta energiakäyttöön on kuitenkin edelleen melko vähäistä verrattuna hyödynnettävissä olevaan kantopotentiaaliin. Niin ikään pellonraivauskohteiden kantoja ei hetikään aina hyödynnetä. Varsinkin aiempina vuosina uudismaiden kannot nostettiin karhelle sateen huuhdottavaksi, jonka jälkeen vuosien kuluttua kantokasat poltettiin pellolla tai ajettiin lähimpään metsään. Metsämaan ja pellonraivauskohteen kannonoston tuottavuudet eroavat huomattavasti toisistaan. Tämä johtuu siitä, että pellonraivauskohteella nostetaan kaikki pienetkin kannot, kun taas metsämaalla osa kannoista jätetään lahoppuiksi. Pellonraivauskohteen nostotyön tuottavuutta alentaa usein myös samanaikaisesti kannonoston yhteydessä tehtävä kivien ja kunttakerroksen raivaus.

Kannonnostotyössä käytettävän koneen koolla on huomattava merkitys. Havaintojen mukaan pieni 16 t painava kaivinkone ei ole kovin tehokas kannonnostotyössä. Isojen kantojen irrottaminen maasta vaatii melko suuren voiman. Koneen tulisi olla mieluummin yli 20 t, jotta nostotyö sujuisi tehokkaasti. Jurvan kohteilla käytetty 24 t kaivinkone soveltui erinomaisesti kannonnostoon. Ylijäreän kaivinkoneen hankintahinta on korkea ja polttoaineen kulutus suuri, joten niiden käyttö kannonnostossa ei ole välttämättä taloudellista. Toisaalta jokainen koneyrittäjä tekee omat kannattavuuslaskelmansa vastaten omista päätöksistä.

Maan irtoaminen juurakoista kannonoston yhteydessä on riippuvainen ainakin maa-ajasta ja hakkuun ja kannonoston välisestä ajasta. Kivennäismaa irtoaa kannoista

helpommin kuin turvemaa. Toisaalta turve ei aiheuta kantojen murskauksessa ja poltossa ongelmia toisin kuin vähäinenkin määrä kivennäismaata. Kantoihin tarttunut turve hidastaa jossain määrin kantojen kuivumista. Pitkä hakkuun ja kannonnoston välinen aika (yli vuosi) näyttäisi edistävän maan irtoamista juurakoista kantoja nostettaessa. Selityksenä havainnolle on hienojuurten lahoaminen ja siten niiden maata sitovan vaikutuksen heikkeneminen.

Kantojen metsäkuljetus tavallisella kuormatraktorilla on mahdollista ilman kuormatilan muutostöitä. Työn tuottavuutta voitaisiin kuitenkin parantaa rakentamalla sopivasta materiaalista kuormatilaan pohja. Tämä nopeuttaisi kuormausta ja parantaisi kuorman pysymistä kyydissä. Kantojen metsäkuljetuksessa eniten aikaa kuluu kuorman tekoon ja toiseksi eniten kuorman purkuun. Ajo kuormattuna ja ajo tyhjänä vievät keskenään lähes yhtä paljon aikaa.

Sekä kannonnoston että kantojen metsäkuljetuksen tuottavuutta ja ajanmenekkiä tulisi selvittää tarkemmin nostetun kanto- ja juuripuun tilavuuden, massan tai energiamäärän perusteella. Kantojen tilavuuden määrittäminen on kuitenkin ongelmallista. Lisätutkimusta tarvitaan, jotta voitaisiin kehittää luotettava, nopea ja tarkka kantojen mittaamenetelmä. Kuormainvaa'an käytön mahdollisuudet kantojen mittauksessa tulisi selvittää.

Pitkällä hakkuun ja kannonnoston välisellä ajalla näyttäisi olevan positiivinen vaikutus kantojen puhtauteen, mutta kantojen lahoaminen maassa alentaa lämpöarvoa. Hakkuun ja kannonnoston välisen ajan vaikutusta kantojen lämpöarvoon tulisi selvittää, että voitaisiin tietää miten nopeasti kanto- ja juuripuun lämpöarvo alenee ja kuinka paljon. Kannonnostokalustoa voitaisiin myös kehittää.

KIITOKSET

Hankintaesimies Heikki Sippola ja korjuuesimies Tero Hyvärinen Metsäliiton Seinäjoen piiriltä järjestivät kuusenuudistamisalojen kannonnostokohteet ja antoivat asiantuntevia tietoja kantoenergiaan liittyen. Koneyrittäjä Keijo Paasivirta järjesti Isojoen pellonraivauskohteen. Lehtori Seppo Sipilä konsultoi Tuomarniemen kannonnostokohteeseen liittyen. Koneyrittäjä Kalervo Ylätalo, koneyrittäjä Heikki Tuurinkoski, koneyrittäjä Juha Haapalehto ja koneenkuljettaja Mauno Latva suorittivat varsinaisen kannonnoston ja metsäkuljetuksen. Heiltä saatiin myös arvokasta käytännöntietoa kannonnostoon ja metsäkuljetukseen liittyen. Kaikille edellä mainituille tutkimuksessa avustaneille parhaimmat kiitokset.

LÄHTEET

- Ahonen, M. & Mäkelä, M. 1972. Juurakoiden irrottaminen maasta pyöräkuormaajilla. *Folia Forestalia*. 140.
- Alakangas, E. 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT. Tiedotteita 2045.
- Hakkila, P. 1975. Kanto- ja juuripuun kuoriprosentti, puuaineen tiheys ja asetoniuutteen määrä. *Folia Forestalia*. 224.
- Hakkila, P. 1976. Kantopuu metsäteollisuuden raaka-aineena. *Folia Forestalia*. 292.
- Hakkila, P. 2004. Puuenergian teknologiaohjelma 1999-2003. Metsähankkeen tuotantoteknologia. Loppuraportti. Tekes. Teknologiaohjelmaraportti 5.
- Hakkila, P. & Aarniala, M. 2004. Kannot hyödyntämätön voimavara. Puuenergian teknologiaohjelman tuloksia 2.
- Halonen, M. 2005. Kannonnostokausi alkaa. *Koneyrittäjä* 3: 40-41.
- Koistinen, A. & Äijälä, O. 2006. Energiapuun korjuu. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio.
- Koivulehto, P. 1969. Juurakoiden maasta irrottamisesta. *Folia Forestalia*. 73.
- Kärkkäinen, M. 2003. Puutieteen perusteet. Metsälehti kustannus. Hämeenlinna.
- Laitila, J., Ala-Fossi, A., Vartiamäki, T., Ranta, T. & Asikainen, A. Kantojen noston ja metsäkuljetuksen tuottavuus. Metlan työraportteja / Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 46. Saatavissa: <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2007/mwp046.htm>.
- Laki kestävän metsätalouden rahoituksesta 12.12.1996/1094. Saatavissa: <http://www.finlex.fi>
- Lauhanen, R. & Laurila, J. 2007. Bioenergian tuotannon haasteet ja tutkimustarpeet. Metlan työraportteja / Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 42. Saatavissa: <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2007/mwp042.htm>.
- Metsälaki 12.12.1996/1093. Saatavissa: <http://www.finlex.fi>
- Metsäteho 2006. Kantojen nosto ja luontaisen lehtipuun määrä uudistusaloilla. Projekti nro 318. Metsäteho Oy. Tulosalvosarja 13.3.2006. Saatavissa: www.metsateho.fi.
- Mietala, A. 2004. Kunnon tukkapöly tekee kannolle hyvää. *Koneyrittäjä* 6: 14-15.
-

- Mäkelä, M. 1972. Kanto- ja juuripuun kuljetus. *Folia Forestalia*. 146.
- Niemelä, H. 2006. Mistä ja miten energiapuu korjataan? Metsänhoitosuositukset seminaari 8.2.2006. Saatavissa: http://www.metsavastaa.net/tiedostot/dokumentit/9675/Niemel%E4_energiapuu.pdf
- Nilsson, P.O., & Hyppel, A. 1968. Studier över rötangrepp i sårskador hos gran. *Sveriges Skogvprdförbunds tidskrift*. Nro. 8: 675–713.
- Palviainen, M. 2007. Metsäbioenergian ympäristövaikutukset. Luentomateriaali: Bioenergia opintojakso, Seinäjoen ammattikorkeakoulu. Helsingin yliopiston metsäekologian laitos.
- Riitahaka, K. 2006. Energiapuun korjuun laatu päätehakkuualoilla UPM Metsän Seinäjoen piirissä vuonna 2005. Opinnäytetyö, Seinäjoen ammattikorkeakoulu, Maa- ja metsätalouden yksikkö.
- Saranpää, P. & Tuimala, A. 1997. Kosteus puussa. *Työtehoseuran metsätiede*. (577) 9/1997.
- UPM. 2006. Metsäenergian hankinta. Kantopolttoaineen plussia. Moniste 14.2.2006.
- Äjjälä, O., Kuusinen, M. & Halonen, M. 2005. Metsäenergiapuun korjuu uudistushakkuualoilta. Uudistushakkuiden energiapuun korjuun laatuprojekti. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio.
-

5 ENERGIÄKÄYTTÖÖN KORJATUN KANTO- JA JUURIPUUN KOSTEUDEN VAIHTELU

Laurila, J. & Lauhanen, R. 2007.

TIIVISTELMÄ

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää kanto- ja juuripuun kosteuden vaihtelua Etelä-Pohjanmaan tavoite 2 –alueella sijaitsevilla leimikoilla. Keskeisenä tavoitteena oli myös selvittää kuivumisajan sekä kuivumisajankohdan vaikutus kosteuteen. Tutkimuksessa tarkastellaan kanto- ja juuripuun kosteutta välittömästi kannonnoston jälkeen sekä eripituisten kuivumisaikojen jälkeen. Tarkastelujaksona oli 8.6 – 20.12.2006 välinen aika. Tällöin kesä oli poikkeuksellisen kuiva. Kosteusnäytteitä kerättiin kolmelta eri paikkakunnalta (Jurva, Isojoki ja Ähtäri) ja yhteensä viideltä eri kohteelta. Kosteusmääriä tehtiin kaiken kaikkiaan 130 näytekiekosta.

Kanto- ja juuripuun kosteus oli välittömästi kannonnoston jälkeen hieman yli 50 %. Kosteus aleni nopeasti, jo muutaman viikon kuivumisajan jälkeen kosteus oli alle 30 %. Alimmillaan kosteus oli jopa alle 20 %. Kantoenergian kuivumisen kannalta optimaalisin kannonnostoajankohta on kevät ja alkukesä. Syysstateista huolimatta näytti siltä, että kanto- ja juuripuun kuivuttua ne eivät kovin helposti kastu uudelleen. Lokakuun lopussa kantojen kosteus alkoi kohota. Joulukuussa kosteus oli tasaantunut kaikilla kohteilla lähelle 30 %.

Kantoenergian kosteudella on olennainen merkitys sekä logistiikan että energia-käytön kannalta. Kuljetuskustannukset ovat sitä alhaisemmat, mitä kuivempaa on kuljetettava kantoenergia. Polttoaineen lämpöarvo taas alenee kosteuden lisääntyessä. Paikalliset olosuhteet kuten varastopaikan sijainti, kantokasan koko, -muoto, -tiiviyys ja sääolosuhteet vaikuttavat merkittävästi kanto- ja juuripuun kosteuteen.

Asiasanat: Etelä-Pohjanmaan tavoite 2 –alue, juurakko, juuripuu, kannonnosto, kanto, kantopuu, kosteus, kuivuminen

5.1 JOHDANTO

Viime vuosina kantojen energiakäyttö on kasvanut voimakkaasti. Tästä huolimatta kantojen energiakäyttöä voitaisiin yhä lisätä, sillä potentiaali on nykyistä käyttöä suurempi. Kanto- ja juuripuu sisältävät huomattavan määrän energiaa. Kuusen kannoista saadaan lämpöenergiaa hakkuun jälkeen keskimäärin 130 MWh/ha (Hakkila 2004). Hyviltä kohteilta kantoenergiaa voidaan saada jopa 200 MWh/ha (UPM 2006).

Kantojen kosteudella on olennainen merkitys sekä logistiikkaan että energiakäyttöön. Kuljetuskustannukset ovat sitä alhaisemmat, mitä kuivempaa kuljetettava kantoenergia on. Polttoaineen lämpöarvo taas alenee kosteuden lisääntyessä. Kuivasta kantopuusta saadaan enemmän lämpöenergiaa kuin tuoreesta. Isoissa lämpölaitoksissa voidaan toki polttaa melko kosteaakin polttoainetta, mutta veden höyrystäminen vaatii paljon ylimääräistä energiaa.

Vesi on puiden elintoimintojen kannalta välttämätön kemiallinen yhdiste. Puun tarvitsemat ravinteet siirtyvät kasvin eri osissa veteen liuenneena. Fotosynteesissä kasvin solut tuottavat vedestä ja hiilidioksidista auringon säteilyenergian avulla happea sekä glukoosia. Solujen elintoiminnot tapahtuvat solulimassa, joka on suurimmaksi osaksi vettä. Elävässä puussa veden osuus on yli puolet puuaineen massasta.

Kantojen kosteuskäyttäytymistä korjuun jälkeen hakkuuaukolla sekä tienvarsivarastoissa on tutkittu melko vähän, vaikka kosteuspitoisuus vaikuttaa olennaisesti kustannustehokkaaseen energiantuotantoon. Lämpölaitokset toki mittaaavat kanto- ja polttoaineen kosteuksia, mutta kosteuteen vaikuttavia tekijöitä ei selvitetä.

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää kanto- ja juuripuun kosteuden vaihtelua eri leimikoilla Etelä-Pohjanmaan tavoite 2 -alueella. Keskeisenä tavoitteena oli myös selvittää kuivumisajan sekä kuivumisajankohdan vaikutus kosteuteen. Kirjallisuuskatsauksessa tarkastellaan lisäksi puun kosteuden käsitettä, kosteuden muutokseen vaikuttavia tekijöitä sekä kanto- ja juuripuun ominaisuuksia.

5.2 KIRJALLISUUSKATSAUS

5.2.1 Kanto- ja juuripuu

Heti puun siemenen itämisen jälkeen on helppoa erottaa toisistaan kasvin eri osat (juuret, varsi ja lehdet). Sekundaarisen paksuuskasvun alettua ei runko- ja juuripuun tarkan vaihettumiskohdan erottaminen ole enää mahdollista.

Kannoissa ja juurissa on huomattava määrä puuta. Kuusella kanto- ja yli 5 cm paksun juuripuun määrä on 22-30% kaupallisen rungon massasta. Männyllä kanto- ja juuripuun määrä on alhaisempi 23-24% kaupallisen rungon massasta. Männyllä runko- ja juuripuun välissä olevan kantopuun osuus paalujuurineen on noin 60 % koko kanto- ja yli 5 cm paksujen juurien kokonaismäärästä. Kuusella vastaava osuus on pienempi arvon ollessa noin 35 %. (Hakkila 1975; Kärkkäinen 2003)

5.2.2 Kosteuden käsite ja mittaus

Puussa olevaa veden määrää voidaan kuvata useilla eri menetelmillä ja käsitteillä. Yleisimmin käytettyjä käsitteitä puun kosteudesta puhuttaessa ovat kosteus ja kosteussuhde. Kosteus on veden massan ja kappaleen kokonaismassan suhde (1). Kosteussuhde saadaan laskemalla veden massan ja kappaleen kuivan massan suhde (2). (Saranpää & Tuimala 1997; Kärkkäinen 2003)

$$\text{Kosteus } (\varphi) = m_v/m_g = (m_g - m_0)/m_g \quad (1)$$

$$\text{Kosteussuhde } (\omega) = m_v/m_0 = (m_g - m_0)/m_0 \quad (2)$$

joissa m_v = veden massa
 m_0 = kuivan puun massa
 m_g = tuoreen puun massa

Suosituksen mukaan kosteus ja kosteussuhde ilmoitetaan yleensä prosentteina. Tällöin kosteuden ja kosteussuhteen välinen muunnos voidaan helposti laskea yhtälöillä 3 ja 4 (Saranpää & Tuimala 1997; Kärkkäinen 2003). Käytännössä kosteuden ja kosteussuhteen termit eivät ole täysin vakiintuneet. Kosteutta voidaan käyttää puhuttaessa kosteussuhteesta, joka aiheuttaa sekaannusta.

$$\text{Kosteussuhde} = (100 \times \text{kosteus}) / (100 - \text{kosteus}) \quad (3)$$

$$\text{Kosteus} = (100 \times \text{kosteussuhde}) / (100 + \text{kosteussuhde}) \quad (4)$$

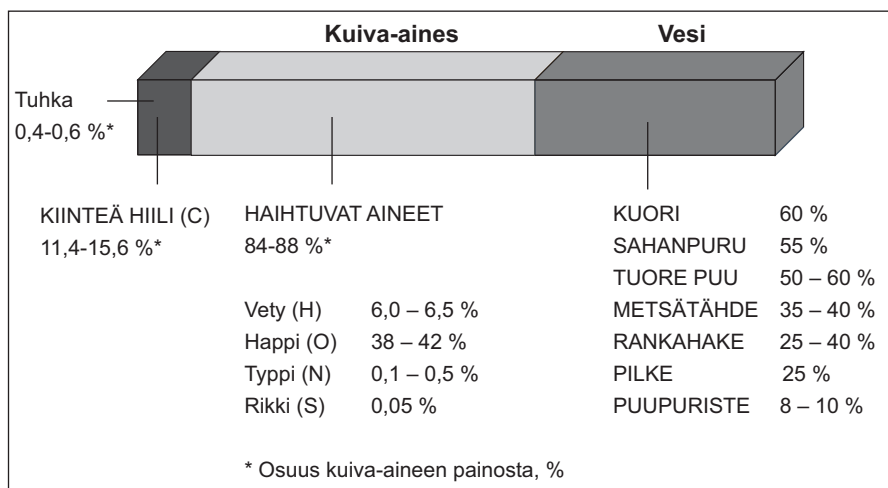
Puun kosteuden mittaamiseen on kehitetty useita eri menetelmiä, jotka voidaan jakaa yksi- ja kaksivaiheisiin mittaamenetelmiin. Yksivaiheisessa mittaamenetelmässä ei mitata erikseen veden ja puun massaa, vaan kosteus pyritään määrittämään suoraan yhdellä mittauksella. Kaksivaiheisissa menetelmissä veden ja puun massa määritetään erikseen, joiden avulla kosteus ja/tai kosteussuhde voidaan laskea. Yksivaiheiset mittaamenetelmät perustuvat mm. sähkönjohtokykyyn, mikroaaltoihin, infrapuna-aaltoihin tai ydinmagneettisen resonanssiin. (Kärkkäinen 2003)

Yksinkertainen kaksivaiheinen laboratoriomenetelmä on punnita kappaleen massa tuoreena ja absoluuttisen kuivana. Punnitusten erotuksena saadaan kappaleen sisältämän veden massa. Kuivaus suoritetaan lämpökaapissa 85-120 °C –lämpötilassa standardista riippuen. (Kärkkäinen 2003) Puunäytteiden kuivaaminen lämpökaapissa on melko hidasta. Yleensä vuorokauden kuivausaika on riittävä, mutta tarvittaessa voidaan käyttää myös pidempiä aikoja. Kuivausaikaa voidaan lyhentää huomattavasti nostamalla kuivauskaapin lämpötilaa (Kärkkäinen 2003). Tällöin saatu tulos ei ole kuitenkaan yhtä tarkka, kuin käytettäessä alempia lämpötiloja.

