

## **Bioenergiaa metsistä**

### **Tutkimus- ja kehittämisohjelman keskeiset tulokset**

Antti Asikainen, Hannu Ilvesniemi ja Timo Muhonen (toim.)

Metlan työraportteja / Working Papers of the Finnish Forest Research Institute -sarjassa julkaistaan tutkimusten ennakkotuloksia ja ennakkotulosten luonteisia selvityksiä. Sarjassa voidaan julkaista myös esitelmiä ja kokouskoosteita yms.

Sarjan julkaisut ovat saatavissa pdf-muodossa sarjan Internet-sivuilta.

<http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/>  
ISSN 1795-150X

**Toimitus**

PL 18  
01301 Vantaa  
puh. 029 532 2111  
faksi 029 532 2103  
sähköposti [julkaisutoimitus@metla.fi](mailto:julkaisutoimitus@metla.fi)

**Julkaisija**

Metsäntutkimuslaitos  
PL 18  
01301 Vantaa  
puh. 029 532 2111  
faksi 029 532 2103  
sähköposti [kirjaamo@metla.fi](mailto:kirjaamo@metla.fi)  
<http://www.metla.fi/>

<b>Tekijät</b> Asikainen, Antti, Ilvesniemi, Hannu ja Muhonen, Timo (toim.)			
<b>Nimeke</b> Bioenergiaa metsistä – Tutkimus- ja kehittämisohjelman keskeiset tulokset			
<b>Vuosi</b> 2013	<b>Sivumäärä</b> 223	<b>ISBN</b> 978-951-40-2468-9 (PDF)	<b>ISSN</b> 1795-150X
<b>Alueyksikkö / Tutkimusohjelma / Hankkeet</b> Itä-Suomi/Bioenergiaa metsistä/3432			
<b>Hyväksynyt</b> Taneli Kolström, tutkimusjohtaja, 14.3.2014			
<b>Tiivistelmä</b> <p>Bioenergiaa metsistä -tutkimus- ja kehittämisohjelmassa (2007–2011) tutkittiin metsäenergian tuotanto- ketjua biomassan kasvatukselta lämpö- ja sähkölaitoksille tehtäviin toimituksiin. Tutkimuksen paino- pisteinä olivat intensiivisen metsäbiomassan käytön vaikutukset metsäluontoon sekä metsä- ja energi- asektoriin. Tutkimusohjelman muita aihealueita olivat metsähakevarojen ja metsähakkeen saatavuuden arviointi, korjuu- ja kuljetusteknologian kehittäminen, energiabiomassan mittaaminen, metsähakkeen tal- teenoton vaikutukset tyvilaho- ja tukkimiehentäituhoihin ja raskasmetallien huuhtoutumiseen, metsä- biomassan jalostaminen nestemäiseksi biopolttoaineeksi sekä metsäenergian tutkimusohjelmien tehokkuuden tutkimukset.</p> <p>Suomessa korjuukelpoisen metsähakkeen (hakkuutähteet, pienpuu ja kannot) vuotuisiksi korjuumää- räksi on arvioitu 12–21 miljoonaa kuutiometriä vuodessa riippuen mm. metsäteollisuuden puunkäy- töstä, energiapuun hakkuutavasta ja siitä, missä määrin myös kuitupuumittaista pienpuuta ohjataan energiantuotantoon. Metsähakkeen käyttö Suomessa nousi 8,3 miljoonaan kuutiometriin vuonna 2012. Rannikon läheisyydessä ja lähellä sisämaan suuria käyttökeskittymiä hakkuutähdihakkeen käyttöä ei nykyisillä hakkuumäärillä voida juuri nostaa. Itä-Suomessa käyttämättömä potentiaalia on sitä vastoin enemmän. Nuorten metsien harvennuspuusta on tullut tärkein metsäenergiälähde ja sen käyttöä voidaan edelleen lisätä.</p> <p>Kokopuukorjuu on vähentänyt puuston kasvua pohjoismaisissa kokeissa, joissa kaikki latvusmassa on poistettu. Käytännön korjuukohteilla kasvuvaikeuksien arvioidaan jäävän vähäisiksi, koska merkittävä osa latvusmassasta jää maastoon. Kantojen noston vaikutukset pohjaveden laatuun ja kiintoaineshuu- tumiin osoittautuivat oletettua vähäisemmiksi rinnastuen perinteisen päätehakuun ja sen yhteydes- sä tehtävän maanmuokkauksen vaikutuksiin. Kantojen nosto näyttää hidastavan maannousemasiemen siirtymistä seuraavaan puusukupolveen, mutta se ei takaa maannousemasiemen poistumista saastuneilta kasvupaikoilta. Kantojen varastoinnin ei havaittu lisäävän tukkimiehentäituhorisiksi uudistusaloilla, jot- ka sijaitsevat kantovarastojen läheisyydessä.</p> <p>Metsäbiomassan intensiivinen talteenotto vaikuttaa maaperän pieneliöiden runsaussuhteisiin, mutta minkään lajin tai lajiryhmän ei ole todettu tyystin kadonneen. Mikäli hakkuutähteet poistetaan, runsas- tuvat vähemmän ravinteita tarvitsevat kenttäkerroksen lajit. Monimuotoisuuden kannalta järeän laho- puun jättämisen merkitys hakkuualoilla korostuu.</p> <p>Metsähakkeen kilpailukyky polttoainemarkkinoilla on edelleen ongelma käyttömäärien kasvattamisen näkökulmasta. Hakkuutähdihakkeen kilpailukyky on jo kohtalainen ja kantomurskekin kykenee kilpai- lemaan sisämaan polttoainemarkkinoilla. Erityisesti kivihiilen korvaaminen metsähakkeella ei ole mah- dollista ilman voimakkaita tukitoimia. Bioetanolin valmistus puupohjaisista raaka-aineista on mahdol- lista, mutta erilaisten jalostusketjujen tekninen toteutus ja taloudellisuuden arviointi edellyttävät vielä merkittävää tutkimuspanosta.</p>			
<b>Asiasanat</b> bioenergia, biojalosteet, hankintaketjut, kasvatus, liiketoiminta, metsäenergiavarat, tuotanto, ympäristö- vaikutukset			
<b>Julkaisun verkko-osoite</b> <a href="http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2014/mwp289.htm">http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2014/mwp289.htm</a>			
<b>Tämä julkaisu korvaa julkaisun</b>			
<b>Tämä julkaisu on korvattu julkaisulla.</b>			
<b>Yhteydenotot</b> Antti Asikainen, Metsäntutkimuslaitos, PL 68, 80101 Joensuu. Sähköposti: <a href="mailto:antti.asikainen@metla.fi">antti.asikainen@metla.fi</a>			
<b>Muita tietoja</b> Taitto: Sari Elomaa/Metla			

## Sisällys – Contents

<b>1 Bioenergiaa metsistä kestävästi ja kilpailukykyisesti .....</b>	<b>10</b>
<i>Antti Asikainen, Hannu Ilvesniemi ja Jari Hynynen</i>	
1.1 Johdanto .....	10
1.2 Puubiomassan riittävyys energiantuotantoon .....	10
1.3 Ravinnekysymykset ja metsän tuleva kehitys .....	11
1.4 Vaikutukset pohjaveden laatuun ja metsätuhoihin .....	11
1.5 Monimuotoisuudessa plussaa ja miinusta .....	12
1.6 Metsäenergian hankinnan haasteena ovat taloudellinen kestävyys ja polttoaineen laadunhallinta .....	12
1.7 Metsäenergia ja ilmastonmuutos .....	12
<b>Metsäenergiavarat</b>	
<b>2 Metsähakevarat ja metsähakkeen käyttö .....</b>	<b>13</b>
<i>Perttu Anttila, Mikko Nivala, Juha Laitila ja Kari T. Korhonen</i>	
2.1 Johdanto .....	14
2.1.1 Metsähakkeen käyttötavoitteet ja nykykäyttö .....	14
2.1.2 Metsähakkeen korjuupotentiaalin arviointi .....	14
2.1.2 Tutkimuksen tavoitteet .....	14
2.2 Aineisto ja menetelmät .....	15
2.2.1 Metsähakepotentiaalit .....	15
2.2.2 Metsähakkeen käyttö .....	16
2.3 Tulokset .....	16
2.3.1 Metsähakepotentiaali .....	16
2.3.2 Metsähaketase .....	17
2.4 Tulosten tarkastelu .....	19
2.5 Johtopäätökset .....	20
Kirjallisuus .....	20
<b>3 Estimating the potential of forest chips for energy in Central Finland based on biomass maps and spatially explicit constraints .....</b>	<b>21</b>
<i>Perttu Anttila, Aleksi Lehtonen, Paula Puolakka and Jukka Mustonen</i>	
3.1 Introduction .....	22
3.2 Material and Methods .....	22
3.3 Results .....	24
3.4 Discussion .....	24
3.4.1 Data gaps and methodological challenges .....	24
3.4.2 Current status of biomass utilisation in Finland .....	25
3.4.3 Implementation issues in Finland .....	25
3.5 Conclusion and recommendation .....	25
References .....	26
<b>4 The realistic potential for forest biomass supply in the European Union .....</b>	<b>27</b>
<i>Perttu Anttila and Antti Asikainen</i>	
4.1 Introduction .....	28
4.2 Material and Methods .....	28
4.3 Results .....	29
4.4 Discussion .....	31
References .....	32

## 5 Global forest energy resources, certification of supply and markets for energy technology (GLOENER)..... 33

*Timo Karjalainen, Perttu Anttila, Antti Asikainen, Yuri Gerasimov, Juha Laitila, Arvo Leinonen, Eija Alakangas, Martti Flyktman, Veli-Pekka Heiskanen, Jyrki Raitila, Matti Virkkunen, Camilla Wiik, Lassi Linnanen, Jussi Heinimö, Tuomas Helin, Anne Hämäläinen, Marjukka Kujanpää, Mirja Mikkilä, Virgilio Panapanaan, Tapio Ranta ja Risto Soukka*

## Tuotanto ja kasvatust

## 6 Kasvatustmetsien integroidun aines- ja energiapuun korjuu ja puuntuotannolliset vaikutukset ..... 34

*Juha Nurmi, Paula Jylhä, Otto Läspä, Tommi Räisänen ja Antti Wall*

6.1 Johdanto .....	34
6.2 Aineistot ja menetelmät.....	35
6.3 Tulokset.....	35
6.3.1 Karsinnan ja katkonnän vaikutuksista energiapuukertymään nuorten kasvatustmetsien hakkuissa.....	35
6.3.2 Joukkokäsittely ja metsäköljetuksen tuottavuus .....	38
6.3.3 Geometriset harvennustavat ensiharvennuksessa.....	39
6.3.4 Karsimaton puu sellutehtaan raaka-aineena.....	40
6.3.5 Energiapuun korjuu kuusen väliharvennukselta.....	41
Kirjallisuus .....	45

## 7 Hieskoivu, haapa ja leppä energiapuuna: kasvatust, korjuu ja ominaisuudet 47

*Jyrki Hytönen, Lasse Aro, Egbert Beuker, Pentti Niemistö, Juha Nurmi ja Anna Saarsalmi*

7.1 Johdanto .....	48
7.2 Aineistot ja menetelmät.....	48
7.2.1 Hieskoivun kasvatustmenetelmien kehittäminen ja kasvatuksen talous .....	48
7.2.2 Koivun kasvatust suonpohjilla .....	49
7.2.3 Haavan, lepän ja pajujen kasvatust energiaksi .....	49
7.2.4 Nopeakasvuisen puun korjuu ja laadun parannus .....	50
7.3 Tulokset.....	51
7.3.1 Hieskoivun kasvatustmenetelmien kehittäminen ja kasvatuksen talous .....	51
7.3.2 Koivun kasvatust suonpohjilla .....	54
7.3.3 Haavan, lepän ja pajujen kasvatust energiaksi .....	56
7.3.4 Nopeakasvuisen puun korjuu ja laadunparannus .....	58
7.4 Tulosten tarkastelu .....	60
Kirjallisuus .....	62

## 8 Suosammalten viljelyn biologiasta ja ekologiasta turvemilla ..... 64

*Ilari Lumme, Niko Silvan ja Timo Penttilä*

8.1 Johdanto .....	66
8.2 Aineistot ja menetelmät.....	67
8.3 Tulokset.....	68
8.3.1 Suosammallajien valinta .....	68
8.3.2 Turpeen vesipitoisuuden vaikutus rahkasammalten kasvuunlähtöön ja biomassan tuottoon.....	69
8.3.3 Turvemajaan ravinnetilan vaikutus rahkasammalten kasvuun lähtöön ja biomassan tuottoon.....	69
8.3.4 Rahkasammalkloonien biomassan tuotos ja ilman lämpötilan ja ilman hiilidioksidipitoisuuden vaikutus rahkasammalkloonien kasvuun.....	72
8.4 Tulosten tarkastelu.....	72
Kirjallisuus .....	74

## Vaikutukset metsäluontoon ja metsien hoitoon

<b>9 Energiapuun korjuun vaikutus metsämaan ominaisuuksiin ja prosesseihin sekä puuston kasvuun</b> .....	75
<i>Pekka Tamminen, Anna Saarsalmi, Aino Smolander, Antti-Jussi Lindroos ja Mikko Kukkola</i>	
9.1 Johdanto .....	76
9.2 Aineisto ja menetelmät .....	77
9.3 Tulokset ja tulosten tarkastelu .....	78
9.3.1 Hakkuutähteen korjuun vaikutus maaperään .....	78
9.3.2 Puuston kasvu harvennusemetsissä hakkuutähteen korjuun jälkeen .....	80
9.3.3 Taimikoiden kasvu hakkuutähteen korjuun jälkeen .....	81
9.3.4 Kasvupaikalta poistuvien ravinteiden korvaaminen puutuhkalla ja typpilannoituksella .....	82
Kirjallisuus .....	83
<b>10 Kantojen noston ja hakkuutähteen keruun valuma-alueitasoiset vaikutukset – koekenttien perustaminen ja alustavia tuloksia</b> .....	85
<i>Eero Kubin, Tanja Murto, Ari Kokko, Reijo Seppänen ja Jiri Kremsa</i>	
10.1 Johdanto .....	86
10.2 Aineisto ja menetelmät .....	86
10.2.1 Tutkimusalueiden tausta .....	86
10.2.2 Aineiston keruu .....	88
10.2.3 Mallintaminen .....	89
10.3 Tulokset .....	90
10.3.1 Puusto .....	90
10.3.2 Kannot ja hakkuutähteen .....	90
10.3.3 Veden laatu .....	91
10.3.4 Valuman määrän vaihtelu .....	94
10.4 Tulosten tarkastelu .....	95
Kirjallisuus .....	96
<b>11 Energiapuunkorjuun vaikutus ravinne- ja raskasmetallihuuhtoutumiin ja ravinteiden riittävyyteen suometsissä</b> .....	97
<i>Liisa Ukonmaanaho, Mika Nieminen, Jyrki Hytönen, Tiina M. Nieminen, Mikko Moilanen, Marjatta Kantola, Oili Kiikkilä, Ari Lauren, Päivi Merilä, Timo Penttilä, Juha Piispanen, Mike Starr, Annu Kaila, Heidi Pyhtilä ja Paavo Perämäki.</i>	
11.1 Johdanto .....	98
11.2 Aineisto ja menetelmät .....	100
11.2.1 Ravinteiden riittävyysskoheet - ensiharvennushakkuut .....	100
11.2.2 Ravinteiden ja raskasmetallien huuhtoutumiskokeet - pätehakkuut .....	101
11.3 Tulokset .....	103
11.3.1 Ravinteiden riittävyysskoheet - ensiharvennushakkuut .....	103
11.3.2 Ravinteiden ja raskasmetallien huuhtoutumiskokeet – pätehakkuut .....	104
11.4 Tulosten tarkastelu .....	107
Kirjallisuus .....	109
<b>12 Kantojen korjuu ja tyvilahon torjunta</b> .....	112
<i>Tuula Piri</i>	
12.1 Johdanto .....	113
12.2 Aineisto ja menetelmät .....	114
12.2.1 Tartutuskokeiden perustaminen .....	114
12.2.2 Kokeiden purku .....	114
12.2.3 Pariutustestit .....	114
12.2.4 Varastokasojen inventointi .....	115

12.3 Tulokset.....	115
12.3.1 Tartutuskokeet.....	115
12.3.2 Itiöemien esiintyminen varastokasoissa.....	116
12.4 Tulosten tarkastelu.....	117
Kiitokset.....	119
Kirjallisuus.....	119
<b>13 Kannonnoston vaikutus tukkikärsäkkäiden esiintymiseen ja ravintokäyttämiseen .....</b>	<b>121</b>
<i>Heli Viiri, Esa Laine ja Saira Mahilainen</i>	
13.1 Johdanto .....	122
13.2 Aineisto ja menetelmät.....	123
13.2.1 Koealat .....	123
13.2.2 Juuri- ja kantonäytteet.....	123
13.2.3 Tukkikärsäkkäiden kuoppapyynti .....	124
13.3 Tulokset.....	125
13.3.1 Juurinäytteet.....	125
13.3.2 Kuoppapyynti.....	125
13.4 Tulosten tarkastelu.....	126
Kiitokset.....	127
Kirjallisuus.....	127
<b>14 Kannonnostoalojen lehtipuun määrä ja sen vaihtelu .....</b>	<b>129</b>
<i>Timo Saksa</i>	
14.1 Johdanto .....	130
14.2 Aineisto ja menetelmät.....	130
14.2.1 Aineiston yleiskuvaus .....	130
14.2.2 Inventointimenetelmä ja aineiston analysointi.....	131
14.3 Tulokset.....	132
14.3.1 Uudistamistulos.....	132
14.3.2 Lehtipuiden taimettuminen .....	133
14.4 Tulosten tarkastelu.....	133
Kirjallisuus .....	134
<b>15 Taimikonhoito ja harvennusbiomassan tuottaminen kuusen taimikossa .....</b>	<b>135</b>
<i>Pentti Niemistö</i>	
15.1 Johdanto .....	136
15.2 Aineisto ja menetelmät.....	136
15.3 Tulokset.....	137
15.3.1 Taimikon tiheys perkauksessa.....	137
15.3.2 Perkaustavan vaikutus taimikon kehitykseen.....	137
15.3.3 Kuusten pituuskasvu .....	139
15.3.4 Perkauksen jälkeen syntynyt puusto .....	140
15.4 Tulosten tarkastelu.....	140
Kirjallisuus .....	141
<b>16 Hakkuutähteen korjuun vaikutuksista 10-vuotiaissa kuusen taimikoissa .....</b>	<b>142</b>
<i>Timo Saksa</i>	
16.1 Johdanto .....	143
16.2 Aineisto ja menetelmät.....	143
16.3 Tulokset.....	144
16.3.1 Istutustaimien menestyminen.....	144
16.3.2 Istutustaimien keskipituus ja keskiläpimitta .....	144
16.4 Tulosten tarkastelu.....	145
Kirjallisuus .....	146

## Metsäenergian hankinnan teknologia, liiketoiminta, markkinat ja mittaus

<b>17 Metsähakkeen toimitusketjujen pullonkaulat</b> .....	147
<i>Juha Laitila, Arvo Leinonen, Martti Flyktman, Matti Virkkunen ja Antti Asikainen</i>	
17.1 Johdanto .....	148
17.2 Tulokset .....	148
17.2.1 Metsähakkeen käyttö ja käyttökohteet vuonna 2020 .....	148
17.2.2 Metsähakkeen kustannusrakenne .....	149
17.2.3 Metsähakkeen hankinta- ja toimituslogistiikan kehittämistarpeet 2010-luvulla .....	151
17.2.4 Kehittämistyön toteutus .....	152
Kirjallisuus .....	152
<b>18 Puunhankinnan palveluliiketoiminnan kannattavuuden kehittäminen</b> .....	153
<i>Arto Rummukainen, Markku Penttinen, Jarmo Mikkola, Simo Tikakoski ja Bo Dahlin</i>	
18.1 Johdanto .....	154
18.2 Aineisto ja menetelmät .....	154
18.2.1 Millaisia koneyrittäjiä .....	154
18.2.2 Koneiden ja verotuksen kautta yrittäjiin .....	154
18.2.3 Tilastokeskuksesta tilinpäätöstietoja .....	154
18.3 Tulokset .....	155
18.3.1 Yrityskenttä .....	155
18.3.2 Taloudellinen tilanne tilinpäätösanalyysin valossa .....	156
18.3.3 Palveluvalikoiman laajentaminen .....	159
18.3.4 Yrittäjien vahvuudet ja heikkoudet .....	160
18.4 Tulosten tarkastelu .....	160
18.4.1 Talous, talous, talous .....	160
18.4.2 Tilanne elää koko ajan .....	161
18.4.3 Jatkotutkimusehdotuksia .....	161
Kirjallisuus .....	162
<b>19 Energiapuumarkkinoiden hintatilastoinnin kehittäminen</b> .....	164
<i>Perttu Anttila, Antti Mutanen ja Piia Kurki</i>	
19.1 Johdanto .....	165
19.2 Aineisto ja menetelmät .....	165
19.3 Tulokset ja tulosten tarkastelu .....	166
<b>20 Metsäbiomassan määrän ja laadun mittaus</b> .....	170
<i>Jari Lindblad, Miina Jahkonen, Juha Laitila, Harri Kilpeläinen, Seija Sirkiä ja Jaakko Repola</i>	
20.1 Johdanto .....	171
20.2 Energiapuun mittauksen järjestäminen .....	172
20.3 Energiapuun mittauksen ohjeistaminen .....	172
20.4 Energiapuun kuormainvaakamittauksessa käytettävät tuoretiheysluvut .....	173
20.5 Energiapuun tienvarsivarastojen kosteuden ennustaminen .....	176
20.6 Metsähakkeen tiiviys .....	177
20.7 Latvusmassan ja kantopuun määrän arviointi hakkuukonemittauksessa .....	178
Kirjallisuus .....	179
<b>21 PELLETTime – Solutions for competitive pellet production in medium size enterprises</b> .....	180
<i>Robert Prinz &amp; Dominik Röser</i>	
21.1 Introduction .....	180
21.2 Material and Methods .....	181
21.3 Results .....	183
21.4 Conclusions .....	192
References .....	192

<b>22 Development and Harmonization of New Operational Research and Assessment Procedures for Sustainable Forest Biomass Supply - COST Action FP0902</b> .....	194
<i>Dominik Röser ja Robert Prinz</i>	
22.1 Introduction .....	195
22.2 Objectives .....	196
22.3 Benefits of the COST Action.....	198
22.4 Results to date .....	199
22.4.1 Networking.....	199
22.4.2 The Action on the web .....	200
22.4.3 Meetings.....	200
Selected Publications.....	201

## Biojalosteet

<b>23 Bioetanolin ja erikoissokereiden valmistus metsistä ja soilta saatavista uusiutuvista raaka-aineista</b> .....	203
<i>Hannu Ilvesniemi, Olli Byman, Sanna Hautala, Matias Häyrynen, Petri Kilpeläinen, Veikko Kitunen, Kaisu Leppänen, Peter Spetz, Johanna Tanner, Tarja Tapanila ja Teemu Tikkanen</i>	
23.1 Johdanto .....	205
23.2 Menetelmät.....	206
23.2.1 Paineistettu kuumavesiuutto.....	206
23.2.2 Emäsuutto.....	208
23.2.3 Uutteen ja uuttojäännöksen jatkokäsittely.....	209
23.2.4 Analyysimenetelmät.....	209
23.2.5 Alustava laitossuunnittelu .....	210
23.3 Tulokset .....	210
23.3.1 Raaka-aineen koostumus.....	210
23.3.2 Paineistettu kuumavesiuutto.....	210
23.3.3 Emäsuutto.....	217
23.3.4 Uutteen ja uuttojäännöksen jatkokäsittely.....	218
23.4 Bioenergiaa tuottavien jalostamojen toteutusmahdollisuudet .....	220
23.4.1 Tuotteiden markkinatilanne ja kehitysnäkymät .....	220
23.4.2 Toimintaympäristö .....	220
23.5 Johtopäätökset ja pohdintaa.....	221
Kirjallisuus .....	222

Metlan työraportteja 289: 10–12

# 1 Bioenergiaa metsistä kestävästi ja kilpailukykyisesti

Antti Asikainen, Hannu Ilvesniemi ja Jari Hynynen

## 1.1 Johdanto

Bioenergiaa metsistä -tutkimus- ja kehittämisohjelmassa (2007–2011) tutkittiin koko metsäenergian tuotantoketjua biomassan kasvatuksesta lämpö- ja sähkölaitoksille tehtäviin toimituksiin. Tutkimuksen painopisteenä olivat intensiivisen metsäbiomassan käytön vaikutukset metsäluontoon sekä metsä- ja energiasektoriin. Tutkimusohjelman muita aihealueita olivat metsähakevarojen ja metsähakkeen saatavuuden arviointi, korjuu- ja kuljetusteknologian kehittäminen, energiabiomassan mittaaminen, metsähakkeen talteenoton vaikutukset tyvilaho- ja tukkimiehentäituhoihin ja raskasmetallien huuhtoutumiseen, metsäbiomassan jalostaminen nestemäiseksi biopolttoaineeksi sekä metsäenergian tutkimus- ja kehittämisohjelman tehokkuuden tutkimukset.

Tähän projektikirjaan on koottu ohjelman hankkeiden keskeiset tulokset. Projektikirjan kohde-ryhmäksi on valittu suomalaisen metsä- ja energiasektorin tutkijat, asiantuntijat ja ammattilaiset metsänomistajista puunhankintayrityksiin ja biomassaa käyttävään teollisuuteen. Julkaisun kohde-ryhmänä ovat myös uusiutuvan energian kanssa työskentelevät poliittiset päätöksentekijät niin alueellisesti kuin valtakunnallisesti. Projektikirjaa voidaan käyttää myös metsä- ja ympäristöalan oppilaitosten oppimateriaalina.

## 1.2 Puubiomassan riittävyys energiantuotantoon

Globaalissa mittakaavassa biomassoilla ja jätteillä tuotetaan noin 10 prosenttia primäärienergiasta. Tämä osuus on pysynyt vakiona 1970-luvulta lähtien, mutta absoluuttinen määrä on kaksinkertaistunut.

Suomessa korjuukelpoisen metsähakkeen (hakkuutähteet, pienpuu ja kannot) vuotuiseksi korjuumääräksi on arvioitu 12-21 miljoonaa kuutiometriä vuodessa riippuen mm. metsäteollisuuden puunkäytöstä, energiapuun hakkuutavasta ja siitä, missä määrin myös kuitupuumittaista pienpuuta ohjataan energiantuotantoon. Mikäli kotimaan ainespuuhakkuut ovat vuosituhannen alun keskitasoa ja energiapuuta korjataan kokopuuna, on vuotuinen metsähakepotentiaali noin 16 miljoonaa kuutiometriä. Jos taas ainespuuhakkuut olisivat lähellä metsien kestävä käytön maksimia, pienpuuta korjattaisiin integroidusti ainespuuharvennuksilta ja vajaa kaksi miljoonaa kuutiometriä ainespuuta ohjattaisiin energiaksi, nousee metsähakepotentiaali noin 21 miljoonaan kuutiometriin.

Metsähakkeen käyttö Suomessa nousi 8,3 miljoonaan kuutiometriin vuonna 2012. Hakkuutähdettä korjattiin noin 30 prosentilla ja kantoja noin 10 prosentilla avohakkuualoista. Rannikon läheisyydessä ja lähellä sisämaan suuria käyttökeskittymiä hakkuutähdehakkeen käyttöä ei nykyisillä hakkuumäärillä voida juuri nostaa. Itä-Suomessa käyttämätöntä potentiaalia on sitä vastoin enemmän. Nuorten metsien harvennuspuusta on tullut tärkein metsäenergiajake ja myös kantojen korjuu on noussut yli miljoonaan kuutiometriin vuodessa. Siten metsäenergian hankinta koskettaa jo varsin suurta metsäpinta-alaa ja vaikuttaa läpäisevästi metsänkasvatukseen ja puunkorjuun käytäntöihin.

### 1.3 Ravinnekeysmykset ja metsän tuleva kehitys

Ensiharvennuksen yhteydessä tehtävä kokopuukorjuu on vähentänyt puuston kasvua pohjoismaisissa kenttäkokeissa, joissa kaikki latvusmassa on poistettu koealalta. Suuremman neulasmassan takia vaikutukset ovat olleet suurempia kuusikoissa kuin männiköissä. Käytännön korjuukohteilla kasvuvaikutusten on havaittu jäävän vähäisemmiksi, koska noin kolmanneksen latvusmassasta on havaittu jäävän maastoon neulasten varisemisen ja oksien katkeilun vuoksi. Kuusikon varhaisissa harvennuksissa kokopuukorjuuta ei juuri tehdä. Myös päätehakkuualoilla tehdyissä inventoinneissa yli 30 prosenttia latvusmassasta jäi hakkuualueelle. Tästä määrästä merkittävä osa oli neulasia ja pieniä oksia. Kuivattamalla hakkuutähdekasvoja avohakkuualueella kesän yli niin, että valtaosa neulasista varisee hakkuualalle, ravinteiden pois kuljetusta voidaan vähentää merkittävästi. Tämä parantaa myös hakkeen varastoitavuutta ja laatua energialaitoksen näkökulmasta. Kun hakkeen laadun ja paremman kuljetustiheyden vuoksi ollaan siirtymässä karsitun energiarangan hankintaan, voidaan oikein valituilla toimenpiteketojuilla ehkäistä merkittävä osa ravinnehävikistä ja sen aiheuttamista haitallisista kasvuvaikutuksista.

### 1.4 Vaikutukset pohjaveden laatuun ja metsätuhoihin

Tutkimusohjelmassa perustettiin Etelä-, Keski- ja Pohjois-Suomeen laajamittaiset kenttäkokeet, jossa hakkuutähteen ja kantojen poiston vaikutuksia seurattiin useiden vuosien ajan. Kantojen noston vaikutukset pohjaveden laatuun ja kiintoaineshuuhtoumiin osoittautuivat oletettua vähäisemmiksi rinnastuen perinteisen päätehakkuun ja sen yhteydessä tehtävän maanmuokkauksen vaikutuksiin.

Ensimmäisten vuosien seurannassa havaittiin, että täydellinenkin kantojen ja hakkuutähteen poisto ei näytä vaikuttavan maaperän happamuuteen tai maaveden ravinnemääriin, kun verrokina on normaali ainespuuhakkuu ja maanmuokkaus. Kiintoaineksen huuhtoutuminen on pelättyä vähäisempää, sillä moreenimaat eivät ole eroosioherkkiä ja toisaalta pintakasvillisuus palautui hakkuualalle muutamassa vuodessa. Seurantoja on kuitenkin jatkettava vielä useita vuosia, sillä aiemmista koejärjestelyistä tiedetään, että monet vaikutukset tulevat esiin vasta vuosien viiveellä.

Kantojen nosto näyttää hidastavan maannousemasiemen siirtymistä seuraavaan puusukupolveen, mutta sienen saastuttamassa maaperässä säilyy juurenkappaleita, joissa on elinkykyistä sienirihmastoja vielä useita vuosia kantojen noston jälkeenkin. Siten kantojen nostaminenkaan ei takaa maannousemasiemen poistumista saastuneilta kasvupaikoilta, varsinkin kun käytännön työmailla yli sata kantoa jää tai jätetään nostamatta. Kantojen varastoinnin ei havaittu lisäävän tukkimiehentäituhoriskiä uudistusaloilla, jotka sijaitsevat kantovarastojen läheisyydessä. Tukkimiehentäituhojen estämiseksi olennaista on tehdä maanmuokkaus huolella riippumatta siitä, nostetaanko kannot uudistusosalta tai ei.

## 1.5 Monimuotoisuudessa plussaa ja miinusta

Metsäbiomassan intensiivinen talteenotto vaikuttaa maaperän pieneliöiden runsaussuhteisiin, mutta minkään lajin tai lajiryhmän ei ole todettu tyystin kadonneen. Mikäli hakkuutähteet poistetaan, runsastuvat vähemmän ravinteita tarvitsevat kenttäkerroksen lajit, kun runsaasti ravinteita vaativat horsma ja vadelma eivät valtaa hakkuualueetta. Maisema- ja aluetasolla pääosa metsistä jää edelleenkin metsäenergian korjuun ulkopuolelle. Tämä pienentää monimuotoisuuden vähenemisen riskiä. Järeän lahoppuun jättämisen merkitys hakkuualoilla korostuu. Lahoppuuta ei saisi myöskään murskata ajamalla niiden yli työkoneilla metsäenergian korjuukohteilla, joilla ajokertoja tulee useammin kuin pelkän ainespuuhakkuun yhteydessä.

## 1.6 Metsäenergian hankinnan haasteena ovat taloudellinen kestävyys ja polttoaineen laadunhallinta

Metsähakkeen hankinnan teknologisten ratkaisujen tutkimuksessa keskityttiin erityisesti pienpuun ja kantojen korjuu- ja kuljetusteknologian tutkimukseen. Pienpuun hankinnassa korjuun kohdentaminen hieman nykyistä järeämpiin puustoihin ja yhdistäminen ainespuun hankintaan alentaa voimakkaasti hakkuuvaiheen kustannuksia. Koska metsähaketta toimittavat korjuuyrittäjät toimivat usein myös ainespuun korjuussa, ovat sekä aines- että energiapuun käsittelyn mahdollistavat kouraratkaisut yleistyneet.

Kantojen korjuussa kaivukonealustaiset nostokoneet ovat osoittautuneet kestävimiksi ja myös kilpailukykyisimmiksi. Jatkossa kannoissa olevien epäpuhtauksien poistaminen nosto-, varastointi- ja murskausvaiheessa on edellytys kantomurskeen käyttäjäkunnan kasvulle erityisesti pienissä lämpölaitoskokoluokissa.

Metsähakkeen kilpailukyky polttoainemarkkinoilla on edelleen ongelma käyttömäärien kasvattamisen näkökulmasta. Hakkuutähdehakkeen kilpailukyky on jo kohtalainen ja kantomurskekin kykenee kilpailemaan sisämaan polttoainemarkkinoilla. Pienpuun hankintakustannukset ylittävät edelleen merkittävästi hakkeesta maksettavan keskihinnan. Siten pienpuun käytön kasvattaminen edellyttää tukitoimia joko suoran korjuu- tai haketustuen kautta tai energiaverokannustimin. Erityisesti kivihiilen korvaaminen metsähakkeella ei ole mahdollista ilman voimakkaita tukia tai verokannustimia. Viime vuosien turpeen heikko saatavuus on toisaalta nostanut metsähakkeen kysyntää erityisesti pienissä energialaitoksissa. Suuremmissa laitoksissa sitä vastoin turve on korvattu kivihiilellä.

Bioetanolin valmistus puupohjaisista raaka-aineista on mahdollista, mutta erilaisten jalostusketjujen tekninen toteutus ja taloudellisuuden arviointi edellyttävät vielä merkittävää tutkimuspanosta.

## 1.7 Metsäenergia ja ilmastonmuutos

Metsien energiakäytön, hiilen kierron ja hiilivarojen välistä suhdetta on tarkasteltu Bioenergiaa metsistä- ja Metsäekosysteemien toiminta ja metsien käyttö muuttuvassa ilmastossa –tutkimusohjelmien yhteisessä synteesiraportissa ”Bioenergia, ilmastonmuutos ja Suomen metsät”. Raportissa esitettyjen skenaariolaskelmien mukaan Suomen metsät pysyvät suurena nettohiilensitोजना myös metsäenergian käytön kasvaessa.

## Metsäenergiavarat

Metlan työraportteja 289: 13–20

## 2 Metsähakevarat ja metsähakkeen käyttö

Perttu Anttila, Mikko Nivala, Juha Laitila ja Kari T. Korhonen

### Tiivistelmä

Tässä tutkimuksessa arvioitiin metsähakkeen käytön lisäämismahdollisuuksia eri osissa Suomea. Koko maan tasolla pienpuupotentiaali rankana oli 6,2, kokopuuna 8,3 ja korjattuna ainespuun kanssa integroidusti 6,6–10,4 milj. m<sup>3</sup> vuodessa. Latvusmassan potentiaali olisi vain 4,0 milj. m<sup>3</sup>, jos hakkuut olisivat vuoden 2009 tasolla. Jos taas hakkuut olisivat vuosien 2002–2011 keskimääräisellä tasolla, olisi potentiaali 5,7 milj. m<sup>3</sup>. Vuoden 2007 hakkuutasolla potentiaali olisi 6,6 milj. m<sup>3</sup>. Näitä hakkuutasoja vastaavat kuusen kantopotentiaalit olivat 1,5, 2,2 ja 2,5 milj. m<sup>3</sup>. Taselaskelmien perusteella metsähakkeen käytön suurin kasvumahdollisuus on pienpuussa. Etenkin integroitu korjuu tarjoaa kohtuullisen suuren energiapuupotentiaalin, minkä lisäksi leimikon puustosta voidaan korjata järeämpi osa ainespuukäyttöön ja jättää ainespuuksi kelpaamaton tai huonompilaatuinen puu energiakasaan. Tämän tutkimuksen mukaan latvusmassapotentiaali on länsirannikolla, ja kantopotentiaali myös Pohjois-Suomessa, jo täyskäytössä.

### Abstract

The potential to increase the use of forest chips for energy was evaluated in different parts of Finland. The potential harvest volume of small trees for energy was 6.2 mill. m<sup>3</sup> (harvested as delimbed stems), 8.3 mill. m<sup>3</sup> (harvested as whole trees) and 6.6–10.4 mill. m<sup>3</sup> (integrated harvesting with pulp wood). The potential of logging residues for energy was 4.0 mill. m<sup>3</sup>, when harvesting of industrial roundwood was at year 2009 level. The average volume, based on industrial roundwood harvest in 2002–2011, was 5.7 mill. m<sup>3</sup>. The highest potential was 6.6 mill. m<sup>3</sup> corresponding to industrial roundwood harvest in 2007. Corresponding spruce stump wood potentials were 1.5, 2.2 and 2.5 mill. m<sup>3</sup> accordingly. Based on the balance calculations (potential-current use) the largest potential to increase forest chip harvest is in small trees. In particular, the integrated energy wood harvest offers relatively large energy wood potential and part of wood from these logging sites can be directed to industrial use. In coastal regions in western Finland practically all available logging residues are used for energy. In northern Finland stump wood potential is already in full use.

Laajempi tutkimusjulkaisu on ladattavissa osoitteessa:  
<http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2013/mwp267.htm>

## 2.1 Johdanto

### 2.1.1 Metsähakkeen käyttötavoitteet ja nykykäyttö

Suomen kansallisen toimintasuunnitelman mukaan metsähakkeen käyttö yhdistetyssä sähkön- ja lämmöntuotannossa sekä erillisessä lämmöntuotannossa on 13,5 milj. m<sup>3</sup> (28 TWh) vuoteen 2020 mennessä (Työ- ja elinkeinoministeriö 2010). Tavoitteena on myös kasvattaa metsähakkeen käyttöä liikenteen biopolttoaineiden tuotannossa merkittävästi, kun liikennebiopolttoaineiden kokonais-tuotantotavoite on 7 TWh vuonna 2020 (Työ- ja elinkeinoministeriö 2010).

Metsähaketta ja muita puupolttoaineita polttoaineenaan käyttävien laitosten määrä on noussut kymmenessä vuodessa lähes tuhanteen vuosituhannen alun 250 laitoksesta (Asikainen ja Anttila 2009). Lisäksi uusia puuta käyttäviä laitoksia on suunnitteilla tai rakenteilla. Vuonna 2012 lämpö- ja voimalaitoksissa käytettiin kiinteitä puupolttoaineita kaikkiaan 17,8 miljoonaa kiintokuutiometriä (Ylitalo 2013). Merkittävin puupolttoaine oli metsähake, jota kului 7,6 miljoonaa kiintokuutiometriä, ja se koostui pienpuusta (3,6 milj. m<sup>3</sup>), latvusmassasta (2,6 milj. m<sup>3</sup>), kannoista (1,1 milj. m<sup>3</sup>) ja järeästä runkopuusta (0,4 milj. m<sup>3</sup>). Lisäksi metsähaketta käytettiin pientaloissa 0,7 milj. m<sup>3</sup>. Käyttötilastoissa pienpuu tarkoittaa rankaa, kokopuuta ja kuitupuuta. Käytetystä metsähakkeesta ulkomaista alkuperää oli 0,4 miljoonaa kiintokuutiometriä. Alueittain tarkastellen kiinteiden puupolttoaineiden käyttö oli merkittäväntä Kaakkois-Suomessa, jossa poltettiin lähes kolmasosa kuoresta ja kuudesosa kaikista kiinteistä puupolttoaineista. Eniten metsähaketta käytettiin Keski-Suomen, Rannikon ja Häme-Uusimaan metsäkeskusten alueilla (Ylitalo 2013).

### 2.1.2 Metsähakkeen korjuupotentiaalin arviointi

Metsähakepotentiaalin arvioinnin lähtökohta on metsäbiomassan teoreettinen enimmäispotentiaali (Hakkila 2004). Teoreettiseen potentiaaliin kuuluvat mm. metsänhoidollisilta harvennuksilta kertyvä puubiomassa ja ainespuun korjuun yhteydessä metsään jäävä hukkarunkopuu, latvusmassa sekä kanto- ja juuripuu. Teoreettiseen potentiaaliin voidaan lukea myös hakkuusäästö, eli metsien vuotuisen kasvun ja poistuman erotus. Teoreettinen enimmäispotentiaali ei kuitenkaan ole kokonaan saatavissa käytön piiriin, vaan saatavuutta rajoittavat lukuisat tekniset, taloudelliset, ekologiset ja sosiaaliset tekijät, joiden vaikutus on arvioitava kukin erikseen (Hakkila 2004). Tällaisia rajoitteita ovat mm. materiaalin korjuutekninen talteensaanto palstalla, varastointihävikki, raaka-aineen laatuvaatimukset (kokopuuta/rankaa), työmaan vähimmäiskoko ja -hehtaarikertymä, metsänomistajien myyntihalukkuus, metsänhoito-ohjeet ja korjuusuositukset, joilla pyritään vähentämään korjuun haitallisia vaikutuksia metsän kasvuun ja ympäristöön, sekä metsähakkeen hintakilpailukyky muihin polttoaineisiin verrattuna (Hakkila 2004).

### 2.1.2 Tutkimuksen tavoitteet

Tutkimuksen tavoitteena oli arvioida alueellisesti 1) metsähakkeen teknistä korjuupotentiaalia, 2) metsähakkeen käyttöä lämpö- ja voimalaitoksissa sekä 3) näiden kahden välistä erotusta eli ns. metsähaketasetta. Tutkimuksen tulokset laskettiin kiintokuutiometreinä (m<sup>3</sup>).

## 2.2 Aineisto ja menetelmät

### 2.2.1 Metsähakepotentiaalit

#### Nuorten metsien pienpuu

Pienpuupotentiaalit perustuvat valtakunnan metsien kymmenennen inventoinnin (VMI10) koealatietoihin (Korhonen ym. 2012). Pienpuuta korjataan energiaksi lähinnä varttuneista taimikoista sekä ensiharvennuksilta, joten tarkastelu rajoitettiin näiden kehitysluokkien koealoihin. Koealoille simuloitiin alaharvennus Tapion metsänhoitosuosituksen (Hyvän metsähoidon suositukset 2006) mukaisesti. Joka koealalle laskettiin runkopuun poistuma ja ainespuun kertymä puulajeittain (mänty, kuusi ja koivu) rinnankorkeusläpimitaltaan yli neljä senttimetriä paksuista puista. Kuitupuupölkyn lyhin sallittu pituus oli kaksi metriä ja minimiläpimitalta 6 cm. Rinnankorkeusläpimitaltaan 4-9,5 cm:n puut laskettiin puulajista riippumatta kokonaan energiapuuksi. Pienpuulle laskettiin potentiaalit kuntakohtaisesti eri kertymärajoittein (2.1).

Aines- ja energiapuun integroituun korjuuseen soveltuviksi taas katsottiin puhtaat havupuu- ja koivukoealat, joilla pääpuulajin ainespuun kertymä oli suurempi kuin 20 m<sup>3</sup>/ha, kertymän keskirunkokoko suurempi kuin 30 dm<sup>3</sup> ja energijakeen kertymä suurempi kuin 25 m<sup>3</sup>/ha. Energiajae oletettiin korjattavaksi rankana, koska ainespuu korjataan karsittuna ja energiapuu korjataan samalla kalustolla. Kaikissa vaihtoehdoissa runkopuun ja elävän latvuksen tekniseksi talteensaannoksi oletettiin 100 %. Kokopuukorjuussa kuolleiden oksien sen sijaan oletettiin varisevan korjuun ja kuljetuksen aikana.

**Taulukko 2.1.** Pienpuupotentiaalien laskentavaihtoehdot.

Vaihtoehto	Energiapuuta (m <sup>3</sup> /ha)	Ainespuuta (m <sup>3</sup> /ha)	Integroidun korjuun kohteen vaatimukset
<i>Ranka</i>	> 25	<= 45	-
<i>Kokopuu</i>	> 25	<= 45	-
<i>IntegroituPerus</i>	> 25	-	tavaralajipuhdas, ainespuu>20 m <sup>3</sup> /ha, runko > 30 dm <sup>3</sup>
<i>IntegroituMinimi</i>	> 25	-	tavaralajipuhdas, ainespuu>45 m <sup>3</sup> /ha, runko > 60 dm <sup>3</sup>

#### Päättehakkuiden latvus- ja kantobiomassa

PäättehakkUILTA kertyvän latvusmassan ja kantojen potentiaalit ovat sidoksissa teollisuuden puunkäyttöön, minkä vuoksi potentiaalilaskelmat perustuivat kuusi- ja mäntytukkien toteutuneisiin markkinahakkuumääriin kunnittain. Markkinahakkuiden vaihtelun huomioimiseksi laskettiin kolmen hakkuutason mukaiset potentiaalit:

1. *Minimi*. Potentiaali, jos markkinahakkuut vuoden 2009 tasolla.
2. *Keskiarvo*. Potentiaali, jos markkinahakkuut vuosien 2002–2011 keskimääräisellä tasolla.
3. *Maksimi*. Potentiaali, jos markkinahakkuut vuoden 2007 tasolla.

Latvusmassan talteensaannoksi oletettiin 70 % (Äijälä ym. 2010). Kantojen potentiaalilaskennassa oletettiin, että 65 % päättehakkuiden, joista korjataan latvusmassaa, on myös sopivia kantojen korjuukohteita (Taulukko 2.2). (Laitila ym. 2008). Nostettavien kantojen talteensaannoksi oletettiin

**Taulukko 2.2.** Latvus- ja kantobiomassan määrät suhteessa ainespuumäärään ja korjuun talteensaanto-prosentit.

	%
Latvusmassaa per kuusiainespuu-m <sup>3</sup> , Etelä-Suomi	44
Latvusmassaa per kuusiainespuu-m <sup>3</sup> , Pohjois-Suomi	68
Latvusmassaa per mäntyainespuu-m <sup>3</sup> , Etelä-Suomi	21
Latvusmassaa per mäntyainespuu-m <sup>3</sup> , Pohjois-Suomi	28
Latvusmassan talteensaanto työmaalla	70
Kantobiomassaa per kuusiainespuu-m <sup>3</sup>	28
Kantobiomassan talteensaanto työmaalla	95

95 %, koska osa havupuun kannoista jätetään ekologisista syistä nostamatta ja maahan jää noston yhteydessä juuripuuta (Äijälä ym. 2010). Laskelmaan sisällytettiin vain kuusikoiden kannot.

## 2.2.2 Metsähakkeen käyttö

Metla tilastoi lämpö- ja voimalaitosten kiinteiden puupolttoaineiden käyttöä (Ylitalo 2012). Vuonna 2011 metsähaketta ilmoitti käyttäneensä yhteensä 587 laitosta. Laitosten käyttömäärät ja sijainti siirrettiin paikkatietojärjestelmään, jonka avulla määritettiin metsähakkeen hankinta-alue.

Hankinta-alueen määrittämisessä huomioitiin myös se, että laitokset pyrkivät hankkimaan raaka-aineensa mahdollisimman läheltä. Tämä toteutettiin laskennassa siten, että laitosten ympärille muodostettiin taulukon 2.3 hankintasäteiden mukaisesti hankintaympyröitä, joilta jokaiselta laitos hankkii saman verran raaka-ainetta. Säteen kasvaessa myös ympyrän pinta-ala kasvaa, joten suhteessa pinta-alaan sisemmiltä ympyröiltä hankitaan enemmän raaka-ainetta. Pienimpien laitosten oletettiin siten hankkivan raaka-aineensa yhden ympyrän sisältä, ja laitokseen kasvaessa ympyröiden määrä kasvoi siten, että suurimmilla laitoksilla ympyröitä oli viisi. Laskennassa oletettiin hankintasäteiden enimmäispituuden olevan 200 kilometriä.

Käyttömäärät jaettiin eri raaka-aineille (pienpuu, latvusmassa, kannot) laitosten ilmoittamien prosenttijakaumien avulla. Laitoksille, joilta kyseinen jakauma puuttui (91 kappaletta), käytettiin suurimpien laitosten osalta vuoden 2010 käyttötilastoa ja pienempien osalta pienten laitosten käyttöjakaumien keskiarvoja. Mikäli kahden tai useamman laitoksen hankintaympyrät leikkasivat, laskettiin laitosten hankintamäärät päällekkäisellä hankinta-alueella yhteen.

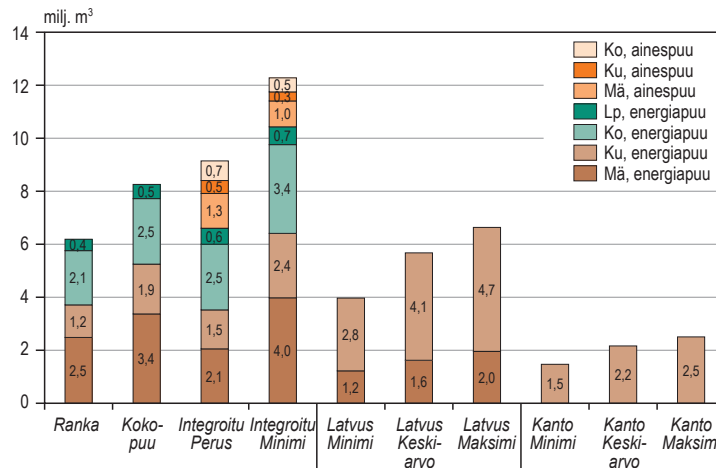
**Taulukko 2.3.** Laskennassa käytetyt laitosten hankinta-alueiden säteet käyttömäärän mukaan.

Hankinta-alueen maksimi säde, km	Maksimi hankintamäärämäärä, k-m <sup>3</sup>
30	3000
60	10000
100	80000
150	175000
200	–

## 2.3 Tulokset

### 2.3.1 Metsähakepotentiaali

Pienpuun hakkuutapa vaikuttaa merkittävästi potentiaaliin. Kun korjuu oletettiin tapahtuvan rankana, jäi potentiaali 6,2 miljoonaan kuutiometriin vuodessa (Kuva 2.1). Jos taas kaikki korjuu



**Kuva 2.1.** Pienpuun, latvusmassan ja kantojen metsähakepotentiaalit eri laskentavaihtoehdoilla. Mä = mänty, Ku = kuusi, Ko = koivu, Lp = muu lehtipuu.

tehtiin kokopuuna, oli potentiaali 8,3 milj. m<sup>3</sup>. Energiapuun korjuun integrointi ainespuun korjuuseen kasvatti potentiaalin 6,6–10,4 milj. m<sup>3</sup>:iin riippuen ainespuun kertymä- ja järeysvaatimuksista. Lisäksi samoilta kohteilta kertyi energiapuun ohella ainespuuta 1,8–2,5 milj. m<sup>3</sup>. Ainespuun osuus integroidun korjuun kohteilla laskentavaihtoehdossa *IntegroituPerus* oli keskimäärin 54 % (minimi 15 %, maksimi 88 %) ja laskentavaihtoehdossa *IntegroituMinimi* keskimäärin 66 % (minimi 27 %, maksimi 88 %).

Latvusmassan potentiaali on vain 4,0 milj. m<sup>3</sup>, jos hakkuut ovat vuoden 2009 tasolla (Kuva 2.1). Jos taas hakkuut ovat vuosien 2002–2011 keskimääräisellä tasolla, on potentiaali 5,7 milj. m<sup>3</sup>. Vuoden 2007 hakkuutasolla potentiaali on 6,6 milj. m<sup>3</sup>. Näitä hakkuutasoja vastaavat kuusen kantopotentiaalit ovat 1,5, 2,2 ja 2,5 milj. m<sup>3</sup>.

Ranka- ja kokopuupotentiaaleista mäntyä on noin kaksi viidesosaa, koivua kolmannes, kuusta yksi viidesosa ja loput muuta lehtipuuta (Kuva 2.1). Vaihtoehdossa *IntegroituPerus* männyn osuus energiapuusta on vajaa kolmannes, koivun kaksi ja kuusen yksi viidesosaa. Vaihtoehdossa *IntegroituMinimi* vastaavat osuudet ovat kaksi viidennestä, yksi kolmannes ja kuusta yksi neljännes. Koska latvusmassan potentiaalilaskelmat perustuvat kuusi- ja mäntytukkien ja kantojen laskelmat kuusitukkien hakkuutilastoihin, ei potentiaaleissa ole koivua tai muuta lehtipuuta. Latvusmassan potentiaalista noin 70 % on kuusta ja loput mäntyä.

Eniten pienpuupotentiaalia on Lapin ja Pohjois-Pohjanmaan metsäkeskusten alueilla, jotka ovat pinta-alaltaan suuria (Taulukko 2.4). Pinta-alaa kohti suurimmat potentiaalit löytyvät Pirkanmaan, Pohjois-Karjalan, Pohjois-Savon, Etelä-Savon, Keski-Suomen ja Pohjois-Pohjanmaan metsäkeskuksista. Suurimmat latvusmassa- ja kantopotentiaalit toteutuneella hakkuiden rakenteella olisivat Häme-Uusimaan, Etelä-Savon, Keski-Suomen ja Pohjois-Savon metsäkeskusten alueilla. Pinta-alaa suhteutettuna ylivoimaisesti eniten potentiaalia olisi Häme-Uusimaan alueella.

### 2.3.2 Metsähaketase

Pienpuuta käytetään eniten Pohjois-Pohjanmaan, Keski-Suomen, Lapin ja Häme-Uusimaan metsäkeskusten alueella, joissa käyttömäärät ovat noin 300 000 kiintokuutiometrin luokkaa. Joka

**Taulukko 2.4.** Metsähakepotentiaalit metsäkeskustasolla (1000 m<sup>3</sup>).

Metsäkeskus	Ranka	Kokopuu	IntegroituPerus	LatvusKeskiarvo	KantoKeskiarvo
Rannikko (etelä)	130	172	127	116	51
Lounais-Suomi	217	297	287	382	155
Häme-Uusimaa	342	471	308	656	321
Kaakkois-Suomi	230	315	253	439	179
Pirkanmaa	288	398	391	467	217
Etelä-Savo	512	684	437	629	252
Etelä-Pohjanmaa	306	416	238	292	101
Keski-Suomi	468	624	543	599	265
Pohjois-Savo	512	699	471	572	273
Pohjois-Karjala	567	752	612	401	146
Kainuu	469	631	384	345	57
Pohjois-Pohjanmaa	1 050	1 378	815	346	69
Lappi	917	1 180	1 571	264	30
Rannikko (Pohjanmaa)	181	238	166	168	48
Yhteensä	6 189	8 256	6 603	5 676	2 164

metsäkeskuksen alueella on vielä vapaata potentiaalia jäljellä (Taulukko 2.5). Joidenkin käyttöpaikkojen ympärillä on kuitenkin alueita, joilla vapaata potentiaalia ei enää ole.

Latvusmassan käyttö on puolestaan runsainta Häme-Uusimaan, Keski-Suomen, Rannikon (Pohjanmaan alue), Etelä-Savon, Etelä-Pohjanmaan, Pirkanmaan ja Kaakkois-Suomen metsäkeskusten alueilla, joissa käyttö ylittää 200 000 kiintokuutiometrin rajan. Vähiten vapaata potentiaalia on Rannikon, Etelä-Pohjanmaan ja Lounais-Suomen metsäkeskusten alueilla (Taulukko 2.5).

Kantojen käyttö on suurinta Keski- ja Etelä-Suomessa. Keski-Suomen, Lounais-Suomen, Häme-Uusimaan ja Kaakkois-Suomen metsäkeskusten alueilla ylitetään 100 000 kiintokuution käyttömäärät kantojen osalta. Vapaata potentiaalia on vähän tai ei lainkaan Lapin, Pohjois-Pohjanmaan, Kainuun, Rannikon, Etelä-Pohjanmaan ja Keski-Suomen metsäkeskuksissa (Taulukko 2.5).

**Taulukko 2.5.** Metsähaketase metsäkeskuksittain eri jakeilla ja laskentavaihtoehdoilla (1 000 m<sup>3</sup>).

Metsäkeskus	Ranka	Kokopuu	IntegroituPerus	LatvusKeskiarvo	KantoKeskiarvo
Rannikko (etelä)	0	29	0	0	17
Lounais-Suomi	0	43	38	81	54
Häme-Uusimaa	37	176	3	351	220
Kaakkois-Suomi	77	162	101	239	73
Pirkanmaa	17	162	158	265	128
Etelä-Savo	232	404	158	391	175
Etelä-Pohjanmaa	100	209	32	0	14
Keski-Suomi	152	308	229	332	137
Pohjois-Savo	312	499	272	452	241
Pohjois-Karjala	379	563	424	220	121
Kainuu	420	583	335	237	1
Pohjois-Pohjanmaa	686	1 013	452	164	0
Lappi	625	889	1282	224	15
Rannikko (Pohjanmaa)	75	133	59	0	0
Yhteensä	3 111	5 173	3 542	2 956	1 195

## 2.4 Tulosten tarkastelu

Eri potentiaalivaihtoehdot osoittavat, kuinka herkkiä estimaatit ovat oletuksille ainespuun markkinahakkuiden tasosta tai korjuumenetelmästä ja kohteen valinnasta. Estimaattien vaihteluväli tarjoaa joka tapauksessa parempaa tietoa kuin vain yksi piste-estimaatti. Käytettyjen laskentamenetelmien eduksi voidaan katsoa myös se, että paikkatietoanalyysi mahdollistaa alueellisen tasetarkastelun, jota ei ole aiemmin tehty.

Tulosten käyttäjän on syytä kuitenkin ottaa huomioon seuraavat seikat: Arviot kuvaavat nykyhetken potentiaaleja. Pienpuupotentiaalit perustuvat tämän hetkisiin VMI-tietoihin metsänhoidollisista taimikonhoito- ja ensiharvennustarpeista. Laskelmissa kaikki lähimmän viisivuotiskauden toimenpide-ehdotukset oletetaan toteutettavaksi viiden vuoden sisällä; toisin sanoen havaitut taimikonhoito- ja ensiharvennusrästit purettaisiin viiden vuoden aikana. Pienpuupotentiaalilaskelmissa ei kuitenkaan ole kasvatettu koelaloilta mitattuja puita, vaan kertymien oletettiin olevan mittaushetken mukaisia, mikä on aliarvio todellisista hakkuuhetken kertymistä. Latvusmassa- ja kantopotentiaalit taas perustuvat hakkuutilastoihin, eikä tulevien hakkuiden määrä tai rakenne välttämättä vastaa toteutuneita. On myös huomattava, että valitut minimi- ja maksimivuodet laskennassa eivät ole olleet vuosikymmenen minimi- ja maksimivuotia kaikilla puutavaralajeilla eikä kaikissa metsäkeskuksissa. Lisäksi laskennassa ei ole otettu huomioon tulevan metsälain mahdollistamia hakkuutapojen muutoksia, vaan metsänhoidon ja hakkuiden on oletettu jatkuvan aiempien vuosien kaltaisena.

Pienpuupotentiaalilaskelmat perustuvat puuntuotannon metsämaahan, johon eivät kuulu mm. suojelualueiden ja -ohjelmien metsämaat. Yleiskaavoissa olevia rajoituksia ei VMI-pohjaisissa laskelmissa ole tähän mennessä voitu ottaa huomioon, ei myöskään tässä tutkimuksessa. Metlassa ollaan parhaillaan kokoamassa yleiskaava-aineistoja, ja alustavat tulokset osoittavat, että yleiskaavoissa olevat rajoitukset eivät etelärannikkoa lukuun ottamatta supista merkittävästi puuntuotannon metsämaan alaa.

Tukkipuun hakkuutilastoihin pohjautuva latvusmassan ja kanto puun potentiaalien arviointi toimii kohtuullisen hyvin Etelä- ja Keski-Suomen alueella, jossa päätehakkuiden puukertymästä tukin osuus on luokkaa 90 %. Pohjanmaalla ja Pohjois-Suomessa tukki tilastoihin perustuva arviointimenetelmä antaa systemaattisesti aliarvioita latvusmassan ja kantojen todellisesta korjuupotentiaalista, koska päätehakkuiden tukkiprosentti on selvästi pienempi kuin Etelä- ja Keski-Suomessa. Pohjanmaalla ja Pohjois-Suomessa tukkiprosentti on 50–75 %, ellei jopa vieläkin vähemmän. Kantojen osalta em. virhe ei ole niin suuri kuin latvusmassalla, koska nostettavat kannot ovat peräisin tukki kokoisista puista.

Metsähakkeen käyttömääriin ei tässä tutkimuksessa ole luettu pienkiinteistöjen metsähakkeen käyttöä. Koko maan tasolla vuonna 2012 metsähakkeen laitospääkäyttö oli 7,6 miljoonaa kuutiometriä, minkä lisäksi haketta käytettiin pientaloissa arviolta 0,7 miljoonaa kuutiometriä (Ylitalo 2013).

Vapaa potentiaali ei tarkoita metsähakkeen saatavuutta, jonka määrää metsänomistajan myyntihalukkuus. Lisäksi päätehakkuilla ainespuun ostavalla yhtiöllä on etulyöntiasema latvusmassan ja kantojen suhteen. Myyntihalukkuutta on tutkittu aiemmin, mutta koska toimintaympäristö on muuttunut olennaisesti, ei myyntihalukkuutta huomioitu tässä tutkimuksessa. Vertailun vuoksi Maidell ym. (2008) laskivat vuonna 1999–2000 kerätyn aineiston perusteella niiden metsänomistajien suhteellisen osuuden kaikkien samasta läänistä vastanneiden metsänomistajien metsämaan pinta-alasta, jotka olivat valmiita myymään energiapuuta itse määrittelemällään hinnalla. Maakunnasta riippuen tämä osuus oli 65–68 %. Järvisen ym. (2006) tutkimuksen mukaan pienpuuta voisi luovuttaa 72 %,

hakkuutähteitä 74 %, hukkarunkoja 72 % ja kantoja 71 % metsänomistajista. Uusimman tutkimuksen mukaan rankaa olisi ollut valmis luovuttamaan maksua vastaan 76 %, kokopuuta 81 %, latvusmassaa 76 % ja kantoja 51 % metsänomistajista (Mynttinen ym. 2010). Tähän tutkimukseen haastateltiin kuitenkin vain eteläsavolaisia metsänomistajia. Todellinen saatavuus on siis joka tapauksessa pienempi kuin vapaa potentiaali.

## 2.5 Johtopäätökset

Tulosten perusteella koko maan tasolla metsähaketta on riittävästi vuoden 2020 metsähakkeen käyttötavoitteen saavuttamiseen, mutta paikallisesti hakkeesta on kilpailua. Metsähakkeen käyttömäärien kasvaessa joudutaan käyttämään kalliimpia jakeita ja/tai kuljettamaan osa hakkeesta kauempaa. Tällainen riski realisoituu myös, jos teollisuuden ainespuuhakkuut laskevat alle viime vuosien keskitason ja päätehakkuilta korjattavan metsähakkeen saatavuus vähenee.

Suurin kasvumahdollisuus on pienpuussa. Etenkin integroitu korjuu tarjoaa kohtuullisen suuren energiapuupotentiaalin, minkä lisäksi leimikon puustosta voidaan korjata parempi osa ainespuukäyttöön ja jättää ainespuuksi kelpaamaton tai huonompilaatuinen puu energiakasaan. Tämän tutkimuksen mukaan latvusmassapotentiaali on länsirannikolla, ja kantopotentiaali myös Pohjois-Suomessa, jo täyskäytössä.

## Kirjallisuus

- Asikainen, A. & Anttila, P. 2009. Jatkuuko metsäenergian käytön kasvu? Julkaisussa: Hänninen, R. & Sevola, Y. (toim.). Metsäsektorin suhdannekatsaus 2009-2010. Metsäntutkimuslaitos. s. 55-57.
- Hakkila, P. 2004. Puuenergian teknologiaohjelma 1999–2003. Loppuraportti. Teknolo-giaohjelmaraportti 5/2004. 135 s.
- Hyvän metsänhoidon suositukset. 2006. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. ISBN 13-978-952-5118-84-1.
- Korhonen, K.T., Ihalainen, A., Viiri, H., Heikkinen, J., Henttonen, H., Hotanen, J-P., Mäkelä, H., Nevalainen, S., Pitkänen, J. 2013. Suomen metsät 2004–2008 ja niiden kehitys 1921–2008. Hyväksytty käsikirjoitus Metsätieteen Aikakauskirjaan. Metsäntutkimuslaitos.
- Laitila, J., Asikainen, A. & Anttila, P. 2008. Energiapuutarat. Julkaisussa: Kuusinen, M. & Ilvesniemi, H. (toim.). Energiapuun korjun ympäristövaikutukset, tutkimusraportti. Tapion ja Metlan julkaisuja. Saatavissa: [www.metsavastaa.net/energiapuu/raportti](http://www.metsavastaa.net/energiapuu/raportti). s. 6-12.
- , Leinonen, A., Flyktman, M., Virkkunen, M. & Asikainen, A. 2010. Metsähakkeen hankinta- ja toimituslogistiikan haasteet ja kehittämistarpeet. VTT Tiedotteita 2564. 143 s.
- Maidell, M., Pyykkönen, P. & Toivonen, R. 2008. Metsäenergiapotentiaalit Suomen maakunnissa. Pellervon taloudellisen tutkimuslaitoksen työpapereita 106. 42 s.
- Mynttinen, S., Karttunen, K. & Handelberg, J. 2010. Energiapuun tarjontahalukkuus. Julkaisussa: Karttunen, K., Föhr, J. & Ranta, T. (toim.). Energiapuuta Etelä-Savosta. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Teknillinen tiedekunta. LUT Energia. Tutkimusraportti 7. s. 11–32.
- Työ- ja elinkeinoministeriö. Energiaosasto. 2010. Suomen kansallinen toimintasuunnitelma uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian edistämisestä direktiivin 2009/28/EY mukaisesti. 10 s.
- Ylitalo, E. 2012. Puun energiakäyttö 2011. Metsätalostatiedote 16/2012. 7 s.
- 2013. Puun energiakäyttö 2012. Metsätalostatiedote 15/2013. 7 s.
- Äijälä, O., Kuusinen, M. & Koistinen, A. 2010. Hyvän metsänhoidon suositukset energiapuun korjuuseen ja kasvatukseen. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. 31 s. Saatavissa: [http://www.tapio.fi/files/tapio/Aineistopankki/Energiapuusuositukset\\_verkkoon.pdf](http://www.tapio.fi/files/tapio/Aineistopankki/Energiapuusuositukset_verkkoon.pdf).

Metlan työraportteja 289: 21–26

### 3 Estimating the potential of forest chips for energy in Central Finland based on biomass maps and spatially explicit constraints

Perttu Anttila, Aleksi Lehtonen, Paula Puolakka and Jukka Mustonen

#### Abstract

The Finnish Forest Research Institute participated in a project called Biomass Energy Europe where the aim was to harmonize methodologies for biomass resource assessments for energy purposes in Europe. The illustration case of Finland aimed at estimating technical potential of primary forest residues for energy by using an advanced spatially explicit method. The procedure combined national forest inventory plot data, thematic biomass maps, satellite images, constraints for biomass mobilization, location of energy plants, road network, and felling statistics. A major advantage provided by the method is the possibility to apply spatially explicit constraints (i.e. constraints for which geographic location can be defined) on the potentials. The results of the illustration case provide estimates of technical potential for Central Finland. The illustration case also demonstrates the use of tools and methods for state-of-art bioenergy potential estimation for other regions. Two types of primary forest residue potential were calculated: Residues from Business As Usual Cuttings (BAU) and Residues from Maximum Cuttings corresponding to regional sustainability (MAX). The regional and municipality level potentials were calculated separately for logging residues and stumps for pine, spruce and broadleaved tree biomass. Regional sustainable harvesting levels of Central Finland were downscaled for each municipality. Total annual bioenergy potentials from final fellings from the region of Central Finland were 9.5 PJ for BAU and 11.4 PJ for MAX.

#### Tiivistelmä

Metsäntutkimuslaitos osallistui Biomass Energy Europe –hankkeeseen, jossa tavoitteena oli yhdenmukaistaa biomassavarojen arviointimenetelmiä Euroopassa. Metlan vastuulla oli demonstroida edistynyttä menetelmää metsäenergiavarojen arviointiin hakkuukypsissä metsissä. Laskentamenetelmän pääajatuksena on laskea metsäenergiapotentiaali satelliittikuvilta segmentoiduille kuvioille, jolloin paikkaan sidottujen rajoitteiden soveltaminen on mahdollista. Laskennassa hyödynnettiin Valtakunnan metsien inventoinnin tuottamia teemakarttoja kuten uusimpiin malleihin perustuvia biomassakarttoja, satelliittikuvia, muuta paikkatietoaineistoa sekä hakkuutilastoja. Demonstraatiossa laskettiin kunnittain hakkuutähd- ja kantopotentiaalit päätehakkuilta Keski-Suomen metsäkeskuksen alueella kahden hakkuuskenaarion mukaisesti: Toteutuneet hakkuut (BAU) ja Suurin kestävä (MAX). Näitä vastaavat vuotuiset potentiaalit olivat 9.5 PJ (BAU) ja 11.4 PJ (MAX).

### 3.1 Introduction

The Biomass Energy Europe (BEE) project was initiated to harmonise methodologies for biomass resource assessments for energy purposes in Europe and its neighbouring countries (Biomass... 2011). BEE project was funded by the European Commission under the Framework Programme 7 within the "Energy Thematic Area". The main contribution of Metla in the project was to illustrate estimation of technical potential of primary forest residues for energy by using an advanced spatially explicit method.

The illustration case for Finland differed from the other illustration cases due to intensive use of National Forest Inventory (NFI) data and satellite images. The availability of NFI plot data and related up-scaling techniques (Tuominen et al. 2010) provide data and methods for spatially explicit analysis of bioenergy potentials.

The study aimed to provide estimates of technical potential of forest chips for bioenergy by using a harmonised estimation method. The advanced spatially explicit method for stemwood and primary forest residues was applied (chapter 3.4.2 in Vis et al. 2010). The sources of chips considered here were logging residues and stumps from final fellings. In Finland, logging residues and stumps consist mostly of Norway spruce.

The study was a pilot study and focused on the region Central Finland. The region represents area where the utilization of bioenergy is already at high level. The total land area of the region is 1.7 mill. ha, of which 1.4 mill. ha is forest land. The region of Central Finland consumes a lot of bioenergy due to abundant forest resources and the large number of heat and power plants.

Potential of forest chips for energy in Central Finland has been earlier estimated by Laitila et al. (2008). They estimated that the total potential would be 1.3 mill. m<sup>3</sup>, which constitutes of logging residues from spruce-dominated final-felling stands (542,000 m<sup>3</sup>), logging residues from pine-dominated final-felling stands (130,000 m<sup>3</sup>), stumps from spruce-dominated final felling stands (304,000 m<sup>3</sup>) and small trees from precommercial thinnings (354,000 m<sup>3</sup>).

### 3.2 Material and Methods

The methods of the Finnish illustration case combine spatially explicit biomass maps, segmentation of EO data, polygons for protected areas, and forests characteristics for each segment. For more details see Methods Handbook (chapter 3.4.2 in Vis et al. 2010).

In general, the work builds on the paper by Tuominen et al. (2010), where NFI plot data was used to estimate biomass of individual NFI plots and those were further up-scaled with satellite images to the region of Central Finland. Thereafter the area of Central Finland was segmented into homogenous segments representing forest stands. Sustainable harvesting levels according to two definitions were estimated for each municipality. Next, the stands were sorted in descending order according to stand volume (m<sup>3</sup>/ha) and selected for final felling. The biomass potential was obtained as a sum of crown and stump masses and stemwood losses from the final felling stands after applying multiple environmental and technical constraints. Stemwood losses in commercial harvesting were assumed to be 4% for pine, 5% for spruce and 17% for the broadleaved trees. The figures for pine and spruce are based on Hakkila (2004) and the figure for the broadleaved on unpublished NFI statistics in Southern Finland.

The applied harvesting level definitions were as follows:

1. Business As Usual (BAU). The definition is based on mean annual roundwood removals in 2000–2009. Roundwood removal land areas by harvesting type in Central Finland and total volumes harvested on municipality level divided in owner groups (private owners / organizations) were utilised (MetINFO 2010). Information on final felling roundwood removal percentage from total fellings in organizations' forests in Finland in 2008 (Mäki-Simola 2009) and the area data of final fellings were used to calculate the percentage of volume in final fellings in private forests. These regional percentages were then applied on municipality level.
2. Maximum Sustainable Cuttings (MAX). The definition aims at maximum harvesting level that can be maintained sustainably during 2007–2016 in Central Finland (MetINFO 2010). The maximum possible harvesting levels according to the law for the next five years (measured in 2004–2008) by municipality and the whole region are based on NFI information. Maximum sustainable cuttings on municipality level were calculated using the ratio of maximum possible cuttings and maximum sustainable cuttings in the whole region of Central Finland.

The constraints applied in the study are listed in Table 3.1 The constraints for economic accessibility are gathered from the instructions found from the Internet sites of Finnish companies.

All biomasses were initially calculated in dry tonnes. In order to obtain the potentials in volume and energy units ( $\text{m}^3$  and GJ, respectively), the conversion factors in Table 3.2 were used. For logging residues and stumps the moisture as received was assumed to be 50% and 35% (wet basis), respectively.

**Table 3.1.** The constraints applied in the study.

Constraint	Value or measure
Net annual increment	Harvesting levels in the definitions are below NAI
Recovery rate	70% for logging residues (Äijälä et al. 2010), 95% stumps (Laitila et al. 2008)
Maximum forwarding distance	500 m
Protection of biodiversity	Conservation areas and Natura2000 area were removed from the analysis
Economic accessibility	Minimum recovery volume for logging residues 20 $\text{m}^3/\text{ha}$ and 40 $\text{m}^3/\text{stand}$ and for stumps 100 $\text{m}^3/\text{stand}$ . In addition, the minimum area of a stand for stump harvesting 2 ha.
Protection of soil	Recovery of stumps and logging residues only from fertile stands (Äijälä et al. 2010)
Protection of water and remaining trees	A buffer zone of 10 m on stump harvesting sites

**Table 3.2.** Basic densities ( $r_{0,g}$ ) and lower heating values of dry matter ( $Q_{\text{net}, d}$ ) for the different biomass types.

Biomass type	$r_{0,g}$ ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	$Q_{\text{net}, d}$ (MJ/kg)
Logging residues, pine	395 <sup>1</sup>	20.5 <sup>3</sup>
Logging residues, spruce	465 <sup>1</sup>	19.7 <sup>3</sup>
Logging residues, broadleaved	500 <sup>1</sup>	17.7 <sup>3</sup>
Stumps, pine	475 <sup>1</sup>	19.5 <sup>3</sup>
Stumps, spruce	435 <sup>1</sup>	19.1 <sup>3</sup>
Stumps, broadleaved	450 <sup>2</sup>	18.5 <sup>3</sup>

Sources: <sup>1</sup> Hakkila et al. (1978); <sup>2</sup> estimated based on Kärkkäinen (2007), p. 156; <sup>3</sup> Alakangas (2000)

### 3.3 Results

Technical potential for biomass in Central Finland was calculated for primary forest residues from final fellings. Potential was calculated separately for pine, spruce and broadleaved tree biomass and further divided into logging residues and stumps. Calculations for potential were made for each municipality in the region and then combined to obtain results for total area. The results for the total area are shown in Table 3.3 and the municipal-level results can be found in the project report of the illustration case (Lehtonen et al. 2010).

**Table 3.3.** Forest biomass potentials in Central Finland from final fellings (GJ/year) and corresponding land areas (1000 ha).

General Characteristics			
Definition		BAU	MAX
Type of potential		Technical	Technical
Method applied		advanced spatially	advanced spatially
Year		explicit method	explicit method
		2000–2009	2007–2016
Land category	Detailed Land Category		
Total (1000 ha)		15	18
	Forest & other wooded land	15	18
Biomass category	Detailed Biomass Category		
Primary forest residues (GJ)			
	Total logging residues	9,478,141	11,408,605
	Residues, pine	1,174,054	1,481,023
	Residues, spruce	4,377,410	5,190,415
	Residues, broadleaved	681,020	841,350
	Stumps, pine	809,668	1,003,679
	Stumps, spruce	2,155,602	2,546,890
	Stumps, broadleaved	280,387	345,247

The following sustainability criteria were applied:

- All conservation areas and areas of the Natura2000 network were removed from the analysis.
- A buffer zone of 10 m was applied on stump harvesting sites.
- The region of Central Finland is PEFC certified and the calculation of potentials was made accordingly.

### 3.4 Discussion

#### 3.4.1 Data gaps and methodological challenges

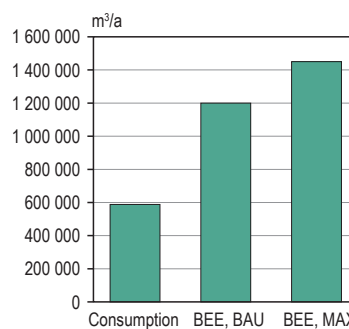
Methodological challenges of the spatially explicit approach are mainly related to demanding spatial analysis and also to data availability. The approach presented here requests NFI data (or similar forest inventory data) that is sufficient for the satellite image analysis and for up-scaling. Satellite images for the procedure presented here are freely available, but unfortunately the spatially explicit forest inventory data of larger areas is often difficult to access. The GIS analysis of biomass maps requires expertise and knowledge about methods and software. However, the method was applicable in Central Finland, because all the needed data and expertise were available.

Another methodological challenge is the estimation of potential from thinnings. Estimation of this potential calls for reliable classification of stands to development classes in order to find the stands where thinning should take place. Use of development classes was tried in this study, but the classification proved to be unreliable for this purpose.

### 3.4.2 Current status of biomass utilisation in Finland

In Finland about one quarter of energy is produced of renewable sources, and about 80% of this is biomass (Statistics Finland 2010). Of biomass, almost all is wood-based. The total energy consumption in Finland in 2008 was 1,414 PJ and the consumption of wood-based fuels 302 PJ.

In 2008 the consumption of forest chips in heat and power plants in Central Finland was 588,000 solid m<sup>3</sup> (Ylitalo 2009), corresponding to c. 4 PJ. Additional 10-20% of chips are also used in small-sized dwellings. The comparison between consumption and calculated potentials is shown in Figure 3.1.



**Figure 3.1.** Consumption of forest chips in 2008 and forest energy potentials from final fellings in Central Finland.

### 3.4.3 Implementation issues in Finland

For heat and power plants logging residues are the cheapest source of forest chips. Stumps and thinning material require extraction which is an extra cost compared to procurement of logging residues. The use of forest chips in Central Finland is already intensive and increasing the use will raise supply cost. This is firstly because of the utilisation rate of logging residues is high, which will direct the increase to more expensive sources. Secondly, with increasing competition and higher supply amounts, the transport distances will get longer. New economical incentives have been planned to boost the use.

## 3.5 Conclusion and recommendation

Despite the already high level of forest energy use in Central Finland the calculations show that there is still room for increasing the use. However, one must bear in mind that the calculated potentials are technical in nature. This means that e.g. supply costs and the willingness of forest owners to sell residues and stumps further restrict the potential. Thus, the real availability of forest chips is lower than estimated here. Furthermore; due to the age structure of forests, the amount of final felling and, consequently, the technical potential for forest residues, is expected to decrease after the year 2017 in Finland (see Kärkkäinen et al. 2008), including Central Finland (The Finnish... 2010).

The estimation method proved to be feasible for potential estimation from final fellings. Either other methods should be applied for estimation of potential from thinnings or better data on development classes should be available.

The presented method combines satellite images, forest inventory data, digital road data, location of power plants and biomass maps. This novel approach takes into account the spatial information of forest resources and provides therefore realistic estimates about transportation distances. The use of wood as bioenergy depends heavily on the transportation costs which can be obtained by this approach e.g. for each municipality.

The given approach can be applied if one has adequate forest inventory data, biomass maps or biomass models, satellite images (e.g. free Landsat images) and digital road maps. The natural level of application would be a geographical area roughly equal to one Landsat scene or larger.

## References

- Alakangas, E. 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT tiedotteita 2045. 172 p. [In Finnish]
- Biomass Energy Europe – BEE. 2011. Available at: <http://www.eu-bee.net> [Cited 13 Dec 2011].
- Hakkila, P. 2004. Developing technology for large-scale production of forest chips. Technology programme report 6/2004. Tekes. 99 p.
- Hakkila, P., Kalaja, H., Salakari, M. & Valonen, P. 1978. Whole-tree harvesting in the early thinning of pine. *Folia Forestalia* 333, 1-58.
- Kärkkäinen L, Matala J, Härkönen K, Kellomäki S. & Nuutinen T. 2008. Potential recovery of industrial wood and energy wood raw material in different cutting and climate scenarios for Finland. *Biomass & Bioenergy* 32(10): 934-943.
- Kärkkäinen, M. 2007. Puun rakenne ja ominaisuudet. Metsäkustannus Oy, Helsinki. 468 p. [In Finnish]
- Laitila, J., Asikainen, A. & Anttila, P. 2008. Energiapuuvarat. In: Kuusinen, M. & Ilvesniemi, H. (eds.). Energiapuun korjuun ympäristövaikutukset. Tapion ja Metlan julkaisuja. Available at: [www.metsavastaa.net/energiapuu/raportti](http://www.metsavastaa.net/energiapuu/raportti) [In Finnish]
- Lehtonen, A., Anttila, P. & Puolakka, P. 2010. Illustration case for Finland. Biomass Energy Europe project report. 17 p. Available at: <http://www.eu-bee.net/default.asp?SivuID=24158>
- MetINFO Forest Information services. 2010. Available at: <http://www.metla.fi/metinfo/index-en.htm>
- The Finnish Forest Research Institute/MELA Team 15.06.2009. 2010. Available at: [http://mela2.metla.fi/mela/tupa/tulospalvelu\\_perustaulukot.htm](http://mela2.metla.fi/mela/tupa/tulospalvelu_perustaulukot.htm)
- Mäki-Simola, E. 2009. Harvesting and transportation of roundwood . In: Peltola, A. (ed.). Finnish Statistical Yearbook of Forestry. pp. 181-196.
- Statistics Finland. 2010. Total energy consumption by source. Available at: [http://www.stat.fi/til/ehkh/2009/04/ehkh\\_2009\\_04\\_2010-03-24\\_tau\\_001.xls](http://www.stat.fi/til/ehkh/2009/04/ehkh_2009_04_2010-03-24_tau_001.xls)
- Tuominen, S., Eerikäinen K., Schibalski A., Haakana M. and Lehtonen A. 2010. Mapping biomass variables with multi-source forest inventory technique. *Silva Fennica* 44(1).
- Vis et al. 2010. Harmonization of biomass resource assessments. Volume I: Best practices and methods handbook.
- Ylitalo, E. 2009. Energy. In: Peltola, A. (ed.) Finnish Statistical Yearbook of Forestry. pp. 271-292.
- Äijälä, O., Kuusinen, M. & Koistinen, A. (eds.) 2010. Hyvän metsänhoidon suositukset energiapuun korjuuseen ja kasvatukseen. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion julkaisuja. 31 p. [In Finnish]

Metlan työraportteja 289: 27–32

## 4 The realistic potential for forest biomass supply in the European Union

Perttu Anttila and Antti Asikainen

### Abstract

The EUwood project aimed to contrast the demand of wood for energy and for products with the potential supply of wood from forests and other sources (e.g. industrial residues and recycled wood) for the 27 EU member states. In the project, Metla's task was to evaluate and quantify constraints for wood mobilisation and together with the European Forest Institute to estimate the realisable potential supply of woody biomass from forests in the European Union. It was concluded that it is possible to sustainably mobilise substantially more wood than presently. However, this implies higher cost for wood, more pressure on the environment, and higher demand for labour and machinery. Numerous constraints for higher mobilisation were identified such as the coming of wood to the markets. These can be overcome by technology development and supporting forest and energy policy measures.

Keywords: forest resources, wood supply, forest energy, roundwood

### Tiivistelmä

EUwood-hankkeessa selvitettiin EU:n alueen todellinen puubiomassan kysyntä sekä teollisuus- että energiakäyttöön ja tarjonta, johon huomioitiin puu sekä metsistä että niiden ulkopuolelta (esimerkiksi metsäteollisuuden sivutuotteet ja kierrätyspuu). Metlan tehtävänä hankkeessa oli selvittää erityisesti puunhankinnan rajoitteita ja yhteistyössä Euroopan Metsäinstituutin kanssa arvioida metsästä saatavan puubiomassan määrää. Hankkeessa todettiin, että EU-maiden metsistä voidaan korjata kestävästi huomattavasti nykyistä enemmän puubiomassaa, mutta nykyistä korkeammalla hinnalla. Suuremmat korjuumäärät myös kuormittavat enemmän ympäristöä ja niiden korjuuseen vaaditaan suuri lisäys työntekijöiden ja korjuukaluston määriin. Korjuumäärien kasvattamisen tiellä on lukuisia rajoitteita, mutta niitä on mahdollista lieventää kehittämällä teknologiaa sekä poliittisin päätöksin.

Avainsanat: metsävarat, puunhankinta, metsäenergia, ainespuu

## 4.1 Introduction

It has been anticipated that due to the EU's targets for renewable energies the use of woody biomass would increase in the EU countries in the future. However, it has been unclear, how big this increase would be and where would the wood come from. To solve this problem, the European Commission's DG Energy ordered a study from an international research consortium. Metla's main task in this study, called Euwood, was to evaluate and quantify constraints for wood mobilisation and together with the European Forest Institute to estimate the realisable potential supply of woody biomass from forests in the European Union.

## 4.2 Material and Methods

The realistic potential for forest biomass supply was estimated for the period 2010 to 2030 in three steps (Verkerk et al. 2011). Firstly, the maximum, theoretical availability of forest biomass in the 27 EU member states was estimated using the large-scale European Forest Information SCENario model (EFISCEN). These projections were based on recent, detailed national forest inventory data on species and forest structure and provided the theoretical biomass potentials for broadleaved and coniferous tree species separately from:

- stemwood;
- logging residues (i.e. stem tops, branches and needles);
- stumps;
- other biomass (i.e. stem and crown biomass from early (or pre-commercial) thinnings).

Secondly, multiple environmental, technical, and social constraints were defined and quantified that reduce the amount of biomass that can be extracted from forests for three mobilisation scenarios. By reviewing available guidelines on biomass harvesting and by contacting various experts in Europe, the following constraints were included in the analysis: Site productivity, Soil and water protection, Biodiversity protection, Soil bearing capacity, Recovery rate and Ownership structure.

Thirdly, the theoretical potential according to EFISCEN was combined with the constraints from the three mobilisation scenarios to assess the realisable biomass potential from European forests. In the high mobilisation scenario a strong focus on the use of wood for producing energy and for other uses was assumed, as well as an effective implementation of current recommendations on wood mobilisation. The medium mobilisation scenario builds on the idea that recommendations are not fully implemented or do not have the desired effect. In the low mobilisation scenario strong environmental concerns against the use of wood for producing energy lead to a reduced mobilisation of biomass compared to the present situation.

To assess the effect of various assumptions that were made, a sensitivity analysis was performed. Finally, some further calculations were done related to needed workforce and machinery to extract the realistic potential and how procurement costs are affected by the different scenarios.

EUwood did not estimate separately forest energy resources, but the potentials of woody biomass for all uses. However, due to the big interest in the energy potentials, a very simple prediction for energy wood production was made (Anttila & Verkerk 2010). The forest industry has mainly been using stemwood, whereas crown and stump biomass as well as material from early thinnings

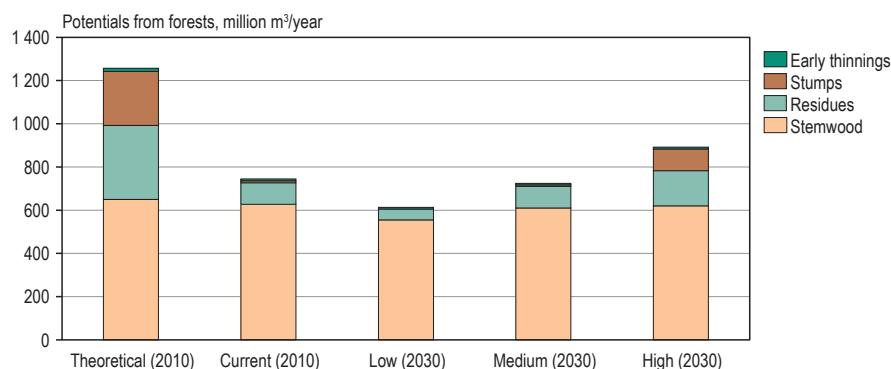
have been primarily in the interest of energy producers. Therefore, we assumed that the biomass from crowns, stumps and early thinnings will be directed to energy use also in the future. We also assumed that the ability of the forest industry to pay for stemwood will continue to be higher than that of the energy industry. Based on the correlation between roundwood production statistics and the estimated demand for sawnwood, plywood and veneer, a rough model was constructed for predicting the stemwood removal for material use.

### 4.3 Results

According to projections by EFISCEN, the theoretical biomass potential from European forests in 2010 was estimated at 1277 million  $\text{m}^3 \text{yr}^{-1}$  overbark (Fig. 4.1, Verkerk et al. 2011). The various environmental, technical and social constraints reduced the amount of woody biomass that could theoretically be harvested from European forests; the current realisable biomass potential from forests was estimated at 744 million  $\text{m}^3 \text{yr}^{-1}$  overbark in 2010. However, if a strong focus on the use of wood for producing energy and for other uses is assumed and thereby less strict restrictions on biomass extraction are applied (i.e., high mobilisation scenario), the biomass potential from forest could be increased to 895 million  $\text{m}^3 \text{yr}^{-1}$  overbark in the high mobilisation scenario in 2030. On the other hand, if there are strong environmental concerns against the use of wood for energy is assumed (i.e., low mobilisation scenario), the biomass potential would be reduced to 623 million  $\text{m}^3 \text{yr}^{-1}$  overbark in 2030.

Part of the potential presented in Figure 4.2 is needed as industrial roundwood for material use. The forest energy potential (converted to energy units) is presented in Figure 4.2. Assuming increasing demand for industrial roundwood, the potential is approximately 2.6 EJ in 2010 and ranges from 0.8 to 2.7 EJ in 2030 (Torén et al. 2011). In the present situation, stemwood represents the largest share in the potential from forests. This share decreases when more wood is demanded and used as industrial roundwood. In 2030, the main potential is in logging residues.

In addition to the constraints that could be quantified, the availability of skilled labour and machinery may pose restrictions to the realistic biomass potential (Verkerk et al. 2010b). While the availability could not be taken into account as a constraint, the workforce and machinery required to mobilise the potentials were estimated, based on the level of mechanisation and average conditions in Finland. The procurement of the stemwood actually removed in 2005 in EU, would have



**Figure 4.1.** Environmental, technical and social constraints reduce the potential of woody biomass from forests by 30–50%. Source: Verkerk et al. (2011).

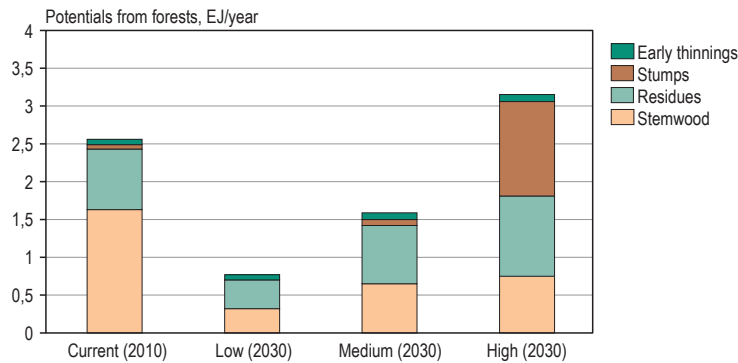


Figure 4.2. Forest energy resources in the EU countries. Source: Torén et al. (2011).

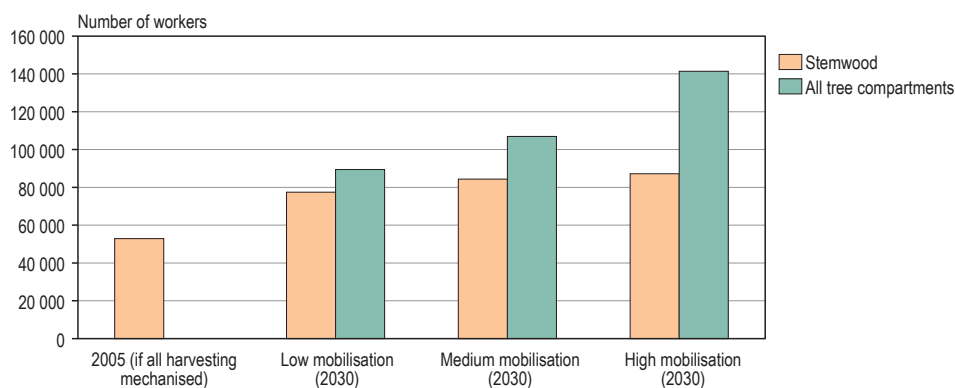
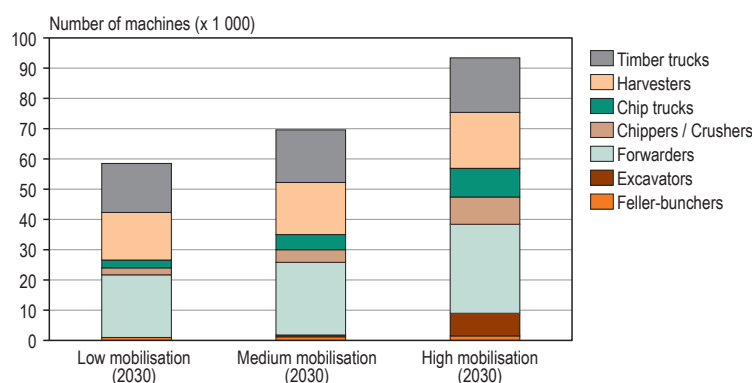


Figure 4.3. Needed number of workers for extraction/procurement of forest biomass.

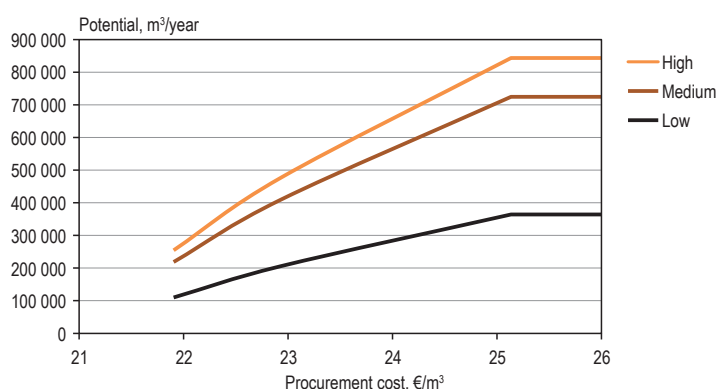
required 53,000 workers assuming the work was carried out with highly mechanised harvesting systems (Figure 4.3). To extract the stemwood potential from the low mobilisation scenario in 2030 would require 77,000 workers, whereas the medium and high mobilisation scenarios would require 84,000 workers and 87,000 workers, respectively. This means an increase of 45%, 58% and 64% in the number of workers compared to the removal in 2005, respectively. When in addition to stemwood also other biomass types are considered, the corresponding labour needs would be 89,000; 107,000 and 141,000 workers, respectively. In the reality the figures would be higher as Finnish labour productivity in harvesting is very high.

A vast number of machines would be needed to procure the biomass potentials (Verkerk et al. 2010b). For the medium mobilisation scenario 24,000 forwarders, 17,000 harvesters, 17,000 timber trucks and 4,400 chip trucks, 4,200 chippers or crushers, 1,300 fellerbunchers and 700 excavators would be necessary (Figure 4.4). It has to be noted, that there are several optional supply chains available especially for energy biomass (e.g. bundling of logging residues or supply of loose residues and crushing at the plant). Their man power need, however, does not differ markedly from the supply chain presented here. If centralised crushing were used, the number of chippers would decrease. If the loose residues were transported to the plant for crushing, the number of trucks would increase due to lower pay load of residues compared with chips.

Similar to the availability of skilled labour and machinery, also procurement costs may pose restrictions to the realistic biomass potential (Verkerk et al. 2010b). However, procurement costs were calculated for all EU countries, mainly due to a lack of data. The effect of procurement costs on



**Figure 4.4.** Needed number of machines for extraction/procurement of forest biomass.



**Figure 4.5.** The impact of procurement costs on the potentials of logging residues from final fellings for different mobilisation scenarios in 2030 for North Karelia, Finland. Source: Verkerk et al. (2010a).

the potentials was tested by estimating region-level cost-supply curves for logging residues from final fellings in the province North Karelia in Finland as an example. The biomass potentials that were estimated for this region in the low, medium and high mobilisation scenarios in 2030 were 364,000; 725,000 and 844,000 m<sup>3</sup> per year, respectively. The impact of procurement costs in different mobilisation scenarios was studied in North Karelia by assuming the current size distribution of the heat and power plants using forest chips, but the potentials according to the three mobilisation scenarios in 2030 (Figure 4.5). The lower potential estimated in the low mobilisation scenario would result in an increase of about 10% of the supply costs when 300,000 m<sup>3</sup> per year was procured compared to the potential in the medium mobilisation scenario. The cost difference between the medium and high mobilisation scenario is much smaller due to a smaller difference in the potentials.

#### 4.4 Discussion

In addition to the uncertainties related to the biological production of forests, there are also uncertainties related to the constraints that affect wood supply (Verkerk et al. 2011). Firstly, whereas constraints concerning some types of forest biomass are known in some regions in Europe, the knowledge for the other biomass types or regions is missing. Our estimations for environmental, technical and social constraints are to a large extent based on Nordic experiences with biomass harvesting and these have been extrapolated to the rest of EU. There is still a lack of relevant

research results for the various European regions and recommendations for production and harvest of residues, stumps and other woody biomass are generally not yet available. Secondly, although multiple constraints on wood supply and mobilisation have been identified, it is not always possible to quantify these constraints. An example in our study relates to the availability of wood from small-sized forest holdings. The relationship between size of forest holdings and wood availability is known, but there is no empirical data at the European level. Our sensitivity analysis indicated that it could be an important factor for wood supply, as it affects the supply of all forest biomass types altogether. Another important constraint is related to the costs of biomass supply. Future research is needed to assess the economical potential of wood from forests utilising spatial data on end-use facilities and transport networks.

Looking at the whole wood resource balance in the EU, there is a risk that the demand of woody biomass (both for industrial and energy uses) will exceed the supply from forests and outside forests (Mantau 2010). It is, however, possible to supply enough wood, but this requires a comprehensive strategy at the EU level on support measures for technology development and subsidies for the supply and use of biomass. To overcome the constraints of wood mobilisation a large number of policy measures has been suggested (Prins 2010).

## References

- Anttila, P. & Verkerk, H. 2010. Forest energy resources in the EU. In: Forest Bioenergy 2010 - Book of proceedings. FINBIO Publications 47. FINBIO - The Bioenergy Association of Finland, Jyväskylä. p. 63-68.
- Mantau, U. 2010. Is there enough wood for Europe?. pp 19-34. in: EUwood – Final report. Hamburg/Germany, June 2010. 160 p.
- Prins, K. 2010. Policy options for more wood: Strategies and recommendations for a sustainable wood mobilisation. pp 108-126. in: EUwood - Final report. Hamburg/Germany, June 2010. 160 p.
- Torén, J., Wirsenius, S., Anttila, P., Böttcher, H., Dees, M., Ermert, J., Paappanen, T., Rettenmaier, N., Smeets, E., Verkerk, P.J., Vesterinen, P., Vis, M.W. & Woynowski, A. 2011. Biomass Energy Europe. Executive Summary, Evaluation and Recommendations. 82 p.
- Verkerk, P.J., Eggers, J., Anttila, P., Lindner, M. & Asikainen, A. 2010a. Potential biomass supply from forests 2010 - 2030. In: Mantau, U. (ed.). EUwood - Real potential for changes in growth and use. p. 71-96.
- , P.J., Anttila, P., Lindner, M. & Asikainen, A. 2010b. The realistic supply of biomass from forests. In: Mantau, U. (ed.) EUwood - Real potential for changes in growth and use of EU forests. Final report. p. 56-79.
- , P.J., Anttila, P., Eggers, J., Lindner, M. & Asikainen, A. 2011. The realisable potential supply of woody biomass from forests in the European Union. Forest Ecology and Management 261(11): 2007-2015.

Metlan työraportteja 289: 33–33

## 5 Global forest energy resources, certification of supply and markets for energy technology (GLOENER)

Timo Karjalainen, Perttu Anttila, Antti Asikainen, Yuri Gerasimov, Juha Laitila, Arvo Leinonen, Eija Alakangas, Martti Flyktman, Veli-Pekka Heiskanen, Jyrki Raitila, Matti Virkkunen, Camilla Wiik, Lassi Linnanen, Jussi Heinimö, Tuomas Helin, Anne Hämäläinen, Marjukka Kujanpää, Mirja Mikkilä, Virgilio Panapanaan, Tapio Ranta ja Risto Soukka

### Tiivistelmä

Kansainväliset sitoumukset kasvihuonekaasupäästöjen hillintään ja pyrkimykset öljyriippuvuuden pienentämiseksi ovat vahvistaneet biomassan asemaa merkittävimpänä uusiutuvan energian lähteenä. Puubiomassan hyödyntämiseen liittyvästä osaamisesta on muodostunut mahdollisuus suomalaisille kone-, laite- ja järjestelmätoimittajille teknologian siirtoon uusille markkinoille. Kasvavien markkinoiden hyödyntäminen edellyttää suomalaisilta aluekohtaista olosuhde- ja markkinaosaamista. Hankkeessa on arvioitu energiantuotantoon käytettävissä olevan metsäbiomassan määrää, tuotannon kestävyyttä ja sertifiointitilannetta. Lisäksi tavoitteena on ollut avata uusia markkinoita ja liiketoimintamahdollisuuksia suomalaiselle bioenergiateknologialle nopeasti kehittyvillä markkinoilla Etelä- ja Pohjois-Amerikassa sekä Luoteis-Venäjällä. Suomalaisten teknologiantoimittajien käyttöön on koottu ja analysoitu tietoa kohdealueiden energiasektoreista, polttoraaka-ainevaroista, ja infrastruktuurista.

### Abstract

The role of bioenergy as one of the renewable energy sources has increased substantially due to international agreements to mitigate greenhouse gas emissions, and attempts to reduce dependence on non-renewable energy sources. Wood-based energy, including forest biomass fuels, are opportunities for Finnish suppliers of machines, equipment and systems in technology transfer for new and developing markets. This requires region specific knowledge about conditions and markets. Availability of forest biomass to energy production, sustainability of bioenergy production and certification situation has been analysed in this project which also aimed at finding new markets and business opportunities for the Finnish bioenergy technology and expertise in rapidly growing markets in South and North America, and Northwest Russia. Gathered information and analysis about energy sector, forest energy potentials and infrastructures from the target regions are hoped to help Finnish technology suppliers to succeed in the competition.

Artikkeli ladattavissa osoitteessa:

[http://tekes.episerverhosting.com/Julkaisut/climbus\\_business\\_opportunities\\_in\\_the\\_mitigation\\_of\\_climate\\_change.pdf](http://tekes.episerverhosting.com/Julkaisut/climbus_business_opportunities_in_the_mitigation_of_climate_change.pdf) (sivut 232–250)

## Tuotanto ja kasvatus

Metlan työraportteja 289: 34–46

### 6 Kasvatusmetsien integroidun aines- ja energiapuun korjuu ja puuntuotannolliset vaikutukset

Juha Nurmi, Paula Jylhä, Otto Läspä, Tommi Räisänen ja Antti Wall

#### Tiivistelmä

Hankkeen tavoitteena oli energiapuun korjuun lisääminen kasvatushakkuilla vaarantamatta kasvupaikan puuntuotoskykyä. Hanke tuotti tietoa energiapuun korjuumenetelmistä ja raaka-aineen laadusta eri kehitysvaiheissa olevista kasvatusmetsistä. Raportti antaa tietoa hakkuumenetelmien vaikutuksesta hakkuutähteen tilajärjestykseen ja tähteen määrään sekä peittävyiden vaikutuksista kasvupaikan ravinnevirtoihin.

#### Abstract

The goal was to enable the increase the recovery of forest biomass from thinnings without endangering the site productivity. The project has produced information on energywood procurement methods and feed stock characteristics from stands of various ages. The report at hand provides information on spatial distribution of harvesting residues, and on the volume as well as on the effects of ground cover on the site specific nutrient flows.

#### 6.1 Johdanto

Metsänhoidon päätavoitteena on yleensä järeän puun tuottaminen metsäteollisuuden tarpeisiin. Sen vuoksi metsiä harvennetaan kaksi tai jopa kolme kertaa kiertoajan kuluessa. Harvennuspuuta korjataan lähinnä kuitu- ja energiapuuksi sekä saha- ja levyteollisuuden raaka-aineeksi. Metsänhoidollinen ensiharvennustarve on 300 000 ha vuodessa, mutta 2000-luvulla ensiharvennukset ovat jääneet selvästi tämän tason alle. Syynä ovat korkeat hankintakustannukset, jotka johtuvat pienestä rungon koosta ja hakkuukertymästä. Lisäksi ensiharvennuspuun puuteknisiä ominaisuuksia pidetään massa- ja paperiteollisuuden kannalta epäedullisina.

Pieniläpimittaisen energiapuun korjuu taimikon raivauksilta ja ensiharvennuksilta ja niihin liittyvät menetelmät ovat jokseenkin vakiintuneita. Energiapuun hankinnassa väliharvennukset ovat toistaiseksi jääneet vielä täysin hyödyntämättä. Esimerkiksi vuonna 2007 Suomessa tehtiin ensiharvennuksia 205 700 ha kun vastaava väliharvennusten pinta-ala oli 209 800 ha. Kuusen osuus väliharvennuksista oli 56 600 ha. Ainakin pinta-alanäkökulmasta myöhemmät harvennukset sisältävät huomattavan energiapuupotentiaalin hakkuutähteen tarjoajana.

Harvennusemetsissä syntyy vuosittain 5 milj. kuivatonta korjuukelpoista hakkuutähdetä, joka vastaa energiasisällöltään 25 TWh:ia. Neljännes tästä määrästä (6,26 TWh) on kerättävissä havupuustojen harvennuksista. Vastaava lehtipuun energiasisältö on ainoastaan 1 TWh. Kertymät ovat likimain samat eri harvennuseroilla, mutta suurimmaksi kertymä on arvioitu kuusivaltaisten puustojen toisella harvennuskerralla. Energiapuun korjuuta myöhemmiltä harvennuksilta on kuitenkin pidetty liian riskialttiina puuston myöhemmän kehityksen kannalta, vaikka näyttöä puuntuotoskyvyn heikkenemisestä ei ole.

Puunkorjuun aiheuttamista ympäristövaikutuksista keskeisimpiä kysymyksiä ovat ravinteiden huuhtoutuminen kasvupaikalta ja kasvupaikan viljavuuden säilyminen. Suomessa puunkorjuun vaikutus kasvupaikan viljavuuteen tunnetaan puutteellisesti. Puunkorjuun yhteydessä kasvupaikalta poistuu ravinteita ja toisaalta hakkuutähteiden sisältämät ravinteet ovat potentiaalinen kasvupaikan ravinnelähde. Toisaalta ravinteet saattavat huuhtoutuessaan aiheuttaa ongelmia ympäristölle. Siten hakkuutähteen sisältämät ravinteiden määrät, ravinteiden vapautuminen hakkuutähteestä ja se, miten suuri osa puustosta voi hakkuutähteestä vapautuvia ravinteita hyödyntää ovat avainasemassa selvittäessä puunkorjuun ympäristövaikutuksia.

## 6.2 Aineistot ja menetelmät

Hankkeen aineistot koostuivat isosta joukosta harvennusemetsiköitä, missä puulaji, kehitysluokka, puuston järeys ja maaperä vaihtelivat paljon. Käytössä oli myös laaja valikoima korjuuteknologiaa ja tutkimusmenetelmiä aikatutkimuksista kannattavuuslaskelmiin. Tulosten tarkastelun yhteydessä annetaan kunkin teeman yhteydessä tarkempi kuvaus käytetyistä menetelmistä ja aineistoista.

## 6.3 Tulokset

### 6.3.1 Karsinnan ja katkonnan vaikutuksista energiapuukertymään nuorten kasvatusmetsien hakkuissa

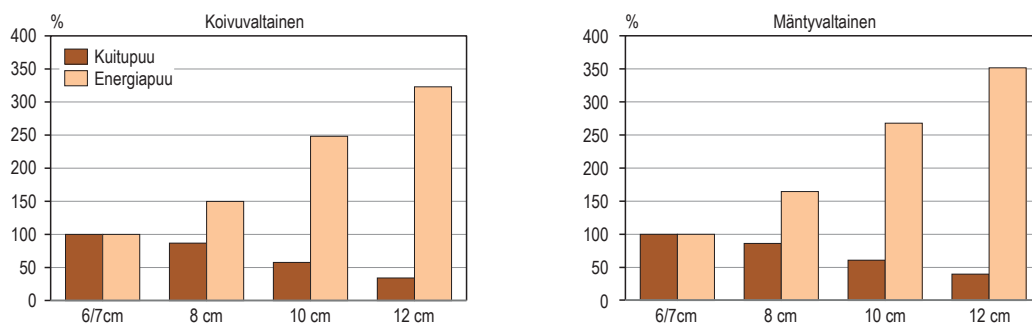
Päätähakkuiden latvusmassan ja kantojen ohella nuorten metsien harvennusenergiapuun on tärkein metsistämme saatava energian lähde. Päätähakkuiden energiapuukertymien arviointi on suhteellisen yksinkertaista, sillä koko puuston latvusto tai kannot voidaan lukea kertymäpotentiaaliin kuuluvaksi, eikä sen suuruuteen vaikuttavia metsänhoidollisia tekijöitä juurikaan ole olemassa. Nuorten metsien harvennushakkuissa sen sijaan voidaan erilaisilla katkonnan ja karsinnan vaihtoehtoilla vaikuttaa hakkuupoistuman jakautumiseen ainespuuksi, energiapuuksi ja metsään jääväksi hakkuutähteeksi.

Nuorten kasvatusmetsiköiden ensiharvennuksissa voidaan hakkuun kannattavuuden parantamiseksi korjata kuitupuun lisäksi myös energiapuuta. Tällöin kokonaiskertymä hakkuussa muodostuu suuremmaksi kuin kuitupuuhakkuussa, jossa siis suuri osa hakkuukertymän biomassasta jää hakkuualalle. Riittävän ravinteikkaista mänty- ja koivuvaltaisista nuorista kasvatusmetsiköistä voidaan nykyisten energiapuukorjuusuositusten mukaan harvennushakkuun yhteydessä korjata runkopuun lisäksi myös latvusmassaa. Tällöin kokonaishakkuukertymän jakautumisen kuitu- ja energiapuuksi määrää ainespuun minimiläpimitta, joka voi olla esimerkiksi 6 cm männyllä ja 7 cm koivulla ja kuusella (Räisänen 2011).

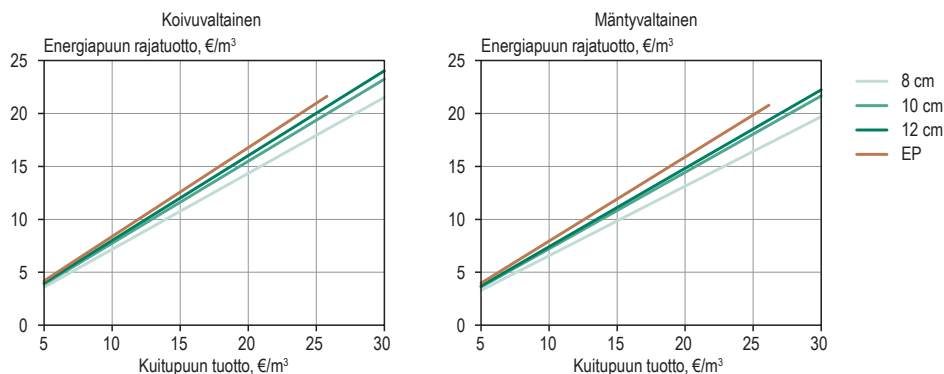
Kuitupuun voimakas hintavaihtelu yhdessä energiapuun hinnan vaihtelun sekä korjuutukien kanssa voi johtaa tilanteisiin, joissa energiapuusta saatava hakkuutulo onkin suurempi tai lähes yhtä

suuri kuin kuitupuun tuotto. Tällaisissa tilanteissa voi olla kannattavaa joko kasvattaa ainespuun (kuitupuun) minimiläpimittaa, jolloin suurempi osa hakkuukertymästä muodostuu energiapuusta tai vaihtoehtoisesti voidaan koko leimikko korjata energiapuuna. Kuvassa 6.1 on esitetty ainespuun minimiläpimitan muutoksen vaikutukset tyypillisten koivu- ja mäntyvaltaisten nuorten kasvatusmetsiköiden ensiharvennuksissa. Suhteelliset kertymät on laskettu Keski-Pohjanmaan VMI10-aineistosta johdettujen keskimääräisten metsiköiden pohjalta siten, että noin 1800 rungon hehtaari-itiheydestä on poistettu reilut 40 % runkoluvusta. Pienimmällä kuitupuun minimiläpimitalla tilavuuskohtaisesta kokonaishakkuukertymästä 27 % on energiapuuta koivikossa ja 24 % männikössä. Kuitupuukertymä siis pienenee ainespuun minimiläpimittaa kasvatettaessa ja vastaavasti energiapuukertymä kasvaa rajusti sen ollessa jo reilusti yli puolet kokonaiskertymästä minimiläpimitalla 10 cm. Tämänkaltaisessa integroidussa hakkuussa on huomioitava myös kokonaiskertymän (kuitu- ja energiapuu yhteensä) kasvu ainespuun minimiläpimitan mukaan. Koska kuitupuuosuus rungosta lyhenee minimiläpimitan kasvaessa, vähenee myös hakkuussa karsiutuneiden oksien määrä. Tällöin suurempi osuus latvuksesta jää energiapuuksi korjattavaan latvakappaleeseen. Kokonaiskertymä verrattuna pienimpään minimiläpimitaan on männikössä 5 % suurempi 8 cm:n minimiläpimitalla, 11 % suurempi 10 cm:n ja 16 % suurempi 12 cm:n minimiläpimitalla.

Ainespuun minimiläpimitan kasvattamisen mielekkäisyys hakkuussa riippuu kuitupuusta saatavasta tulosta. Koska kuitupuun hintavaihtelu on suuri, yhtä yleispätevää lukua energiapuun rajahinnalle ei voida laskea. Kuvassa 6.2 on esitetty tilavuuskohtainen minimituottovaatimus (rajatuotto)



**Kuva 6.1.** Kuitu- ja energiapuun suhteellinen kertymä eri ainespuun minimiläpimitoilla. Energiapuu sisältää oksat ja männyn neulasat kuitupuuosan yläpuolelta. Kuitupuurungon pituudelta karsiutuneet oksat luetaan metsään jääväksi hakkuutähteeksi. Jos kuitupuuta ei korjata ollenkaan, energiapuukertymä kasvaa 424 % koivikossa ja 491 % männikössä verrattuna minimiläpimitaan 6/7 cm.

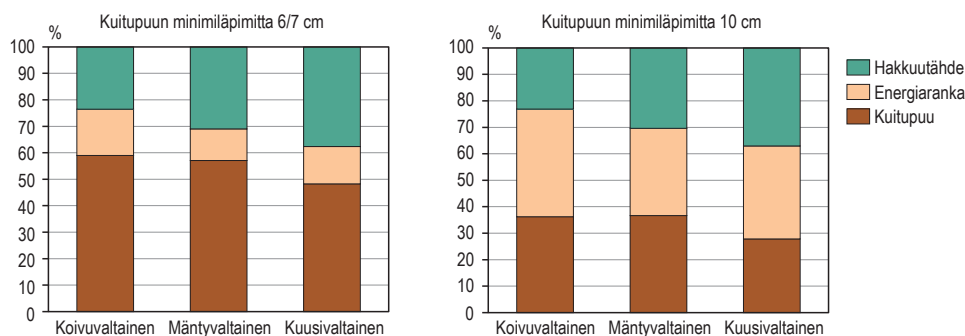


**Kuva 6.2.** Energiapuun rajatuotto ainespuun minimiläpimitan kasvattamiselle suhteessa kuitupuun tuottoon normaalilla ainespuun minimiläpimitalla (6/7cm). Kuvan käyrät osoittavat tilavuuskohtaisen minimituottovaatimuksen energiapuulle, jos kuitupuun minimiläpimittaa kasvatetaan 8, 10 tai 12 senttiin. Violetti katkoviiva (EP) osoittaa energiapuun tuottovaatimuksen, kun koko hakkuupoistuma luetaan energiapuuksi, eli kuitupuuta ei korjata hakkuussa lainkaan.

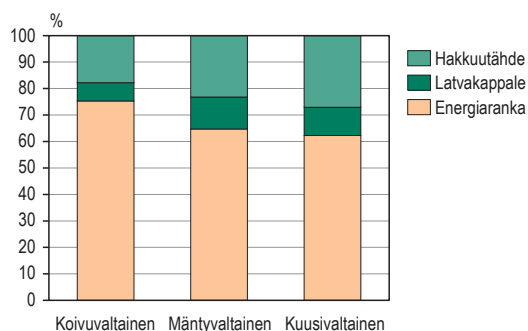
energiapuulle kuitupuun tuoton suhteen. Vertailupohjana on käytetty hakkuun tuottoa kun ainespuun minimiläpimita on 6 cm (mänty) tai 7 cm (koivu ja kuusi). Kuvan 6.2 käyrät osoittavat vähimmäisvaatimuksen energiapuusta saatavalle tulolle, jolla ainespuun minimiläpimitan kasvattaminen kannattaa, tai jolla vaihtoehtoisesti koko hakkuupoistuma kannattaa korjata energiapuuksi. Siinä tapauksessa kuitenkin energiapuujaakeeseen luettaisiin koko hakkuupoistuman latvusmassa, mikä ei nykyisten energiapuukorjuuohjeiden mukaan ole suositeltavaa.

Jos nuoren kasvatusmetsikön hakkuu tehdään leimikolla, jolle ei suositella kokopuun korjuuta, voidaan hakkuukertymää kasvattaa korjaamalla kuitupuun lisäksi karsittua rankaa energiapuuna. Tässä tapauksessa koko latvus jää karsiutuneena hakkuualalle, joten tällainen hakkuu voidaan suorittaa karuimmillakin kasvupaikoilla ja kuusivaltaisilla leimikoilla. Kuvassa 6.3 on esitetty suhteelliset hakkuukertymät koivu- mänty- ja kuusivaltaisten nuorten kasvatusmetsiköiden harvennushakkuissa. Kertymälaskennat perustuvat samaan lähdeaineistoon ja menetelmään kuin edellä esitettiin. Kuitupuun minimiläpimitalla 6/7cm energiarankaa korjaamalla saadaan kertymää lisättyä noin 20 % männikössä ja noin 30 % koivikossa ja kuusikossa verrattuna pelkkään kuitupuun korjuuseen. Kuitupuun minimiläpimitaa kasvattamalla 10 cm:iin energiaranka muodostaa jo suurimman osan kuitu- ja energiapuun tilavuuskertymästä. Toisin kuin kokopuukorjuussa, ainespuun minimiläpimitan kasvattaminen kuitu- ja rankahakkuussa ei lisää kokonaiskertymää ollenkaan eikä myöskään energiapuukertymää yhtä rajusti, joten ainespuun minimiläpimitan kasvattamisen kannattavuusraja on huomattavasti lähempänä kuitupuun tuottoa. Esimerkiksi minimiläpimitan kasvattaminen 6/7 cm:stä 10 cm:iin edellyttäisi tässä esitetyissä hakkuissa energiapuun korjuun kannattavuuden rajahinnaksi vähintään noin 92–93 % kuitupuun hinnasta. Jos koko harvennuspöystuman runkopuu korjattaisiin energiapuuksi, pitäisi siitä saatavan tuoton olla vähintään yhtä suuri kuin kuitupuusta saatava tuotto (Räisänen & Nurmi 2011).

Tiheiden ja pienpuustoisten nuorten metsien harvennushakkuut voivat olla pienen kuitupuukertymän vuoksi kannattavinta hakata puhtaana energiapuuhakkuuna. Siten harvennuskertymän runkopuu voidaan hakata karsittuna rankana. Karsitun rangan lisäksi kertymää voidaan lisätä korjaamalla myös latvakappaleet kuljetuspituuteen katkotun karsitun runkopuun yläpuolelta. Edellisiä esimerkkejä pienipuustoisempien ja tiheämpien (noin 2 100 runkoa/hehtaari) nuorten kasvatusmetsiköiden energiapuuharvennusten suhteellisia kertymiä on esitetty kuvassa 6.4. Latvakappaleiden tuoma energiapuukertymän lisäys jää koivuvaltaisen metsikön energiapuuharvennuksessa vain noin 10 %:iin – männikössä ja kuusikossa kertymän lisäys on noin 20 %. Latvusmassan lisääminen energiapuujaakeeseen paitsi kasvattaa kokonaiskertymää, myös vaikuttaa energiapuusta saatavan hakkeen laatuun ja mahdollisesti hakkuun tuottavuuteen. Runkopuuta ilmavamman latvusmassan



**Kuva 6.3.** Energiarangan, kuitupuun ja hakkuutähteen suhteelliset kertymät kahdella eri ainespuun minimiläpimitalla. Koko latvus ja pienimmät puut ( $d_{1,3} < 5\text{ cm}$ ) luetaan kuuluvaksi hakkuutähteeseen. Kertymälaskennassa käytännön minimiläpimitana energiarangalla oli 3 cm.



**Kuva 6.4.** Energiapuun ja hakkuutähteen suhteellinen kertymä kokonaishakkuupoistumasta. Energiaranka on karsittua runkopuuta ja latvakappaleet kuljetuspituuteen katkotun energiarangan yläpuolelle jäävien oksallisten latvakappaleiden kertymä. Hakuutähde muodostuu siten karsitusta latvuksesta ja hakkuukertymän pienimmistä puista ( $d_{1,3} < 5$  cm).

vaikutus metsäkuljetuksen tuottavuuteen on myös syytä ottaa huomioon arvioitaessa eri hakkuutapojen kokonaiskannattavuutta.

### 6.3.2 Joukkokäsittely ja metsäkuljetuksen tuottavuus

Joukkokäsittelyn tuottavuutta verrattiin normaaliin hakkuutapaan männyn ensiharvennuksella aikatutkimuksen menetelmin. Vertailussa käytetyt hakkuutavat olivat normaali yksinpuin hakkuu (YPH), joukkokäsittely ajouralla (JK1) sekä joukkokäsittely kannolla (JK2), missä hakkuutähdeiden oli tarkoitus jäädä levälleen palstalle. Koepuuston muodosti 30 vuotias puhdas 3,4 ha:n mänty-leimikko. Leimikko jaettiin kuuteen palstaan, jolloin kukin hakkuumenetelmä sai kaksi palstaa. Leimikon runkoluku oli 1 850–2 400 kpl/ha keskimääräisen runkotilavuuden ollessa 56 litraa. Hakkuukokeen yhteydessä poistui 3 471 runkoa. Hakkuukoneena oli Timberjack 870 varustettuna JD745 kouralla ja joukkokäsittelykypälillä.

Joukkokäsittelytaakkojen runkoluku vaihteli välillä 1–4 ja koealojen keskiarvon ollessa 1,8–2,0 runkoa/taakka. Tästä johtuen kaato ja karsintavaiheitten tuotos parani huomattavasti. Joukkokäsittelymenetelmät olivatkin 28–35 % normaalihakkuuta tuottavampia. Tämä tarkoittaa sitä, että joukkokäsittelymenetelmillä hakattiin 42–58 runkoa, so. noin 2,7 m<sup>3</sup>/h enemmän tehottunnissa kuin perinteisellä menetelmällä (Taulukko 6.1). Voidaankin olettaa, että taakassa olevien runkojen määrää tulisi nostaa tässä havaituista määristä. Näin saataisiin hakkuukoneen joukkokäsittelyominaisuuksia hyödynnettyä täysmääräisesti.

Ajokoneen tuottavuus kuitupuun ajossa oli 442 pölkyä tehotunnissa. Joukkokäsittelyjen jäljiltä luvut olivat 388 (JK1) ja 279 (JK2). Vastaavat luvut energiapuun osalta olivat 427, 485 ja 329. Kun

**Taulukko 6.1.** Tehoajan menekki ja jakautuminen eri hakkuumenetelmillä.

Menetelmä	Kaato	Prosessointi	Puomi sisään	Siirtyminen	Puuston raivaus	Yhteensä
	s/runko					
YPH	14.5	10.9	1.2	2.7	4.0	33.3
JK1	12.8	7.3	0.4	2.9	0.6	24.0
JK2	11.1	6.6	1.2	2.3	0.5	21.6
	%					
YPH	43.6	32.8	3.5	8.1	12.0	100.0
JK1	53.2	30.4	1.6	12.1	2.7	100.0
JK2	51.2	30.5	5.4	10.8	2.1	100.0

**Taulukko 6.2.** Kuitu- ja energiapuun metsäkuljetuksen tuottavuus 100 metrin ajomatalla eri hakuumenetelmien jäljiltä.

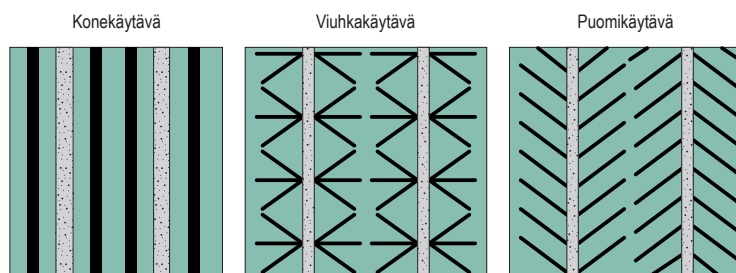
Menetelmä	Kuitupuun ajo pölkkyä / h	Energiapuun ajo pölkkyä / h	Kokonais tuottavuus m <sup>3</sup> /h
YPH	442	427	13.3
JK1	388	485	14.3
JK 2	279	329	10.8

tarkastellaan ajotyön kokonaistuottavuutta yhdistämällä aines- ja energiapuun metsäkuljetus, oli joukkokäsittely ajouralla (JK1) tehokkain JK2:n ollessa kolmesta menetelmästä hitain (Taulukko 6.2). Syy ajotyön hitauteen JK2 menetelmän jäljiltä johtuu siitä, että kannolle puinti hajauttaa pölkkyt laajemmalle alueelle kuin kahdessa muussa menetelmässä. Alentunut tuottavuus kuitenkin kompensoituu hakkuukoneen suuremmalla tuottavuudella ja sillä, että hakkuukoneen yksikköhinta on ajokonetta suurempi (Nurmi & Lehtimäki 2011).

### 6.3.3 Geometriset harvennustavat ensiharvennuksessa

Kokeessa testattiin käytännön hakkuukokeella Ruotsissa simuloinneissa lupaavia tuloksia saaneita geometrisia harvennustapoja. Maastokoe suoritettiin nuorena mäntyvaltaisessa metsikössä, jossa keskimääräinen rinnankorkeusläpimitta oli 9 cm ja runkoluku 2 400 runkoa/ha. Kolme erilaista geometrista harvennustapaa, (viuhkakäytävää, puomikäytävää ja konekäytävää) verrattiin perinteiseen harvennukseen, jossa runko korjattiin katkottuna energiarankana. Ensimmäisessä tavassa puut poistettiin vain ajouralta ja 10 m välein viuhkan muotoon ajouralta tehtäviltä kourakäytäviltä, joita tehtiin kolme ajouran molemmin puolin. Täten 1,5 m leveitä ja 10 m pitkiä käytäviä tuli jokaiseen pysähdyspaikkaan yhteensä kuusi: kaksi takaviistoon, kaksi sivuille ja kaksi etuviistoon. Toisessa tavassa puut poistettiin samoin vain ajouralta ja kourakäytäviltä, joita tässä menetelmässä tehtiin 3 m välein, yksi ajouran molemmin puolin 40 asteen kulmassa menosuuntaan. Kolmannessa tavassa puut poistettiin vain ajourilta ja samansuuntaisilta, erillisiltä 3,5 m levyisiltä konekäytäviltä. Tässä menetelmässä harvesteri operoi ajourilla ja konekäytävillä, kuormatraktori vain ajourilta (Kuva 6.5).

Saadut tulokset laskettiin tuoretonneina tehotuntia kohden. Käytetyistä menetelmistä pelkästään harvesterin työn osalta paras tulos saavutettiin perinteisellä harvennusmenetelmällä (5,96 t/h). Sitä seurasivat pienellä erolla puomikäytävämenetelmä (5,91 t/h), viuhkakäytävä (5,81 t/h) ja konekäytävä (5,23 t/h). Kun tarkastellaan metsäkuljetuksen sisältävää koko korjuuketjun tuottavuutta, osoittautui puomikäytävä (3,89 t/h) tuottavimmaksi menetelmäksi. Lähes samaan päästiin perinteisellä menetelmällä (3,76 t/h). Viuhkakäytävämenetelmässä koko ketjun tuotos oli 3,62 t/h ja konekäytävässä 3,51 t/h. Puomikäytävä- ja viuhkakäytävämenetelmiä on tulosten perusteella pidettävä lupaavina vaihtoehtomenetelminä. Uusia maastokokeita tulisikin järjestää niiden



**Kuva 6.5.** Tutkimuksessa käytetyt geometriset hakkuutavat. Ajourat on esitetty rasteroituna, konekäytävä sekä kaksi puomikäytävä mallia mustalla.

edelleen kehittämiseksi kuitenkin niin, että puustot olisivat vaihtelevia. Erityisesti tiheämpipuustoiset leimikot olisivat mielenkiintoisia tutkimuskohteita. Huomiota tulee kiinnittää myös kuljetajan harjaannuttamiseen ko. menetelmiin ennen maastokokeita.

Vastoin odotuksia uudet vaihtoehtoiset menetelmät osoittautuivat vähemmän korjuuvaurioita tuottaviksi kuin perinteinen menetelmä. Viuhkakäytävämenetelmässä hakkuun ja metsäkuljetuksen yhteenlaskettu vaurioiden lukumäärä oli koealaa kohti keskimäärin 26 vauriota. Puomikäytävän tulos oli 26, konekäytävän 44 ja perinteisen harvennuksen 30 vauriota.

#### **6.3.4 Karsimaton puu sellutehtaan raaka-aineena**

Aines- ja energiapuun korjuun integrointia pidetään lupaavana keinona alentaa pienpuun hankintakustannuksia. Tavoitteena on alentaa kokonaishankintakustannuksia erilliseen aines- ja energiapuun hankintaan verrattuna (Jylhä & Laitila 2007, Kärhä ym. 2011). Tässä osatutkimuksessa selvitettiin karsimattoman ensiharvennumännyn soveltuvuutta integroituun sellun ja energian tuotantoon sulfaattisellutehtaassa. Puunhankintaa voitaisiin yksinkertaistaa, jos sellu- ja energijakeiden erottelu tapahtuisi vasta kuorimossa. Tällöin ei tarvittaisi myöskään erillistä energijakeen haketusta. Huomiota kiinnitettiin erityisesti kokopuun paalauksen mahdollisuuksiin ensiharvennumännyn korjuuratkaisuna. Tutkimuksessa otettiin huomioon tuotantoprosessin (ml. puunhankinta) kustannustehokkuuden lisäksi teknisiä ja ympäristönäkökohtia. Aikaisempi tutkimus (Jylhä & Keskinen 2006) osoitti, että paalattua mäntyosapuuta pystytään käyttämään sulfaattisellun raaka-aineena massan laatua heikentämättä, kun karsimaton puu kuoritaan seoksena karsitun ensiharvennumännyn kanssa. Karsimaton puu voi kuitenkin lisätä kuituhävikkiä tuotantoprosessin eri vaiheissa.

Puunhankintakustannusten lisäksi myös sellun tuotantokustannukset otettiin huomioon arvioitaessa vaihtoehtoisten puunkorjuumenetelmien kilpailukykyä ainespuun ja energiapuun hankinnassa. Mittarina käytettiin suhteellista puustamaksukykyä (jäännösarvoa) tehtaalta kannolle. Tutkimuksessa oletettiin, että kokopuu kuoritaan ja haketetaan seoksena ensiharvennuksilta peräisin olevan karsitun kuitupuun kanssa. Puustamaksukyky tehtaalla laskettiin materiaalitasemallilla. Jäännösarvo kannolla saatiin vähentämällä tehtaalla saadusta jäännösarvosta puunhankintakustannukset. Laskelmat tehtiin kolmelle keskisuomalaiselle ensiharvennumännikölle, joissa poistetun puuston rinnankorkeusläpimitta oli 6–12 cm. Vertailut puunhankintaketjut perustuivat tavaralajihakkuuseen, kokopuuhakkuuseen ja kokopuun paalaukseen. Kokopuun paalauksen tuottavuustiedot saatiin kokopuupaalaimen toisella prototyypillä tehdystä tuottavuustutkimuksesta. Tutkimuksessa käytetyt aineistot ja menetelmät on kuvattu tarkemmin Jylhän (2011) tutkimuksessa.

Viimeaikaisella sellun ja energian hintasuhteella sellutehtaan puustamaksukyky heikkeni raaka-aineen energijakeen osuuden lisääntyessä. Kuitupuun loppukäyttäjän näkökulmasta tavaralajimenetelmä oli kustannustehokkain vaihtoehto, joka johti yleensä suurimpaan jäännösarvoon kannolla. Sellun hinnan lasku ja energian hinnan nousu kuitenkin paransivat kokopuuhakkuun ja kokopuun paalauksen kilpailukykyä. Alhaisilla sellun hinnoilla ja erittäin lyhyillä kuljetusmatkoilla kokopuu voi tuottaa pieniläpimittaisissa mäntyleimikoissa suuremman jäännösarvon kannolla kuin kuitupuun korjuu karsittuna (Jylhä ym. 2010). Paalausmenetelmällä pystyttiin alentamaan kokopuun kuljetuskustannuksia, mutta saavutetut säästöt metsä- ja kaukokuljetuksessa eivät kattaneet kohonneita hakkuu- ja paalaus kustannuksia. Tutkimuksessa käytetyillä oletuksilla kokopuun paalaus olisi kilpailukykyinen tavanomaisen kokopuukorjuun kanssa, mikäli kokopuupaalaimen toisella prototyypillä saavutettu tuottavuus paransi 40–60 %. Metsä- ja kaukokuljetusmatkojen piteneminen paransi kokopuupaalauksen suhteellista kilpailukykyä muihin korjuumenetelmiin verrattuna (Jylhä 2011).

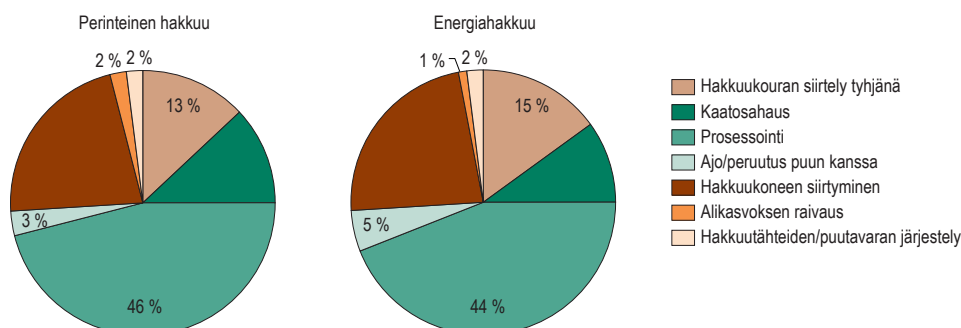
Karsimattoman puun korjuu lisää ravinnehävikkiä, mikä voi heikentää kasvupaikan puuntuotuskykyä. Sen vuoksi kokopuumenetelmiä ei suositella karuille kangasmaille ja soille, joilla on ravinnepuutosten vaara. Kokopuukorjuu vähentää ajouralla maaperää suojaavan ja kantavuutta parantavan latvusmassan määrää. Lisäksi kokopuukorjuu kasvattaa hakkuukertymää, mikä puolestaan lisää ajokertoja ja kasvattaa paalausvaihtoehdossa kuormakokoa. Nämä tekijät voivat lisätä maastovaurioiden riskiä, erityisesti heikosti kantavilla turvemilla. Laskelmissa käytetyillä oletuksilla puunhankinnan aiheuttamat hiilidioksidipäästöt olivat 13–27 kg kuutiometriä kohti. Kokopuun paalaus vähensi puutavaran metsä- ja kaukukuljetusten hiilidioksidipäästöjä muihin menetelmiin verrattuna 30–39 %, mutta kuljetuksen päästövähennykset eivät kompensoineet hakkuu- ja paalustyövaiheen alhaisesta tuottavuudesta johtuvia ja siitä syystä kilpailevia menetelmiä suurempia päästöjä (Jylhä 2011).

### 6.3.5 Energiapuun korjuu kuusen väliharvennukselta

#### Yksiotehakkuukoneen työskentely

Hankkeessa tutkittiin perinteisen ainespuukorjuukaluston ja hakkuumenetelmien soveltuvuutta energiapuun korjuuseen väliharvennuksilla. Kaikki tässä mainitut väliharvennuskokeet toteutettiin yhteistyössä UPM-Kymmenen kanssa. Aluksi selvitettiin energiapuun talteenoton vaikutus hakkuukoneen tuottavuuteen ja hakkuutyön ajankäytön jakautumiseen kuusikon väliharvennuksessa. Verrattavia hakkuumenetelmiä olivat: (M1) oli ns. perinteinen hakkuu, missä puu karsitaan koneen edessä ajouralle. Toisena menetelmänä (M2) käytössä oli uudistushakkuilla vakiintunut kasoille puinti tai ns. energiahakkuu, missä runkojen karsinta tapahtuu ajouran sivussa ja hakkuutähteet jäävät kasoihin ajouran varteen. Menetelmällä M1 hakattujen koealojen pinta-ala oli 3,59 ha ja M2:lla 10,17 ha. Puuston keskitilavuus ennen hakkuuta oli 247 m<sup>3</sup>/ha ja hakkuupoistuma 55 m<sup>3</sup>/ha.

Tehoajanmenekistä lähes puolet kului prosessointiin: perinteisellä menetelmällä hakattaessa prosessoinnin osuus tehotyöajasta oli 46 %, kun taas energiahakkuussa prosessoinnin osuus oli 44 %. Kuvasta 6.6 nähdään, että ajan käyttö jakautui lähes samalla tavalla molemmissa menetelmissä. Hakkuumenetelmien välillä sen sijaan havaittiin tuottavuudessa noin 10 prosentin ero perinteisen ainespuumenetelmän hyväksi. Tehotuntituotos oli perinteisellä menetelmällä 36,2 m<sup>3</sup>/ha ja energiapuumenetelmällä 32,6 m<sup>3</sup>/ha (Sammallahti 2009).



**Kuva 6.6.** Hakkuukoneen tehoajan jakautuminen työmenetelmittain.

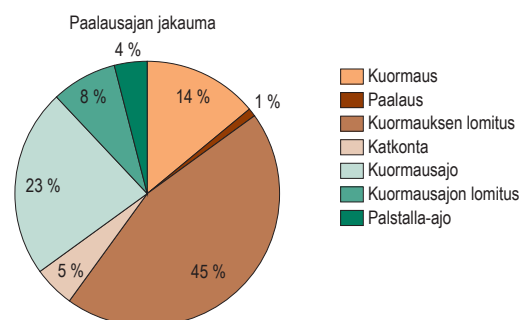
## Hakkuutähteen paalaus kuusikon väliharvennuksella

Hakkuutähteen paalausta väliharvennuksella tutkittiin samoilla koealoilla, joilla tehtiin edellä kuvattu hakkuumenetelmätutkimus. Koealojen pinta-ala oli yhteensä 8,7 hehtaaria. Paalaus suoritettiin Timberjack 1490D-paalaimella. Hakkuutähteen paalaus videoitiin ja kuvamateriaalia kertyi 10 tehotuntia.

Yhden paalin tekemiseen kului aikaa 3 min 2 s ja yhteensä paaleja saatiin koealoilta 218 kappaletta. Saanto väliharvennukselta oli 26 paalia/ha ja tuottavuus 19,7 paalia/h. Aiemmin Metsätehon tekemään uudistusalojen paalaustutkimuksen tuloksiin verrattaessa tehotuntituotos oli väliharvennuksella varsin kilpailukykyinen tämän tutkimuksen perusteella. Hehtaari saanto jäi kuitenkin huomattavasti uudistushakkuualan luvuista (84 paalia/ha).

Kuvassa 6.7 on esitetty, kuinka paalausajan jakautuu eri työvaiheiden kesken. Selvästi eniten tehotyöajasta kului kuormauksen lomitukseen (45 %). Kuormauksen lomitus työvaiheena sisältää yhtäaikaista kuormaamista ja paalaamista sekä mahdollisesti myös paalin katkonnan. Seuraavaksi eniten työajasta vei kuormausajan lomitus (23 %), jossa ajon ohella paalataan tai kuormataan.

Väliharvennukselta saadut tulokset olivat rohkaisevia. Lisäksi todettakoon, että paalainkuljettajan mielestä työ onnistui hyvin. Hän oli myös tyytyväinen tuottavuuteen ja vaurioiden vähäisyyteen. Onnistuneen paalauksen edellytyksenä mainittiin hakkuutähdekasojen hyvä muoto ja sijainti.



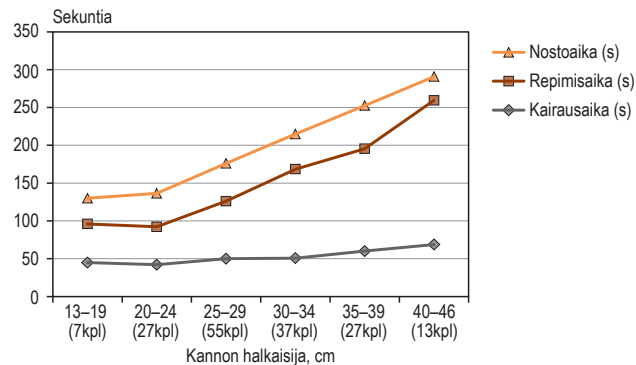
**Kuva 6.7.** Paalausajan jakauma kuusikon väliharvennuksella.

Paalaimen aiheuttamat vauriot tarkastettiin kaikista puista 8,7 hehtaarin alueelta. Paalaimesta oli aiheutunut runkovaurioita ainoastaan neljälle puulle koko alueella, mikä tekee 0,5 vauriota/hehtaari. Tämä vastaa 0,1 % jäljelle jääneestä puustosta. Vaurioiden määrä on todella alhainen, sillä saman kokeen hakkuutyö aiheutti 11,8 vauriota/hehtaari, joista  $\frac{2}{3}$  osaa oli runkovaurioita. 73 % hakkuutyön yhteydessä tulleista vaurioista oli kaatoon ja prosessointiin liittyviä (Läspä 2010).

## Kannonnosto kuusen väliharvennuksella

Väliharvennusten kannonnostokoe tehtiin samoilla koealoilla kuin edellä käsitellyt hakkuu- ja paalauskoheet, tosin huomattavasti pienemmällä pinta-alalla. MT-tyyppin kuusikko oli kooltaan 0,7 hehtaaria. Alueella oli 189 kantoa, jotka numeroitiin, paikannettiin ja joiden läpimitta mitattiin ennen niiden maasta nostamista. Kantojen halkaisija vaihteli 13 ja 46 cm:n välillä, keskimääräisen kannon läpimitan ollessa 29,8 cm.

Kannot kairattiin Timberjack 1270-harvesteriin kiinnitetyllä kantokairalla. Kairauksen aika oli 4,5 tuntia. Kantojen kairauksen jälkeen kannot irrotettiin maasta Valmet 860.1-kuormatraktorin hakkuutähdekouralla. Kantojen maasta repimiseen kului tehoaikaa 9 tuntia. Kannonostoon kulunut aika jaettiin kairaus- ja repimisaikoihin ja on esitetty kuvassa 6.8 läpimitan funktiona.



**Kuva 6.8.** Kantokaira työssä ja kannon halkaisijan vaikutus kannonnoston osa-aikoihin. Valokuva Metla/Tommi Räsänen.

Kairaamiseen käytetty aika ei ollut kovin herkkä kannon läpimitan kasvulle. Erotus kairaamisajassa pienimmän ja suurimman läpimittaluokan kannoilla on ainoastaan 24 sekuntia. Kannon repimiseen käytettyyn aikaan läpimitta puolestaan vaikuttaa selvästi enemmän. Tässä työvaiheessa erotus ajankäytössä pienimmän ja suurimman läpimittaluokan kantojen välillä on lähes 3 minuuttia. Näin ollen kannonnoston kokonaisaika on voimakkaasti riippuvainen kannon maasta repimiseen kuluneesta ajasta. Nostoaajan käyrästä havaitaan, että kannonnostoon käytetty kokonaisaika kasvaa kannon läpimitan kasvaessa lineaarisesti.

Keskimäärin yhden kannon käsittelymiseen aikaa kului yhteensä 208 s ja kantoja kertyi 22 610 kg, mikä vastaa 32 300 kg hehtaarisaintoa. Verrattaessa näitä tuloksia päätehakuualueelta kaivurilla ja kantoharalla nostettuihin huomataan kolminkertainen ajanmenekki väliharvennuksella verrattuna avohakuualueelta nostettuihin kantoihin (katso asetelma alla). Vaikka kantokaira onkin toimiva periaate, ei siihen perustuvan korjuuketjun tuottavuus ole riittävän suuri.

	Kantokaira/väliharvennus	Kantohara/avohakkuu
Ajanmenekki, s/kanto	208 s	70 s
Kertymä, kg/ha	32 300	80 000

Kannonnoston jälkeen koealueella suoritettiin vaurioinventointi, jossa tarkastettiin jäävälle puustolle aiheutuneet vauriot. Vaurioinventoinnissa selvitettiin jäävälle puustolle aiheutuneet juuristo- ja runkovauriot sekä mitattiin satunnaisella otannalla valittujen kantokuoppien koko. Juuristovaurioksi laskettiin yli 3 cm paksuisen juuren katkeaminen. 0,7 hehtaarin kokoisella koealueella vaurioita löydettiin yhteensä 20 puusta. Kaikkiaan katkenneita juuria oli 28 kappaletta, eli keskimäärin yhtä puuta kohden oli katkennut 1,4 juurta. Juuristovaurioiden lisäksi yhdessä puussa oli kantojen nostosta aiheutunut runkovaurio ja kahteen puuhun oli tullut vaurioita harvesterin tai ajokoneen pyöristä/teloista. Kannonnoston aiheuttama kuoppa mitattiin 62 kantokuopasta. Näistä mitattiin halkaisija ristimitalla sekä keskimääräinen syvyys sekä kuopan syvyyden maksimiarvo. Kuoppien keskimääräinen pinta-ala oli 3,3 m<sup>2</sup> ja syvyys 16,1 cm (Sammallahti 2010).