Kosteuden määrittämiseen on olemassa useita eri standardeja ja ne poikkeavat toinen toisistaan. Vaihtelua esiintyy kuivausajoissa sekä lämpötiloissa ja määritelmät tarvittavasta ilmanvaihdosta ovat puutteellisia. (Kärkkäinen 2003) Liian pitkä kuivausaika ja korkea lämpötila aiheuttavat veden haihtumisen lisäksi myös muiden haihtuvien aineiden haihtumista. Lisäksi korkeassa lämpötilassa orgaaninen puuaine alkaa hajota, joka alentaa kappaleen massaa. Käytännössä ei voida tarkkaan tietää, milloin puu on absoluuttisen kuivaa (Kärkkäinen 2003) Tämä aiheuttaa epätarkkuustekijöitä lämpökaappimenetelmiin.

5.2.3 Elävän puun kosteus

Elävässä puussa on noin puolet vettä (kuva 1). Veden osuus vaihtelee sekä puun eri osien välillä että saman lajin eri yksilöiden välillä. Kuusen pintapuun uloimmissa lustoissa kosteus on jopa 60 %, kun taas sydänpuun kosteus on vain noin 30 %. Männyllä vastaavat arvot ovat hieman alhaisemmat. (Saranpää & Tuimala 1997) Vaihtelua voidaan selittää osittain mm. puuaineen tiheydellä sekä puun iällä. Puun ikä vaikuttaa merkittävästi sy-



Kuva 1. Tuoreen puun kemiallinen koostumus. (Alakangas 2000; kuvan on uudelleen piirtänyt Jussi Laurila)

dänpuun osuuteen. Sydänpuu on taas huomattavasti kuivempaa kuin pintapu. On myös esitetty, että puun kosteus määräytyisi osittain perinnöllisesti (Kärkkäinen 2003). Kosteus vaihtelee merkittävästi myös vuodenajan ja vuorokaudenajan mukaan. Suurimmillaan elävän havupuun kosteus on talvikaudella (Saranpää & Tuimala 1997).

Alimmillaan kosteus on rungon kaupallisessa osassa, kun tarkastellaan koko puuta. Poikkeuksena saattaa olla kanto, jonka kosteus voi olla suhteellisen alhainen kantopuun korkeasta tiheydestä johtuen. Yleensä kosteus lisääntyy kannosta kohti juurenkärkiä siirryttäessä. Nilsson ja Hyppel (1968) ovat mitanneet kuusen rungon tyven pintapuun kosteussuhteeksi 150%, 160-180% 0-1 m tyvestä kohti juurta ja 180-300 % juuressa kauempana kuin 1 m rungosta. (Kärkkäinen 2003)

5.2.4 Puuaineen kosteus

Puuaineella on taipumus imeä vettä ympäröivästä ilmasta, tällaista ainetta kutsutaan hygroskooppiseksi. Puuaineella on tietty tasapainokosteus, johon vaikuttaa ympäristön lämpötila sekä ilman suhteellinen kosteus. Tasapainotilassa puuaineeseen tulevan ja siitä poistuvan vesihöyryn määrä on yhtä suuri. Puuaineen tasapainotilan kosteus on erilainen riippuen siitä, onko puuaineen kosteus vähenemässä vai lisääntymässä. Kosteuden lisääntyessä on tasapainokosteus alempi kuin kosteuden vähentyessä. Puun reaktio kosteusmuutoksiin on kohtalaisen nopea, kun puuainetta ei ole käsitelty. Kärkkäisen (2003) mainitsemassa esimerkkitapauksessa saavutettiin ohuiden kuusinäytteiden uusi tasapainopiste vuorokauden kuluessa, kun ilman suhteellinen kosteus vaihteli 75 ja 94 % välillä. (Kärkkäinen 2003)

5.2.5 Kosteuden merkitys energiakäytön kannalta

Logistiselta kannalta ajateltuna puuaineen sisältämän veden kuljetuksesta aiheutuu lisäkustannuksia. Puuta poltettaessa vesi kyllä haihtuu ennen kuin puuaine alkaa kemiallisesti hajota, mutta veden lämpiäminen, höyrystyminen ja höyryn lämpötilan kohoaminen vaativat lämpöenergiaa. Tämä aiheuttaa polttoaineen tehollisen lämpöarvon ja palamislämpötilan alenemista. Palamislämpötilan aleneminen hidastaa palamisnopeutta. (Kärkkäinen 1981; Pietilä 2005)

Puupolttoaineen kosteusvaatimukset riippuvat käyttöpaikasta. Kotitalouden tulisijoissa käytettävän polttoaineen kosteuden tulisi olla 15-20 %. Hakkeen säilyvyyden kannalta sen varastointikosteus ei saisi ylittää 25 %. Alle 1 MW:n lämpölaitoksissa käytettävän polttoaineen kosteus ei saisi olla yli 40 %. Isot lämpölaitokset voivat käyttää melko kosteaa polttoainetta. (Alakangas 2000) Kosteus voidaan ottaa energiapuun

hinnoittelussa huomioon. Kuivasta polttoaineesta kyetään maksamaan enemmän kuin tuoreesta.

5.2.6 Kanto- ja juuripuun ominaisuudet

Kuusen kantopuun asetoniin liukenevien uuteaineiden määrä on 2,6 % ja männyn 7,5 %. Vastaavat arvot eteläsuomalaisen kuusen ja männyn kuitupuulla ovat 1,6 % ja 3,5 %. Männyn tervaskantojen pihkapitoisuus voi olla jopa 20-25 %. (Hakkila 1976) Tuoreen kuusen kanto- ja juuripuun kuoriprosentti oli Hakkilan (1975) tutkimuksen aineiston mukaan 11,5 %.

Hiili, vety ja happi muodostavat noin 99 % puun kuiva-aineen alkuainekoostumuksesta. Kuorettoman puun tuhkapitoisuus on noin 0,5 % (kuva 1) ja pelkän havupuun kuoren noin 2 %. Kannoista ja juurista murskattu polttoaine voi sisältää huomattavan määrän maata. Hiekka ja multa aiheuttavat ongelmia poltossa ja nostavat tuhkapitoisuuden jopa 3,8-13 prosenttiin (Alakangas 2000).

Useilla havupuilla juuripuun tiheys on runkopuuta korkeampi. Kuusella tiheys kasvaa kannosta juuren kärkiin päin siirryttäessä ainakin 5 cm läpimittaan saakka. Männyllä sen sijaan tiheys alenee kannosta juuren kärkiin päin siirryttäessä. (Kärkkäinen 2003) Hakkilan (1975) tutkimuksen mukaan juuripuun keskimääräinen kuiva-tuoretiheys oli männyllä 469 kg/m³ ja kuusella 452 kg/m³. Juuri- ja runkopuun välinen tiheysero on siis muutamia kymmeniä kilogrammoja.

Kuusen kantopuun tiheys (394 kg/m³) on alempi kuin juurien tiheys. Männyllä tilanne on päinvastainen kantopuun tiheyden ollessa keskimäärin 476 kg/m³. Tarkasteltaessa koko juurakkoa (juuri- ja kantopuu) saadaan männyllä keskimääräiseksi tiheydeksi 473 kg/m³ ja kuusella 432 kg/m³. (Hakkila 1975) Männyllä tulokset pätevät ainoastaan tarkasteltaessa uuttamattoman puun tiheyttä, koska männyn kanto sisältää huomattavan määrän uuteaineita. Kannon korkea uuteainepitoisuus johtuu taas korkeasta sydänpuuosuudesta. Sydänpuun uuteainepitoisuus on pintapuuta huomattavasti korkeampi. Juuripuussa ei sen sijaan esiinny sydänpuuta juuri lainkaan. Mikäli suljetaan pois uuteaineiden vaikutus tiheyteen niin männyn kanto- ja juuripuun välillä ei ole olennaista tiheyseroa. (Kärkkäinen 2003)

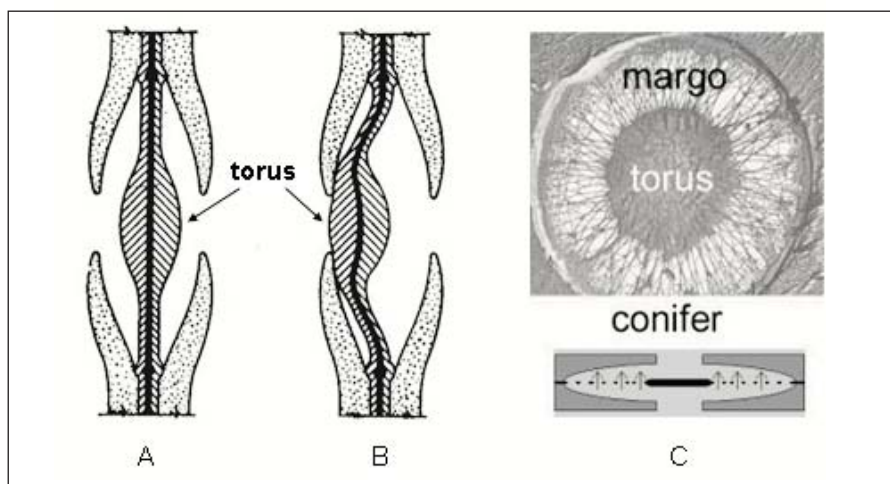
Kuusen runko-, oksa-, kanto-, ja juuripuun lämpöarvot vaihtelevat keskenään hyvin vähän. Käytännössä kuusen runko-, oksa-, kanto- ja juuripuun tehollinen lämpöarvo on 19,3 MJ/kg eli noin 5,4 kWh/kg. Männyn eri osien puuaineen lämpöarvon välillä sen sijaan esiintyy jonkin verran vaihtelua. Huomattavin ero 2,8 MJ/kg (0,8 kWh/kg) on kantopuun ja muiden osien välillä. (Kärkkäinen 2003)

5.2.7 Puun solujen huokokset

Puun solujen seinämissä on huokosia, joiden kautta vesi pääsee siirtymään soluontelosta toiseen. Huokokset jaetaan kahteen eri päätyyppiin: rengashuokosiin eli pihahuokosiin ja yksinkertaisiin huokosiin eli pihattomiin huokosiin. (Kärkkäinen 2003) Kahden vierekkäisen solun vastatusten olevat huokokset muodostavat huokosparin. Kaksi pihahuokosta muodostavaa pihahuokosparin ja pihattomat huokokset muodostavat pihattoman huokosparin. Pihahuokosen ja pihattoman huokosen muodostamaa huokosparia kutsutaan puolipihahuokospariksi. Havupuilla pihahuokospareja syntyy trakeidien välille ja puolipihahuokospareja trakeidien ja tylppysolujen välille. Tylppysolujen väliset huokosparit ovat pihattomia huokospareja. Huokonen voi myös olla pariton, jolloin huokonen johtaa soluväleihin. (Kärkkäinen 2003)

Huokosten välissä on sulkukalvo, joka säätelee veden virtausta (Kanko 1990). *Pinaceae* ja *Cephalotaxaceae* -heimoissa pihahuokosparin sulkukalvon keskellä on paksunnos, jota kutsutaan torukseksi (kuva 2). Se koostuu mikrofibrilleistä, jotka ovat amorfisten aineiden kanssa pakkautuneet tiukasti yhteen. Torusta kannattelee sen ympärillä oleva vettä läpäisevä verkko, jota kutsutaan margoksi. (Kanko 1990; Kärkkäinen 2003) Toruksen vedenläpäisykyky on erittäin huono (Kärkkäinen 2003).

On olemassa erilaisia arvioita siitä miten merkityksellisiä huokosaukot ovat vesihöyryn diffuusiolle. Erään tutkimuksen mukaan puun poikittaisessa vesihöyryn diffuusiossa voidaan huokosaukkojen osuus jättää huomioimatta. (Kanko 1990)



Kuva 2. Vasemmalta lukien kaaviokuvat aspiroitumattomasta (A) sekä aspiroituneesta (B) pihahuokosparista. Oikealla elektronimikroskooppikuva (C, ylempi kuva) sekä kaaviokuva (C, alempi kuva) havupuun huokosesta. (Kärkkäinen 2003; University of Utah 2007)

5.2.8 Puun syiden kyllästymispiste

Puun syiden kyllästymispisteessä (PSK) soluseinämät ovat sidotun veden kyllästämiä, mutta soluontelossa ei ole yhtään vapaata vettä. Sidotusta vedestä on 47 % sitoutunut selluloosan, 37 % hemiselluloosan ja 16 % ligniinin hydroksyyliiryhmiin (Kanko 1990). Puun syiden kyllästymispiste on kesäpuussa pienempi kuin kevätpuussa. Kosteuden muutoksista johtuvaa tilavuuden laajenemista / kutistumista tapahtuu ainoastaan puun syiden kyllästymispisteessä ja sitä alemmilla arvoilla. Myös puuaineen lujuus- ja sähköiset ominaisuuden alkavat muuttua puun syiden kyllästymispisteessä ja sitä alhaisemmilla arvoilla. Puun syiden kyllästymispiste vaihtelee eri puulajeilla ja myös lämpötila vaikuttaa siihen. Kuusen puun syiden kyllästymispiste on 20 °C lämpötilassa 29,3 % ja 40 °C lämpötilassa 23,7 %. (Kärkkäinen 2003)

5.2.9 Aspiraatio

Aspiraatio on puun huokosten reaktio, jossa ei synny uusia aineita vaan se on seurausta puuaineen kuivumisesta. Aspiraatiolla tarkoitetaan rengashuokosen toruksen painautumista ja liimautumista kiinni huokosaukkoa vasten siten ettei huokonen enää olennaisesti läpäise vettä (kuva 2). Osittainen vedenläpäisy on kuitenkin mahdollista toruksen huokoisuudesta johtuen. Aspiraatiosta puhutaan yleensä vain havupuiden yhteydessä. (Kärkkäinen 2003) Kuusella rengashuokosten sulkeutuminen on täydellisempää kuin männyllä (Kanko 1990).

Aspiraatiota on kahta eri tyyppiä nimittäin sydänpuun muodostumisen yhteydessä tapahtuvaa aspiroitumista ja pintapuun kuivumisen yhteydessä tapahtuvaa aspiroitumista. Ei kuitenkaan tarkkaan tiedetä, missä määrin sydänpuun muodostumiseen liittyvä aspiraatio on samanlainen kuin kuivumisaspiraatio. Puuaineen kuivuessa ainoastaan kevätpuun huokokset aspiroituvat. Kesäpuussa huokosten rakenne on erilainen eivätkä ne sulkeudu kuivuessaan. Tästä seuraa, että kuivatun kesäpuun permeabiliteetti on suurempi kuin kevätpuun. Tilanne on päinvastainen kesä- ja kevätpuun välillä, joiden huokokset eivät ole aspiroituneet. Periaatteessa pintapuussa tapahtuva kuivumisesta johtuva aspiraatio on palautuva huokosten reaktio, mutta käytännössä palautuminen on heikkoa. Palautumiseen vaikuttaa oleellisesti aika, jonka huokokset ovat olleet aspiroituneena. (Kärkkäinen 2003)

5.3.2 Näytteenotto ja näytteet

Kosteusnäytteet otettiin 8.6.2006 - 20.12.2007. Ensimmäiset kosteusnäytteet otettiin välittömästi kannonnoston jälkeen hakkuuaukealta. Seuraavat näytteet otettiin eripituisien kuivumisaikojen kuluttua sekä hakkuuaukealta että metsäkuljetuksen jälkeen tienvarsivarastoista (kuva 3). Näytteenottoväli oli 4-13 viikkoa kohteesta riippuen. Jokaiselta kohteelta otettiin 6-8 näytettä/näytteenottokerta. Yhteensä näytteitä otettiin 130 kpl.

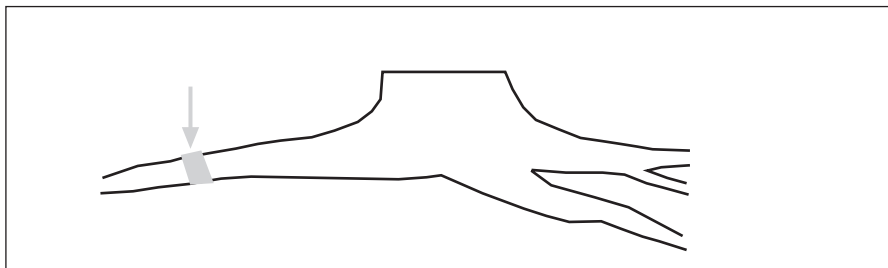
Hakkuuaukolla olevista, kaivinkoneen noston jäljiltä olevista 1-2 kuormatraktorin kuorman kokoisista kasoista valittiin satunnaisesti ne kasat, joista kosteusnäytteet otettiin. Näytteitä otettiin eri kasoista eri näytteenottokerroilla. Näytteitä otettiin myös metsäkuljetuksen jälkeen tienvarsivarastoista. Tällöin näytteenottokohdat pyrittiin valitsemaan tasavälein molemmin puolin kantokasaa. Jokaisen kohteen jokainen kosteusnäyte otettiin kantokasan pintakerroksesta. Samasta juurakosta näyte otettiin vain yhden kerran. Näin välttyttiin näytteenottokohdan mahdolliselta vaikutukselta myöhäisempien näytteiden kosteustulokseen.



Kuva 3. Kanto- ja juuripuuta tienvarsivarastossa Jurvassa.

Näytteenottokohdaksi valittiin juurakon kärjen ja kannonniskan puoliväli (kuva 4) lukuun ottamatta Ähtärin kohteen ensimmäistä näytteenottokertaa, jolloin näytteet otettiin eri puolilta kantoja ja juurakoita talttaa apuna käyttäen. Näytteet otettiin sellaisista kohdista, joissa juurta suojaava kuori oli säilynyt ehjänä kannonnostosta sekä metsäkuljetuksesta. Juurakosta sahattiin pokasahalla kokonaisia kiekkoja joiden läpimitta oli 4-9 cm ja pituus noin 5 cm. Sahatut näytekiekot numeroitiin ja pakattiin

yksittäin ilmatiiviisti muovipusseihin. Ennen kosteuden määrittystä näytteitä varastoitiin pakastimessa -30 °C lämpötilassa.



Kuva 4. Kosteusnäytteenotto kohta.