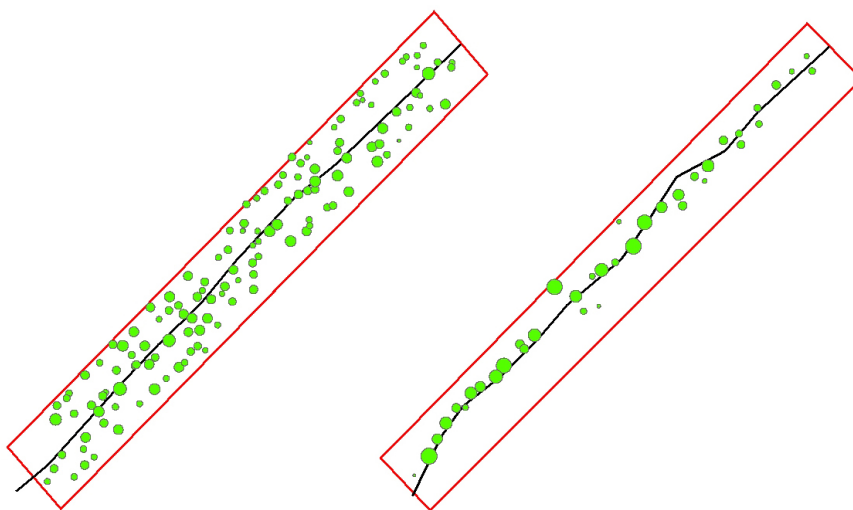
## Hakkuutähteen sijoittuminen ja peittävyys

Kasvupaikan puuntuotoskyvyn säilyminen on herättänyt huolta metsänomistajien ja metsäammatilaisten keskuudessa. Tutkimukset ovat toistaiseksi riittämättömiä sanomaan varmuudella kuinka suuri vaikutus hakkuutähteen keruulla on todellisuudessa. Kivennäismaakohteilla, joissa tyyppi on kasvua rajoittavana tekijänä, hakkuutähteen lannoittava vaikutus on huono, koska hakkuutähteet eivät lyhyellä aikavälillä luovuta tyypeä. Sen sijaan hakkuutähteet aiheuttavat maanpinnalle katteen, joka muuttaa kasojen alla lämpötiloja, kosteutta ja pintakasvillisuuden rakennetta. Tästä syystä hakkuutähteen maanpinnan peittävyys voi olla merkittävä tekijä puuntuotoskyvylle. Nykyisin yleisesti käytettävillä korjuumenetelmillä hakkuutähteet sijoittuvat ajourille. Niiden sijoittuminen ajourien väliselle alueelle vaatii hakkuutyön sopeuttamista kappaleessa 6.3.2 kuvatulla tavalla (JK2). Hakkuumenetelmän vaikutusta hakkuutähteen spatiaaliseen sijoittumiseen ja maanpinnan peittävyttä selvitetiin GPS-paikannuksilla. Hakkuutähdekasoista määritettiin peittopinta-ala ja kuinka monen rungon oksia kasoissa oli.

Taulukosta 6.3 ilmenee, että yksinpuinkorjuussa (YP) ja joukkokäsittelymenetelmässä (JK1) valtaosa hakkuutähteistä oli sijoittuneena ajouralle tai sen reunalle kun etäisyydet laskettiin ajouran keskilinjasta. Joukkokäsittelymenetelmässä (JK2) on huomioitavaa lisäksi noin kolmanneksen hakkuutähteistä sijoittuneen kauemmaksi kuin 7 metriä ajouran keskilinjasta. Tutkimustulosten mukaan ns. kannolla puinti kaksinkertaistaa maanpinnan peittävyuden. Joukkokäsittelymenetelmällä (JK1) peittävyys oli noin 6 %. Kun karsinta tehtiin kannolla (JK2), peittävyys nousi 12 %:iin (Kuva 6.9). Hakkuutähteen talteenoton ja sijoittumisen puuntuotoksellisia vaikutuksia tulisi jatkossa seurata tässä tutkimuksessa perustetuilla koelaloilla.

**Taulukko 6.3.** Hakkuutähteen jakautuminen (%) eri etäisyyksillä (m) ajouran keski-linjasta. Käytetyt hakkuumenetelmät olivat yksinpuinkorjuu (YP), joukkokäsittelymenetelmä ajouralla (JK1) ja joukkokäsittelymenetelmä kannolla (JK2).

	YP	JK1	JK2
m		%	
3	91	88	33
7	95	97	70
10	100	100	100



**Kuva 6.9.** Hakkuutähteen sijoittuminen ns. kannolle puinnissa (vasen kuva) ja normaalissa ajouralla puinnissa (oikea kuva).

## Energia- ja ainespuunkorjuun vaikutukset maan ravinteisuuteen ja puuston kasvuun männyn harvennushakkuissa

Osahankkeen tavoitteena oli selvittää männikön ensiharvennuksessa eri joukkokäsittelymenetelmien ja perinteisen korjuumenetelmän (i) korjuun jälkeistä hakkuutähteen määrää ja sijaintia (ii) hakkuutähteen vaikutusta sen alla olevan maan lämpötilaan, pintakasvillisuuteen ja maan ravinteisuuteen sekä näiden vaikutusten ajallista kestoa sekä (iii) eri puunkorjuumenetelmien vaikutusta puuston kasvuun.

Osahankkeessa mitattiin viiden vuoden ajan männyn hakkuutähteestä vapautuvien ravinteiden määriä karikepussiteknikalla ja hajoamiskokeen tuloksista on laskettu hakkuutähteestä vapautuvien ravinteiden määrät. Koe on suunniteltu 10 vuotta kestäväksi, mutta tuloksia on jo raportoitu kolmen vuoden osalta opinnäytetyössä. Tulosten mukaan yhden vuoden kuluttua hakkuusta ravinteiden vapautuminen oli hiukan nopeampaa neulasista silloin, kun hakkuutähteet ovat hakkuualalla kasoissa verrattuna siihen, että hakkuutähteet ovat levitetty maan pinnalle. Oksissa olevien ravinteiden vapautumisnopeuteen hakkuutähteen kasauksella ei ollut vaikutusta. Hakkuutähde oli typen lähteenä vähämerkityksellinen kasvupaikan puuntuotoskyvyn kannalta 5 vuoden tarkastelujaksolla. Tulosten mukaan hakkuutähteen levittäminen hakkuualalle soveltuvaa korjuumenetelmää käyttäen (JK2) ei tuo merkittävää ravinnetaloudellista hyötyä muutaman vuoden pituisella ajanjaksolla silloin kun tyyppi on kasvupaikan puuston kasvua eniten rajoittava minimitekijä.

Osahankkeessa perustettiin kokeet vuonna 2009 myös kuusikon ensi- ja kakkosharvennuksissa. Vastaavia kokeita ei ole aiemmin kuusikoihin perustettu. Näistä kokeista on saatu kahden ensimmäisen kasvukauden jälkeen tuloksia tuhka+boorilannoituksen osalta, joka osoitti lannoitteen mukana annetun boorin siirtyvän nopeasti boorinpuutoksesta kärsivään puustoon. Sen sijaan hakkuutähteestä ei ensimmäisten kasvukausien jälkeen vapautunut merkittävästi booria (Wall 2008, Wall & Hytönen 2011).

## Kirjallisuus

- Jylhä, P. 2011. Harvesting of undelimited Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) from first thinnings for integrated production of kraft pulp and energy. *Dissertationes Forestales* 133. 73 s. + osajulkaisut.
- Jylhä, P., Dahl, O., Laitila, J. & Kärhä, K. 2010. The effect of supply system on the wood paying capability of a kraft pulp mill using Scots pine harvested from first thinnings. *Silva Fennica* 44(4): 695-714.
- Jylhä, P. & Keskinen, N. 2006. Properties of bundled tree sections of young Scots pine in debarking, chipping, and pulping. *Forest Products Journal* 56(7/8):39-45.
- Jylhä, P. & Laitila, J. 2007. Energy wood and pulpwood harvesting from young stands using a prototype whole-tree bundler. *Silva Fennica* 41(4): 763-779.
- Kärhä, K., Jylhä, P. & Laitila, J. 2011. Integrated procurement of pulpwood and energy wood from early thinnings using whole-tree bundling. *Biomass & Bioenergy* 35(8): 3389-3396.
- Läspä, O. 2010. Hakkuutähteen paalaus kuusen väliharvennuksella. *Bulletin* 1012  
<http://www.forestpower.net/Bulletin.aspx?bid=1780&main=1>
- Nurmi, J. & Lehtimäki, J. 2011. Energy wood harvesting productivity of three harvesting methods in first thinning of scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Biomass & Bioenergy* 35(8):3383-3388.
- Räisänen, T. 2011. Milloin on kannattavaa siirtää kuitupuuta energiapuuksi kuusen ja männyn ensiharvennuksissa? *Bulletin* 14. <http://www.forestpower.net/Bulletin.aspx?bid=1840&main=1>

- Räisänen, T. & Nurmi, J. 2011. Impacts of changing the minimum diameter of roundwood on the accumulation of logging residue in first thinnings of Scots pine and Norway spruce. *Biomass & Bioenergy* 35( 7): 2674-2682.
- Sammallahti, K. 2009. Harvennusmenetelmän vaikutus työajan jakautumiseen kuusikon väliharvennuksella. Bulletin no. 1003. <http://www.forestpower.net/Bulletin.aspx?bid=1400&main=1>
- Sammallahti, K. 2010. Kannonnosto kantokairalla kuusen väliharvennuksella. Bulletin 1005. <http://www.forestpower.net/Bulletin.aspx?bid=1480&main=1>
- Wall, A. 2008. Effect of removal of logging residue on nutrient leaching and nutrient pools in the soil after clearcutting in a Norway spruce stand. *Forest Ecology and Management* 256: 1372-1383.
- Wall, A. & Hytönen, J. 2011. The long-term effects of logging residue removal on forest floor nutrient capital, foliar chemistry and growth of a Norway spruce stand. *Biomass & Bioenergy* 35: 3328-3334.

Metlan työraportteja 289: 47–63

## 7 Hieskoivu, haapa ja leppä energiapuuna: kasvatus, korjuu ja ominaisuudet

Jyrki Hytönen, Lasse Aro, Egbert Beuker, Pentti Niemistö, Juha Nurmi ja Anna Saarsalmi

### Tiivistelmä

Tässä tutkimuksessa selvitettiin lehtipuiden energiapuuviljelmien kustannustehokkaita perustamis- menetelmiä, biomassatuotosta ja lannoituksen vaikutusta biomassatuotokseen turvetuotannosta vapautuneilla suonpohjilla. Lisäksi tutkittiin mahdollisuutta kasvattaa etenkin turvemaiden hieskoivikoita lyhyellä 30–50 vuoden kiertoaajalla joko kokonaan energiapuuksi tai yhdistämällä niissä aines- ja energiapuun kasvatus toisiinsa. Tulosten mukaan suonpohjille saadaan syntymään tiheä hieskoivikko joko luontaisena siemennyksenä tai kylvämällä. Lannoitus lisää nuorten hieskoivikoiden biomassatuotosta merkittävästi. Hybridihaapakloonien biomassatuotos voi olla suuri, mutta kloonien välillä on merkittäviä tuotoseroja. Tulokset osoittavat myös, että harventamalla ei voida lisätä ainespuun tuotosta turvemaiden hieskoivikoissa. Hieskoivikon korkein tuotos ja kannattavuus saavutetaan 40–50 vuoden kiertoaajalla ilman harvennuksia. Keskimääräinen vuotuinen tuotos oli Pohjois-Pohjanmaalla ja Lapissa sijaitsevilla kokeilla 3–4 m<sup>3</sup>/ha ainespuuta ja sen lisäksi 1–2 m<sup>3</sup>/ha energiapuuta. Puunkorjuussa paras tuottavuus saavutetaan yhdistämällä perinteinen puunkorjuukalusto, joukkokäsittely ja puuston avohakkuu. Tällöin hakkuukoneen tuottavuus lähes kaksinkertaistuu vastaavan puuston harvennukseen nähden. Puun aisauksella ei pystytty merkittävästi lisäämään puun kuoren rikkoutumista. Aisaus ei myöskään parantanut koivun kuivumisominaisuuksia.

### Abstract

In this study biological, technical and economic possibilities of growing birch, aspen and alder for energy were investigated. On cut-away peatland areas cost-effective establishment techniques and effects of fertilization on biomass production of downy birch were studied. Growing of dense downy birch stands for energy wood or for energy and pulpwood was studied using short 30–50 year rotations. According to the results dense downy birch stands can be established on cut-away peatlands with natural regeneration or broadcast seeding. Fertilization increases considerably the biomass production of young downy birch stands. The biomass production of hybrid aspen stands can be high but there are significant differences in the biomass production between clones. In dense downy birch stands highest biomass production and profitability was obtained without thinnings. The mean annual production in Northern Ostrobothnia and Lapland was 3–4 m<sup>3</sup>/ha pulpwood and additionally 1–2 m<sup>3</sup>/ha energy wood. The best harvesting productivity was gained when conventional single grip harvester was combined with multi-tree handling capability and clear cutting. Stem strip debarking as a part of the delimiting phase of stem processing in single grip harvester work didn't increase the degree of debarking to the degree that it would have helped wood drying either in road side storage or in grapple bunches.

## 7.1 Johdanto

Energiaksi käytettävää puuta voidaan tuottaa metsänkasvatuksen pää- tai sivutuotteena. Energiapuuta tuotettaessa tavoitteena on biomassatuotoksen maksimointi melko lyhyellä kiertoaajalla. Parhaiten energiakasvatukseen soveltuvat helposti uudistuvat ja nuorena nopeakasvuiset lehtipuut. Tuotoksen ja kannattavuuden maksimoimiseksi kasvatustiheys on suuri ja kiertoaika verraten lyhyt. Tällöin puuyksilöiden koko jää pieneksi vaikka massatuotos onkin suuri. Korjuun jälkeen energiapuut uudistuisivat vesomalla ilman muita lisätoimia. Suomessa on tutkittu erityisesti ulkomaisten pajujen lyhytkiertoviljelyn perusteita (Lumme 1989, Hytönen 1996, Heino & Hytönen 2005).

Kotimaisten lehtipuulajien, kuten hieskoivun, lepän tai haavan kasvatusta energiaviljelmillä hieman pidemmällä, 10–25 vuoden kiertoaajoilla, on tutkittu vielä vähän. Turvetuotannosta vapautuu typpi-rikkaita suonpohjia 2 500–3 000 ha vuodessa. Energiatuotannon jatkaminen suonpohjilla puumaisilla energiakasveilla voisi olla vaihtoehto ruokohelven viljelylle. Vaikka kotimaisten puulajien tuotostaso on pajuja alhaisempi, ovat myös viljelmän perustamisen ja hoidon kustannukset sekä kasvatuksen riskit pienemmät. Koivun osuus puuston kokonaistilavuudesta on Suomessa 16 % (Hynynen ym. 2010). Koska tiheitä hieskoivikoita on runsaasti myös normaaleilla metsämailla, etenkin turvemaidella, kiinnostus niiden käsittelyvaihtoehtoihin on lisääntynyt. Voitaisiinko hieskoivikoita kasvattaa lyhyehköllä 30–50 vuoden kiertoaajalla joko kokonaan energiapuuksi tai yhdistää niissä aines- ja energiapuun kasvatusta toisiinsa? Toistaiseksi varsinaisten lyhytkiertoviljelmien hyödyntäminen energiapuutuotannossa on kuitenkin ollut vähäistä.

Tutkimuksissa selvitettiin koivikoiden, haavikoiden ja lepikoiden kasvatusta energiaksi. Turvemaiden hieskoivikoiden osalta tutkittiin erilaisia energia- ja ainespuukasvatuksen vaihtoehtoja ja verrattiin niiden kannattavuutta keskenään. Lisäksi selvitettiin eri puulajien ominaisuuksia energiapuuna, korjuuta (kokopuukorjuun menetelmät), varastointia (vaikutus ominaisuuksiin), ja laadunparannusta aisauksen ja pelletöinnin keinoin.

## 7.2 Aineistot ja menetelmät

### 7.2.1 Hieskoivun kasvatustieteen kehittäminen ja kasvatuksen talous

Hieskoivikon kasvatustieteen kehittäminen energia- ja ainespuun tuotannossa tutkittiin 1970- ja 1980-luvulla PERA-projektissa (Hakkila 1985) perustettujen ja säännöllisesti mitattujen harvennuskokkeiden avulla (Niemistö 1991, Niemistö & Repola 2008). Tutkimuksessa verrattiin taimikko- ja harvennushakkuuvaiheessa eri tiheyksiin harvennettujen turvemaan koivikoiden tuotosta ja kasvatuksen kannattavuutta erilaisilla kiertoaajoilla. Puunkorjuun vaihtoehdot laskelmissa olivat pelkkä energiapuunkorjuu, ainespuunkorjuu tai niiden yhdistelmä eli integroitu korjuu. Nettotulojen nykyarvojen avulla haettiin edullisimmat kasvatustieteen- ja puunkorjuumenetelmät, kun energiapuun hinta tienvarressa on 75 % kuitupuun hinnasta.

Aineistossa on 19 koemetsikköä (250 koelaita) Keski- ja Pohjois-Pohjanmaalla sekä Lapissa. Kokeista seitsemän on perustettu taimikkovaiheessa, yhdeksän energiapuuharvennuskokkeessa (pituus 8–12 m) ja loput kolme tavanomaisessa ensiharvennuskokkeessa (vrt. Niemistö 1991, 2013). Kokeesta riippuen seuranta-aika oli 20–35 vuotta ja mittausväli useimmiten 5 vuotta. Alaharvennuskäsittelyt kokeita perustettaessa olivat: voimakas, tavanomainen, lievä, hyvin lievä ja harventamaton. Osa lievästi harvennetuista koelaitoista harvennettiin toiseen kertaan 10–15 vuotta ensimmäisen käsittelyn jälkeen.

Hankkeen aikana kaikki kokeet mitattiin ja puustotunnukset sekä puiden biomassat ositteittain laskettiin kaikille mittaussajankohdille. Lisäksi laskettiin taimikonhoidon ja puunkorjuun kustannukset ja hakkuukertymät kolmella korjuumenetelmällä. Harvennusvaihtoehtoja verrattiin kovarianssianalyysin keinoin kussakin kolmessa em. kehitysvaiheessa.

## 7.2.2 Koivun kasvatus suonpohjilla

Suonpohjilla selvitettiin tiheiden hieskoivikoiden perustamista, ravinnetaloutta ja biomassatuotannon mahdollisuuksia turvetuotannon päättymisen jälkeen. Haapaveden Piipsannevalla tutkittiin tuhkalannoituksen (6 t/ha puutuhkaa) ja maanmuokkauksen vaikutusta suonpohjan metsittymiseen hieskoivulla luontaisesti ja kylvään. Lisäksi Piipsannevalla tutkittiin tiheinä viljelminä perustettujen hies- ja rauduskoivikoiden biomassatuotosta ja ravinteiden käyttöä yhdessä muiden lehtipuiden kanssa. Kihniön Aitonevalla selvitettiin lannoituksen (puutuhka 5 t/ha, PK-lannoitus) vaikutusta vesotetun tiheän hieskoivikon biomassatuotokseen 21 vuoden aikana. Honkajoen Satamakeitaalla mitattiin kylvään perustettujen 20-vuotiaiden koivutiheiköiden biomassatuotos karuhkolla suonpohjalla. Limingan Hirvinevalla mitattiin eri-ikäisiä luontaisesti syntyneitä tiheitä hieskoivikoita ja määritettiin niiden biomassatuotos ravinteikkaissa suonpohjaoloissa (kuva 7.1). Kaikkien kohteiden historiasta, kuten mahdollisista lannoituksista, ei aina ollut riittävästi tietoa.

## 7.2.3 Haavan, lepän ja pajujen kasvatus energiaksi

Haapa-aineistoa hankittiin mittaamalla vanhoja kokeita ja perustamalla vesasyntyinen haavikko. Etelä-Suomeen on perustettu 13 hybridihaapakloonikoetta, jotka mitattiin 12 kasvukautta istutuksen jälkeen. Kokeissa verrattiin 25 hybridihaapakloonin kasvua. Kokeet ovat osa Suomen metsänjalostusohjelmaa ja antavat tietoa eri hybridihaapakloonien kasvupotentiaalista erilaisilla kasvupaikoilla biomassan tuotantoa varten. Yhdellä kokeella Urjalassa valittiin 7 parhaiten kasvavaa kloonia lisämittauksiin. Viisi puuta kustakin valitusta kloonista kaadettiin ja niistä määritettiin puun ja kuoren kosteus, tiheys ja lämpöarvo sekä ravinnepitoisuudet. Lapinjärvellä ja Punkaharjulla tutkittiin haapavesakon perustamista avohakkaamalla hybridihaapakokeet.

Haapaveden Piipsannevalla perustetulla kokeella tutkittiin voitaisiinko energiatuotantoa suonpohjilla jatkaa turpeennoston päätyttyä kasvattamalla siellä tiheinä viljelminä harmaaleppää,



**Kuva 7.1.** Tiheä (12 100 runkoa/ha) luontaisesti syntynyt 24-vuotias hieskoivikko suonpohjalla. Koivikon lehdetön maanpäällinen biomassa on 76 t/ha (kuva Metla/Seppo Vihanta).

harmaaleppää ja jokipajua sekakasvustoina, hies- tai rauduskoivua ja kotimaisia pajulajeja. Paitsi biomassatuotosta, myös puiden ravinteiden käyttöä tutkittiin. Lisäksi tutkittiin lisääkö intensiivinen lannoitus tuotosta 18–19 vuoden tutkimusjaksolla. Istutustiheys koivuilla ja lepillä oli 20 000 tainta hehtaarilla ja pajuilla 40 000 pistokasta hehtaarille.

## 7.2.4 Nopeakasvuisen puun korjuu ja laadun parannus

### Tiheän hieskoivikon avohakkuu

Hieskoivun korjuukokeissa tarkasteltiin nuoren, luontaisesti syntyneen hieskoivikon avo- ja harvennushakkuuta kahden erilaisen korjuuteknologian kannalta. Lisäksi vertailtiin tuloksia mäntyvaltaisen puuston harvennushakkuuseen. Valituista tekniikoista toinen oli palstahakkuri Valmet 801 Combi Bioenergy. Laite kykenee kaadon ja haketuksen lisäksi prosessoimaan myös ainespuukokoisia runkoja haluttuihin puutavaramittoihin. Jotta uuden sukupolven palstahakkurin tuotosta voitaisiin jotenkin suhteuttaa vakiintuneeseen puunkorjuumenetelmään, tutkittiin myös joukkokäsittelyvarustein varustetun yksiotehakkuukoneen (John Deere 870a/745) tuottavuutta hieskoivikon avohakkuussa.

Hieskoivuvaltaisen (64 %) 30-vuotiaan ensiharvennusmetsikön rinnankorkeusläpimitta oli 10 cm ja keskipituus 10 m. Vesasyntyisen, koivuvaltaisen (64 %) avohakkuussa käytetyn puuston rinnankorkeusläpimitta oli 12 cm ja keskipituus 14 m.

### Puun aisaus ja pelletöinti energiapuun laadunparantajana

Koivu on suhteellisen paksukuorinen puu mikä saattaa vaikeuttaa puun kuivumista ja siten heikentää sen tehollista lämpöarvoa. Puun aisaus käsityökaluin on vanha menetelmä kuivumisen nopeuttamiseksi. Käsintehdään raaka-aineen laadun parannukseen ei kuitenkaan voida mennä täysin koneellistettuna puunkorjuun aikakautena. Siksi tässä yhteydessä tutkittiin aisausta osana puun karsintaa rungon prosessoinnin aikana. Tutkimukseen sisältyi aisauksen onnistumisen mittaus ja aisauksen vaikutus puun kuivumiseen. Tutkimus tehtiin yhteistyössä Logset Oy:n kanssa ja modifioitavana hakkuupäänä käytettiin 4M-mallia. Aisauksen aikaansaamiseksi karsintateriin asennettiin ns. aisauspultit rikkomaan kuorta. Kokeessa puut hakattiin maaliskuussa yksinpuin tai joukkokäsittelyä käsittelyeron selvittämiseksi.

Aisauksen vaikutusta energiapuun kuivumiseen tutkittiin kahdessa kokeessa. Toisen muodosti neljän välivaraston koe ja toisen 18 kourakasaa käsittävä koe. Puolet koeasetelmien karsituista rangoista oli aisaamattomia ja toinen puoli yksiotehakkuukoneen aisaamia. Materiaali saatiin em. aisauskokeesta.

Tutkittiin hieskoivulla kokopuun ja –rangan pelletöimistä siirrettävällä pelletöintilaitteistolla ja pellettien ominaisuuksia. Tutkimuksessa selvitettiin pellettien mekaanista kestävyyttä, hienojakeen määrää, kosteutta ja tilavuuspainoa. Mittaukset tehtiin standardien mukaan (CEN 15210-1 ja 3310-2).

## 7.3 Tulokset

### 7.3.1 Hieskoivun kasvatusmenetelmien kehittäminen ja kasvatuksen talous

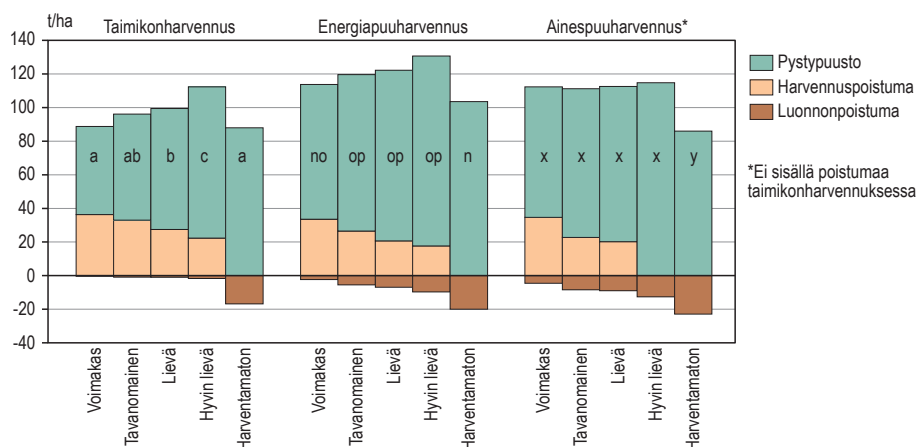
#### Puuston tiheys ja sen vaikutus kasvuun

Harventamattoman hieskoivikon tiheys oli taimikkovaiheen kokeissa 15 000–40 000 kpl/ha ja energia- tai ainespuuharvennuskokeissa 4 000–10 000 kpl/ha. Puiden kuolemissa vuoksi harventamattoman koivikon runkoluku putosi 13 m valtapituuteen mennessä alle 8 000, 15 m valtapituudessa alle 5 000 ja 18 m valtapituudessa alle 3 000 elävään puuhun/ha. Ainespuuharvennuskokeista kaksi oli kuitenkin harvennettu taimikkovaiheessa tiheyteen 2 000–2 500 kpl/ha. Voimakkaassa harvennuksessa jätettiin kasvamaan 600–1 000 koivua hehtaarille. Lievissä harvennuksissa runkoluku oli sitä suurempi mitä varhaisemmassa vaiheessa harvennus tehtiin. Noin 20 % koealoista harvennettiin toiseen kertaan 10–15 vuotta myöhemmin, jolloin poistettiin puolet runkoluvusta osalla koealoista, jotka oli aluksi harvennettu lievästi tai hyvin lievästi.

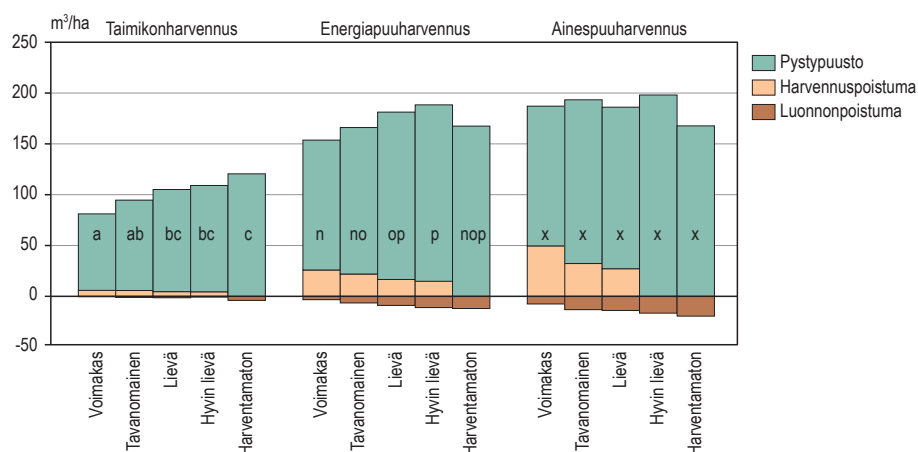
Harvennusvoimakkuus ei vaikuttanut valtapituuden kehitykseen, joten kasvupaikkojen viljavuuserot voitiin ottaa huomioon käyttämällä valtapituusboniteettia kovariaattina. Mitä voimakkaampi ensiharvennus oli sitä enemmän runkotilavuuden kasvu aleni ensimmäisen 15 vuoden aikana. Harventamaton puusto kasvoi tänä aikana 5–6 m<sup>3</sup>/ha/v ja voimakkaasti harvennettu 3–4 m<sup>3</sup>/ha/v. Myöhemmin harvennuksen aiheuttamat kasvuerot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä eikä myöskään toisella harvennuksella ollut merkitsevää vaikutusta hieskoivikon tilavuuskasvuun. Nuorten hieskoivujen harvennusreaktio turvemaiden osoittautui melko vaatimattomaksi: 20–30 vuoden tutkimusjakson lopussa hehtaarille lasketun 600 suurimman koivurungon keskitilavuus oli voimakkaassa harvennuksessa 15–25 % suurempi kuin harventamattomassa puustossa.

#### Biomassan ja ainespuun tuotos

Maanpäällisen lehdettömän biomassan tuotos oli korkein hyvin lievästi harvennetuissa hieskoivikoissa (kuva 7.2). Tulos oli sitä selvempi ja merkitsevempi, mitä nuoremmissa koivikossa harvennus oli tehty. Ainespuuharvennuskokeissa ero ei ollut tilastollisesti merkitsevää. Jos kuolleet puut luettiin



**Kuva 7.2.** Harvennusvoimakkuuden vaikutus maanpäälliseen lehdettömään biomassatuotokseen turvemaiden hieskoivikoissa 20–30 vuoden tutkimusjaksolla ilman toista harvennusta. Taimikonharvennuskokeissa tutkimusjakson lopun valtapituus oli keskimäärin 13,2 m, energiapuuharvennuskokeissa 17,7 m ja ainespuuharvennuskokeissa 18,8 m. Eri kirjaimella merkityissä käsittelyissä pystypuuston ja harvennuspoistuman muodostaman kokonaistuotoksen ero on tilastollisesti merkitsevää alle 5 % riskillä.



**Kuva 7.3.** Harvennusvoimakkuuden vaikutus ainespuun tuotokseen turvemaiden hieskoivikoissa 20–30 vuoden tutkimusjaksolla ilman toista harvennusta. Muut selitykset kuvassa 7.2.

mukaan, harventamaton hieskoivikko tuotti biomassaa lähes yhtä paljon kuin hyvin lievästi harvennettu. Koko tutkimusjakson (25–30 v) aikana kuolleen puuston biomassa oli tällöin noin 20 t/ha. Elävän puuston maksimaalinen maanpäällinen biomassa turvemaan hieskoivikossa näyttäisi olevan noin 115 t/ha (yksittäisellä koealalla jopa 140 t/ha). Tutkimusjakson loppuun mennessä tiheät hieskoivikot ovat tuottaneet maanpäällistä lehdetöntä biomassaa keskimäärin 2,8 t/ha/v ja voimakkaasti harvennetut 2,4 t/ha/v. Toinen harvennus (kertymä noin 20 t/ha) vähensi luonnonpoistumaa 7 t/ha ja lisäsi elävänä korjattavissa olevaa biomassaa 6,5 t/ha.

Myös ainespuun (latvaläpimitta >6,5 cm) tuotos oli korkein hyvin lievästi harvennetuissa hieskoivikoissa, lähes 200 m<sup>3</sup>/ha (kuva 7.3) lukuun ottamatta taimikkovaiheen harvennuskokeita, joissa harventamaton hyvin tiheä puusto on tuottanut eniten kuitupuuta 20–25 vuoden tutkimusjakson aikana. Ainespuuharvennuskokeissa harvennusvoimakkuuden vaikutus ainespuun tuotokseen ei ollut tilastollisesti merkitsevä.

Ainespuun keskimääräinen vuotuinen tuotos oli korkein energiapuuharvennuskokeissa: hyvin lievissä harvennuksissa 4,2 m<sup>3</sup>/ha/v ja voimakkaissa harvennuksissa 3,4 m<sup>3</sup>/ha/v. Toisella harvennuskerralla ei ollut vaikutusta ainespuun kokonaistuotokseen. Ainespuukertymä oli tällöin energiapuuharvennuskokeissa keskimäärin 22 m<sup>3</sup>/ha ja ainespuuharvennuskokeissa 34 m<sup>3</sup>/ha.

Tulokset osoittavat, ettei harventamalla voida lisätä ainespuun tuotosta turvemaiden hieskoivikoissa, kun päätehakkuu tehdään ennen kuin ainespuukokoista puustoa alkaa merkittävästi kuolla. Kun tukkikokoisen ja etenkin tukkilaatuisen puun tuotos on lähes olematon, harventamiselle on vaikea löytää puuntuotannollisia perusteita.

## Kiertoaika, hakkuutapa ja kannattavuus

Ainespuuharvennuskokeissa ja pääosassa energiapuuharvennuskokeista edullisin kiertoaika saavutettiin tai ohitettiin tutkimusjakson aikana. Tämä voitiin todeta laskemalla nettotulojen nykyarvot päätehakkupuustolle eri mittausajankohtina. Kolmelle hakkuutavalle eli energiapuu-, ainespuu- ja integroidulle korjuulle haettiin näin maksimaalinen nettotulojen nykyarvo ja sitä vastaava optimaalinen kiertoaika koealoittain. Lopuksi valittiin hakkutavoista edullisin. Taimikonharvennuskokeissa tehtiin muuten samoin, mutta päätehakkuu oli laskettava tutkimusjakson lopussa, koska optimikiertoaika ei ollut vielä saavutettu.

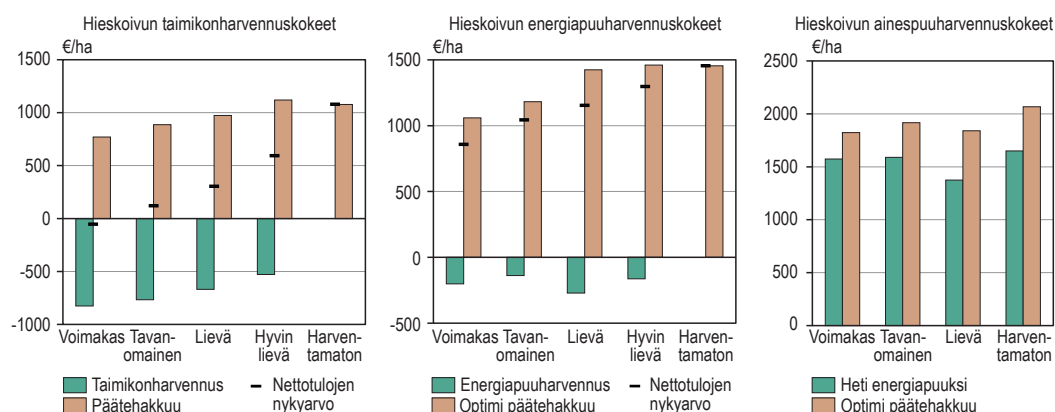
**Taulukko 7.1. Edullisimmat kiertoajat (koealojen keskiarvo) ja päätehakkuun hakkuutavat (% ko. käsittelyn koealoista) A. Energiapuuharvennuksissa ja B. Ainespuuharvennuksissa**

A. Energiapuuh.	Kiertoaika	Energiapuuhakkuu	Integroitu hakkuu	Ainespuuhakkuu
Voimakas	52 v		80 %	20 %
Tavanomainen	45 v		70 %	30 %
Lievä	48 v		90 %	10 %
Hyvin lievä	40 v	10 %	90 %	
Ei harvennusta	51 v	40 %	60 %	
B. Ainespuuh.				
Voimakas	64 v		40 %	60 %
Tavanomainen	63 v		30 %	70 %
Lievä	61 v		60 %	40 %
Ei harvennusta	61 v	10 %	70 %	20 %

Energiapuuharvennukset tehtiin 8–12 m pituusvaiheessa ja näissä kokeissa edullisin kiertoaika oli 40–52 vuotta. Lyhyin kiertoaika oli hyvin lievästi harvennetuissa koivikoissa (taulukko 7.1). Useimmiten päätehakkuu kannatti tehdä integroituna korjuuna (60–90 % koealoista), mutta voimakkaammin harvennetuissa puustoissa joskus ainespuuhakkuuna ja harventamattomissa puustoissa usein myös pelkkänä energiapuuhakkuuna (40 %).

Ainespuuharvennusvaiheen kokeissa edullisin kiertoaika oli pitempi, hieman yli 60 vuotta. Yksiy syy tulokseen oli luultavasti aikanaan tehty taimikonharvennus. Ainespuuvaiheessa tehdyn ensiharvennuksen jälkeen päätehakkuu oli luonnollisesti kannattavinta tehdä ainespuuhakkuuna, mutta lievästi harvennettu tai harventamaton hieskoivikko kannatti tällöinkin päätehakata useimmin integroituna hakkuuna (60–70 % koealoista).

Energiapuuharvennuksen ajankohtaan diskontattu korkein päätehakkuutulo 1 400–1 500 €/ha oli yhtä suuri lievässä (1 700–2 200 kpl/ha) ja hyvin lievässä harvennuksessa (2 500–3 000 kpl/ha) ja harventamattomassa hieskoivikossa (kuva 7.4). Energiapuuharvennus ilman tukia aiheutti kuitenkin 160–270 € kustannuksen hehtaarilla, joten harventamaton hieskoivikko oli kokonaistaloudellisesti



**Kuva 7.4.** Harvennusvoimakkuuden vaikutus turvemaan hieskoivikoiden kasvatuksen kannattavuuteen. Nettotulojen nykyarvo harvennushetkeen laskettiin optimaalisen päätehakkuun tuloista tienvarressa (= energiapuukertymä × 21€ + ainespuukertymä × 28€ – korjuukustannukset) ja ensiharvennuksen kustannuksista ja/tai tuloista. Toisen harvennuskerran vaikutus ei sisälly kuvaan.

kannattavin vaihtoehto. Harvennus raivaussahalla olisi ollut paljon kalliimpaa. Toinen harvennuskerta pudotti kannattavuutta keskimäärin 325 €/ha.

Samankaltainen tulos saatiin taimikkovaiheessa aloitetuissa kokeissa, mutta keskimäärin 44-vuotiaina niissä ei vielä voitu määrittää edullisinta kiertoaikaa. Näiden tiheiköiden taimikonharvennuksen korkea kustannus (530–820 €/ha) näyttää kuitenkin liian suurelta, jotta harventamisen hyöty hieskoivikossa riittäisi sen kattamaan. Hieskoivutiheikön harvennuksen aikaistaminen alle kolmen metrin pituuteen pienentäisi kustannusta, mutta nopeasti nousevista kantovesoista voi kehittyä entistäkin tiheämpi koivikko.

Kuitupuuta tuottava ensiharvennus 13–15 metrisissä hieskoivikoissa oli sen sijaan taloudellisesti tasavertainen verrattuna harventamattomaan puustoon, edellyttäen että taimikonhoito oli aikanaan tehty tiheyteen 2 000–25 000 kpl/ha. Tällaisen nuorehkon ensiharvennuskoivikon hyödyntäminen välittömästi kuitu- ja energiapuuksi ei kannattanut, vaan kasvatusta noin 60-vuotiaaksi kohotti nettotulojen nykyarvon 3 % korolla noin 1 500 eurosta/ha noin 2 000 euroon/ha. Toinen harvennuskerta pudotti kannattavuutta keskimäärin 175 €/ha.

## Tutkimustarpeita

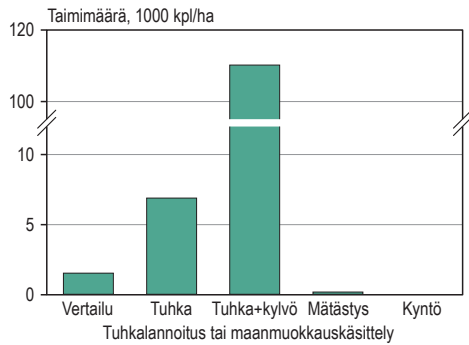
Kasvatustiheyden ja harvennusten vaikutukset turvemaiden hieskoivikoiden kasvuun ja tuotokseen on nyt selvitetty niiden pääasiallisella esiintymisalueella Pohjanmaalla ja Lapissa. Vastaavaa tutkimusta tarvitaan kuitenkin etelämpänä ja kivennäismailla, koska energia- ja ainespuun tuottaminen on noussut esiin myös näissä edullisemmissä kasvuoloissa.

Hieskoivikon kasvatuksen kannattavuudesta saatiin alustavia tuloksia, jotka olivat osin yllättäviäkin. Herkkyyksianalyysiä tarvitaan mm. kuitu- ja energiapuun hintasuhteiden vaikutuksen tutkimiseen. Kestokoeaineisto on tähänkin tarkoitukseen erinomainen, kunhan taimivaiheessa perustettujen kokeiden säännöllistä mittausta jatketaan. Eniten epävarmuutta taloudellisiin laskelmiin aiheutti puunkorjuun tuottavuusmallien puuttuminen energiapuukorjuusta ja integroidusta korjuusta tiheissä ja pienirunkoisissa päätehakkuumetsissä. Koska tällaiset kohteet tulevat yleistymään energiapuun korjuun lisääntyessä, ongelmaan tarvitaan nopeita vastauksia. Myös puunkorjuumenetelmien ja –koneiden kehittämistä ja tutkimusta tarvitaan kannattavuuden sekä energiapuun saannon ja laadun parantamiseksi em. olosuhteissa.

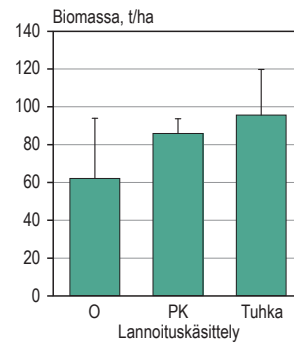
### 7.3.2 Koivun kasvatusta suonpohjilla

Hieskoivun kylvö tuhkalannoitetulle suonpohjalle tuotti ensimmäisen kasvukauden jälkeen parhaan tuloksen (kuva 7.5). Taimia oli yli 110 000 kpl/ha. Myös luontainen metsittäminen tuhkalannoitetulle suonpohjalle siemenpankin ja reunametsän siemennyksen avulla oli onnistunut hyvin (6 800 tainta/ha). Sen sijaan muokatulle tai muokkaamattomalle suonpohjalle luontaisia taimia syntyi vain vähän. Muokkaukset todennäköisesti käänsivät kasvupaikan siemenpankin peittoon. Tulokset vahvistavat aiempaa käsitystä siitä, että hieskoivun kylvö onnistuu hyvin kasvipeitteettömällä ja lannoitetulla suonpohjalla (Aro ym. 1997).

Kihniön Aitonevalla vesasyntyisen 21-vuotiaan tiheän hieskoivikon biomassatuotos oli ilman lannoitusta 62 t/ha (kuva 7.6). PK-lannoitus lisäksi koivikon tuotosta 23 t/ha ja tuhkalannoitus 33 t/ha. Lannoitettujen puustojen keskimääräinen vuotuinen tuotos oli 4,1–4,6 t/ha (Hytönen & Aro 2012). Todennäköisesti aikoinaan käytetystä turpeennostomenetelmästä johtuen turpeeseen oli sekoittunut melko runsaasti kivennäismaata. Siksi myös lannoittamattomilla koelohjoilla koivut



**Kuva 7.5.** Tuhkalannoituksen, tuhkalannoituksen ja kylvön sekä maanmuokkauksen vaikutus hieskoivun taimien määrään Haapaveden Piipsannevalla ensimmäisen kasvukauden jälkeen (Reinikainen ym. 2011). Vertailuna käytettiin muokkaamatonta suonpohjaa. Tuhkalannoitus: 6 t/ha puutuhkaa.

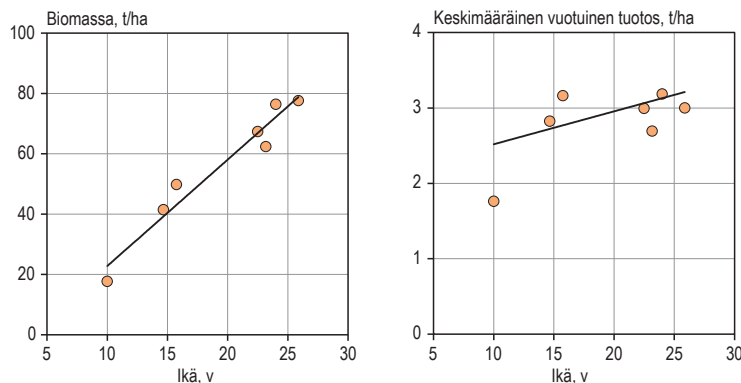


**Kuva 7.6.** Lannoituksen (puutuhka 5 t/ha tai PK-lannos 575 kg/ha) vaikutus tiheään vesotetun koivikon lehdeettömään maanpäälliseen biomassatuotokseen 21-vuoden aikana Kihniön Aitonevalla (Hytönen & Aro 2012).

kasvoivat varsin hyvin. Ilman lannoitusta puiden kasvu on hyvin hidasta ja kuolleisuus suuri, jos turvekerroksen paksuus ylittää 30–40 cm, sillä puiden juuret eivät saa ravinteita pohjamaasta (Aro 2000, Aro & Kaunisto 2003).

Hieskoivun potentiaalisesta biomassatuotoksesta suonpohjilla tiedetään vielä hyvin vähän. Limingassa sijaitsevalla Hirvinevalla on suonpohjilla monen ikäisiä luontaisesti syntyneitä hieskoivutiheiköitä. 10–26-vuotiaisiin hieskoivikoihin sijoitettiin kuhunkin 3–8 metsikkökoelaa. Näiltä mitattiin puusto, selvitettiin puuston ikä kairaamalla, mitattiin turpeen paksuus ja otettiin maanäytteet. Koivikoiden tiheys laski itseharvenemisen vuoksi iän lisääntyessä. Samalla kasvoivat puiden rinnankorkeusläpimitta ja pituus. 10-vuotiaassa metsikössä oli lehdetöntä maanpäällistä biomassaa 18 t/ha ja 26-vuotiaassa koivikossa 76 t/ha. Suurin koelakohtainen kuivamassa oli 91 t/ha. Puuston keskimääräinen vuotuinen lehdetön maanpäällinen biomassatuotos oli nuorimmassa koivikossa 1,8 t/ha/v ja 5–26-vuotiaissa 2,8–3,2 t/ha/v (kuva 7.7). Suurin koelakohtainen tuotos oli 3,6 t/ha/v.

Honkajoen Satamakeitaalla 20-vuotiaiden kylväen perustettujen hieskoivutiheiköiden keskimääräinen lehdetön maanpäällinen biomassaa oli 25,9 t/ha, josta keskituotokseksi saatiin 1,3 t/ha/v. Tulokset osoittivat selkeästi, ettei hieskoivun biomassakasvatus kannata karuissa suonpohjaolosuhteissa. Typpirikkaalla Haapaveden Piipsannevalla 19-vuotiaiden istuttamalla perustettujen lannoitettujen hies- ja rauduskoivikoiden lehdetön maanpäällinen biomassatuotos oli 112 ja 108 t/ha ja vuotuinen tuotos parhaimmillaan 5,7–5,9 t/ha/v (kuva 7.12).



**Kuva 7.7.** Luontaisesti syntyneiden hieskoivikoiden lehdetön maanpäällinen biomassaa ja keskimääräinen vuotuinen tuotos (MAI) iän funktiona Limingan Hirvinevalla (Hytönen & Aro 2011, Hytönen ym. 2011).

### 7.3.3 Haavan, lepän ja pajujen kasvatus energiaksi

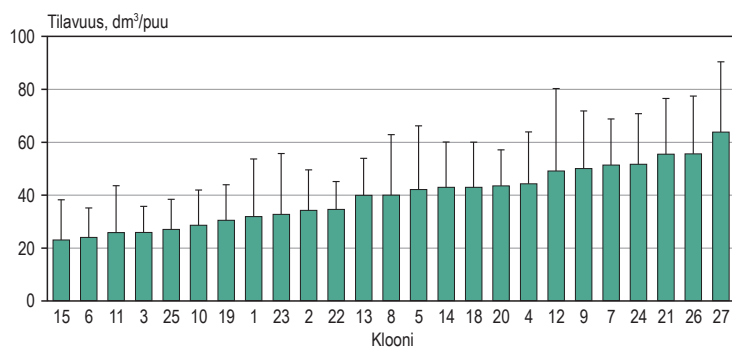
#### Hybridahaapa

Mitatut 13 hybridahaapakoetta osoittivat, että 12 vuoden iällä kloonien välillä on suuria eroja puiden kasvussa. Kloonien väliset kasvuerot olivat moninkertaisia kuten Urjalan kokeen tulokset osoittavat (kuva 7.8).

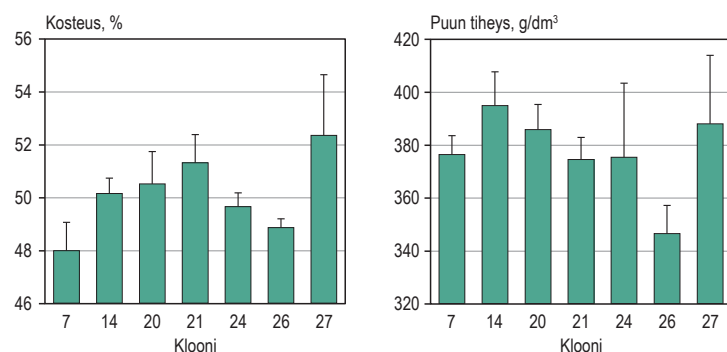
Urjalan kloonikokeelta valittiin 7 parhaiten kasvavaa kloonista lisätutkimuksiin, joissa selvitetiin puiden puuteknisiä ominaisuuksia, lämpöarvoa ja ravinnepitoisuuksia. Satunnaisesti valittiin kustakin kloonista 5 puuta. Valitut 7 kloonin välillä ei ollut kasvueroja. Kloonien välillä oli kuitenkin merkittäviä eroja niiden kosteuspitoisuudessa ja puun tiheydessä (kuva 7.9).

Kloonien välillä oli merkittäviä eroja kuivamassan allokaatiossa runkoon ja oksiin (kuva 7.10). Tällä voi olla merkitystä kloonien käyttökelpoisuudessa eri tarkoituksiin samoin kuin korjuuteknologiaan. Kun hybridahaapaa kasvatetaan myös muihin käyttötarkoituksiin kuin bioenergiaksi, suurempi rungon osuus on toivottu. Kloonien välillä ei ollut kuitenkaan merkittäviä eroja niiden lämpöarvossa (MJ/kg).

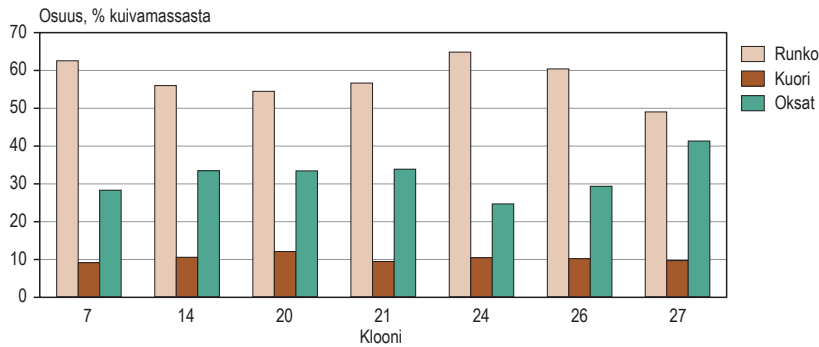
Lapinjärven uudistamiskoe epäonnistui. Hybridahaavikon päätehakkoon jälkeen alueen peitti tiheä heinäkasvillisuus, mikä esti haavan juurivesojen kasvun. Tuloksena oli epätasainen ja osin avoin vesakko. Koe lopetettiin 2008. Toinen hybridahaavan uudistamiskoe Punkaharjulla sen sijaan onnistui hyvin. Noin 35-vuotiaan hybridahaavikon päätehakkoon jälkeen kesällä 2001 noin yhden hehtaarin kokoisen alueella oli 44 000 haavan juurivesaa hehtaarilla. Kolmivuotiaana vesakon



**Kuva 7.8.** 25 hybridahaapakloonin puiden keskimääräinen tilavuus maastokokeessa Urjalassa 12 vuoden iällä.



**Kuva 7.9.** Hybridahaapakloonien (7 kloonista) puiden kosteus ja kuiva-tuoretiheys Urjalan kokeella.



**Kuva 7.10.** Hybridihaapakloonien (7 kloonina) kuivamassan suhteellinen jakautuminen runkoon, rungon kuoreen ja oksiin Urjalan kokeella.

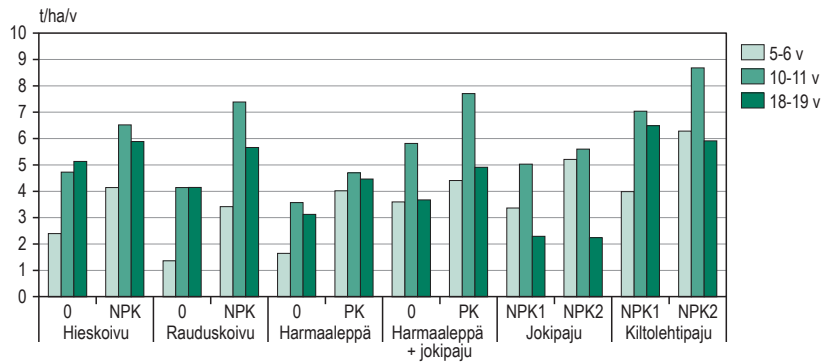


**Kuva 7.11.** Punkaharjulla noin 35-vuotiaan hybridihaavikon päätehakkuun jälkeen syntyi noin 44 000 haavannesaa/ha. Kuvassa kolmivuotiaista vesakkoa, jonka keskipituus oli 3,7 m (kuva Metla/Egbert Beuker).

keskipituus oli 3,7 m ja pisimmän vesan pituus 5,8 m (kuva 7.11). Koska metsän omistajan tavoite oli kasvattaa sahapuita, metsikkö harvennettiin kesällä 2004 tiheyteen 2 500 runkoa/ha. Kahdeksan vuoden ikäisenä (v. 2008) puuston runkotilavuus oli 48 m<sup>3</sup>/ha ja 10 vuoden jälkeen 80 m<sup>3</sup>/ha. Hybridihaavan uudistamiseen juurivesoista vaikuttavat kasvupaikan olosuhteet.

## Leppä ja pajut

Tavallisen kotimaisen lannoitetun kiiltolehtipajun biomassatuotos oli huomattavan korkea 5–10 vuoden kiertoajalla (kuva 7.12). Lannoitetun kiiltolehtipajun lehdetön maanpäällinen kuiva-ainetuotos koko 18-vuoden tutkimusjakson aikana oli 123 t/ha (6,8 t/ha/v). Tuotos oli jopa hieman korkeampi kuin suonpohjilla on tavallisesti saatu ulkomaisilla pajuilla lyhytkiertoviljelykokeissa. Kotimaisten pajujen keskimääräinen vuotuinen kuiva-ainetuotos oli suurimmillaan 10-vuoden iässä (kiiltolehtipaju 7,9 t/ha/v, jokipaju 5,6 t/ha/v), mikä tutkimuksen mukaan lieneekin sopiva kiertoaika kotimaisille pajuille biomassatuotannossa. Pidempää kertoaikaa käytettäessä viljelmä rappeutui. Kotimaisten pajujen etuna on ulkomaisiin jalostettuihin lajikkeisiin verrattuna ilmastollinen kestävyys, pieni eläintuhoisuus ja alhaiset ravinnevaatimukset (mm. kasvualustaa ei tarvitse kalkita). Sekakasvustona leppä ja jokipaju ei kuitenkaan menestynyt.



**Kuva 7.12.** Hies- ja rauduskoivun, harmaalepän, harmaalepän ja jokipajun sekakasvuston sekä jokipajun ja kiillotehtipajun keskimääräinen vuotuinen biomassatuotos suonpohjalla kolmena ajankohtana. Pajut ovat vuoden nuorempia kuin lepät. Tarkemmat tiedot käsittelyistä ja menetelmistä julkaisussa Hytönen & Saarsalmi (2009).

Leppää pidetään maabiologisesti arvokkaana puulajina typensidontakykynsä ansiosta. Typpilannoitusta ei lepän kasvatuksessa tarvita. Lepän etuna on lisäksi se, ettei se ole altis hyönteisten ja nisäkkäiden aiheuttamille tuhoille, kuten esim. raudus- ja hieskoivu tai ulkomaiset pajulajit. Harmaalepän tuotos oli 19 vuoden aikana 85 t/ha kuivamassaa. Harmaalepän keskimääräinen vuotuinen tuotos oli 4,5 t/ha/v.

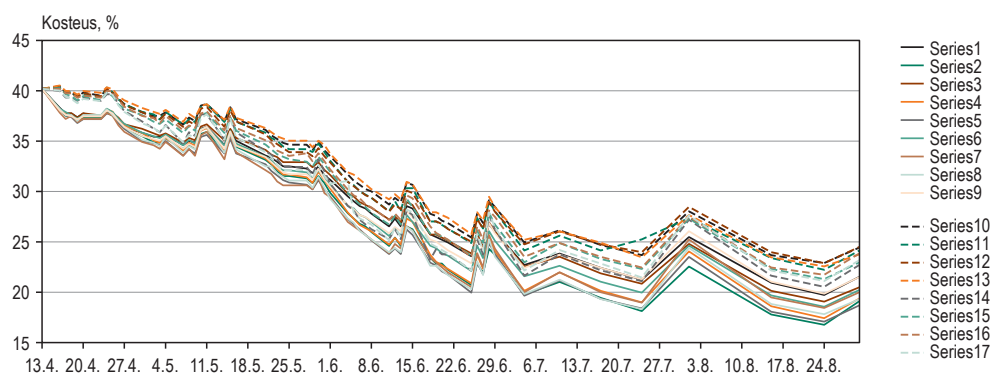
### 7.3.4 Nopeakasvuisen puun korjuu ja laadunparannus

Palstahaketuksen tuottavuus Valmet 801 Combi Bioenergyllä oli hieskoivun ensiharvennuksella 7,2 m<sup>3</sup>/h. Tarkasteltaessa tehoajan jakautumista osa-aikoihin oli oletettu, että vesasyntyisen hieskoivun ja männyn välinen kasvutavan ero näkyisi käytetyn ajan jakautumisessa. Näin ei kuitenkaan ollut. Sen sijaan huomio kiinnittyy siihen, että haketuksen osuus ajankäytöstä oli vain noin 6 % kaadon ja puun hakkurille viennin ollessa yhteensä 60 %. Havainto antaa viitteitä kuljettajan kokemattomuudesta ja korostaa koulutuksen sekä kokemuksen tärkeyttä puunkorjuussa.

Vesasyntyisen hieskoivikon avohakkuussa Valmet 801 tuottavuus oli 8 m<sup>3</sup>/h. Tulos oli odotettua huonompi. Vastaus heikkoon tulokseen löytyy haketuksen suuresta osuudesta (20 %). On ilmeistä, että palstahakkurin teho ei riittänyt samanaikaiseen kaato- ja haketustyöhön, minkä johdosta kaatotyössä jouduttiin aina odottamaan haketuksen päättymistä.

Joukkokäsittelyominaisuuksin varustetun hakkuukoneen tuottavuus oli hieskoivikon avohakkuussa 18 m<sup>3</sup>/h. Tulos ei ole suoraan verrannollinen palstahakkurin tuotokseen korjuumenetelmien huomattavan eron vuoksi. Voidaan kuitenkin olettaa, että jos tuottavuuksiin lisätään metsäkuljetuksien osuudet, sekä kokopuukorjuuseen sen vaatima tienvarsihaketus, muodostuu jälkimmäinen menetelmä palstahaketusta tehokkaammaksi. Lisäksi perinteisen kaluston käyttö luo edellytykset huomattavasti suuremmalle kaluston käyttöasteelle. On syytä painottaa, että palstahaketuksen tuottavuuden ero harvennuksen ja avohakkuun välillä oli pieni. Vastaava puuston käsittelyero tuotti joukkokäsittelyn kohdalla suuren eron. Kun ensiharvennushakkuun tuottavuus oli kyseisellä joukkokäsittelytekniikalla 10 m<sup>3</sup>/h, niin se oli avohakkuussa tuo edellä mainittu 18 m<sup>3</sup>/h.

Puun aisautumistulokset osoittivat, että aisauspulttien lisäämisellä ei ollut puun kuoriutumisasatetta merkittävästi lisäävää vaikutusta (Nurmi & Lehtimäki 2011). Vaikutus oli kuitenkin suurempi yksinpuin puitaessa kuin joukkokäsittelyssä. Kuoriutumisasaste kuitenkin lisääntyi siirryttäessä yksinpuin hakkuusta joukkokäsittelyyn, mikä viittaa siihen, että aisauspulttien käyttö on tuolloin tarpeellista. Kuoren pinta-alasta rikkoutui vaihtelevasti 5–8 % menetelmästä riippumatta. Mikäli



**Kuva 7.13.** Koivurankojen kosteuden (%) kehitys kourakasoissa. Kourakasojen välinen vaihtelu peittää aisausten vaikutuksen (aisaamattomat kourakasat 1–9 ja aisatut 10–18).

koe olisi tehty kesällä tai keskitalvella on luultavaa, että tulokset olisivat olleet erilaiset. Vastaavat kokeet männyllä osoittivat kuoriutumisprosentin putoavan kolmannekseen talvella vastaavista kesäajan luvuista.

Puun kosteus kaatohtokella maaliskuun lopulla oli 44,7 %. Viikkoa myöhemmin välivarastoon ajettaessa kosteus oli 38,9 %. Vastaavasti kourakasoisiin sijoitettujen puiden kosteus oli 40,1 %. Välivarastokokeen puitten kosteus määritettiin toisen kerran tutkimusjakson lopussa. Kourakasat punnittiin päivittäin kosteus muutosten määrittämiseksi.

Kuvasta 7.13 nähdään kourakasojen välisen vaihtelun lisäksi vaihtelua ajan suhteen. Kosteuden vaihtelut johtuivat sateesta ja auringon säteilyenergian muutoksista. Voimakkaat sateet toukokuun puolivälissä nostivat aina rankojen kosteutta. Kesäkuun alussa säteily oli voimakasta ja tällöin kuivuminen oli nopeaa. Tuuli edesauttaa kosteuden poistumista puun pinnalta mutta sen merkitys on tämän kokeen perusteella edellä mainittuja tekijöitä vähäisempi. Samoin lämpötila, suhteellinen kosteus ja ilmanpaine osoittautuivat huonoksi kuivumisen selittäjiksi. Aisauksella ei ollut kuivumista parantavaa vaikutusta. Syy tähän on se, että karsintaterät ja jossain määrin myös syötörullat aukaisivat koivun kuorta niin paljon, että aisauspulteista ei saatu lisäetua. Lieneekin niin, että koneellinen hakkuu sinänsä parantaa oleellisesti puun kuivumisominaisuuksia metsurihakkuuseen verrattuna. Aisauksella ei myöskään ollut vaikutusta välivarastossa olleiden puiden kosteuteen. Aisatun puun kosteus oli viiden kuukauden varastoinnin jälkeen elokuun lopussa 19,9 % ja aisaamattoman puun 19,8 %.

Siirrettävällä pelletöintilaitteistolla kokopuukoivusta valmistettujen pellettien hienojakeen määrä oli 7,7 % ja pelletit luokitteivat CEN-luokituksessa luokkaan F3.0. Hienojakeen määrä oli siis suurempi kuin kaupallisilla pelleteillä (F2.0). Koivurangasta tehdyt pelletit kestivät käyttökestävyystestissä (CEN 15210-1) huomattavasti kokopuumateriaalia paremmin tuottaen hienoaainetta vain 1,8 % verran. Lisäksi sen muut ominaisuudet olivat kaupallisten pellettien luokkaa (Taulukko 7.2).

**Taulukko 7.2.** Pellettiraaka-aineen kosteudet (%) tuotannon eri vaiheissa ja valmiin pellettien tilavuuspainot ( $\text{kg/m}^3$ ) ja hienojaeosuudet.

Ominaisuus	Koivuranka	Koivu kokopuu	Mäntyranka	Kaupallinen pelletti (Vapo Oy)
Hake, kosteus %	23,8	23,7	26,3	..
Pelletti, kosteus %	7,1	6,4	5,3	6,5
Tilavuuspaino, $\text{kg/m}^3$	688	567	613	647
Hienojae, %	1,8	7,7	7,6	1,2

## 7.4 Tulosten tarkastelu

Turvetuotannosta vapautuville suonpohjille saadaan syntymään tiheä hieskoivikko joko kylvämällä tai reunametsien luontaisella siemennyksellä (Aro ym. 1997, Reinikainen ym. 2011, Huotari 2011). Tyypirikkailla suonpohjilla tarvitaan PK- tai tuhkalannoitus ravinnetilanteen tasapainottamiseksi. Tuotostasosta ja lannoituksen vaikutuksesta siihen tarvitaan lisää tietoa.

Suonpohjilla mitattiin luontaisten koivikoiden lehdettömäksi maanpäälliseksi biomassatuotokseksi 10–26 vuoden iällä 2,8–3,2 t/ha/v. Kylvään perustettujen noin 20-vuotiaiden hieskoivikoiden biomassatuotos oli 1,3–2,4 t/ha/v. Lannoitettujen 21-vuotiaiden vesasyntyisten hieskoivikoiden tuotos oli huomattavasti suurempi (4,1–4,6 t/ha/vuosi, Hytönen & Aro 2012). Viljellen perustetuilla tiheillä intensiivisesti lannoitetuilla koivuviljelmillä biomassatuotos oli 5,7–5,9 t/ha/v (Hytönen & Saarsalmi 2009).

Koivun vesauudistumisesta käytännön koivikoiden perustamisessa tarvitaan lisää tietoa. Toinen koivusukupolvi on saatu syntymään vesoista (esim. Hytönen & Aro 2012), mutta samassa kokeessa koivun toinen vesottaminen epäonnistui ilmeisesti rehevän pintakasvillisuuden takia. Tässä tutkimuksessa toinen hybridihaavikon vesomiskokeista onnistui hyvin, mutta toisessa runsaan pintakasvillisuuden johdosta vesakosta tuli aukkoinen ja epätasainen.

Pajujen viljely on koivua kalliimpaa ja riskialttiimpaa, mutta onnistuessaan viljelmän biomassatuotos voi olla suuri, kuten tämän tutkimuksen lannoitetun kotimaisen kiiltolehtipajun tuotos osoitti (lähes 8 t/ha/v 10 vuoden kiertoajalla) (Hytönen & Saarsalmi 2009). Typpiomavaraisuutensa, tuholaiskestävyytensä ja juurivesomisen takia myös harmaaleppä on varteenotettava vaihtoehto. Toistaiseksi varsinaisten lyhytkiertoviljelmien hyödyntäminen energiapuuntuotannossa on ollut vähäistä.

Puubiomassan intensiivikasvatus voi tulevaisuudessa olla rajatuilla alueilla käyttökelpoinen energiabiomassan tuotantotapa. Viljelmien perustamisen kustannustehokkaista menetelmistä, niiden biomassatuotoksesta, ravinnetalouden hoidosta ja vesauudistamisesta tarvitaan lisätutkimuksia. Erityisesti lehtipuustojen vesauudistumisesta ja siihen liittyvistä tuhoriskeistä (jänikset, hirvet) etoa on vielä varsin vähän kokemuksia ja tutkittua tietoa.

Hieskoivikot tuottavat eniten sekä energia- että ainespuuta kun niitä kasvatetaan varsin tiheinä. Turvemaan hieskoivikon harventamiselle ei löytynyt taloudellisia perusteita, kun energiapuun tienvarsihinta on 75 % koivukuitupuun hinnasta. Koivutiheikön lievä harventaminen ennen 12 metrin pituutta lisäsi korjuukelpoista puusatoa verrattuna harventamattomaan, mutta lisäys ei kattanut harvennuksen kustannuksia. Tiheän hieskoivikon edullisin päätehakkuikä turvemaidella on 40–50 vuotta, jona aikana puiden kuoleminen ei vielä alentanut kannattavuutta.

Parhaimmillaan energiapuun korjuu 1,4-kertaistaa hieskoivikon puuntuotoksen verrattuna pelkkään ainespuun korjuuseen. Keskimääräinen vuotuinen tuotos oli Pohjois-Pohjanmaalla ja Lapissa sijainneissa kokeissa 3–4 m<sup>3</sup>/ha ainespuuta ja sen lisäksi 1–2 m<sup>3</sup>/ha energiapuuta. Perinteisessä kuitupuun kasvatuksessa suositellaan taimikonhoitoa tiheyteen 2 000–2 500 kpl/ha (Niemi 1991) ja päätehakkuuta noin 60-vuotiaana, mutta energiapuun tuotos jää silloin hyödyntämättä. Tavanomainen ensiharvennus tiheyteen 1 000 kpl/ha on tällöin mahdollinen, mutta ei välttämätön; taloudellinen kannattavuus ei siitä muuttunut.

Harvennusvoimakkuuden lisääminen tai toiseen kertaan harventaminen lisäsivät hieman jäljelle jääneiden hieskoivujen kasvua, mutta eivät olleet taloudellisesti kannattavia. Energiapuun ja myös ainespuun tuotos aleni eivätkä harvennustulot ja puunkorjuun säästöt päätehakkuun puunkorjuussa korvanneet kasvumenetystä. Tukkipuuta hieskoivikot eivät useimmiten tuota, joten yleisesti niiden kasvatukseen ei kannata tähdätä. Sen sijaan olemassa olevista koivutiheiköistä saadaan runsaasti energiapuuta edullisesti.

Energiapuuharvennus hieskoivikossa kannattaa ilman tukia huonosti, koska lievänä se tulee kalliiksi ja voimakkaana se vähentää liikaa puuston kasvua. Harventamatta jättäminen ei vähennä koivukuitupuun saatavuutta metsistä, mikäli sen hinta riittää kattamaan integroidun puunkorjuun lisäkustannuksen verrattuna siihen, että kaikki puu korjattaisiin energiaksi. Hieskoivikon päätehakkuuain mahdollinen alentaminen puolestaan toisi lyhyellä tähtäimellä markkinoilla runsaasti lisää koivua niin kuitu- kuin energiapuuna käytettäväksi.

Metsänhoidon tukien ja työpanosten suuntaamisessa puhtaat hieskoivutiheiköt eivät ole kannattavia sijoituksia. Harvennettuna niiden taloudellinen tuotto jopa laskee ja samalla vähennetään lupaavaa energiapuupotentiaalia. Tilanne on toinen, mikäli sekapuuna on kasvatuskelpoisia havupuita tai hieskoivikko on hyvälaatuinen ja kasvupaikka riittävän viljava tuottamaan tukkia. Myös kuusialikasvoksen käyttö (Niemi & Poutiainen 2004) koivikon uudistamisessa edellyttää verhojuuston harventamista. Tutkimuksessa esiin noussut kiertoajan lyhentäminen ja energiapuun korjuu hieskoivikon päätehakkuussa on huomioitava metsänhoidon suosituksissa ja energiapuun tukisäädöksissä. Muuten koivikoiden tarjoamia mahdollisuuksia energia- ja kuitupuun lähteinä ei saada täysin hyödynnettyä.

Luontaisesti syntyneet ja harventamattomat hieskoivikot luovat hyvät edellytykset puuston avohakkuulle nuorella iällä. Verrattain pienestä runkotilavuudesta huolimatta hakkuutyön tuottavuus on riittävän suuri, varsinkin joukkokäsittelyominaisuutta käytettäessä. Korjuu ei vaadi uusia laitekehityksiä vaan se pystytään suorittamaan vakiintuneella puunkorjuukalustolla. Tämä lisää sen käyttöastetta ja laskee kustannuksia.

Raaka-aineen laadunhallinta on osa energiapuun korjuuta. Koivu on paksukuorinen puulaji ja siksi sen kuivumista so. laatua pyrittiin edistämään yhdistämällä aisaus osaksi puun karsinta-vaihetta asentamalla karsintateriin ns. aisauspulteja. Kesäkorjuussa normaali hakkuukoura kuitenkin kuorii puuta yhtä paljon kuin aisauspulteilla varustettu koura. Kuoriutumisen asteen havaittiin sen sijaan lisääntyvän siirryttäessä yksin puin prosessoinnista joukkokäsittelyyn. Kuivumistutkimuksissa havaittiin, että aisautuspulseilla ei saavutettu lisäetua suurissa välivarastokasoissa eikä kourakasoissa. Tämä johtunee siitä, että hakkuu tapahtui keväällä jolloin kuori muutenkin irtoaa helposti. Lisäksi kuoriutumisesta saatu kuivumisetu - oli se sitten karsintaterien tai aisauspulttien aiheuttamaa - katoaa kun ainespuu kasataan välivarastoihin. Välivarastolla suurin osa haihtumisesta tapahtunee pölkkyjen katkaisupintojen kautta, eli kasan päädyistä.

## Kirjallisuus

- Aro, L. 2000. Root penetration of Scots pine and silver birch on cut-away peatlands. In: Rochefort, L., Daigle, J.-Y. (Eds.). Sustaining Our Peatlands. Proceedings of the 11th International Peat Congress, Quebec City, Canada, August 6-12, 2000, Volume II. Canadian Society of Peat and Peatlands & International Peat Society, s. 932-936.
- Aro, L. & Kaunisto, S. 2003. Jatkolannoituksen ja kasvatustiheyden vaikutus nuorten mäntymetsiköiden ravinnetilaan sekä puuston ja juuriston kehitykseen paksaturpeisella suonpohjalla. Summary: Effect of refertilisation and growing density on the nutrition, growth and root development of young Scots pine stands in a peat cutaway area with deep peat layers. *Suo* 54(2): 49-68.
- Aro, L., Kaunisto, S., Saarinen, M., 1997. Suopohjien metsitys. Hankeraportti 1986-1995. Summary: Afforestation of peat cutaway areas. Project report in 1986-1995. Finnish Forest Research Institute, Research papers 634. 51 s.
- Hakkila, P. (toim.). 1985. Metsäenergian mahdollisuudet Suomessa. PERA-projektin väliraportti. *Folia Forestalia* 624. 86 s.
- Heino, E. & Hytönen, J. 2005. Suomalainen pajukirjallisuus. Finnish bibliography on willow. Working papers of the Finnish Forest Research Institute. 38 s.  
<http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2005/mwp017.htm>
- Huotari, N. 2011. Recycling of wood- and peat-ash – a successful way to establish full plant cover and dense birch stand on a cut-away peatland. *Acta Universitatis Ouluensis, A* 576. 47 s.
- Hynynen, J., Niemistö, P., Viherä-Aarnio, A., Brunner, A., Hein, S. & Velling, P. 2010. Silviculture of birch (*Betula pendula* Roth and *Betula pubescens* Ehrh.) in northern Europe. *Forestry* 83(1): 103-119.
- Hytönen, J. 1996. Biomass production and nutrition of short-rotation plantations. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 586. 61 s.
- Hytönen, J. & Aro, L. 2010. Biomass production of birch on cut-away peatlands – energy wood with short rotation? In: Parrotta, J.A. & Carr, M.A. (Eds.) *Forests for the Future: Sustaining Society and the Environment*. XXIII IUFRO Congress, 23-28 August 2010, Seoul, Republic of Korea. Abstracts. *The International Forestry Review* 12(5): 173.
- Hytönen, J. & Aro, L. 2011. Restoration of cutaway peatlands for woody biomass energy production. In: *Restoring Forests: Advances in Techniques and Theory*, Madrid, Spain 27.28.29 September 2011. Abstract book, s. 115.
- Hytönen, J. & Aro, L. 2012. Biomass and nutrition of naturally regenerated and coppiced birch on cutaway peatland during 37 years. *Silva Fennica* 46(3): 377-394.
- Hytönen, J., Aro, L. & Issakainen, J. 2011. Biomass production of dense downy birch stands on cut-away peatland at Hirvineva, Liminka, northern Finland. International symposium on Responsible Peatland Management and Growing Media Production. Quebec, Canada, June 13-17, 2011. Program and abstracts. s. 95.
- Hytönen, J. & Saarsalmi, A. 2009. Long-term biomass production and nutrient uptake of birch, alder and willow plantations on cut-away peatland. *Biomass & Bioenergy* 33(9): 1197-1211.
- Lumme, I. 1989. On the clonal selection, ectomycorrhizal inoculation of short-rotation willows (*Salix* spp.) and on the effects of some nutrients sources on soil properties and plant nutrition. *Biological Research Reports from the University of Jyväskylä* 14. 55 s.
- Niemistö, P. 1991. Hieskoivikoiden kasvatustiheys ja harvennusmallit Pohjois-Suomen turvemilla. Summary: Growing density and thinning models for *Betula pubescens* stands on peatlands in northern Finland. *Folia Forestalia* 782. 36 s.
- Niemistö, P. 2013. Effect of growing density on biomass and stem growth of downy birch stands on peatland in Western and Northern Finland. Manuscript.
- Niemistö, P. & Poutiainen, E. 2004. Hieskoivikon käsittelyn vaikutus kuusialikasvoksen kehitykseen Keski- ja Pohjois-Pohjanmaan viljavilla ojitusalueilla. *Metsätieteen aikakauskirja* 4/2004: 441-459.
- Niemistö, P. & Repola, J. 2008. Koivun biomassan määrä ja koostumus. Julkaisussa: Niemistö, P., Viherä-Aarnio, A., Velling, P., Heräjärvi, H. & Verkasalo, E. (toim.). *Koivun kasvatusta ja käyttöä*. Metla & Metsäkustannus, s. 132-134.

- Nurmi, J. & Lehtimäki, J. 2011. Debarking and drying of downy birch (*Betula pubescence*) and Scots pine (*Pinus sylvestris*) fuelwood in conjunction with multi-tree harvesting. *Biomass and Bioenergy* 35(8): 3376-3382.
- Reinikainen, O., Juvonen, J., Hytönen, J. & Issakainen, J. 2011. Wood energy production methods on cut-away peatlands: cost-effective establishment. In: *International Nordic Bioenergy 2011 5.-9.9.2011. Book of Proceedings* (Ed. Savolainen, M.). s. 184-187.
- Työ- ja elinkeinoministeriö. 2010. Suomen kansallinen toimintasuunnitelma uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian edistämisestä direktiivin 2009/28/EY mukaisesti. 10 s.
- Ylitalo, E. 2011. Puun energiakäyttö 2010. *Metsätilastotiedote* (SVT Maa-, metsä- ja kalatalous) 16/2011. 7 s.

Metlan työraportteja 289: 64–74

## 8 Suosammalten viljelyn biologiasta ja ekologiasta turvemailla

Ilari Lumme, Niko Silvan ja Timo Penttilä

### Tiivistelmä

Tutkimuksessa selvitettiin metsätalouden ulkopuolelle jäävien karujen metsäojitusalueiden (pinta-ala noin 800 000–1 000 000 ha) ja turvetuotannosta vapautuvien suonpohjien (pinta-ala noin 50 000 ha) taloudellisen jälkihyödyntämisen vaihtoehtoja bioenergian lisätuotannon näkökulmasta Suomessa. Tutkimus liittyi myös suomaiden ennallistamiseen ja soilta vapautuvien, haitallisten kasvihuonekaasujen sitomiseen kasvatettavaan kasvibiomassaan. Vuosina 2007–2009 hankkeessa määritettiin pääasiassa heikkotuottoisten metsäojitusalueiden pinta-aloja ja puustopääomaa, joka voitaisiin aluksi hyödyntää, ja jonka jälkeen alueilla voitaisiin tuottaa karuihin olosuhteisiin metsäpuita paremmin soveltuvia kasvilajeja. Uuden tutkimushypoteesin myötä vuosien 2010–2011 tutkimukset painotuivat em. aloille todennäköisesti soveltuvien suosammalten (*Sphagnum sp.* ja *Polytrichum sp.*) viljelyä ja biomassan tuottokykyä selvittäviin tutkimuksiin. Ne käsittelivät rahka- ja karhunsammalten kasvatustekniikoita, sammalten ja niiden alkuperien valintaa sekä kasvatukseen vaikuttavia ympäristötekijöitä, kuten maaperän ravinteisuuden ja kosteuden merkitystä sammalten elinkykyyn ja biomassan tuottoon. Työn käytännön tavoitteena oli kasvibiomassan tuottaminen biopolttoaineen valmistuksen ja kemianteollisuuden raaka-aineeksi. Tutkimustyö oli pääosin astiakokeina toteutettua perustutkimusta kontrolloiduissa muovihuone- ja kasvihuoneolosuhteissa. Kokeissa havaittiin, että suosammalten viljely kasvittomalle, tasaiselle turvemaalle on mahdollista levittämällä maanpinnalle joko yksittäisiä, eläviä sammalten yläosia tai kokonaisia sammalpaakkuja kevät- tai syysviljelynä. Tutkimuksissa valikoitiin myös rahka- ja karhunsammallajeja, jotka soveltuvat muita lajeja paremmin sammalviljelyyn. Tällaisia lajeja olivat *Sphagnum magellanicum* ja *Sphagnum fuscum* sekä *Polytrichum commune*. Kahden ensin mainitun lajin osalta vertailtiin myös niiden koti- ja ulkomaisten alkuperien kasvuun lähtöä ja biomassantuottoa sekä reagoitua ilman lämpötilan ja hiilidioksidipitoisuuden vaihteluun. Ilman lämpötilan ja hiilidioksidipitoisuuden nosto kohotti kaikkien alkuperien tuotosta, ja Pohjois-Euroopan eteläisimmät ja läntiset kloonit osoittautuivat jonkin verran sopeutuvaisemmiksi ja tuottoisammiksi kuin Pohjois-Euroopan pohjoisimmat kloonit. Sammaltutkimusten tulokset viittaavat siihen, että parhaimmillaan suosammalten biomassan tuottokyky voi olla vähintään vastaava kuin ojitetuilla soilla hyvin kasvaneiden metsäpuiden tuotos. Rahkasammalten biomassan tuotto vaihteli eri astiakokeissa välillä 50–750 g kuiva-ainetta/m<sup>2</sup>/vuosi (500–7 500 kg kuiva-ainetta/ha/vuosi), lähinnä sammalajista, turpeen kosteudesta ja maan ravinnepitoisuudesta riippuen, ja ne kasvattivat kahden kasvukauden aikana 5–15 cm vahvuisen sammalpaakun turpeen pinnalle. Keskeisin kasvutekijä sammalkasvustojen menestyksen kannalta oli maaperän vesipitoisuus. Pohjaveden pinnan tason on oltava erityisesti viljelyn alussa turpeen pinnan tasolla läpi koko kasvukauden. Käytännössä tämä edellyttää voimakasta vesivarojen ylläpitoa ja sääntelyä viljeltävillä suoalueilla. Toisaalta rahkasammalet sietivät pitkäaikaista kuivuutta hyvin. Veden puutteessa niiden kasvu pysähtyi, mutta elinkyky säilyi, ja kasvu palautui melko nopeasti kosteuden lisääntyttyä. Suosammalten kasvuun lähtöä ja tuotosta voitiin parantaa puuntuhkalla ja keinolannoitteilla. Erityisen tärkeäksi kasviraavinteeksi sammalten kannalta osoittautui fosfori (P). Sammalten fosforitarve oli kuitenkin alhaisempi kuin esimerkiksi metsäpuiden,

joten positiivinen kasvureaktio saavutettiin jo alhaisilla fosforimäärillä. Käytännön viljelytoiminnan kannalta edellä kuvattujen suosammaltutkimusten jatko edellyttää pitkäaikaisia kenttäkokeita.

### Abstract

This research project aimed at increasing knowledge of alternatives for bioenergy production on low-productive drained peatland forest soils left outside commercial forestry (total area 800 000 ha in Finland) and on cut-over peat soils (total area 50 000 ha in Finland). In addition, the study dealt with peatland restoration and binding of greenhouse gases to utilizable plant biomass. The area and tree biomass found on low-productive drained peatland forests was examined mainly between the years 2007 and 2009. The potential of a new method of plant biomass production on the poor peat soils and cut-over peatlands was studied for cultivation of peatland mosses (*Sphagnum* sp. and *Polytrichum* sp.) was studied mainly in years 2010 and 2011. The adaption, biomass production potential and the effect of environmental factors on the growth of the mosses was examined in small-scale pioneer studies. The studies were carried out as pot experiments under controlled conditions both in large nurseries covered with plastic roof and in greenhouses. The results indicate, that it was possible to cultivate peatland mosses on plantless peat soil by adding living moss particles or moss clods on the soil, either in spring or in autumn. Furthermore, it was possible to select well-adapted peat mosses for the cultivation. Such species were *Sphagnum magellanicum*, *Sphagnum fuscum* and *Polytrichum commune*. Also the growth responses of domestic and foreign provenances of *S. magellanicum* and *S. fuscum* collected from different locations in Northern Europe, were compared under varying air temperature and air carbon dioxide concentration. All the provenances reacted positively on increased air T and air CO<sub>2</sub>, but the southern and western provenances were somewhat more adaptive and productive than the northern ones. The results of the controlled small-scale experiments indicate, that the biomass production of the peat mosses may be comparable to that of forest trees grown on drained peat soils. The biomass production of the mosses tested in the pot experiments varied between 50 and 750 g of dry mass/m<sup>2</sup>/year (500 and 7 500 kg of dry mass/ha/year), correlating mainly with the moss species, soil moisture and soil nutrient content. The thickness of the new moss bed varied between 5–15 cm after two growing seasons. The most crucial growth factor for successful peat moss cultivation was soil moisture and the level of ground water in the soil. Particularly at the beginning of the cultivation, the soil moisture has to be as high as possible and the ground water level must be sustained on the surface of the peat soil. In practice, this implies a comprehensive control and uphold of water storages in the areas used for peat moss cultivation. The peat mosses withstood drought well, however the moss biomass production ceased during the dry period, but it recovered rather rapidly after rewetting. The adaption and growth of the peatland mosses may be enhanced via adding nutrients on the soil, the particularly critical nutrient is phosphorus (P). The nutrients could be added in fertilizers and/or in high quality wood ash. The P demand of the peat mosses was lower than that of the forest trees, and the positive reaction can be achieved using rather low P additions. In order to get a more realistic view of the true potential of peat moss cultivation the methods adopted here and the results obtained in these small-scale, controlled experiments must be further tested in field conditions.

## 8.1 Johdanto

Pääosin 1960–1980 -luvulla metsänkasvatuksen tarkoituksessa ojitettujen alueiden metsiköiden varttuessa on jouduttu toteamaan, etteivät kaikki ojitukset ole tuottaneet puuntuotannollisesti toivottua tulosta. VMI10 mukaan Suomessa on ojitettujen soiden noin 4,08 miljoonan metsämaahehtaarin lisäksi runsaat 0,75–0,85 miljoonaa hehtaaria kitu- ja joutomaaksi luokiteltuja soita. Ojituksen epäonnistumisen yhtenä syynä on ravinteisuudeltaan liian karujen ja/tai epätasapainoisten kasvupaikkojen ojittaminen. Joukossa on myös ojitusalueita, joiden puusto on reagoinut ojitukseen, mutta jäänyt syystä tai toisesta kitukasvuiseemmaksi kuin kasvupaikan puuntuotoskyvyn perusteella olisi ollut odotettavissa.

Tämän hankkeen ensimmäisen vaiheen selvitysten mukaan heikkotuottoisilta ojitusalueilta on saatavissa 5–7 milj. tonnia puubiomassaa. Sen talteenotto voisi olla sekä taloudellisesti että ympäristönäkökohtien kannalta tarkoituksenmukaista. Suomessa tuotetaan nykyisin polttoturvetta noin 60 000 hehtaarin suuruisella pinta-alalla. Turvetuotannosta poistuu suomasta noin 1 000–2 000 ha vuodessa. Turpeen korjuusta vapautunutta suonpohjapinta-alaa on tällä hetkellä noin 25 000 ha. Suonpohjien jälkikäyttöön on syytä löytää taloudellisesti, yhteiskunnallisesti ja ympäristöpoliittisesti järkeviä ratkaisumalleja.

Metsätaloukskäytön ulkopuolelle jäävät ojitetut suometsät ja turvetuotannosta vapautuvat suonpohjat voidaan jättää ennallistumaan, ennallistaa aktiivisin toimenpitein tai ainakin ravinteikkaammat suonpohjat (erityisesti mikäli kivennäismaa on lähellä maan pintaa) voidaan yrittää metsittää.

Uutena tutkimusideana on viime vuosina noussut esiin ajatus, jonka mukaan karuilla, puuston kasvatukseen soveltumattomilla suomilla ja suonpohjilla voitaisiin kasvattaa olosuhteisiin hyvin sopeutuneita rahkasammalia (*Sphagnum sp.*) tai muita suosammallajeja kuten karhunsammalia (*Polytrichum sp.*). Tämän tyyppisessä viljelyssä yhdistyisivät osin sekä soiden taloudellinen jatko-hyödyntäminen että niiden jonkinasteinen ennallistaminen lähemmäs luonnontilaa (Landry ym. 2011, Gaudig ym. 2012, Krebs ym. 2012, Wichmann ym. 2012).

Sammalbiomassaa, kuten kaikkea kasvubiomassaa, voitaisiin hyödyntää jo olemassa olevilla tekniikoilla esim. liikenteen biopolttoaineiden tuotantoon ja selvittää sammalbiomassan sisältämien orgaanisten yhdisteiden käyttömahdollisuuksia kemian- ja/tai lääketieteellisen kotimaisena raaka-aineena. Lisäksi erityisesti rahkasammalia voidaan hyödyntää kuivikkeena, kasvihuoneviljelyssä, koristekasvituotannossa ja kotipuutarhojen rakentamisessa.

Puuston kasvun suhteen heikkotuottoiset ojitetut suot sekä turvetuotannosta vapautuvat suonpohjat ovat nykyisen tiedon perusteella huomattavia hiilidioksidin ja metaanin päästölähteitä. Korkeaan ilman hiilidioksidipitoisuuteen sopeutuneet rahkasammalet saattavat olla käyttökelpoinen keino sitoa näiltä kasvupaikoilta vapautuvia kasvihuonekaasuja kasvulliseen ja taloudellisesti hyödynnettävissä olevaan biomassaan.

Suosammalten viljelytutkimus on käytettävissä olevan tiedon vähäisyyden takia uutta tietoa tuottavaa perus- ja pioneeritutkimusta. Soiden sammalia on tähän asti tutkittu lähinnä kasvitieteellisen perustutkimuksen ja suoluonnon luokittelujen lähtökohdista. Sammalviljelyn kehittäminen edellyttää viljelyn kannalta optimaalisten rahkasammal- ja muiden sammalajien sekä niiden alueellisten kloonien valintatutkimusta, ja mahdollisesti jopa sammalten jonkin asteista jalostusta. Keskeisiä tutkimuskohteita ovat lisäksi sammalviljelyn perustamismenetelmät ja aivan erityisesti sammalten kasvuvaatimukset turvemaan vesipitoisuuden ja turpeen ravinteisuuden suhteen.

Lannoitustutkimuksissa selvitetään eri kasviravinteiden merkitystä suosammalten kasvuun ja erilaisten ravinnelähteiden, varsinkin biopolttoaineen käytössä runsaasti muodostuvan puun tuhkan, hyödyntämismahdollisuudet viljelyssä.

Metsätalouskäytöstä ja turvetuotannosta vapautuvien ojitettujen (karujen) soiden hyödyntämistä bioenergian ja biopolttoaineiden tuotantoon on tarpeen tutkia, koska bioenergian tarve Suomessa voi olla tulevaisuudessa niin suuri, ettei metsistä saatava puubiomassa riitä koko bioraaka-aineen tarpeen tyydyttämiseen. Erilaiset raaka-ainelähteet voivat myös tasoittaa sääoloista tai muista tekijöistä johtuvaa kausivaihtelua sekä vuosien välisiä eroja.

## 8.2 Aineistot ja menetelmät

Tässä tutkimuksessa suosammalten viljelyyn liittyviä kysymyksiä lähestyttiin perustutkimuksen keinoin. Koetoiminta keskitettiin kontrolloituihin muovi- ja kasvihuonekokeisiin. Muovi- ja kasvihuonekokeissa tutkittiin suosammalten laji- ja kloonivalintaa, turpeen vesipitoisuuden ja turvemaan ravinnepitoisuuden vaikutuksia sammalten kasvuun lähtöön, biomassan tuottoon ja ravinnepitoisuuteen, sammalviljelmän perustamista joko elävistä sammalten kärkiosista tai sammalpaakuista sekä suosammalten fotosynteesiaktiivisuutta. Lisäksi kasvihuonekokeissa selvitettiin ilman lämpötilan ja hiilidioksidipitoisuuden vaihtelun vaikutuksia rahkasammalten kasvuun lähtöön ja biomassan tuottoon.

### Tutkimuksen kohteet

#### I Tutkitut suosammalajit

*Sphagnum balticum*, *Sphagnum cuspidatum*, *Sphagnum fuscum*, *Sphagnum magellanicum*, *Sphagnum nemorosum*, *Sphagnum papillosum*, *Sphagnum riparium*, *Sphagnum rubellum*, *Polytrichum commune*, *Polytrichum strictum*.

*Sphagnum magellanicum* ja *Sphagnum fuscum* kloonit keräyspaikkakunnittain: Enontekiö, Ilomantsi, Loppi, Parkano, Paide (Keski-Viro), Pudasjärvi, Trondheim (Norja), Villagora (Luoteis-Venäjä).

#### II Turpeen vesipitoisuuden vaikutusten tutkimus

Astiakokeissa pohjaveden pinnan korkeuden säätö kasvukauden aikana tasoille: +5 cm, 0 cm, -10 cm, -20 cm ja -30 cm turpeen pinnasta mitattuna.

#### III Turvemaan ravinnepitoisuuden, eri ravinteiden ja ravinnelähteiden vaikutusten tutkimus

Ravinteiden kasvuvaikutukset:

- typpi (N), fosfori (P), kalium (K), magnesium (Mg) erikseen annosteltuina, kolme-neljä ravinnetasoa.
- kasvipääravinteiden N-P-K yhteisvaikutukset, neljä ravinnetasoa.
- suometsien-PK-lannoitteen kasvuvaikutukset, neljä ravinnetasoa.
- puuntuhkan kasvuvaikutukset, viisi ravinnetasoa

Kaikissa ravinneastiakokeissa kastelueden pinta säädettiin turpeen pintaan (0 cm-veden taso).

## IV Ilman lämpötilan ja ilman hiilidioksidipitoisuuden vaikutus rahkasammalkloonien kasvuun, kasvihuonekokeet A ja B

- Loppi pitkän aikavälin keskilämpötila + normaali ilman CO<sub>2</sub>-pitoisuus (350 ppm)
- Loppi pitkän aikavälin keskilämpötila korotettuna +4 °C + 2 × ilman normaali CO<sub>2</sub>- pitoisuus (700 ppm),
- Loppi pitkän aikavälin keskilämpötila korotettuna +4 °C. Kasteluveden pinta 0 cm-taso.

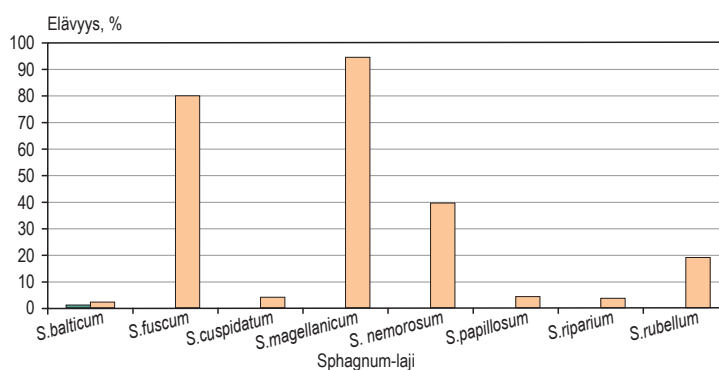
Kokeet toteutettiin Metlan Haapastensyrjän koeasemalla vuosina 2007–2011. Kaikkien astiako-keiden kesto-aika oli kaksi kasvukautta. Kokeet perustettiin huhti-toukokuussa ja purettiin seuraavan vuoden loka-marraskuussa. Kasvualustana kaikissa kokeissa käytettiin samalta turvetuotantoaluelta kerättyä seulottua, tasalaatuista kasvuturvetta. Koetta IV A lukuunottamatta kaikki rahkasammalkokeet perustettiin lisäämällä (kuiva-aineena) vakioitu määrä rahkasammalten ja karhunsammalten eläviä yläosia turpeen pinnalle (noin 70 %:n kasvipeitto). Ensin mainitussa kokeessa sammat levitettiin maan pintaan paakkuina.

### 8.3 Tulokset

#### 8.3.1 Suosammallajien valinta

Kuvassa 8.1 esitetään rahkasammallajien välisen valintakokeen elävyys-% vuosilta 2008–2009; kahden kasvukauden jälkeen astiakokeessa ja muovihuoneoloissa pohjaveden pinnan tasojen 0 ja -10 cm keskiarvona. Lajien väliset erot ovat tilastollisesti erittäin merkitseviä. Valtaosa testatuista rahkasammalista ei säilynyt elävänä edes näissä edullisimmissa turpeen kosteusolosuhteissa.

Karhunsammalen (*Polytrichum commune*) eloonjääminen testattiin erillisessä kokeessa. Siinä havaittiin, että yksinään turpeen pinnalle levitettynä lajin elinkyky on heikko ja kasvuun lähdön vaihtelu on huomattavan suurta. Vuonna 2011 perustetun rahkasammal - karhunsammal yhteisviljelykokeen ensimmäisen kasvukauden tulosten mukaan rahkasammaleeseen sekoitettuna karhunsammal kasvaa huomattavasti paremmin (koe päättyi vuonna 2012).



**Kuva 8.1.** Rahkasammallajien elävyys-% (pohjaveden pinnan tasojen 0 ja -10 cm keskiarvo) muovihuonekokeessa vuosina 2009–2010.

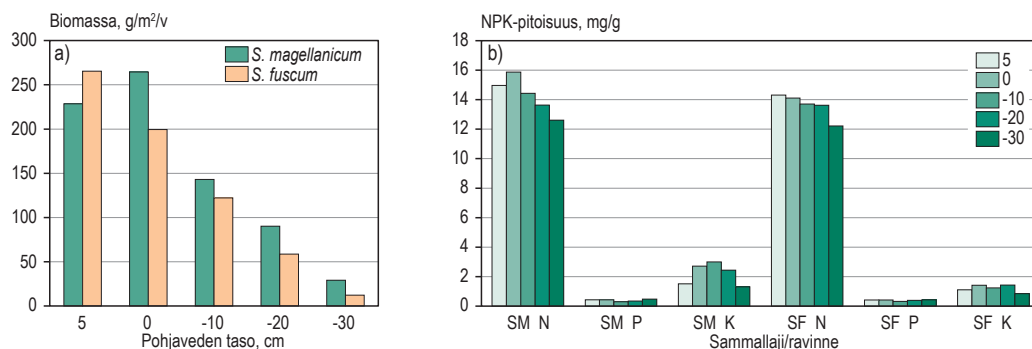
### 8.3.2 Turpeen vesipitoisuuden vaikutus rahkasammalten kasvuunlähtöön ja biomassan tuottoon

Kuvassa 8.2a esitetään rahkasammallajien *Sphagnum magellanicum* ja *Sphagnum fuscum* biomassan tuotos vuosilta 2007–2008 muovihuonekokeessa, jossa tutkittiin pohjaveden pinnan korkeuden (turpeen kosteuden) vaikutusta rahkasammalten kasvuun lähtöön ja biomassan tuottoon. Kokeessa erot olivat tilastollisesti erittäin merkitseviä. Pohjaveden pinnan korkeus ja sammalten kasvuun lähtö ja biomassan tuotto korreloivat positiivisesti keskenään. Tulosten mukaan elinkykyisimmiksi todetut rahkasammallajit *Sphagnum magellanicum* ja *Sphagnum fuscum* menestyvät parhaiten, kun pohjaveden pinta ylläpidetään turpeen pinnan tasolla (0 cm).

Kokeen yhteydessä testattiin erityisesti *Sphagnum magellanicum*-lajin kuivuuden sietokykyä. Neljän kuukauden mittaisen (touko-elokuu) kuivuusjakson aikana kuivunut sammalkasvusto palautui uudelleen kostuttuaan kasvukykyiseksi kolmessa viikossa.

Kuvassa 8.2b esitetään rahkasammallajien *Sphagnum magellanicum* ja *Sphagnum fuscum* typen, fosforin ja kaliumin pitoisuudet muovihuonekokeessa, jossa tutkittiin pohjaveden pinnan korkeuden (turpeen kosteuden) vaikutusta rahkasammalten kasvuun lähtöön ja biomassan tuottoon. Lajien väliset erot ravinnepitoisuuksissa olivat vähäiset, kuitenkin *S. magellanicumin* kaliumpitoisuus oli tilastollisesti merkitsevästi korkeampi kuin *S. fuscumin* K-pitoisuus. Lisäksi rahkasammalten kaliumpitoisuudet olivat korkeimmillaan vesitasoilla 0, -10 ja -20 cm.

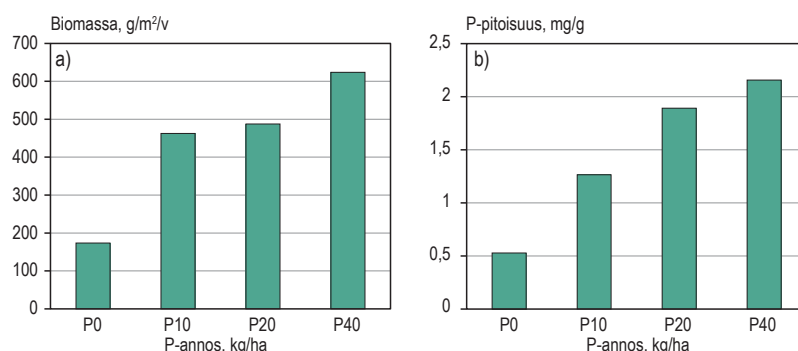
Molempien sammallajien tyypipitoisuudet olivat tilastollisesti merkitsevästi korkeammat vesitasoilla +5 ja 0 cm kuin vesitasoilla -20 ja -30 cm.



**Kuva 8.2.** Pohjaveden pinnantason vaikutus *Sphagnum magellanicum* ja *Sphagnum fuscum* rahkasammalten biomassan tuottoon (a) (g/m<sup>2</sup>/v) ja ravinnepitoisuuteen (b) (NPK mg/g) muovihuonekokeessa vuosina 2007–2008.

### 8.3.3 Turvemaan ravinnetilan vaikutus rahkasammalten kasvuun lähtöön ja biomassan tuottoon

Kuvassa 3a esitetään fosforin (P) vaikutus rahkasammallajin *Sphagnum magellanicum* biomassan tuottoon kaksivuotisessa muovihuonekokeessa, jossa fosforia annosteltiin turpeen pintaan 0, 10, 20 ja 40 kg P/ha vastaava määrä. Biomassan tuotos ja fosforiannoksen suuruus korreloivat tilastollisesti merkitsevästi ja positiivisesti keskenään; tuotos oli vajaat 200 g kuiva-ainetta/m<sup>2</sup>/v P-tasolla 0 ja noin 600 g kuiva-ainetta/m<sup>2</sup>/v suurimmalla P-tasolla, 40 kg/ha. Suosammalten kasvu reagoi herkästi fosforilisäykseen, jo P-tasolla 10 kg/ha biomassan tuotos kaksinkertaistui 0-tasoon verrattuna.



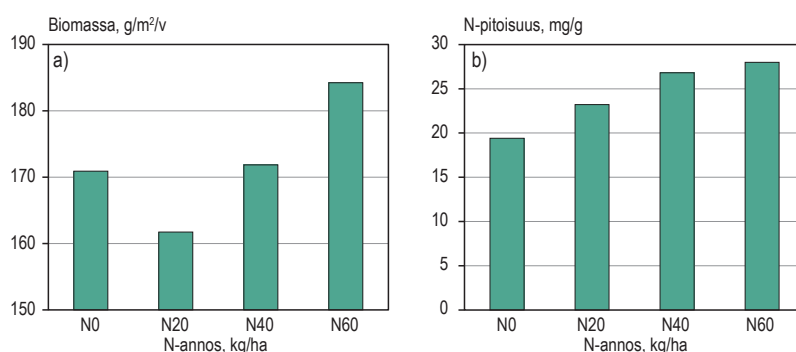
**Kuva 8.3.** Fosforilisäyksen vaikutus *Sphagnum magellanicum* rahkasammalen biomassan tuotokseen (a) (g/m<sup>2</sup>/v) ja fosforipitoisuuteen (b) (mg/g) muovihuonekokeessa vuosina 2009–2010.

Kuvassa 8.3b esitetään fosforin (P) vaikutus rahkasammallajin *Sphagnum magellanicum* fosforipitoisuuteen, kaksivuotisessa kokeessa, jossa fosforia annosteltiin turpeen pintaan 0, 10, 20 ja 40 kg P/ha vastaava määrä. Sammalen P-pitoisuus ja fosforiannoksen suuruus korreloivat tilastollisesti merkitsevästi ja positiivisesti keskenään. Fosforipitoisuus kaksinkertaistui jo P-annoksella 10 kg/ha, ja rahkasammalen P-pitoisuus oli yli nelinkertainen suurimmalla fosforilisäyksellä P0-tasoon verrattuna.

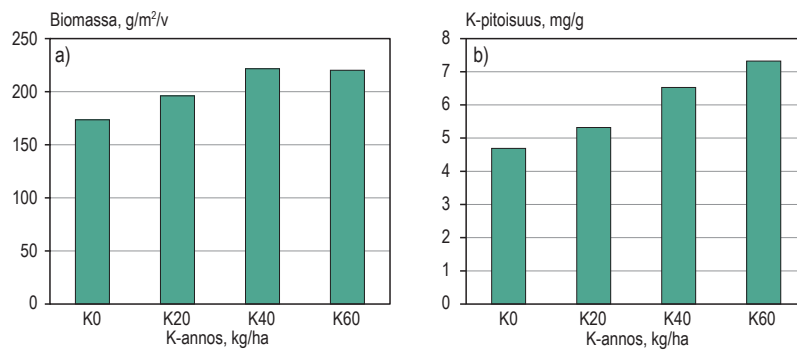
Kuvassa 8.4a esitetään typen (N) vaikutus rahkasammallajin *Sphagnum magellanicum* biomassan tuottoon, kaksivuotisessa muovihuonekokeessa, jossa typpeä annosteltiin turpeen pintaan 0, 20, 40 ja 60 kg N/ha vastaava määrä. Typen vaikutus sammalen kasvuun oli heikko; biomassan tuotos ja typpiannoksen suuruus korreloivat heikosti keskenään, eikä N0-tason ja korkeimman typpiannoksen, N60 kg/ha, välinen tuotosero ollut tilastollisesti merkitsevä.

Kuvassa 8.4b esitetään typen (N) vaikutus rahkasammallajin *Sphagnum magellanicum* typpipitoisuuteen, kaksivuotisessa kokeessa, jossa typpeä annosteltiin turpeen pintaan 0, 20, 40 ja 60 kg N/ha vastaava määrä. Sammalen typpipitoisuus kohosi N-lisäyksillä vain vähän eikä typpiannoksen N60 kg/ha aiheuttama pitoisuuserokaan ollut tilastollisesti merkitsevä N0-tasoon verrattuna.

Kuvassa 8.5a esitetään kaliumin (K) vaikutus rahkasammallajin *Sphagnum magellanicum* biomassan tuottoon, kaksivuotisessa muovihuonekokeessa, jossa kaliumia lisättiin turpeen pintaan 0, 20, 40 ja 60 kg K/ha vastaava määrä. Kaliumin vaikutus sammalen kasvuun oli vähäinen; biomassan tuotos ja kaliumannoksen suuruus korreloivat heikosti keskenään, eivätkä N0-tason ja korkeimpien K-annosten, K40 ja K60 kg/ha, väliset tuotoserot olleet tilastollisesti merkitseviä.



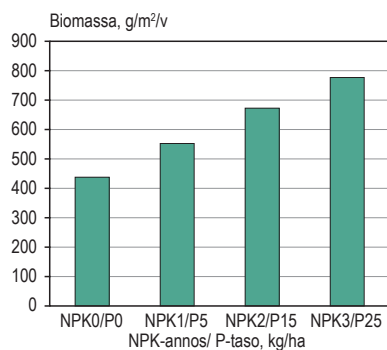
**Kuva 8.4.** Typpilisäyksen vaikutus *Sphagnum magellanicum* rahkasammalen biomassan tuotokseen (a) (g/m<sup>2</sup>/v) ja typpipitoisuuteen (b) (mg/g) muovihuonekokeessa vuosina 2009–2010.



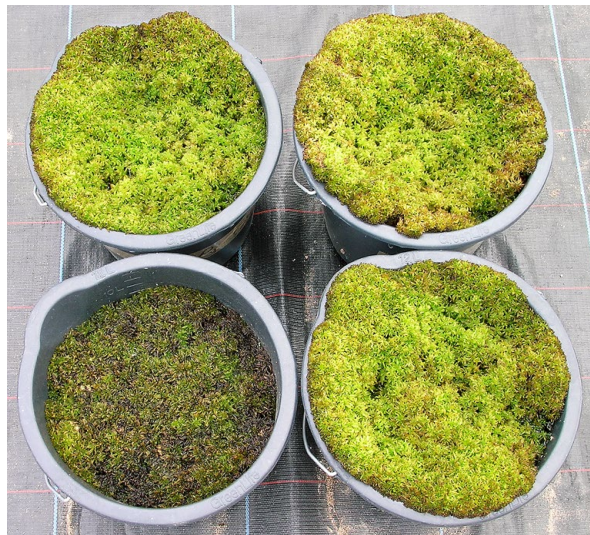
**Kuva 8.5.** Kaliumlisäyksen vaikutus *Sphagnum magellanicum* rahkasammalen biomassan tuotokseen (a) g/m<sup>2</sup>/v ja kaliumpitoisuuteen (b) (mg/g) muovihuonekokeessa vuosina 2009–2010.

Kuvassa 8.5b esitetään kaliumin (K) vaikutus rahkasammallajin *Sphagnum magellanicum* kaliumin pitoisuuteen, kaksivuotisessa kokeessa, jossa kaliumia annosteltiin turpeen pintaan 0, 20, 40 ja 60 kg K/ha vastaava määrä. Rahkasammalen K-pitoisuus ja kaliumannoksen suuruus korreloivat tilastollisesti merkitsevästi ja positiivisesti keskenään. Kaliumpitoisuuksien erot tasojen K40 ja K60 tasoon K0 verrattuna olivat tilastollisesti merkitseviä.

Kuvassa 8.6. esitetään N-P-K-yhdistelmälannoituksen vaikutus rahkasammallajin *Sphagnum magellanicum* biomassan tuotokseen kaksivuotisessa muovihuonekokeessa, jossa NPK-ravinneisää annosteltiin turpeen pintaan 0, 5, 15, 25 kg P, 8, 23, 38 kg N ja 7, 21, 35 kg K/ha vastaava määrä. Rahkasammalen biomassan tuotos ja N-P-K-annoksen suuruus korreloivat tilastollisesti merkitsevästi ja positiivisesti keskenään. Kokeen korkeimmalla NPK-tasolla saavutettiin koko vuosien 2007–2011 koetoiminnan korkein biomassan tuotos 770 g kuiva-ainetta/m<sup>2</sup>/v. Koejäsenten rahkasammalten ravinneanalyytit ovat vielä keskeneräiset.



**Kuva 8.6.** Typen-, fosforin- ja kaliumin yhteislisäyksen vaikutus *Sphagnum magellanicum* rahkasammalen biomassan tuotokseen g/m<sup>2</sup>/v, muovihuonekokeessa vuosina 2009–2010.



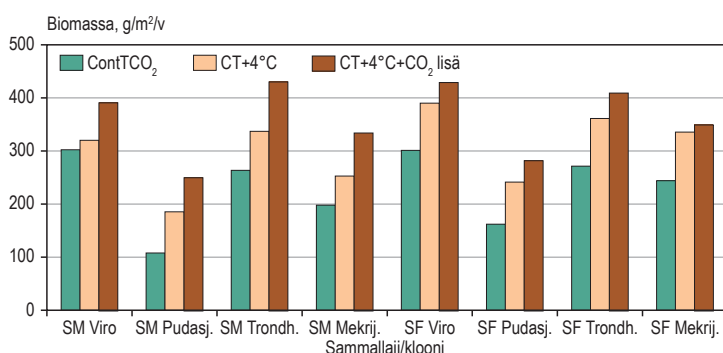
**Kuva 8.7.** Fosforilannoituskokeen rahkasammalkasvustoa kahden kasvukauden jälkeen; runsaskasvuiset astiat fosforikäsitellystä 20 kg P/ha ja heikkokasvuisemmat astiat P-käsitellystä 0 kg P/ha. Kuva Metla/Ilari Lumme.



**Kuva 8.8.** Fosforilannoituskokeen rahkasammalkasvustoa kahden kasvukauden jälkeen; kasvustot vrt. valokuva 8.7. Kuva Metla/Ilari Lumme.

### 8.3.4 Rahkasammalkloonien biomassan tuotos ja ilman lämpötilan ja ilman hiilidioksidipitoisuuden vaikutus rahkasammalkloonien kasvuun

Kuvassa 8.9 esitetään ilman lämpötilan ja ilman hiilidioksidipitoisuuden vaihtelun vaikutus *Sphagnum magellanicum* ja *Sphagnum fuscum* rahkasammalkuperien biomassan tuotokseen kaksivuotisessa kasvihuonekokeessa IV A. Ilman lämpötilan ja ilman hiilidioksidipitoisuuden kohottaminen lisäsi tilastollisesti merkitsevästi kaikkien sammalkloonien biomassan tuottoa. Lisäksi tulokset antavat viitteitä siitä, että testattujen rahkasammalkuperien keskinäiset tuotoserot saattavat korreloida negatiivisesti maantieteellisen leveyspiirin kanssa.



**Kuva 8.9.** *Sphagnum magellanicum* ja *Sphagnum fuscum* rahkasammalkloonien biomassan tuotos, g/m<sup>2</sup>/v ja reaktio ilman lämpötilan ja ilman hiilidioksidipitoisuuden vaihteluun kasvihuonekokeessa vuosina 2009–2010.

## 8.4 Tulosten tarkastelu

Saatujen tulosten mukaan vesi-, lämpö- ja ravinnetalouden suhteen kontrolloiduissa muovi- ja kasvihuonekokeissa voitiin valikoida suosammalviljelyyn rahka- ja karhunsammallajeja, joiden elinkyky, kasvuun lähtö ja biomassan tuotto turvealustalla olivat vähintään hyvällä tasolla. Soveliaimmiksi

lajeiksi osoittautuivat rahkasammalet *Sphagnum magellanicum* ja *Sphagnum fuscum* sekä korvenkarhunsammal *Polytrichum commune*. Viime mainittu soveltuu kuitenkin vain sekaviljelyyn rahkasammalten kanssa.

Tulosten mukaan elävistä sammalpätkistä viljelty, kontrolloitujen muovihuonekokeiden optimaalisissa olosuhteissa suosammalikko voi kasvaa kahden kasvukauden aikana noin yhden cm:n tasosta, 5–15 cm paksuksi sammalpaakuksi turpeen pinnalle. Rahkasammalten biomassan tuotto vaihteli eri astiakokeissa välillä 50–750 g kuiva-ainetta/m<sup>2</sup>/vuosi (500–7 500 kg kuiva-ainetta/ha/vuosi) sammallajista, turpeen kosteudesta ja ravinnepitoisuudesta sekä ilman lämpötilasta riippuen. Tuloksissa eri kokeiden kontrolliastioissa havaittavissa oleva saman rahkasammallajin tuotostason tasainen kohoaminen vuodesta 2007 vuoteen 2011 verrattuna selittyy lähinnä ilman lämpötilan muutoksilla; erityisesti vuosina 2010 ja 2011 vuotuinen kasvukauden lämpösumma oli merkittävästi korkeampi kuin vuosina 2008 ja 2009.

Keskeisimmäksi kasvutekijäksi suosammalten kannalta osoittautui turpeen kosteus so. turvemaan pohjaveden pinnan korkeus. Optimi tässä suhteessa on pohjaveden pinnan tason säilyttäminen turpeen pinnan tasolla. Mikäli maan kosteus voidaan ylläpitää riittävän korkeana suosammalia voitaneen kasvattaa turpeen pinnalle levitetystä elävistä sammalkasvustojen, 5–10 cm:n mittaisista yläosista, missä vaiheessa tahansa kasvukautta. Ensimmäinen kasvukausi on erityisen kriittinen maan vesitalouden suhteen. Kuivemmissä oloissa viljely on aloitettava sammalpaakuista. Kokeissa suosammalten, erityisesti rahkasammalten, todettiin toisaalta sietävän hyvin pitkäaikais-takin veden puutetta, mutta kuivuus pysäyttää niiden kasvun ja altistaa varsinkin nuoren viljelmän mm. voimakkaan tuulen haittavaikutuksille. Suosammalten suuri veden tarve edellyttää käytännön viljelyssä vähäsateisten ja lämpimien sääjaksojen varalle merkittävien vesivarastojen ylläpitoa viljelmien lähiympäristössä.

Suosammalten kasvuun lähtöä ja biomassan tuotosta voitiin näissä kokeissa oleellisesti parantaa kasviravinteilla ja maanparannusaineilla: keinolannoitteilla ja puuntuhkalla. Erityisen tärkeäksi yksittäiseksi kasviravinteeksi rahkasammalten kannalta osoittautui fosfori (P). Suosammalten fosforitarve oli kuitenkin alhaisempi kuin esimerkiksi metsäpuiden, joten positiivinen kasvureaktio saavutettiin jo alhaisilla fosforimäärillä. Erityisesti fosforin osalta tulokset ovat samansuuntaiset muiden rahkasammaltutkimusten kanssa (Fritz et al. 2011).

Fosforilisäys muutti rahkasammalten luonteenomaisen värin (*S. magellanicum* punerva-vihreä-ruskea, *S. fuscum* tumman ruskea) tumman-vaalean vihreäksi. Tämä viittaa muutokseen sammalten klorofyllin eli lehtivihreän määrässä ja/tai aktiivisuudessa ja sammalsolukoiden sisältämien eri väriaineiden määrasuhteissa. Pääravinteista fosfori on myös turvemaassa niukkaliukoisin kasvira-vinne. Happamassa turpeessa se on kemiallisesti sitoutunut niukkaliukoiseksi alumiini- ja rauta-fosfaateiksi. Siksi fosforin lisääminen edistää ravinteiden saatavuutta suosammalille.

Pääravinteista kaliumin (K) ja typen (N) vaikutukset rahkasammalten kasvuun olivat vähäiset. NK-ravinteet ovat turvemaassa kemiallisesti selvästi helppoliukoisemmassa muodossa kuin fosfori. Ammonium-typpeä ja K<sup>+</sup>-ioneja on turpeen pinnassa kasveille luontaisesti tarjolla enemmän. Toisaalta koko tutkimusjakson 2008–2011 aikana toteutetuissa ravinnekokeissa korkeimmat biomassan vuosituotokset saavutettiin testissä, jossa rahkasammalet lannoitettiin fosfori-typpi-kalium-seoksella. Tämä saattaa johtua siitä, että kaikkien pääravinteiden lisäys johti turpeen pinnalla tasapainoisempaan ravinnesuhteeseen ja/tai turpeen kasveille käyttökelpoisen fosforin määrä on ollut kokeissa kasvun minimitekijä, joka sääteli myös lisätyn typen ja kaliumin ottoa

ja hyödyntämistä. Typen vähäiset vaikutukset rahkasammalten kasvuun on havaittu myös muissa tutkimuksissa (Fritz et al. 2011).

Rahkasammalten korkeaan tuotokseen vaikuttavat kuitenkin myös edellä mainittu vuosien 2010–2011 aiempia vuosia korkeampi kasvukauden lämpösumma (NPK-kokeen NPK0-tason biomassan tuotos oli korkeampi kuin aiempien kokeiden 0-kontrollien tuotostasot). Lisäksi NPK-muovihuonekokeen rahkasammalastioita jouduttiin säilyttämään talviaikaan noin +2°C lämpöisessä kasvihuoneessa aiempia kokeita selvästi pitempään suojassa ankaralta talvelta 2010–2011 (voimakkaassa pakkasessa koeastiat jäätyvät kokonaan ja rahkasammalia tuhoutuu soille epäluonnollisissa jääoloissa).

Puuntuhkan ravinnevaikutuksia koskevat muovihuonekokeen ensimmäisen kasvukauden tulokset viittaavat siihen, että rahkasammal ja korvenkarhunsammal sekä vaativat että sietävät tuhkanannoitusta vähemmän kuin esimerkiksi metsäpuut. Puuntuhka-annokset 500–1 000 kg/ha parantavat suosammalten kasvua ja muuttavat rahkasammalten värin fosforilannoituksen tavoin voimakkaan vihreäksi. Alustavat tulokset viittaavat lisäksi siihen, että rahkasammal edistää selvästi korvenkarhunsammalten kasvuun lähtöä lajien yhteisviljelyssä.

Vuosina 2007–2011 toteutettujen kontrolloitujen kasvi- ja muovihuonekokeiden jälkeen rahkasammaltutkimuksen koetoiminta tulee keskittää kenttäolosuhteisiin.

## Kirjallisuus

- Fritz, C., van Dijk, G., Smolders, A.J.P, Pancotto, V.A., Elzenga, T.J.T.M., Roelofs, J.G.M. & Grootjans, A.P. 2011: Nutrient additions in pristine Patagonian *Sphagnum* bog vegetation: Can phosphorus addition alleviate the effects of increased nitrogen loads. *Plant Biology*, Research Paper, pp 1-9.
- Gaudig, G., Gahlert, F., Krebs, M., Prager, A., Schulz, J., Wichmann, S. & Joosten, H. 2012: *Sphagnum* farming in Germany - 10 years on the road to sustainable growing media. *Proceedings 14th Int. Peat Congress in Stockholm*, Schweden: No. 374.
- Krebs, M., Gaudig, G. & Joosten, H. 2012: *Sphagnum* farming on bog grassland in Germany - first results. *Proceedings 14th Int. Peat Congress in Stockholm*, Schweden: No. 294.
- Landry, J., Pouliot, R., Gaudig, G., Wichman, S. & Rochefort, L. 2011: *Sphagnum* farming workshop in the Canadian Maritimes; a chance to overview the international research efforts and challenges. *Peatland International 2/2011*, pp 28-33.
- Wichmann, S., Gaudig, G., Krebs, M. & Joosten, H. 2012. Paludiculture - ecosystem services of *Sphagnum* farming on rewetted bogs in NW Germany. *Proceedings 14th Int. Peat Congress in Stockholm*, Sweden: No. 369.

## Vaikutukset metsäluontoon ja metsien hoitoon

Metlan työraportteja 289: 75–84

### 9 Energiapuun korjuun vaikutus metsämaan ominaisuuksiin ja prosesseihin sekä puuston kasvuun

Pekka Tamminen, Anna Saarsalmi, Aino Smolander, Antti-Jussi Lindroos ja Mikko Kukkola

#### Tiivistelmä

Hakkuutähteen korjuu alensi tieteellisissä harvennuskokeissa, joissa hakkuutähteen poistuma oli käytännön kohteita suurempaa, puuston kasvua. Kasvun aleneminen näytti riippuvan korjatun hakkuutähteen määrästä ja toisaalta sen sisältämien ravinteiden määrästä suhteessa maan ravinteisiin. Hakkuutähteen korjuu avohakkuun yhteydessä ei vaikuttanut istutusmäntyjen kasvuun 22 vuoden aikana istutuksesta.

Hakkuutähteen korjuu avohakkuun yhteydessä ei vaikuttanut maan ravinteisuuteen, mutta harvennushakkuiden yhteydessä tehty hakkuutähteen korjuu laski hieman kalium-, kalsium- ja magnesiummääriä t. Joillakin kasvupaikoilla harvennuksen yhteydessä tehty hakkuutähteen korjuu muutti humuskerroksen orgaanisen aineen koostumusta pitkäaikaisesti ja heikensi typen saatavuuden kannalta keskeisiä mikrobiprosesseja.

Kangasmailla tuhka, joka sisältää mm. emäskationeja, fosforia ja booria, ei lisää puuston kasvua, mutta vähentää maan happamuutta ja lisää maaperän biologista aktiivisuutta sekä voi poistaa boorin puutteen. Kangasmetsissä kasvunlisäyksen aikaansaaminen näyttäisi edellyttävän tuhkan ohella myös typpilisäystä.

Alustavien, kahden vuoden tulosten mukaan hakkuutähteen korjuu avohakkuualalla vaikutti huuhtoutuvien ravinteiden pitoisuuksiin ja määriin. Juuristokerroksen alapuolelle huuhtoutuneen nitraattitypen määrät olivat sitä suurempia, mitä enemmän hakkuutähteitä oli.

#### Abstract

#### **Effects of energy wood harvesting on forest soil properties and processes and on tree growth**

Logging residue harvest in scientific thinning experiments, where the removal of biomass was larger than on commercial harvest, seemed to decrease on average the tree growth. Growth reduction seemed to depend on the amount of harvested logging residue and on the amount of nutrients in logging residue compared to soil nutrients. Logging residue harvest at clearfelling had no effect on the growth of pines during the first 22 years after regeneration.

Logging residue harvest at clearfelling did not affect soil nutrients, but logging residue harvest in thinnings resulted in a small decrease in the amounts of potassium, calcium and magnesium. On some sites logging residue harvest in thinnings changed the chemical composition of organic layer and inhibited microbial processes that are important for availability of nitrogen.

On upland soils wood ash, containing base cations, phosphorus and boron, does not increase tree growth, but decreases soil acidity, increases biological activity in soil and may eliminate boron deficiency. On upland sites nitrogen was needed together with wood ash to increase tree growth.

According to preliminary results the amount of logging residue affected concentrations and amounts of leached nutrients. The amount of nitrate nitrogen leached below rooting zone was the higher, the higher was the amount of logging residues.

## 9.1 Johdanto

Hakkuutähteitä hyödynnetään biopolttoaineena yhä enemmän. Energiapuuta korjataan riukuvaiheen metsiköiden perkauksen, ensiharvennuksien ja erityisesti päätehakkuiden yhteydessä. Uusiutuvien ja hiiltä sitovien energianlähteiden käytön lisäämisellä vähennetään uusiutumattomien fossiilisten polttoaineiden käyttöä ja ilmastolle haitallisia hiilidioksidipäästöjä. Puuenergian hyödyntämisellä on lisäksi merkittävä työllistävä vaikutus, joka kohdistuu suurelta osin maaseudulle.

Hakkuutähteiden talteenotto ei kuitenkaan ole ongelmattonta. Hakkuutähteiden mukana kasvupaikalta poistetaan ravinteita moninkertaisesti pelkkään runkopuun korjuuseen verrattuna. Neulasten ja oksien mukana menetetään varsinkin typpeä, jonka saatavuus on kangasmailla puuston kasvua eniten rajoittava tekijä. Suurin osa metsikön kokonaistypestä on maaperässä sitoutuneena orgaaniseen ainekseen. Maaperän lisäksi typpeä on runsaasti myös puustossa, varsinkin neulasissa ja oksissa. Männiköissä yli 60 % ja kuusikossa yli 70 % puuston maanpäälliseen osaan sitoutuneesta tyyppistä on neulasissa ja oksissa. Vaikka runkopuussa on paljon biomassaa, sen tyypipitoisuudet ovat pieniä, ja tyyppien määrä vastaavasti pienempi kuin latvustossa.

Perinteisessä ainespuun korjuussa hakkuutähteiden sisältämät ravinteet jäävät kasvupaikalle. Maahan palautuvasta tyyppistä valtaosa (helpommin hajotettavat yhdisteet) palautuu uudelleen kasvun saataville, neulasista alle kymmenessä ja oksistakin parissakymmenessä vuodessa. Pieni osa hakkuutähteidenkin tyyppistä jää kartuttamaan maaperän vaikeasti hajotettavaa orgaanisen tyyppien varastoa. Ensiharvennuskasvustossa latvukset sisältävät noin kolmanneksen puuston maanpäällisen osan biomassasta, mutta noin kaksi kolmannesta ravinteista. Kuusen latvusmassa on noin kaksinkertainen samankokoiseen mäntyyn verrattuna. Ravinnemäärissä ero on vielä suurempi. Tuoreen hakkuutähteen korjaaminen merkitsee varsinkin kuusikoissa huomattavan suuren ravinnemäärän poistumista kasvupaikalta. Ensiharvennuksen hakkuutähteissä korjattava tyyppimäärä vastaa usean vuoden karikesadon tyyppimäärää.

Puuta polttavissa energialaitoksissa syntyy vuosittain 150 000–200 000 tonnia puutuhkaa. Puunjalostustehtaiden yhteydessä toimivien voimalaitosten polttoaineita ovat olleet lähinnä puun kuori ja puru. Viime vuosina on poltossa alettu käyttää yhä enemmän myös pienpuuta, hakkuutähteitä ja kantoja. Jos puupolttoaineiden käyttö lisääntyy suunnitellusti, puutuhkaa tuotetaan vieläkin enemmän lähitulevaisuudessa.

Puutuhka sisältää typpeä lukuun ottamatta muita ravinteita likimain samoissa suhteissa kuin niitä on puuston biomassassa. Monipuolisen ravinnesisältönsä lisäksi tuhkalla on voimakas kalkitusvaikutus eli se neutraloi maaperää (Saarsalmi ym. 2001 ja 2006, Jacobson ym. 2004). Palauttamalla energiantuotannossa puusta syntyvä tuhka metsämalleille korvataan puunkorjuussa syntyvää ravinnemenetystä ja estetään maan happamoitumista. Näin saadaan tuhka hyötykäyttöön ja vähennetään samalla jäteongelmia.

Koska tuhka ei sisällä typpeä, sen ei ole arvioitu lisäävän puun tuotosta kasvupaikoilla, joilla kasvua rajoittaa eniten typen puute. Siksi tuhkaa ei ole perinteisesti suositeltu kangasmailla tai hyvin niukkatyppisiin suometsiin, vaan lähinnä sellaisiin suometsiin, joissa on niukkuutta erityisesti fosforista ja kaliumista. Puiden kasvureaktiot ovatkin jääneet karuilla, vähätyppisillä kangasmailla yleensä vähäisiksi (Jacobson 2003, Saarsalmi ym. 2004 ja 2005).

Tässä tutkimushankkeessa tarkasteltiin hakkuutähteen korjuun vaikutusta metsämaan ominaisuuksiin ja prosesseihin sekä puuston kasvuun. Lisäksi tutkittiin tuhka- ja typpilannoituksen vaikutusta maaperään ja puuston kasvuun.

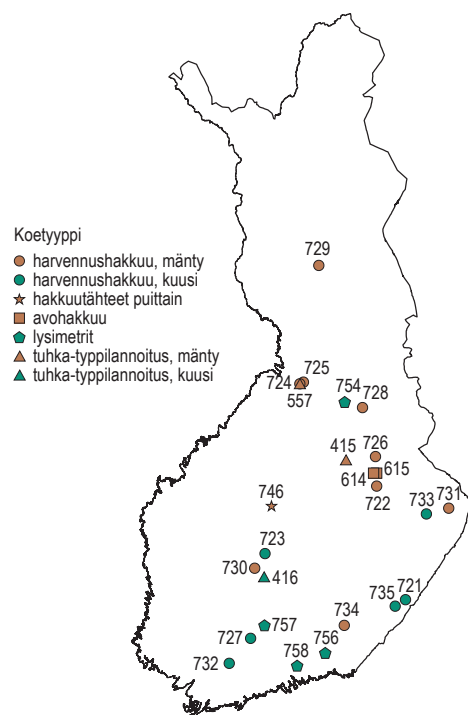
## 9.2 Aineisto ja menetelmät

Hankkeessa saadut tulokset perustuvat pääosin 20-30 vuotta sitten perustettuihin kokeisiin, joita on ohessa luonnehdittu lyhyesti.

Hakkuutähteen korjuun suhdetta puuston kasvuun tarkasteltiin pohjoismaisen harvennuskoesarjan avulla, johon kuului 14 männikköä ja 8 kuusikkoa viljavuudeltaan erilaisilla kasvupaikoilla (Helmisaari ym. 2011). Kokeet sijaitsivat Etelä-Ruotsista Rovaniemen korkeudelle ulottuvalla vyöhykkeellä. Suomalaisten kokeiden sijainti ilmenee kuvasta 9.1. Kokeissa oli viisi käsittelyä: 1) ainespuun korjuu, 2) kokopuun korjuu eli ainespuun lisäksi korjattiin hakkuutähteet, 3) kokopuun korjuu ja korvaava NPK-lannoitus eli hakkuutähteen sisältämät ravinnemäärät, 4) ainespuun korjuu ja normaali lannoitus, männiköihin 150 kg/ha typpeä, kuusikoihin 150 kg/typpeä ja 30 kg/ha fosforia) ja 5) kokopuun korjuu ja normaali lannoitus. Koepuustojen kasvua seurattiin 20–25 vuoden ajan. Suomalaisilta harvennuskokeilta kerättiin lisäksi maanäytteet vuonna 2008, jotta olisi voitu arvioida, näkyykö hakkuutähteen korjuu maaperän ravinnemäärissä (Tamminen ym. 2012).

Avohakkuun yhteydessä tehdyn hakkuutähteen korjuun suhdetta männyntaimikon kehitykseen ja maaperän happamuuteen ja hiilen ja ravinteiden määriin selvitettiin kahdella metsänviljelykokeella Rautavaaralla (kokeet 614 ja 615, kuva 9.1). Kokeilta otettiin maanäytteet ja mitattiin puusto, kun kokeiden perustamisesta oli kulunut 22 vuotta (Saarsalmi ym. 2010b).

Mikrobibiomassan sisältämän hiilen ja typen määrää ja joitakin hiilen ja typen kierron mikrobiprosesseja sekä fenolisten yhdisteiden ja terpeenien pitoisuuksia metsämaassa selvitettiin osalla em. harvennuskokeita ja Kannonkoskelle perustetulla puittaisella hakkuutähteen annoskokeella (Smolander ym. 2008 ja 2010a ja b) (kuva 9.1). Em. yhdisteet ovat kiinnostavia, koska hakkuutähte sisältää niitä runsaasti, ja ne voivat säädellä typen kiertoa (Smolander ym. 2012). Hakkuutähteestä vapautuvien ja veden mukana huuhtoutuvien ravinteiden määriä ja huuhtoutumisen ajoittamista mitattiin neljällä 2008–2009 perustetulla



Kuva 9.1. Kenttäkokeiden sijainti.

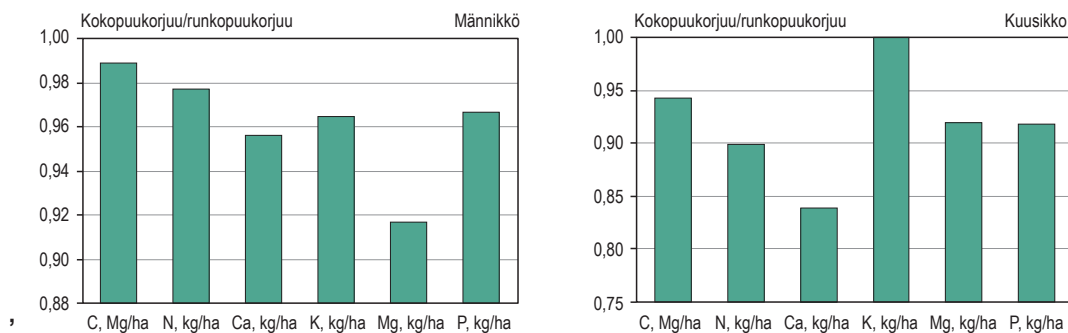
lysimetrikokeella, joiden käsittelyt olivat 0, 10 ja 40 kg/m<sup>2</sup> tuoreita kuusen oksia (kuva 9.1). Lisäkäsittelyä oli 0,3 kg/m<sup>2</sup> puutuhkaa (Lindroos ym. 2011).

Puutuhkan ja typpilannoituksen yhteisvaikutusta maan kemiallisiin ominaisuuksiin, hiilen ja typen kierron mikrobiprosesseihin sekä puuston kasvuun tutkittiin 60-vuotiaassa kanervatyypin männikössä Muhoksella (koe 557), 31-vuotiaassa puolukkatyypin männikössä Sonkajärvellä (koe 415) ja 45-vuotiaassa mustikkatyypin kuusikossa Jämsässä (koe 416) (kuva 9.1). Lannoitteena annettiin pelkkää typpeä tai typpeä ja puutuhkaa. Kokeilta otettiin maanäytteet ja mitattiin puusto, kun kokeiden perustamisesta oli kulunut 15 (kokeet 415 ja 416) tai 30 (koe 557) vuotta (Saarsalmi ym. 2010a ja 2012).

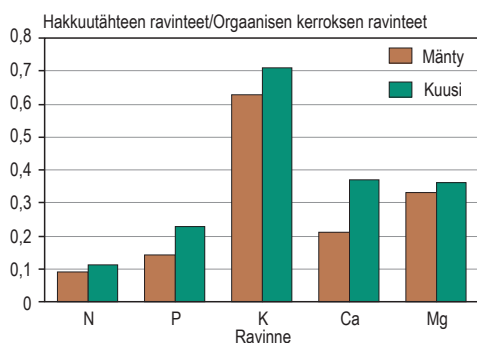
### 9.3 Tulokset ja tulosten tarkastelu

#### 9.3.1 Hakkuutähteen korjuun vaikutus maaperään

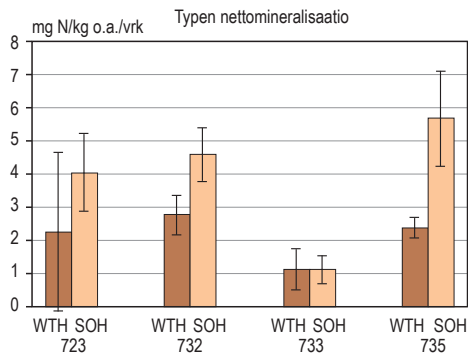
Hakkuutähteen korjuu näyttää vaikuttavan hyvin vähän maan orgaanisen aineen, hiilen ja ravinteiden määriin. Kahdessa avohakkuun yhteydessä perustetussa kokeessa hakkuutähteen korjuu ei näkynyt maaperän ominaisuuksissa 22 vuoden kuluttua avohakkuusta (Saarsalmi ym. 2010b). Myöskään harvennushakkuiden yhteydessä hakkuutähteen korjuu ei näyttänyt oleellisesti vaikuttavan maan ominaisuuksiin (Tamminen ym. 2012 ja 2013). Tutkimus antoi kuitenkin viitteitä siitä, että suuren hakkuutähdemäärän korjaamisen jälkeen maassa on vähemmän ravinteita kuin pelkän runkopuun korjuun jälkeen (kuva 9.2). Hakkuutähteessä on runsaasti kaliumia, kalsiumia ja magnesiumia, mutta vähemmän fosforia ja erityisesti typpeä verrattuna humuskerroksen ravinnemääriin (kuva 9.3). Toisaalta typpi on ainoa pääraavinne, joka yleensä rajoittaa havupuiden kasvua kangasmailla.



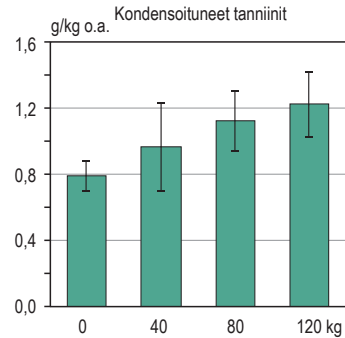
**Kuva 9.2.** Kokopuukorjattujen koalojen suhteelliset alkuainemäärät maassa, ts. kokopuun korjuu/runkopuun korjuu, jolloin runkopuukorjattujen koalojen suhteellinen alkuainemäärä = 1 (Tamminen ym. 2012).



**Kuva 9.3.** Hakkuutähteen ja humuskerroksen ravinnemäärien suhde puulajeittain (Tamminen ym. 2012).



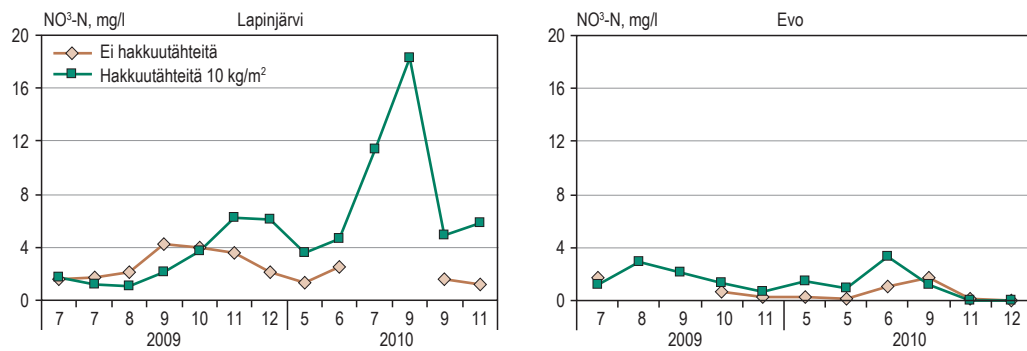
**Kuva 9.4.** Typen nettomineralisaatio neljän hakkuutähdekokeen humuskerroksessa orgaanista ainetta (o.a.) kohti ilmaistuna (Smolander ym. 2010a). WTH = kokopuukorjuu, SOH = ainespuukorjuu.



**Kuva 9.5.** Vesiliukoisten kondensoituneiden tanniinien pitoisuus humuskerroksessa puittaisella hakkuutähdekoekalla nuorena harvennusmännikössä (Smolander ym. 2010b). Tuoretta hakkuutähdettä levitetty 0–120 kg puun ympärille ympyrään, jonka säde 2,5 m.

Hakkuutähdekorjuu näyttää aiheuttavan osalla kasvupaikoista pitkäaikaisia muutoksia humuskerroksen orgaanisen aineen ominaisuuksissa. Kuusikoissa harvennusten yhteydessä kahteen kertaan tehty hakkuutähdekorjuu hidasti typen nettomineralisaatiota eli mineraalityypen vapautumista orgaanisesta aineesta hajotuksen yhteydessä (Smolander ym. 2008, 2010a ja 2013) (kuva 9.4). Hakkuutähdekorjuu hidasti myös hiilen mineralisaatiota, mutta suhteellisesti vähemmän kuin typen mineralisaatiota. Hakkuutähdekorjuu aiheutti lisäksi muutoksia esim. terpeenipitoisuuksissa. Hakkuutähdekorjuu vaikutti myös nuorena harvennusmännikössä tehdyllä puittaisella hakkuutähdekoekalla: neljän vuoden kuluttua harvennukselta sekä hiilen että typen mineralisaatio humuskerroksessa olivat aktiivisimmillaan suurimmilla hakkuutähdemäärillä (Smolander ym. 2010b ja 2013). Tärkeän fenolisen yhdisteryhmän, kondensoituneiden tanniinien pitoisuus näytti alenevan hakkuutähdekorjuun myötä (kuva 9.5). Lisäksi maan entsyymiaktiivisuus oli muuttunut (Adamczyk ym. 2011). Kaiken kaikkiaan nämä tutkimustulokset viittaavat siihen, että hakkuutähdekorjuu saattaa heikentää typen saatavuuden kannalta keskeisiä prosesseja osalla kasvupaikoista ja muuttaa muutenkin orgaanisen aineen koostumusta. On mielenkiintoista, että orgaanisessa aineessa oli tapahtunut muutoksia samoilla kuusikon harvennuskokeilla, joissa puuston tilavuuskasvu oli alentunut, mutta tutkimusaineisto on liian pieni syy- ja seuraussuhteiden tarkasteluun.

Lysimetrikokeiden alustavien tulosten mukaan hakkuutähdekorjuu näyttäisi vaikuttavan jossain määrin huuhtoutuvien ravinteiden pitoisuuksiin ja määriin. Hämeenlinnan Lammin Evolla ja Lapinjärven Mysmalilla mitattiin vajoveden nitraattityypen pitoisuuksia juuristovyöhykkeen alapuolelta 40 cm:n syvyydeltä kivennäismaasta. Molemmilla kohteilla hiekkamaalla kasvanut kuusikko uudistettiin, ja nitraatin huuhtoutumista vajoveden mukana seurattiin vuosina 2009–2010. Huuhtoutumista seurattiin pienruutujen alapuolelta, joiden käsittelyt olivat 0, 10 ja 40 kg/m<sup>2</sup> tuoreita kuusen oksia. Nitraatin pitoisuudet olivat korkeampia, mikäli hakkuutähdettä ei korjattu (kuva 9.6). Kaikkein korkeimmat nitraatin pitoisuudet mitattiin, kun hakkuutähdettä jätettiin erittäin isoina kasoina (40 kg/m<sup>2</sup>). Hakkuutähdekorjuu voivat vaikuttaa myös muiden aineiden kuten ammoniumtypen ja liukoisen orgaanisen hiilen pitoisuuksiin aivan maaperän pinnassa hakkuutähdekorjuun alla, vaikka huuhtoutuminen syvemälle maahan juuristovyöhykkeen alapuolelle olisikin vähäistä (Lindroos ym. 2011).

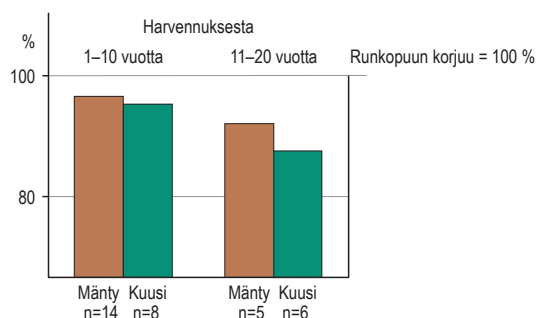


**Kuva 9.6.** Vajoveden nitraattityypen pitoisuus päätehakkuualoilla Lapinjärvellä ja Hämeenlinnan Lammilla (Evo) vuosina 2009 ja 2010 näytteenottoaikausittain. Käsittelyt: ei hakkuutähdettä, hakkuutähdettä 10 kg/m<sup>2</sup>. Vajovesi kerättiin 40 cm:n syvyydestä kivennäismaasta.

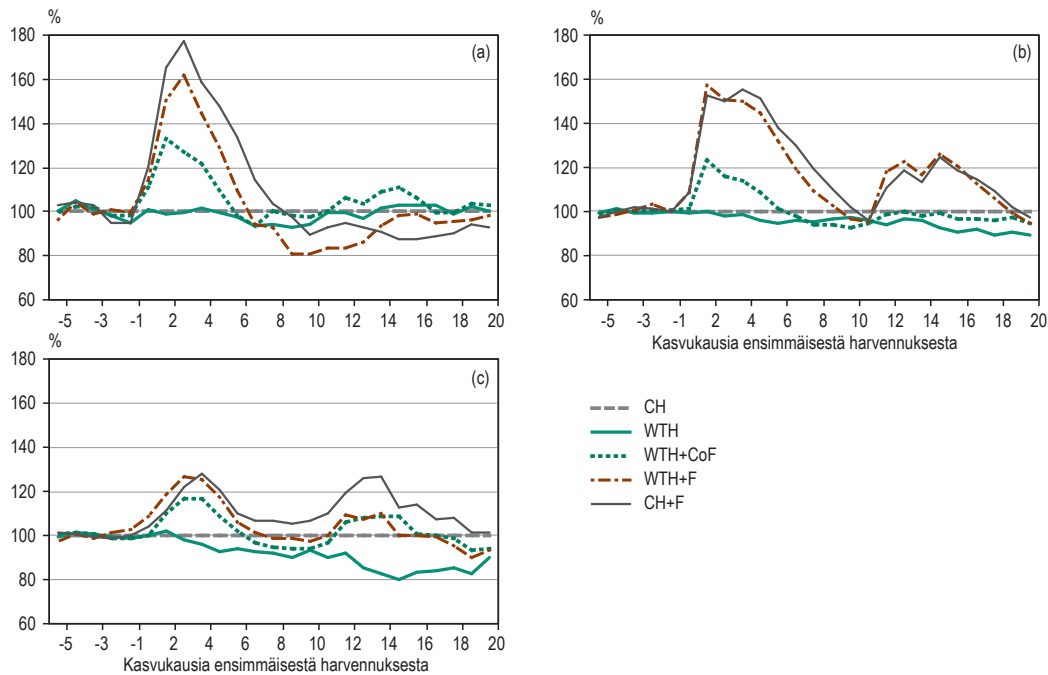
### 9.3.2 Puuston kasvu harvennusmetsissä hakkuutähteiden korjuun jälkeen

Pohjoismaisen hakkuutähdkeoesarjan mukaan hakkuutähteen korjuu alensi männiköiden runkopuun tilavuuskasvua keskimäärin 4 % ja kuusikoiden 5 % ainespuun korjuuseen verrattuna 10 vuoden seuranta-aikana (kuva 9.7) (Helmisaari ym. 2011). Kuudessa kuusikossa ja viidessä männikössä harvennus toistettiin 10-vuoden kuluttua ensimmäisestä harvennuksesta. Toisen 10-vuotisjakson aikana hakkuutähteen korjuu alensi tilavuuskasvua männiköissä keskimäärin 8 % ja kuusikoissa 13 % ainespuun korjuuseen verrattuna (kuva 9.7). Kasvun väheneminen oli yhteydessä hakkuutähteiden korjuussa poistuneiden ravinteiden, erityisesti typen, määrään. Näytti siltä, että hakkuutähteen korjuu alentaa puuston kasvua sitä enemmän, mitä enemmän hakkuutähdettä korjataan ja mitä suurempia ovat hakkuutähteen sisältämät ravinnemäärät suhteessa pintamaan ravinnemääriin. Kokopuukorjuukoalojen puuston kasvu vastasi täysin runkopuukorjuukoalojen kasvua, kun korjattujen hakkuutähteiden sisältämät ravinteet korvattiin NPK-lannoituksella. Normaalinlannoitus lisäsi puiden kasvua tavanomaisesti, mutta hiukan vähemmän koaloilla, joilta hakkuutähteet oli korjattu (kuva 9.8).