5.3.3 Kosteuden määrittäminen

Tässä tutkimuksessa kosteuden määrittäminen perustuu ISO 589 –standardiin (ISO 589:2003(E)). Menetelmää käytetään mm. kotimaisten polttoaineiden analyysihin (Alakangas 2000). Pakkasvarastoidut kosteusnäytteet punnittiin yksitellen säilytyspussiseineen. Pussin massa vähennettiin punnitustuloksen kokonaismassasta ja näin saatiin kappaleen märkäpaino. Tuoreista näytekiekoista mitattiin myös läpimitat kahdelta eri sivulta, joista laskettiin kiekkojen keskimääräiset läpimitat. Tämän jälkeen tuotteet kosteusnäytteet kuivattiin lämpökaapissa 105 °C lämpötilassa 24 tuntia. Kuivat näytteet punnittiin välittömästi kuumana. Kappaleen märkäpainon ja kuivapainon erotuksena saatiin kappaleen sisältämän veden massa. Kappaleiden kosteusprosentti laskettiin mittaustuloksista yhtälöä 5 käyttäen.

$$K = (m_1 - m_2) / m_1 \times 100 \quad (5)$$

jossa K = märkäpainoa kohti laskettu kosteus (%)
 m_1 = märän näytteen massa (g)
 m_2 = kuivatun näytteen massa (g)

5.3.4 Aineiston analysointi

Kannonostokohteilta kerätyt näytteet mitattiin ja analysoitiin näytekiekkokohtaisesti. Analyysistä laskettiin keskiarvot sekä hajonnat kohteittain. Analyysityökaluna käytettiin MS Excel – taulukkolaskentaohjelmaa.

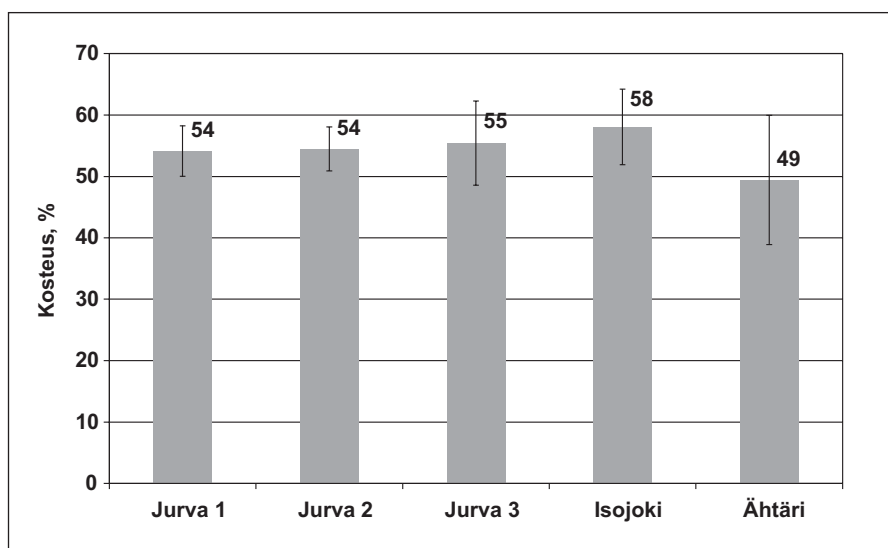
5.4 TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU

5.4.1 Neljän eri mittauskerran leimikoittaiset kosteustulokset

Mittaustulokset esitetään pylväskaavioina, joissa kukin pylväs kuvaa yhtä leimikkoa. Kaavioiden pystyakseli esittää kantojen kosteutta prosentteina. Jokaisen kaavion pystyakselilla on käytetty samaa asteikkoa eri ajankohtana otettujen näytteiden kosteuden vertailun helpottamiseksi. Lisäksi kaavioihin on piirretty kohteittain kosteusnäytteiden keskihajonnat mustilla pystysuorilla janoilla.

5.4.1.1 Kosteus välittömästi kannonnoston jälkeen

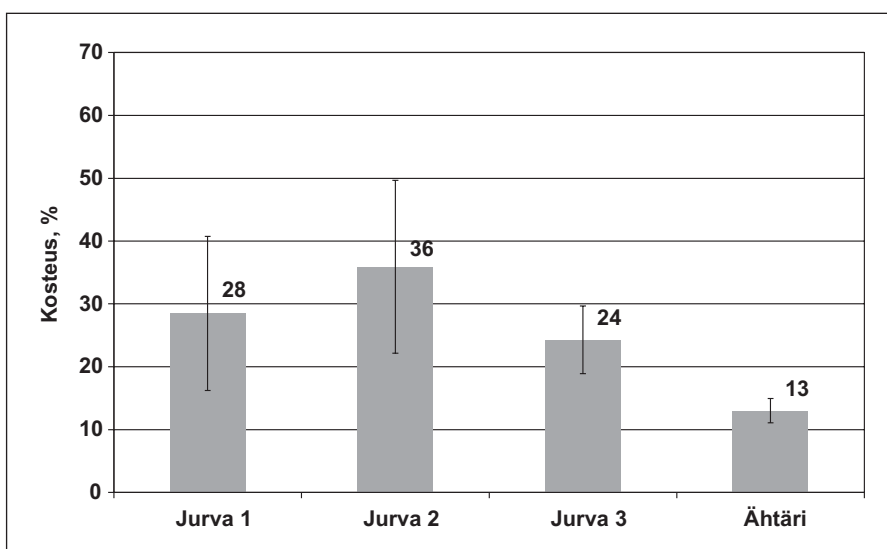
Ensimmäiset kosteusnäytteet otettiin välittömästi kannonnoston jälkeen 8.6-20.7.2006. Jurvan kolmen eri kohteen kosteudet olivat keskenään lähes samoja ja niiden keskiarvo oli 54 % (kuva 5). Isojoella kosteusprosentti oli selkeästi muita korkeampi 58 % ja Ähtärissä alin 49 %. Isojoen kohteen korkeampaa kosteutta selittää todennäköisesti leimikon hakkuun ja kannonnoston välinen aika. Isojoen kohteella hakkuusta oli kulunut kolme vuotta, kun kantoja alettiin nostaa. Ähtärin kohteen muita alempi kosteus saattaa johtua näytteenotosta. Ähtärissä ensimmäinen näytteenottotapa poikkesi muista kerroista, kuten kappaleessa 5.3.2 todetaan. Kaikkien viiden eri kohteen keskimääräinen kosteus oli 54 %. Kohdekohtaisten kosteusnäytteiden keskihajonnat olivat: Jurva 1; 4, Jurva 2; 4, Jurva 3; 7, Isojoki = 6 ja Ähtäri = 11. Hajonnat ovat keskenään samaa suuruusluokkaa lukuun ottamatta Ähtärin muita korkeampaa hajontaa, jota selittää erilainen näytteenottotapa.



Kuva 5. Kanto- ja juuripuun kosteus välittömästi kannonnoston jälkeen viidellä eri kohteella.

5.4.1.2 Kosteus toisen mittauskerran perusteella

Jurvasta sekä Ähtäristä otettiin toiset kosteusnäytteet 15-24.8.2006 välisenä aikana. Isojoelta ei ensimmäisen mittauskerran jälkeen enää tehty muita kosteusmäärittäyksiä. Korkein kosteus 36 % oli kohteella Jurva 2 ja alin 13 % kohteella Ähtäri (kuva 6). Jurvan kohteiden keskiarvo oli 30 % ja kaikkien kohteiden yhteinen keskiarvo oli 25 %. Kohteilla Jurva 3 ja Ähtäri toiset kosteusnäytteet otettiin edelleen hakkuuaukealta kannonoston jäljiltä olevista kantokasoista. Sen sijaan Jurva 1 ja Jurva 2 kohteilla oli ensimmäisen ja toisen näytteenotokerran välisenä aikana suoritettu metsäkuljetus. Metsäkuljetuksen seurauksena kantokasojen pinta ja keskiosat sekoittuivat. Tämä saattaa selittää Jurva 1 ja Jurva 2 muita korkeampia kosteuksia. Tätä teoriaa tukee myös Jurva 1 ja Jurva 2 muita korkeampi keskihajonta 12-14. Jurva 3 keskihajonta oli 5 ja Ähtärin vain 2. Jurvan kohteilla kuivumisajat olivat 4-6 viikkoa. Ähtärissä kuivumisaika oli suunnilleen puolta pidempi (11 viikkoa). Pidempi kuivumisaika selittänee Ähtärin alhaisemman kosteuden.

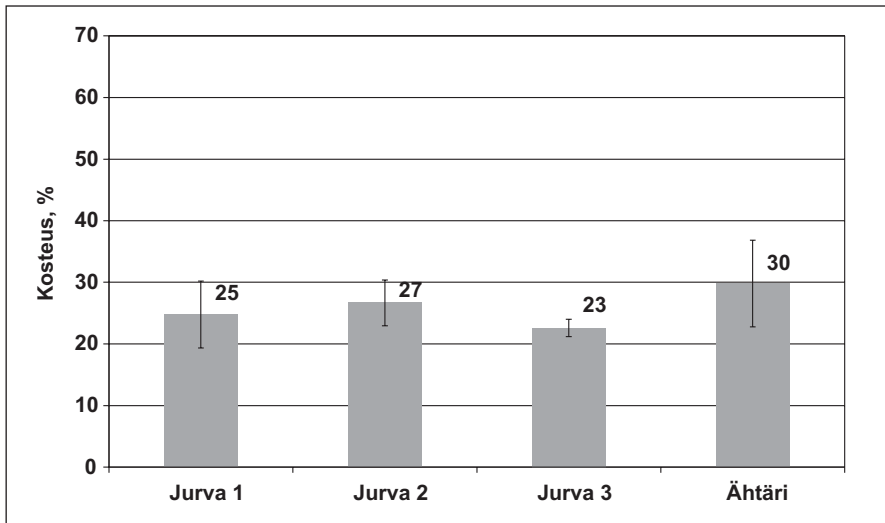


Kuva 6. Kanto- ja juuripuun kosteus toisen mittauskerran mukaan.

5.4.1.3 Kosteus kolmannen mittauskerran perusteella

Kolmannet kosteusnäytteet otettiin Jurvassa 24.10.2006 ja Ähtärissä noin kuukautta myöhemmin 21.11.2006. Jurvassa kuivumisajat olivat 14-16 viikkoa ja Ähtärissä 24 viikkoa. Pitkän kuivan kesän jälkeen syysateet olivat jo alkaneet ennen kolmatta näytteenottoa. Jurvassa kosteus ei kuitenkaan ollut vielä lisääntynyt edellisestä mittauskerrasta. Ähtärissä toisen ja kolmannen kosteusnäytteenoton välisenä aikana tehtiin kantojen metsäkuljetus. Ähtärin, Jurva 1 ja Jurva 2 kosteudet määritettiin

tienvarsivarastoista otetuista näytteistä. Jurva 3 kaikki kosteusmääritykset tehtiin hakkuuaukolla sijaitsevista kaivinkoneen noston jäljiltä olevista kasoista. Kaikkien neljän kohteen kosteuksien keskiarvo oli 26 % (kuva 7). Ähtärin korkeammat kosteudet johtuivat todennäköisesti muita kohteita myöhäisemmästä näytteenottoajankohdasta sekä metsäkuljetuksen aiheuttamasta kantokasan tuoreen sisäosan ja kuivan pintaosan sekoittumisesta. Kosteuksien keskihajonnat olivat Jurva 1; 5, Jurva 2; 4, Jurva 3; 1 ja Ähtäri 7.



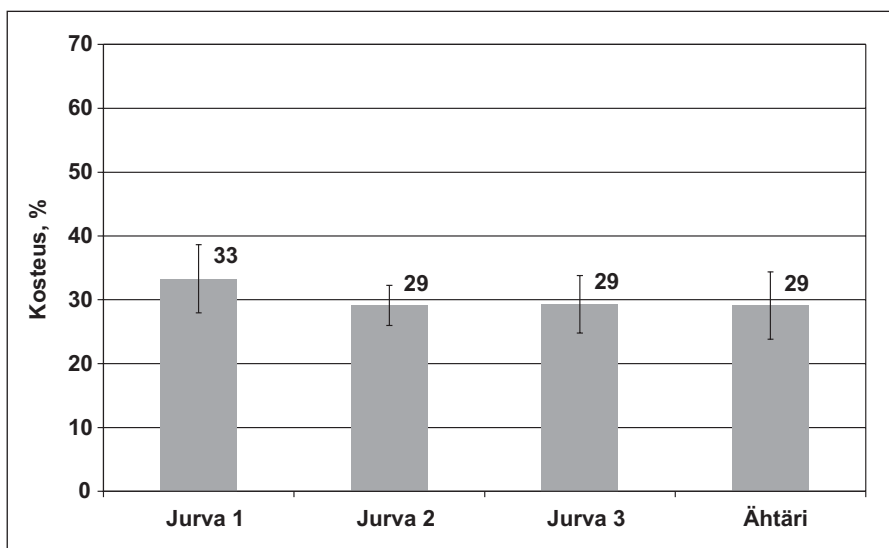
Kuva 7. Kanto- ja juuripuun kosteus kolmannen mittauskerran mukaan.

5.4.1.4 Kosteus neljännen mittauskerran perusteella

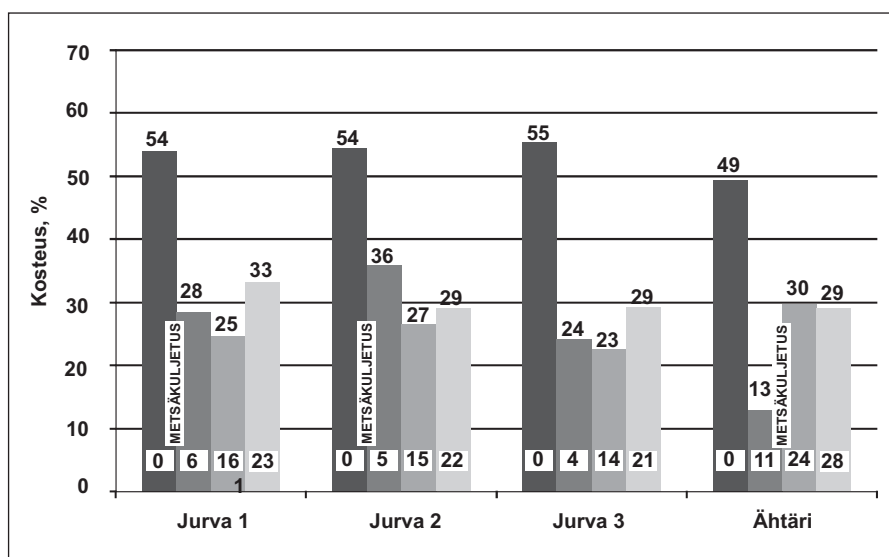
Neljännet näytteet otettiin joulukuussa, jolloin kannonnostosta oli kulunut 21-28 viikkoa. Tulokset olivat myöhäisestä vuodenaikasta johtuen odotetusti korkeampia kuin edellisellä mittauskerralla. Syysateista ja korkeasta ilman suhteellisesta kosteudesta huolimatta kosteuden lisäys oli kuitenkin vain 4 prosenttiyksikköä korkeampi kuin edellisellä mittauskerralla. Kohteilla Jurva 2, Jurva 3 ja Ähtäri kosteudet olivat keskenään samat 29 % (kuva 8). Kohteella Jurva 1 kosteus 33 % oli hieman muita korkeampi. Keskihajonnat olivat Jurva 1; 5, Jurva 2; 3, Jurva 3; 5 ja Ähtäri 5.

5.4.2 Kosteusmittausten yhteenveto

Kuvaan 9 on koottu kaikki leimikot lukuun ottamatta Isojoen leimikkoa, josta kosteus määritettiin ainoastaan välittömästi kannonnoston jälkeen. Kuvassa jokaista leimikko-kohtaista kosteusmittausta edustaa yksi pylväs. Pylväiden yläpuolella oleva numero



Kuva 8. Kanto- ja juuripuun kosteus neljännen mittauskerran mukaan.

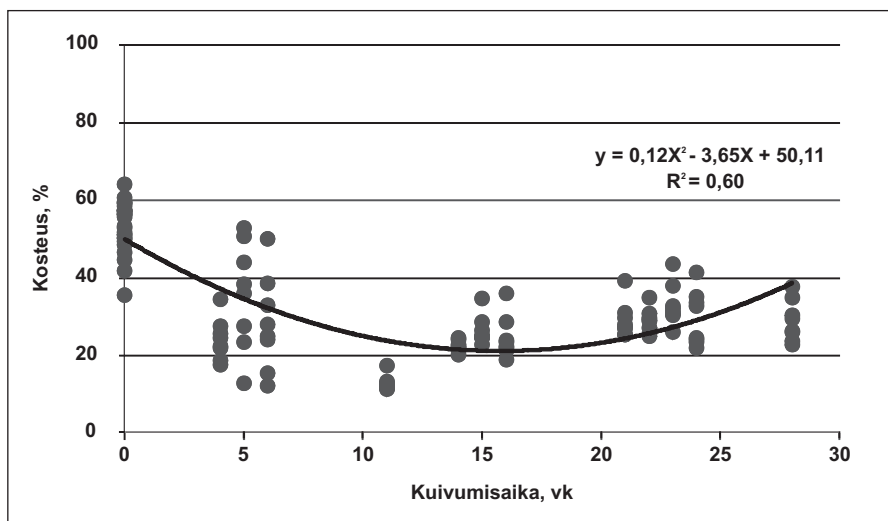


Kuva 9. Yhteenveto viiden eri kohteen neljästä kosteusmittaustuloksesta. (Kuivumisaika merkitty pylväiden alaosaan viikkoina kannonnostosta).

ilmoittaa leimikkokohtaisten kosteusmittausten tulokset kosteusprosentteina. Mikäli kahden eri näytteenotokerran välissä on suoritettu metsäkuljetus, niin se on merkitty tekstillä ko. pylväiden väliin. Pylväiden alaosassa oleva luku esittää kannonnostosta näytteenottoon kulunutta kuivumisaikaa viikkoina.

5.4.3 Kosteuden ja kuivumisajan sekä kuivumisajankohdan välinen korrelaatio

Kosteuteen vaikuttavia tekijöitä selvitettiin regressioanalyysillä pienimmän neliösumman menetelmällä. Selittäviksi tekijöiksi valittiin kuivumisaika ja näytteenottoajan kohta. Näytekiekkokohtaisista kosteustuloksista sekä selittävistä tekijöistä piirrettiin pisteparvet xy-koordinaatistoon (kuva 10 ja 11). Pisteparviin sovitettiin toisen asteen käyrät, joille laskettiin yhtälöt sekä selitysasteet. Kosteuden ja kuivumisajan välistä riippuvuutta kuvaa ylöspäin aukeava paraabeli $y = 0,12x^2 - 3,65x + 50,11$. Kosteuden ja kuivumisajan välillä on havaittavissa selkeä epälineaarinen korrelaatio ($r^2 = 0,60$). Aluksi kosteus alenee saavuttaen alimman arvonsa, jonka jälkeen kosteus alkaa kasvaa (kuva 10).