Kokeissa hakkuutähteet poistettiin tarkemmin ja vertailukoaloille hakkuutähteet jätettiin tasaisemmin kuin käytännön puunkorjuussa. Käytännön puunkorjuussa jätettävät hakkuutähteet keskittyvät usein ajourille ja niiden varteen, mikä heikentää puuston mahdollisuutta hyödyntää hakkuutähteistä vapautuvia ravinteita. Hakkuutähteitä ei myöskään korjata käytännössä yhtä tarkasti kuin kokeissa. Siksi hakkuutähteiden korjuu harvennushakkuissa alentaa todennäköisesti puuston kasvua käytännössä keskimäärin vähemmän kuin tieteellisissä kokeissa.



**Kuva 9.7.** Hakkuutähteen korjuun vaikutus männiköiden ja kuusikoiden tilavuuskasvuun 1. ja 2. harvennuksen jälkeen. (Helmisaari ym. 2011). Toinen harvennus ja hakkuutähteen korjuu tehtiin 10 vuotta ensimmäisestä harvennuksesta. Runkopuukorjattujen koalojen kasvu on merkitty 100:lla.

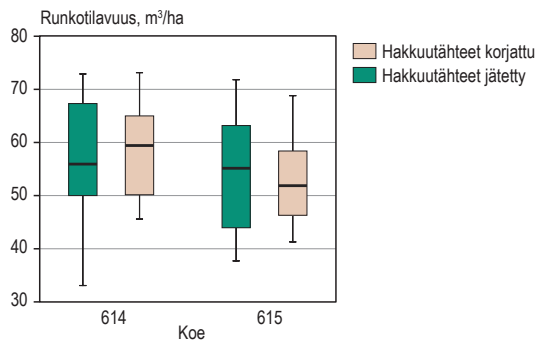


**Kuva 9.8.** Puuston suhteellinen pohjapinta-alan kasvu hakkuutähteen korjuuta seuranneella 20-vuotiskaudella (runkopuun korjuu=100%). (a) yhteen kertaan harvennetut männiköt, (b) kahteen kertaan harvennetut männiköt, (c) kahteen kertaan harvennetut kuusikot (Helmisaari ym. 2111). Käsitellyt: CH = ainespuun korjuu, WTH = kokopuun korjuu, WTH+CoH = kokopuun korjuu ja korvaava NPK-lannoitus, WTH+F = kokopuun korjuu ja normaalilannoitus (männiköt 150 kg/ha typpeä, kuusikot 150 kg/typpeä ja 30 kg/ha fosforia) ja CH+F = ainespuun korjuu ja normaali lannoitus. (Helmisaari ym. 2011).

Tuoreen hakkuutähteen korjuu harvennusmetsistä merkitsee joka tapauksessa huomattavan suuren ravinnemäärän poistumista kasvupaikalta, ja ravinnemenetys on aina puuston kasvua rasittava tekijä. Koska typpi on lähes kaikissa kangasmetsissämme puuston kasvua rajoittava tekijä, typen menetys merkitsee aina kasvuolosuhteiden heikkenemistä ja mahdollisia kasvutappioita. Lisäksi hakkuutähteen korjuu saattaa heikentää typen saatavuuden kannalta keskeisiä prosesseja joissakin metsämaissa pitkäaikaisesti. Maan ravinteisuuden kannalta olisi edullista, jos neulaset jäisivät hakkuualalle. Tällöin biomassan entistä tarkemmasta korjuusta aiheutuvat riskit ja ravinteiden korvaustarve jäisivät vähäisiksi.

### 9.3.3 Taimikoiden kasvu hakkuutähteen korjuun jälkeen

Hakkuutähteen korjuulla ei ollut vaikutusta männyn kasvuun Rautavaaralla ensimmäisen 22 vuoden aikana (kuva 9.9) (Saarsalmi ym. 2010b). Koealue muokattiin auraamalla, jolloin hakkuutähteen korjuun vaikutus on voinut peittyä voimaperäisen muokkauksen aiheuttamiin muutoksiin taimien elinympäristössä. Aikaisempien tutkimusten perusteella hakkuutähteen korjuun vaikutus taimikoiden alkukehitykseen on ollut vähäinen, ja vaikutus on ilmennyt selvemmin kuusella (Egnell & Lejon 1999) kuin männyllä (Egnell & Valinger 2003). Ruotsalaisen tutkimuksen mukaan kuusen taimikoiden pituuskasvu oli 15-vuotisen tutkimusjakson aikana alentunut viljavilla kasvupaikoilla, joilta hakkuutähteen korjuussa poistuu eniten ravinteita (Egnell & Lejon 1999). Kasvun taantuma alkoi vajaan 10 vuoden kuluttua pätehakkuusta ja vastasi keskimäärin kahden vuoden pituuskasvua. Männyn pituuskasvuun hakkuutähteen korjuulla ei 15-vuotisen tutkimusjakson aikana ollut vaikutusta. Hakkuutähteen korjuulla on ruotsalaisen tutkimuksen mukaan ollut lievä negatiivinen vaikutus myös männyn pituuskasvuun, mutta vaikutus on ollut nähtävissä männyllä myöhemmin kuin kuusella (Egnell & Valinger 2003).

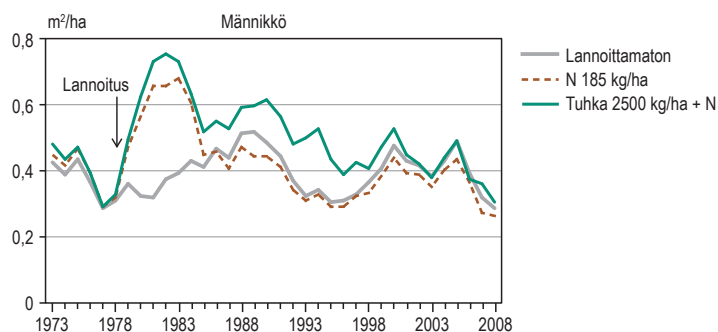


**Kuva 9.9.** Mäntyjen runkotilavuus runkopuun ja kokopuun korjuun jälkeen 22 vuotta istutuksesta Rautavaaralla. Kuva esittää tilavuuden jakaumatunnukset: minimin, kvartiilit ja maksimin (Saarsalmi ym. 2010).

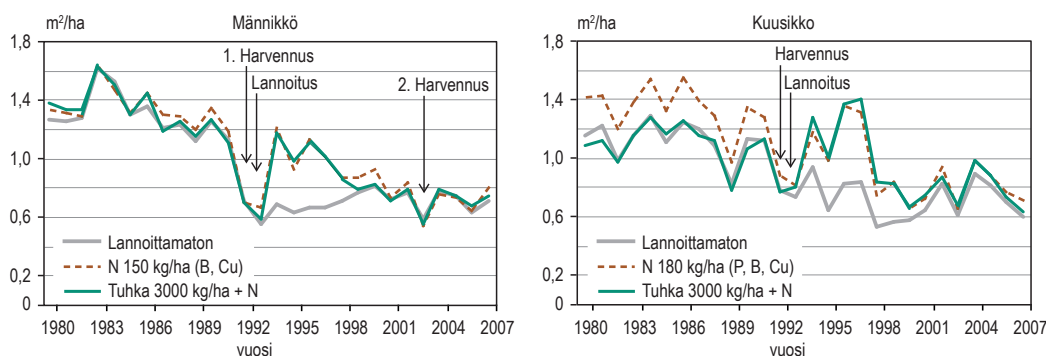
### 9.3.4 Kasvupaikalta poistuvien ravinteiden korvaaminen puutuhkalla ja typpilannoituksella

Typpilannoituksen ohella annettu tuhkalannoitus lisäsi humuskerroksen emäskationien pitoisuuksia ja vähensi maan happamuutta pelkkään typpilannoitukseen ja lannoittamattomaan käsittelyyn verrattuna. Vaikutus oli pitkäaikainen. Humuksen vaihtuvan kalsiumin, magnesiumin ja kaliumin pitoisuudet olivat puolukkatyyppin männikössä ja mustikkatyyppin kuusikossa merkitsevästi korkeammat 15 kasvukauden jälkeen (Saarsalmi ym. 2010a) ja kanervatyyppin männikössä 30 kasvukauden jälkeen (Saarsalmi ym. 2012). Typpilannoituksen ohella annettu tuhkalannoitus vaikutti maan hiilen ja typen kierron kannalta keskeisiin prosesseihin keskimäärin edullisesti, vaikka vaikutus vaihtelikin kasvupaikan mukaan. Yhdistetty tuhka- ja typpilannoitus lisäsi mikrobibiomassaa, hiilen ja typen mineralisaatiota ja ammoniumtypen pitoisuuksia (Saarsalmi ym. 2010 ja 2012). Kuitenkaan tämä lannoitus ei aiheuttanut helposti huuhtoutuvan nitraattitypen muodostumista.

Tuhkalannoituksella voi karuillakin kangasmailla olla ravinnekiertoa vilkastuttava ja puiden kasvua lisäävä vaikutus, jos tuhkan ohella on annettu typpeä. Tuhkan ja typpilannoitteen yhteisvaikutus voi kestää kauemmin kuin pelkän typpilannoitteen vaikutus. Kun kanervatyyppin männikköä lannoitettiin pelkästään typellä tai typellä ja tuhkalla, niin pelkän typen kasvua lisäävä vaikutus loppui alle 10 vuodessa, mutta yhdistetty typpi-tuhkalannoitus paransi mäntyjen kasvua huomattavasti pidempään (kuva 9.10). Puolukkatyyppin männikössä ja mustikkatyyppin kuusikossa, joissa niin ikään tuhkan ohella oli annettu typpeä, puuston kasvussa ei ollut oleellista eroa lannoitusta seuraavan 15-vuotisjakson aikana, oli typpi annettu sitten tuhkan kanssa tai yksinään (kuva 9.11).



**Kuva 9.10.** Puuston pohjapinta-alan kasvu kanervatyyppin männikössä Muhoksella, kun lannoitteena on annettu typpeä tai typpeä ja puutuhkaa. Typpeä annettiin 185 kg/ha ureana syksyllä 1978, puutuhkaa 2 500 kg/ha keväällä 1979 (Saarsalmi ym. 2012).



**Kuva 9.11.** Puuston pohjapinta-alan kasvu puolukkatyyppin männikössä Sonkajärvellä ja mustikkatyyppin kuusikossa Jämsässä, kun lannoitteena on annettu typpeä tai typpeä ja puutuhkaa. Typpeä annettiin männikössä 150 kg/ha ja kuusikossa 180 kg/ha ammoniumnitraattina ja puutuhkaa 3 000 kg/ha syksyllä 1993 (Saarsalmi ym. 2010).

## Kirjallisuus

- Adamczyk, B., Adamczyk, S., Kukkola, M., Tamminen, P. & Smolander, A. 2011. Removal of logging residue changes soil enzymatic activity. Dick, R.P. & Sandeno, J. (toim.) *Enzymes in the Environment: Activity, Ecology and Applications*. 17-21 July, 2011, Bad Neuheim, Germany, s. 86.
- Egnell, G. & Lejon, B. 1999. Survival and growth of planted seedlings of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* after different levels of biomass removal in clear-felling. *Scandinavian Journal of Forest Research* 14:303-311.
- Egnell, G. & Valinger, E. 2003. Survival, growth, and growth allocation of planted Scots pine trees after different levels of biomass removal in clear-felling. *Forest Ecology and Management* 177: 65-74.
- Helmisaari, H.-S., Holt Hansen, K., Jacobson, S., Kukkola, M., Luro, J., Saarsalmi, A. & Tamminen, P. 2011. Logging residue removal after thinning in Nordic boreal forests: long-term impact on tree growth. *Forest Ecology and Management* 261: 1919-1927.
- Jacobson, S. 2003. Addition of stabilized wood ashes to Swedish coniferous stands on mineral soils - effects on stem growth and needle nutrient concentrations. *Silva Fennica* 37, 437-450.
- Jacobson, S., Högbom, L., Ring, E. & Nohrstedt, H.-Ö. 2004. Effects of wood ash dose and formulation on soil chemistry at two coniferous forest sites. *WaterAir Soil Pollut* 158, 113-125.
- Lindroos, A.-J., Tamminen, P. & Ilvesniemi, H. 2011. Hakkuutähteiden ja tuhkalannoituksen vaikutus huuhtoutumiseen. Soinne, H. ym. (toim.). VI Maaperätieteiden päivien abstraktit. *Pro Terra* 52: 59.
- Saarsalmi, A., Mälkönen, E. & Piirainen, S. 2001. Effects of wood ash fertilization on forest soil chemical properties. *Silva Fennica* 35, 355-368.
- Saarsalmi, A., Mälkönen, E. & Kukkola, M. 2004. Effects of wood ash fertilization on soil chemical properties and stand nutrient status and growth of some coniferous stands in Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 19, 217-233.
- Saarsalmi, A., Derome, J. & Levula, T. 2005. Effect of wood ash fertilization on stand growth, soil water and needle chemistry, and berry yields of lingonberry (*Vaccinium vitis-idaea* L.) in a Scots pine stand in Finland. *Metsanduslikud uurimused/Forestry Studies* 42, 13-33.
- Saarsalmi, A., Kukkola, M., Moilanen, M. & Arola, M. 2006. Long-term effects of ash and N fertilization on stand growth, tree nutrient status and soil chemistry in a Scots pine stand. *Forest Ecology and Management* 235, 116-128.
- Saarsalmi, A., Smolander, A., Kukkola, M. & Arola, M. 2010a. Effect of wood ash and nitrogen fertilization on soil chemical properties, soil microbial processes, and stand growth in two coniferous stands in Finland. *Plant and Soil* 331: 29-340.

- Saarsalmi, A., Tamminen, P., Kukkola, M. & Hautajärvi, R. 2010b. Whole-tree harvesting at clear-felling: Impact on soil chemistry, needle nutrient concentrations and growth of Scots pine. *Scandinavian Journal of Forest Research* 25:148-156.
- Saarsalmi, A., Smolander, A., Kukkola, M., Moilanen, M. & Saramäki, J. 2012. 30-year effects of wood ash and nitrogen fertilization on soil chemical properties, soil microbial processes and stand growth in a Scots pine stand. *Forest Ecology and Management* 278: 63-70.
- Smolander A., Levula T. & Kitunen V. 2008. Response of litter decomposition and soil C and N transformations in a Norway spruce thinning stand to removal of logging residues. *Forest Ecology and Management* 256:1080-1086.
- Smolander A., Kitunen V., Tamminen P. & Kukkola M. 2010a. Removal of logging residue in Norway spruce thinning stands: Long-term changes in organic layer properties. *Soil Biology and Biochemistry* 42:1122-1228.
- Smolander A., Kitunen V., Tamminen P & Kukkola M. 2010b. Response of soil organic layer characteristics to different amounts of logging residue in a Scots pine thinning stand. *Geophysical Research Abstracts* 12, EGU2010-3222.
- Smolander, A., Kanerva, S., Adamczyk, B. & Kitunen, V. 2012. Nitrogen transformations in boreal forest soils - does composition of plant secondary compounds give any explanations? *Marschner review. Plant and Soil* 350: 1-26.
- Smolander, A., Adamczyk, B., Kitunen, V., Kukkola, M. & Tamminen, P. 2013. Hakkuutähteen korjuun pitkäaikainen vaikutus metsämaan orgaanisen aineen laatuun. . Leppälampi-Kujansuu ym. (toim.) *Maankäytön kestävyys. VII Maaperätieteen päivien abstraktit. Pro Terra* 61: 16-17.
- Tamminen, P., Saarsalmi, A., Smolander, A., Kukkola, M. & Helmisaari, H.-S. 2012. Effects of logging residue harvest in thinnings on amounts of soil carbon and nutrients in Scots pine and Norway spruce stands. *Forest Ecology and Management* 263: 31-38.
- Tamminen, P., Saarsalmi, A., Smolander, A., Kukkola, M. & Helmisaari, H.-S. 2013. Hakkuutähteen korjuun vaikutukset maan ominaisuuksiin. Leppälampi-Kujansuu ym. (toim.) *Maankäytön kestävyys. VII Maaperätieteen päivien abstraktit. Pro Terra* 61: 16-17.

Metlan työraportteja 289: 85–96

## 10 Kantojen noston ja hakkuutähteiden keruun valuma-alueitasoiset vaikutukset – koekenttien perustaminen ja alustavia tuloksia

Eero Kubin, Tanja Murto, Ari Kokko, Reijo Seppänen ja Jiri Kremsa

### Tiivistelmä

Kantojen ja hakkuutähteiden käyttö bioenergian lähteenä lisääntyy nopeasti. Kuitenkin erityisesti kantojen noston aiheuttamat pitkäaikaiset vesistövaikutukset ovat vielä puutteellisesti tunnettuja. Tutkimus energiapuun talteenoton pohja- ja pintavesivaikutusten selvittämiseksi aloitettiin osana Metlan Bioenergiaa metsistä -tutkimus- ja kehittämisohjelmaa (BIO) 2007–2011 hankkeessa ”Kantojen noston ja hakkuutähteiden keruun ekologiset ja metsänhoidolliset vaikutukset”.

Hankkeessa tutkitaan kantojen noston ja hakkuutähteiden korjuun pohjavesivaikutuksia kolmelle eri kasvimaantieteelliselle alueelle sijoitetuilla intensiivikoekentillä. Tutkimukseen sisältyy myös valuma-aluekoekenttiä, koska tietoa tarvitaan lisäksi käytännön mittakaavassa tehtyjen käsittelyiden vesistövaikutuksista. Valuma-alueet sijaitsevat Kuusamon Oijusluomassa ja Taivalkosken Katajavaarassa. Vuoden 2010 aikana kaksi näistä valuma-alueista hakattiin ja kannot sekä hakkuutähteet korjattiin. Loput valuma-alueet säilytettiin luonnontilaisina kontrollialueina. Käsittelyt tehtiin yhteistyössä valuma-alueet omistavan Metsähallituksen kanssa.

Alustavan tarkastelun mukaan käsittelyt nostivat hieman kokonaistypen ja erityisesti nitraattityypen pitoisuuksia. Seuranta on kuitenkin vasta alussa, joten lopullisten tulosten saavuttamiseksi tutkimusta on jatkettava vielä useita vuosia.

### Abstract

The use of forest-based energy is rapidly increasing. However, the possible risks to water quality caused especially by stump uplifting are still inadequately understood in many respects. The project “Ecological and silvicultural impacts of stump removal and collecting of logging residue” was launched to evaluate hydrological processes and nutrient leaching. The project was a part of the research programme “Bio-energy from forests (BIO) 2007–2011” carried out in Metla.

The project has been implemented in three phytogeographical areas in the form of an intensive study. In addition to these groundwater study fields, catchment areas from north-eastern Finland were also implemented into the project. During the project, two of these catchments were treated with logging residue harvesting and stump uplifting in cooperation with the landowner Metsähallitus. The rest of the catchment areas will be retained in their pristine state as control areas.

According to the preliminary results of the project, the concentrations of total nitrogen and especially nitrate nitrogen has started to increase after treatments. However, monitoring time is not yet very long and thus must be continued for several years before making conclusions.

## 10.1 Johdanto

Hakkuutähteiden, kantojen ja nuorten metsien harvennuksesta saatavan pienpuuhakkeen käyttö bioenergian lähteenä lisääntyy nopeasti. Vuosittainen arvioitu kantojennostoala on noin 20 000 hehtaaria (Metsätalastollinen vuosikirja 2011) eli kantoja nostetaan lähes viidenneksellä vuosittaisista avohakkuualoista. Hakkuutähteiden keruun ympäristövaikutukset tunnetaan jo melko hyvin, mutta kantojen nosto on vielä suhteellisen uusi työmuoto, eikä tutkimustietoa varsinkaan sen pitkäaikaisista vaikutuksista ravinteiden huuhtoutumiseen juurikaan vielä ole. Metlan Bioenergiaa metsistä -tutkimus- ja kehittämisohjelmaan (BIO) 2007–2011 kuuluneessa hankkeessa ”Kantojen noston ja hakkuutähteiden keruun ekologiset ja metsänhoidolliset vaikutukset” aloitettiin tutkimus energiapuun talteenoton pinta- ja pohjavesivaikutusten selvittämiseksi. Hankkeessa on perustettu kantojen noston ja hakkuutähteiden korjuun pohjavesivaikutuksien tutkimiseksi kolme intensiivikoekenttää Etelä-, Keski- ja Pohjois-Suomeen. Näiden lisäksi tutkimukseen sisältyy Koillismaalla sijaitsevia valuma-aluekoekenttiä, koska tietoa tarvitaan myös käytännön mittakaavassa tehtyjen käsittelyiden vesistövaikutuksista.

Valuma-alue tutkimuksen koekentät sijaitsevat Kuusamossa ja Taivalkoskella. Kummallakin tutkimusalueella aloitettiin yhden valuma-alueen käsittelyt vuoden 2010 aikana, ja maanmuokkaus- ja viljelytyöt saatettiin päätökseen syksyllä 2011. Tähän raporttiin on sisällytetty ensimmäisiä valuma-aluekohtaisia tuloksia hakkuun ja kantojennoston vaikutuksista valumaan, ravinteiden huuhtoutumiseen sekä vesiensuojelutoimenpiteiden toimivuuteen. Seurannan jatkuessa tieto valuma-aluekohtaisista vesistövaikutuksista tarkentuu.

## 10.2 Aineisto ja menetelmät

### 10.2.1 Tutkimusalueiden tausta

Tutkimuksessa hyödynnetään 1990-luvulla Metsätalouden vesistövaikutukset ja niiden torjunta -yhteistutkimusprojektissa perustettuja luonnontilaisia valuma-alueita (Saukkonen ja Kenttämies 1995). Tutkimuskohteiden valinnan kriteerinä oli, että niiden tuli sijaita uudistuskypsissä metsissä ja jokaisessa tuli myös olla veden poistumisuoja. Nämä alueet ovat sopivia myös kantojen noston valuma-aluekohtaisten vaikutusten tutkimiseen. Tutkimusalueet sijaitsevat Koillismaalla, Kuusamon Oijusluomassa ja Taivalkosken Katajavaarassa ja ovat Metsähallituksen hallinnassa.

Sekä Oijusluoman että Katajavaaran tutkimusalueilla on tehty 1990-luvulla perusteellinen puusto- ja maaperäkartoitus (Kubin ym. 1994). Veden ravinnepitoisuuksia sekä valuman määriä seurattiin kaikilta valuma-alueilta vuosien 1992–1994 aikana ja tuloksia on raportoitu muiden aihealueen tutkimuksien yhteydessä (Finer ym. 2004, Kortelainen ym. 2006). Seuranta aloitettiin uudelleen taustatiedon keräämiseksi vuoden 2007 syksyllä.

Molemmilta alueilta otettiin vuoden 2010 aikana käsiteltäväksi yksi valuma-alueista ja loput alueet säilytettiin luonnontilaisina verrokkialueina. Tutkimuksessa selvitetään biomassan korjuun vaikutuksia valuman määrään, laatuun ja valuma-aluekohtaisiin ainetaseisiin. Samalla tutkitaan myös suojavaikokkeiden toimivuutta vesistövaikutusten vähentämisessä.

Koelatyöt aloitettiin molemmilla valuma-alueilla syksyllä 2010 ainespuun korjuulla ja kantojen nostolla. Biomassan talteenotto tehtiin Oijusluomassa käytännön metsänhoitosuosituksen mukaisesti (kuva 10.1) ja Katajavaarassa tutkimuksen tarpeita varten intensiivisemmin, siten että käsiteltävältä



**Kuva 10.1.** Oijusluoman valuma-alue 1 kantojen ja hakkuutähteiden talteenoton jälkeen. Biomassan talteenotto tehty käytännön metsänhoitosuosituksen mukaisesti. Kuva Metla/Tanja Murto.



**Kuva 10.2.** Katajavaaran valuma-alue 10 kantojen ja hakkuutähteiden talteenoton jälkeen. Kaikki kannot ja hakkuutähteet korjattu. Kuva Metla/Tanja Murto.

alueelta poistettiin kaikki kannot ja hakkuutähteet (kuva 10.2). Molempien käsiteltyjen alueiden maanmuokkaus ja istutus on tehty syyskuun 2011 aikana. Käytännön perustamistoimista valuma-alueilla on vastannut Metsähallitus ja osa töistä on tehty Oulun seudun ammattiopiston Taivalkosken yksikön metsäkoneenkuljetuksen koulutusohjelman opiskelijoiden toimesta.

Käsitellyille Oijusluoman valuma-alueelle 1 ja Katajavaaran valuma-alueelle 10 asennettiin syyskuussa 2010 sääasemat, jotka mahdollistavat jatkuvan ilman ja maaperän lämpötilan sekä sadannan seurannan.

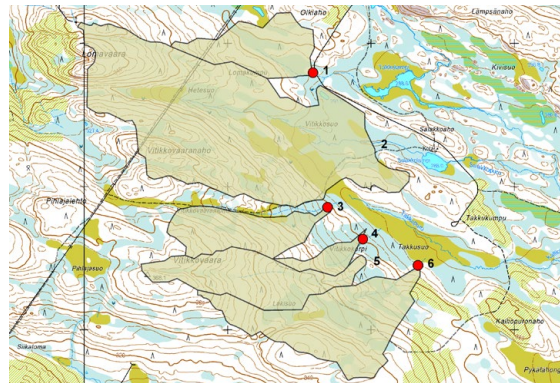
### Kuusamon Oijusluoman valuma-alueet

Oijusluoman tutkimusalue sijaitsee Maanselän korkealla vedenjakaja-alueella Kuusamossa (kuva 10.3). Oijusluomassa on kuusi valuma-aluetta, joista viidelle on sijoitettu mittapato. Alueiden yhteispinta-ala on 289 ha, josta noin kolmannes on turvemaata. Alueiden korkeus merenpinnasta on 290–370 metriä ja tehoisan lämpötilan summa on 690–750 °C (Kubin ym. 1995).

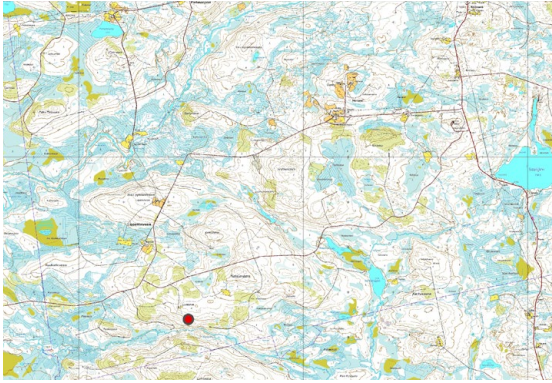
Oijusluoman tutkimusalueelta valittiin käsiteltäväksi valuma-alue 1 (kuva 10.4), jonka kokonaispinta-ala on 25 hehtaaria. Kasvupaikkatyypiltään alue on pääosin kuivahkoa kangasta ja ennen hakkuuta vallinnut puusto oli männyn ja kuusen muodostamaa sekametsää. Maalaji on hieta- tai hiekkamoreenia, jonka hienoainesosuus on 27 % (Kubin ym. 1994).



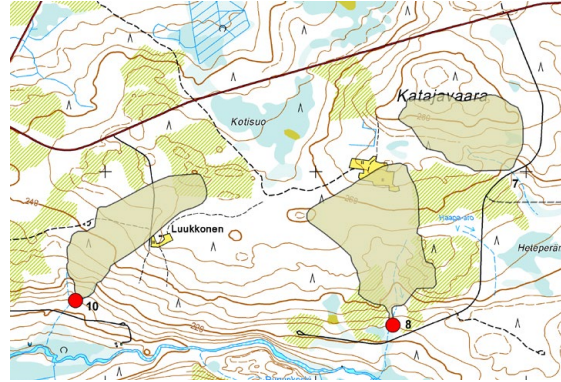
**Kuva 10.3.** Kuusamon Oijusluoman tutkimusalueen sijainti.



**Kuva 10.4.** Oijusluoman valuma-alueet 1–6. Mittapadot on merkitty karttaan punaisella.



**Kuva 10.5.** Taivalkosken Katajavaaran tutkimusalueen sijainti.



**Kuva 10.6.** Taivalkosken Katajavaaran valuma-alueet 8 ja 10. Mittapadot on merkitty karttaan punaisella.

Käsitellyn alueen koko on 12,6 hehtaaria. Alueen koealatyöt on tehty Metsähallituksen ohjeistuksen mukaisesti eli samoin kuin käytännön metsätaloudessa toimitaan. Pienet kannot (<15 cm), lehtipuiden kannot sekä osa männynkannoista jätettiin nostamatta ja hakkuutähteistä 30 % jätettiin uudistusalueelle. Puron ympärille jätettiin lakisääteinen käsittelemätön suojavyöhyke. Hakkuutähteiden ja kantojen annettiin kuivua palstalla olevissa kasoissa vuoden ajan ennen tien varteen ajoa syksyllä 2011.

### Taivalkosken Katajavaaran valuma-alueet

Katajavaaran tutkimusalue sijaitsee Taivalkosken kunnan etelälaidalla (kuva 10.5). Alueella on kolme valuma-aluetta, joista kahdella on käytössä mittapato. Valuma-alueiden yhteispinta-ala on noin 58 hehtaaria, topografinen korkeus vaihtelee välillä 210–287 m mpy ja maalaji on pääasiassa hieta- ja hiekkamoreenia (Kubin ym. 1994).

Katajavaaran tutkimusalueelta valittiin käsiteltäväksi valuma-alue 10 (kuva 10.6). Alueen kokonaispinta-ala on noin 13 hehtaaria, josta käsiteltiin 4,5 hehtaaria. Alueen puusto oli ennen hakkuuta mäntyvaltaista (Kubin ym. 1994).

Koealatyöt on suoritettu Katajavaaran alueella normaalikäytäntöjä intensiivisemmin, jotta on saatu luotua vertailuasetus vesistönsuojelutoimenpiteiden merkityksen selvittämiseksi. Alueelta virtaavan puron ympärille ei jätetty toimenpiteiden yhteydessä suojavyöhykettä eli käsitellyt on ulotettu puroon saakka. Hakkuutähteet ja kannot ajettiin heti hakkuun ja kantojennoston jälkeen pois alueelta.

### 10.2.2 Aineiston keruu

#### Puusto, kannot ja hakkuutähteet

Puuston mittausta puutavaralajeittain ja kuvioittain suoritettiin molemmilla käsitellyillä valuma-alueilla hakkuun yhteydessä elokuussa 2010.

Kantojen ja hakkuutähteiden punnitus suoritettiin traktorin kuormavaa'alla lähikuljetuksen yhteydessä. Katajavaarassa biomassa poistettiin alueelta tuoreena heti hakkuun ja kantojennoston jälkeen. Oijusluomassa kantojen ja hakkuutähteiden annettiin metsänhoitosuosituksen mukaisesti kuivaa

kasoissa uudistusalueella vuoden ajan. Lähikuljetus tienvarsivarastoon sekä punnitus tehtiin vasta syksyllä 2011.

Molempien valuma-alueiden kannoista ja hakkuutähteistä otettiin näytteitä ravinnemäärittäystä varten lokakuussa 2011. Näytteet on kuivattu ja niitä säilytetään Paljakan ympäristönäytepankissa myöhemmin tehtävää ravinnemäärittäystä varten.

## Valuma ja veden laatu

Valuma-aluekohtaisen tutkimuksen lähtötilanteeseen liittyvä vesinäytteiden kerääminen ja vedenpinnan korkeudenvaihteluiden seuranta aloitettiin vuoden 2007 lopulla Katajavaarassa kahdella ja Oijusluomassa neljällä valuma-alueella.

Vedenpinnan tason seuranta on toteutettu limnigrafien avulla Oijusluoman valuma-alueen mittapadoilla 1, 3, 4 ja 6, sekä Katajavaaran padoilla 8 ja 10. Mittauksen automatisoimiseksi ja luotettavuuden parantamiseksi hankittiin syksyllä 2010 Oijusluoman mittapadoille 1 ja 4 sekä Katajavaaran mittapadolle 10 automaattitoimiset (WT-HR, Water level / Temperature datalogger, -30 °C to +70 °C) virtaamamittarit (kuva 10.7).

Vesinäytteitä on kerätty ravinnepitoisuuksien määrittäystä varten Oijusluoman ja Katajavaaran valuma-alueiden mittapadoilta kerran kuukaudessa, poikkeuksena tulvakuukaudet (huhti- ja toukokuu sekä syys- ja lokakuu), jolloin näytteitä on kerätty kahden viikon välein. Vesinäytteiden keruu on järjestetty Metlan ja Oulun yliopiston Oulangan tutkimusaseman yhteistyönä.

Näytteet on analysoitu Muhoksen toimipaikan laboratoriossa ja niistä on määritetty sähkönjohtokyky, pH, väri, kiintoaine,  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{PO}_4\text{-P}$ , P-tot, Na, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu ja Al. Alkuainepitoisuudet on määritetty atomiabsorptiospektrometrisesti joko liekkimenetelmällä (FAAS) tai liekittömällä menetelmällä (GF-AAS). Kokonaisfosfori on määritetty peroksodisulfaattihajotuksen jälkeen spektrofotometrisesti molybdaattimenetelmällä (SFS 3026).



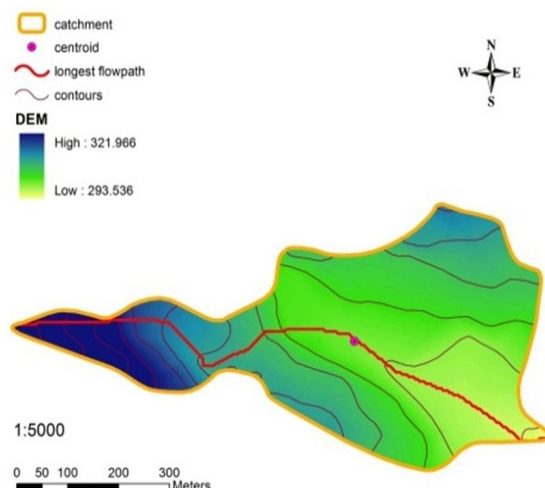
**Kuva 10.7.** Reijo Seppänen tallentamassa dataa Oijusluoman valuma-alue 1:n virtaamamittarista. Kuva Metla/Tanja Murto.

### 10.2.3 Mallintaminen

Kasvillisuudella on merkittävä vaikutus valuman muodostumiseen, ja tutkimuksessa selvitetään myös mallinnuksen avulla, mikä vaikutus puuston, hakkuutähteiden ja kantojen poistamisella on kohteiden vesitalouteen. Mallinnustyö on osa Tsekin Teknilliseen Yliopistoon tehtävää väitöskirjatyötä (Kremsa ym. 2013).

Mallinnuksessa valuman muutokset on jaettu kahteen ajanjaksoon, aikaan ennen käsittelyjä (2007–2010) sekä käsittelyjen jälkeen (vuodesta 2011 eteenpäin). Ajanjaksot edustavat erilaisia vaiheita käsiteltyjen koealueiden kasvillisuuspeitteisyydessä. Valuma-alueiden kasvillisuuden muutosten mallintamista tehdään pareittaisten valuma-alueiden menetelmällä, joka on tarkoitettu

pitkän aikavälin muutosten tutkimiseen. Menetelmän käytön edellytyksenä on, että käytettävissä on ominaisuuksiltaan (puusto, maa- ja kallioperä, topografia, sääolosuhteet) kaksi niin samanlaista valuma-aluetta, että ne reagoivat identtisesti käsittelyihin. Alueiden valumaa ja ravinnepitoisuuksia seurataan usean vuoden kalibrointijakson ajan, ja seuranta jatketään myös käsittelyjen jälkeen. Kerätystä aineistosta muodostetaan regressiomalli, jolla käsittelyvaikutuksia voidaan ennustaa. Tutkimuksessa hyödynnetään myös aika-kehityssuunta-menetelmää (a method of Time-trend analysis), jossa vertailukohtena on käsiteltävän valuma-alueen tilanne ennen ja jälkeen käsittelyä.



**Kuva 10.8.** Oijusluoman valuma-alue 1:lle muodostettu digitaalinen korkeusmalli.

Sadannan ja valunnan suhdetta simuloidaan HEC-HMS-mallin sekä HBV-mallin avulla. HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modelling System) on deterministinen malli sadevaluntaprosessien simuloimiseen ja tässä tutkimuksessa pääasiallisena tekniikkana käytetään SCS CN (Soil Conservation Service Curve Number) -menetelmää. Menetelmässä hyödynnetään maalajia, vedenläpäisevyyttä, kasvipeitteisyystietoja sekä digitaalista korkeusmallia (kuva 10.8). Malli on kalibroitu mitatuilla sade- ja valumamäärillä.

Tutkimusalueen hydrologian muutoksia käsittelemättömän ja käsitellyn alueen välillä kuvataan myös konseptuaalisen HBV-mallin avulla. HBV-mallin muuttujina käytetään päivittäistä sadantaa, lämpötilaa sekä kuukausittaisia arvioita potentiaalisesta haihdunnasta.

Mallinnuksessa tarvittava päivittäinen meteorologinen data on saatu Ilmatieteen laitoksen Kuusamossa sijaitsevilta sääasemilta, ja se on yleistetty tutkimusalueille Thiessenin monikulmiomenetelmän avulla. Kasvillisuuden määrän arviointi tutkimusalueilla on tehty CORINE 2006-tietokannan avulla ja valuman määrä alueilla on saatu joko limnigrafeista tai automaattitoimisten virtaamamittareiden avulla.

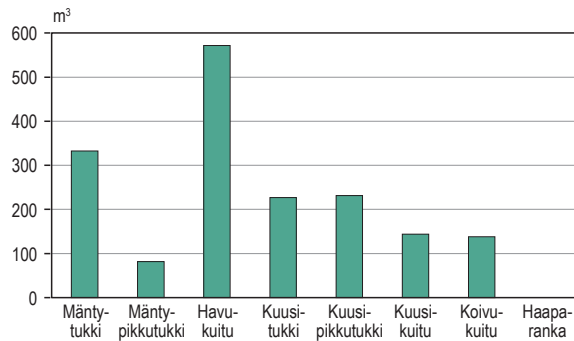
## 10.3 Tulokset

### 10.3.1 Puusto

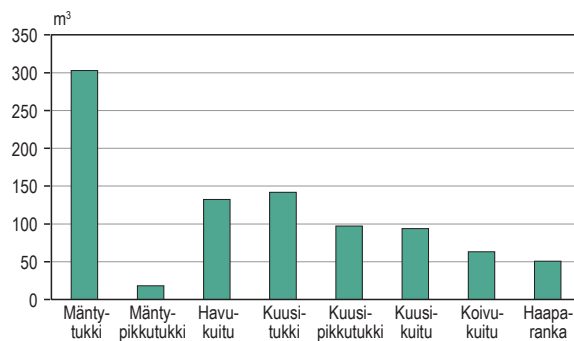
Puuston määrä mitattiin kummallakin valuma-alueella puutavaralajeittain hakkuun yhteydessä. Oijusluomassa käsitellyn alueen kokonaispuuston määrä oli 1 725 m<sup>3</sup>. Keskimäärin puustoa oli 12,6 hehtaarin alueella 137 m<sup>3</sup>/ha. Katajavaaran 4,5 hehtaarin valuma-alueelta poistetun puuston määrä oli yhteensä 900 m<sup>3</sup> eli keskimäärin 200 m<sup>3</sup>/ha. Valuma-alueiden puutavaralajeittaiset hakkuupoistumat on esitetty kuvissa 10.9 (Oijusluoma 1) ja 10.10 (Katajavaara 10).

### 10.3.2 Kannot ja hakkuutähteet

Katajavaarassa kannot ja hakkuutähteet kerättiin pois välittömästi hakkuun ja kantojennoston jälkeen syksyllä 2010. Kaikki hakkuutähteet kerättiin pois 4,5 hehtaarin käsittelyalueelta ja niiden



Kuva 10.9. Puutavaralajeittainen hakkuupoistuma Oijusluoman valuma-alueelta 1 (Kubin ym. 2013).



Kuva 10.10. Puutavaralajeittainen hakkuupoistuma Katajavaaran valuma-alueelta 10 (Kubin ym. 2013).

punnittu kokonaismäärä tuoremassana oli 215,1 tonnia. Hehtaarilla hakkuutähdettä oli 47,8 tonnia. Käsittelyalueelta nostettiin myös kaikki kannot ja niiden punnittu kokonaismäärä oli 65,9 tonnia, eli keskimäärin kantoja oli 14,7 t/ha.

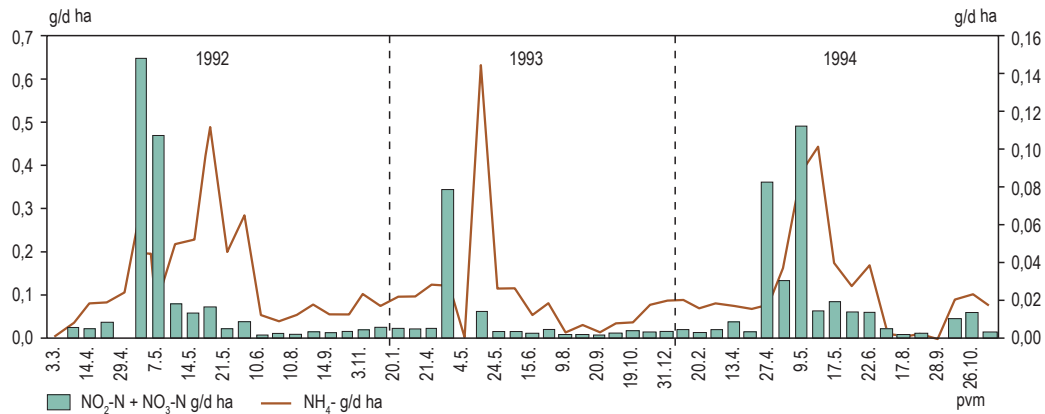
Oijusluomassa sekä latvusmassan että kantojen annettiin kuivua palstalle kootuissa kasoissa vuoden ajan, jonka jälkeen ne ajettiin tienvarsivarastoon ja punnittiin syksyllä 2011. Hakkuutähteistä kolmannes jätettiin keräämättä, ja kerätty kokonaismäärä 12,6 hehtaarin käsittelyalueelta oli kuivuneena 276,2 tonnia. Hakkuutähdettä kerättiin kaikkiaan 21,9 t/ha. Kannoista nostettiin käytännön metsänhoitosuosituksen mukaisesti pääasiassa vain läpimitaltaan yli 15 cm kuusenkannot. Nostettu kokonaiskantomäärä oli vuoden palstalla kuivumisen jälkeen 170,1 tonnia eli 13,5 t/ha.

### 10.3.3 Veden laatu

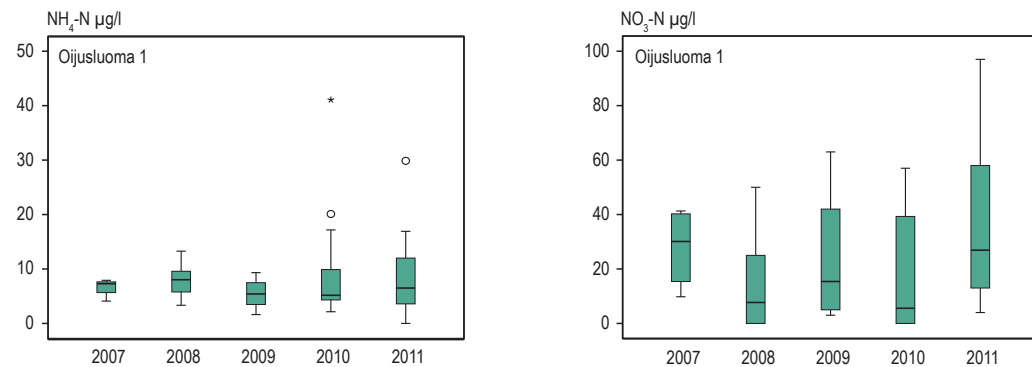
Valuma-alueiden veden ravinnepitoisuuksia on seurattu jo aiemman METVE -tutkimuksen yhteydessä vuosina 1992–1994 (kuva 10.11) sekä nykyisessä tutkimuksessa yhtäjaksoisesti lokakuulta 2007 lähtien.

Kuvissa 10.12–10.15 on esitetty alustavat tulokset käsiteltyjen valuma-alueiden typpi- ja fosforipitoisuuksien vaihtelusta vuoden 2007 lokakuulta vuoden 2011 lokakuulle. Oijusluoman käsitellyn alueen valumaveden lähtöpitoisuudet ( $\mu\text{g/l}$ ) olivat typen osalta Katajavaaraa huomattavasti korkeammat, mutta molemmilla koealueilla on tapahtunut nousua typen huuhtoutumisen määrissä käsiteltyiden aloittamisen jälkeen. Eniten on lisääntynyt nitraattitypen huuhtoutuminen Oijusluoman alueelta, jossa pitoisuuden mediaani kohosi käsiteltyjen aloittamisvuodesta yli kolmenkertaiseksi.

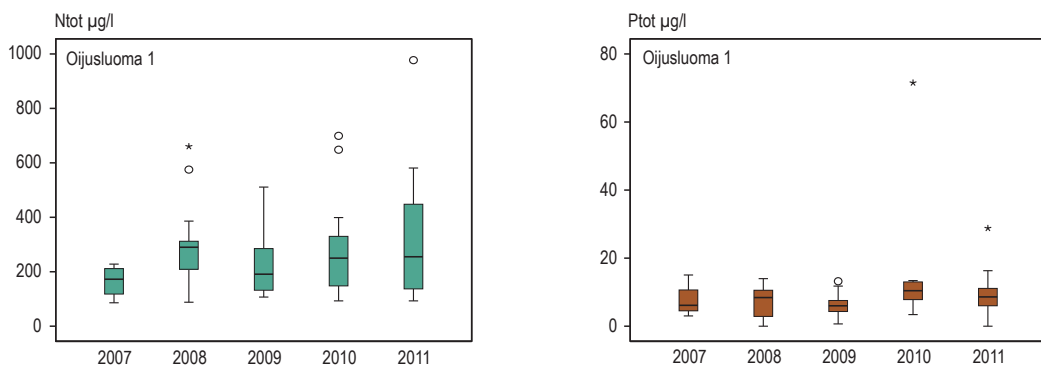
Kokonaisfosforin pitoisuus on kohonnut Katajavaaran valuma-alueen vesinäytteissä hieman käsiteltyjen jälkeen. Oijusluomassa kokonaisfosforin pitoisuudessa havaittiin hakkuiden aloittamisen



**Kuva 10.11.** Nitraatti- ja ammoniumtyypen huuhtoutuminen Oijusluoman valuma-alueella 2 vuosina 1992–1994 (Kubin ym. 2013).



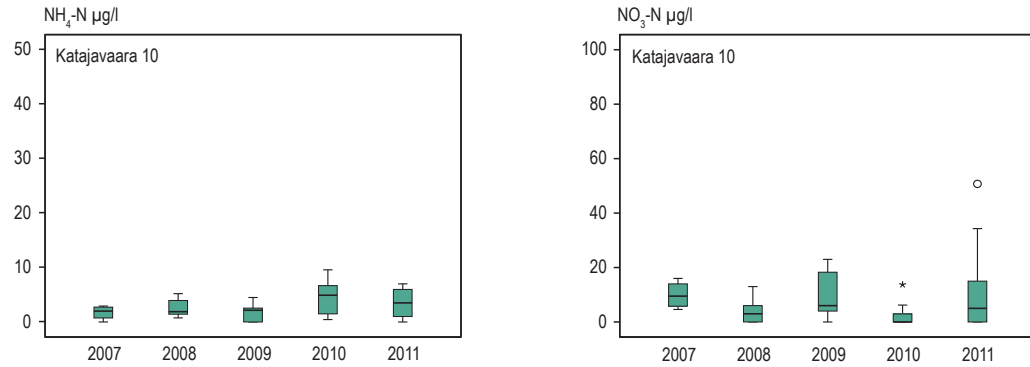
**Kuva 10.12.** Oijusluoman valuma-alueen 1 vesinäytteiden ammonium- ja nitraattityppipitoisuudet 2007–2011. Havaintojen määrä: 2007: n = 4, 2008: n = 13, 2009: n = 13, 2010: NH<sub>4</sub>-N n =13 ja NO<sub>3</sub>-N n = 12, 2011: n = 14



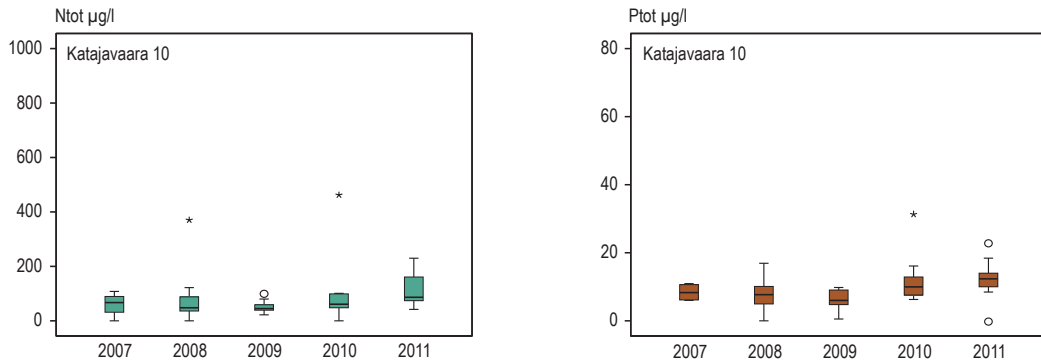
**Kuva 10.13.** Oijusluoman valuma-alueen 1 vesinäytteiden kokonaistyyppi- ja kokonaisfosforipitoisuudet 2007–2011. Havaintojen määrä: 2007: n = 4, 2008: n = 13, 2009: n = 13, 2010: n =13, 2011: n = 14

jälkeen hetkellinen piikki (yli 70 µg/l), mutta muutoin Oijusluoman fosforipitoisuuksissa ei ole havaittu isoja muutoksia.

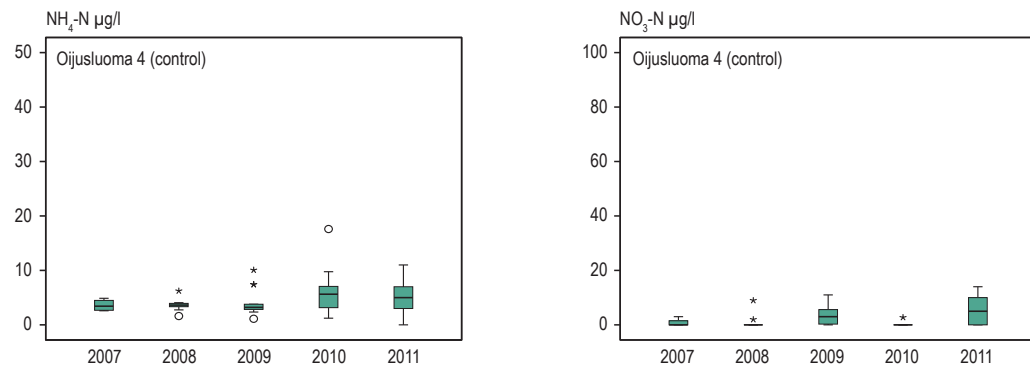
Vertailun vuoksi kuvissa 10.16–10.17 on esitetty käsittelemättömän valuma-alueen (Oijusluoma 4) typpi- ja fosforipitoisuudet. Käsittelemättömällä valuma-alueella ei alustavien tarkastelujen perusteella havaittu vastaavaa pitoisuuksien nousua.



**Kuva 10.14.** Katajavaaran valuma-alueen 10 vesinäytteiden ammonium- ja nitraattityppipitoisuudet 2007–2011. Havaintojen määrä: 2007: n = 4, 2008: n = 13, 2009: n = 13, 2010: NH<sub>4</sub>-N n =13 ja NO<sub>3</sub>-N n = 12, 2011: n = 14

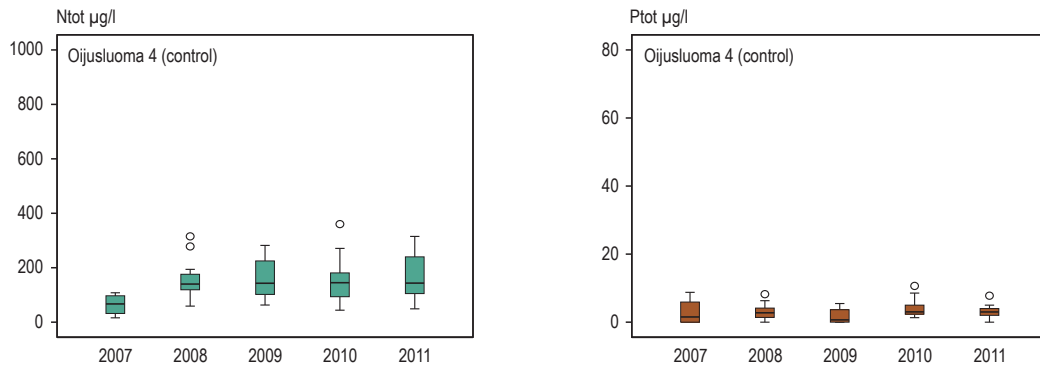


**Kuva 10.15.** Katajavaaran valuma-alueen 10 vesinäytteiden kokonaistyyppi- ja kokonaisfosforipitoisuudet 2007–2011. Havaintojen määrä: 2007: n = 4, 2008: n = 13, 2009: n = 13, 2010: n =13, 2011: n = 14



**Kuva 10.16.** Oijusluoman valuma-alueen 4 (kontrolli) vesinäytteiden ammonium- ja nitraattityppipitoisuudet 2007–2011. Havaintojen määrä: 2007: n = 4, 2008: n = 13, 2009: n = 13, 2010: NH<sub>4</sub>-N n =13 ja NO<sub>3</sub>-N n = 12, 2011: n = 14

Veden kiintoainepitoisuudessa esiintyi Katajavaaran käsitellyllä alueella pieni, nopeasti tasaantunut piikki (10,2 mg/l) hakkuiden ja kantojennoston jälkeen syksyllä 2010. Muutoin yksittäisten näytteiden kiintoainepitoisuudet ovat pysyneet Katajavaarassa jatkuvasti alle 1 mg/l ja Oijusluomassa alle 3 mg/l.

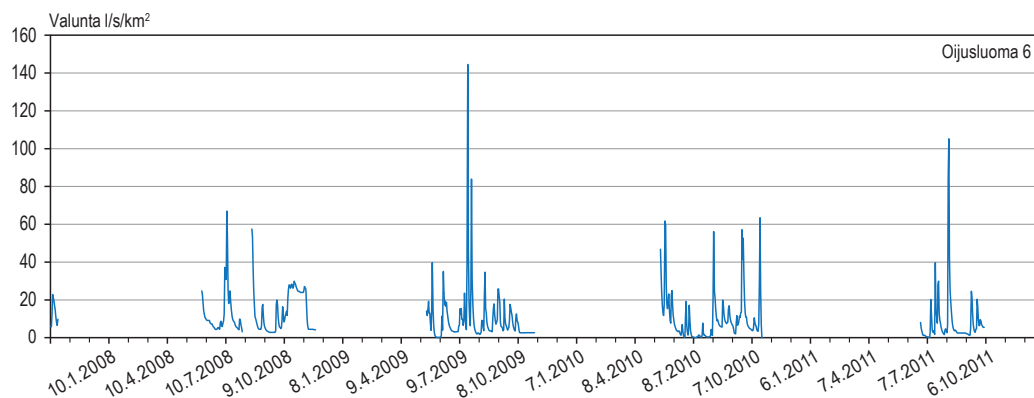


**Kuva 10.17.** Oijusluoman valuma-alueen 4 (kontrolli) vesinäytteiden kokonaistyppi- ja kokonaisfosforipitoisuudet 2007–2011. Havaintojen määrä: 2007: n = 4, 2008: n = 13, 2009: n = 13, 2010: n = 13, 2011: n = 14

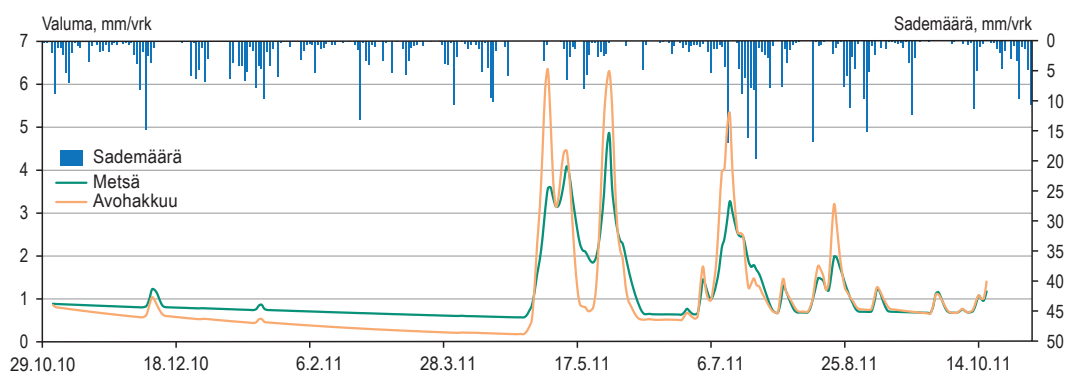
### 10.3.4 Valuman määrän vaihtelu

Valuman seuranta on tärkeää erityisesti alueelta poistuvien pinta-alakohtaisten ravinnemäärien selvittämisessä, joiden laskenta on parhaillaan työn alla. Oijusluoman ja Katajavaaran valuma-alueilta limnigrafeilla kerätty data vuosilta 2007–2011 on tulkittu (kuva 10.18) ja tullaan yhdistämään dataloggereilla kerättyyn aineistoon.

Valuma-aluemallinnus on aloitettu ja sen avulla saadaan lisätietoa kasvillisuuden merkityksestä valuman muodostumiselle (Kremsa ym. 2013). Alustavissa simuloinneissa havaittiin valumahuippujen kohoavan hakkuun jälkeen noin 50 % verrattuna hakkuuta edeltäneeseen tilanteeseen (kuva 10.19).



**Kuva 10.18.** Valuma Oijusluoman käsittelemättömältä valuma-alueelta 6 aikavälillä 2007–2011.



**Kuva 10.19.** Valuma ennen ja jälkeen hakkuuta simuloinnin perusteella.

## 10.4 Tulosten tarkastelu

Katajavaarassa ja Oijusluomassa sijaitsevien valuma-alueiden seuranta on tehty pitkään, joten taustatietoa luonnontilaisten valuma-alueiden vesien ravinnepitoisuuksista ja valumamääristä on kertynyt runsaasti. Molemmilta koekentiltä valittiin kaksi valuma-aluetta käsiteltäväksi, ja niillä on suoritettu hakkuun, maanmuokkauksen ja viljelytöiden lisäksi myös kantojen sekä hakkuutähteiden korjuu.

Käsittelyiden yhteydessä maa paljastui ja muokkautui laajoilta aloilta, koska alueet myös laikku-mätästettiin kantojen nostamisen lisäksi. Maanmuokkaus lisää jo itsessään ravinteiden huuhtoutumista, koska sen seurauksena hajotustoiminta tehostuu ja ravinteita normaalisti pidättävä kasvillisuus vähenee. Suuri osa metsänuudistamisen yhteydessä vapautuvista ravinteista tulee kuitenkin hakkuutähteistä ja kannoista, joten niiden talteenotto voi vähentää käsittelyjen jälkeistä ravinteiden huuhtoutumista.

Valuma-alueiden uudistamistoimenpiteet saatiin päätökseen syyskuussa 2011, joten käsittelyiden jälkeinen tarkastelujakso on vasta alussa. Alustavien tulosten mukaan valuma-alueiden hakkuu, energiapuunkorjuu ja viljelytyöt nostivat hieman kokonaistypen ja erityisesti nitraattitypen pitoisuuksia. Kokonaisfosforipitoisuuden mediaani kohosi käsittelyiden seurauksena Katajavaaran valuma-alueen vesinäytteissä, mutta Oijusluoman tutkimusalueella kokonaisfosforipitoisuudessa havaittiin hakkuuden aloittamisen jälkeen ainoastaan hetkellinen piikki. Aiempien tutkimusten perusteella (Kubin 1995a, Kubin 1995b, 1998) esimerkiksi nitraattitypen huuhtoutuminen pintaveiteen saavuttaa huippunsa vasta toisena vuotena hakkuusta, joten tässäkin tapauksessa pitoisuudet voivat vielä kohota.

Kiintoainehuuhtouma on toistaiseksi ollut hyvin pientä molemmilta käsitellyiltä alueilta. Katajavaarassa havaittiin kiintoainepitoisuudessa pieni, nopeasti tasaantunut kohoaminen hakkuuden ja kantojennoston jälkeen, mutta muutoin pitoisuudet ovat pysyneet myös Katajavaarassa hyvin matalina. Aiemmissä tutkimuksissa on havaittu, että kiintoaineen huuhtoutuminen on avohakkuun jälkeen ollut korkeimmillaan vasta toisena vuotena hakkuusta (Ahtiainen & Huttunen 1995, Adamson & Hornung 1990), joten voidaan pitää mahdollisena, että myös Katajavaaran ja Oijusluoman alueilla kiintoainehuuhtouma saattaa lisääntyä jatkossa.

Hankkeessa tehtävä tutkimus perustuu pitkäaikaisiin ekologisiin seurantoihin ja lopullisia tuloksia saadaan vasta lähivuosien kuluessa seurannan edetessä. Seuranta on jatkettava vielä useita vuosia, jotta pystytään tekemään johtopäätöksiä kantojen noston aiheuttaman ravinnehuuhtouman kestosta sekä energiapuun korjuun intensiteetin vesistövaikutuksista.

## Kirjallisuus

- Adamson, J.K. & Hornung, M. 1990. Effects of clearfelling a Sitka Spruce plantation on solute concentrations in drainage water. *Journal of Hydrology* 116:287-297.
- Ahtiainen, M. & Huttunen, P. 1995. Metsätaloustoimenpiteiden pitkäaikaisvaikutukset purovesien laatuun ja kuormaan. Julkaisussa: Saukkonen, S. & Kenttämies, K. (toim.) *Metsätalouden vesistövaikutukset ja niiden torjunta* 420:33-50.
- Finér, L., Kortelainen, P., Mattsson, T., Ahtiainen, M., Kubin, E. & Sallantaus, T. 2004. Sulphate and base cation concentrations and export in streams from unmanaged forested catchments in Finland. *Forest Ecology and Management* 195: 115-128.
- Kortelainen, P., Mattsson, T., Finér, L., Ahtiainen, M., Saukkonen, S. & Sallantaus, T. 2006. Controls on the export of C, N, P and Fe from undisturbed boreal catchments, Finland. *Aquatic Sciences* 68: 453-468.
- Kubin, E., Hartman, M., Ilvesniemi, H., Lindgren, M., Kokko, A., Murto, T., Pasanen, J., Piispanen, J., Pohjola, S., Seppänen, R., Tarvainen, O., Tillman-Sutela, E. & Tolvanen, A. 2013. Kantojen noston ja hakkuutähteiden keruun ekologiset ja metsänhoidolliset vaikutukset (3475). Koekenttien perustaminen ja tuloksia. *Metlan työraportteja / Working Papers of the Finnish Forest Research Institute* 252. 45 s. Ladattavissa osoitteesta: <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2013/mwp252.htm>
- Kubin, E. 1998. Leaching of nitrate nitrogen into the groundwater after clear felling and site preparation. *Boreal Environment Research* 3:3-8.
- Kubin, E. 1995a. Avohakkuun, hakkuutähteiden talteenoton ja maanmuokkauksen vaikutus ravinteiden huuhtoutumiseen. Julkaisussa: Saukkonen, S. ja Kenttämies, K. (toim.) *Metsätalouden vesistövaikutukset ja niiden torjunta* 420:65-71.
- Kubin, E. 1995b. Site preparation and leaching of nutrients. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 567:55-62.
- Kubin, E., Väliälö, J., Ylitolonen, A., Alasaarela, E. & Seuna, P. 1995. Hakkuun ja maanmuokkauksen vesistövaikutukset ja niiden torjunta. *Kuusamon Oijusluomaan ja Taivalkosken Katajavaaraan perustetut valuma-alueet. Käsikirjoitus.* 21 s.
- Kubin, E., Väliälö, J., Ylitolonen, A., Alasaarela, E. & Seuna, P. 1994. Hakkuun ja maanmuokkauksen vesistövaikutukset - tutkimuksen valuma-alueet. *Käsikirjoitusluonnos.* 34 s.
- Kremsa, J., Kubin, E., Křeček, J. & Murto, T. 2013. Effects of whole-tree harvest on hydrological processes in the boreal environment. *Hydrology Research, NHC 2012 Special Issue.* Submitted manuscript.
- Metsätalostollinen vuosikirja 2011. Metsäntutkimuslaitos. 469 s.
- Saukkonen, S. & Kenttämies, K. (toim.). 1995. Metsätalouden ympäristövaikutukset ja niiden torjunta. METVE-projektin loppuraportti. *Suomen ympäristö 2 – ympäristönsuojelu*, 419 s.

Metlan työraportteja 289: 97–111

## 11 Energiapuunkorjuun vaikutus ravinne- ja raskasmetallihuuhtoutumiin ja ravinteiden riittävyteen suometsissä

Liisa Ukonmaanaho, Mika Nieminen, Jyrki Hytönen, Tiina M. Nieminen, Mikko Moilanen, Marjatta Kantola, Oili Kiiikkilä, Ari Lauren, Päivi Merilä, Timo Penttilä, Juha Piispanen, Mike Starr, Annu Kaila, Heidi Pyhtilä ja Paavo Perämäki.

### Tiivistelmä

Nykyisen energiapolitiikan mukaisesti hakkuut toteutetaan usein korjaamalla runkopuun lisäksi hakkuutähteet ja kannot eli ns. energiapuujae. Energiapuun korjuun vaikutuksista ravinteiden huuhtoutumiin ja uudistettavan puuston kasvuun ojitetuissa suometsissä ei ole aikaisemmin tutkittu. Bioenergiaohjelmassa käynnistettiin Vilppulassa, Lapinjärvellä ja Sotkamossa ojitetuilla turve- mailla valuma-alue tutkimuksia, joissa tutkitaan koko- ja runkopuukorjuun vaikutuksia ravinteiden ja raskasmetallien huuhtoutumiin. Lisäksi viidellä kohteella Länsi-Suomessa on tutkittu erilaisten energiapuukorjuumenetelmien vaikutusta suometsien ravinnetalouteen ja puuntuotokseen. Alustavat tulokset osoittavat, että talviaikaan tehdyn kokopuukorjuun jälkeen koealoille jäi yli 30% hakkuutähteitä. Ensimmäisten vuosien aikana kokopuukorjuulla ei ollut merkitsevää vaikutusta neulasten ravinnepitoisuuksiin ja kokopuukorjuussa kasvupaikalta poistui vähemmän ravinteita kuin on aiemmin arvioitu. Valuma-alue tutkimukset aloitettiin vuonna 2007, jolloin veden laatua ja valuntaa alettiin seurata Vilppulassa ja Lapinjärvellä, Sotkamossa seuranta aloitettiin 2008. Hakkuut aloille tehtiin keväällä 2009, jolloin myös hakkuutähteet poistettiin kokopuukorjuukohteilta, kannot nostettiin seuraavan kesän-syksyn aikana. Pääsääntöisesti ravinteiden huuhtoumat lisääntyivät sekä kokopuuetä runkopuukorjuualueilla hakkuuden jälkeen, samoin kiintoaineen määrä. Raskasmetallien (Ni, Cu, Fe, Zn, Al) huuhtoutuminen lisääntyi korjuuden jälkeen riippumatta toimenpiteistä tai kallioperästä. Kokonaiselohopean huuhtoutuminen lisääntyi hieman hakkuuden jälkeen, metyylielohopean vain kokopuukorjuukohteilla.

### Abstract

Increasing demand for production of bioenergy has led to an interest of forest management which uses logging residues from both clear-cutting and thinning stands. However, the impacts of whole-tree harvesting on biogeochemical cycles, growth and leaching to surface waters are largely unknown, especially in the case of drained peatland forests. We studied in drained peatland forests in Vilppula, Lapinjärvi and Sotkamo the impacts of whole-tree- (WTH) and stem-only harvesting (SOH) on leaching of nutrients and heavy metals to recipient water courses. The effects of the harvesting intensity of first-thinning on the amount of logging residues and nutrients bound into them was studied in five Scots pine stands in western Finland. Results showed that the amount of logging residues left on site was highest after cut-to-length harvesting. In whole-tree harvesting the amount of logging residues left on the site was over 30% of that of cut-to-length harvesting. Consequently, considerable amounts of nutrients bound in the logging residues were left on site even after whole-tree harvesting. During the first post harvesting years the amount of slash left on site had

only minor effect on foliar nutrient concentrations of the remaining trees. Nutrient and heavy metal leaching study sites were established in 2007, in the same time started monitoring of runoff water quality and quantity in Vilppula and Lapinjärvi sites, in Sotkamo one year later. In spring 2009 sites were harvested, in autumn 2009 stumps were lifted. Preliminary results indicated that nutrient and suspended particular matter concentrations largely increased in runoff water after harvesting in both WTH and SOH sites. Heavy metal concentrations (Ni, Cu, Fe, Zn, Al) mainly increased in runoff water after harvesting regardless of harvesting method or bedrock. In addition concentration of total Hg increased after harvesting, MeHg only after WTH.

## 11.1 Johdanto

Metsähakkeen käyttöä energiatuotannossa pyritään lisäämään vuositasolla nykyisestä viidestä miljoonasta 13,5 milj. kuutiometriin vuoteen 2020 mennessä (TEM 2010a,b). Tavoitteeseen pääsemiseksi harkitaan myös ojitettujen turvemaametsien bioenergiareservien käyttöönottoa. Suomessa on noin 4,95 milj. hehtaaria puuntuotantoa varten ojitettuja turvemaita. Suurella osalla ojitusalue-metsistä tarvitaan lähitulevaisuudessa harvennushakkuita ja pidemmällä aikavälillä yhä enenevässä määrin myös päätehakkuita. Toistaiseksi hakkuutähteiden talteenoton ja kantojen noston ekologisia vaikutuksia on tutkittu lähes yksinomaan kivennäismailla. Turvemailta vastaavaa tietoa on olemassa hyvin vähän, vaikka puiden ravinnetalous on usein epätasapainoinen ja ravinnepuutoksia esiintyy yleisesti.

Puiden ravinnetila metsäojitusalueilla vaihtelee riippuen kasvupaikan laadusta ja ilmasto-oloista. Myös kohteen maantieteellinen sijainti, kallioperän geologinen historia ja kasvukauden sääolot heijastuvat turpeen ravinteisuuteen, samoin turpeen paksuus. Kun turvetta on enintään 30-40 cm, puut hyödyntävät pohjamaan kivennäisravinteita eikä ravinnepuutoksia pääse yleensä syntymään (mm. Saarinen 1997). Typeä turpeessa on lähes poikkeuksetta riittävästi, mutta kivennäisravinnevarat mm. kaliumin (K) ja boorin (B) osalta ovat niukat ja fosforin (P) saatavuus heikkoa verrattuna kangasmaahan. Ravinnepuutokset ovat yleisimpiä entisten avosoiden ja alkuaan vähäpuustoisten sekatyypin ojitusalueilla (Moilanen ym. 2010). Ongelmat kärjistyvät paksuturpeisilla letto-, ruoho- ja suursaratason kasvupaikoilla, joilla puiden käytössä on liikaa typeä suhteessa muihin ravinteisiin. Kasvupaikka- ja ilmastotekijöiden lisäksi metsikön ravinnetilaan vaikuttavat puiden välinen kilpailu ja kasvualustan vesitalous. Harvennuksen seurauksena kasvuresurssit – kasvutila, valo, hakkuutähteiden sisältämät ravinteet – lisääntyvät, mikä näkyy neulasten kohonneina ravinnepitoisuuksina (Hökkä ym. 1996). Myös kunnostusojitus vaikuttaa suotuisasti suopuiden ravinnetilaan (Lauhanen & Kaunisto 1999). Harvennushakkuulla tai kunnostusojituksella ei kuitenkaan voida korjata jo syntyneitä ravinnepuutostilaa.

Energiapuun korjuuta on esitetty erääksi keinoksi parantaa suometsien harvennusten kannattavuutta kasvatusmetsissä (Heikkilä 2007). Metsämaan ravinnemääriin ja tuotoskykyyn energiapuun- ja hakkuutähteiden korjuulla voi olla heikentävä vaikutus, koska joidenkin ravinteiden kohdalla huomattava osa koko ravinnevarastosta voi olla sitoutuneena oksiiin ja neulasiin, esim. kalium nevasyntyyisillä ja paksuturpeisilla soilla (Finér 1992, Laiho 1997). Kuusivaltaisissa metsiköissä tehtyjen tutkimusten mukaan jopa 75 % puubiomassassa olevasta tyypeistä, 80 % fosforista, 70 % kaliumista ja 60 % kalsiumista jää hakkuutähteissä kasvupaikalle perinteisen runkopuuavohakkuun jälkeen (Nykqvist 1971, Mälkönen 1975, Kubin 1977, Palviainen 2005). Huoli turpeen ravinteiden riittävydestä heijastuu myös energiapuun korjuun käytännön ohjeissa ja suosituksissa (Mälkönen ym. 2001, Koistinen & Äijälä 2006, Kuusinen & Ilvesniemi 2009, Hyvän metsänhoidon

suositukset 2006, Hyvän metsänhoidon suositukset turvemaille 2007). Uusimmissa energiapuun korjuun ohjeissa katsotaan, että hakkuutähteitä voidaan kerätä puolukkatyyppiä edustavilta ja niitä viljavammilta soilta (Äijälä ym. 2010). Mustikka- ja puolukkaturvekangas II-tyyppin korjuukohteilla suositellaan tällöin kuitenkin PK- tai tuhkalannoitusta ravinne-epätasapainon korjaamiseksi. Samoin suositellaan, että 30 % hakkuutähteistä pitäisi jättää kasvupaikalle.

Kokopuukorjuu vaikuttaa myös pohjaveteen ja vesistöihin. Metsätalouden toimenpiteet lisäävät vesistöjen kuormitusta (Finer ym. 1997, Nihlgård 1970, Adamson ym. 1987). Kuormittavista aineista ravinteet, erityisesti fosfori ja typpi, aiheuttavat vesistöjen rehevöitymistä. Lisääntynyt huuhtoutuminen metsänhakkuiden jälkeen liittyy ensisijassa muutoksiin hydrologisessa kierrossa: vähentynyt haihtuminen, maaperän kosteuden lisääntyminen ja pohjaveden pinnan nousu lisäävät kokonais- ja pintavaluntaa. Huuhtoutuvat ravinteet ja raskasmetallit kulkeutuvat vesistöissä humukseen ja kiintoainekseen sitoutuneena (Föstner & Wittman 1979). Toisaalta koska hakkuutähteen talteenotto pienentää olennaisesti hakkuualueelle jäävän hajoavan karikkeen määrää ja hajoamisessa vapautuvia ravinteita, myös huuhtoutuvien ravinteiden määrä voi vähentyä.

Vesiekosysteemit ovat herkkiä kasviravinteiden, orgaanisen hiilen, happamuuden, metallien (esim. Al, Fe, Hg) ja kiintoaineen kuormitukselle. Vesistöjen raskasmetallikuormitus saattaa johtaa myrkyvaikutuksiin, jotka ilmenevät esim. muutoksina kalalajien runsaussuhteissa (Rask ym. 1996) tai haitallisen suurina elohopeapitoisuuksina kaloissa (Verta ym. 1986, Porvari & Verta 1998, Garcia & Carignan 2000). Elohopean myrkyllisyys riippuu vahvasti sen kemiallisesta esiintymismuodosta. Myrkyllisin muoto on metyylielohopea, joka vaurioittaa keskushermostoa peruuttamattomasti. On esitetty, että kalojen korkea elohopeapitoisuus liittyy metsämaahan sekä luontaisesti että ilman epäpuhtauksien mukana varastoituneen elohopean vapautumisesta sekä metyloitumisesta ja edelleen huuhtoutumisesta vesistöihin metsätaloustoimenpiteiden yhteydessä (Munthe & Hultbeg 2004, Porvari ym. 2003). Erityisen suuria elohopeahuuhtoutumia on mitattu turvevaltaisilta valuma-alueilta. Myös kallioperän on arveltu vaikuttavan elohopean pitoisuuksiin maassa ja vedessä, erityisesti mustaliuskealueella on todettu kohonneita elohopeapitoisuuksia ravuissa ja ihmisten hiuksissa (Loukola-Ruskeeniemi ym. 2003).

Hankkeen tavoitteena oli selvittää energiapuunkorjuun (pääte- ja harvennushakkuut) vaikutukset ravinteiden riittävyteen ja ravinteiden ja raskasmetallien vesistökuormitukseen ojitetuilla soilla. Tutkimuksissa verrataan kokopuukorjuuta, mukaan lukien kantojennosto, perinteiseen runkopuun korjuuseen. Tutkimushypoteeseina ovat seuraavat:

- Käytännön kokopuukorjuussa harvennusmetsissä hakkuutähteitä jää kasvupaikalle niin paljon, että ero runkopuukorjuuseen kasvupaikalle jäävien minimiravinteiden (erityisesti K) määrissä on melko pieni. Koska harvennus vähentää kilpailua ravinteista, hakkuu riippumatta hakkuutavasta (kokopuukorjuu vs. runkopuukorjuu) parantaa puiden ravinnetilaa.
- Hakkuutähteistä fosfori vapautuu nopeasti, mutta hakkuutähteisiin yleensä sitoutuu enemmän typpeä kuin sitä vapautuu ensimmäisinä vuosina hakkuun jälkeen. Siksi hakkuutähteiden korjuu voi vähentää erityisesti fosforin huuhtoutumista. Hakkuun jälkeen typpeä ja liuennutta orgaanista ainetta vapautuu eniten viljavuudeltaan rehevimmiltä korpiojitusalueilta, joilla turve on pitkälle maatunutta.
- Turpeen alaisen kallioperän ominaisuudet vaikuttavat hakkuun aiheuttamiin muutoksiin raskasmetallien huuhtoutumisessa. Erityisesti paljon raskasmetalleja sisältävä mustaliuske voi olla merkittävä vesistöjen raskasmetallilähde metsätaloustoimenpiteiden jälkeen.

## 11.2 Aineisto ja menetelmät

### 11.2.1 Ravinteiden riittävyyskokeet - ensiharvennushakkuut

Erilaisten korjuumenetelmien vaikutusta kasvupaikalle jäävän hakkutähteen määrään, puuston ravinnetilaan ja puuntuotukseen tutkittiin viidessä ensiharvennuskohteessa (Muhos, Himanka, Sievi, Kinnula, Alajärvi) (Hytönen ym. 2010, Hytönen & Moilanen 2008, 2010). Kasvupaikkatyyppi oli kaikilla kokeilla puolukkaturvekangastasoa (taulukko 11.1). Turvekerroksen paksuus vaihteli kokeittain ollen keskimäärin noin puoli metriä. Metsiköt olivat lähes puhtaita männiköitä, paitsi Himangan kohde, jossa koivun osuus puustosta oli 35 %. Harvennushakkuut tehtiin talviaikaan. Keskimääräinen hakkuupoistuma oli Alajärvellä ja Kinnulassa 44–48 m<sup>3</sup>/ha, Muhoksella ja Sievissä 60–78 m<sup>3</sup>/ha ja Himangalla 153 m<sup>3</sup>/ha.

**Taulukko 11.1.** Perustietoja ensiharvennuskoealueista:

Tunnus	Koealue				
	Himanka	Sievi	Muhos	Alajärvi	Kinnula
Perustamisvuosi	2003	2008	2003	2009	2010
Suotyyppi	Ptkg–Mtkg	PtkgII	PtkgII	Ptkg	PtkgII
Ojitus	1970-luku 1990-luku	1960, 1980- luku	1930- ja 50- luku, 1977	1970-luku	1966 ja 1990-luku
Männyn osuus, %	60	90	95	100	100
Puuston ikä, v	60–80	55–60	60–70	40–50	n. 50
Tilavuus, ennen hakkuuta, m <sup>3</sup> /ha	265	141	150–170	179	129
Hakkuupoistuma, m <sup>3</sup> /ha	152	44	60–70	78	48
Koeruutuja, kpl	24	20	18	15	27
Koeruudun koko, m <sup>2</sup>	1 500–2 000	1 600	700–900	1 200–1 900	1 000–1 800
Lohkoja, kpl	6	4	4	3	6

### Hakkuukäsittelyt - ensiharvennushakkuut

Puuston käsittelyvaihtoehdot valittiin siten, että metsikköön jääneen hakkuutähteen määrä vaihtelisi laajasti (taulukko 11.2). Hakkuut tehtiin koneellisesti (kuva 11.1). Normaalisissa harvennushakkuussa (A) korjattiin vain tietyn minimiläpimitan täyttänyt ainespuu, jolloin pieniläpimittainen puuaines, oksat ja neulaset jäivät metsikköön. Metsikköön jäävä hakkuutähde väheni, kun ainespuun lisäksi

**Taulukko 11.2** Tutkimusmetsiköiden hakkuuvaihtoehdot (ensiharvennus).

Käsittely	Kuvaus
Ainespuukorjuu (A)	Latvat, oksat ja raivauspuusto jäivät alueelle.
Ainespuukorjuu ja polttoranka (A-)	Kuten ainespuukorjuu, lisäksi korjattiin polttoranka.
Kokopuukorjuu (K)	Koko puu oksineen korjattiin koealueelta pois. Hakkuu tehtiin yksiotharvesterilla, jossa katkonta puun tyvestä ja rungon puolivälistä. Karsintaa ei tehty. Metsäkuljetus metsätraktorilla.
Kokopuukorjuu ja käsityden- nys (K-)	Kuten kokopuukorjuu (K), mutta korjuuta täydennettiin keräämällä jäljelle jääneet hakkuutähteet käsin pois koeruuduilta.



**Kuva 11.1.** Kokopuukorjuuta suometsästä Alajärven koealueella. Kuva Metla/Jyrki Hytönen.

korjattiin polttoranka (A-). Käytännön metsätaloutta jäljittelevässä kokopuukorjuussa (K) poistuma sisälsi paitsi runkopuun myös suurimman osan oksista ja neulasista. Vähiten hakkuutähdettä jäi silloin, kun käytännön kokopuukorjuuta täydennettiin keräämällä jäljelle jääneet hakkuutähteet pois käsityönä mahdollisimman tarkoin (K-). Useimmille koealueille jätettiin harventamattomia vertailualoja.

Puusto mitattiin ennen ja jälkeen harvennuksen. Metsikköön jääneen hakkuutähteen määrä mitattiin hakkuutavoittain punnitsemalla ne 3 m<sup>2</sup>:n (1 m × 3 m) kokoisilta näytealoilta (15 kpl/koeruutu). Muhoksen kokeella hakkuutähteet punnittiin koealoittain niiden keskipisteeseen ja lävistäjille sijoitetuilta viideltä 10 m<sup>2</sup>:n ympyrältä (säde 178,5 cm). Hakkuutähteistä otettiin näytteet kosteuden- ja ravinnepitoisuuden määrittystä varten ruuduittain. Näytteistä määritettiin kosteuden lisäksi niiden N, P, K, Ca, Mg, Mn ja B pitoisuudet standardimenetelmillä (Halonen ym. 1983). Hakkuutähteisiin sitoutuneiden ravinteiden määrä laskettiin niiden ravinnepitoisuuden ja kuivamassan avulla. Lisäksi koealueilta otettiin vuosittain neulasnäytteitä, joiden ravinnepitoisuudet määritettiin.

### 11.2.2 Ravinteiden ja raskasmetallien huuhtoutumiskokeet - päätehakkuut

Valuma-alueutkimukset tehtiin kolmella koealueella eli Vilppulassa, Lapinjärvellä ja Sotkamossa (taulukko 11.3). Vilppulassa ja Lapinjärvellä tutkimuksen pääpaino oli ravinteiden huuhtoutumisessa ja Sotkamossa raskasmetallien huuhtoutumisessa ja kallioperän vaikutuksissa huuhtoutumiin. Tutkimus tehtiin ns. parittaisena kokeena, toisin sanoen tuloksia voitiin vertailla vastaavalaaiseen käsittelemättömään valuma-alueeseen. Valuma-alueutkimukset aloitettiin Vilppulassa ja Lapinjärvellä vuonna 2007 ja Sotkamossa vuonna 2008 mittaamalla valuntaa ja ottamalla vesinäytteitä alueiden ulosvirtausuomaan rakennettujen patojen ylisyöksystä tai padon edustalta (Sotkamo) ensin 1–2 vuoden ajan ennen hakkuuta (nk. kalibrintikausi). Vesinäytteet kerättiin 1–3 viikon välein sulanveden aikaan, Vilppulassa ja Lapinjärvellä lähes ympärivuotisesti, Sotkamosta toukomarraskuun aikana. Hakkuukäsittelyt valuma-alueilla tehtiin keväällä 2009, jolloin myös hakkuutähteet poistettiin kokopuukorjuukohteilta, kannot nostettiin seuraavan kesän-syksyn aikana (Kuva 11.2). Vilppulan valuma-alueet oli muodostettu keinotekoisesti eristämällä alueet ympäristöstään kaksoisojituksen avulla. Lapinjärven ja Sotkamon alueet ovat topografian mukaan määrittäviä luontaisia valuma-alueita. Vilppulan valuma-alueet olivat viljavuodeltaan karuja varputurvekangastason männiköitä, Sotkamon alueet varpu-, puolukka- tai mustikkaturvekangastasoja edustavia alueita ja Lapinjärven alueet mustikka- ja ruohoturvekangastasoja edustavia, turpeeltaan pitkälle maatumia korpivaluma-alueita. Sotkamon valuma-alueista puolet sijaitsee alueella, jonka kallioperässä on helposti rapautuvaa mustaliusketta (sisältää runsaasti raskasmetalleja ja rikkiä) ja puolet alueilla, jonka kallioperässä on pääosin heikosti rapautuvia kivilajeja ja mineraaleja, kuten graniittia ja kvartsia (= taustakallioperäalue).

Ravinne- ja raskasmetallimääritykset, lukuun ottamatta kokonais- ja metyylielohopeaa, tehtiin Metsäntutkimuslaitoksen Vantaan yksikössä (Jarva & Tervahauta 1993). Vesinäytteet suodatettiin, lukuun ottamatta kokonaisfosforia ja tyypeä sekä fosfaattifosforia, lisäksi ICP-AES:lla analysoitavat näytteet kestävästi tiippihapolla. Kiintoaine määritettiin punnitsemalla 105° asteessa kuivatettuun suodattimeen jäänyt kiintoaine. Kokonais- ja metyylielohopea määritettiin BrooksRand Labs:ssa Yhdysvalloissa käyttäen kylmähöyrytekniikkaa (Cold Vapor Atomic Fluorescence Spectrometry (CVAFS)). Tässä raportissa esitetään fosforin, typen, DOC:in, kiintoaineen ja raskasmetallien tuloksia.

Taulukko 11.3. Valuma-alueiden ominaisuuksia (päätehakkuaalat).

Valu- ma- alue	Käsittely	Valuma- alueen koko* ha	Käsi- tely alue* ha	Puuston tilavuus (käsittely alue) m ha <sup>-3</sup>	Suotyyppi	Kallioperä
Vilppula:						
1	runkopuukorjuu	1	1	159	varputurvekangas	
2	kokopuukorjuu+kannot	1	1	170	”-	
3	kontrolli	1	1		”-	
4	kokopuukorjuu	1	1	157	”-	
5	runkopuukorjuu	1	1	150	”-	
6	kontrolli	1	1		”-	
7	runkopuukorjuu	1	1	100	”-	
8	runkopuukorjuu	1	1	102	”-	
9	kokopuukorjuu	1	1	95	”-	
10	kokopuukorjuu+kannot	1	1	91	”-	
Lapinjärvi						
LK1	runkopuukorjuu	6,0	3,2	219	ruohoturvekangas	
LK2	runkopuukorjuu	6,6	5,6	260	”-	
LK3	kontrolli	9,2			”-	
LIL1	kontrolli	16,0			”-	
LIL2	kokopuukorjuu	10,0	6,0	286	”-	
LIL3	kokopuukorjuu	10,0	3,1	310	”-	
Sotkamo:						
KV13	kontrolli	4,8		71	puolukaturvekangas	taustakallioperä <sup>#</sup>
ML09	”-	1,3		70	varputurvekangas	mustaliuske
KV14	kokopuukorjuu+kannot	1,2	1,2	86	varputurvekangas	taustakallioperä <sup>#</sup>
KV22	”-	1,6	0,5	110	mustikkaturvekangas	taustakallioperä <sup>#</sup> / mustaliuske
ML10	”-	0,7	0,5	169	mustikkaturvekangas	mustaliuske
ML07	”-	1,7	0,7	170	mustikkaturvekangas	mustaliuske
S24	Runkopuukorjuu	6,9	1,6	70	puolukaturvekangas	taustakallioperä <sup>#</sup>
M10	”-	6,8	2,4	110	varputurvekangas	mustaliuske

\* Valuma-alueiden pinta-alat perustuvat maastoarviointeihin, ei ole tarkistusmitattu.

<sup>#</sup> kallioperä, jossa pääosin heikosti rapautuvia kivilajeja ja mineraaleja kuten graniittia ja kvartssia.



Kuva 11.2. Kannonnostoa Sotkamossa. Kuva Metla/Reijo Seppänen.

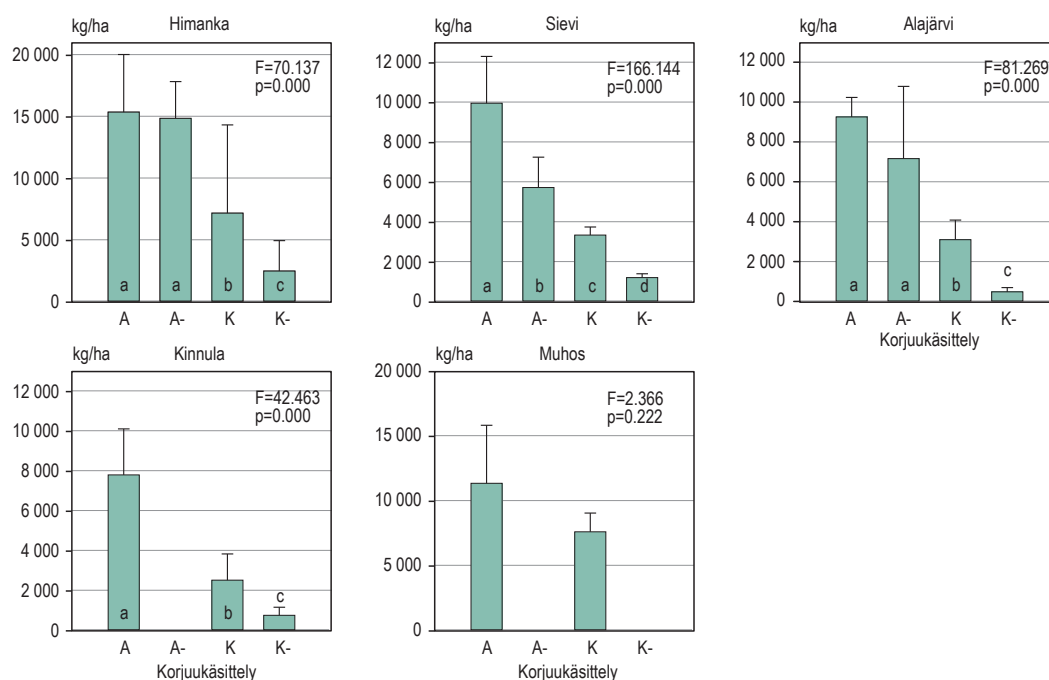
## 11.3 Tulokset

### 11.3.1 Ravinteiden riittävyyskokeet - ensiharvennushakkuut

Metsikköön jäävän hakkuutähteen määrä vaihteli huomattavasti eri hakkuukäsittelyjen välillä. Määrä oli kaikilla koealueilla suurin normaalissa runkopuukorjuussa (kuivapaino 7,8–15,3 t/ha) ja seuraavaksi suurin polttorangan ja ainespuun yhdistetyssä korjuussa (kuva 11.3). Kokopuukorjuussa (K) hakkuutähdettä jäi edellisiä vähemmän, mutta selvästi enemmän kuin käsittelyssä, jossa kokopuukorjuun jälkeen poistettiin käsin loput hakkuutähteet (K-). Koealueiden väliset erot hakkuupoistumassa näkyivät myös hakkuutähdemäärissä: mitä enemmän puustoa poistettiin, sitä enemmän hakkuutähdettä jäi metsään.

Käytännön kokopuukorjuuta vastaavassa korjuussa (K) ei saatu talteen kaikkia hakkuutähteitä, vaan niitä jäi metsikköön katkenneina pieninä oksina ja neulasina kolmannes tai enemmän hakkuutähteen kokonaismäärästä (Himanka 47 %, Sievi 34 %, Alajärvi 34 %, Kinnula 32 %, Muhos 66 %). Käsityönä täydennetyssä kokopuukorjuussakaan ei kaikkia hakkuutähteitä saatu korjattua. Himangalla metsätähdettä jäi käsinkorjuun jälkeenkin vielä 2500 kg/ha, mutta Alajärvellä haravaa käytettäessä hakkuutähteen määrä saatiin vähäiseksi (800 kg/ha).

Metsään jääneen hakkuutähteen ravinnemäärät laskettiin hakkuutähteen ravinnepitoisuuksien avulla. Eniten ravinteita koeruuduille jäi odotetusti ainespuukorjuussa. Kokopuukorjuussa ja erityisesti käsin täydennetyssä kokopuukorjuussa kasvupaikan ravinnemenetykset olivat suurimmat. Metsikköön jääneet ravinnemäärät vaihtelivat koealueittain johtuen hakkuupoistumien vaihtelusta. Kaliumia on pidetty kriittisenä ravinteena kokopuukorjuun yleistymisen kannalta. Kokopuukorjuu vähensi metsään jäänyttä K-määrää Himangalla 12 kg/ha, Sievissä 7 kg/ha, Alajärvellä 15 kg/ha, Kinnulassa 6 kg/ha ja Muhoksella 4 kg/ha ainespuukorjuuta enemmän. Ainespuukorjuussa jäävän hakkuutähteen kaliumin kokonaismäärästä tämä oli Himangalla 45 %, Sievissä 36 %, Alajärvellä 23 %, Kinnulassa 30 % ja Muhoksella 68 %.



**Kuva 11.3.** Hakkuutähteen kuivapaino koealueilla eri käsittelytavoilla. A = ainespuukorjuu, A- = ainespuukorjuu ja ranka, K = kokopuukorjuu ja K- = kokopuukorjuu, täydennetty käsin (kaikki pois).

Neulasanalyysi ei ensimmäisinä vuosina käsittelyn jälkeen osoittanut käsittelyistä johtuvia eroja puuston ravinnetilassa. Harvennus hakkuutavasta riippumatta yleensä hieman paransi puuston ravinnetilaa.

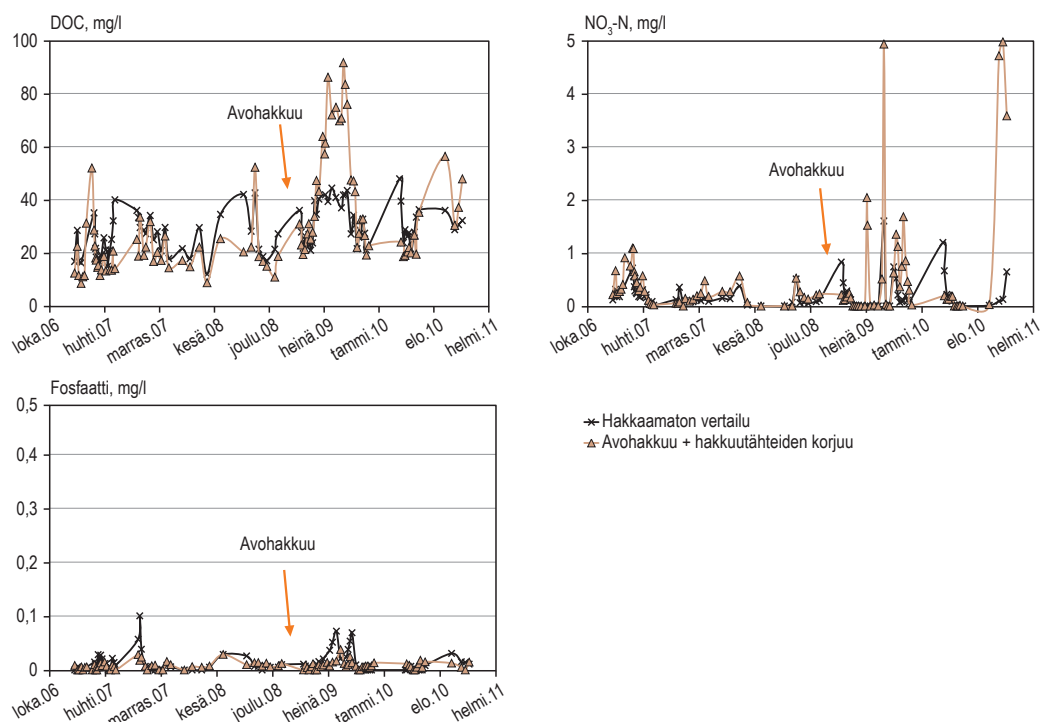
### 11.3.2 Ravinteiden ja raskasmetallien huuhtoutumiskokeet – päätehakkuut

#### Ravinteet

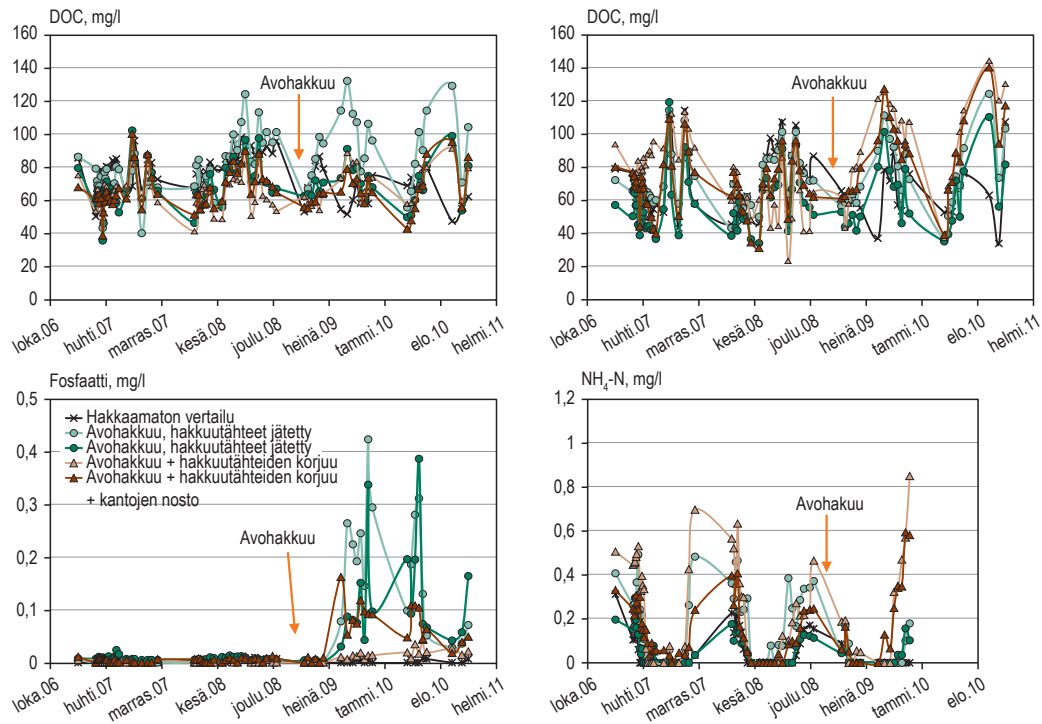
Pääsääntöisesti ravinteiden huuhtoumat lisääntyivät sekä kokopuu- että runkopuukorjuualoilla hakkuiden jälkeen, samoin kiintoaineen määrä (Kuvat 11.4, 11.5, 11.6).

Vilppulan kokeella fosfaattia ( $\text{PO}_4\text{-P}$ ) huuhtoutui vähän alueilta, joilta hakkuutähteet oli poistettu. Mutta toisaalta ammoniumtyypen ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) huuhtoutuminen oli näillä alueilla suurinta (Kuva 11.5). Fosfaatin huuhtoutuminen ei lisääntynyt Lapinjärven korpiojitusalueiden hakkuissa (Kuva 11.4). Sen sijaan nitraatin ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) huuhtoutuminen oli suurta Lapinjärven korpiojitusalueilta (Kuva 11.4), vaikkakaan huuhtoutumisella ei ollut selvää yhteyttä hakkuutapaan (kokopuukorjuu vs. runkopuukorjuu).

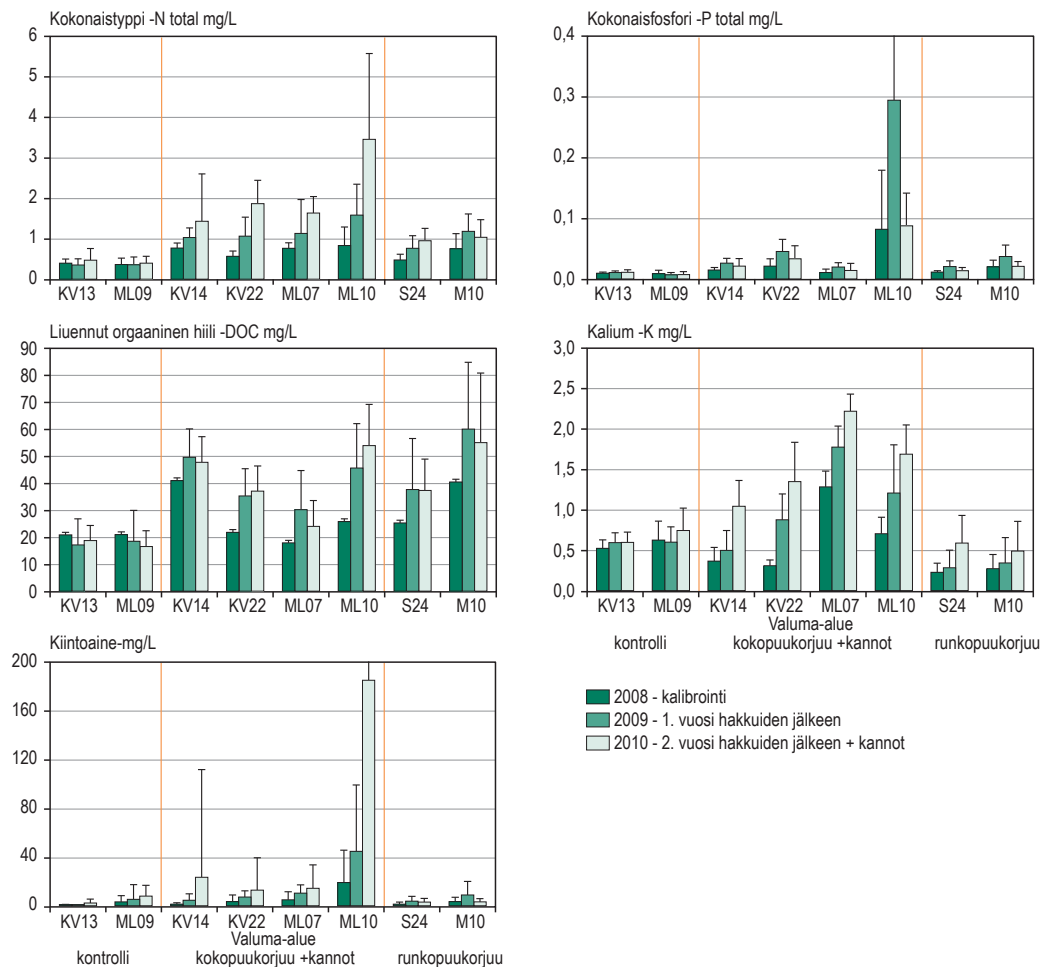
Sotkamossa sekä kokopuu- että runkopuukorjuukohteilta poistuvan veden kokonaistyyppipitoisuus (N) oli päätehakkuun jälkeisinä kahtena vuotena lähes kaksinkertainen tai enemmän alkutilanteeseen verrattuna, erityisen selkeästi typpipitoisuuden nousu näkyi kokopuukorjuukohteissa (kuva 11.6). Kokonaisfosforin (P) pitoisuus nousi myös välittömästi hakkuita seuranneena vuotena, mutta jo toisena vuotena hakkuiden jälkeen fosforipitoisuus laski verrattuna ensimmäiseen vuoteen. Kokopuukorjuukohteista mustaliuskealan ML10, fosforipitoisuus oli suurin ja pitoisuuden lisäys kymmenkertainen muihin aloihin verrattuna. Liuenneen orgaanisen hiilen (DOC) pitoisuus nousi välittömästi hakkuita seuranneena vuotena, mutta jo toisena vuotena lähes kaikilla aloilla



Kuva 11.4. Ravinteiden huuhtoutuminen päätehakkuualoilla Lapinjärven kohteilla (2007–2010)



Kuva 11.5. Ravinteiden huuhtoutuminen päätehakkuaaloilta Vilppulan kohteilla (2007–2010)



Kuva 11.6. Ravinnehuhtoumat Sotkamon aloilta (2008–2010)

DOC-pitoisuus lähti laskemaan, kuitenkin kokopuukorjuukohteista kahdella alalla (taustakallioperäalalla KV22, ja mustaliuskealalla ML10) DOC:in huuhtoutuminen lisääntyi edelleen toisena hakkuiden jälkeisenä vuotena. Molemmat alat edustavat ravinteisuudeltaan rehevempiä turvekohhteita Sotkamossa (mustikkaturvekangas). Myös Lapinjärven viljavuudeltaan rehevillä korpiojitusalueilla DOC-pitoisuus nousi selvästi hakkuun jälkeen (kuva 11.4).

## Raskasmetallihuuhtoumat Sotkamossa

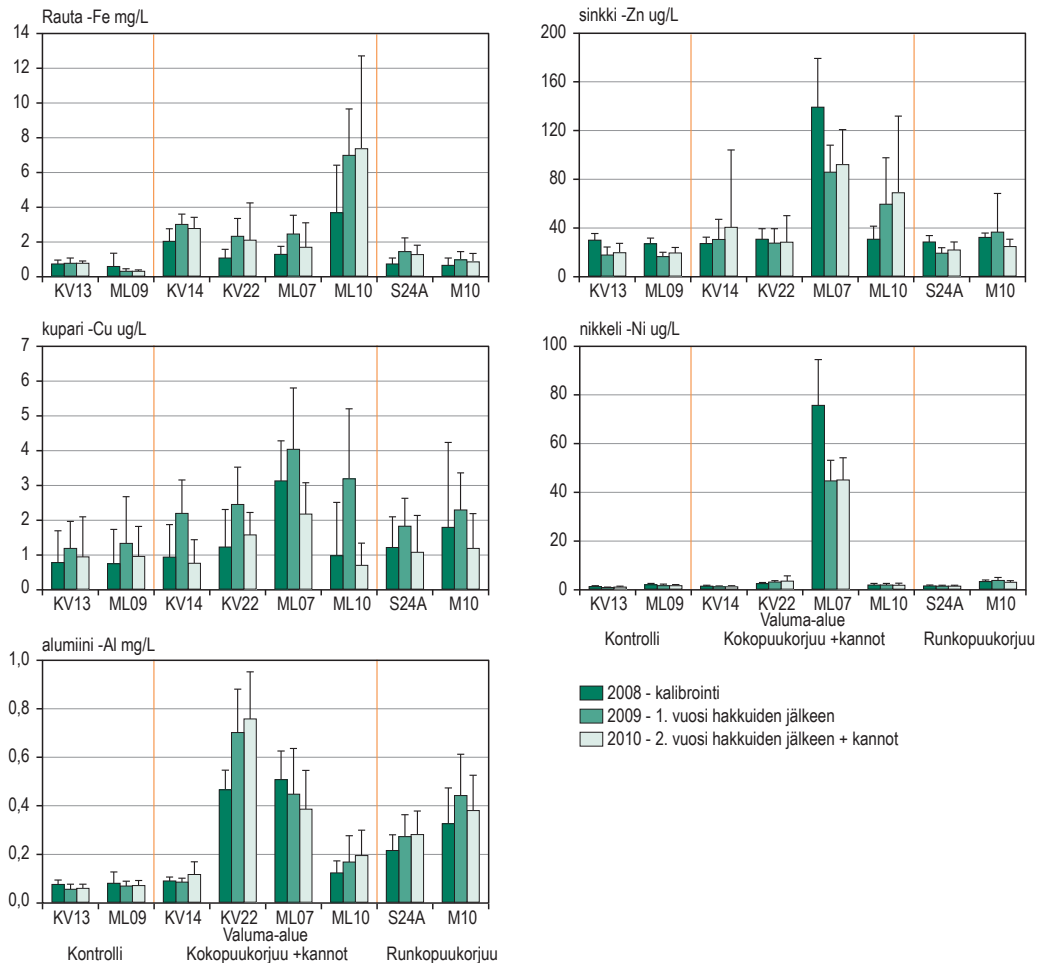
Sotkamon valuma-alueilla raskasmetallit (Ni, Cu, Fe, Zn, Al) sekä elohopea (kokonaiselohopea ja metyylielohopea) olivat ravinteiden lisäksi tutkimuksen kohteena. Tulokset osoittivat, että raskasmetallipitoisuudet valumavesissä olivat mustaliuskealoilla keskimäärin korkeammat kuin taustakallioperän päällä, erityisen korkea nikkeli- ja sinkkipitoisuus oli mustaliuskealalla ML07 (taulukko 11.4). Kaikkien raskasmetallien, lukuun ottamatta nikkeliä ja sinkkiä, pitoisuudet pääsääntöisesti nousivat toimenpiteiden jälkeen riippumatta kallioperästä tai hakkuutavasta, kuitenkin niin, että pitoisuus oli yleensä korkein välittömästi hakkuuta seuranneena vuotena, mutta laski jo toisena vuotena hakkuiden jälkeen (kuva 11.7). Raudan ja sinkin suhteen koeala ML10 teki poikkeuksen eli ko. kohteella valumaveden pitoisuudet jatkoivat nousuaan myös toisena vuotena hakkuun jälkeen. Rauta oli raskasmetalleista ainoa, jonka pitoisuus lisääntyi kaikilla toimenpideoilla hakkuiden jälkeen.

Kokonaiselohopean (Hg) pitoisuus vaihteli Sotkamon aloilla kalibrintivuotena keskimäärin 3,6 ja 8,9 ng/L välillä, poikkeuksena ala ML 10, jossa pitoisuus oli keskimäärin yli 20 ng/L (kuva 11.8). Vastaavasti metyylielohopea (MeHg) vaihteli 0,18 ja 5,32 ng/L välillä. Pitoisuudet ovat samaa luokkaa kuin esim. Suomessa on aikaisemmin mitattu päätehakkuiden (runkopuukorjuu) jälkeen Janakkalassa (Porvari & Verta 2003), poikkeuksen muodostaa ala ML10, jossa sekä Hg- että MeHg-pitoisuudet olivat huomattavasti korkeammat. Päätehakkuiden jälkeen sekä kokopuu- että runkopuukohteilla kokonaiselohopean pitoisuus nousi, sen sijaan metyylielohopeapitoisuus nousi kokopuukorjuukohteilla, mutta laski runkopuukorjuukohteilla. Hakkuuta edeltävät ja hakkuun jälkeiset Hg- tai MeHg-pitoisuudet eivät kuitenkaan poikenneet toisistaan tilastollisesti merkitsevästi.

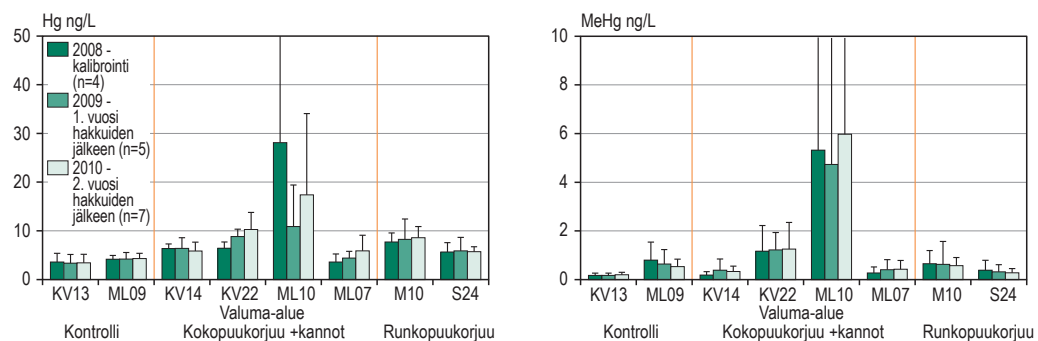
**Taulukko 11.4.** Valuntavesien keskimääräinen raskasmetallipitoisuus Sotkamon aloilla 2008–2010.

	Al	Fe	Zn	Cu	Ni
	mg L <sup>-1</sup>			µg L <sup>-1</sup>	
<b>Taustakallioperä</b>					
KV13, kontrolli	0,06	0,72	21,47	0,95	0,80
KV14*	0,10	2,58	33,51	1,16	0,98
KV22*	0,66	1,82	28,22	1,68	2,84
S24#	0,26	1,13	22,47	1,33	1,19
<b>Mustaliuske</b>					
ML09, kontrolli	0,07	0,35	20,14	0,99	1,49
ML07*	0,43	1,71	103,90	2,87	53,70
ML10*	0,16	6,14	54,73	1,40	1,63
M10#	0,38	0,79	30,08	1,69	3,11

\*Kokopuukorjuu, #Runkopuukorjuu



Kuva 11.7. Raskasmetallihuuhtoumat Sotkamon aloilta (2008–2010).



Kuva 11.8. Kokonais- ja metyylielohopeahuuhtoutumat Sotkamon päätehakkualoilta 2008–2010.

## 11.4 Tulosten tarkastelu

Ensiharvennuskokeissa hakkuutähteitä jäi metsään eniten runkopuukorjuussa. Myös kokopuukorjuussa hakkuutähteitä (etenkin pieniä oksia neulasineen) jäi kohtalaisen runsaasti. Kokopuukorjuussa metsään jäi hakkuutähteistä kaikilla kohteilla vähintään 30 %. Siten kohteilla täyttyi uusimpien energiapuukorjuusuositusten ohje siitä, että 30 % hakkuutähteistä pitäisi jättää kasvupaikalle (Äijälä ym. 2010). Tutkimuksen hakkuut tehtiin talvella pakkasten aikaan, jolloin oksat katkeavat helposti.

Toisaalta soilla puunkorjuu kesällä on vaikeaa kantavuusongelmien takia. Kokeessa myös keino-tekoisesti vähennettiin hakkuutähteen määrää keräämällä kokopuukorjuun jälkeen hakkuutähteitä käsin pois. Tuolloinkin eri kohteilla jäi kasvupaikalle 6–16 % hakkuutähteistä.

Hakkuutähteen ravinnesisältö oli suhteessa hakkuutähteen määrään ja niiden jakautumiseen runkopuuhun, oksiin ja neulasiin. Runkopuukorjuussa metsään jäi hakkuutähteen lisäksi myös eniten ravinteita. Typpi, fosfori, kalium ja boori ovat puuston kasvun kannalta keskeisimpiä ravinteita turvemaidilla. Toisin kuin kivennäismailla, turvemaidilla hakkuutähteen sisältämän typen poistuminen kasvupaikalta ei liene ravinnetaloudellisesti merkittävä ongelma, koska soilla turpeeseen on sitoutunut runsaasti typpeä. Suometsien kokopuukorjuussa on oltu erityisesti huolestuneita kaliumin ja boorin lisääntyvästä poistumisesta kasvupaikalta. Tässä tutkimuksessa kokopuukorjuu vähensi metsään jäävän kaliumin määrää 33–63 %. Erot kasvupaikalle jäävissä kaliummäärissä aines- ja kokopuukorjuun välillä olivat pienemmät kuin aiemmissa arvioissa, joissa ei ole otettu huomioon, että kokopuukorjuussakin hakkuutähteitä jää kasvupaikalle (esim. Kaunisto 1996). Runkopuukorjuussa kaliumia jäi kasvupaikalle 4–15 kg/ha enemmän kuin kokopuukorjuussa olettaen, ettei hakkuutähteen kaliumia huuhtoudu juuristokerroksen ulottumattomiin. Kalium on kuitenkin hyvin herkästi huuhtoutuvaa, joten on todennäköistä, että runkopuukorjuussa kasvupaikalle kaiken kaikkiaan jää niin vähän enemmän kaliumia kuin kokopuukorjuussa, ettei kokopuukorjuun välttäminen ole ratkaisu suometsien kaliumravinneongelmiin. K-puutoksen riskialueilla (PtkgII- ja MtkgII-turvekankaat) on joka tapauksessa suositeltavaa hyödyntää lannoitusta puuston ravinnetilan parantamiseen – riippumatta puunkorjuutavasta. Käyttämällä kaliumia sisältäviä lannoitteita (RautaPK, puutuhka, Metsän K-hiven) turpeen ravinnevarastot täydentyvät ja ojituksella aikaansaatu puuston hyvä kasvu jatkuu ainakin seuraavat 20–30 vuotta.

Vesistöjä eniten kuormittavia aineita ovat fosfori ja typpi, molempien ravinteiden pitoisuudet nousivat kaikilla päätehakkuualoilla sekä kokopuu- että runkopuukorjuun jälkeen. Merkittävimmit vesistövaikutukset syntyivät nitraatin lisääntyneestä huuhtoutumisesta korpiojitusalueilta ja fosforikuormituksen kasvamisesta rämeojitusalueiden hakkuualoilta. Nitraatin huuhtoutuminen ei näyttäisi olevan yhteydessä hakkuutapaan, mutta fosforia huuhtoutuu vähemmän, kun hakkuutähteet on korjattu. Toisaalta hakkuutähteen korjuu voi samanaikaisesti lisätä typen huuhtoutumista. Liuennutta orgaanista ainetta huuhtoutuu erityisesti viljavuudeltaan rehevien korpiojitusalueiden hakkuissa. Tulokset ovat yhteneviä aiempien tutkimusten (Nieminen 2003, 2004) kanssa siinä, että fosforia huuhtoutuu hakkuissa erityisesti viljavuudeltaan karuilta rämeiltä, typpeä ja orgaanista ainetta taas viljavuudeltaan reheviltä korpiojitusalueilta, joiden turve on pitkälle maatumutta. Erot fosforin huuhtoutumisessa selittyvät eroilla fosforia pidättävien alumiini- ja rautayhdisteiden määrissä minerotrofisten korpiturpeiden ja ombrotrofisten rämeturpeiden välillä (Nieminen & Jarva 1996). Kiintoaine lisääntyi hakkuiden jälkeen, erityisesti Sotkamon kohteella ML 10, jossa loppukesästä 2010 oli hyvin korkea kiintoainepitoisuus. Myös muilla aloilla kiintoainepitoisuus oli jonkin verran kohonnut samanaikaisesti. Asiaa selittänee osaltaan pitkään jatkunut vähäsateinen jakso.

Lähes kaikkien tutkittujen raskasmetallien pitoisuudet nousivat Sotkamon päätehakkuualoilla toimenpiteiden jälkeen riippumatta kallioperästä tai hakkuutavasta, kuitenkin niin, että pitoisuus oli yleensä korkein välittömästi hakkuuta seuranneena vuotena, mutta laski jo toisena vuotena hakkuiden jälkeen. Maaperän rikkoutuminen ja pohjaveden pinnan nousu hakkuutoimenpiteiden johdosta on todennäköisesti vapauttanut aikojen kuluessa maaperään varastoutuneita raskasmetalleja. Keskimäärin raskasmetallipitoisuudet olivat korkeammat mustaliuskealoilla. Kokonaiselohopean huuhtoutuminen lisääntyi hakkuiden jälkeen, metyylielohopean erityisesti kokopuukorjuukohteilla. Onkin mahdollista, että useammat metsäkoneiden käyntikerrat häiritsevät maaperää ja siten edesauttavat sellaisten olosuhteiden syntymistä, joka suosii elohopean metyyloitumista metyylielohopeaksi.

Joidenkin aineiden, kuten raudan ja kokonaiselohopean suhteen näyttäisi, että pitoisuuden lisäksi olisi yhteydessä kohonneen DOC-pitoisuuden kanssa.

Suometsissä on merkittävä energiapuupotentiaali. Sen täysimittaiseksi hyödyntämiseksi on tunnettu energiapuun korjuun ympäristövaikutukset ja niiden asettamat reunaehdot. Energiapuukorjuun vaikutuksia on tutkittu suometsissä vasta muutaman vuoden ajan, joten tulokset ovat alustavia. Lopullisia tuloksia kasvuvaikutuksista ja ravinteiden ja raskasmetallien kokonaishuuhtoutumista saadaan seuraavan 5–10 vuoden kuluessa.

## Kirjallisuus

- Adamson, J.K. Hornung, M. Pyatt, D.G. & Anderson, A. R. 1987. Changes in solute chemistry of drainage waters following the clearfelling of Sitka Spruce plantation. *Agriculture and Forestry*. 354 p.
- Finér, L. 1992. Biomass and nutrient dynamics of Scots pine on a drained ombrotrophic bog. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 420: 43 s. + 4 liitejulkaisua.
- Finér, L. Ahtiainen, M. Mannerkoski, H., Möttönen, V., Piirainen S., Seuna, P. & Starr, M. 1997. Effects of harvesting and scarification on water and nutrient fluxes. A description of catchments and methods, and results from pretreatment calibration period. *The Forest Research Institute, Research Papers* 648. 38 p.
- Föstner, U. & Wittmann, G.T.W. 1979. *Metal pollution in the aquatic environment*. Springer-Verlag, Berlin.
- Garcia, E. & Carignan, R. 2001. Mercury concentrations in northern pike (*Esox lucius*) from boreal lakes with logged, burned, or undisturbed catchments *Can. J. Fish. Aquat. Sci./J. Scan. sci. halieut. aquat.* 57(S2): 129-135
- Halonen, O., Tulkki, H., Derome, J., 1983. *Nutrient analysis methods*. Finnish Forest Research Institute, *Research Papers* 121. 28 p.
- Hytönen, J. & Moilanen, M. 2008. Short-term effects of whole-tree harvesting on nutrition of Scots pine on drained peatlands. In: Farrell, C. and Feehan, J. (ed.). *After Wise Use - The Future of Peatlands. Proceedings of the 13th International Peat Congress, Tullamore, Ireland 8-13 June 2008. Volume 2, Poster presentations*. International Peat Society, p. 172-174.
- Hytönen, J. & Moilanen, M. 2012. Effect of harvesting method on the amount and nutrient content of logging residues and nutrition of Scots pine in first thinnings on drained peatlands. *The Book of Abstracts* (Ed. Magnusson, T.). *The 14th International Peat Congress. Peatlands In Balance*. Stockholm, Sweden, June 3-8, 2012. p. 207-208.
- Hytönen, J., Moilanen, M., Kohal, O. & Lokasaari, A. 2010. Hakkuutähteiden määrä ja ravinnesisältö aines- ja energiapuukorjuun jälkeen ojitettujen turvemaiden ensiharvennusmänniköissä. Teoksessa: Sauvula-Seppälä, T., Ulander, E. & Tasanen, T. (toim.) 2010. *Kehittyvä metsäenergia - Tutkimusseminaari Seinäjoen Framissa 18.11.2009. Seinäjoen ammattikorkeakoulun julkaisusarja B46: s 70-79*.
- Heikkilä J. 2007. Turvemaiden puun kasvatus ja korjuu – nykytila ja kehittämistarpeet. *Metsäntutkimuslaitoksen työraportteja* 43. 29 s.
- Hyvän metsänhoidon suositukset 2006. *Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. Julkaisusarja* 22/2006. 100s.
- Hyvän metsänhoidon suositukset turvemaille 2007. *Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio*. 51 s.
- Hökkä, H, Penttilä, T. & Hännell, B. 1996. Effect of thinning on the foliar nutrient status of Scots pine stands on drained boreal peatlands. *Canadian Journal of Forest Research* 26: 1577-1584.

- Jarva, M. & Tervahauta, A. 1993. Vesinäytteiden analyysiohjeet. Methods of water analysis. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 477. 171 s.
- Kaunisto, S. 1996. Massahakemenetelmä ja ravinnepoistuma rämeen ensiharvennusmetsiköissä. Julkaisussa: Laiho, O. & Luoto, T. (toim.). Metsäntutkimuspäivä Porissa 1995. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 593: 15–23.
- Koistinen A. & Äijälä, O. 2006. Energiapuun korjuu. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. 40 s.
- Kubin, E. 1977. The effect of clear cutting upon the nutrient status of a spruce forest in northern Finland (64° 28' N). *Acta Forestalia Fennica* 225:1-42.
- Kuusinen, M. & Ilvesniemi, H. (toim.) 2008. Energiapuun korjuun ympäristövaikutukset, tutkimusraportti. Tapion ja Metlan julkaisuja (saatavissa [www.metsavastaa.net/energiapuu/raportti](http://www.metsavastaa.net/energiapuu/raportti)). 50 s. ISBN 978-952-5694-27-7
- Laiho, R. 1997. Plant biomass dynamics in drained pine mires in southern Finland: Implications for carbon and nutrient balance. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 631. 54 s. + liitteet.
- Lauhanen, R. & Kaunisto, S. 1999. Effect of drainage maintenance on the nutrient status on drained Scots pine mires. *Kunnostusojituksen vaikutus rämeiden ravinnetilaan. Suo - Mires and Peat* 50(3-4): 119-132
- Loukola-Ruskeeniemi K, Kantola M, Halonen T, Seppänen K, Henttonen P, Kallio E, Kurki P & Savolainen H. 2003. Mercury-bearing black shales and human Hg intake in eastern Finland: impact and mechanisms. *Environmental Geology* 43: 283-297.
- Moilanen, M., Saarinen, M. & Silfverberg, K. 2010. Foliar nitrogen, phosphorus and potassium concentrations of Scots pine in drained mires in Finland. *Silva Fennica* 44(4): 583-601
- Mälkönen, E. 1975. Hakuutähteiden talteenoton seurannaisvaikutuksia. *Työteho-seura. Teho* 10: 12-13.
- Munthe, J. and Hultberg, H. 2004. Mercury and methylmercury in runoff from a forested catchment—concentrations, fluxes, and their response to manipulations. *Water Air Soil Pollut. Focus* 4, 607–618.
- Mälkönen, E., Kukkola, M. & Finer, L. 2001. Energiapuun korjuu ja metsämaan ravinnetase. Teoksessa Nurmi, J. & Kokko, A. (toim.) *Biomassan tehostetun talteenoton vaikutukset metsässä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 816: s. 31- 52.
- Nieminen, M. 2003. Effects of clear-cutting and site preparation on water quality from a drained Scots pine mire in southern Finland. *Boreal Env. Res.* 8: 53-59.
- Nieminen, M. 2004. Export of dissolved organic carbon, nitrogen and phosphorus following clear-cutting of three Norway spruce forests growing on drained peatlands in southern Finland. *Silva Fennica* 38: 123-132.
- Nieminen, M. & Jarva, M. 1996. Phosphorus adsorption by peat from drained mires in southern Finland. *Scand. J. For. Res.* 11: 321-326.
- Nykvist, N. 1971. The effect of clear felling on the distribution of biomass and nutrients. *Ecological Bulletins* 14: 166-178.
- Palviainen, M. 2005. Logging residues and ground vegetation in nutrient dynamics of a clear-cut boreal forest. *Dissertationes forestales* 12, the Finnish Society of forest Science, 38 p. +I-IV attachments
- Nihlgård, B. 1970. Precipitation, its chemical composition and effect on soil water in a beech and a spruce forest in south Sweden. *Oikos* 21: 208-217.
- Rask, M., Jutila, E., Järvenpää, T., Lappalainen, A. & Vuorinen, P. 1996. Metsätalouden vaikutukset kalakantoihin. In: Finér, L., Ilvesniemi, H., Kortelainen, P & Karvinen, I (Eds.), *Metsätalouden ympäristökuormitus. Forest Research Institute, Research Papers* 607, 107 p.
- Porvari, P. & Verta, M. 1998. Mercury and methylmercury in Finnish reservoirs and Kemijoki drainage basin. *Suomen ympäristö 175. Suomen ympäristökeskus, Helsinki*, 59 p.
- Porvari, P., Verta, M. 2003. Total and methyl mercury concentrations and fluxes from small boreal forest catchments in Finland. *Environmental Pollution* 123(2): 181-191.
- Porvari, P., Verta, M., Munthe, J. & Haapanen M. 2003. Forestry practices increases mercury and methyl mercury output from boreal forest catchments. *Environ Sci & Technology* 37(11): 2389-2393.
- Saarinen, M. 1997. Ojitusaluepuustojen kaliumin puutokset ja metsätalouden suunnittelu. Summary: Assessment of the potassium status of peatlands drained for forestry in connection with forest management planning. *Suo – Mires and Peat* 48(1): 21-25.

- TEM 2010a. Työ- ja elinkeinoministeriö tiedotteet: energia 20.4.2010 uusiutuvan energian velvoitepaketti vie kohti vähäpäästöistä Suomea [http://www.tem.fi/?s=2471&89519\\_m=98836](http://www.tem.fi/?s=2471&89519_m=98836)
- TEM2010b. NREAP Uusiutuvan energian kansallinen toimintasuunnitelma eli Suomen kansallinen toimintasuunnitelma uusiutuvista lähteistä peräsin olevan energian edistämisestä direktiivin 2009/28/EY:n mukaisesti. Työ- ja elinkeinoministeriö, energiaosasto.
- Verta, M., Rekolainen, S. & Kinnunen, K. 1986. Causes of increased fish mercury levels in Finnish reservoirs. Publications of the Water and Environment Research Institute 65: 44-58.
- Äijälä, O., Kuusinen, M. & Koistinen, A. 2010. Hyvän metsänhoidon suositukset energiapuun korjuuseen ja kasvatukseen. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion julkaisuja. 31 p.

Metlan työraportteja 289: 112–120

## 12 Kantojen korjuu ja tyvilahon torjunta

Tuula Piri

### Tiivistelmä

Tutkimuksessa selvitettiin kannonostokohteelle jäävän lahon juurimateriaalin merkitystä juurikäävän tartuntalähteenä seuraavassa kuusisukupolvessa sekä juurikäävän itiöemien kehittymistä kuusen kantoihin varastoinnin aikana. Kuusenjuurikäävän elossa säilymistä irrallisissa, maahan peitetyissä kuusen juurissa ja leviämistä kuusen taimiin seurattiin lähes seitsemän vuoden ajan. Elävää juurikäävän rihmastoja eristettiin ensimmäisen vuoden jälkeen 28,6 %:sta, n. kolmen vuoden kuluttua 23,1 %:sta ja 6–7 vuoden kuluttua 18,6 %:sta maassa olleista juurista. Pariutuskokeiden avulla osoitettiin, että juurikääpärihmasto pystyy siirtymään kasvullisesti juurenpalasta taimen juuristoon ja tartuttamaan taimen. Ensimmäinen kuusen taimi sai juurikääpärtartunnan 4,5 vuotta kokeen perustamisen jälkeen. Yli neljä vuotta kestäneillä kokeilla 8,8 % taimista oli juurikäävän tartuttamia. Kantokasojen inventoinneissa juurikäävän itiöemiä löytyi kolmesta neljään vuotta tienvarsivarastossa olleiden kasojen alaosista. Runsaimmin itiöemiä oli kehittynyt lahoihin kantoihin, jotka olivat kosketuksessa maahan.

Asiasanat: *Heterobasidion parviporum*, kantojen korjuu, kantojen varastointi, kuusen tyvilaho, kuusen taimi, kuusenjuurikääpä

### Abstract

The persistence of *Heterobasidion* mycelium in broken root fragments and its potential to infect close-growing Norway spruce seedlings were studied for nearly seven years under field conditions. After 12 months, ca. three years and 6–7 years, the fungus was isolated from 28,6, 23,1 and 18,6 % of roots, respectively. The first seedling was infected with *Heterobasidion* root rot 4,5 years after the establishment of the experiment. On plots older than four years, 8,8 % of the seedlings were infected. Because the same genotype of *Heterobasidion* that had colonized the buried root fragment was also isolated from roots of the adjacent spruce seedling, the results confirm the vegetative spread of *Heterobasidion* to the planted spruce seedlings. Fruiting bodies of *Heterobasidion* occurred on decayed spruce stumps kept in roadside storage for 3–4 years. The fruiting bodies were most common on stumps with ground contact in the lower part of the stump pile.

Keywords: *Heterobasidion parviporum*, *Heterobasidion* root rot, spruce seedling, stump removal, stump storage

## 12.1 Johdanto

Tyvilahoa aiheuttavat lahottajasienet vähentävät merkittävästi kuusitukkipuun saantoa parhaimmilla kuusen kasvupaikoilla Etelä-Suomessa. Yleisin kuusen lahottaja on kuusenjuurikäpää (*Heterobasidion parviporum* Niemelä & Korhonen). Juurikäpää hyötyy talousmetsien säännöllisistä hakkuista, sillä tuoreet havupuiden kannot avaavat juurikäävälle väylän, jota pitkin sieni pääsee leviämään metsikköön. Ilman tehokasta torjuntaa tyvilahosta tulee pitkäaikainen, jopa vuosisatoja kestävä kasvupaikan tuottavuutta alentava tekijä, sillä juurikäpää siirtyy puusukupolvesta toiseen. Juurikäpärihmasto säilyy päätehakkuukannoissa vuosikymmeniä ja leviää juuriyhteyksiä pitkin seuraavaan puusukupolven taimiin (Piri 1996, 2003). Lisäksi lahoihin kantoihin kehittyvät itiömät lisäävät terveiden kantojen itiötartuntariskiä (Rishbeth 1957).

Juurikäävän leviäminen seuraavaan puusukupolveen voidaan estää uudistamalla tyvilahokohde lehtipuulle, esim. koivulle, joka on kestävä kuusenjuurikäävälle (Korhonen 1978). Koska koivukoiden kasvattaminen ei nykyään onnistu hirvituhojen vuoksi, on kuusi usein ainoa vaihtoehto juurikäävän saastuttamalla kasvupaikalla. Tällöin tyvilahoa voidaan torjua vain poistamalla tautia levittävät kannot uudistusalalta.

Kuusen kantojen korjuu energiakäyttöön aloitettiin Suomessa 2000-luvun alussa. Kantojen korjuuta puoltaa paitsi lisääntynyt energiapuun kysyntä myös sen juurikäpätuhoja torjuva vaikutus. Torjunnan tehokkuudesta tiedetään kuitenkin varsin vähän ja ensimmäisiä tuloksia kannonnoston vaikutuksista juurikäävän leviämiseen saadaan vasta, kun kannonnostokohteelle perustetuissa kuusikoissa tehdään ensimmäiset harvennushakkuut. Aiempia tutkimuksia aiheesta on vain muutamia, eikä niissä käytetty nostotekniikka vastaa nykyistä käytäntöä. Tanskassa vuonna 1914 perustetussa puulajikokeessa kannot nostettiin käsin. Harvennushakkuissa, jotka tehtiin puuston ollessa 11–19-vuotiaista, juurikäpätartunnan saaneiden kuusten osuus oli kantojennostokoealoilla 8,1 % ja käsittlemättömillä vertailukoealoilla 34,5 % (Bornebusch & Holm 1934, Yde-Andersen 1970). Ruotsissa tehdyssä kannonnostokokeessa lahot kuusen kannot poistettiin telaketjutraktorilla, minkä jälkeen maa kynnettiin ja siitä seulottiin pois 5 mm paksummat juuren pätkät. Noin 30 vuotta istutuksen jälkeen seuraavan puusukupolven kuusista oli juurikäävän tartuttamia 1 % ja 2 % kahdella nostokoealalla ja vastaavasti 17 % ja 12 % käsittlemättömillä kontrollikoealoilla (Stenlid 1987). Molemmat tutkimukset osoittavat selvästi, että kantojen korjuulla voidaan vähentää seuraavan puusukupolven juurikäpätuhoja.

Koska kantoja nostettaessa lahot juuret murtuvat ja juurikäävän tartuttamaa puuainesta jää maaperään, ei kantojen nosto parhaimmissakaan olosuhteissa poista tautia kokonaan kasvupaikalta. Toistaiseksi ei kuitenkaan tiedetä, kuinka pienistä juurenpalasista tauti leviää seuraavaan puusukupolven tai missä vaiheessa tartunta tapahtuu. Tästä syystä on vaikea arvioida, kuinka suuria juurikäpätuhoja kannonnostokohteille perustetuissa kuusikoissa on odotettavissa. Myöskään ei tiedetä, kuinka huolellisesti juurikäävän tartuttama puuaines tulisi kerätä pois uudistusalalta, jotta seuraavan puusukupolven juurikäpätuhot voitaisiin pitää kohtuullisina ja tyvilahon aiheuttamat taloudelliset menetykset jäisivät mahdollisimman vähäisiksi.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli saada suhteellisen lyhyellä aikavälillä uutta tietoa juurikäävän leviämisestä kannonnostokohteilla. Tärkeimmät kysymykset, joihin pyrittiin saamaan vastaukset, olivat: 1) Kuinka kauan juurikäpärihmasto säilyy elossa maahan jääneissä irrallisissa juurenosissa? 2) Missä määrin kuusenjuurikäpää pystyy leviämään näistä juurenpätkistä seuraavan puusukupolven kuusen taimiin ja tartuttamaan ne?

Tutkimuksen toisessa osiossa selvitettiin juurikäävän itiöemien esiintymistä varastoiduissa kuusen kannoissa. Koska kannot säilyttävät energia-arvonsa erittäin hyvin (Laurila & Lauhanen 2010), kantojen tienvarsivarastointi saattaa venyä useiden vuosien mittaiseksi. Varastokasan alaosissa kannot eivät kuitenkaan kuivu maaperästä nousevan kosteuden vuoksi ja voivat siksi olla otollisia kasvualueita juurikäävän itiöemille. Koska kantojen korjuulla pyritään vähentämään juurikääpätuhoja, on tarpeellista tunnistaa myös mahdolliset riskitekijät, jotka voivat edesauttaa taudin leviämistä.

## 12.2 Aineisto ja menetelmät

### 12.2.1 Tartutuskokeiden perustaminen

Tartutuskoetta varten kerättiin lahoja juuria luontaisesti infektoiduista kuusen kannoista. Juuret pilkottiin ja kunkin juuripalan molemmista päistä sahattiin ohuet kiekot, joista mitattiin juuren katkaisupinnan pinta-ala, lahon pinta-ala ja määritettiin lahoaste (värivika, kova laho, pehmeä laho ja ontto laho). Näytekiekot pestiin ja ne laitettiin muovipusseihin noin viikoksi, minkä jälkeen niistä eristettiin kiekon pinnalle kasvanutta juurikääpärihmastoa myöhempiä pariutustestejä varten. Juuripalasten pituus ja keskiläpimitta mitattiin ja palaset säilytettiin kylmähuoneessa kokeiden perustamiseen asti. Juuripalasten tilavuus vaihteli 59:stä 3 052 cm<sup>3</sup>:iin (keskiarvo 614 cm<sup>3</sup>), pituus 8:sta 50 cm:iin (keskiarvo 21,3 cm) ja läpimitta 1,5:stä 12 cm:iin (keskiarvo 5,8 cm).

Yhteensä 13 koealaa perustettiin kahdeksalle eri kuusen istutusalueelle Vilppulaan, Läyliäisiin, Solböleen ja Ruotsinkylään. Maahan peitettiin yhteensä 358 juurikäävän lahottamaa juuren-pätkää. Niistä 259 sijoitettiin maahan kuusen taimen välittömään läheisyyteen noin 5 cm päähän taimen tyvestä. Juurenpalat peitettiin pintamaahan niin, että juuren toinen pää oli lähes maanpinnan tasossa. Koealojen kuuset oli istutettu samana tai edellisenä keväänä.

### 12.2.2 Kokeiden purku

Tähän mennessä on purettu yhdeksän koetta. Ensimmäinen koe purettiin vuoden ja viimeinen kuuden vuoden ja 11 kuukauden kuluttua kokeen perustamisesta. Juurenpalaset kaivettiin ylös maasta ja sahattiin n. 2 cm:n vahvaisiksi kiekkoiksi, jotka pestiin juoksevan veden alla. Kiekkoja pidettiin noin viikko muovipusseissa ja kiekkoista, joissa juurikääpä oli säilynyt elävänä, tehtiin eristykset. Koealojen taimet mitattiin ja niiden ulkoista kuntoa seurattiin vuosittain. Inventointien yhteydessä nostettiin huonokuntoiset taimet ja määritettiin tuhonaiheuttaja. Kokeen päätyttyä taimet juurineen kaivettiin ylös maasta, ne katkaistiin tyveltä, juuristo pestiin ja pääjuuret pilkottiin n. 1 cm:n pituisiksi näytteiksi. Taimien näytekiekot käsiteltiin samoin kuin juurista sahatut kiekot ja mahdollinen juurikääpä tartunta varmistettiin mikroskoipoimalla. Tartunnan saaneista taimista eristettiin juurikääpärihmastoa pariutustestejä varten.

### 12.2.3 Pariutustestit

Koska haluttiin varmistaa, että taimen infektoinut juurikääpä oli genotyypiltään sama kuin taimen viereen haudatussa juurenpalassa, pariutettiin taimesta eristetty juurikääpärihmasto juurenpalasta eristetyn juurikääpärihmaston kanssa. Myös juuresta ennen ja jälkeen hautaamista eristetyt juurikääpärihmastot pariutettiin keskenään. Näin haluttiin varmistaa, että yksi ja sama juurikääpärihmasto on säilynyt juurenpalassa kokeen ajan. Pariutustestit tehtiin kasvattamalla testattavia juurikääpärihmastoja vierekkäin mallasmaljalla 3–4 viikkoa, minkä jälkeen rihmastojen yhteen kasvaminen

rajalinjalla tarkastettiin. Jos rihmastojen välille ei muodostu rajavyöhykettä, vaan rihmastot sulautuvat yhteen, kyseessä on geneettisesti sama sieniyksilö (Stenlid 1985). Kunkin kokeessa käytettyjen juurikäpäeristyksen lajimääritys tehtiin pariuttamalla testikanta homokaryoottisten (geneettisesti haploidien) kuusenjuurikäpä- ja männynjuurikäpätestaajien kanssa (Korhonen 1978).

#### 12.2.4 Varastokasojen inventointi

Juurikäävän itiöemien esiintymistä varastokasoissa selvitettiin kolmella eri kannonnostokohteella Solbölössä ja Lapinjärvellä. Kannot oli nostettu kohteilta, joilla kuusentyvilahoa esiintyi runsaasti (yli 20 % runkoluvusta). Tutkimusta tehtäessä kantoja oli säilytetty tienvarsivarastossa 3 vuotta 3 kuukautta Solbölön kohteella ja 3 ja 4 vuotta Lapinjärven kohteilla. Kaikilla kohteilla kannot oli pilkottu kahteen tai neljään osaan noston yhteydessä. Varastokasojen pituus vaihteli 20:stä 48 m:iin, leveys 3,5:stä 4,5 m:iin ja korkeus 6,5:stä 9 m:iin. Lahoissa kannonosissa esiintyvien itiöemien kappalemäärä sekä koko (itiöemien kokonaispinta-ala sekä aktiivisen pillistön pinta-ala) mitattiin. Lisäksi näytteistä määritettiin juurikäpäälaji. Itiöemien kehityksen seuraamiseksi toisella Lapinjärven kohteella osa itiöemistä valokuvattiin vuosi ennen inventointia ja uudelleen inventoinnin yhteydessä.

Aineistojen tilastollinen käsittely (korrelaatiotestit ja varianssianalyysi) tehtiin SPSS for Windows tilasto-ohjelmalla.

### 12.3 Tulokset

#### 12.3.1 Tartutuskokeet

Ensimmäisen vuoden jälkeen juurikäpärihmasto oli elossa keskimäärin 28,6 %:ssa (vaihtelu 15,6–39,6 %) maassa olleista juurenpätkistä. Noin kolmen vuoden kuluttua elävää juurikäpärihmastoa eristettiin yhä keskimäärin 23,1 %:sta (13,3–30,8 %) ja noin 6–7 vuoden kuluttua keskimäärin 18,6 %:sta (3,8–38,1 %) juuria. Juuripalan koolla tai lahoasteella ei ollut tilastollisesti merkittävää vaikutusta juurikäävän elossa säilymiseen. Juurikäpä oli säilynyt kuusi vuotta myös kaikkein pienimmässä, läpimitaltaan 15 mm:ssä juurenpalassa. Kuuden vuoden aikana 8 %:iin juurista oli kehittynyt myös pieniä juurikäävän itiöemiä. Ensimmäinen itiöemä löytyi vuoden maassa olleesta juuresta (Kuva 12.1).



**Kuva 12.1.** Kuusenjuurikäävän itiöemiä juurenosissa, jotka ovat olleet maassa vuoden (vasemmalla) ja kuusi vuotta (oikealla). Kuvat Metla/Ari Rajala ja Metla/Tuula Piri.

**Taulukko 12.1.** Juurikäpärihmaston säilyminen maahan peitetyissä juurenaloissa ja rihmaston tartuttamat kuusen taimet yli neljä vuotta vanhoilla tartutuskokeilla.

Koeala	Kokeen kesto	Juurenpalat/ taimet kpl	Juurenpalat, joissa elävä juurikäpärihmasto kpl (%)	Juurikäävän tartuttamat taimet kpl (%)
Solböle				
Knopkägra	4 v 7 kk	36	6 (16,7)	1 (2,8)
Vilppula 1	5 v 7 kk	22	6 (27,3)	0
Vilppula 2	5 v 7 kk	23	8 (34,8)	0
Lapinjärvi				
Latok. 1	6 v 2 kk	26	1 (3,8)	0
Lapinjärvi				
Korsmalm 4	6 v 3 kk	20	4 (20,0)	1 (5,0)
Lapinjärvi				
Korsmalm 5	6 v 3 kk	21	8 (38,1)	1 (4,8)
Lapinjärvi				
Latok. 2	6 v 11 kk	24	3 (12,5)	5 (20,8)

Rihmaston elossa säilyminen vaihteli paljon eri koealojen välillä. Vähiten elävää juurikäpärihmastoa löytyi hienojakoisten savimaiden kokeilta. Parhaiten juurikäpä oli säilynyt karkeiden moreenimaiden ja lajittuneiden hietamaiden kokeilla. Ero juurikäävän säilymisessä oli tilastollisesti merkitsevä hienojakoisten savimaiden ja lajittuneiden hietamaiden välillä ( $p < 0.05$ ). Juurikäävän elossa säilyminen ei korreloinut taimien tartuntaprosentin kanssa.

Ensimmäinen kuusen taimi sai juurikäpä tartunnan noin neljä ja puoli vuotta kokeen perustamisen jälkeen. Kaikkiaan juurikäpärihmastoa eristettiin kahdeksasta taimesta (Taulukko 12.1). Näistä taimista kaksi oli kuolleita, viisi huonokuntoisia (vaaleanvihreät tai kellertävät neulaset) ja yksi ulkoisesti hyväkuntoinen. Yli neljä vuotta kestäneillä kokeilla juurikäävän tartuttamien taimien osuus taimien kokonaismäärästä oli 8,8 %. Korkein tartuntaprosentti oli kaikkein pitkäikäisimmällä, 6 vuotta ja 11 kuukautta kestäneellä kokeella, jossa 20,8 % taimista oli juurikäävän tartuttamia. Kaikista tartunnan saaneista taimista eristettiin sama juurikäävän genotyyppi, joka oli taimen viereen haudatussa juuressa. Verrattuna muihin tuhonaiheuttajiin juurikäpä oli toiseksi yleisin kuusen taimien tuhonaiheuttaja. Kaikista kuusen taimista tukkimiehentäin syömiä taimia oli 49 (18,4 %), juurikäävän tartuttamia kahdeksan (3,0 %), kuivuuden tai märkyyden seurauksena oli kuollut kaksi (0,8 %) ja rousteen seurauksena yksi taimi (0,4 %). Myyrän syömiä taimia oli myös yksi.