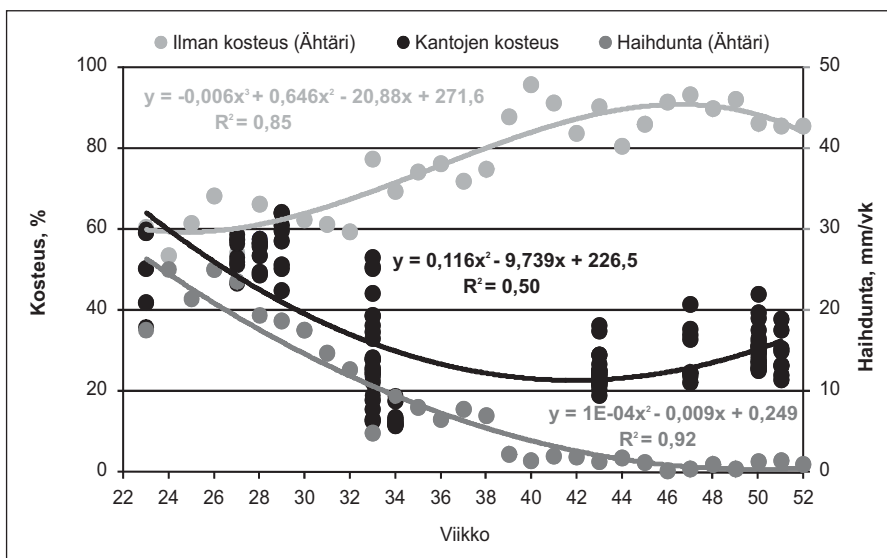


Kuva 10. Kosteuden ja kuivumisajan välinen näytekohtainen korrelaatio.

Tämän tutkimuksen koejärjestely aiheuttaa kosteuden vuodenaikaisvaihtelun seurantaan epätarkkuutta, koska kannonnostoajankohdat vaihtelevat useita viikkoja. Voidaan kuitenkin päätellä, että alimmillaan kosteus oli viikolla 42, jonka jälkeen kosteus alkoi kasvaa (kuva 11). Kosteuden ja vuodenajan välistä riippuvuutta kuvaa ylöspäin aukeava paraabeli, joka on muotoa: $y = 0,12x^2 - 9,74x + 226,58$. Luultavasti käyrän selitysaste (0,50) olisi huomattavasti korkeampi, mikäli kannonnosto olisi suoritettu eri leimikoilla samaan aikaan.

Kosteuden ja kuivumisajan sekä kosteuden ja kuivumisajankohdan välinen korrelaatio on looginen. Kosteuden lisääntymisen aiheuttaa vuodenajasta johtuva ilman suhteellisen kosteuden kasvaminen (kuva 11) ja haihdunnan väheneminen. Kuvassa 11 ilman suhteellisen kosteuden arvot luetaan kantojen kosteuden tavoin vasemman puoleiselta

pystyakselilta. Haihdunnan arvoja voidaan tarkastella oikean puoleiselta pystyakselilta. Ilman suhteellisen kosteuden havainnot perustuvat Ähtärin Tuomarniemen sääaseman mittauksiin. Haihdunta on saatu sääaseman mittauksista laskennallisesti.



Kuva 11. Kosteuden ja vuodenajan välinen näytekohertainen korrelaatio sekä ilman suhteellinen kosteus ja haihdunta.

5.5 PÄÄTELMÄT

Kanto- ja juuripuun kosteus on keskimäärin hieman yli 50 % välittömästi kannonnoston jälkeen. Isojoella leimikon hakkuun ja kannonnoston välinen aika oli kolme vuotta, tällöin kantojen kosteus oli 58 % välittömästi kannonnoston jälkeen. Näytti siltä, että hakkuun ja kannonnoston välisen ajan piteneminen lisää kantojen kosteutta.

Kuivana hellekesänä 2006 kantojen kosteus aleni jo muutamassa viikossa alle 30 prosenttiin. Alimmillaan kosteus oli alle 20 %. Jurvan kohteilla toinen kosteusmittaus tehtiin 4-6 viikon kuluttua kannonnostosta. Toisen mittauskerran tuloksissa esiintyy kuitenkin yli 10 prosenttiyksikön keskinäistä vaihtelua. Todennäköisesti suurimman osan ilmiöstä selittää osalla kohteista ensimmäisen ja toisen mittauskerran välissä suoritettu metsäkuljetus, josta aiheutui kasojen tuoreiden sisäosien ja kuivien pintaosien sekoittuminen.

Syyssateet olivat jo alkaneet ennen kolmansien kosteusnäytteiden ottoa. Kosteudet olivat kuitenkin Ähtärin kohdetta luukuun ottamatta alempia, kuin toisella mittauskerralla. Kolmannen mittauskerran tulokset vaihtelivat 23-30 % välillä. Mittausten perusteella näyttäisi siltä, että kanto- ja juuripuun kuivuttua ne eivät kovin helposti

kastu uudelleen. Osittain ilmiötä voitaneen selittää puuaineen kuivumisen yhteydessä tapahtuvalla huokosten aspiraatiolla, jonka jälkeen huokokset eivät enää olennaisesti läpäise vettä. Lokakuun lopussa kantojen kosteus alkoi kasvaa. Joulukuussa kosteus oli tasaantunut kaikilla kohteilla lähelle 30 %. Kuivumisen kannalta suotuisinta kannonnostojankohtaa olisi kevät ja alkukesä.

Tässä tutkimuksessa kosteusnäytteet otettiin kantokasojen pintaosista. Pintaosien kosteus poikkeaa mitä ilmeisimmin kasojen keskiosien kosteudesta. Metsäkuljetuksessa hakkuuaukolla olleiden kasojen pinta- ja keskiosat sekoittuvat kantoja tienvarsivarastoon ajettaessa. Kantoerien todelliset keskimääräiset kosteudet ovat todennäköisesti korkeampia kuin tämän tutkimuksen mittaustuloksista voisi päätellä.

Paikallisten olosuhteiden vaikutuksesta kosteuteen ja kosteuden vuodenaikaisvaihtelusta tarvitaan lisätutkimuksia. Selvittämisen arvoisia paikallisia kosteuteen vaikuttavia tekijöitä voisi olla mm. varastopaikan sijainti, kantokasan koko, kantokasan muoto, kantokasan tiiviys, sää, ilman suhteellinen kosteus ja tuulisuus. Lisäksi kanto- ja juuripuun kuivumiseen vaikuttaa se, että kuinka moneen osaan kanto- ja juuripuu on pilkkoutunut noston sekä metsäkuljetuksen aikana. Myös kosteuden vaikutus logistiikan ja energiakäytön taloudellisuuteen tarvitsee lisälaskelmia, koska kosteus vaikuttaa olennaisesti kuljetuskustannuksiin ja polttoaineen lämpöarvoon.

KIITOKSET

Hankintaesimies Heikki Sippola ja korjuuesimies Tero Hyvärinen Metsäliiton Seinäjoen piiriltä järjestivät kuusenuodistamisalojen kosteusnäytetutkimuskohteet. Lehtori Seppo Sipilä antoi arvokkaita neuvoja Tuomarniemen kantojen kosteustutkimukseen liittyen. Koneyrittäjä Keijo Paasivirta järjesti Isojoen kannonnostotutkimuskohteen. Yliopettaja Hannu Lassila konsultoi Tuomarniemen sääaseman mittaustietojen laskennassa. Kaikille edellä mainituille tutkimuksessa avustaneille parhaimmat kiitokset.

LÄHTEET

- Alakangas, E. 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT. Tiedotteita 2045.
- Hakkila, P. 1975. Kanto- ja juuripuun kuoriprosentti, puuaineen tiheys ja asetoniuutteen määrä. Folia Forestalia. 224.
- Hakkila, P. 1976. Kantopuu metsäteollisuuden raaka-aineena. Folia Forestalia. 292.
- Hakkila, P. 2004. Puuenergian teknologiaohjelma 1999-2003. Metsähakkeen tuotantoteknologia. Loppuraportti. Tekes. Teknologiaohjelmaraportti 5.
- ISO 589:2003(E). Hard coal – Determination of total moisture. International standard.
- Kanko, T. 1990. Kuusen kosteusominaisuudet. VTT. Tutkimuksia 682.
- Kärkkäinen, M. 1981. Polttopuun rasiinkaadon ja muiden kuivausmenetelmien perusteet. Folia Forestalia. 459.
- Kärkkäinen, M. 2003. Puutieteen perusteet. Metsälehti kustannus. Hämeenlinna.
- Nilsson, P.O. & Hyppel, A. 1968. Studier över rötangrepp i särskader hos gran. Sveriges skogsvårdsförbund tidskrift. Nro. 8: 675–713.
- Pietilä, K. 2005. Puun panospolton identifiointi ja säätö tulisijassa. Diplomityö. Oulun yliopisto. Prosessi- ja ympäristötekniikan osasto. Säätötekniikan laboratorio.
- Saranpää, P. & Tuimala, A. 1997. Kosteus puussa. Työtehoseuran metsätiedote. 9 (577).
- University of Utah. 2007. http://unews.utah.edu/p/?r=123105-2#Media_Contacts
- UPM. 2006. Metsäenergian hankinta. Kantopolttoaineen plussia. Moniste 14.2.2006.
-

6 RUOKOHELPIBRIKETTIÄ METSÄHAKKEEN JATKEEKSI

Laurila, J. & Lauhanen, R. 2007.

TIIVISTELMÄ

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää ruokohelven (*Phalaris arundinacea*) korjuun, murskauksen ja briketöinnin työvaiheita sekä kustannuksia, lämmöntuotantoa, logistisia virtoja viljelyksiltä loppukäyttöön ja ruokohelpienergiantuotantoketjua kokonaisuutena Etelä-Pohjanmaan tavoite 2 –alueella Kuortaneella.

Keskimääräinen vuotuinen hehtaarisato oli 4638 kg/ha ja suurin 5160 kg/ha. Murskan keskimääräinen tuottavuus oli 303 kg/h ja briketöintikoneen tuottavuus 314 kg/h. Brikettien irtotiheys oli 530 kg/m³ ja kiintotiheys 990 kg/m³. Vaskiluodon Voima Oy:n Seinäjoen voimalaitoksen laboratoriossa ruokohelpibrikettien kosteudeksi mitattiin 10,9 % ja tuhkapitoisuudeksi 2,9 %. Brikettien tehollinen lämpöarvo saapumistilassa oli 4,4 MWh/t ja kuiva-aineen teholliseksi lämpöarvoksi määritettiin 5,0 MWh/t.

EU-tuilla oli merkittävä vaikutus ruokohelven viljelyn kannattavuuteen. Kasvinviljelytilalla C1-alueella (Kuortane) EU-tuet olivat yhteensä 563 €/ha. Ruokohelpiviljelmän perustamisesta aiheutui kustannuksia n. 33 €/ha ja viljelyn lopettamisesta n. 3 €/ha satovuotta kohti laskettuna (10 vuoden kiertoaika), kun satotasoksi oletettiin 5000 kg/ha. Viljelmän hoidon kustannukset olivat n. 99 €/ha/v, korjuusta sekä kuljetuksesta aiheutui kustannuksia n. 191 €/ha/v ja pellon korko oli n. 140 €/ha/v. Yhteensä viljelystä aiheutui kustannuksia n. 466 €/ha/v. Laskemalla yhteen ruokohelven viljelyn tuotantokustannukset, kaukokuljetuskustannukset, murskauskustannukset ja briketöintikustannukset EU-tuet huomioiden, saatiin valmiin briketin tuotantokustannuksiksi 59 €/t, automatisoimattomalla murskauslinjalla, kun satotasoksi oletettiin 5000 kg/ha. Automatisoidulla murskauslinjalla kustannukset olivat huomattavasti alhaisemmat 18 €/t.

Asiasanat: bioenergia, briketöinti, Etelä-Pohjanmaan tavoite 2 –alue, Kuortane, murskaus, *Phalaris arundinacea*, ruokohelpi

6.1 JOHDANTO

Ruokohelven biologinen kuiva-ainesato on keskimäärin 7000 kg/ha/v. Ruokohelven lämpöarvo kuiva-aineesta on noin 4,9 MWh/t. (Pahkala ym. 2005) Hehtaarin helpisato sisältää energiaa siis noin 34 MWh. Määrä vastaa suunnilleen 1,5 omakotitalon (140 m²) vuotuista lämmöntarvetta (sis. käyttöveden lämmityksen 5 henkilölle). (Motiva 2006) Vastaavan energiamäärän tuottamiseen tarvittaisiin noin 3500 litraa kevyttä polttoöljyä. Fossiilisten polttoaineiden korvaaminen ruokohelvellä vähentää hiilidioksidipäästöjä, työllistää ihmisiä maaseudulla ja lisää maamme energiaomavaraisuusastetta.

Ruokohelpipyöröpaalien tiheys on melko alhainen ja paalin sylinterimäinen muoto on epäedullinen tilankäytön kannalta. Edellä mainituista tekijöistä johtuen paalien varastotilan tarve on suuri ja taloudellinen kaukokuljetusmatka jää melko lyhyeksi. Logistiikan kannalta ruokohelpi olisi saatava helpommin käsiteltävään muotoon. Ongelmaan voisi löytyä yksi ratkaisu briketöinnistä, jolla ruokohelpipolttolaitteen tiheys voidaan nostaa moninkertaiseksi paaleihin verrattuna. Brikitit ovat helppoja käsitellä, edullisia kuljettaa ja niitä voidaan käyttää monenlaisissa käyttökohteissa.

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää briketöidyn ruokohelven kannattavuutta lämmöntuotannossa Etelä-Pohjanmaan tavoite 2 –alueella Kuortaneella. Tutkimus koostuu kolmesta eri pääosasta: 1. ruokohelven korjuusta, 2. ruokohelven briketöinnistä ja 3. ruokohelpibrikettien poltosta lämpölaitoksessa. Työssä tarkastellaan ruokohelven korjuun, murskauksen ja briketöinnin työvaiheita sekä kustannuksia, lämmöntuotantoa, logistisia virtoja viljelyksiltä loppukäyttöön ja ruokohelpienergiatuotantoketjua kokonaisuutena.

6.2 KIRJALLISUUSKATSAUS

6.2.1 Ruokohelpi energiakasvina

Pääosa Suomessa viljeltävästä ruokohelvestä (*Phalaris arundinacea*) käytetään energian tuotantoon. Yleisin käyttömuoto on korsibiomassan poltto seospolttolaitteena yhdessä turpeen tai hakkeen kanssa. Ruokohelpi on osoittautunut satoisimmaksi energiakäyttöön kasvatetuista heinäkasveista. Se tuottaa hyvin satoa 10-12 vuotta, mikäli korjuu tapahtuu keväällä kuloheinänä. Keväällä energiakäyttöön korjatun ruokohelven laatuominaisuudet ovat hyvät, koska korren osuus biomassasta on tällöin suuri. Korren kuitupitoisuus on suurempi ja tuhkapitoisuus pienempi kuin lehtien. Ensimmäinen sato ruokohelvestä voidaan korjata vasta kahden vuoden kuluttua kylvöstä. Normaalin satonsa ruokohelpi saavuttaa kuitenkin yleensä vasta kolmen vuoden kuluttua kylvöstä. Ensimmäinen sato on 20-40 % pienempi kuin seuraavien vuosien

sato. Ensimmäisen satovuoden jälkeen ruokohelven biologinen kuiva-ainesato on 6-8 t/ha. Mahdolliset korjuutappiot pienentävät satoa. (Pahkala ym. 2005)

6.2.1.1 Kasvutapa

Ruokohelpi on monivuotinen heinäkasvi, joka kuuluu Suomen luonnonvaraisiin kasveihin (Salo toim. 1998). Mikäli ruokohelpisato korjataan keväisin niin kylvöjen väli voi olla yli 10 vuotta. Kasvukauden päätteeksi ruokohelpi siirtää maanpäällisestä osasta ravinteita juurakkoonsa. Koska kevätkorjuussa maanpäällistä kasvustoa ei poisteta kasvukauden aikana, niin syntyy toimiva ravinnekiertosysteemi, joka mahdollistaa pitkäikäisen kasvuston olemassaolon. (Pahkala ym. 2005)

Nykyiset viljelylajikkeet menestyvät aina Oulun korkeudelle saakka (Salo toim. 1998). Länsi-Suomessa parhaiten menestyvät Palaton, Lara, Vantage ja Venture –lajikkeet. Ruokohelpi muodostaa noin 1,5 – 2,0 metriä korkean kasvuston ja se leviää tehokkaasti juurakoidensa avulla. Juurakot sijaitsevat pääasiassa noin 2-8 cm syvyydessä maksimisyvyyden ollessa noin 15 cm. Juurakoista kasvavat juuret ulottuvat yli metrin syvyyteen. (Pahkala ym. 2005) Yhden vuoden aikana ruokohelven juuristo leviää noin 26 cm:n alueelle. Kasvilla on nuoruusvaihe, joka kestää kaksi kesää ja sinä aikana se laajentaa aktiivisesti juuristoaan. (Salo toim. 1998)

Ruokohelven siementuotanto on melko ongelmallista, koska siemenet tuleentuvat röyhässä epätasaisesti ja tuleennuttuaan varisevat helposti. Tuleentumisen epätasaisuus vaikeuttaa oikean korjuuajankohdan määrittämistä. Siemensato jääkin usein pieneksi ja siemenen itävyys heikoksi. Siemenet ovat pieniä sillä tuhannen siemenen paino on 0,9-1,0 g. (Pahkala ym. 2005)

6.2.1.2 Kasvupaikkavaatimukset

Luontaisesti ruokohelpi kasvaa rannoilla ja kosteikoilla. Maalajin suhteen ruokohelpi ei ole vaateliias ja viljeltynä se menestyy kaikilla maalajeilla. Multa- ja hietamailla kasvi antaa kuitenkin parhaimman sadon, mutta myös turvemailta saadaan hyviä satoja. (Salo toim. 1998) Ruokohelpeä voidaan kasvattaa myös turvesoilla, joilta turpeen nosto on jo lopetettu. Tutkimuksissa on havaittu, että eri maalajeilla ruokohelvellä on lajikkeiden välisiä eroja. (Pahkala ym. 2005). Maalajin on myös havaittu vaikuttavan biomassan koostumukseen. Ruokohelven sisältämien haitallisten kivennäisaineiden pitoisuudet ovat alhaisimmat multa- ja hietamailla, kun taas savimailla niiden pitoisuudet ovat runsaimmat. (Salo toim. 1998)

6.2.1.3 Viljelmän perustaminen, kasvinsuojelu ja lannoitus

Ruokohelpiviljelmän perustaminen on tehtävä huolella. Erityisesti pellon pinnan muotoiluun on kiinnitettävä huomiota, koska epätasaisuus aiheuttaa myöhempinä satovuosina huomattavia korjuutappioita. Kasvinsuojelusta on myös huolehditava sillä ruokohelven alkukehitys on hidasta ja juolavehnä saattaa silloin helposti vallata viljelyksen. Juolavehnan kemiallinen torjunta on tehtävä ehdottomasti kylvöä edeltävänä vuonna. (Pahkala ym. 2005)

Energiatarkoituksiin kokeillut ruokohelpilajikkeet ovat alun perin jalostettu rehu-käyttöön. Kevätkorjuussa satoisimpia ovat olleet Vantage, Venture, Palaton, Lara ja Pohjois-Suomessa myös Barphal. Boreal Kasvinjalostus Oy kehittää kotimaisia energiakäyttöön paremmin soveltuvia lajikkeita. Ruokohelpiviljelmää perustettaessa siemenmäärä on käytännössä 11-16 kg/ha. Ruokohelven siemenet kylvetään 1-2 cm syvyyteen. Etelä-Suomessa kylvö on tehtävä viimeistään kesäkuun viimeisellä viikolla, että kasvusto ehtii kehittyä riittävästi syksyyn mennessä. Kosteissa oloissa ruokohelpi itää kolmessa viikossa. Orasvaiheessa ruokohelpi on poudanarka eikä siedä varjostusta. Ruokohelpeä ei saa niittää kylvövuonna. (Pahkala ym. 2005)

Lannoitteeksi soveltuvat niin kemialliset lannoitteet kuin ns. kierrätysmateriaalitkin kuten esim. tuhka, kuivikelanta, lietelanta, turkiseläinten lanta ja tärkkelysperunan soluneste. Ravinnekoostumus on kuitenkin oltava selvillä esimerkiksi puuntuhkaa käytettäessä. Raskasmetallien joutumista peltomaahan on erityisesti varottava. Kylvön yhteydessä typpilannoitukseksi riittää 40-60 kg/ha ja satovuosina 60-90 kg/ha. Lannoituksen voi jättää joinakin vuosina kokonaan tekemättä, mutta tämä on huomioitava muina vuosina jolloin lannoitteen määrää on vastaavasti lisättävä. Lannoituksessa on huomioitava ympäristötukiehdot sekä EU:n nitraattidirektiivi. (Pahkala ym. 2005).