### 12.3.2 Itiöemien esiintyminen varastokasoissa

Juurikäävän itiöemiä esiintyi kaikissa inventoiduissa varastokasoissa. Itiöemällisten kannonosien suhteellista osuutta kaikista juurikäävän lahottamista kannonosista ei tässä tutkimuksessa selvitetty, koska lahonäytteitä ei pystytty ottamaan kaikista kasan kannoista. Runsaimmin itiöemiä esiintyi kannoissa, jotka olivat kosketuksessa maahan. Silmänvaraisesti arvioituna itiöemiä esiintyi lähes kaikissa maata vasten olleissa kannoissa, joissa laho oli pehmeää tai osittain pehmeää. Itiöemiä oli kehittynyt myös toiseksi alimpaan kantokerrokseen, muuta yhdenkään kasan yläosasta ei löytynyt itiöemiä. Itiöemien lukumäärä yhtä kannonosaa kohden oli suurin vanhimmissa, neljä vuotta varastoiduissa kasoissa Lapinjärvellä (keskiarvo 5,5 itiöemää). Itiöemien kokonaispinta-ala yhtä kannonosaa kohden oli kuitenkin suurin 3 vuotta ja 3 kuukautta varastoiduissa kasoissa Solbölessä (keskiarvo 20,2 cm<sup>2</sup>). Myös itiöemien aktiivisen, itiöitä tuottavan pillistön pinta-ala yhtä kannonosaa kohden oli suurin Solbölen kasoissa (keskiarvo 19,1 cm<sup>2</sup>) (Taulukko 12.2). Kaikki 255 mitattua itiöemää olivat kuusenjuurikäävän itiöemiä.

**Taulukko 12.2.** Kuusenjuurikäävän itiöemien lukumäärä ja pinta-ala juurikäävän lahottamissa, 3–4 vuotta tienvarsi-varastossa olleissa kannonosissa.

Alue	Varastointi-aika	Tutkitut itiöemälliset kannonosat kpl	Itiöemiä per kannonosa kpl	Itiöemän keskikoko cm <sup>2</sup>	Akt. pillistö per kannonosa cm <sup>2</sup>
Lapinjärvi Latokartano	3 v	17	3,0 (1–8)	5,8 (0,05–42)	4,3 (0–17)
Solböle Akkalahti	3 v 3 kk	32	3,3 (1–23)	20,2 (0,4–172)	19,1 (0,3–172)
Lapinjärvi Korsmalm	4 v	18	5,5 (1–11)	12,4 (0,08–123)	10,3 (0–43)



**Kuva 12.2.** Samassa kannonosassa kasvavat kuusenjuurikäävän itiöemät kuvattuna Lapinjärvellä kolmen ja neljän vuoden varastoinnin jälkeen. Kuvat Metla/Tuula Piri.

Lapinjärvellä (Korsmalm) osa itiöemistä valokuvattiin vuosi ennen inventointia sekä inventoinnin yhteydessä. Vuoden aikana oli sekä kehittynyt uusia itiöemiä että vanhojen itiöemien pillistön pinta-ala oli kasvanut (Kuva 12.2).

## 12.4 Tulosten tarkastelu

Juurikääpärihmasto hävisi ensimmäisen vuoden aikana keskimäärin 70 %:sta maahan haudatuista juurista, mutta tämän jälkeen rihmaston kuoleminen selvästi hidastui. Tässä kokeessa juurikäävän lahottamat juurenpätkät olivat maassa pisimmillään lähes seitsemän vuotta, minkä jälkeen aktiivista juurikääpärihmastoa eristettiin vielä keskimäärin 18,6 %:sta juuria. Maksimiaika, jonka juurikääpärihmasto säilyy elävänä maahan jääneissä, irrallisissa juurenpätkissä, on todennäköisesti lähellä kymmentä vuotta. Englannissa männynjuurikääpä on eristetty irrallisista männyn juurista, jotka olivat olleet maassa yli 14 vuotta (Pratt & Greig 2011). Todennäköisesti kuusen juuret eivät ole yhtä pitkäaikaisia juurikäävän tartuntalähteitä kuin männyn juuret, koska kuusen juuret lahoavat männyn juuria nopeammin (Shorohova ym. 2012).

Juuripalojen koola ja lahoasteella ei tässä tutkimuksessa ollut vaikutusta juurikäävän elinikään. Sen sijaan rihmaston säilyminen näyttäisi olevan riippuvainen maaperän ominaisuuksista. Aiemmissä tutkimuksissa juurikäävän on todettu säilyvän paremmin karkeilla kuin hienojakoisilla mailla (mm. Alexander ym. 1974). Myös tässä tutkimuksessa juurikääpä säilyi paremmin elossa karkeilla ja keskikarkeilla moreeni- ja hietamailla kuin lajittuneilla savimailla. Toisaalta korkein tartuntaprosentti (20,8 %) oli taimilla, jotka kasvoivat hienojakoisella savimaalla. Kyseinen koe oli tämän koesarjan pitkäikäisin, mikä lienee todennäköisin syy korkeaan tartuntamäärään. Tartunnan saaneiden taimien osuus yli neljä vuotta kestäneillä kokeilla (8,8 %) on todennäköisesti todellisesta tartuntamäärästä pienempi, sillä tässä tutkimuksessa ei tutkittu taimien koko juuristoa vaan ainoastaan pääjuuret. Myös taudin leviäminen taimiin ei selvästikään ollut vielä päättynyt, ja jos tutkimusta olisi jatkettu pidempään, olisi tartunnan saaneiden taimien määrä todennäköisesti kasvanut. Koska juurikääpärihmasto ei pysty kasvamaan paljaassa maassa vaan vaatii aina kasvualustaksi puuta (Molin 1957), taimen infektoituminen edellyttää, että osa sen juuristoa kasvaa kiinni tartuntalähteenä toimivaan juurensaan. Tässä tutkimuksessa, jossa tartuntalähde sijoitettiin lähes kiinni taimen juuriston, kului ensimmäisen taimen infektoitumiseen 4,5 vuotta. On todennäköistä, että käytännön kannonnostokohteella taimet saavat tartunnan selvästi tätä myöhemmin.

Tämän tutkimuksen tulokset viittaavat siihen, että suurin tartuntariski on karkeajakoisilla mailla kasvavilla kuusen taimilla. Riski on sitä suurempi mitä enemmän edellisessä puusukupolvessa on ollut lahoa ja mitä suurempi tartuntalähteiden tiheys on uudistusalalla. Saadaksemme karkean arvion kantojen korjuukohteelle jäävän juurimateriaalin määrästä, laskettiin maahan jääneiden juurten lukumäärä 20:llä neliömerin suuruisella koealalla Janakkalassa (T. Piri, julkaisematon aineisto). Läpimitaltaan yli senttimetrin paksuja juuria oli hehtaarilla noin 170 000 kappaletta. Näistä noin 10 % oli lahoja, pääosin juurikäävän lahottamia. Vaikka juurikääpä leviäsi seuraavaan puusukupolveen vain joka sadannesta lahosta juuresta, voi pahoilla tyvilahokohteilla syntyä hehtaaria kohden useita uusia tautipesäkkeitä. Kuinka paljon lahoa seuraavassa puusukupolvessa tulee esiintymään, riippuu kuitenkin paljon siitä, miten hyvin juurikääpä pystyy etenemään nuorena kuusikossa. On myös mahdollista, että kannonnostokohteella lahot juurensat leviävät kantojen noston ja metsäkuljetuksen seurauksena lahopesäkkeiden ulkopuolelle. Tämä voi aiheuttaa uudessa puusukupolvessa tartuntojen leviämistä entistä laajemmalla alueella erityisesti sellaisilla kohteilla, joilla edellisessä puusukupolvessa on ollut suhteellisen vähän lahoa ja se on rajoittunut pienelle osalle kuviota.

Juurikääpäeristysten pariutustestit osoittivat, että juurikääpärihmasto oli levinnyt kasvullisesti lahosta juurensasta taimen juuristoon ja tartuttanut sen. Rihmastotartunnan ohella taimet voivat saada tartunnan myös maassa olevista itiöistä. Juurikäävän itiöt säilyvät maassa itämiskelpoisina useita kuukausia (Schönhar 1980) ja etenkin heikkokuntoiset kuusen taimet ovat alttiita tartunnalle (Gramms 1992, Schönhar 1995). Tässä tutkimuksessa ilmeni, että maahan jääneisiin juurenpatkiin voi kehittyä juurikäävän itiöemiä. Vaikka nämä itiöemät olivatkin kooltaan pieniä, voivat nekin itiötuotannollaan jonkin verran lisätä taimien tartuntariskiä.

Merkittävämpiä itiöemien ja itiöiden tuottajia ovat vanhat lahot kannot. Korjaamalla juurikäävän lahottamat päätehakuukannot saadaan vähennettyä itiötuotantoa uudistusalalla ja lähimetsissä useiksi vuosikymmeniksi. Tämä kantojen korjuun positiivinen vaikutus juurikääpätuhojen vähentämiseksi voidaan kuitenkin osittain menettää, jos lahot kannot siirretään itiöimään uudistusalalta tienvarsivarastoon. Vaikka osa juurikäävän itiöistä voi kulkeutua ilmavirtausten mukana jopa satojen kilometrien päähän (Kallio 1970), niin valtaosa itiöistä laskeutuu noin 100 metrin säteelle itiöemästä (Stenlid 1994). Jos varastoalueelle keskitetään runsaasti juurikäävän lahottamia kantoja, voi itiölaskeuma lähimetsissä nousta hälyttävän suureksi. Tällöin kesähakkuiden itiötartuntariski kasvaa, sillä kantokäsittelykään ei suojaa kantoja sataprosenttisesti tartunnalta. Tutkittuihin varastokasoihin

oli kolmen vuoden aikana ehtinyt kehittyä runsaasti kookkaitakin itiöemiä, minkä vuoksi lahoja kantoja ei tulisi säilyttää tienvarsivarastossa kahta vuotta kauempaa. Lisäksi on tärkeää huolehtia siitä, että kaikki, myös varastokasan alimmat kannot, korjataan pois varastopaikalta. Itiöemiä kehittyä nimenomaan maahan kosketuksessa oleviin lahoihin kantoihin ja ne tuottavat itiöitä aina siihen asti kunnes ovat lähes kokonaan hajonneet.

## Kiitokset

Tutkimus tehtiin vuosina 2007–2011 Metsäntutkimuslaitoksen hankkeessa 3478 ”Kannonnoston vaikutus metsätuhoihin ja lahoppuulla elävään lajistoon”. Osa kokeista oli perustettu vuosina 2004–2006 Metsäntutkimuslaitoksen hankkeessa 3336 ”Lahottajasierien metsätaloudelle aiheuttamien riskien tunnistaminen ja hallinta”. Parhaimmat kiitokset Ari Rajalalle ja Tapio Nevalaiselle maastotöiden toteuttamisesta sekä Sonja Sarsilalle avusta laboratoriotöissä. Kaija Puputille, Markku Rantalalle, Aimo Jokelalle ja Pentti Kanaselle kiitokset avusta kokeiden perustamisesta.

## Kirjallisuus

- Alexander, S.A., Skelly, J.M. & Morris, C.L. 1974. Edaphic factors associated with the incidence and severity of disease caused by *Fomes annosus* in Loblolly pine plantations in Virginia. *Phytopathology* 65: 585–591.
- Bornebusch, C.H. & Holm, F. 1934. Kultur paa trateainficeret bund med forskellige træarter. Summary: Replanting of areas infected with *Polyporus annosus*. *Det Forstlige Forsøgsvæsen I Danmark* 13: 225–264.
- Gramss, G. 1992. Invasion of wood by basidiomycetous fungi. VI. Quantitative but not qualitative differences in the pathovirulence of pathogenic and saprophytic fungi. *Journal of Basic Microbiology* 32: 75–90.
- Kallio, T. 1970. Aerial distribution of the root-rot fungus *Fomes annosus* (Fr.) Cooke in Finland. *Acta Forestalia Fennica* 107. 55 s.
- Korhonen, K. 1978. Intersterility groups of *Heterobasidion annosum*. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 94: 1–25.
- Laurila, J. & Lauhanen, R. 2010. Moisture content of Norway spruce stump wood at clear cutting areas and roadside storage sites. *Silva Fennica* 44: 427–434.
- Molin, N. 1957. Om *Fomes annosus* spridningsbiologi. *Meddelanden från statens skogsforskningsinstitut* 47(3), 36 s.
- Piri, T. 1996. The spreading of the S type of *Heterobasidion* from Norway spruce stumps to the subsequent tree stand. *European Journal of Forest Pathology* 26: 193–204.
- Piri, T. 2003. Early development of root rot in young Norway spruce planted on sites infected by *Heterobasidion* in southern Finland. *Canadian Journal of Forest Research* 33: 604–611.
- Pratt, J.E. & Greig, B.J.W. 2011. Survival of *Heterobasidion annosum* in buried pine roots. Abstracts of the XIII Conference “Root and Butt Rot Forest Trees” IUFRO Working Party 7.02.01, September 4<sup>th</sup> – 10<sup>th</sup> Firenze and S. Martino di Castrozza, Italy.
- Rishbeth, J. 1957. Some further observation on *Fomes annosus* Fr. *Forestry* 30: 69–89.
- Schönhar, S. 1980. Untersuchungen über die Überlebensdauer von *Fomes annosus*-Sporen im Boden. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 151: 197–199.
- Schönhar, S. 1995. Untersuchungen über die Infektion der Fichte (*Picea abies* Karst.) durch *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 166: 14–16.

- Shorohova, E., Ignatyeva, O., Kapitsa, E., Kauhanen, E., Kuznetsov, A. & Vanha-Majamaa, I. 2012. Stump decomposition rates after clear-felling with and without prescribed burning in southern and northern boreal forest in Finland. *Forest Ecology and Management* 263: 74–84.
- Stenlid, J. 1985. Population structure of *Heterobasidion annosum* as determined by somatic incompatibility, sexual incompatibility, and isoenzyme patterns. *Canadian Journal of Botany* 63: 2268–2273.
- Stenlid, J. 1987. Controlling and predicting the spread of *Heterobasidion annosum* from infected stumps and trees of *Picea abies*. *Scandinavian Journal of Forest Research* 2: 187–198.
- Stenlid, J. 1994. Regional differentiation in *Heterobasidion annosum*. Julkaisussa: Johansson, M. & Stenlid, J. (toim.), Proceedings of the 8<sup>th</sup> Int. Conf. on Root and Butt Rots, Sweden and Finland, Aug. 9-16, 1993. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden, s. 243–248.
- Yde-Andersen, A. 1970. *Fomes annosus* in conifer stands of first and second rotation. Julkaisussa: Hodges, C.S., Rishbeth, J. & Yde-andersen, A.(toim.), Proceedings of the 3<sup>rd</sup> IUFRO Conf. on *Fomes annosus*. Denmark, July-August 1968, s. 137–148.

Metlan työraportteja 289: 121–128

## 13 Kannonnoston vaikutus tukkikärsäkkäiden esiintymiseen ja ravintokäyttäytymiseen

Heli Viiri, Esa Laine ja Saila Mahilainen

### Tiivistelmä

Tukkikärsäkkäiden esiintymistä, ravinnonkäyttöä ja lisääntymispotentiaalia tutkittiin kannonnostoaloilla ja vertailualueina käytetyillä tuoreilla hakkuualoilla, joilta ei ollut nostettu kantoja. Koealoja oli yhteensä kymmenen ja ne sijaitsivat Pohjois-Karjalassa ja Keski-Suomessa. Kaikki uudistusalat oli hakattu talven 2007–2008 aikana ja uudistettu kuusentaimilla keväällä 2008. Koealoilta otettiin havupuiden juurinäytteitä kymmeneltä 0,49 m<sup>2</sup> alalta. Jäljelle jääneiden havupuiden juurten pinta-ala oli yhteensä keskimäärin 3 701 m<sup>2</sup>/ha, ja siitä oli tukkikärsäkkäiden vioittamaa pinta-alaa 20 %. Juurinilurit olivat syöneet juurinäytteiden pinta-alasta keskimäärin 18 %. Tilastollisesti merkittävää eroa kannonnosto- ja kontrollialojen välillä jäljelle jääneiden juurten määrässä ei löytynyt. Lisäksi tutkittiin tukkikärsäkkäiden lisääntymistä jäljelle jääneiden kantojen juuristossa. Kaksi vuotta kannonnoston jälkeen tutkituista männyn kantonäytteistä löydettiin keskimäärin 133 havaintoa tukkikärsäkkäistä. Kuusen vastaavista näytteistä löydettiin 59 havaintoa tukkikärsäkkäistä. Tutkimuksessa löydettyjen tukkikärsäkkäiden esiintyminen, juurten syöntivioitusprosentti ja juuristoista löydetty havainnot tukkikärsäkkäistä viittaavat yhdessä siihen, ettei kannonnostolla ole tukkikärsäkkäiden lukumäärään uudistusosalalla niin suurta vaikutusta, että taimituhot estyisivät kokonaan.

Asiasanat: *Hylobius abietis*, *Hylastes*, juuri, juuriniluri, tukkimiehentäi, tukkikärsäkkäs, kantojen korjuu, kantojen varastointi, kuusen taimi

### Abstract

The occurrence of pine weevils, their nutrition and breeding potential was studied in stump extracted sites and conventional regeneration sites. There were ten experimental sites which located in North Karelia and Central Finland. All sites were logged during the winter 2007–2008 and planted with Norway spruce at next spring. Root samples were taken from ten 0,49 m<sup>2</sup> plots at each site. There was on average 3 701 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> conifer root bark left of which 20 % was gnawed by pine weevils. *Hylastes* species had gnawed 18 % of the surface of roots. There were no statistically significant difference between stump extracted and not extracted sites in the amount of roots left. In addition, it was studied breeding of pine weevils in stumps. Two years after stump extraction, there were 133 observations of pine weevils in pine stumps and 59 observations in Norway spruce stumps. The occurrence of pine weevils, gnawing scars in roots and observations of different development phases of pine weevil all together suggest, that stump extraction cannot prevent the breeding of pine weevil in the regeneration site.

Keywords: *Hylobius abietis*, *Hylastes*, root, black spruce beetle, black pine beetle, large pine weevil, stump removal, stump storage, Norway spruce seedling

### 13.1 Johdanto

Runsaana esiintyessään tukkimiehentäi aiheuttaa viljelymetsätaloudessa taloudellisesti merkittäviä tuhoja männyn ja kuusen istutustaimilla. Aikuiset kuoriaiset syövät 1–3-vuotiaiden taimien nilaa ja jättä aiheuttaen taimien kuolemista. Tuoreet kannot, hakkuutähteet ja taimissa olevat syöntivioitukset erittävät haihtuvia yhdisteitä, mm. etanolia ja  $\alpha$ -pineeniä, jotka houkuttelevat tukkimiehentäitä (Tilles ym. 1986a, 1986b, Nordlander ym. 1986) uudistusosalalle. Tukkimiehentäi suosii mäntyä, mutta myös kuusen kannot kelpaavat lisääntymispaikoiksi. Tukkimiehentäin toukat voivat käyttää ravinnokseen pienimmillään noin 1 cm läpimitaltaan olevia juuria, joten on mahdollista, että kantojen nostolla ei saada poistettua riittävästi uudistusosalalta tukkimiehentäin lisääntymiseen sopivaa puuainesta. Naaraat munivat pitkin kesää tuoreisiin havupuun kantoihin tai maahan juurten läheisyyteen (Nordlander ym. 1997, Bylund ym. 2004). Muutaman viikon kuluttua munat kuoriutuvat ja toukat alkavat liikkua maaperässä syöden juurten kuorta ja nilaa. Koska toukat kehittyvät tuoreiden kantojen juuristossa, voitaisiin tuhoja vähentää viivästyttämällä istuttamista, kunnes suurin osa paikalla syntyneistä tukkimiehentäistä on aikuistunut ja poistunut paikalta. Jotta istutuksen viiväyttämistä olisi yksinään merkittävää hyötyä tuhojen torjunnassa, normaalitilanteessa ilman kantojen nostoa, istutusta pitäisi viiväyttää neljä vuotta (von Sydow 1997), mikä ei ole taloudellisesti järkevää.

Tukkimiehentäit kykenevät lentämään parveilun aikana yli 10 kilometriä, osa jopa 100 kilometriä (Bylund ym. 2004). Saavuttuaan optimaaliselle kohteelle kärsäkkäiden lenninlihaket alkavat surkastua ja ne pysyttelevät loppukesän taimikossa, johon ovat laskeutuneet (Nordenhem 1989, Örlander ym. 1997). Uuden sukupolven kehittyminen lentokykyiseksi kestää tyypillisesti noin 2–3 vuotta, mutta Lapissa jopa 4–5 vuotta (Bejer-Petersen ym. 1962, Lekander ym. 1985, Långström 1982).

Aikuisten tukkikärsäkkäiden ravintonaan käyttämät havupuun taimet pihkottuvat syönnin aiheuttamista kuorivaurioista. Pihkoittuminen houkuttelee paikalle lisää kärsäkkäitä (Nordlander 1991). Jos syöntivioitus ulottuu taimen rungon ympäri, niin taimi kuolee. Tukkikärsäkkäiden toukat käyttävät ravinnonlähteenään havupuiden juurten kuorta ja nilaa, joita ne syövät maaperässä (Nordlander ym. 2003a, 2003b). Tuoreet hakkuuaukot ovat ihanteellisia elinympäristöjä tukkikärsäkkäille. Etelä-Suomessa tukkimiehentäi on yleinen hakkuuaukolla kolme vuotta hakkuun jälkeen, kun pohjoisempana esiintymishuiput ovat ensimmäisenä sekä neljäntenä tai viidentenä kasvukautena kehitysajan pituudesta riippuen. Ensimmäisen huipun aiheuttavat hakkuualalle muualta lentävät yksilöt (Örlander ym. 1997, Pitkänen ym. 2005), jälkimmäisen huipun näiden paikalla kehittyneet jälkeläiset. Tämän vuoksi metsänuudistamisessa on tapana muokata maa ja käsitellä taimet ennen istutusta tukkimiehentäitä vastaan kasvinsuojeluaineilla. Tukkikärsäkkäät välttävät kivennäismaata, ilmeisesti siitä syystä, että se ei tarjoa suojapaikkoja, ja vastaavasti suosivat liikkumisalustana humuspitoista maata (Björklund ym. 2003). Maanmuokkauksella pyritään luomaan taimille hyvät kasvuolot paljastamalla kivennäismaata taimen ympärille (Örlander ym. 1990). Maanmuokkauksen on havaittu vähentäneen tukkimiehentäin aiheuttamia taimituhoja useissa eri tutkimuksissa (Petersson ym. 2005, Örlander & Nilsson 1999).

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli tutkia 1) kuoppapyydyksillä tukkikärsäkkäiden, *H. abietis* (L.) ja *H. pinastri* (L.), esiintymistä kannonnostoaloilla ja vertailualoilla käytetyillä tavallisilla uudistamiskohteilla, 2) tutkia kannonnoston vaikutusta tukkikärsäkkäiden käytettävissä olevan havupuiden juuribiomassan määrään ja 3) määrittää tukkikärsäkkäiden lisääntymispotentiaali havupuiden kannoissa kannonnostokohteilla ja kontrollialoilla, joilta kantoja ei ollut nostettu.

## 13.2 Aineisto ja menetelmät

### 13.2.1 Koealat

Tutkimuksen koealat sijaitsevat Tohmajärvellä Pohjois-Karjalassa sekä Jämsässä, Orivedellä ja Korpilahdella Keski-Suomessa (Taulukko 13.1). Jokaiselle alalle on tehty maanmuokkaus ja istutettu kuusentaimia. Kontrollialoilta ei ole nostettu kantoja. Kaikki koealat ovat kasvupaikkatyypiltään tuoreita kankaita (MT), paitsi Horkankylä, joka on lehtomainen kangas (OMT). Koealat valittiin siten, että kannonnostoala ja kontrolliala muodostivat parin samalla alueella vain muutamien kilometrien päässä toisistaan.

**Taulukko 13.1.** Koealojen sijainti, pinta-ala ja käsittelytiedot.

Koeala	Pinta-ala, ha	Hakkuu	Kannonnosto	Maanmuokkaus
Tohmajärvi, Liippi	5,1	8/2007	5/2008	5/2008
Tohmajärvi, Perävaara	3,1	talvi 2007–2008	ei	5/2008
Tohmajärvi, Murtoi	7,0	7–8/2007	5/2008	5/2008
Tohmajärvi, Murtoi	5,8	7–8/2007	ei	8/2008
Tohmajärvi, Kangasvaara	9,1	10/2007	5/2008	9/2008
Tohmajärvi, Mustikkavaara	4,3	10/2007	ei	9/2008
Saravuori	10,8	12/2007	5–6/2008	9/2008
Ahvenjärvi	2,9	12/2007	ei	8/2008
Korpilahti, Kattilakoski	1,3	talvi 2007–2008	5/2008	5/2008
Korpilahti, Horkankylä	2,0	10/2007	ei	10/2007

### 13.2.2 Juuri- ja kantonäytteet

Tutkimuksen juuriaineisto kerättiin kahdella eri menetelmällä kesän ja syksyn 2010 aikana Pohjois-Karjalasta Tohmajärvellä Murtoin kylässä sijaitsevilta koealaparilta ja Keski-Suomesta Jämsän Oriveden Saravuoren ja Ahvenjärven koealaparilta. Juurinäytteitä kultakin koealalta otettiin siten, että koealojen keskelle tehtiin kaksi linjaa, joilta otettiin 10 havupuiden juurinäytettä. Satunnaisesti valittuun paikkaan kaivettiin linjassa viisi yhden neliömetrin kokoista kuoppaa viiden metrin välein. Koealalinjat tehtiin viiden metrin päähän toisistaan. Näytteenotto aloitettiin poistamalla karikerros ja oksat, sekä lehtipuiden näkyvät juuret juurinäytteen alalta. Juurinäytteen alalta kerättiin mahdollisimman ehjinä ja yhtenäisinä kaikki kuusen ja männyn juuret, joiden paksuus ylitti 5 mm. Kaikki juuret kerättiin, mikäli mahdollista, niitä katkomatta. Kuoppaa kaivettiin niin syvälle, kuin havupuiden juuria löytyi. Kuopan rajojen ulkopuolelle ulottuvat juuret katkaistiin rajan kohdalta oksasaksilla tai sahalla.

Toisena menetelmänä aineiston keruussa toimivat kannoista otetut juurinäytteet. Kaikilta neljältä alalta valittiin satunnaisesti viisi kuusen ja viisi männyn kantoa. Kannon ympäriltä pintamaa ja karikerros kuorittiin pois, jonka jälkeen pääjuurista arvottiin satunnaisesti yksi varsinaista näytteenottoa varten. Keski-Suomen koealoilla juurta seurattiin kaivamalla niin kauan, että sen halkaisija oli < 5mm. Juuri sahattiin kannosta irti, pätkittiin osiin ja otettiin kokonaisuudessaan talteen myöhempää määrittystä varten. Pohjois-Karjalan koealoilla juuresta otettiin vain metrin pätkä talteen, ja näytteet irrotettiin moottorisahalla. Juuren sivuhaaroja seurattiin metrin matkalta. Kaikilla koealoilla kaikki juuresta irronnut kuoriaines ja mahdolliset aikuiset hyönteiset, toukka- ja kotelölöydökset otettiin talteen. Kuusen kannoissa isojen juurten lukumäärä oli keskimäärin 6,4, männyllä juurten lukumäärä oli 8,8 yhtä kantoa kohti.

Havupuiden juuret eroteltiin lehtipuun juurista. Juuri- ja kantonäytteet kuorittiin ja juurista mitattiin halkaisija molemmista päistä, sekä keskihalkaisija ja pituus. Kantonäytteissä juurten ympärysmitta mitattiin kärjestä ja tyvestä. Juuren muodon ollessa poikkeuksellisen epäpyöreä mitattiin halkaisijoiden sijaan ympärysmitta. Kaikki löydetty tukkikärsäkkäiden toukkakäytävät, toukat, kotelot ja aikuiset yksilöt tunnistettiin. Muut juurista ja kannoista löytyneet hyönteiset tai niiden syöntijäljet tunnistettiin. Tukkikärsäkkäiden ja juurinilureiden syöntijälkien prosentuaalinen peittävyys juurten kokonaispinta-alasta arvioitiin.

### 13.2.3 Tukkikärsäkkäiden kuoppapyynti

Tukkikärsäkkäiden esiintymistä kannonnosto- ja kontrollialoilla tutkittiin kuoppapyydyksien (Nordlander 1987) avulla kannonnoston jälkeen kesä-heinäkuussa 2008 ja uudelleen touko-kesäkuussa 2010, kun uudet alueella syntyneet tukkikärsäkkäät olivat kuoriutuneet. Pyydyspurkkien halkaisija oli 12 cm ja korkeus 12 cm (kuva 13.1). Pyydyksen yläosassa oli 8 kappaletta reikiä (halkaisija 1,5 cm), jotka mahdollistivat hyönteisten sisäänmenon pyydyksiin. Pyydyksen sisäpinnat voideltiin fluonilla, mikä esti hyönteisten poispääsyn purkista. Pyydyksiin laitettiin houkuttimeksi noin 5 cm:n pitkä ja 3 cm:n paksu palanen männyntaimen runkoa. Männynpalan kuori oli ohutta ja sileää ja puuaines tuoretta. Pyydykset suljettiin kannella. Ne kaivettiin maahan siten, että purkkien yläosassa olevat reiät tulivat maanpinnan tasolle.

Kesällä 2008 jokaiselle koealalle ja sen kontrollialalle muodostettiin kaksi linjaa, joissa oli 16 pyydystä. Kesällä 2010 jokaiselle koealalle ja kontrollialalle muodostettiin kaksi linjaa eli käytössä oli 20 pyydystä. Pyydyslinjat asetettiin kahdeksi viiden metrin päässä toisistaan eteneväksi linjaksi hakkuualan keskelle. Pyydykset asetettiin viiden metrin välein linjalle. Kannonnostoalan ja koealojen, joilta ei ollut nostettu kantoja, pyyntikoejärjestelyt olivat samanlaisia.

Pyydyksien annettiin olla maassa kahden viikon (14 vrk) ajan tukkimiehintäin parveilun jälkeen, jonka jälkeen pyydykset käytiin tyhjentämässä ja samalla asetettiin uudet männynpalat seuraavaa kahden viikon pyyntijaksoa varten.

Aineistojen tilastollinen käsittely tehtiin SPSS for Windows tilasto-ohjelmalla.

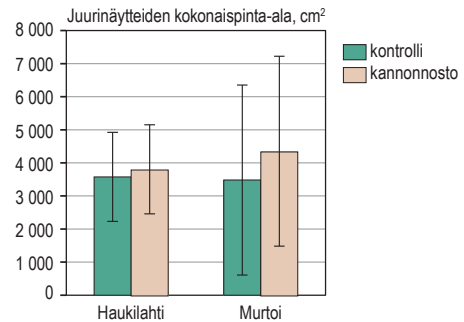


**Kuva 13.1.** Tukkikärsäkkäiden kuoppapyyntiin käytetty muovinen kuoppapyydyks (vasemmalla) ja tukkikärsäkkäitä pyydyksessä (oikealla). (Kuvat Metla/Heli Viiri ja Metla/Merja Lindroos).

## 13.3 Tulokset

### 13.3.1 Juurinäytteet

Keski-Suomen koealaparin juurten kokonaispinta-ala oli 1 809 cm<sup>2</sup> (keskihajonta = 824). Pohjois-Karjalan Tohmajärven koealaparin vastaava juurten kokonaispinta-ala oli 1 818 cm<sup>2</sup> (keskihajonta = 1 308). Pareittaisella T-testillä testattiin saman alueen kannonnostoalan ja tavallisen uudistusalan juurinäytteiden kokonaispinta-alaa. Keski-Suomen Ahvenjärven (kontrolli) – Saravuoren (kannonnosto) koealaparissa ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä ( $df = 9$ ,  $t = -0,303$ ,  $p = 0,769$ ). Myöskään Pohjois-Karjalan Murtoin kontrolli – kannonnosto koealaparissa ero juurten kokonaispinta-alamäärässä ei ollut tilastollisesti merkitsevä ( $df = 9$ ,  $t = -0,352$ ,  $p = 0,733$ ). Kaikkien koealojen keskimääräiseksi juuripinta-alaksi neliömetrin alueelle saatiin 3 701 cm<sup>2</sup> (kuva 13.2).



**Kuva 13.2.** Juurinäytteiden kokonaispinta-ala, m<sup>2</sup> hehtaarilla, koealoilla Keski-Suomessa (Haukilahti) ja Pohjois-Karjalassa (Murto). Jokaisen koealan keskeltä otettiin yhteensä kymmenen juurinäytettä (0,49 m<sup>2</sup>) kahdessa linjassa.

Kantonäytteiden perusteella määritettyyn tukkikärsäkkäiden lisääntymispotentiaaliin laskettiin mukaan toukat, aikuiset ja toukat kotelokehdoissa Murtoin koealoilta. Murtoin männyn kantonäytteissä kuoripinta-ala oli keskimäärin 876 cm<sup>2</sup> (keskihajonta 621) ja tältä alalta löydettiin 133 tyhjää tukkikärsäkkään kotelokehtoa. Kuorineliometriä kohden kärsäkkäitä löytyi tällöin 152 kpl. Keskimäärin tukkikärsäkäshavaintoja oli 8,9 kpl yhtä männyn kantoa kohden. Männyn kantonäytteistä ei löydetty lainkaan toukkia tai aikuisia tukkikärsäkkäitä.

Kuusen kantonäytteistä Murtoilta löytyi tukkikärsäkkäiden lisääntymispotentiaaliin laskettavia toukkia 7 kpl, toukkia kotelokehdoissa 5 kpl, tyhjiä kotelokehtoja 46 kpl ja yksi aikuinen, eli yhteensä 59 havaintoa tukkikärsäkkäistä. Kuusen kantonäytteissä kuoripinta-ala oli keskimäärin 1 714 cm<sup>2</sup> (keskihajonta = 742). Kuorineliometriä kohden tukkikärsäkkäitä löytyi tällöin 34,4 kpl. Kuusen kantonäytteistä löytyi keskimäärin 4,9 kpl tukkikärsäkäshavaintoja yhtä kuusen kantoa kohti.

Sekä tukkikärsäkkäät että juurinilurit olivat syöneet tasaisesti kaikenkokoisia juuria, eikä eikoistumista juurten läpimitan suhteen havaittu. Tukkikärsäkkäiden syöntivioitusta oli 19,5 % kaikista juurinäytteistä ja juurinilureiden syöntivioitusta 17,9 % juurinäytteistä. Murtoin kannonnostoalalta otetuista näytteistä löytyi 44 havaintoa tukkikärsäkkäistä. Murtoin kontrollialalta löytyi 16 havaintoa tukkikärsäkkäistä.

### 13.3.2 Kuoppapyynti

Kesällä 2008 kuoppapyyntissä saatiin pyydettyä yhteensä 1 834 tukkikärsäkkästä, joista 75 % oli tukkimiehintäitä ja 25 % pikkutukkikärsäkkäitä. Kaksi vuotta uudistamisen jälkeen kesällä 2010 kuoppapyyntin tuloksena saatiin pyydystettyä koealoilta vielä 765 tukkikärsäkkästä (92 % tukkimiehintäitä ja 8 % pikkutukkikärsäkkäitä). Kesällä 2010 kannonnostokohteilta pyydystettiin yhteensä 556 (73 %) tukkikärsäkkästä ja kontrollialoilta 209 tukkikärsäkkästä (27 %). Kannonnoston ja kontrollialojen välinen ero ei ollut kuitenkaan tilastollisesti merkittävä ( $F_{1/5,03}=5.03$   $P=0.069$ ).

### 13.4 Tulosten tarkastelu

Tämän tutkimuksen tuloksena löydettiin 34 tukkikärsäkstä kuusen kantojen juurten kuorineliometriä kohti, vastaavan luvun ollessa 152 tukkikärsäkstä männyn kantojen kuorineliometriä kohden. Tukkiärsäkyksilöitä löytyi kuuselta ja männyltä yhteensä keskimäärin 93 kpl. Koska kannonostokäsittelyllä ei ollut vaikutusta jäljelle jääneiden juurten määrään, niin kaikkien koealojen keskimääräiseksi juuripinta-alaksi saatiin 3 701 m<sup>2</sup> hehtaarilla. Etelä-Ruotsissa tehdyssä kokeessa havupuiden kantojen keskimääräiseksi kuoripinta-alaksi hehtaarilla on saatu 3 741 m<sup>2</sup> (Wallertz ym. 2006). Jos todellinen kuoripinta-ala hakkuuaukolla on esimerkiksi 3 000 m<sup>2</sup> hehtaarilla, voidaan laskea tämän tutkimuksen tulosten perusteella olevan 212 tukkikärsäkstä neliometrillä.

Tukkimiehintäinaaras munii keskimäärin 0,8 munaa päivässä lisääntymiskauden aikana, jolloin munien määrä lisääntymiskaudella (noin 14 viikkoa) on 70 kpl naarasta kohti kuusella ja 62 kpl männyllä (Bylund ym. 2004, Wainhouse ym. 2001). Hakkuualalla on keskimäärin 700 havupuun kantoa hehtaarilla (Bylund ym. 2004). Koska yksi aikuinen tukkimiehintäi pystyy syömään päivässä noin 23 mm<sup>2</sup> taimien kuorta (Bylund ym. 2004), niin 2 000 taimen istutustiheydellä hehtaarilla ravintoa riittää 10 000–14 000 tukkimiehintäille sukukypsyyden saavuttamiseksi uudisalalla (Wainhouse ym. 2004). Jos hakkuualalla on noin 14 000 tukkimiehintäin populaatio, 70 munaa naarasta kohti tarkoittaa noin 490 000 munaa hehtaarilla. Tällöin munien ja toukkien tiheys juurinelemiometrillä olisi 163 yksilöä. On kuitenkin raportoitu huomattavasti suuremmista tukkimiehintämääristä viljelymetsiköissä, joka viittaa siihen, että suurin osa tukkimiehintäistä lähtee alueelta ennen täyttä sukukypsyyttä (Nordenhem 1989). Tällöin ne todennäköisesti lähtevät etsimään ravintoa.

Pareittaisen vertailun seurauksena kannonostokoealojen ja kontrollialojen juurinäytteiden tulokset eivät eronneet toisistaan tilastollisesti merkittävästi. Pieniä juuria oli edelleen runsaasti maassa jäljellä kannonnostosta huolimatta ja tukkikärsäkkäät voivat käyttää näitä juuria ravintonaan (Heritage & Moore 2001) kaksi vuotta kannonnoston jälkeen. Juurista löytyneistä tyhjiä kotelokehdoista ei voinut varmasti määrittää, olivatko ne olleet tukkimiehintäin vai pikkutukkikärsäkkään. Lukuisten tyhjien kotelokehdojen määrä kuvasti todennäköisesti sitä, että koealueilta olivat jo kuoriutuneet hakkuun ja kannonnoston jälkeen kesällä 2008 munitut tukkikärsäkyksilöt.

Tämän tutkimuksen tulosten tarkastelussa tulee ottaa huomioon, että sekä kanto- että juurinäytteitä otettiin vain hyvin rajallinen määrä. Näytteiden määrä ei välttämättä anna kattavaa kuvaa kannonosto- ja kontrollialojen juuristojen eroista tai yhtäläisyyksistä. Koealojen lähtöpuusto vaikuttaa luonnollisesti hakkuun jälkeiseen aukolta löytyvään juuriaineksen määrään ja laatuun. Tässä kokeessa ei valittu koealoja edellisen puusukupolven tilavuuden tai havu-lehtipuusekoituksen mukaan. Suuri hajonta juurikuoripinta-alassa on huomioitava tulosten luotettavuuden arvioinnissa.

Tukkimiehintäipopulaation koko hehtaarilla ovat tämän tutkimuksen valossa hyvin lähellä aiempien tutkimusten vastaavia tuloksia. Virossa 10 vuotta kestäneessä kuoppapyydyksikokeessa saatiin pyydettyä yhteensä 37 655 tukkimiehintäitä ja vain 285 pikkutukkikärsäkstä (Sibul 2000, Voolma ym. 2001). Tulosten perusteella kannonosto lisää tukkimiehintäin esiintymistä tai liikkuvuutta uudistusaloilla sekä ensimmäisenä että kolmantena kesänä hakkuun jälkeen. Kannonostoalueilta saatiin pyydettyä molempina kesinä enemmän tukkimiehintäitä kuin kontrollialoilta, joilta ei ollut nostettu kantoja. Pyydyksissä havaitut tukkikärsäkkäiden suuremmat määrät kannonostoaloilla saattavat selittyä sillä, että kantojen ja hakkuutähteiden vähäisempi määrä sai ne liikkumaan enemmän ja täten hyönteiset joutuivat pyydyksiin useammin. Juurinäytteissä tukkikärsäkkäiden syöntivoitus oli tässä tutkimuksessa 20 % juurten pinta-alasta. Pikkutukkikärsäkkäs elää samoilla aloilla kuin tukkimiehintäi, mutta Murtoilta niitä pyydettiin kesällä 2010 yhteensä vain 3 kpl ja

Keski-Suomen kohteilta 14 kpl. Siten onkin luultavaa, että vain pienen osan tämän tutkimuksen tukkikärsäkäsvioituksista juurille ovat tehneet pikkutukkikärsäkkäät.

Hajonta oli suuri juurinäytteiden kuorten kokonaispinta-alassa ja jatkossa vastaavissa kokeissa olisikin lisättävä näytemääriä ja kasvatettava koealojen määrää. Tämän tutkimuksen perusteella näyttää siltä, ettei kantojen nostolla ole merkittävää vaikutusta tukkikärsäkkäiden määrän vähentymiselle, koska kannonnoston jälkeen uudistuslalle jääneistä sekä männyn että kuusen kantonäytteistä löydettiin runsaasti havaintoja tukkikärsäkkäiden eri lisääntymisvaiheista. Pikkutukkikärsäkkään yleisyyttä ei tässä tutkimuksessa pystytty arvioimaan luotettavasti. Juurinilurien osuus juurten syöntivioituksesta nousi yllättävän suureksi, koska juurinilureiden aiheuttamat tunnistetut taimituhot ovat olleet lähinnä satunnaisia. Juurinilureiden aiheuttamat taimituhot sekoitetaan kuitenkin usein tukkimiehintäin aiheuttamiin syöntivioituksiin. Usein taimet kuolevat molempien lajien yhteisvioletukseen.

Tämän tutkimuksen perusteella ei voida sanoa, lisääkö kannonnosto tukkikärsäkkäiden määrää uudisalalla vai liikkuvatko ne vain aktiivisemmin kannonnoston seurauksena. Sen sijaan tämä tutkimus viittaa siihen, ettei kannonnostolla saavuteta tuhohyönteisten määrän merkittävää vähenemistä. Tutkimuksessa löydetty tukkikärsäkkäiden aiheuttama juurten syöntivioitus, kannoista löydetty tukkikärsäkkäiden eri kehitysasteiden lukumäärät ja kuoppapyyntillä saadut tukkikärsäksäsaaliit viittaavat yhdessä siihen, ettei kannonnostolla ole tukkikärsäkkäiden lukumäärään uudistuslalla vähentävää vaikutusta.

Paras keino suojata taimia tukkimiehintäituhuja vastaan edelleenkin on istuttaa kookkaita taimia ja paljastaa maanmuokkauksella puhdasta kivennäismaata taimen ympärille vähintään 10–15 cm läpimitaltaan oleva alue. Erikokoisia juuria ja erityisesti pieniä juuria on edelleen runsaasti jäljellä maaperässä kannonnoston jälkeen ja tukkikärsäkkäiden toukat voivat käyttää näitä ravintonaan. Lisäksi aikuinen tukkimiehintäi on kaikkiruokainen puuvartisten kasvien suhteen, joten kannonnosto ja hakkuutähteiden keruu eivät estä kokonaan niiden lisääntymistä uudistuslalla. Kannonnostosta riippumatta kivennäismaapintainen mätäs taimen ympärillä vähentää tukkimiehintäin syöntivioituksia taimessa ja takaa parhaat mahdollisuudet taimelle selvitä elossa istutuksen jälkeen.

## Kiitokset

Parhaimmat kiitokset Helena Bylundille (Sveriges lantbruksuniversitet, Ruotsi), Hannu Koivuselle ja Heimo Tynkkyselle avusta maastotoissa sekä Seija Revolle avusta juurten laboratoriomittauksissa.

## Kirjallisuus

- Bejer-Petersen, B., Juutinen, P., Kangas, E., Bakke, A., Butovitsch, V., Eidmann, H., Hedqvist, K.J., Lekander, B. 1962. Studies on *Hylobius abietis* L. I. Development and life cycle in the Nordic countries. *Acta Entomol. Fennica* 18: 1–107.
- Björklund, N., Nordlander, G., Bylund, H. 2003. Host-plant acceptance on mineral soil and humus by the pine weevil *Hylobius abietis* (L.). *Journal of Agricultural and Forest Entomology* 5: 61–65.
- Bylund, H., Nordlander, G., Nordenhem, H. 2004. Feeding and oviposition rates in the pine weevil *Hylobius abietis* (Coleoptera: Curculionidae). *Bulletin of Entomological Research* 94: 307–317.
- Heritage, S., Moore, R. 2001. The Assessment of Site Characteristics as Part of a Management Strategy to Reduce Damage by *Hylobius*. Information Note, Forestry Commission. 5 p.

- Lekander, B., Eidmann, H. H., Bejer, B., Kangas, E. 1985: Time of oviposition and its influence on the development of *Hylobius abietis* (L.) (Col., Curculionidae). *Journal of Economic Entomology*, 93: 1459–1463.
- Långström, B. 1982. Abundance and seasonal activity of adult hylobius-weevils in reforestation areas during first years following final felling. *Communicationes instituti forestalis fenniae* 106: 4–16.
- Nordenhem, H. 1989. Age, sexual development, and seasonal occurrence of the pine weevil *Hylobius abietis* (L.). *Journal of Applied Entomology* 108: 260–270.
- Nordlander, G. 1987. A method for trapping *Hylobius abietis* (L.) with a standardized bait and its potential for forecasting seedling damage. *Scand. J. For. Res.* 2: 119–213.
- Nordlander, G. 1991. Host finding in the pine weevil *Hylobius abietis*: effects of conifer volatiles and added limonene. *Entomol. Exp. Appl.* 59: 229–237.
- Nordlander, G., Eidmann, H. H., Jacobsson, U., Nordenhem, H., Sjödin, K. 1986. Orientation of the pine weevil *Hylobius abietis* to underground sources of host volatiles. *Entomol. Exp. Appl.* 41: 91–100.
- Nordlander, G., Nordenhem, H., Bylund, H. 1997. Oviposition patterns of the pine weevil *Hylobius abietis*. *Entomol. Exp. Appl.* 85: 1–9.
- Nordlander, G., Bylund, H., Örlander, G., Wallertz, K. (2003a). Pine weevil population density and damage to coniferous seedlings in a regeneration area with and without shelterwood. *Scandinavian Journal of Forest Research* 18: 438–448.
- Nordlander, G., Örlander, G., Langvall, O. (2003b). Feeding by the pine weevil *Hylobius abietis* in relation to sun exposure and distance to forest edges. *Agricultural and Forest Entomology* 5: 191–198.
- Petersson, M., Örlander, G., Nordlander, G. 2005. Soil features affecting damage to conifer seedlings by the pine weevil *Hylobius abietis*. *Forestry* 78: 83–92.
- Pitkänen, A., Törmänen, K., Kouki, J., Järvinen, E., Viiri, H. 2005. Effects of green tree retention, prescribed burning and soil treatment on pine weevil (*Hylobius abietis* and *Hylobius pinastri*) damage to planted Scots pine seedlings. *Agricultural and Forest Entomology*, 7: 319–331.
- Sibul, I. 2000. Abundance and sex ratio of pine weevils, *Hylobius abietis* and *H. pinastri* (Coleoptera: Curculionidae) in pine clear-cuttings of different ages. In: *Development of Environmentally Friendly Plant Protection in the Baltic Region. Proceedings of the International Conference, Tartu, Estonia, September 28–29, 2000.* p. 186–189.
- Tilles, D. A., Nordlander, G., Nordenhem, H., Eidmann, H. H., Wassgren, A-B., Bergström, G. 1986a. Increased release of host volatiles from feeding scars: a major cause of field aggregation in the pine weevil *Hylobius abietis* (Coleoptera: Curculionidae). *Environ. Entomol.* 15: 1050–1054.
- Tilles, D.A., Sjödin, K., Nordlander, G., Eidmann, H.H. 1986b. Synergism between ethanol and conifer host volatiles as attractants for the pine weevil, *Hylobius abietis* (L.) (Coleoptera: Curculionidae). *Journal of Economical Entomology* 79: 970–973.
- von Sydow, F. 1997. Abundance of pine weevils (*Hylobius abietis*) and damage to conifer seedlings in relation to silvicultural practices. *Scand. J. For. Res.* 12: 157–167.
- Voolma, K., Süda, I., Sibul, I. 2001. Forest insects attracted to ground traps baited with turpentine and ethanol on clear-cuttings. *Norw. J. Entomol.* 48: 103–110.
- Wainhouse, D., Boswell, R., Ashburner, R. 2004. Maturation feeding and reproductive development in adult pine weevil, *Hylobius abietis* (Coleoptera: Curculionidae). *Bulletin of Entomological Research* 94: 81–87.
- Wainhouse, D., Ashburner, R., Boswell, R. 2001. Reproductive development and maternal effects in the pine weevil *Hylobius abietis*. *Biological Entomology* 26: 655–661.
- Wallertz, K., Nordlander, G., Örlander, G. 2006. Feeding on root in the humus layer by adult pine weevil, *Hylobius abietis*. *Agricultural and Forest Entomology* 8: 273–279.
- Örlander, G., Gemmel, P., Hunt, J. 1990. Site preparation: a Swedish overview. B.C. Ministry of Forests, FRDA Report 105, ISSN 0835–0752.
- Örlander, G., Nilsson, U., Nordlander, G. 1997. Pine weevil abundance on clear-cuttings of different ages: A 6-year study using pitfall traps. *Scandinavian Journal of Forest Research* 12: 225–240.
- Örlander, G., Nilsson, U. 1999. Effect of reforestation methods on pine weevil (*Hylobius abietis*) damage and seedling survival. *Scandinavian Journal of Forest Research* 14: 341–354.

Metlan työraportteja 289: 129–134

## 14 Kannonnostoalojen lehtipuun määrä ja sen vaihtelu

Timo Saksa

### Tiivistelmä

Laajamittainen kantojenosto alkoi Etelä-Suomessa 2000-luvun alussa. Tutkimuksessa selvitettiin uudistamistulosta ja erityisesti koivun luontaista taimettumista kannonostoaloilla verrattuna mätästäen muokattuihin aloihin. UPM-Kymmenen mailta mitattu tutkimusaineisto koostui 37:stä, 4–9 vuotta vanhasta kannonostoalasta ja 10:stä vastaavan ikäisestä tavanomaisesti muokatusta uudistusalasta, joilta kantoja ei nostettu. Kannonostoaloilla rikkoutuneen maanpinnan osuus oli tavanomaisesti muokattuja aloja suurempi ja luontainen taimettuminen näytti jatkuvan kannonoston jälkeen tavanomaista maanmuokkausta pidempään. Koivun taimettuminen oli kannonoston jälkeen runsaampaa (keskimäärin 19 700 koivua hehtaarilla) kuin tavanomaisesti muokatulla aloilla (keskimäärin 15 500 koivua hehtaarilla), mutta suuren hajonnan vuoksi keskiarvot eivät eronneet toisistaan. Aineistosta laaditun sekamallin mukaan koivun taimettuminen oli runsainta hienojakoisilla, kosteilla kivennäismailla sekä turvepintaisilla kohteilla. Kannonoston/muokkauksen jälkeisen touko-kesäkuun lämpöisyys ja seuraavan kesän touko-kesäkuun sateisuus edistivät koivun taimettumista.

### Abstract

In southern Finland, large-scale stump harvesting from regeneration areas began in the early 2000s. At that time, stump harvesting and additional soil scarification for planting was performed simultaneously. The aim of this study was to investigate the regeneration result, particularly the outcome of the natural regeneration of birch after stump harvesting, compared to the result achieved on a conventionally soil prepared area without stump lifting. The study material consisted of 37 stump-harvested areas 4–9 years old, and 10 conventionally soil prepared regeneration areas of a corresponding age. In stump-harvested areas, the share of disturbed soil surface seemed remarkably higher and the time for seedling emergence longer than in conventionally soil prepared areas without stump lifting. The number of birch seedlings was somewhat higher after stump lifting (mean 19 700 birch seedlings ha<sup>-1</sup>) than after conventional soil preparation (mean 15 500 birch seedlings ha<sup>-1</sup>), but there was huge variation between regeneration areas. Birch regeneration was most abundant on fine textured, moist mineral soils or peat layered spots. The mean temperature in June and July during the first summer, and rainfall in June and July during the second summer after the stump harvest, correlated positively with the abundance of birch seedlings.

## 14.1 Johdanto

Kannonnostossa maanpintaa rikkoutuu laajemmalla pinta-alalta kuin ilman kantojen nostoa toteutetussa maanmuokkauksessa. Laikkumätästyksessä maanpintaa paljastuu 20–30 %, mutta kannonnostossa rikkoutuneen maanpinnasta osuuden voidaan arvioida olevan kaksinkertainen, 40–90 %. Kardellin (1992) 1970-luvun lopulla perustetuilla kannonnostokokeilla (Pallarin kantoharvesteri) vaurioituneen maapinnan osuus oli keskimäärin 67,5 %. Metsätehon pienehkön selvityksen mukaan maata muokkautui 65–90 % kannonnoston yhteydessä (Strandström 2007). Kardellin (1992) koekentillä (vastaavat keskiarvoltaan eteläisimmän Suomen olosuhteita) kasvipeitteettömän pinnan osuus pieneni kannonnoston jälkeen keskimäärin kymmenellä %-yksiköllä vuodessa ja hänen arvionsa mukaan kasvipeite saavutti maksiminsa yhdeksäntenä kasvukautena. Etelä-Suomen olosuhteissa kasvillisuus valtaa auras jäljen 5–6 vuoden kuluessa (Kellomäki 1972, Palviainen ym. 2007), mikä vastanee myös mätästysjäljessä tapahtuvaa kasvillisuuden invaasiota. Näin ollen kannonnostojäljessä rikkoutuvan maanpinnan osuus on suurempi ja se pysyy huomattavasti pidemmän ajan osittain kasvipeitteettömänä kuin tavanomaisessa muokkauksessa.

Runsas kivennäismaapinnan paljastuminen ja humuskerroksen rikkoontuminen parantaa luontaisen taimettumisen edellytyksiä (esim. Raulo ja Mälkönen 1976, Kotisaari 1982, Saksa 1992). Kardellin (1992) mukaan kannonnostoaloille syntyi 7–8 vuoden kuluessa 1,5 -kertainen määrä luontaisia taimia laikutus- ja äestysaloihin verrattuna. Valtaosa luontaisista taimista oli lehtipuita (keskimäärin 77 %), mutta kannonnosto paransi myös havupuiden taimettumista, joiden osuus nousi kannonnostoaloilla kaksinkertaiseksi (25 %:iin) laikutus- ja äestysaloihin verrattuna (Kardell 1992).

Tunnetusti luontainen taimettuminen vaihtelee suuresti kohteiden välillä ja yksittäiselläkin uudistus- alalla luontaisen taimettumisen tulos on yleensä tilajärjestykseltään hyvin ryhmittäinen. Maaperän kosteuden sekä siemennyskykyisen reunametsän läheisyyden tiedetään vaikuttavan positiivisesti luontaiseen taimettumiseen (esim. Kardell 1992). Lisäksi siemenen itämisajankohdan ja sirkka- taimien alkukehityksen aikaiset sääolosuhteet vaikuttavat oleellisesti luontaiseen taimettumiseen.

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää miten kantojen korjuu vaikuttaa hakkuualan luontai- seen taimettumiseen. Kannonnostoalojen luontaisen taimettumisen arvioimiseksi ja sen vaihte- luiden selvittämiseksi mitattiin taimettumistulos 4–9 vuotta sitten tehdyiltä kannonnostoaloilta. Vertailuksi mitattiin samalta maantieteelliseltä alueelta tavanomaisilta, mätästäen muokatuilta aloilta luontaisen uudistamisen tulos.

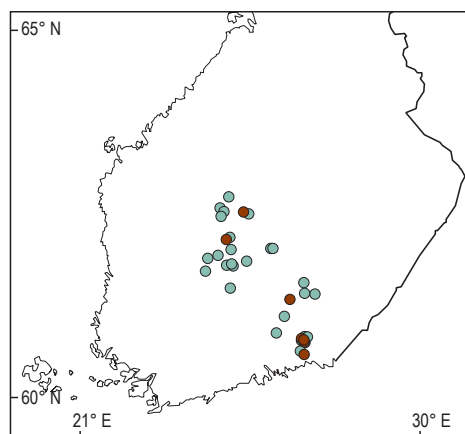
## 14.2 Aineisto ja menetelmät

### 14.2.1 Aineiston yleiskuvaus

Tutkimuksen aineistoksi pyrittiin saamaan edustava otos 2000-luvun alun kannonnostoaloja. UPM-Kymmenen Metsän uudistamisinventoinnin rekisteristä pyrittiin etsimään uudistusalat, joilta kannot oli nostettu vuosien 2001–2005 aikana. Kannonnostoa ei kuitenkaan oltu rekisteröity syste- maattisesti uudistamisinventointiaineistoon (tai muuhunkaan rekisteriin) ja näin suunnatun otoksen tekeminen kaikista UPM-Kymmene Metsän kannonnostokohteista ei onnistunut. Sen sijaan mitat- tavat kannonnostokohteet määritettiin metsänhoitoesimiesten toimesta vuosien 2001–2005 kuusen istutusaloista UPM-Kymmenen Metsän kuuden eteläisen piirin alueelta. Mitatut kohteet sijaitsivat Etelä-Karjalan (Suomenniemi), Kymenlaakson (Anjalankoski, Jaala, Iitti, Kotka), Etelä-Savon (Mäntyharju, Hirvensalmi), Pirkanmaan (Juupajoki, Kuhmalahti, Orivesi) ja Keski-Suomen (Joutsa,

Jämsä, Keuruu, Kuhmoinen, Multia) maakunnissa (kuva 14.1). Kaikkiaan syksyllä 2008 ja 2009 mitattiin 37 kannonnostoalaa sekä 10 verrokkialaa kohteista, joista kantoja ei ollut nostettu.

Kannonnostot oli tehty vuosina 2001–2005. Pääosa niistä oli tehty joko kesällä tai syksyllä. Vain neljässä kohteessa nosto oli tehty ennen kesäkuun alkua. Verrokkialoilla maanmuokkaus oli tehty vuosina 2000–2004 ja pääosa näistä oli syksyllä muokattuja. Kannonnostoaloista pääosa oli istutettu joko kesällä (21 kohdetta) tai syksyllä (10 kohdetta). Verrokkialoista valtaosa oli istutettu keväällä tai aivan alku kesästä (8 kohdetta). Kannonnostokohteista yhdeksän oli istutettu koneella.



**Kuva 14.1.** Kohteiden sijainti Etelä-Suomessa (kannonnostoala = vihreä ympyrä, verrokkiala = ruskea ympyrä).

Kannonnosto- ja verrokkialojen välillä ei ollut eroa hakkuun ja istutuksen välillä kuluneessa ajassa (keskimäärin 17 kuukautta), mutta kannonnostoaloilta löytyi pisin (35 kk) hakkuun ja viljelyn välinen aika. Hakkuun jälkeen kantojen nosto oli tehty keskimäärin 10 kuukauden kuluttua.

Kannonnostosta / maanmuokkauksesta (verrokkialat) kuluneiden kasvukausien määrä vaihteli neljästä yhdeksään (taulukko 14.1). Valtaosalla mittauskohteista oli kulunut 5–7 kasvukautta kannonnostosta / muokkauksesta uudistamistuloksen mittaukseen (34 alaa).

**Taulukko 14.1.** Aineiston jakautuminen kannonnostosta/muokkauksesta kuluneiden kasvukausien mukaan.

Kasvukausia	Kannonnostoalat	Verrokkialat
4	4	0
5	10	2
6	8	2
7	10	2
8	3	2
9	2	2
Yhteensä	37	10

### 14.2.2 Inventointimenetelmä ja aineiston analysointi

Tutkimuskohteilta taimikon tila mitattiin metsänuudistamisen laadun seurannassa käytetyllä inventointimenetelmällä (Saksa & Kankaanhuhta 2007). Inventoinnissa käytettiin linjoittaista tasavälistä ympyräkoelaotantaa, jossa koelan koko oli 20 m<sup>2</sup> (säde 2,52 m). Mitattujen koelajien lukumäärä vaihteli uudistusaloittain 13:sta 21:een. Kultakin koelajalta määritettiin koelan edustaman alan kasvupaikkaluokka (lehto, lehtomainen, tuore, kuivahko, kuiva / vastaava turvemaiden luokitus), maalaji (karkea, keskikarkea, hieno, turve), muokkaustapa (laikutus, mätästys, kannonnosto) sekä arvioitiin oliko kivisyys tai märkyys alentaneet uudistamistulosta.

Koeloilta laskettiin kasvatettavien, taimikonhoidossa jäävien istutustaimien sekä kasvatettavien luontaisten taimien lukumäärä puulajeittain sekä taimien kokonaismäärä puulajeittain (mänty, kuusi, koivu, muut) eritellen.

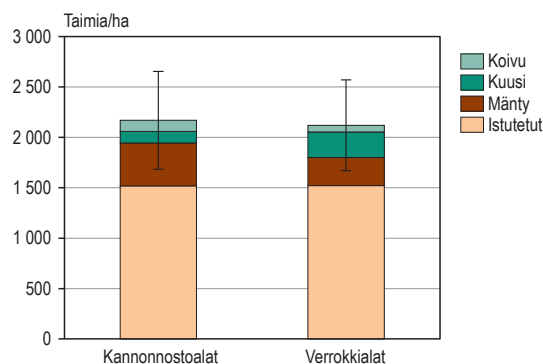
Havupuutaimikon kehitystä haittaavan lehtipuuston määrän tarkemmaksi arvioimiseksi mitattiin kaksi metrin säteistä ympyräkoealaa, jotka sijoitettiin inventointilinjalle 2 metrin päähän varsinaisen inventointikoealan keskipisteestä. Näiltä vesakkokoealoilta määritettiin maalaji (kuten koko koealalta), mitattiin humuksen paksuus (cm) sekä määritetään pohjakerroksen laji sekä laskettiin erikseen koivujen, leppien ja muiden lehtipuuden versojen ja perkauskantojen lukumäärät.

Aineiston analysointivaiheessa liitettiin kannonnostoa / maanmuokkausta seuranneiden kolmen kasvukauden touko-, kesä-, heinä- ja elokuun sademäärät ja keskilämpötilat (Ilmatieteen-laitos; Venäläinen ym. 2005) kunkin uudistusalan sijainnin perusteella. Aineiston perusanalysoinnissa käytettiin SPAW –ohjelmistoa ja koivun tiheyttä selitettiin MLWin-ohjelmistolla laaditulla sekamallilla, jossa voitiin ottaa huomioon aineiston hierarkkinen rakenne (vesakkokoeala – taimikoeala – taimikko).

## 14.3 Tulokset

### 14.3.1 Uudistamistulos

Kasvatuskelpoisten istutustaimien keskitiheys oli 1 520 kappaletta hehtaarilla sekä kannonnostoaloilla että verrokkialoilla (vaihteluväli 820–1 590, kuva 14.2). Kasvatettavan puuston kokonaistiheyteenkään kantojen nosto ei aiheuttanut eroa. Lehtomaisen kankaan kohteilla taimikoiden keskimääräinen tiheys oli 1 675 tainta hehtaarilla (vaihteluväli 1 285–1 920) ja tuoreen kankaan kohteilla 2 260 tainta hehtaarilla (vaihteluväli 1 370–3 470). Ainoa ero kasvatettavan puuston tiheydessä oli luontaisen kuusen taimien vähäisempi määrä ( $112 \pm 134$ ) tuoreen kankaan kannonnostoaloilla verrattuna verrokkialoihin ( $241 \pm 143$ ;  $F=6,289$ ,  $p=0,017$ ). Istutuksesta kuluneen ajan suhteen taimikoiden tiheyden vaihtelu oli vähäistä.



**Kuva 14.2.** Kasvatuskelpoisten istutustaimien sekä luontaisen männyn, kuusen ja koivun taimien määrä kannonnosto- ja verrokkialoilla keskimäärin. Janalla on kuvattu kasvatuskelpoisten taimien kokonaismäärän vaihtelua (keskihajonta) taimikoiden välillä.

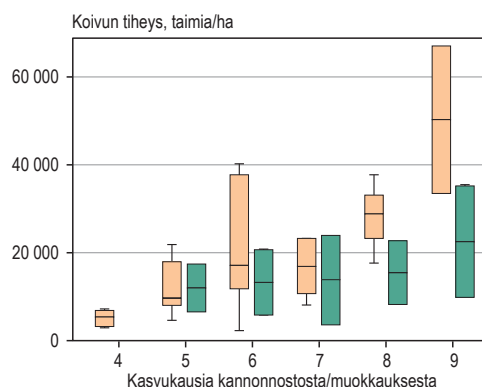
Tuoreen kankaan kannonnostoaloilla istutustaimien osuus taimikonhoidon jälkeisestä runkoluvusta oli 69 % kun se verrokkialoilla oli 72 %. Vastaavasti kokonaan istutustaimettomien koealojen osuus oli 3,7 % kun se verrokkialoilla jäi 2,5 %:iin. Koivun osuus taimikonharvennuksen jälkeisestä puustosta oli kannonnostoalan taimikossa keskimäärin 5,5 % (vaihteluväli 0–24 %), kun se verrokkialoilla oli 2,6 % (vaihteluväli 0–10 %). Puhtaiden havupuutaimikoiden osuus oli kannonnostoaloilla 30 % kun se verrokkialoilla oli 50 %.

Kuusen taimikoiden keskipituuden kehityksessä ei havaittu eroa kannonnoston ja tavanomaisen mätästyskeskityksen välillä. Mitattujen taimikoiden keskipituudet noudattelivat melko hyvin aiemmin laikkumätästysaloille laskettu pituuskehitysmallia (Saksa ym. 2005).

### 14.3.2 Lehtipuiden taimettuminen

Lehtipuiden tiheys oli suurempi kannon-  
 nostoaloilla (keskimäärin 27 000 /ha, vai-  
 telyväli 4 400–88 500 /ha) kuin verrokki-  
 aloilla (20 500 /ha, 4 000–54 500 /ha), mutta  
 vaihtelu oli niin suurta, ettei ero muodos-  
 tunut tilastollisesti merkitseväksi (kuva 14.3).  
 Kannonnostokohteilla koivun määrä näyttää  
 kasvavan pidempään kuin tavanomaisesti  
 muokatuilla uudistusaloilla.

Koivun tiheyttä selittävän sekamallin mukaan  
 kasvupaikan kosteus (maan hienojakoisuus,  
 turvepitoisuus ja rahkasammalten esiin-  
 tyminen) lisäsi koivun tiheyttä. Samoin  
 ensimmäisen kasvukauden touko-kesäkuun  
 lämpötila ja toisen kasvukauden alun sateisuus  
 johti korkeaan koivun tiheyteen.



**Kuva 14.3.** Koivun taimien määrä kannonnosto-  
 (oranssi) ja verrokkialoilla (vihreä). Puolet kunkin  
 luokan havainnosta on kuvaan piirretty laatikon si-  
 sällä ja mediaaniarvo on merkitty poikkiviivalla.

**Taulukko 14.2.** Koivun taimien määrää selittävä sekamalli. Analyysissä ovat mukana yli 4 vuotta vanhat  
 kohteet (n=43).

Kiinteä selittäjä / parametri	Estimaatti (keskivirhe)	$\chi^2$ -arvo	p-arvo
Vakio, $\beta_0$	-2,100 (1,383)	2,305	0,129
Maalaji (ref. keskikarkea)		11,926	<0,001
Maalaji <sub>hieno</sub> , $\beta_1$	0,216 (0,118)		
Maalaji <sub>turve</sub> , $\beta_2$	0,656 (0,206)		
Pohjakerroksen laatu (ref. karike)		25,544	<0,001
Pohjakerroksen laatu <sub>rahkasammal</sub> , $\beta_3$	0,471 (0,154)		
Pohjakerroksen laatu <sub>muu sammal</sub> , $\beta_4$	0,415 (0,093)		
Pohjakerroksen laatu <sub>muu</sub> , $\beta_5$	0,050 (0,129)		
Ens. kasvuk. lämpötila (touko-kesä), $\beta_6$	0,221 (0,102)	4,743	0,029
Toisen kasvuk. sademäärä (touko-kesä), $\beta_7$	0,008 (0,004)	4,138	0,042
Satunnaisosa			
Uudistusalan varianssi, $\sigma^2_u$	0,344 (0,093)		
Koelavan varianssi, $\sigma^2_v$	0,747 (0,082)		
Havaintomäärät			
Uudistusalan taso, $N_k$	43		
Koelatan taso, $N_{jk}$	683		
Vesakoelatan taso, $N_{jkk}$	1 361		

### 14.4 Tulosten tarkastelu

Kannonnoston jälkeen syntyi runsaammin mäntyä ja lehtipuuta (koivua) kuin tavanomaiselle laik-  
 kumätästetyille kuusen uudistusalalle. Lehtipuun määrä oli keskimäärin 1,3 -kertainen kannonnosto-  
 aloilla verrattuna tavanomaisesti muokattuun alaan. Uudistusalojen välinen vaihtelu (4 000–88 500  
 koivua /ha) oli kuitenkin niin suurta, ettei tämä ero osoittautunut tilastollisesti merkitseväksi.  
 Kannonnoston luontaista taimettumista edistävä vaikutus jäi tässä aineistossa Kardellin (1992)

saamaa tulosta pienemmäksi. Eroa voivat selittää kannonnostolaitteissa ja -jäljessä tapahtuneet muutokset sitten 1970-luvun sekä aineistojen väliset kasvupaikkaerot (tämän tutkimuksen aineistot Kardellin (1992) aineistoa viljavimmilla mailla).

Kannonnostoaloilla lehtipuun taimettuminen näyttäisi jatkuvan pidempään kuin tavanomaisessa muokkausjäljessä. Tavanomaisen laikkumätästyksen jälkeen lehtipuun määrä saavuttanee maksiminsa 5–6 ensimmäisen vuoden aikana (Lehtosalo ym. 2010), mutta kannonnostoaloilla suurimmat lehtipuun tiheydet löytyivät tätä vanhemmilta kohteilta. Kannonnostossa avataan pinta-alaltaan enemmän kivennäismaata kuin laikkumätästyksessä, mikä selittää osaltaan pitkää koivun taimettumisaikaa.

Kuusen istutustulokseen ei kannonnostolla ollut vaikutusta tässä aineistossa. Taimikonhoidon jälkeisen kasvatettavan puuston arvioitiin olevan hieman koivuvaltaisempi kannonnostoaloilla kuin tavanomaisesti laikkumätästetyllä kohteella. Lehtipuun osuuden kasvatettavassa puustossa arvioitiin nousevan 2,5 %:sta 5,5 %:iin kannonnostosta johtuen. Kasvatettavan puuston lehtipuuosuuteen vaikuttaa suuresti taimikonhoidon ajoitus. Jos taimikonhoito myöhästyy, nousee lehtipuun osuus kasvatettavassa puustossa merkittävästi. Kannonnostoaloilla lehtipuun osuuden kasvu taimikonhoidon viivästyessä tulee runsaammasta lehtipuun määrästä johtuen olemaan nopeampaa kuin tavanomaisesti muokatuilla aloilla.

## Kirjallisuus

- Kardell, L. 1992. Vegetationsförändringar, plantetablering samt bärproduktion efter stubb- och riståkt. Institutionen för skoglig landskapsvård. Rapport 50. 79 s.
- Kellomäki, S. 1972. Maanpinnan reliefin ja kasvillisuuden kehityksestä aurauksen jälkeisinä vuosina Perä-Pohjolan metsänuudistusaloilla. Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitos. Tiedonantoja 8. 56 s.
- Kotisaari, A. 1982. Metsän luontaisen uudistamisen tutkiminen. Esitutkimusraportti. Helsingin yliopisto. Metsänhoitotieteen laitos. Tiedonantoja 38. 132 s.
- Lehtosalo, M., Mäkelä, A. & Valkonen, S. 2010. Regeneration and tree growth dynamics of *Picea abies*, *Betula pendula* and *Betula pubescens* in regeneration areas treated with spot mounding in southern Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 25(3): 213-223.
- Palviainen, M., Finér, L., Laurén, A., Mannerkoski, H., Piirainen, S. & Starr, M. 2007. Development of ground vegetation biomass and nutrient pools in a clear-cut disc-plowed boreal forest. *Plant Soil* 297:43-52.
- Raulo, J. & Mälkönen, E. 1976. Koivun luontainen uudistaminen muokatulla kangasmaalla. *Folia forestalia* 252. 15 s.
- Saksa, T. 1992. Männyn istutustaimikoiden kehitys muokatuilla uudistusaloilla. Abstract: Development of Scots pine plantations in prepared reforestation areas. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja - The Finnish Forest Research Institute, Research Papers 418. 48 s.
- Saksa, T., Heiskanen, J., Miina, J., Tuomola, J. & Kolström, T. 2005. Multilevel modelling of height growth in young Norway spruce plantations in southern Finland. *Silva Fennica* 39(1): 143-153.
- Saksa, T. & Kankaanhuhta, V. 2007. Metsänuudistamisen laatu ja keskeisimmät kehittämiskohteet Etelä-Suomessa. Metsäntutkimuslaitos, Suonenjoen yksikkö. Gummerus kirjapaino Oy, Jyväskylä. 90 s.
- Strandström, M. 2007. Kannonnoston vaikutus uudistusalan vesakoitumiseen. Metsänuudistaminen ja bioenergian korjuu. Pohjoismaisen metsätalouden siemen- ja taimineuvoston (NSFP) teemapäivä. Moniste 6 s.
- Venäläinen, A., Tuomenvirta, H., Pirinen, P. & Drebs, A. 2005. A basic Finnish climate data set 1961-2000 – description and illustrations. Finnish Meteorological Institute, Reports 2005:5. 27 s.