Ruokohelven viljelyssä ja korjuussa voidaan käyttää perinteisiä maatalouskoneita. Konekustannukset muodostavat lähes 25 % ruokohelven viljelyn kokonaiskustannuksista. Kasvin pitkästä kierrosta, jopa yli 10 vuotta ja maltillisesta lannoituksesta johtuen ruokohelven viljelyn muuttuvat kustannukset ovat kohtuulliset. (Pahkala ym. 2005)

6.2.1.4 Korjuu, kuljetus ja korjuutappiot

Korjuu voidaan suorittaa joko syyskesällä tai keväällä. Kevätkorjatun ruokohelven polttoaineominaisuudet ovat parempia kuin syksyllä korjatun ruokohelven. Keväällä mm. kasvin tuhkapitoisuus on pienempi kuin syksyllä. Kevätkorjuu on syytä aloittaa aikaisin keväällä heti lumien sulettua, kun pelto vielä kantaa koneita. Ruokohelven

on oltava kuitenkin riittävän kuivaa. Tällöin saadaan eniten satoa, jonka kuiva-ainepitoisuus on jopa 90 %. (Isolahti 2006)

Korjuun työvaiheita ovat kasvuston niitto, paalaus tai silppuaminen perävaunuun ja kuljetus lohkoittaiseen varastoon tai suurempaan keskusvarastoon. Kuljetuksessa korostuu raaka-aineen tiheyden ja muodon merkitys. Ruokohelven alhaisesta tilavuuspainosta johtuen korjuu ja kuljetuskustannukset ovat korkeahkot, mikäli korjuu tapahtuu irtokorjuuna. Koska lähikuljetuksessa kuljetettava matka on yleensä lyhyt, niin tiheyden merkitys ei ole tällöin niin suuri kuin kaukokuljetuksessa välivarastolta polttolaitokselle tai jatkojalostuskohteelle.

Ruokohelpisato voidaan paalata pyörö- tai suurkanttipaalaimella. Paaleina sadon käsittely on helpompaa, kuin irtotavarana ja myös kuljetuskustannukset alenevat. (Salo toim. 1998) Pyöröpaalaimia on sekä kiinteä- että muuttuvakammioisia. Muuttuvakammioista paalainta käyttäessä paalien tiheys on suurempi ja korjuutappiot hieman pienempiä kuin kiinteäkammioista paalainta käytettäessä. Kanttipaalien tiheys on huomattavasti suurempi, kuin pyöröpaalien tiheys ja ne ovat muodoltaan kuljetukseen paremmin sopivia. Suurkanttipaalaimen huonoja puolia ovat koneen raskas paino ja korkea hankintahinta. Normaалilla paalausketjulla (niittomurskain 3,2 m, pyöröpaalain, etukuormain ja paalipiikit), jolla vuosittaista käyttöä on kohtalaisesti (esimerkiksi paalajaalla yli 200 h/vuosi) korjuukustannukset ovat noin 110 €/ha. (Pahkala ym. 2005)

Kevätkorjatun ruokohelven korjuutappiot vaihtelevat 20-30 % välillä kuiva-ainesadosta, kun sato niitetään niittomurskaimella ja korjataan pyöröpaalaimella. (Pahkala ym. 2005) Pahimmillaan korjuutappiot ovat olleet jopa 50-60 % biologisesta sadosta (Isolahti 2006). Ruokohelpi pyritään korjaamaan mahdollisimman lyhyeen sänkeen. Leikkuukorkeuden nostaminen 5 cm:stä 10 cm:iin aiheuttaa noin 25 % sadon menetyksen. (Pahkala ym. 2005)

Niittomurskaimen leikkuukorkeuden ja murskainosan oikeilla säädöillä pystytään vähentämään merkittävästi niitosta aiheutuvia korjuutappioita. Niittomurskain tulisi säätää mahdollisimman väljäksi ja murskaimen vastapelti tai vastakampa pitää ottaa pois tai säätää niin, että murskausteho on mahdollisimman pieni. Irtokorjuumenetelmässä kuiva-ainetappiot ovat selvästi pienempiä kuin paalausmenetelmien. (Pahkala ym. 2005)

Paalauksessa korjuutappiota voidaan vähentää käyttämällä sidonnassa verkkoa narun sijaan. Tappiota voidaan vähentää myös kohtuullisella ajonopeudella ja paalaimen oikeilla säädöillä. Mikäli käytetään silppuavia vastateriä, niin korjuutappiot voivat lisääntyä jopa 25 %. Korjuutappioita ei voida kokonaan välttää ruokohelven kosteuden ollessa vain 10 %. Korjuussa pyritään alle 15 % korjuutappioihin kuiva-ainesadosta. (Pahkala ym. 2005)

6.2.1.5 Varastointi

Ongelmana ruokohelvellä niin kuin muillakin energiaheinillä on niiden korjuun luonne, satoa saadaan vain kerran vuodessa. Ruokohelpisato joudutaan varastoimaan useiden kuukausien ajaksi. Tämä ei ole taloudellisesti tehokasta, sillä varastointi- ja pääomakustannukset nousevat kohtuuttoman suuriksi. Toinen ongelma aiheutuu myös mahdollisista varastoinnin aikana syntyvistä määrä- ja laatutappioista. Pitkän varastoinnin aikana pieneliöt alkavat hajottaa kasvien orgaanista materiaalia. (Salo toim. 1998)

Suurimpana varastotappioiden aiheuttajana ovat mikro-organismien hengitys. Tällaisia mikro-organismeja ovat bakteerit, sienet ja hiivat. Hengityksessä kasvisolukon hiilihydraatit ja happi muuttuvat hiilidioksidiksi, vedeksi ja lämmöksi. Nämä tuotteet aiheuttavat kuiva-ainetappioita. (Hemming ym. 1996) Pilaantumisen estämiseksi varastoitujen paalien on oltava riittävän kuivia tai ne on käsiteltävä suoja-aineilla kuten esim. muurahaishapolla tai urealla. (Salo toim. 1998)

Suuren tilantarpeen vuoksi paalit kannattaa varastoida ulkoamaan. On tärkeää, että paalit eristetään maakosketuksesta esim. ”trukkilavoilla”. Valmis auma peitetään sään kestäväällä muovilla tai peitteellä. (Pahkala ym. 2005) Toinen mahdollisuus on varastoida paalit katettuun varastorakennukseen. Tilalla vapaana olevaa varastotilaa kannattaa hyödyntää.

6.2.1.6 Käyttö ja ominaisuudet

Ruokohelven kemialliset ja morfologiset ominaisuudet määräytyvät kehitysasteen (korjuuajankohta), kasvin iän, kasvupaikan ja lajikkeen perusteella. Keväällä korjatun ruokohelpisadon polttoaineominaisuudet ovat paremmat kuin syksyllä korjatun. Keväällä korjatussa ruokohelvessä on vähemmän kaliumia ja klooria kuin syksyllä korjatussa. (Flyktman 2000) Keväällä myös tuhkapitoisuus on alempi ja tuhkan sulamis piste korkeampi kuin syksyllä. (Isolahti 2006)

Tavallisesti voimalaitosten kattilat ovat suunniteltu käyttämään polttoainetta, jonka kosteuspitoisuus on 40-50 %. Yksistään poltettuna kevätkorjattu ruokohelpi palaa alhaisen kosteuspitoisuutensa takia korkeassa lämpötilassa. Tämän takia kevätkorjattua ruokohelpeä käytetään yleensä seospolttoaineena turpeeseen, hakkeeseen tai kuoreen ja puruun sekoitettuna. Ruokohelven osuus polttoaineseoksen energiasisällöstä voi olla noin 10 %. Poltettavan ruokohelpisilpun pitää olla tasalaatuista ja pituudeltaan alle 4 cm. Ruokohelpeä voidaan jalostaa myös pelletiksi, briketiksi ja polttoa on kokeiltu myös jauhemaisena. (Pahkala ym. 2005)

Ruukohelpi pärjää hyvin kannattavuusvertailussa rehuohran viljelyn kanssa. Tuet huomioon ottaen ruukohelven viljely on kannattavampaa kuin rehuohran viljely. Ruukohelven viljelyn vaatima työmäärä hehtaaria kohden on reilusti alle puolet viljan viljelyn vaatimasta työmäärästä. (Isolahti 2006)

Ruukohelpeä voidaan toimittaa loppukäyttöpaikalle paaleina tai silppuna. Kuljetusetäisyys loppukäyttöpaikkaan vaikuttaa viljelijän saamaan hintaan. Pyöröpaalien kannattava kuljetusetäisyys pellolta voimalaan on enimmillään 50 – 60 km. Silppuna kannattava kuljetusmatka on lyhempi, koska ruukohelpisilppu on kevyttä. Yksi kuutiometri silppua painaa vain 60-70 kg. Toisaalta silputusta ruukohelvestä maksetaan paalattua ruukohelpeä korkeampaa hintaa.

Silputun ruukohelven hinta on lähellä jysinturpeen hintaa. Veroton keskimääräinen jysinturpeen myyntihinta lämmityskaudella 2005 - 2006 oli 7,35 €/MWh. (Slioor 2006) Ruukohelven energiasisältö on 4,9 MWh/t kuiva-ainetta kohden. Määrä vastaa noin 490 litraa kevyttä polttoöljyä tai 1,7 tonnia jysinturvetta. Jysinturpeen hinnalla laskettuna ruukohelven hinnaksi muodostuu 36 €/t. Keskimääräisen puupoltoaineen hinta vaihtelee välillä 4-10 €/MWh, joten puuhun verrattaessa ruukohelven hinnaksi tulisi 20-49 €/t, mikäli käytetään ruukohelven kuiva-aine energiasisältöä 4,9 MWh/t. (Pahkala ym. 2005)

Ruukohelven hinta ei määräydy pelkästään sen energiasisällön perusteella, koska ainakin osa ostajista maksaa sille lisähintaa hiilidioksidin kiintiökaupan perusteella. Korvattaessa polttokäytössä ruukohelvellä turvetta saadaan päästökaupassa hyötyä noin 37 €/ruukohelpitonni. (Isolahti 2006)

6.2.2 Briketointi ja poltto

Briketöinnillä tarkoitetaan jauhetun, murskatun tai silputun materiaalin tiivistämistä pieniksi kiinteiksi sylinterin muotoisiksi kappaleiksi, joiden halkaisija vaihtelee 20-60 mm välillä. Briketöitävän materiaalin on oltava riittävän kuivaa, että briketit pysyvät koossa. Briketöinnillä voidaan saavuttaa suuri tiheys ja näin olen, polttoaineen varastotilantarve pienenee ja kuljetuskustannukset alenevat. (Suokannas & Serenius 2000) Brikettien käyttö on helppo automatisoida pienissäkin lämpölaitoksissa, sillä sen syöttölaitteeksi sopii tavallinen ruuvisyötin. (Tuunanen 1993)

Biomassan tärkein fyysikaalinen ominaisuus polton kannalta on kosteus. Polttoaineen varastoitavuus, lämpöarvo ja palamisominaisuudet riippuvat kosteudesta. Ruukohelvellä eniten kosteuteen vaikuttaa korjuuajankohtana vallitseva säätila. Kosteus vaikuttaa lämpöarvoon kahdella tavalla. Poltossa kosteuden höyrystäminen vaatii

energiaa ja näin ollen alentaa lämpöarvoa. Toiseksi veden osuuden kasvaessa kuiva-aineen osuus polttoainemassayksikköä kohden pienenee. (Tuunanen 1993)

Kosteus ja kemiallinen koostumus määrittelevät yhdessä biomassan arvon polttoaineena. Biomassa jakautuu palavaan ja palamattomaan osaan. Palava osa koostuu haihtuvista aineista ja hiiltojäännöksestä. Vesi ja tuhka muodostavat palamattoman osan. Poltettaessa biomassaa hiili (C), vety (H), rikki (S) ja happi (O) ottavat osaa palamiseen. Polttoaineen sisältämät muut aineet ovat palamisen kannalta joko haitallisia tai merkityksettömiä. Polttoaineen sisältämä happi vähentää palamisilman tarvetta. Palamiseen osallistuvista aineista rikki on haitallista, koska se aiheuttaa ilmansaasteita. Typpi ei ota osaa palamiseen, mutta se aiheuttaa NO_x -päästöjä. Kloori aiheuttaa kattiloissa kuumakorroosiota. Taulukossa 1 vertaillaan eri biopolttoaineiden fysikaalisia sekä kemiallisia ominaisuuksia. Ruokohelven lämpö-arvo on hieman alempi ja tuhkapitoisuus huomattavasti korkeampi kuin puulla. Poltossa suurimmat ongelmat aiheutuvatkin korkeasta tuhkapitoisuudesta ja tuhkan alhaisesta sulamispisteestä. (Tuunanen 1993)

Taulukko 1. Eri biopolttoaineiden ominaisuuksia. (Tuunanen 1993)

Kasvi	Lämpöarvo, MJ/kg	Lämpöarvo, kWh/kg	Tuhka, %	Hiili, %	Vety, %	Happi, %	Rikki, %	Typpi, %	Kloori, %
Ruokohelpi, syyskorjuu	17,6	4,9	4,7	47,7	5,9	40,9	0,08	0,7	0,26
Ruokohelpi, kevätkorjuu	17,5	4,9	5,4	45,4	5,8	42,3	0,08	1,0	0,06
Olki	17,4	4,8	5,0	49,3	5,8	39,3	0,10	0,5	0,31
Öljykasvin olki				46,0	5,7	39,0	0,17	0,8	0,22
Sinimailanen	17,4	4,8	7,3	46,8	5,4	40,7	0,02	1,0	0,03
Rypsi, siemen	26,4	7,3	4,6	58,6	8,5			3,7	2,00
Poppeli	18,2	5,1	1,3	48,5	5,9	43,7	0,01	0,5	0,10
Puu	18,9	5,3	0,3	49,4	6,1	44,0	0,01	>0,2	0,01
Mänty	19,2	5,3	0,4	50,5	6,2				
Koivu	19,0	5,3	0,5	49,5	6,1				

Ruotsalaisen tutkimuksen mukaan ruokohelpibrikettien lämpöarvo on 4,00 MWh/t ja puubrikettien lämpöarvo 4,79 MWh/t. (Burvall & Örborg 1994) VTT Energia on mitannut Alavudelta kevätkorjatun ruokohelven lämpöarvoksi 4,00 MWh/t käyttökosteudessa 17,3 %. (Lindh ym. 2000) Ruokohelven puuta alempi lämpöarvo johtuu mm. korkeammasta tuhkapitoisuudesta. Burvallin mukaan ruokohelpibrikettien kuiva-aineen tuhkapitoisuus on 5,5 %, kun taas puusta valmistetuilla briketeillä

tuhkapitoisuus on 0,6 %. Ruokohelven tuhkapitoisuus vaihtelee suuresti riippuen kasvuolosuhteista. (Burvall & Örberg 1994)

6.3 AINEISTO JA MENETELMÄT

6.3.1 Korjuu

Tutkimusaineisto kerättiin Kuortaneen Ruismäestä Veli-Matti Ruismäen ruokohelpiviljelmiltä. Viljelmät oli perustettu vuonna 2004 ja ensimmäinen sato korjattiin keväällä 2006. Ruokohelpiviljelmät sijaitsivat viidellä eri loholla lähellä toisiaan. Kaikkien lohkojen maalajina oli multamaa. Lohkojen pinta-alat olivat 1,14 - 1,95 ha ja yhteispinta-ala 7,20 ha. Korjuu aloitettiin 29.4.2006, tällöin lumien sulamisesta oli kulunut vain muutama vuorokausi. Niiton sekä paalauksen osalta korjuu saatiin päätökseen 2.5.2006. Lähikuljetus suoritettiin lohkon 1 osalta välittömästi paalauksen jälkeen, mutta muilta lohkoilta vasta myöhemmin.

Ruokohelpi niitettiin 29.4.2006 maataloustraktoriin kytketyllä John Deeren valmistamalla 1365-niittomurskaimella. Niittomurskain pyrittiin säätämään siten, että ruokohelpi saataisiin korjattua talteen mahdollisimman vähin korjuutappioin. Sato leikattiin läheltä maanpinnan tasoa ja niittomurskaimen ulostulouaukot säädettiin mahdollisimman väljiksi. Niittämiseen kulunut aika mitattiin yhteisajanmenekkinä, jossa mukana olivat kaikki lohkot 1-5. Niitosta aiheutuneita kustannuksia laskettaessa käytettiin urakoitsijan ilmoittamia todellisia taksoja.

Lohko 1 paalattiin Claas Rollant 62 –merkkisellä pyöröpaalaimella, mutta ko. paalain ei soveltunut ruokohelven paalaamiseen loholla vallitsevissa olosuhteissa. Paalaimen noukintapöytä oli liian kapea ja sidonta oli mahdollista suorittaa vain narulla. Edellä mainituista syistä johtuen paalainta päätettiin vaihtaa ja ottaa käyttöön kiinteäkammioinen Claas Rollant 250 -pyöröpaalain, jonka noukintapöytä oli leveämpi ja sidonta voitiin suorittaa verkkoa käyttäen. Rollant 250 -koneella paalattiin lohkot 2-5.

Paaleja tehtiin yhteensä 147 kpl, joista neljä rikkoutui paalatessa. Lohkoittain paaleja saatiin seuraavasti: lohko 1 = 23 kpl, lohko 2 = 41 kpl, lohko 3 = 27 kpl, lohko 4 = 31 kpl ja lohko 5 = 25 kpl. Paalauksen kulunutta ajanmenekkiä tarkkailtiin lohkoittain sekä yhden paalin paalaamiseen kuluvan ajan osalta. Yksittäisen paalin paalaamiseen kulunutta aikaa tarkkailtiin 54 paalin osalta. Lohkolla 1 aikaa kului kohtuuttoman paljon koneen säätämiseen. Tämän takia tuloksia laskettaessa lohkolla 1 on käytetty lohkojen 2-5 mittauksista laskettua keskimääräistä ajanmenekkiä pinta-alaan suhteuttaen.

Lohkoilta 2-5 punnittiin satunnaisesti 10 paalia/lohko ja lohkolta 1 punnittiin 6 paalia. Massan punnituksessa käytettiin Dynamic Platforms –merkkistä ajoneuvovaakaa. Vaaka oli asetettu traktorin peräkärryyn, josta laidat oli poistettu (kuva 1). Mitattujen paalien massoista laskettiin keskimääräiset lohkoikohtaiset paalien massat, joita käytettiin lohkoikohtaisten ruokohelpisatojen laskennassa.



Kuva 1. Ruokohelpipaalien punnitusta Dynamic Platforms –ajoneuvovaalla. (Kuva: Jussi Laurila)

Lähikuljetus lohkoilta välivarastoon tapahtui maataloustraktorilla, johon oli kytketty pyöröpaalien kuljetukseen soveltuva perävaunu. Perävaunun kuormaus ja purku suoritettiin etukuormaajalla varustetulla maataloustraktorilla. Lähikuljetukseen kulunutta aikaa seurattiin lohkoittain.

6.3.2 Murskaus ja briketöinti

Ruokohelven briketöintiä havainnoitiin 20.5.2006 Kuortaneen energiaosuuskunnan tuotantolaitoksessa Kuortaneen Leppälänkylässä. Ruokohelpipaalien murskaus ennen briketöintiä suoritettiin Vest-Wood Suomi Oy:n tuotantolaitoksessa Leppälänkylässä. Murskauksen ja briketöinnin tuotosta selvitettiin mittaamalla aikaa, joka kului tietyn ruokohelpierän käsittelyyn. Aineistoa kerättiin yhteensä kuudesta ruokohelpipyöröpaalista ja niiden murskauksesta sekä briketöinnistä. Briketöintihallin läheisyydessä oli käytössä Dynamic Platforms -merkinen ajoneuvovaaka, jolla murskattavien paalien massa punnittiin ennen murskausta. Yhteensä ruokohelpeä murskattiin ja briketöitiin

1390 kg. Paalien kosteuspitoisuus mitattiin Wile 25 -digitaalisella kosteusmittarilla (kuva 2).



Kuva 2. Paalin kosteus määritettiin kolmen mittauksen keskiarvona käyttäen digitaalista Wile 25 -kosteusmittaria. (Kuva: Jussi Laurila)

Ruokohelpipyöröpaalit murskattiin ennen briketointiä Weima WL 15 -merkkisellä roottorimurskaimella, joka oli varustettu 55 kW:n sähkömoottorilla. Laitteen roottorin leveys oli 1500 mm ja halkaisija 386 mm. Roottorissa oli 100 terää. Laitteen murskauskapasiteettia selvitettiin mittaamalla murskattavien ruokohelpipaalien massaa ja paalien murskaamiseen kulunutta aikaa. Murskauksen kustannuksia laskettaessa käytettiin jälleenmyyjän ilmoittamaa (30 kW/h) arviota sähkönkulutuksesta ruokohelpipaaleja murskattaessa.

Briketointi aloitettiin noin 20 minuuttia myöhemmin, kuin paalien murskaus. Molemmat koneet (murskain ja briketointikone) kävivät käynnistämisen jälkeen keskeytyksettä kokeen loppuun saakka. Briketointi tehtiin Adelman BP550 -merkkisellä briketointikoneella (kuva 3), jonka puristinosan nimellishalkaisija oli 55 mm. Briketointikoneen tuotosta selvitettiin 100 litran näyte-erällä, jonka massa ja valmistamiseen kulunut aika mitattiin. Lisäksi määritettiin brikettien kiintotiheys. Kiintotiheyttä määritettäessä briketin tilavuus laskettiin sylinterin kaavaa käyttäen ja massa punnittiin laboratoriovaa'alla.



Kuva 3. Briketöntikone asennettuna sisätiloihin. Etualalla kuljetin, jota pitkin briketit siirretään viereiseen varastorakennukseen oikealle. (Kuva: Jussi Laurila)

6.3.3 Brikekettien poltto

Ruokohelpibrikettien ominaisuuksia testattiin sekä laboratorioissa että lämpölaitoksessa. Laboratorio-analyysit tehtiin Vaskiluodon Voima Oy:n Seinäjoen voimalaitoksen (SEVO) laboratorioissa. Laboratorioissa briketistä määritettiin kosteus, tuhkapitoisuus, tehollinen lämpöarvo kuiva-aineesta ja tehollinen lämpöarvo käyttökosteudessa.

Ruokohelpibrikettien polttoa seurattiin lämpölaitoksessa, jossa oli Tulostekniikan valmistama 700 kW:n lämpökattila. Kattilassa oli viistoporrassarina. Briketistä vapautuva lämpöenergia määritettiin polttamalla 1600 kg ruokohelpibrikettiä, josta vapautunut lämpöenergia mitattiin lämpölaitoksen energiamittarilla. Energiamittarin mittaustuloksessa ei ole mukana hukkalämpöä, vaan tulos kuvaa lämpölaitokselta lähtevää todellista energiamäärää. Laitoksen hyötysuhteeksi on aikaisempien päästömittausten yhteydessä mitattu 85 %.

6.4 TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU

6.4.1 Korjuu

6.4.1.1 Niitto

Viiden peltolohkon niittämiseen kului aikaa yhteensä 4 h 32 min. Lohkojen yhteispinta-ala oli 7,20 ha, joten keskimääräinen hehtaarikohtainen ajanmenekki oli 38 min/ha. Niiton kokonaiskustannukset viideltä lohkolta olivat yhteensä 216 €. Hehtaarin alan niittäminen maksoi siis 30 €. Niiton tuntitaksaksi saatiin 47,65 €/h.

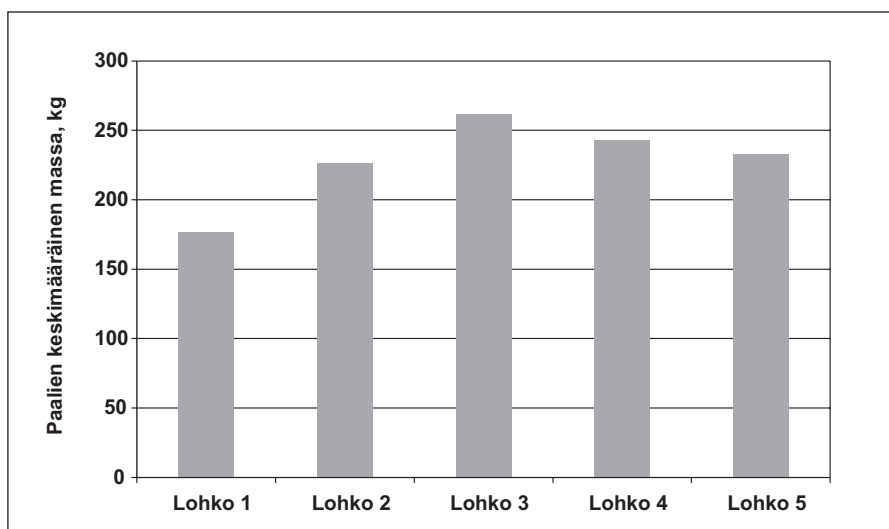
6.4.1.2 Paalaus ja sato

Paaleja paalattiin yhteensä 147 kpl. Paalaamiseen kului aikaa yhteensä 6 h 57 min. Paalauksen lohkoittainen ajanmenekki oli seuraava: lohko 1 = 66 min, lohko 2 = 130 min, lohko 3 = 77 min, lohko 4 = 73 min ja lohko 5 = 71 min. Lohkolla 1 paalaukseen kulunut aika laskettiin lohkojen 2-5 mittausten perusteella pinta-alaan suhteuttaen, koska lohkolla 1 aikaa kului kohtuuttomasti koneen säätämiseen. Yhden pyöröpaalin valmistaminen maksoi 5,5 € ja yhteensä paalauksesta aiheutui kustannuksia 787 €. Hehtaarin paalaaminen maksoi keskimäärin 109 €.

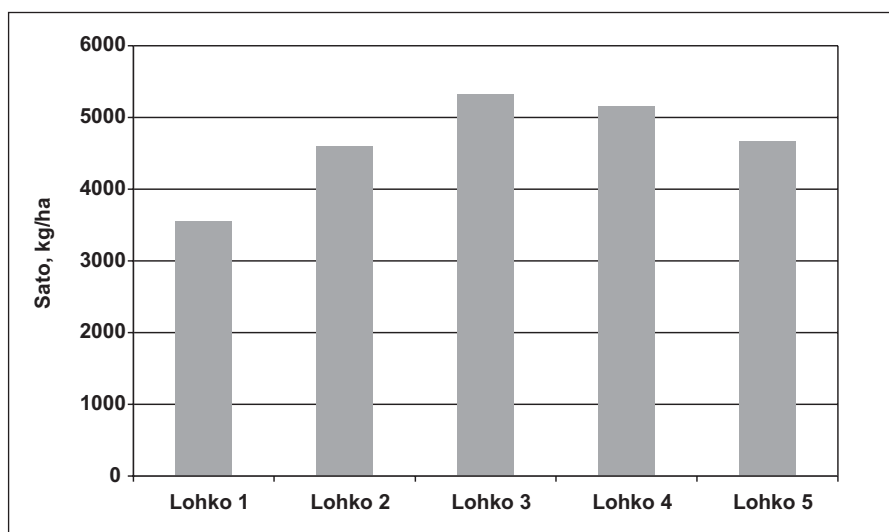
Yhden paalin paalaamiseen kuluvaa aikaa seurattiin 54 paalin osalta. Havaintojen perusteella keskimääräinen paalin paalaus kesti 2 min 27 sekuntia ja havaintojen keskihajonta oli 37 sekuntia. Häiriön sattuessa paalikoneeseen, aikaa kului jopa neljä minuuttia paalia kohden. Häiriöt johtuivat mm. paalien takertumisesta paalikoneen kammioon sitä tyhjennettäessä.

Kaaviossa 1 on esitetty punnittujen paalien keskimääräinen massa peltolohkoittain. Kaikkien punnittujen paalien keskimääräinen massa oli 233 kg. Paalien massat olivat 114–298 kg välillä keskihajonnan ollessa 36 kg. Paalien halkaisija oli 125 cm, leveys 120 cm ja tilavuus 1,47 m³. Keskimääräiseksi paalin tiheydeksi saatiin 158 kg/m³. Esimerkiksi puuhun verrattuna tiheys on alhainen. Alhaisesta tiheydestä johtuen ruokohelpipaalien taloudellinen kaukokuljetusmatka jää melko lyhyeksi.

Ruokohelven hehtaarisato vaihteli lohkoittain 3558 - 5160 kg/ha välillä. Keskimääräinen hehtaarisato oli 4638 kg/ha ja lohkoittainen hehtaarisatojen keskihajonta oli 638 kg. Kaaviossa 2 on esitetty hehtaarikohtaiset ruokohelpisadot lohkoittain. Lohkon 1 alhainen hehtaarisato johtuu todennäköisesti suurista korjuutappioista, koska lohkolla käytetty paalain ei soveltunut ruokohelven kevätkorjuuseen vallitsevissa olosuhteissa. Suurin sato 5160 kg/ha saatiin lohkolta 3.



Kaavio 1. Punnittujen paalien keskimääräinen massa peltolohkoittain.



Kaavio 2. Ruokohelpisato lohkoittain kg/ha.

Korjuutappioita ei tässä tutkimuksessa mitattu, mutta silmämääräisesti arvioiden niitä voitiin selkeästi havaita (kuva 4). Todennäköisesti käyttämällä joko muuttuvakammioista pyöröpaalainta tai kanttipaalainta voitaisiin korjuutappiota jonkin verran vähentää. Paalauksen aikana alueen yli kulkenut sadekuuro kasteli hieman paalattavaa ruokohelpeä. Sateen vaikutuksesta pölyäminen loppui ja silmämääräisesti arvioiden varisemistappiot pienenevät. Paalausurakoitsijan mukaan sateen jälkeen ruokohelpipaaleista tuli hieman tiiviimpiä kuin ennen sadetta. Edellä mainittua havaintoa vahvistavat lohkon 3 paalien massat, jotka olivat heti sateen jälkeen korjatulta lohkolta

keskimäärin noin 30 kg painavampia kuin kaikkien punnittujen paalien massojen keskiarvo (kaavio 1). Todennäköisesti lohkon 3 paalien painavampaa massaa selittää kolme tekijää: 1. paalien korkeampi tiheys, 2. ruokohelven korkeampi kosteuspitoisuus ja 3. pienemmät varisemistappiot.



Kuva 4. Paalauksen yhteydessä osa ruokohelpisadosta varisee peltoon. (Kuva: Jussi Laurila)

6.4.1.3 Kuljetus ja varastointi

Paalien lähikuljetus pellolta välivarastoon suoritettiin etukuormaajalla varustetulla maataloustraktorilla, johon oli kytketty paalien kuljetukseen soveltuva peräkärri. Yhdistelmällä voitiin kuljettaa helposti noin 10 pyöröpaalia kerralla. Tällöin kuorma ei ollut liian raskas ja se oli helppo sekä kuormata että purkaa eikä se myöskään aiheuttanut raiteita peltoon eikä teihin. Kaukokuljetuksessa perävaunuun voitiin kuormata 18-24 paalia. Kuormauksen ja purkamisen ajaksi peräkärri täytyi irrottaa traktorin peräkoukusta. Käyttämällä kahta traktoria voitaisiin kuormausta ja purkua hieman nopeuttaa, mutta toisaalta kahdesta työkoneesta aiheutuisi suuremmat kustannukset. Paalit varastoititiin joko peltolohkoille tai peltojen läheisyydessä sijaitsevaan tilavaan puurakenteiseen latoon (kuva 5).

Lähikuljetuksessa kuorman (10 paalia) lastaukseen, siirtoon ja purkuun kului aikaa 20-30 min. Yhteensä lähikuljetukseen kului aikaa noin 6 tuntia. Kustannuksia lähikuljetuksesta aiheutui yhteensä kaikilta viideltä lohkolta noin 150 € eli 25 €/h.



Kuva 5. Ruokohelpipyöröpaalien välivarastointia tilavassa varastoladossa. (Kuva: Jussi Laurila)

Kaukokuljetus suoritettiin samalla kalustolla kuin lähikuljetus. Kaukokuljetuksessa peräkärreyn kuormattiin 18 pyöröpaalia, joiden keskimääräinen yhteismassa oli noin 4200 kg. Yhden paalikuorman siirtäminen välivarastolta Ruismäestä briketöintilaitokselle Leppälänkylään vei aikaa noin 60 min. Aika sisältää ajon yrittäjän kotoa välivarastolle Ruismäkeen, kuormauksen, ajon välivarastolta briketöintilaitokselle Leppälänkylään ja siellä kuorman purkamisen. Välivaraston ja jatkojalostuskohteen välinen etäisyys oli 15 km.

6.4.2 Murskaus ja briketointi

6.4.2.1 Paalien murskaus

Paaleja murskattiin yhteensä 6 kpl ja niiden murskaamiseen kului aikaa 4 h 35 min. Paalien keskimääräinen kosteus oli 9,3 %, yhteismassa 1390 kg ja paalien keskimääräinen massa oli 232 kg. Keskimääräinen massa oli näin ollen lähes sama kuin korjuussa punnittujen 46 paalin massan keskiarvo (233 kg). Yhden paalin murskaamiseen kului aikaa keskimäärin 46 min. Eli tuhannen kilogramman ruokohelpierän murskaamiseen kuluu aikaa 3 h 18 min. Tunnissa koneella saadaan murskattua ruokohelpeä keskimäärin 303 kg. Kahdeksan tunnin jaksossa murskalla saadaan valmistettua noin 2400 kg ruokohelpisilppua.

Asetettaessa paaleja murskaimeen on huomioitava paalien oikea asento (kuva 6). Laitteen jälleenmyyjän ohjeistuksen mukaan paali asetetaan murskaimeen siten, että paalin pyörimisakselin suunta on sama kuin murskan roottorin akselin suunta. Tällöin paali pääsee pyörimään ja se murskautuu tasaisesti. Mikäli paali asetetaan murskaimeen esim. pystyasennossa, niin se saattaa jäädä osittain murskautumatta, koska murskaus tapahtuu laitteen alaosan etureunassa ja tällöin murskaimen yläosan etuseinä estää paalin siirtymisen kohti teriä. Murskaimeen sopii kaksi paalia päällekkäin, mutta murskaus tapahtuu yksi paali kerrallaan. Päällimmäisen paalin massa nopeuttaa alemman paalin murskautumista.



Kuva 6. Häiriöttömän murskauksen varmistamiseksi paali on asetettava murskaimeen kuvan osoittamalla tavalla. (Kuva: Jussi Laurila)

6.4.2.2 Briketin puristaminen

Briketöintikone käynnistettiin noin 20 minuuttia myöhemmin kuin paalien murskaus alkoi. Käynnistämisen jälkeen sekä murskain että briketöintikone kävivät keskeytyksettä kokeen loppuun saakka. Koneiden keskinäiset tuotokset olivat suunnilleen samansuuruisia. Sadan litran näyte-erän perusteella briketöintikoneen tuottavuus oli 314 kg/h. Tuhannen kilogramman brikettierän valmistamiseen kuluu aikaa 3 h 11 min. Briketin irtotiheydeksi saatiin 530 kg/m³ ja kiintotiheydeksi 990 kg/m³. Kahdeksan tunnin työpäivässä brikettejä ehditään valmistaa noin 2500 kg.

6.4.3 Brikettien poltto

SEVO:n Laboratoriossa Seinäjoella ruokohelpibrikettien kosteudeksi mitattiin 10,9 % ja tuhkapitoisuudeksi 2,9 %. Brikettien tehollinen lämpöarvo käyttökosteudessa oli 4,4 MWh/t. Kuiva-aineen teholliseksi lämpöarvoksi määritettiin 5,0 MWh/t.

Ruokohelpibrikettien lämpölaitospolttokoe tehtiin viikolla 25, jolloin sää oli helteinen lämpötilan ylittäessä päivittäin reilusti yli 20 °C. Brikettien lämpö-arvoksi saatiin 3,4 MWh/t, joka ei sisällä hukkalämpöä. Brikettien lämpö-arvo, jossa mukana on myös hukkalämpö, voidaan laskea, kun lämpölaitoksen hyötysuhde tunnetaan. Aikaisemmin suoritettussa päästömittauksessa lämpölaitoksen hyötysuhteeksi on saatu 85 %. Tällä lukuarvolla laskien saadaan ruokohelpibrikettien lämpöarvoksi 4,0 MWh/t. Todellisuudessa lämpölaitoksen hyötysuhde vallitsevissa polttokoeolosuhteissa saattoi olla alle 85 %, johtuen mm. vähäisestä lämmönkulutuksesta. Alhaisesta kulutuksesta johtuen lämpölaitos kävi tyhjäkäyntiä ja välillä jopa pysähtyi. Laitoksen energiamittarin mukaan lämpölaitokselta lähtevän lämpöenergian määrä oli vain 30-100 kW. Poltossa havaittiin, että palopäähän kertyi tuhkaa. Tuhka aiheutti ongelmia myös arinalla. Tuloksia tarkasteltaessa on huomioitava kokeen aikana vallinnut pieni lämmönkulutus, joka saattaa vaikuttaa tulosten luotettavuuteen.

6.4.4 Kannattavuus

6.4.4.1 EU-tuet

EU-tuilla oli merkittävä vaikutus ruokohelven viljelyn kannattavuuteen. Taulukossa 2 esitetään vuoden 2006 hehtaarikohtaiset tilatukiarviot C1- ja C2-alueille. Taulukossa tuet ovat viiden euron tarkkuudella, lopullinen summa riippuu kevään 2006 peltopinta-alasta. Kasvinviljelytilalla C1-alueella (Kuortane) tuet ovat yhteensä 563 €/ha. Mikäli keskimääräiseksi sadoksi oletetaan 5000 kg/ha, niin ruokohelpitonnia kohti laskettuna kasvinviljelytilalla C1-alueella tuen suuruus on 112,60 €/t ja 7000 kg/ha satotasolla tuen suuruus on 80,43 €/t.

Taulukko 2. Tilatukiarvio viiden euron tarkkuudella, lopullinen summa riippuu kevään 2006 peltopinta-alasta. (Tuominen 2006)

PINTA-ALATUET v. 2006		
TUKI	C1-alue	C2-alue
CAP-tilatuki	193 €	161 €
Energiakasvituki *	45 €	45 €
LFA-tuki, kasvitila	218 €	233 €
LFA-tuki, kotieläintila	292 €	306 €
Ympäristötuki kasvitila	107 €	107 €
Ympäristötuki kotieläintila	130 €	130 €
Yleinen hehtaarituki		35 €
Yhteensä kasvitila	563 €	581 €
Yhteensä kotieläintila	660 €	677 €

* Energiakasvituki vaatii sopimuksen jalostajan kanssa.

6.4.4.2 Tuotantokustannukset

Taulukossa 3 tarkastellaan ruokohelven tuotantokustannuksia. Laskelman kohdissa: perustaminen, viljelyn lopettaminen ja hoito on osittain käytetty MTT:n tutkimuksen lukuarvoja. (Pahkala ym. 2005) Kohdassa korjuu käytetään yrittäjän ilmoittamia kustannuksia ja maan arvona keskimääräistä hehtaarihintatasoa Kuortaneella.

Vähentämällä C1-alueen kasvinviljelytilan EU-tuista (563 €/ha) ruokohelven tuotantokustannukset (466,07 €/ha) saadaan tulokseksi noin 97 €/ha ja 19 €/t, kun satotasoksi oletetaan 5 t/ha. Mikäli satotasoksi oletetaan 7000 kg/ha, niin saadaan tulokseksi noin 12 €/ha ja 2 €/t.

Taulukko 3. Ruokohelven tuotantokustannuslaskelma, jossa satotasoksi on oletettu 5000 kg/ha. (Pahkala ym. 2005)

				Satovuotta kohti				
	Määrä	€/yks.	€/ha	€/ha	€/t	%	h/ha	h/t
Perustaminen, 1 krt/kierto								
Ruiskutus ennen viljelyn aloittamista	1		8,77	0,88	0,18	0,19		
Glyfosaatti	4	4,51	18,04	1,80	0,36	0,39		
Siemenet, kg	12	5,50	66,00	6,60	1,32	1,42		
Lannoitteet, Kevätviljan Y 3	300	0,27	81,00	8,10	1,62	1,74		
Herbisidi, Hormo MCPA	1,5	6,00	9,00	0,90	0,18	0,19		
Koneet, h	3,37		104,91	10,49	2,10	2,25	0,37	0,075
Ihmistyö, h	4,85	8,06	39,09	3,91	0,78	0,84	0,54	0,108
Perustaminen			326,81	32,68	6,54	7,01		

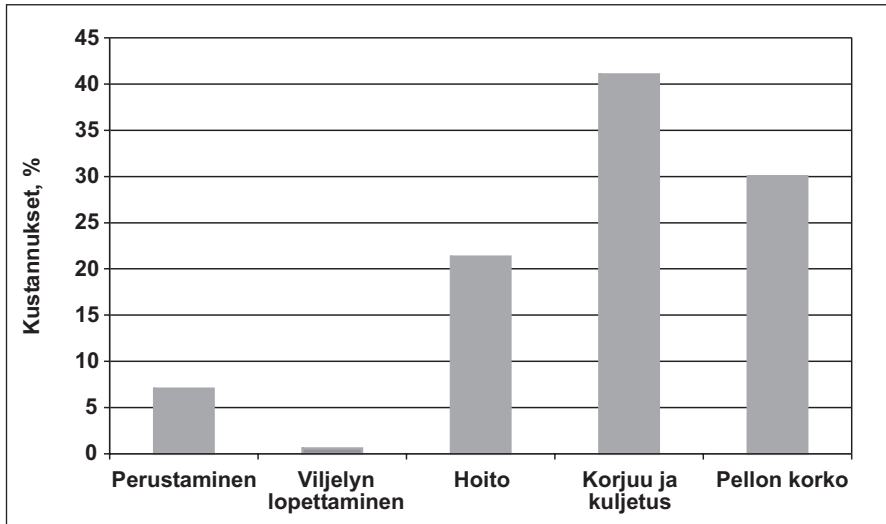
				Satovuotta kohti				
	Määrä	€/yks.	€/ha	€/ha	€/t	%	h/ha	h/t
Viljelyn lopettaminen, 1 krt/kierto								
Ruiskutus	1		8,77	0,88	0,18	0,19		
Glyfosaatti	4	4,51	18,04	1,80	0,36	0,39		
Viljelyn lopettaminen			26,81	2,68	0,54	0,58		

				Satovuotta kohti				
	Määrä	€/yks.	€/ha	€/ha	€/t	%	h/ha	h/t
Hoito, 9 krt/kierto								
Lannoitteet, Kevätviljan Y 3	300	0,27	81,00	81,00	16,20	17,38		
Koneet, h	0,22		15,63	15,63	3,13	3,35	0,22	0,044
Ihmistyö, h	0,34	8,06	2,74	2,74	0,55	0,59	0,34	0,068
Perustaminen			99,37	99,37	19,87	21,32		

				Satovuotta kohti				
	Määrä	€/yks.	€/ha	€/ha	€/t	%	h/ha	h/t
Korjuu + kuljetus, 9 krt/kierto								
Niitto, niittomurskain	1	30,00	30,00	30,00	6,00	6,44		
Paalaus, pyöröpaali	21	5,50	115,50	115,50	23,10	24,78		
Lähikuljetus, kuormaa	2	10,42	20,83	20,83	4,17	4,47		
Kaukokuljetus	1	25,00	25,00	25,00	5,00	5,36		
Korjuu ja kuljetus			191,33	191,33	38,27	41,05		

				Satovuotta kohti				
	Määrä	%	€/ha	€/ha	€/t	%	h/ha	h/t
Pellon korko	3500	4	140	140,00	28,00	30,04		
Kustannukset yhteensä				466,07	93,21	100		
Koneet yhteensä				26,12	5,22	5,60	0,59	0,12
Ihmistyö yhteensä				6,65	1,33	1,43	0,88	0,18

Kaaviossa 3 esitetään ruokohelven tuotannosta aiheutuvat kustannukset viiden kustannuserän osalta, kun satotasoksi on oletettu 5000 kg/ha (ks. taulukko 3). Y-akselilla ovat kustannukset prosentteina kokonaistuotantokustannuksista. Suurimmat kustannukset ruokohelven tuotannossa aiheutuu korjuusta (sis. lähi- sekä kaukokuljetuksen) ja pääomakustannuksista. Pääoman vaihtoehtoisen tuoton tuottovaatimukset vaikuttavat ratkaisevasti tuotantokustannuslaskelman tulokseen.



Kaavio 3. Ruokohelven suhteelliset tuotantokustannukset perustamisen, viljelyn lopettamisen, hoidon, korjuun sekä kuljetuksen ja pellon koron osalta, kun satotasoksi oletetaan 5000 kg/ha.

6.4.4.3 Murskauksen ja briketöinnin kustannukset

Taulukossa 4 esitetään murskauksen ja briketöinnin tuotantokustannuslaskelmat. Laskelmissa on käytetty kolmea eri henkilötyön määrää: vaihtoehto 1) murskaus 20 h/pv, vaihtoehto 2) murskaus 7 h/pv ja vaihtoehto 3) murskaus 2 h/pv. Briketöinnissä henkilötyön määränä on käytetty kaikissa kolmessa vaihtoehdossa 1 h/pv. Henkilötyön määrään vaikuttaa lähinnä murskauslinjan automatisointiaste. Kokeen suorittamishetkellä murskauslinja ei ollut varustettu automaattisella paalinsyöttökoneella, joten se sitoi käytännössä yhden työntekijän koko murskauksen ajan. Murskauksesta ja briketöinnistä aiheutui kustannuksia yhteensä 78 €/t, kun murskauksen palkkakustannustunteina käytetään 20 h/pv. Kustannukset ovat huomattavasti alemmat, yhteensä 37 €/t, mikäli murskauksen vaatimat palkkakustannustunnit kyetään alentamaan tasolle 2 h/pv.

Murskauksen ja briketöinnin kustannuslaskelmissa on oletettu, että koneita käytetään kolmessa vuorossa. Tällöin koneiden tuotantokapasiteetti on 1500000 kg/v. Tällaisen

Taulukko 4. Murskauksen ja briketöinnin kustannukset kolmella eri henkilötyömäärällä laskettuna.

MURSKAUS				BRIKETOINTI			
TAUSTATIEDOT				TAUSTATIEDOT			
Palkkakustannustunnit 1)	20 h/pv	420 h/kk	4620 h/v	Palkkakustannustunnit 1)	1 h/pv	21 h/kk	231 h/v
Palkkakustannustunnit 2)	7 h/pv	147 h/kk	1617 h/v	Palkkakustannustunnit 2)	1 h/pv	21 h/kk	231 h/v
Palkkakustannustunnit 3)	2 h/pv	42 h/kk	462 h/v	Palkkakustannustunnit 3)	1 h/pv	21 h/kk	231 h/v
Hankintahinta	80000 €			Hankintahinta	80000 €		
Käyttöikä, 50000 h	10 V		5000 h/v	Käyttöikä, 50000 h	10 V		5000 h/v
Jäännösarvo	10000 €			Jäännösarvo	10000 €		
Huolto, korjaus ym.	1,00 €/h			Huolto, korjaus ym.	0,43 €/h		
Sähkö	30 kW/h			Sähkö	22 kW/h		
Tuottavuus	300 kg/h			Tuottavuus	300 kg/h		
KUSTANNUKSET / VUOSI				KUSTANNUKSET / VUOSI			
Henkilökustannus 1)	15 €/h	4620 h/v	69300 €/v	Henkilökustannus 1)	15 €/h	231 h/v	3465 €/v
Henkilökustannus 2)	15 €/h	1617 h/v	24255 €/v	Henkilökustannus 2)	15 €/h	231 h/v	3465 €/v
Henkilökustannus 3)	15 €/h	462 h/v	6930 €/v	Henkilökustannus 3)	15 €/h	231 h/v	3465 €/v
Huolto, korjaus ym.	1,0 €/h		5000 €/v	Huolto, korjaus ym.	0,43 €/h		2143 €/v
Sähkö	8 c/kWh		12000 €/v	Sähkö	8 c/kWh		8800 €/v
Pääoman poisto 1v	1,40 €/h		7000 €/v	Pääoman poisto 1v	1,40 €/h		7000 €/v
Pääoman korko 4 %	0,36 €/h		1800 €/v	Pääoman korko 4 %	0,36 €/h		1800 €/v
YHTEENSÄ 1)			95100 €/v	YHTEENSÄ 1)			23208 €/v
YHTEENSÄ 2)			50055 €/v	YHTEENSÄ 2)			23208 €/v
YHTEENSÄ 3)			32730 €/v	YHTEENSÄ 3)			23208 €/v
Vuosituotos			1500 t/v	Vuosituotos			1500 t/v
Kustannukset 1)			63 €/t	Kustannukset 1)			15 €/t
Kustannukset 2)			33 €/t	Kustannukset 2)			15 €/t
Kustannukset 3)			22 €/t	Kustannukset 3)			15 €/t

- 1) Henkilötyötunnit murskauksessa 20 h/pv ja briketöinnissä 1 h/pv.
- 2) Henkilötyötunnit murskauksessa 7 h/pv ja briketöinnissä 1 h/pv.
- 3) Henkilötyötunnit murskauksessa 2 h/pv ja briketöinnissä 1 h/pv.

ruokohelpimäärän tuottamiseen tarvittaisiin peltoa 300 ha, kun satotasoksi oletetaan 5000 kg/ha.

6.4.4.4 Kokonaiskustannukset

Taulukossa 5 esitetään yhteenveto ruokohelven tuotannosta, murskauksesta ja briketöinnistä aiheutuvista kustannuksista sekä EU-tuista. Laskelmat on tehty kahdella eri satotasolla: 5000 kg/ha ja 7000 kg/ha. Edelleen molempien satotasojen laskelmat on jaettu kahteen eri kustannustasoon.

Laskemalla ruokohelven viljelyn tuotantokustannukset, murskauksen kustannukset ja briketöinnin kustannukset yhteen EU-tuet huomioiden saadaan tulokseksi: $93,21 \text{ €/t} + (-112,60 \text{ €/t}) + 63,40 \text{ €/t} + 15,47 \text{ €/t} = 59,48 \text{ €/t}$, kun murskauksen vaatimana palkkakustannustunteina käytetään 20 h/pv ja satotasoksi oletetaan 5000 kg/h. Mikäli murskauksen palkkakustannustunteina käytetään 2 h/pv, niin saadaan tulokseksi: $93,21 \text{ €/t} + (-112,60 \text{ €/t}) + 21,82 \text{ €/t} + 15,47 \text{ €/t} = 17,90 \text{ €/t}$.

Taulukko 5. Yhteenveto ruokohelven kustannuksista nykykustannusten ja 10 % kustannustason nousun mukaan kahdella eri satotasolla laskettuna.

Kustannus / tuki	Satotaso 5000 kg/ha		Satotaso 7000 kg/ha	
	Nykyinen kustannustaso	Nykyinen kustannustaso +10 %	Nykyinen kustannustaso	Nykyinen kustannustaso +10 %
Tuotantokustannukset, €/t	93,21	102,53	78,71	86,58
EU-tuet, €/t	-112,60		-80,43	
Murskauksen kustannukset, €/t 1)	63,40	69,74	63,40	69,74
Murskauksen kustannukset, €/t 2)	33,37	36,71	33,37	36,71
Murskauksen kustannukset, €/t 3)	21,82	24,00	21,82	24,00
Briketöinnin kustannukset, €/t	15,47	17,02	15,47	17,02
Yhteensä, €/t 1)	59	77	77	93
Yhteensä, €/t 2)	29	44	47	60
Yhteensä, €/t 3)	18	31	36	47

- 1) Henkilötötunnit murskauksessa 20 h/pv ja briketöinnissä 1 h/pv.
- 2) Henkilötötunnit murskauksessa 7 h/pv ja briketöinnissä 1 h/pv.
- 3) Henkilötötunnit murskauksessa 2 h/pv ja briketöinnissä 1 h/pv.

Taulukossa 6 esitetään briketin myynnistä aiheutuva voitto / tappio eri myyntihinnoilla laskettuna. Tarkastelussa on mukana kaksi eri hehtaarisatotasoa: 5 t/ha ja 7 t/ha. Molemmat satotasot on jaettu kolmeen eri tuotantokustannusluokkaan riippuen murskauksessa käytettävästä henkilötyötuntimäärästä. Kohdassa 1) henkilötyön määrä on 20 h/pv, kohdassa 2) 7 h/pv ja kohdassa 3) 2 h/pv. Laskelmien voitto / tappio sarakkeiden arvot ovat hehtaarikohtaisia arvoja 5 t/ha tai 7 t/ha. Taulukosta nähdään, että ruokohelven briketöinti satotasolla 7 t/ha on satotasoa 5 t/ha kannattavampaa ainoastaan seuraavin ehdoin. Briketin myyntihinnan on ylitettävä 80 €/t ja murskauksen vaatimat henkilötyötunnit ovat 2 h/pv. Mikäli murskauksessa henkilötyön määrää ei kyetä alentamaan nykyisestä (20 h/pv) niin ruokohelven briketöinti on tappiollista satotasolla 7000 kg/ha, jos briketin myyntihinta on alle 80 €/t. Suuremman sadon huonompi kannattavuus johtuu suhteellisesta EU-tuen pienenemisestä ruokohelpi-tonnia kohti laskettuna.

Taulukko 6. Hehtaarin briketöidyn ruokohelpisadon myynnistä aiheutuva voitto / tappio 5 ja 7 tonnin hehtaarisadolla eri briketin myyntihinnan funktiona.

Briketin myyntihinta, €/t	SATO, 5 t/ha			SATO, 7 t/ha		
	Tuotantokustannus,			Tuotantokustannus,		
	1) 59 €/t	2) 29 €/t	3) 18 €/t	1) 77 €/t	2) 47 €/t	3) 36 €/t
	VOITTO / TAPPIO, €/ha					
55	-20	130	185	-154	56	133
60	5	155	210	-119	91	168
65	30	180	235	-84	126	203
70	55	205	260	-49	161	238
75	80	230	285	-14	196	273
80	105	255	310	21	231	308
85	130	280	335	56	266	343
90	155	305	360	91	301	378

- 1) Henkilötyötunnit murskauksessa 20 h/pv.
- 2) Henkilötyötunnit murskauksessa 7 h/pv.
- 3) Henkilötyötunnit murskauksessa 2 h/pv.

6.5 PÄÄTELMÄT

Ruokohelven kevätkorjuussa peltojen sijainnilla ja kantavuudella on suuri merkitys sadonkorjuun onnistumisen kannalta. Ruokohelpiviljelmät tulisi perustaa ainoastaan kohteisiin, joihin kulkeminen kelirikon aikana raskailla koneilla ja täysperävaunuyhdistelmillä on mahdollista. Perustamisvaiheessa on kiinnitettävä erityistä huomiota pellon tasaisuuteen, sillä epätasainen pelto vaikeuttaa sadonkorjuuta ja aiheuttaa korjuutappioita. Korjuutappioiden määrää ei tässä tutkimuksessa mitattu, mutta silmämääräisesti niitä voitiin kuitenkin selkeästi havaita. Korjuukalustoa tulisi kehittää siten, että korjuutappiot jäisivät mahdollisimman pieneksi ja korjattu sato mahdollisimman suureksi.

Pyöröpaalien alhaisesta tiheydestä ja muodosta johtuen, niiden varastointi ja kuljetus vaativat paljon tilaa. Suuri tilantarve aiheuttaa lisäkustannuksia sekä varastoinnissa että kuljetuksessa. Paalien tiheyttä voitaisiin nostaa käyttämällä korjuussa muuttuvakammioista pyöröpaalainta tai suurkantipaalainta. Kantipaalaimella paalattujen paalien muoto on myös edullisempi logistiikan kannalta. Toisaalta kantipaalain on raskas ja sen hankintahinta on korkea.

Kevätkorjatun ruokohelven briketöinti on mahdollista sekä myös taloudellisesti kannattavaa toimintaa tietyin edellytyksin. Briketit ovat helppoja käsitellä ja niiden kuljetuskustannukset ovat ruokohelpisilppua tai paaleja huomattavasti edullisempia. Brikettien kiintotiheys on yli kuusinkertainen ruokohelpipyöröpaalien kiintotiheyteen verrattuna. Briketöinnistä aiheutuu kuitenkin huomattavia lisäkustannuksia. Pienen ruokohelpipeltopinta-alan sadon briketöintiin ei ole taloudellisesti kannattavaa hankkia kalliita murskaus- ja briketöintilaitteita. Mikäli koneet hankitaan, on niitä käytettävä ympäri vuoden ja vuorokauden ympäri. Tässä tutkimuksessa tarkasteltujen murskaus- ja briketöintikoneiden vuosituotuskapasiteetti oli noin 1 500 000 kg. Tällaisen ruokohelpimäärän tuotanto vaatii peltopinta-alaa noin 300 ha, mikäli satotasoksi oletetaan 5 t/ha. Pienemmältä ruokohelpipeltopinta-alalta saadun sadon briketöiminen voi myös olla kannattavaa, mikäli briketöintiin voidaan käyttää johonkin muuhun käyttötarkoitukseen hankittua jo olemassa olevaa konekanta. Esimerkiksi puunjalostustehtaalla voidaan viikolla briketöidä puunjalostusprosessissa syntyvää purua ja viikonloppuna ruokohelpeä, kuten tässä tutkimuksessa tapahtuikin.

Murskauksen kustannukset riippuvat merkittävästi murskan automatisointiasteesta. Ilman automaattista paalinsyöttökuljetinta murskain sitoo käytännössä yhden työntekijän koko murskauksen ajaksi. Tästä aiheutuu kohtuuttoman suuret kustannukset. Automaattisella paalinsyöttökuljettimella voidaan henkilötyötunteja vähentää huomattavasti ja näin ollen alentaa kustannuksia merkittävästi.

Laboratorioanalyysissä ruokohelpibriketille saatiin hieman korkeampia lämpöarvoja, kuin mitä kirjallisuudessa esiintyy. Lämpölaitoksen polttokokeessa saatiin lämpöarvoksi myös hyvä tulos, vaikka lämpöenergian kulutus oli kokeen aikana pieni. Laboratoriossa mitatulle kirjallisuutta korkeammalle lämpöarvolle ei löytynyt selitystä. Lämpölaitospolttokokeen aikana vallinneet olosuhteet asettavat tulosten yleistettävyydelle rajoituksia. On todennäköistä, että suuremmalla lämpöenergiankulutuksella lämpölaitoksen hyötysuhde kasvaa ja tuhka käyttäytyy eri tavalla, kuin pienellä energian kulutuksella. Ruokohelpibriketin poltosta tarvitaan lisätutkimusta, että voitaisiin arvioida paremmin sen soveltuvuutta lämmöntuotantoon. Selvitettäviä asioita olisivat mm. päästöt ja tuhkan käyttäytyminen.

Ruokohelven viljelyssä EU-tuet kattavat viljelystä ja korjuusta aiheutuvat kustannukset, mikäli sato on enintään noin 7500 kg/ha. Tutkimuksessa käytetyillä menetelmillä voidaan pienin muutostöin valmistaa brikettiä, joiden tuotantokustannukset ovat 18 €/t, kun satotasoksi oletetaan 5000 kg/ha ja EU-tuki huomioidaan. Mikäli satotasoksi oletetaan 7000 kg/ha, niin saadaan tuotantokustannuksiksi 36 €/t. Suuremmat tuotantokustannukset suuremmalla hehtaarisadolla ruokohelpitonnia kohti johtuu suhteellisesta EU-tuen pienenemisestä sadon määrän lisääntyessä.

Tämän tutkimuksen tuloksia yleistettäessä on huomioitava mahdolliset alueelliset erot mm. kasvuolosuhteissa, työlajien taksoissa, konekalustossa ja EU-tuissa. Yksittäinen kustannuslaskelma ei ole yleispätevä, vaan todelliset tuotantokustannukset ovat aina tapauskohtaisia ja niiden suuruuteen vaikuttavat monet eri tekijät.

KIITOKSET

Lämpöyrittäjä Veli-Matti Ruismäki Kuortaneen energiaosuuskunnasta järjesti tutkimuskohteet, aineistot, koneet ja laitteet sekä konsultoi ruokohelpiasioissa. Asko Sippola Kuortaneen energiaosuuskunnasta konsultoi niin ikään ruokohelpiasioissa. Myyntipäällikkö Marko Latikka XO Group:sta toimi asiantuntijana murskainta sekä briketöintilaitteistoa koskevissa kysymyksissä. Kaikille edellä mainituille ja erityisesti Veli-Matti Ruismäelle parhaimmat kiitokset.

LÄHTEET

- Burvall, J. & Örberg, H. 1994. Brikettering av rörfilen: teknik och ekonomi. Sveriges lantbruksuniversitet. Institutionen för norrländsk jordbruksvetenskap. Rapport 10:1994. Umeå.
- Flyktman, M. 2000. Ruokohelven seospoltto turpeen ja puun kanssa. Teoksessa Biomassan tuottaminen kuidun ja energian raaka-aineeksi. Tutkimuksen loppuraportti, osa II. Toim. Salo, R. 2000. Maatalouden tutkimuskeskus. Jyväskylän yliopistopaino 2000.
- Hemming, M., Maunu, T., Suokannas, A., Järvenpää, M., & Pehkonen, A. 1996. Agrokuidun tuotanto ja käyttö Suomessa. Tutkimuksen loppuraportti II osa. Ruokohelven korjuu, varastointi ja mekaaninen esikäsitely sekä tuotantokustannukset ja saatavuus. Maatalouden tutkimuskeskus.
- Isolahti, M. 2006. Ruokohelpi on satoisa energiakasvi. Teho 2/2006: 8 – 11.
- Lindh, T., Paappanen, T., Kallio, E., Käyhkö, V., Kaipainen, H., Hokkanen, M. & Leinonen, A. 2000. Korsibiomassojen irtokorjuumenetelmän kehittäminen seospolttoaineiden tuotantoon. Teoksessa Biomassan tuottaminen kuidun ja energian raaka-aineeksi. Tutkimuksen loppuraportti, osa II. Toim. Salo, R. 2000. Maatalouden tutkimuskeskus. Jyväskylän yliopistopaino 2000.
- Motiva Oy. 2006. <http://www.motiva.fi>
- Pahkala, K., Isolahti, M., Partala, A., Suokannas, A., Kirkkari, A-M., Peltonen, M., Sahramaa, M., Lindh, T., Paappanen, T., Kallio, E. & Flyktman, M. 2005. Ruokohelven viljely ja korjuu energian tuotantoa varten. 2. korjattu painos. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus. Jokioinen.
- Salo, R. 1998. Ruokohelpiseminaari. Biomassan tuotanto pelloilla ja turvesoilla sekä käyttö energian tuotantoon. Maatalouden tutkimuskeskus. Yliopistopaino.
- Slioor, S. 2006. Tilastoja. Teoksessa Energia katsaus 1/2006. Kauppa- ja teollisuusministeriö energiaosasto. Suomen Graafiset Palvelut Oy.
- Suokannas, A. & Serenius, M. 2000. Paalausmenetelmät korsibiomassojen korjuussa. Teoksessa Biomassan tuottaminen kuidun ja energian raaka-aineeksi. Tutkimuksen loppuraportti, osa II. Toim. Salo, R. 2000. Maatalouden tutkimuskeskus. Jyväskylän yliopistopaino 2000.
- Tuominen, V. 2006. TE-Keskus Etelä-Pohjanmaa. http://www.isojoki.fi/maatalous/pinta-alamat_2006.pdf
- Tuunanen, L. 1993. Pellolla kasvatetun biomassan polttaminen. Työtehoseuran maataloustiedote. (437) 15/1993.

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULUN JULKAISUSARJA

A. TUTKIMUKSIA

1. Timo Toikko. Sosiaalityön amerikkalainen oppi. Yhdysvaltalaisen caseworkin kehitys ja sen yhteys suomalaiseen tapauskohtaiseen sosiaalityöhön. 2001.
2. Jouni Björkman. Risk Assessment Methods in System Approach to Fire Safety. 2005.
3. Minna Kivipelto. Sosiaalityön kriittinen arviointi. Sosiaalityön kriittisen arvioinnin perustelut, teoriat ja menetelmät. 2006.
4. Jouni Niskanen. Community Governance. 2006. (verkkojulkaisu)
5. Elina Varamäki, Matleena Saarakkala & Erno Tornikoski. Kasvuyrittäjyyden olemus ja pk-yritysten kasvustrategiat Etelä-Pohjanmaalla. 2007.

B. RAPORTTEJA JA SELVITYKSIÄ

1. Seinäjoen ammattikorkeakoulusta soveltavan osaamisen korkeakoulu – tutkimus- ja kehitystoiminnan ohjelma. 1998.
2. Elina Varamäki - Ritva Lintilä - Taru Hautala - Eija Taipalus. Pk-yritysten ja ammattikorkeakoulun yhteinen tulevaisuus: prosessin kuvaus, tuotokset ja toimintaehdotukset. 1998.
3. Elina Varamäki - Tarja Heikkilä - Eija Taipalus. Ammattikorkeakoulusta työelämään: Seinäjoen ammattikorkeakoulusta 1996-1997 valmistuneiden sijoittuminen. 1999.
4. Petri Kahila. Tietoteollisen koulutuksen tilanne- ja tarveselvitys Seinäjoen ammattikorkeakoulussa: väliraportti. 1999.
5. Elina Varamäki. Pk-yritysten tuleva elinkaari - säilyykö Etelä-Pohjanmaa yrittäjämaakuntana? 1999.
6. Seinäjoen ammattikorkeakoulun laatujärjestelmän auditointi 1998–1999. Itsearviointiraportti ja keskeiset tulokset. 2000.
7. Heikki Ylihärsilä. Puurakentaminen rakennusinsinöörien koulutuksessa. 2000.

8. Juha Ruuska. Kulttuuri- ja sisältötuotannon koulutus selvitys. 2000.
9. Seinäjoen ammattikorkeakoulusta soveltavan osaamisen korkeakoulu. Tutkimus- ja kehitystoiminnan ohjelma 2001. 2001.
10. Minna Kivipelto (toim.). Sosionomin asiantuntijuus. Esimerkkejä kriminaalihuolto-, vankila- ja projektityöstä. 2001.
11. Elina Varamäki - Tarja Heikkilä - Eija Taipalus. Ammattikorkeakoulusta työelämään. Seinäjoen ammattikorkeakoulusta 1998–2000 valmistuneiden sijoittuminen. 2002.
12. Varmola T., Kitinoja H. & Peltola A. (ed.) Quality and new challenges of higher education. International Conference 25.-26. September, 2002. Seinäjoki Finland. Proceedings. 2002.
13. Susanna Tauriainen & Arja Ala-Kauppi. Kivennäisaineet kasvavien nautojen ruokinnassa. 2003.
14. Päivi Laitinen & Sanna Väliisaari. Staphylococcus aureus -bakteerien aiheuttaman utaretulehduksen ennaltaehkäisy ja hoito lypsykarjatiljoilla. 2003.
15. Riikka Ahmaniemi & Marjut Setälä. Seinäjoen ammattikorkeakoulu – Alueellinen kehittäjä, toimija ja näkijä. 2003.
16. Hannu Saari & Mika Oijennus. Toiminnanohjaus kehityskohteena pk-yrityksessä. 2004.
17. Leena Niemi. Sosiaalisen tarkastelua. 2004.
18. Marko Järvenpää (toim.) Muutoksen kärjessä. Kalevi Karjanlahti 60 vuotta. 2004.
19. Suvi Torkki (toim.). Kohti käyttäjäkeskeistä muotoilua. Muotoilija-koulutuksen painotuksia SeAMK:ssa. 2005.
20. Timo Toikko (toim.). Sosiaalialan kehittämistyön lähtökohta. 2005.
21. Elina Varamäki & Tarja Heikkilä & Eija Taipalus. Ammattikorkeakoulusta työelämään. Seinäjoen ammattikorkeakoulusta v. 2001–2003 valmistuneiden sijoittuminen opiskelun jälkeen. 2005.
22. Tuija Pitkäkoski, Sari Pajuniemi & Hanne Vuorenmaa (ed.). Food Choices and Healthy Eating. Focusing on Vegetables, Fruits and Berries. International Conference September 2nd – 3rd 2005. Kauhajoki, Finland. Proceedings. 2005.
23. Katariina Perttula. Kokemuksellinen hyvinvointi Seinäjoen kolmella asuinalueella. Raportti pilottihankkeen tuloksista. 2005.
24. Mervi Lehtola. Alueellinen hyvinvointitiedon malli – asiantuntijat puhujina. Hankkeen loppuraportti. 2005.

25. Timo Suutari, Kari Salo & Sami Kurki. Seinäjoen teknologia- ja innovaatiokeskus Frami vuorovaikutusta ja innovatiivisuutta edistävänä ympäristönä. 2005.
26. Päivö Laine. Pk-yritysten verkkosivustot – vuorovaikutteisuus ja kansainvälistyminen. 2006.
27. Erno Tornikoski, Elina Varamäki, Marko Kohtamäki, Erkki Petäjä, Tarja Heikkilä, Kirsti Sorama. Asiantuntijapalveluyritysten yrittäjien näkemys kasvun mahdollisuuksista ja kasvun seurauksista Etelä- ja Keski-Pohjanmaalla –Pro Advisor –hankkeen esiselvitystutkimus. 2006.
28. Elina Varamäki (toim.) Omistajanvaihdosnäkömät ja yritysten jatkuvuuden edistäminen Etelä-Pohjanmaalla. 2007.
29. Beck Thorsten, Bruun-Schmidt Henning, Kitinoja Helli, Sjöberg Lars, Svensson Owe and Vainoras Alfonsas. eHealth as a facilitator of transnational cooperation on health. A report from the Interreg III B project "eHealth for Regions". 2007.
30. Anmari Viljamaa, Elina Varamäki (toim.) Etelä-Pohjanmaan yrittäjyysskatsaus 2007. 2007.
31. Elina Varamäki - Tarja Heikkilä - Eija Taipalus – Marja Lautamaja. Ammattikorkeakoulusta työelämään. Seinäjoen ammattikorkeakoulusta v.2004–2005 valmistuneiden sijoittuminen opiskelujen jälkeen. 2007.
32. Sulevi Riukulehto. Tietoa, tasoa, tekoja. Seinäjoen ammattikorkeakoulun ensimmäiset vuosikymmenet. 2007.
33. Risto Lauhanen & Jussi Laurila. Bioenergian hankintalogistiikka. Tapauksia Etelä-Pohjanmaalta. 2007.
34. Jouni Niskanen (toim.) Virtuaalioppimisen ja –opettamisen benchmarking Seinäjoen ammattikorkeakoulun, Seinäjoen yliopistokeskuksen sekä Kokkolan yliopistokeskuksen Chydeniuksen ja Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulun AVERKOn välillä keväällä 2007. Loppuraportti. 2007.

C. OPPIMATERIAALEJA

1. Ville-Pekka Mäkeläinen. Basics of business to business marketing. 1999.
2. Lea Knuutila. Mihin työhjausta tarvitaan? Oppimateriaalia sosiaali-alan opiskelijoiden työnohjauskurssille. 2001.
3. Mirva Kuni & Petteri Männistö & Markus Välimaa. Leikkauspelot ja niiden hoitaminen. 2002.

D. OPINNÄYTETÖITÄ

1. Hanna Halmesmäki – Merja Halmesmäki. Työvoiman osaamistarvekartoitus Etelä-Pohjanmaan metalli- ja puualan yrityksissä. 1999.
2. Tiina Kankaanpää – Maija Luoma-aho – Heli Sinisalo. Kymmenen metrin kävelytestin suoritusohjeet CD-rom levyllä: aivoverenkierto-häiriöön sairastuneen kävelyn mittaaminen. 2000.
3. Laura Elo. Arvojen rooli yritysmaailmassa. 2001.
4. Nina Anttila. Päälle käyvää – vaatemallisto ikääntyvälle naiselle. 2002.
5. Jaana Jeminen. Matkalla muotoiluyrittäjyyteen. 2002.
6. Päivi Akkanen. Lypsääkö meillä tulevaisuudessa robotti? 2002.
7. Johanna Kivioja. E-learningin alkutaival ja tulevaisuus Suomessa. 2002.
8. Heli Kuntola – Hannele Raukola. Naisen kokemuksia minäkuvan muuttumisesta rinnanpoistoleikkauksen jälkeen. 2003.
9. Jenni Pietarila. Meno-paluu –lauluillan tuottaminen. Produktion tuottajan käsikirja. 2003.
10. Johanna Hautamäki. Asiantuntijapalvelun tuotteistaminen case: 'Avaimet markkinointiin, kehittyvän yrityksen asiakasohjelma -pilotti projekti'. 2003.
11. Sanna-Mari Petäjäistö. Teollinen tuotemuotoiluprosessi – Sohvapöydän ja sen oheistuotteiden suunnittelu. 2004.
12. Susanna Patrikainen. Nuorekkaita asukokonaisuuksia Mode LaRose Oy:lle. Vaatemallien suunnittelu teolliseen mallistoon. 2004.
13. Tanja Rajala. Suonikohjuleikkaukseen tulevan potilaan ja hänen perheensä ohjaus päiväkirurgisessa yksikössä. 2004.
14. Marjo Lapiolahti. Maksuvalmiuslaskelmien toteutuminen sukupolven-vaihdostiloilla. 2004.
15. Marjo Taittonen. Tutkimusmatka syrjäytymisen maailmaan. 2004.
16. Minna Hakala. Maidon koostumus ja laatutekijät. 2004.
17. Anne Uusitalo. Tuomarniemen ympäristöohjelma. 2004.
18. Maarit Hoffrén. Vaihtelua kasviksilla. Kasvisruokalistan kehittäminen opiskelijaravintola Risettiin. 2004.
19. Sami Karppinen. Tuomarniemen hengessä. Arkeista antologiaksi. 2005.

20. Elina Syrjänen – Anne-Mari Uschanoff. Messut – ideasta toimintaan. Messutoteutus osana yrityksen markkinointiviestintää. 2005.
21. Ari Sivula. Metahakemiston ja LDAP-hakemiston asennus, konfigurointi ja ohjelmointi Seinäjoen koulutuskuntayhtymälle. 2006. (verkkójulkaisu)
22. Johanna Väliniemi. Suorat kaaret – kattaustekstiilien suunnittelu yhteistyössä tekstiiliteollisuuden kanssa. 2006. (verkkójulkaisu)



Seinäjoen ammattikorkeakoulu
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Seinäjoen korkeakoulukirjasto
Keskuskatu 34, 60100 Seinäjoki
puh. 020 124 5040, fax 020 124 5041
e-mail seamk.kirjasto@seamk.fi

ISBN 978-952-5336-86-3 (verkkojulkaisu)
ISSN 1797-5573 (verkkojulkaisu)

ISBN 978-952-5336-84-9
ISSN 1456-1743