Metlan työraportteja 289: 135–141

## 15 Taimikonhoito ja harvennusbiomassan tuottaminen kuusen taimikossa

Pentti Niemistö

### Tiivistelmä

Istutettu kuusentaimikko kannattaa perata ennen kuin kasvatettavien taimien keskipituus ohittaa 2,5 metrin rajan. Näin todettiin kannonnostoaloille 10 vuotta sitten istutetuissa taimikoissa. Täysperkaus voidaan tehdä jo metrin korkuisessa kuusentaimikossa, eikä uudistusalalle sen jälkeen kehittyvä lehtipuusto enää ohita kuusia. Perkausta ei tästä kannata paljon lykätä, ettei lehtipuusto vankistu ja raivaus tule turhan takia kalliimmaksi. Sen sijaan reikäperkaus tai myöhempään energiapuuharvennukseen tähtäävä taimikonhoito tiheyteen 4000–5000 kpl/ha kannattaa tehdä silloin, kun kasvatettavien kuusten pituus on 2 – 2,5 metriä. Tarkkana pitää olla, koska etukasvuinen lehtipuusto alkaa tämän jälkeen haitata kuusten kasvua perkaamattomilla aloilla. Toisaalta osittainen perkaus on liian aikaista metrin korkuisessa taimikossa. Kuusten kanssa samanmittaiset lehtipuut karkaavat vielä istutuskuusten edelle ja tarvitaan toinen perkaus.

### Abstract

In this study the early stand management (early cleaning) was examined in 10-year old spruce plantations established on stump-harvested areas. The need of early cleaning was obvious before stands reached height of 2.5 metres. Early cleaning with removing broadleaved trees totally can be made when the stand height is about one metre because the sprouts from hardwood stumps (after early cleaning) will not catch up the spruce saplings. Delaying the early cleaning causes only more costly cleaning operation. If early cleaning is done as spot cleaning (removing only broadleaved trees near the spruce) or 2000-3000 conifers and broadleaved trees (as future energywood) are left among the spruce trees the early stand management should be done later ( at stand height 2 to 2,5 metres). There is a risk that broadleaved trees taller than planted spruce trees will decrease the height growth of spruce saplings when delaying young stand management. On the other hand if the early stand management for energy wood stand (or as point cleaning) is done when the spruce seedlings are one metre tall, the broadleaved trees with the same height will be overgrown as compared to the spruce saplings during the next few years and a second young stand operation is needed.

## 15.1 Johdanto

Kannonstoalueet ovat uudenlaisia metsänuudistamisaloja, joille syntyvien puustojen kehitystä ja käsittelytarvetta ei vielä tunneta. Niitä pidetään otollisina kohteita yhdistettyyn energia- ja ainespuun kasvatukseen. Useimmiten niille istutetaan kuusen taimia, joiden uskotaan menestyvän hyvin ja lisäksi uudistusalalle oletetaan syntyvän runsaasti ja tasaisesti lehtipuustoa.

Kannonstoalueiden varhaisperkauksen ajankohta ja toteutustapa on tärkeä tutkimusaihe, vaikka energiapuun talteenottoa ei ensiharvennusvaiheeseen suunniteltaisikaan. Perkauksen viivästyminen voi hidastaa kuusten kasvua ja lisätä kustannuksia. Toisaalta uusintakäsittelyn tarve aiheuttaa merkittävän lisäkustannuksen.

Nuoria kuusikoita ei pidetä ensisijaisina energiapuun kasvatuskohteina, koska pelätään taloudellisia tappioita kuusen kasvatuksessa. Kuusen mahdollista kasvun hidastumista ja arvokkaan kuusainespuun tuotoksen alentumista onkin varottava. Toisaalta kasvupaikat ovat useimmiten viljavia, joten myös energiapuun tuotospotentiaali on korkea.

## 15.2 Aineisto ja menetelmät

Tutkimuksessa verrataan kannonstoaloille istutettujen kuusitaimikoiden erilaisia varhaisperkaustapoja. Tutkittavana ovat sekä perinteiseen ainespuuensiharvennukseen tähtäävä täysperkaus ja reikäperkaus että ensiharvennusta aikaisemmin tehtävään energiapuuharvennukseen tähtäävä energiapuukasvatus. Jälkimmäinen voi myös vähentää taimikonhoidon kustannuksia. Kontrollina on kokonaan perkaamaton taimikko.

Tutkimuksessa selvitetään, miten perkaustapa vaikuttaa kuusten kehitykseen ja olisiko mahdollista selvittää pelkällä varhaisperkauksella energiapuu- tai ainespuuharvennukseen saakka. Lisäksi tutkitaan paljonko eri puulajien luontaisia taimia ja vesoja kannonstoalueelle syntyy ennen varhaisperkausta ja perkauksen jälkeen. Tulosten perusteella arvioidaan toisen perkauskerran tarvetta ja ajankohtaa. Nyt mittaustietoa puustojen kehityksestä on käytettävissä 4 kasvukaudelta perkauksen jälkeen ja kaikkiaan 10 vuoden ajalta kuusen istutuksesta.

Tutkimuskoealat perustettiin Metlan ja UPM-Kymmene Metsän yhteistyönä kannonstoaloille yhtiön mailla Juupajoen Hyytiälässä ja Lyylyssä sekä Uuraisilla. Alueet oli istutettu kuuselle vuonna 2001. Kolmelle kannonstoalalle rajattiin mahdollisimman homogeeniselle alueelle neljän koealan yhdistelmä syksyllä 2006. Kuusten keskipituus oli tuolloin 1,0–1,2 metriä. Perkauskäsittelyt arvottiin 30×30 m koeruuduille, joiden keskelle sijoitettiin varsinainen koeala, jolta mittaukset tehtiin. Vertailtavat käsittelyt olivat:

1. Täysperkaus = totaalinen perkaus säästään viljelty ja luontaisesti syntyneet havupuut.
2. Reikäperkaus = perkaus viljeltyjen kuusen taimien ympäriltä noin 1 metrin säteellä. Noin 1 800 reikää/ha.
3. Energiapuukasvatus, jossa jätetään 4 000–5 000 puuta hehtaarille. Viljeltyjen kuusten lisäksi jätetään mahdollisimman paljon kasvatuskelpoisia, luontaisesti syntyneitä havupuita (kuusta tai mäntyä). Tarvittaessa jätetään rauduskoivua. Muut kasvatettavat puut eivät saa ylittää pituudessa viljelykuusten valtapituutta.
4. Ei perkausta = käsittelemätön kontrolli.

Perkauksen jälkeen syksyllä 2006 määritettiin 10 metrin säteisiltä ympyröiltä kaikkien yli 0,5 metrin pituisten puiden puulaji, syntytyapa ja pituus (cm). Tiheäksi jäänyt lehtipuusto mitattiin kuitenkin pienemmältä, 4 metrin säteiseltä ympyrältä. Kasvukoepuiksi valittiin koelaitteita joka n:s puu menetelmällä 10 kuusta ja 10 koivua. Kuusikoepuista mitattiin pituuskasvu neljältä edeltävältä kasvukaudelta 2003–2006 ja koivuista vuosilta 2005–2006. Kasvukauden 2010 jälkeen mitattiin uudelleen samat koelat ja koepuut kuten aikaisemminkin. Mittaukseen lisättiin rinnan-korkeusläpimitta (mm) kaikista yli 1,3-metrisistä taimista. Lisäksi pieniltä ympyröiltä laskettiin kaikkien 20–129 cm pituisten puiden lukumäärä. Näin saatiin arvioitua myös koelaitteille edellisen mittauksen jälkeen ilmestyneiden puiden määrä.

## 15.3 Tulokset

### 15.3.1 Taimikon tiheys perkauksessa

Kuusentaimien määrä oli yleensä 1 600–2 000 kpl/ha ja lisäksi yli 0,5 metrin pituisia mäntyjä oli 300–700 kpl/ha (taulukko 15.1). Perkaamattomassa taimikossa koivuja oli koemetsiköstä riippuen 10 000–30 000 kpl/ha ja muuta lehtipuita vastaavasti 6 000–13 000 kpl/ha, keskimäärin vähän enemmän kuin edellä olevassa Saksan (2011) tutkimuksessa. Energiapuuperkauksessa kuusten lisäksi jäi kasvamaan 300–1 600 mäntyä/ha ja 1 000–2 500 koivua/ha. Reikäperkauksessa kasvamaan jäävien lehtipuiden määrä vaihteli suuresti: Juupajoella 8 000–17 000 kpl/ha mutta Uuraisilla vain reilut 3 000 kpl/ha.

**Taulukko 15.1.** Yli 0,5 m pituisen peruspuuston runkoluku perkauksen jälkeen syksyllä 2006, kpl/ha.

	Kuusi	Mänty	Raudus	Hies	Muu lehtipuu	Yhteensä
<b>Juupajoki: Hyytiälä</b>						
Täysperkaus	1 600	400	0	0	0	2 000
Energiapuukasvatus	2 050	600	950	1 400	200	5 200
Reikäperkaus	2 000	350	4 800	6 150	6 000	19 300
Ei perkausta	1 800	1 400	2 400	9 000	6 300	20 900
<b>Juupajoki: Lyly</b>						
Täysperkaus	1 980	670	0	0	0	2 650
Energiapuukasvatus	1 800	1 200	450	450	200	4 100
Reikäperkaus	1 560	130	2 200	0	5 760	9 650
Ei perkausta	1 800	1 400	9 100	400	13 300	26 000
<b>Uurainen:</b>						
Täysperkaus	2 100	190	200	0	0	2 490
Energiapuukasvatus	1 970	290	2 480	460	200	5 400
Reikäperkaus	2 770	30	200	1 800	1 200	6 000
Ei perkausta	2 320	0	20 100	10 540	12 540	45 500

### 15.3.2 Perkaustavan vaikutus taimikon kehitykseen

Perkauksessa kasvamaan jätettyä puustoa tarkasteltiin puulajeittain syksyllä 2010, neljä kasvukautta perkauksen jälkeen. Kuusten keskipituus vaihteli koko aineistossa välillä 2,4–3,0 metriä. Korkein se oli reikäperkauksessa ja energiapuukasvatuksessa (taulukko 15.2), mutta käsittelyjen väliset erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä.

**Taulukko 15.2.** Perkaustavan vaikutus kasvamaan jääneiden taimien (> 0,5 m) pituuteen, läpimittaan ja solakkuuteen neljä kasvukautta perkauksen jälkeen. Samalla kirjaimella puulajeittain merkityt keskiarvot eivät poikkea merkitsevästi toisistaan 5 % riskillä.

	Keski- pituus	Keski- hajonta	Keski- läpimitta	Keski- hajonta	Solakkuus: pituus/läpimitta*	Keski- hajonta
	m		cm*			
<b>Kuuset</b>						
Täysperkaus	2,66a	0,77	2,6a	1,0	1,19a	0,34
Energiapuukasvatus	2,72a	0,76	2,5a	1,0	1,25ab	0,40
Reikäperkaus	2,68a	0,76	2,4ab	1,1	1,29bc	0,49
Ei perkausta	2,55a	0,89	2,2b	1,0	1,36c	0,43
<b>Männyt</b>						
Täysperkaus	2,37n	0,61	2,7n	1,4	1,01n	0,35
Energiapuukasvatus	2,10o	0,44	1,9o	0,9	1,28no	0,40
Reikäperkaus	2,03op	0,44	1,4o	0,9	1,60op	0,78
Ei perkausta	1,77p	0,86	1,7o	1,4	1,81q	1,18
<b>Koivut</b>						
Energiapuukasvatus	3,42t	0,74	2,0t	0,9	1,92t	0,76
Reikäperkaus	2,87u	0,99	1,4u	1,0	3,07u	1,53
Ei perkausta	2,69u	1,11	1,2u	0,9	3,58u	2,50
<b>Muut lehtipuut</b>						
Reikäperkaus	2,09x	0,53	0,8x	0,7	3,49x	1,63
Ei perkausta	1,95x	0,62	0,8x	0,6	3,44x	1,59

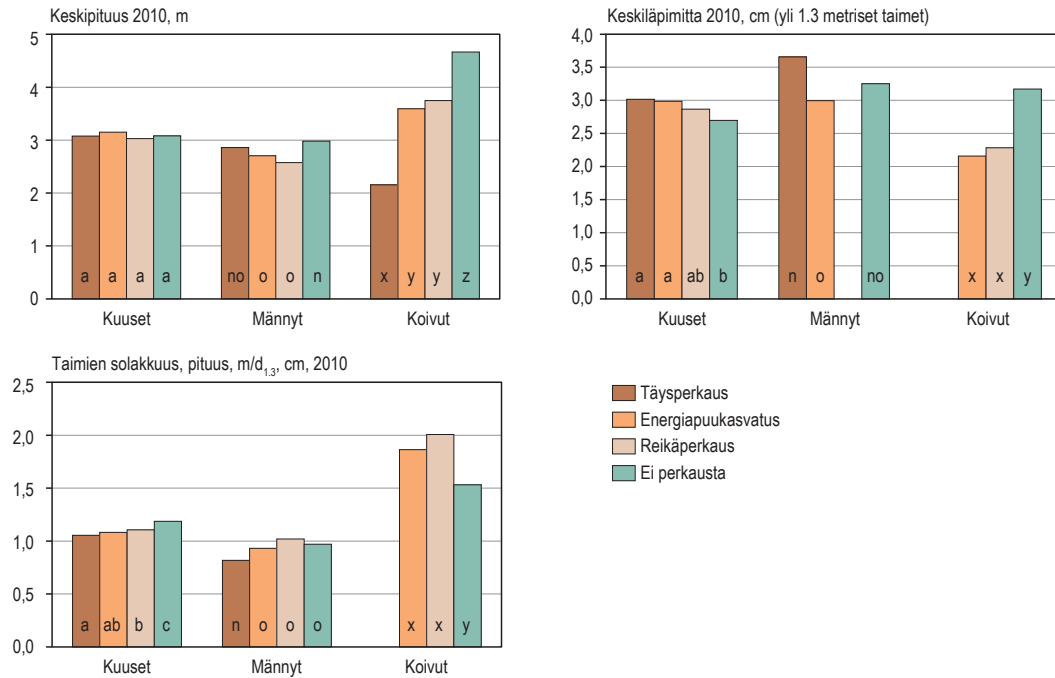
\* yli 1,3 m pituiset taimet

Sen sijaan kuusten keskiläpimitta oli täysperkauksessa ja energiapuuperkauksessa suurempi kuin perkaamattomassa taimikossa. Kuusten solakkuudessa perkaustavan vaikutus näkyi vielä selvemmin. Kuuset olivat siis yhtä pitkiä, mutta sitä vankempia, mitä voimakkaampi oli perkauskäsittely.

Mäntyjä oli koealoille jäänyt vaihteleva määrä (taulukko 15.1). Tästä johtuen perkaustavan vaikutus jää epävarmaksi. Mittausten mukaan männyt olivat pisimpiä ja vankimpia täysperatuilla aloilla ja lyhyimpiä ja hennoimpia perkaamattomilla aloilla.

Energiapuuperkauksessa jätettiin 1 000–3 000 korkeintaan kuusen valtataimien pituista koivua hehtaarille. Nämä koivut olivat selvästi pitempiä ja vankempia kuin reikäperatuilla tai perkaamattomilla koealoilla kasvavat koivut keskimäärin. Neljässä vuodessa ne olivat kasvaneet keskimäärin 70 cm kasvatettavia kuusia pitemmiksi.

Etenkin sekapuulajeilla runkolukujen erot vaikuttavat keskiarvoihin, joten perkaustavan vaikutusta tarkasteltiin myös hehtaaria kohti laskettujen 1 500 suurimman havupuun ja 1 500 suurimman lehtipuun perusteella (kuva 15.1). Energiapuukasvatuksessa ja reikäperkauksessa suurimmat lehtipuut eivät ole vielä kasvaneet kovin paljon havupuita pitemmiksi. Sen sijaan perkaamattomilla koealoilla suurimmat lehtipuut olivat kymmenentenä kasvukautena 1,5-2 metriä havupuita pitempiä mutta eivät juurikaan niitä paksumpia rinnankorkeudelta. Poikkeuksena oli reikäperkaus Uuraisissa, jossa lehtipuuston kehitys on hidasta.

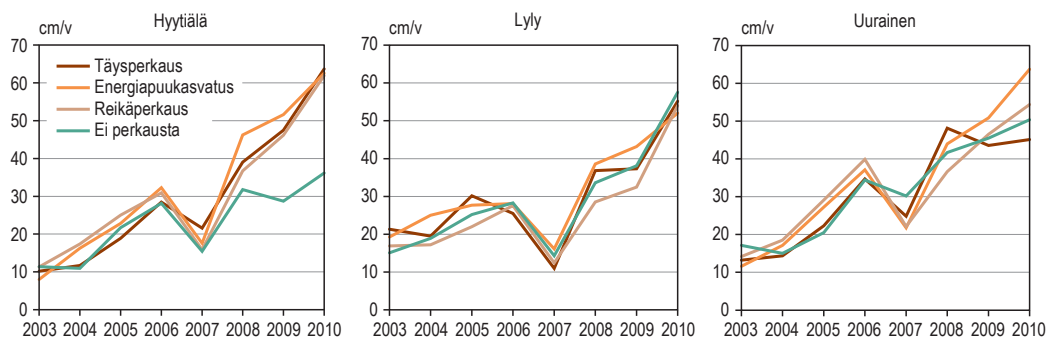


**Kuva 15.1.** Perkaustavan vaikutus suurimpien taimien (1 500 suurinta havupuuta/ha + 1 500 suurinta lehtipuuta/ha) keskipituuteen, keskiläpimittaan ja solakkuuteen 4 kasvukautta perkauksen jälkeen. Samalla kirjaimella puulajeittain merkityt keskiarvot eivät poikkea merkitsevästi toisistaan 5 % riskillä.

### 15.3.3 Kuusten pituuskasvu

Kuusen kasvukoepuiden vuotuinen pituuskasvu mitattiin kasvukausille 2003–2010 (kuva 15.2). Alussa, pian istutuksen jälkeen keskimääräinen pituuskasvu on ollut 10–20 cm vuodessa, perkausvaiheessa 30–40 cm/v ja vuonna 2010 jo 50–60 cm/v (keskihajonta noin 20 cm/v). Pituuskasvun kehitys vastasi hyvin laikkumätästysaloille aikaisemmin tehtyä pituuskasvumallia (Saksa ym. 2005).

Kuusten pituuskasvu on kiihtynyt koko jakson ajan lukuun ottamatta perkauksen jälkeistä kasvukautta 2007, jolloin pituuskasvu aleni selvästi. Syynä voi olla selvästi aikaisempia viileämpi kasvukausi. Perkaus ei ole syynä pituuskasvun alentumiseen, koska kasvu aleni tällöin myös perkaamattomassa taimikossa. Mittausvirheen mahdollisuus selvitettiin, koska vuonna 2010 tehdystä pituuskasvuhavainnoista vuosi 2007 oli vanhin ja siksi ehkä vaikeimmin määritettävä. Kuusten neljän vuoden kasvujen summa vastasi kuitenkin vuosien 2006 ja 2010 pituuksien erotusta siten, ettei kasvumittauksessa ollut systemaattista virhettä.



**Kuva 15.2.** Kuusen kasvukoepuiden vuotuinen pituuskasvu perkaustavoittain kannonnostoaloilla. Perkaus tehtiin syksyllä 2006.

Perkauksen vaikutusta kuusikoepuiden pituuskasvuun tutkittiin kovarianssianalyysillä. Kovarianttina käytettiin puun pituutta heti perkauksen jälkeen. Metsikkö ja kovariantti olivat merkitsevät selittäjät, mutta perkaustapa ei. Kasvukausina 2007–2010 kuusikoepuiden pituuskasvu oli korkein energiapuukasvatuksessa, keskimäärin 42 cm vuodessa. Ero reikäperkauksessa ja perkaamattomassa taimikossa mitattuun pituuskasvuun (37 cm vuodessa) oli merkitsevä 11 % riskillä. Hyytiälän kokeessa kuusten kasvu näyttää taantuneen perkaamattomalla koealalla, mikä näkyy myös kaikkien kuusten pituudessa, joka oli 15–30 cm pienempi kuin muilla koealoilla.

#### 15.3.4 Perkauksen jälkeen syntynyt puusto

Perkauksen jälkeen koealoille on syntynyt ja kasvanut uutta puustoa, enimmäkseen siemen- ja vesasyntyisiä lehtipuita. Lisäys johtuu osittain myös siitä, että syksyllä 2010 otettiin huomioon kaikki yli 20 cm korkuiset taimet, kun raja neljä vuotta aikaisemmin oli 50 cm. Uusia havupuita on peratuilla koealoilla 1 200–2 000 kpl/ha, perkaamattomilla koealoilla vähemmän (taulukko 15.3). Myös uutta lehtipuustoa on ilmestynyt perkaamattomille koealoille vähiten.

Eniten uusia yli 1,3 metrin pituisia koivuja on ilmestynyt energiapuukasvatus- ja täysperkausruuduille, 8 000–10 000 kpl/ha. Poikkeuksena oli täysperkaus Hyytiälässä, jossa uutta puustoa oli hyvin vähän, josta herää epäily, että vesakkoa olisi perattu toiseen kertaan. Pientä, alle 1,3 metrin pituista uutta puustoa oli peratuilla koealoilla 16 000–26 000 kpl/ha.

**Taulukko 15.3.** Peruspuuston (vrt. taulukko 15.1) lisäksi koealoilta syksyllä 2010 mitattu pituudeltaan yli 0,2-metrinen lisäpuusto, kpl/ha.

	Kuusi	Mänty	Raudus >1.3m	Hies >1.3m	Muu lehtipuu >1.3m	Pienpuusto 0,2–1,3 m	Yhteensä
Täysperkaus	170	1 000	5 000	3 000	1 700	16 500	27 000
Energiapuukasvatus	130	1 350	7 000	3 000	4 700	26 000	42 000
Reikäperkaus	730	1 150	2 500	1 100	2 000	23 000	23 000
Perkaamaton	70	600	500	500	0	10 000	11 000

#### 15.4 Tulosten tarkastelu

Perkaustapa ei ollut vaikuttanut istutettujen kuusentaimien pituuskehitykseen neljän ensimmäisen kasvukauden kuluessa perkauksesta, mutta kuuset ovat sitä vankempia, mitä voimakkaampi perkauskäsittely oli ja hennoimpia perkaamattomassa taimikossa. Yhdessä kolmesta koemetsiköstä perkaamattomuus jo alensi kuusten pituuskasvua, mutta pääasiassa perkaustavan vaikutus pituuskehitykseen tulee näkyviin vasta myöhemmin. Kymmenen vuotta istutuksen jälkeen kuusten keskipituus oli 2,65 metriä ja keskiläpimitta oli täysperkauksessa 2,6 cm, reikäperkauksessa 2,4 cm ja perkaamattomassa taimikossa 2,2 cm. Perkaamattomassa taimikossa suuri lehtipuusto, lähinnä koivut, ovat keskimäärin 1,5 metriä kuusen latvojen yläpuolella. Näyttää siltä, että lehtipuuston perkaus kannonnostoaloilla on syytä tehdä viimeistään noin 2 metrin korkuisessa kuusen taimikossa. Kymmenen vuotta istutuksesta on liian myöhäinen vaihe.

Täysperkauksen ja energiapuuperkauksen jälkeen on neljässä vuodessa hehtaarille noussut 5 000–18 000 koivua ja 2 500–9 000 muuta lehtipuuta, joiden pituus on yli 1,3 metriä. Täysperkauksen jälkeen ilmestyneet 1 500 suurinta lehtipuuta ovat lähes metrin kuusia lyhyempiä, joten ne eivät enää uhkaa kuusten kehitystä. Metrin pituisessa kuusentaimikossa tehty täysperkaus näyttäisi riittävän taimikon ainoaksi perkauskerraksi.

Energiapuuperkauksessa jätetyt, korkeintaan suurimpien kuusten kokoiset lehtipuut ovat kasvaneet 0,5–0,8 metriä kuusten latvojen yläpuolelle, joten ne saattavat vielä nousta haittaamaan kuusten kehitystä ennen energiapuun korjuuta (kuusten valtapituus 8–12 metriä). Energiapuukasvatukseen tähtäävä varhaisperkaus kannattaisi ilmeisesti tehdä siinä vaiheessa, kun kuuset ovat 1,5–2 metrin pituisia. Tällöin istutuskuusten pituinen lehtipuusto ei enää karkaisi kuusten edelle energiapuuharvennukseen mennessä. Reikäperkaukseen voidaan antaa sama ohje ja siinä kannattaisi ilmeisesti poistaa myös pisimmät lehtipuut (erityisesti vesasyntyiset), vaikka ne eivät välittömästi varjostaisi viljelykuusia.

## **Kirjallisuus**

Saksa, T., Heiskanen, J., Miina, J., Tuomola, J. & Kolström, T. 2005. Multilevel modelling of height growth in young Norway spruce plantations in southern Finland. *Silva Fennica* 39(1): 143-153.

Metlan työraportteja 289: 142–146

## 16 Hakkuutähteen korjuun vaikutuksista 10-vuotiaissa kuusen taimikoissa

Timo Saksa

### Tiivistelmä

Tutkimuksessa tarkasteltiin hakkuutähteen korjuun vaikutuksia istutuskuusikon varhaiskehitykseen järjestettyjen kenttäkokeiden avulla. Kymmenennen kasvukauden jälkeen lähes kaikilla kokeilla oli yli 80 % istutustaimista elossa. Hakkuutähteen korjuulla ei ollut vaikutusta istutuskuusien menestymiseen tai istutustaimien pituus- tai läpimitankehitykseen. Nyt saatujen tulosten valossa kuusen istutustaimen ensimmäisen kymmenen kasvukauden kehitykseen vaikuttavat muut tekijät, kuten maanmuokkaus ym., ratkaisevammin kuin hakkuutähteistä taimien käyttöön vapautuvat ravinteet. Tutkimuksen kenttäkokeissa maanmuokkausmenetelmänä käytettiin pääsääntöisesti mätästys, jonka tiedetään kohentavan ja tasoittavan istutustaimen kasvuolosuhteiden vaihtelua huomattavasti. Lisäksi tämän tutkimuksen koekentillä hakkuutähteen korjuu tehtiin silloisen käytännön mukaan, jolloin hakkuutähteen korjuulohkoille jäi reilu kolmannes hakkuutähteestä.

### Abstract

The effects of slash removal on the early development of spruce plantations was examined in this study. After 10 growing seasons more than 80 % of planted seedlings were still alive. Slash removal had not any effect on survival, height or diameter development of planted spruce trees. According to the results of this study other factors (like soil preparation) have more determining effects on the early development spruce seedlings than slash removal. In field trials measured in this study the soil preparation method used was mainly mounding which is known to improve and even out circumstances for growth. Additionally, in these field trials slash removal was conducted with such a technique that more than one third of the slash was retained on site.

## 16.1 Johdanto

Hakkuutähteen korjuusta maan ravinnevaroihin ja puuston kehitykseen koituvia haittoja ja hyötyjä on tarkasteltu useissa tutkimuksissa viime vuosikymmeninä (Proe ym. 1996, Egnell & Lejon 1999, Kukkola & Mälkönen 1998, Jakobson ym. 2000, Egnell & Valinger 2003, Wall & Hytönen 2010, Saarsalmi ym. 2011, Smolander ym. 2010, Helmisaari ym. 2011). Kasvatismetsässä harvennushakkuun yhteydessä tehtävän hakkuutähteen korjuun on todettu alentavan puuston tuotosta jatkossa. Harvennushakkuussa hakkuutähteestä vapautuvat ravinteet ovat jäävän puuston käytettävissä mutta avohakkuualalla hakkuutähteistä vapautuvia ravinteita hyödyntävä puusto puuttuu ensimmäisinä vuosina.

Ruotsissa uudistushakkuun jälkeen hakkuutähteen talteenoton on havaittu heikentävän kuusten pituuskehitystä (Egnell & Leijon 1999). Taimien pituuskasvu heikkeni vajaan kymmenen vuoden jälkeen koealoilla, joilta hakkuutähteet oli poistettu, verrattuna koealoihin, joille ne oli jätetty levälleen. Noin 15 vuoden ajan heikompi kasvu vastasi kahden vuoden pituuskasvua. Kun Suomessa vertailtiin 30 vuotta vanhojen kuusen taimikoiden kehitystä hakkuutähteellisillä ja hakkuutähteettömällä koeruuduilla (Wall & Hytönen 2010), ei voitu yksiselitteisesti havaita hakkuutähteen vaikuttaneen puustoon kehitykseen, vaan muiden kasvupaikka- ja olosuhdetekijöiden katsottiin olleen määräävinä tekijöinä havaittujen kehityserojen synnyssä. Hakkuutähteen vaikutuksesta männyn taimikoiden kehitykseen on myös saatu ristiriitaisia tuloksia. Ruotsissa Egnell ja Valinger (2003) totesivat männikön tilavuuskasvussa noin 3 vuoden taantuman hakkuutähteen korjuun johdosta puuston ollessa 20-vuotias. Suomessa sitä vastoin Saarsalmi ym. (2010) eivät havainneet hakkuutähteen korjuulla olleen vaikutusta vastaavan ikäisen männikön kehitykseen.

Ristiriitaisten tulosten vallitessa ongelmaa pyritään ratkaisemaan tuottamalla uutta tutkimustietoa. Tässä tutkimuksessa tarkastellaan hakkuutähteen korjuun vaikutusta 10 vuotta vanhojen, pääosin laikkumätästetyille uudistusaloille istutettujen kuusentaimikoiden kehitystä.

## 16.2 Aineisto ja menetelmät

Tutkimuksen aineisto kerättiin Tekesin Puuenergian teknologiaohjelmaan kuuluneessa tutkimushankkeessa 'Hakkuutähteen korjuun vaikutukset metsänuudistamiseen' perustetuilta viideltä koekentältä (Mikkeli, Pitkäniemi; Suonenjoki, Heinäselkä; Jämsänkoski, Salmijärvi; Pieksämäki, Kurkko ja Pieksämäki, Pöyhölänkangas). Koekentät perustettiin UPM-Kymmene Oyj:n, Mikkelin kaupungin ja Metsäntutkimuslaitoksen maille. Koekentät oli muokattu kesällä 2000 tai keväällä 2001 ja istutettu kesällä 2001. Maanmuokkausmenetelmänä oli pääsääntöisesti laikkumätästys. Kurkon koekentällä laikkumätästykseen verrokkina oli myös äestys. Taimet istutettiin pääosin käsin, mutta Pöyhölänkankaan koekentällä käsin istutuksen lisäksi käytettiin myös koneistutusta. Useimmilla koekentillä kumpaakin koejäsentä (hakkuutähteellinen / hakkuutähteet korjattu) perustettiin yksi lohko (poikkeuksena Mikkeli, Pitkäniemi; kaksi toistoa ja Pieksämäki, Pöyhölänkangas; kaksi toistoa). Tarkempi koejärjestely on esitetty 'Hakkuutähteen korjuun vaikutukset metsänuudistamiseen' hankkeen loppuraportissa (Saksa ym. 2002).

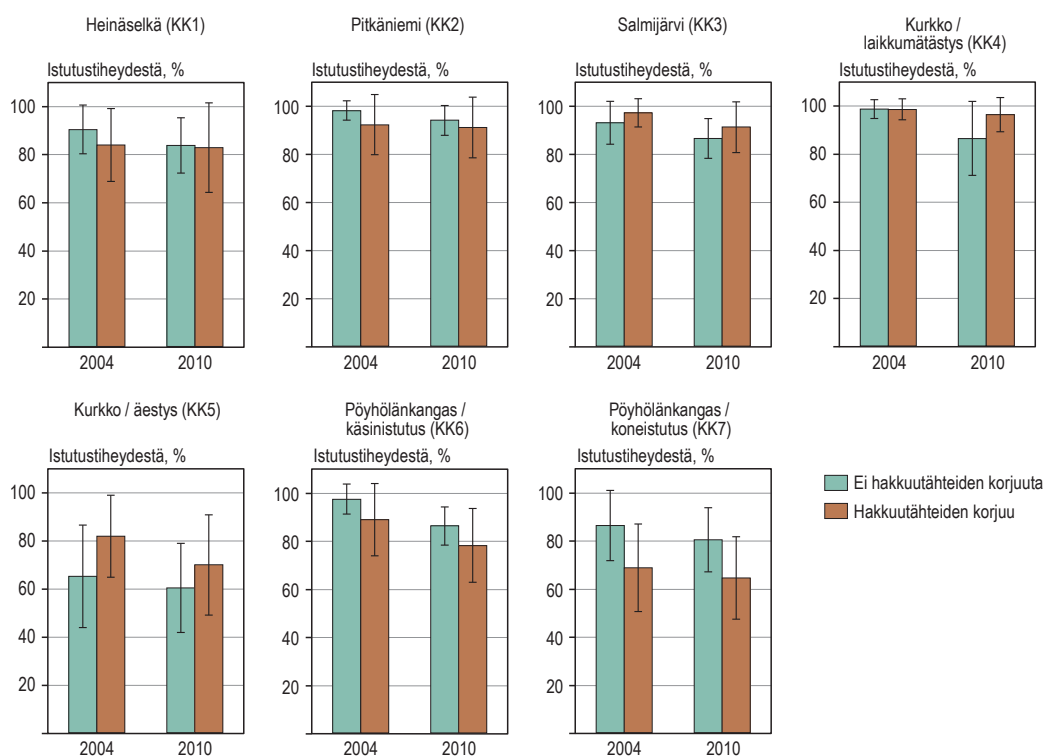
Kullekin lohkolle perustettiin taimien alkukehityksen seurantaan varten pysyvät seurantakoealat, joiden koko oli 50 m<sup>2</sup> (ympyräkoelan säde 3,99 metriä / 9–20 kullakin lohkolle). Istutustaimet kartoitettiin koelan keskipisteestä mitatun etäisyyden ja suunnan avulla. Taimikon tila (istutustaimien elossaolo, pituus) mitattiin syksyllä 2001, 2004 ja 2010. Taimikoissa tehtiin varhaisperkaus 6–8 vuoden iässä maanomistajan toimesta.

Istutustaimien elossaoloa, pituutta ja rinnankorkeusläpimittaa analysoitiin koekentittäin. Pieksämäen Kurkon ja Pöyhölänkankaan koekentät jaettiin omiksi kokeikseen muokkaustavan ja istutusmenetelmän mukaan. Keskiarvojen välisiä eroja testattiin varianssianalyysillä koekentittäin.

## 16.3 Tulokset

### 16.3.1 Istutustaimien menestyminen

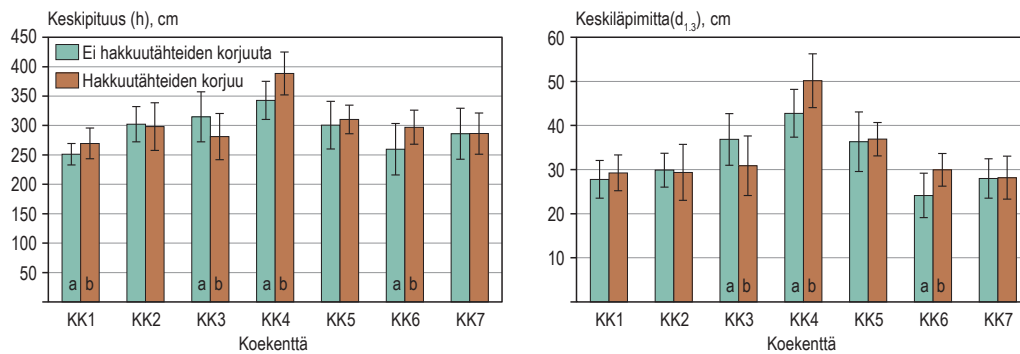
Hakkuutähteen korjuu lohkoilla istutustiheys ( $1\,869 \pm 461$  tainta/ha) oli ollut hieman suurempi kuin hakkuutähteellisillä lohkoilla ( $1\,783 \pm 442$  tainta/ha). Kymmenentenä kasvukautena istutustaimien vastaavat tiheydet olivat  $1\,548 \pm 454$  ja  $1\,479 \pm 413$  tainta/ha. Kuusen istutustaimien menestymisessä ei näin ollen ollut eroa hakkuutähteen korjuun suhteen (kuva 16.1). Kymmenentenä kasvukautena keskimäärin  $83 \pm 16$  % istutustaimista oli jäljellä. Kahdella koekentällä hakkuutähteellisen ja -tähteettömän lohkon välillä istutustaimien tiheyksien välillä oli tilastollisesti lähes merkitsevä ero; toisella hakkuutähteen korjuun jälkeen menestyminen parempaa ja toisella heikompaa kuin hakkuutähteellisellä alalla.



**Kuva 16.1.** Elossa olleiden istutustaimien osuus vuonna 2004 ja kasvatettavaan puuston kuuluneiden istutustaimien osuus vuonna 2010 koekentittäin. Kuhunkin pylvääseen on merkitty mittauskoalojen välinen keskihajonta elossaolossa ja eri kirjaimilla merkityt keskiarvot eroavat toisistaan alle 5 % riskillä.

### 16.3.2 Istutustaimien keskipituus ja keskiläpimitta

Istutustaimet olivat savuttaneet keskimäärin 3 metrin pituuden ensimmäisen 10 kasvukauden aikana (kuva 16.2). Koekentittäin keskipituus vaihteli 2,5 metristä 3,8 metriin. Kolmella koekentällä istutuskusien pituuskehitys oli ollut nopeampaa hakkuutähteen korjuun jälkeen ja yhdellä tilanne oli



**Kuva 16.2.** Istutustaimien keskipituus (h) ja keskiläpimittä ( $d_{1,3}$ ) koekentittäin syksyllä 2010. Kuhunkin pylvääseen on merkitty mittauskoealojen välinen keskihajonta keskipituudessa ja eri kirjaimilla merkityt keskiarvot eroavat toisistaan alle 5 % riskillä.

päinvastainen. Kahdella koekentällä pituuskehityseroa ei ollut hakkuutähteellisen hakkuutähteettömän lohkon välillä.

Istutustaimien pituusjakaumat olivat myös hyvin samankaltaiset hakkuutähteellisillä ja hakkuutähteettömillä lohkoilla. Pituusjakauman alakvartiilin arvo oli hakkuutähteellisillä keskimäärin hieman pienempi (230 cm) kuin hakkuutähteettömillä lohkoilla (255 cm), mutta yläkvartiilin arvot olivat hyvin lähellä toisiaan (355 cm / 360 cm). Molemmat pituusjakaumat noudattivat melko hyvin normaalijakaumaa (vinous 0,130 / 0,190 ja huipukkuus -0,314 / -0,004).

Lähes kaikki kasvatettavaan puustoon kuuluneet istutustaimet olivat ylittäneet rinnankorkeuden viimeistään kymmenetenä kasvukautena. Hakkuutähteellisillä lohkoilla rinnankorkeusläpimitta oli keskimäärin 3,3 cm ja hakkuutähteettömillä 3,5 cm. Kahdella koekentällä läpimittaero oli lähes merkitsevä hakkuutähteettömän hyväksi ja yhdellä hakkuutähteellisen hyväksi (kuva 16.2).

## 16.4 Tulosten tarkastelu

Kuusen istutustaimien olivat menestyneet kohtalaisen hyvin. Kymmenennen kasvukauden jälkeen lähes kaikilla koekentillä ja lohkoilla, äestettyä lohkoa lukuun ottamatta, oli yli 80 % istutustaimista elossa. Parhailla lohkoilla yli 90 % istutetuista taimista näyttäisi selviytyvän taimikkovaiheesta eteenpäin. Hakkuutähteen korjuulla ei ollut vaikutusta istutuskuusien menestymiseen. Samaan johtopäätökseen päätyivät myös Egnell & Leijon (1999) 15 vuotta vanhoissa kuusen taimikoissa.

Kymmenentenä kasvukautena istutuskuuset olivat ehtineet jo keskimäärin 3 metrin keskipituuteen ja olivat rinnankorkeudeltaan hieman yli 3 cm läpimitaltaan. Nyt analysoiduissa kokeissa hakkuutähteen korjuulla ei ollut vaikutusta istutustaimien pituus- tai läpimitankehitykseen ensimmäisen kymmenen vuoden aikana. Osalla koekentistä kuusten keskipituudet/keskiläpimitat erosivat hakkuutähteellisten ja hakkuutähteettömien lohkojen välillä, mutta erot eivät olleet yhdensuuntaisia ja johtuivat todennäköisimmin muista tekijöistä kuin hakkuutähteen korjuusta. Nyt saatu tulos tukee Wallin ja Hytösen (2011) tekemiä johtopäätöksiä.

Ruotsissa Egnell ja Leijon (1999) sen sijaan havaitsivat kuusen istutustaimissa kasvun taantuman 10–15 vuoden ikävaiheessa hakkuutähteen korjuun jälkeen. Heidän kokeissaan maanmuokkaus tehtiin käsin kuokalla. Nyt analysoiduissa kenttäkokeissa maanmuokkausmenetelmänä oli pääsääntöisesti mätästys, joka muuttaa istutustaimen kasvuolosuhteita huomattavasti enemmän kuin

laikutus. Mättään sisällä olevasta humuksesta vapautuvien ravinteiden ansiosta kuusen taimien pituuskehitysedellytykset voivat tasoittua hakkuutähteellisten ja hakkuutähteettömien lohkojen välillä. Samansuuntaiseen johtopäätökseen ovat päätyneet Helmisaari ym. (2009) tutkiessaan männyn taimien pituuskehitystä hakkuutähteen korjuun jälkeen auratulla uudistusalalla.

Aiemmissä tutkimuksissa hakkuutähteen korjuu on tehty ”totaalisena”, mutta tämän tutkimuksen koekentillä hakkuutähteen korjuu tehtiin silloisen käytännön mukaan, jolloin hakkuutähteen korjuulohkoille jäi keskimäärin 38 % hakkuutähteestä (Saksa ym. 2002). Kun hakkuutähteen korjuussa uudistusalalle jäävä hakkuutähte koostuu pääosin katkenneista pienemmistä oksista ja neulasista eli kaikkein ravinteikkaimmista hakkuutähteen komponenteista, kompensoi tämä edelleen ravinnetilannetta hakkuutähteellisten ja tähteettömien lohkojen välillä. Nyt saatujen tulosten valossa kuusen istutustaimen ensimmäisen kymmenen kasvukauden pituuskehitykseen vaikuttavat muut tekijät, kuten maanmuokkaus ym., ratkaisevammin kuin hakkuutähteistä taimien käyttöön vapautuvat ravinteet.

## Kirjallisuus

- Egnell, G. & Leijon, B. 1999. Survival and growth of planted seedlings of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* after different levels of biomass removal in clear-felling. *Scandinavian Journal of Forest Research* 14:303-311.
- Egnell, G. & Valinger, E. 2003. Survival, growth, and growth allocation of planted Scots pine trees after different levels of biomass removal in clear-felling. *Forest Ecology and Management* 177:65-74.
- Helmisaari, H.-S., Kukkola, M., Luiro, J., Saarsalmi, A., Smolander, A. & Tamminen, P. 2009. Hakkuutähteen korjuu - muuttuuko typen saatavuus? *Metsätieteen aikakauskirja* 1/2009: 57-62.
- Helmisaari, H.-S., Holt Hanssen, K., Jacobson, S., Kukkola, M., Luiro, J., Saarsalmi, A., Tamminen, P. & Tveite, B. 2011. Logging residue removal after thinning in Nordic boreal forests: Long-term impact on tree growth. *Forest Ecology and Management* 261: 1919-1927.
- Jacobson, S., Kukkola, M., Mälkönen, E. & Tveite, B. 2000. Impact of whole-tree harvesting and compensatory fertilization on growth of coniferous thinning stands. *Forest Ecology and Management* 129:41-51.
- Kukkola, M. & Mälkönen, E. 1998. Puunkorjuun vaikutus maan viljavuuteen. Julkaisussa: Mälkönen, E. (toim.). Ympäristömuutos ja metsien kunto. Metsien terveydentilan tutkimusohjelman loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja - The Finnish Forest Research Institute, Research Papers 691: 221-224.
- Proe, M.F., Cameron, A.D., Dutch, J., Christodoulou, X.C. 1996. The effect of whole-tree harvesting on the growth of second rotation Sitka spruce. *Forestry* 69(4):389-401
- Saarsalmi, A., Tamminen, P., Kukkola, M. & Hautajärvi, R. 2010. Whole-tree harvesting at clear-felling: impact on soil chemistry, needle nutrient concentrations and growth of Scots pine. *Scandinavian Journal of Forest Research* 25(2): 148-156.
- Saksa, T., Tervo, L. & Kautto, K. 2002. Hakkuutähte ja metsänuudistaminen. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 851. ISBN 951-40-1831-1. ISSN 0358-4283.
- Smolander, A., Kitunen, V., Tamminen, P. & Kukkola, M. 2010. Removal of logging residue in Norway spruce thinning stands: Long-term changes in organic layer properties. *Soil Biology & Biochemistry* 42:1222-1228.
- Wall, A. & Hytönen, J. 2011. The long-term effects of logging residue removal on forest floor nutrient capital, foliar chemistry and growth of a Norway spruce stand. *Biomass & Bioenergy* 35: 3328-3334.

## Metsäenergian hankinnan teknologia, liiketoiminta, markkinat ja mittaus

Metlan työraportteja 289: 147–152

### 17 Metsähakkeen toimitusketjujen pullonkaulat

Juha Laitila, Arvo Leinonen, Martti Flyktman, Matti Virkkunen ja Antti Asikainen

#### Tiivistelmä

Työn tavoitteena oli luoda katsaus metsähakkeen käyttö- ja korjuumahdollisuuksiin vuonna 2020 ja selvittää asiantuntijakyselyn avulla metsähakkeen hankinta- ja toimituslogistiikan kehittämistarpeet, jotta metsähakkeen 13,5 milj. m<sup>3</sup>:n käyttötavoite voidaan saavuttaa vuonna 2020. Selvitystyö tehtiin VTT:n ja Metsäntutkimuslaitoksen yhteistyönä vuonna 2010.

Metsähakkeelle asetettu 25 TWh:n suuruisen käyttötavoite voidaan saavuttaa yhdistetyssä sähkön- ja lämmöntuotannossa sekä erillisessä lämmöntuotannossa, sillä tässä tarkastelussa metsähakkeen käyttömääräksi arvioitiin 25,4 TWh vuonna 2020. Eniten metsähakkeen käyttöä voidaan lisätä yhdyskuntien CHP laitoksissa (5,8 TWh) ja kivihiiltä käyttävissä CHP-laitoksissa (4,1 TWh). Lisäksi Suomeen on suunnitteilla kolme biojalostamo, joiden kokonaistuotantokapasiteetti on noin 7 TWh liikenteen biopolttoainetta.

Asiantuntijakyselyn mukaan metsähakkeen hankinnan tärkeimmät kehitystarpeet liittyvät harvennuspulla korjuukustannusten alentamiseen, kuljettajien ammattitaidon edistämiseen, ammattitaitoisen työvoiman saatavuuden turvaamiseen ja korjuun integrointiin. Kannoilla tärkeimmät kehitystarpeet liittyvät kantomurskeen laadun ja käytettävyyden parantamiseen ja kaukokuljetustehokkuuden lisäämiseen kuormakoon kasvun ja kuormankäsittelyn tehostumisen kautta. Latvusmassalla kehitystarvetta on materiaalin varastoitavuuden parantamisessa ja kuljetustehokkuuden lisäämisessä. Metsänomistajien aktivoiminen energiapuukauppaan, samoin kuin kestävyys- ja seurannaisvaikutusten huomioiminen energiapuun korjuussa, nousi korostetusti esille kaikilla metsähakelajeilla. Pitkän kuljetusmatkan kuljetusmuotoja, samoin kuin yhdistettyjä kuljetusmuotoja, on kehitettävä ja metsähakkeen puutteellista toimitusvarmuutta ja laatua on parannettava.

#### Abstract

The aim of the study was to review the use and supply potential of forest chips in 2020 and identify the key development needs of forest chip supply logistics that are needed to reach the target of 13.5 mill. m<sup>3</sup> use of forest chips in 2020. Project was jointly executed by VTT and Metla in 2010. According to the MELA –model calculations the logging possibilities of forest chips in 2020 would be 40.4 TWh, assuming that the harvest of industrial roundwood would follow the volumes and structures of the years 2004–2008. Based on these assumptions the potential annual forest chip harvest from young stands was 10.7 mill. m<sup>3</sup>. Respective figure for the final fellings was 4.8 mill. m<sup>3</sup> crown mass and 4.7 mill. m<sup>3</sup> stumpwood.

It was found that 25.4 TWh can be used in the combined heat and power production and separate heat production. The largest potential to increase the consumption of forest chips was found to be in CHP plants (5.8 TWh) and in coal fired CHP plants (4.1 TWh). In addition, three biorefineries were assumed to produce 7 TWh liquid traffic fuels.

The interviewed experts estimated that the most important development needs of wood supply are the more cost efficient harvesting of small diameter trees, improved operator skills, enhanced

availability of skilled labour and integration of the harvest with industrial roundwood. By stump wood the improvement of fuel quality and sustainability together with improved transport economy were had high priority in development. By logging residues the storability and transport economy should be increased. The activation of forest owners to energy wood trade and sustainability and evaluation of the impacts of intensive biomass harvest in forests were considered important. In addition, the long haul transports and integrated transportation concepts and security of supply have to be enhanced.

## 17.1 Johdanto

Metsähaketta ja muita puupolttoaineita polttoaineenaan käyttävien laitosten määrä on noussut kymmenessä vuodessa lähes tuhanteen vuosituhannen alun 250 laitoksesta (Asikainen & Anttila 2009). Lisäksi uusia puuta käyttäviä laitoksia on rakenteilla ja puun käyttö kivihiilikattiloissa on mahdollisesti lisääntymässä. Suomi on sitoutunut osana EU:n ilmastopolitiikkaa kasvattamaan uusiutuvien energialähteiden osuutta loppukulutuksessa nykyisestä noin 28,5 %:sta 38 %:iin vuoteen 2020 mennessä (Pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategia 2008). Puupohjaisella energialla, etenkin metsähakkeella on seuraavan vuosikymmenen aikana suuri rooli uusiutuvan energian käytön lisäämisessä. Puunjalostusteollisuuden sivutuotteet (kuori ja puru) hyödynnetään jo nyt täysimääräisesti, joten lisää puuta on käytännössä mahdollista saada ainoastaan metsähakkeena (Ylitalo 2010).

Jotta kaikkiin metsähakkeen käytön tavoitteisiin päästään vuonna 2020, on metsähakkeen tuotantokustannuksia alennettava sekä toimitusvarmuutta ja laatua parannettava. Tämä on mahdollista metsähakkeen tuotantoteknologiaa, liiketoimintamalleja sekä logistisia ratkaisuja kehittämällä. Tavoite merkitsee huomattavia investointeja ja sitä myötä kasvavia markkinoita laitetoimittajille, samoin kuin välillisiä ja välittömiä työllisyysvaikutuksia korjuussa, kuljetuksessa ja laitevalmistuksessa. Suurimmat epäilyt kohdistuvat siihen, että miten puubiomassasuma saadaan markkinoille ja toimitettua loppukäyttäjille kohtuullisin kustannuksin.

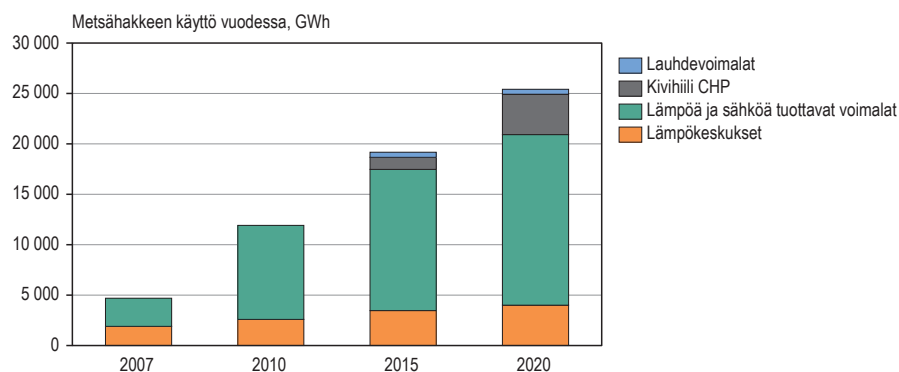
Tämä selvitystyö tehtiin VTT:n ja Metsäntutkimuslaitoksen yhteistyönä vuonna 2010 ja tulokset on raportoitu kokonaisuudessaan VTT Tiedotteita sarjassa (Laitila ym. 2010). Selvitystyön perimmäisenä tavoitteena oli kartoittaa ne metsähakkeen hankinnan kompastuskivet, jotka voivat estää metsähakkeen käyttötavoitteiden toteutumisen vuoteen 2020 mennessä ja löytää keinoja näiden karikoiden kiertämiseksi ja ongelman ratkaisemiseksi. Selvityksen osatavoitteet olivat:

- Tunnistaa metsähakkeen käyttökohteet, joissa metsähakkeen käytön lisäystavoite saavutetaan vuoteen 2020 mennessä.
- Tunnistaa vaihtoehtoiset metsähakkeen lähteet ja niihin parhaiten soveltuvat toimitusketjut.
- Tunnistaa ne metsähakkeen hankinnan pullonkaulat, joissa on suurin strateginen kehittämispotentiaali ja määrittellä niiden kehittämistarpeet sekä asettaa niiden kehittämistavoitteet

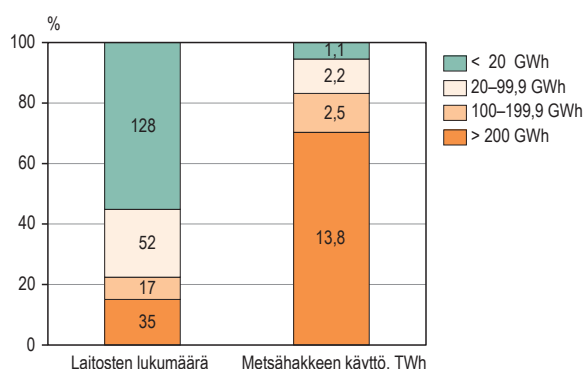
## 17.2 Tulokset

### 17.2.1 Metsähakkeen käyttö ja käyttökohteet vuonna 2020

Metsähakkeen käyttö lämmön- ja sähköntuotannossa on kasvanut 2000-luvulla merkittävästi ja vuonna 2009 ylitettiin 10 TWh:n käyttö. Metsähakkeen käytön tavoite 25 TWh voidaan saavuttaa, mutta se edellyttää, että metsähake otetaan huomioon kaikissa uusissa suurissa voimalahankkeissa yhtenä polttoainevaihtoehtoista. Tässä tarkastelussa metsähakkeen käyttömääräksi arvioitiin 25,4 TWh vuonna 2020 (Kuva 17.1).



**Kuva 17.1.** Metsähakkeen ennustettu käyttö vuoteen 2020 mennessä lämpökeskuksissa, biomassaa ja kivihiiltä käyttävissä CHP-voimaloissa sekä Haapaveden turvelauhdevoimalaitoksessa (Laitila ym. 2010).



**Kuva 17.2.** Metsähaketta käyttävät laitokset ja niiden arvioitu metsähakkeen käyttö vuonna 2020. Mukana eivät ole kivihiiltä käyttävät CHP-laitokset eikä Haapaveden turvelauhdevoimalaitos (Laitila ym. 2010).

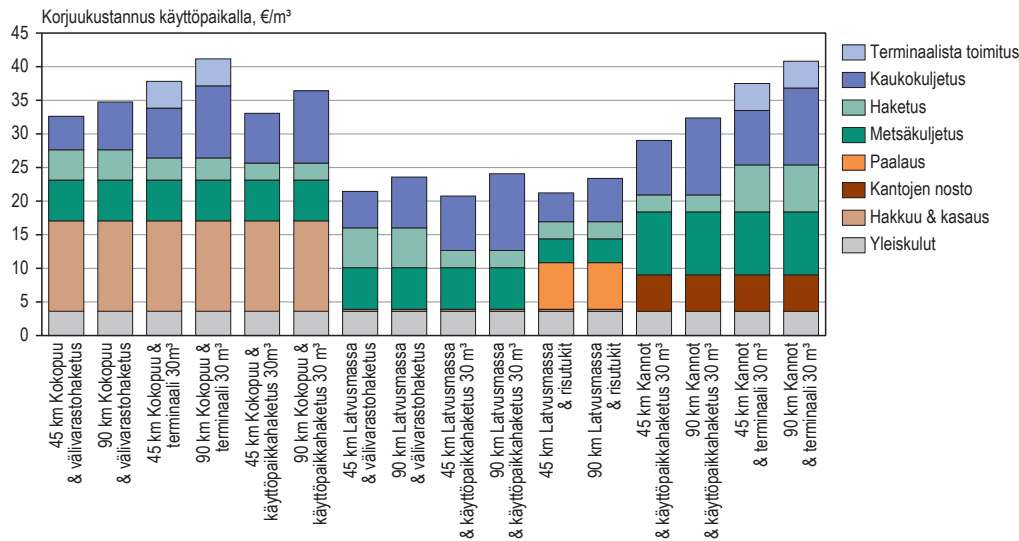
Nykyisissä lämpö- ja voimalaitoksissa metsähakkeen käyttö tulee jatkossakin keskittymään suuriin voimalaitoksiin. Vuonna 2020 viitisenkymmentä suurinta käyttää yli 80 % kaikesta metsähakkeesta (Kuva 17.2). Toinen merkittävä käyttäjajoukko ovat pienet lämpölaitokset ja lämpöyrittäjät, joiden lukumäärä on muihin käyttäjiin nähden ylivoimainen (Kuva 17.2).

Vuoden 2020 biopolttoaineen käyttötavoite on 7 TWh. Suomessa on kolme yritysconsortiota, jotka suunnittelevat liikenteen biopolttoaineiden valmistusta. Nämä ovat UPM, Vapo Oy ja Metsäliitto sekä Stora Enso ja Neste Oil. Mikäli liikenteen biopolttoainehankkeita toteutettaisiin 7 TWh:iin saakka, metsähaketta tai muuta materiaalia tarvittaisiin raaka-aineena noin 12 TWh.

Merkittävän haasteen metsähakkeen tai biomassan yleensä käytölle tarjoavat kivihiilen korvaaminen CHP-laitoksissa ja biodieselin valmistaminen. Molemmassa tapauksissa yksittäinen voimala tai jalostuslaitos muodostavat suuren käyttökohteen, jolloin merkittävä ongelma voi olla raaka-aineena tai polttoaineena käytettävän metsähakkeen alueellinen saatavuus.

### 17.2.2 Metsähakkeen kustannusrakenne

Latvusmassa-, kokopuu- ja kantohakkeen kustannusrakenne selvitettiin esimerkkileimikoiden avulla, joissa metsäkuljetusmatka oli 250 m ja kaukokuljetusmatka 45 tai 90 km (Kuva 17.3). Hakkeen kuljetusmatka terminaalista lämpö- tai voimalaitokselle oli 10 km. Nuorten metsien energiapuun hakkuussa hakkuupoistuma oli 2000 runkoa hehtaarilta ja poistettavien puiden keskipuu oli 30 litraa. Kantojen korjuussa kuusenkantojen keskiläpimitta oli 37 cm (= 170 litraa) ja nostettavia

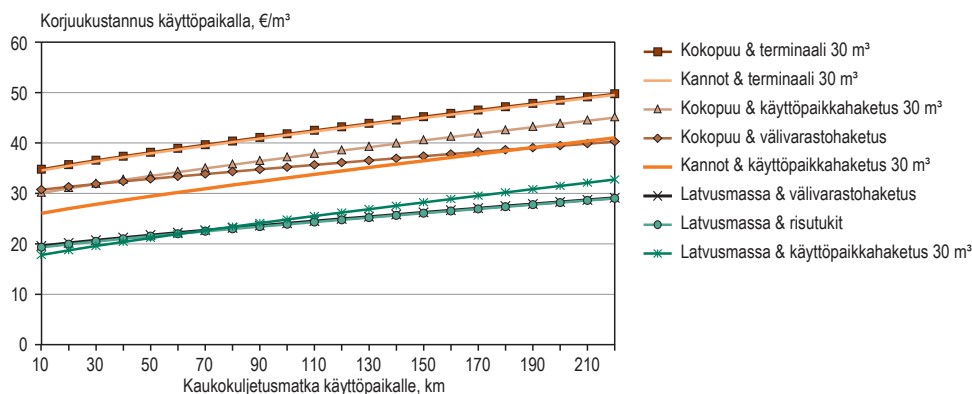


Kuva 17.3. Metsähakkeen kustannusrakenne eri korjuumenetelmillä ja metsähakelajeilla (Laitila ym. 2010).

kantoja oli 500 kappaletta hehtaarilla. Latvusmassan ja nuorten metsien energiapuun kertymä hehtaarilta oli 60 m<sup>3</sup> ja kantopuulla hehtaarikertymä oli 85 m<sup>3</sup>. Hakkeen kaukokuljetuksen kuormakoko oli 44 m<sup>3</sup>, risutukkien 45 m<sup>3</sup> sekä prosessoimattoman latvusmassan, kokopuun ja kantojen 30 m<sup>3</sup>.

Nuorten metsien energiapuun korjuukustannus tienvarressa, organisointikulut mukaan lukien, oli 23,1 €/m<sup>3</sup>. Hakkuun kustannus oli 13,5 €/m<sup>3</sup> ja pienpuun metsäkuljetuksen 6,1 €/m<sup>3</sup>. Risutukkimenetelmällä korjatun latvusmassan korjuukustannus tienvarressa oli 14,1 €/m<sup>3</sup> ja paalaamattoman latvusmassan 10,1 €/m<sup>3</sup>. Latvusmassan kasoihin hakkuun kustannus oli 0,3 €/m<sup>3</sup> ja paalaamattoman latvusmassan metsäkuljetuksen kustannus 6,2 €/m<sup>3</sup>. Paalauksen kustannus oli 6,9 €/m<sup>3</sup> ja paalien metsäkuljetuksen kustannus 3,5 €/m<sup>3</sup>. Kantojen korjuun kustannus tienvarressa oli 18,4 €/m<sup>3</sup>. Kustannuksista kantojen noston ja paloittelun osuus oli 5,4 €/m<sup>3</sup> ja metsäkuljetuksen osuus 9,4 €/m<sup>3</sup>. Organisointikustannusten oletettiin olevan samat (3,51 €/m<sup>3</sup>) kaikilla korjuumenetelmillä ja metsähakelajeilla. Hakkeen käsittely ja kuljetuskustannus terminaalista käyttöpaikalle olivat myös samat kaikilla metsähakelajeilla. Hakkeen kuormauskustannus terminaalissa oli 0,9 €/m<sup>3</sup> ja kuljetuskustannus terminaalista käyttöpaikalle oli 3,1 €/m<sup>3</sup> (10 km kuljetusmatka).

Latvusmassan käyttöpaikkahaketus oli edullisin korjuuketju 60 kilometrin kaukokuljetusmatkaan saakka, kun korjuuketjuja verrattiin kaukokuljetusmatkan mukaan (Kuva 17.4). Sitä pidemmällä autokuljetusmatkoilla risutukkimenetelmä oli kustannustehokkain korjuuketju latvusmassahakkeen tuotannossa. Vastaavassa vertailussa latvusmassan käyttöpaikkahaketusketjun ja tienvarsihaketusketjun kustannuskäyrät leikkasivat 70–80 km kaukokuljetusmatkan kohdalla. Välivarastohaketusketjun ja risutukkimenetelmällä tuotetun latvusmassahakkeen tuotantokustannukset olivat likimain samalla tasolla. Vertailun perusteella välivarastolla haketetun latvusmassahakkeen korjuukustannus oli käyttöpaikalla 0,10–0,30 €/m<sup>3</sup> korkeampi kuin risutukkimenetelmällä tuotetun hakkeen. Kokopuun käyttöpaikkahaketus oli edullisin kokopuuhakkeen tuotantomenetelmä alle 30 km kaukokuljetusmatkoilla ja välivarastolla haketus sitä pidemmällä kuljetusmatkoilla. Kantohakkeen korjuukustannukset olivat kokopuuhakkeen korjuukustannuksia pienemmät aina 200 km kaukokuljetusmatkaan saakka, kun kannot murskattiin käyttöpaikalla. Terminaalihaketukseen perustuvalla korjuumenetelmällä hakkeen tuotantokustannukset olivat vertailun korkeimmat.



**Kuva 17.4.** Metsähakkeen korjuukustannus käyttöpaikalla kaukokuljetusmatkan mukaan eri korjuumenetelmillä ja metsähakelajeilla (Laitila ym. 2010).

### 17.2.3 Metsähakkeen hankinta- ja toimituslogistiikan kehittämistarpeet 2010-luvulla

Metsähakkeen hankinnan kehittämistarpeiden määrittämiseksi laadittiin arviointitaulukko, jolla määritettiin metsähakkeen kasvutavoitteiden saavuttamista rajoittavien tekijöiden merkitystä ja käytönkasvun ongelmakohtien ratkaisu- ja kehittämismahdollisuuksia. Arviointitaulukko ja avoimet kysymykset annettiin vastattavaksi asiantuntijaryhmälle, joka koostui energiateollisuuden, korjuuorganisaatioiden, metsänomistajien, koneyritysten sekä tutkimus- ja tuotekehitysorganisaatioiden edustajista. Selvitystyön mukaan tärkeimpiä kehittämiskohteita metsähakkeen hankinnassa 2010-luvulla ovat:

- Harvennuspuuhakkeen tuotantoketjun tehostaminen ja korjuukustannusten alentaminen
- Metsähakkeen toimitusvarmuuden ja kuljetustehokkuuden parantaminen pitkillä kaukokuljetusmatkoilla ja eri kuljetusmuotojen yhdistelmillä
- Kantohakkeen laadun parantaminen epäpuhtauksien osalta ja kuljetuskustannusten alentaminen
- Kuljettajien koulutus ja tehokkaiden työtapojen kehittäminen energiapuun korjuuseen
- Metsänomistajien koulutus ja aktivointi metsäenergiakauppaan
- Metsähakkeen hankinnan liiketoiminnan kehittäminen
- Metsähakkeen korjuun seurannaisvaikutusten ennaltaehkäisy korjuuta ja logistiikkaa kehittämällä
- Tehostaa puubiomassan kasvatusta aines- ja energiapuuksi

Hankinnan teknologian ja logistiikan näkökulmasta harvennusmetsien energiapuun korjuussa tulisi edistää korjuukoneiden ympärivuotista työllistymistä, kehittää integroitua puunkorjuuta sekä hakkuutapoja, jotka parantavat hakettamattoman harvennuspuun kaukokuljetustehokkuutta esim. auto-, alus- ja junakuljetuksissa. Lisäksi pitäisi kehittää aiempaa pelkistetyimpiä ja edullisempia peruskoneita, joilla tulisi päästä samaan tuottavuuteen pienemmillä yksikkökustannuksilla kuin nykykalustolla energiapuun korjuussa. Kuljettajien koulutuksen avulla tulisi varmistaa, että parhaat ja tehokkaimmat työtavat siirtyvät käytäntöön ja huonoista työtavoista päästään eroon. Metsänomistajia on aktivoitava, koska energiapuukauppojen määrä kasvaa samaa tahtia kuin metsähakkeen hankintamäärät lisääntyvät. Lisäksi metsäenergian korjuun hyödyistä ja seurannaisvaikutuksista tulisi tiedottaa aiempaa kokonaisvaltaisemmin.

Metsähakkeen toimitusketjussa tulisi kehittää logistisia toimintamalleja, joilla voidaan tasoittaa ja ratkaista metsähakkeen kulutushuippujen aiheuttamia ongelmia hakkeen vastaanotossa, haketuksessa

ja kaukokuljetuksessa sekä samalla taata kone- ja kuljetuskalustoresurssien tehokas ja ympäri vuoden käyttö. Kannoilla tulisi tehostaa metsä- ja kaukokuljetuksessa kantojen kuormaus- ja purkutyötä sekä alentaa kantojen kaukokuljetuskustannuksia. Lisäksi tulisi kiinnittää huomiota epäpuhtauksien poistoon kantopaloista joko korjuu-, kuljetus- tai murskaustyön yhteydessä. Energiapuun varastointitapoja ja toimituslogistiikka tulisi kehittää niin, että niiden avulla voitaisiin ehkäistä mahdollisten hyönteistuhojen synty energiapuunvarastoa ympäröiviin metsiin tai taimikoihin. Puupoltossa syntyvä tuhka tulisi ottaa hyötykäyttöön ja palauttaa se metsään parantamaan puiden kasvua. Metsänhoidon tasoa tulisi nostaa ja samalla parantaa korjuuolosuhteita harvennuskasvien energiapuun korjuussa.

#### **17.2.4 Kehittämistyön toteutus**

Kehittämistyön käytännön toteutukseen liittyy tutkimus- ja kehitystyötä sekä uusien menetelmien ja tekniikoiden demonstrointia. Tutkimus- ja kehitystyö toteutetaan kone- ja laitevalmistajien, järjestelmätoimittajien, metsähakkeen käyttäjien, korjuuorganisaatioiden, kone- ja kuljetusyrittäjien sekä eri tutkimuslaitosten, ammattikorkeakoulujen ja yliopistojen yhteistyönä. Uusien tekniikoiden ja menetelmien käytännön demonstrointi tapahtuu koko metsähakkeen tuotanto- ja toimitusketjun yhteistyönä. Toimijoita ovat mm. metsänomistajat, metsäorganisaatiot, metsäenergian käyttäjät, korjuuorganisaatiot, kone- ja laitevalmistajat, kone- ja kuljetusyrittäjät, järjestelmätoimittajat, ohjausjärjestelmien kehittäjät, oppilaitokset sekä tutkimuslaitokset, ammattikorkeakoulut ja yliopistot.

#### **Kirjallisuus**

- Asikainen, A. & Anttila, P. 2009. Jatkuuko metsäenergian käytön kasvu? Julkaisussa: Hänninen, R. & Sevola, Y. (toim.). Metsäsektorin suhdannekatsaus 2009–2010. Metsäntutkimuslaitos. S. 55–57.
- Laitila, J., Leinonen, A., Flyktman, M., Virkkunen, M. & Asikainen, A. 2010. Metsähakkeen hankinta- ja toimituslogistiikan haasteet ja kehittämistarpeet. VTT Tiedotteita 2564. 143 s.
- Pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategia 2008. Valtioneuvoston selonteko eduskunnalle 6. päivänä marraskuuta 2008. 130 s.
- Ylitalo, E. 2010. Puun energiakäyttö 2009. Metsätilastotiedote 16/2010. 7 s.

Metlan työraportteja 289: 153–163

## 18 Puunhankinnan palveluliiketoiminnan kannattavuuden kehittäminen

Arto Rummukainen, Markku Penttinen, Jarmo Mikkola, Simo Tikakoski ja Bo Dahlin

### Tiivistelmä

Puunkorjuualan yrityskehittäminen on ollut voimakkaan muutoksen kourissa viime vuodet. Vuoden 2007 ennätyksellisen korjuumäärän jälkeen hankintamäärät romahtivat ja asiakkaat uudistivat toimintamallejaan. Toimialan kannattavuus on heikentynyt paria poikkeusta lukuun ottamatta koko 2000-luvun. Ammattitaitoisen henkilökunnan vähyys vaikeuttaa monien yritysten toimintaa. Eläköitymisen ja alan rakennemuutoksen takia yritysten tulisi kasvaa, vaikka taloudelliset edellytykset eivät ole monilla hyvät. Yrityksen ominaisuudet, jotka pääosin riippuvat yrittäjästä, ennustavat jossain määrin kasvavan yrityksen menestystä. Kustannuksia voidaan monissa tapauksissa säästää yritysten yhteisiä koneiden siirtomenetelmiä kehittämällä. Yrittäjän talous- ja liikkeenjohton tietämyksen kasvattaminen parantaa yrityksen menestymismahdollisuuksia.

### Abstract

The wood harvesting business has been under strong change pressures during the last years. After the record high harvesting volume year 2007, the harvested volumes have decreased and customers developed their operating models. In spite of two exceptions, the profitability of harvesting business has decreased the whole decade. Limited number of qualified machine operators make the operations of many enterprises difficult. Forest harvesting enterprises should grow because of retirement of first generation of entrepreneurs and because of restructuring of the whole business. However, the economic preconditions to grow are not good in many enterprises. Properties of enterprises, which derive mostly from the entrepreneur, forecast in some degree the profitability of developing enterprise. Costs can be spared in many cases by utilizing common machine transfer systems. Entrepreneurs' good knowledge of economy and business make the possibilities to success better.

## 18.1 Johdanto

Edelliset laajemmat metsäkoneyritysten taloustilanteen selvitykset teki Metsäteho Oy vuosikymmen sitten (Väkevä & Imponen 2001). Sitä ennen Mäkinen (1988 ja 1993) analysoi yritys kenttää ja sen menestystekijöitä. Yrityskannan todettiin olevan suhteellisen heikosti kannattava. Yritysten vetäjät olivat aloittaneet opettelemalla käyttämään ja ylläpitämään koneita ja taloushallintaa alettiin vasta opiskella. Hakkuu- ja kuljetusmäärien kasvaessa ja ensimmäisen yrittäjäsukupolven eläköityessä alkoi varsinaisten yrittäjyystaitojen kuten talous- ja henkilöjohtamisen osaaminen korostua.

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää metsäkoneyrityskentän rakennetta ja taloudellista tilannetta, sekä etsiä keinoja yritysten menestyksen parantamiseen. Tutkimuksen ajanjaksosta tuli vaihteleva. Vuonna 2007 tehtiin puunkorjuumäärien ennätyksiä, mutta jo seuraavan vuoden lopussa puunkorjuuta rajoitettiin voimakkaasti. Laman yllätettyä moni koneyrittäjien asiakas tehosti puunhankinnan organisointiaan järjestämällä puunkorjuupalvelunsa tarjouskilpailulla. Yrittäjät joutuivat samaan aikaan vastaamaan hyvin merkittäviin korjuumäärien vaihteluihin ja asiakkaiden toiveisiin suuremmista korjuumääräsopimuksista.

## 18.2 Aineisto ja menetelmät

### 18.2.1 Millaisia koneyrittäjiä

Osalla metsäkoneyrittäjistä puunkorjuu on ainoa tulolähde, osa tekee sitä osa-aikaisesti tai muiden tehtävien ohella (Rummukainen & Leppänen 2010). Yritysmuoto vaihtelee toiminimestä osakeyhtiöön. Asiakkaita voi olla yksi tai useampia, ne voivat olla teollisia puunkäyttäjiä, metsänhoitoyhdistyksiä tai metsäomistajia. Koneyrittäjien liitto ry on toiminnan edistämisen- ja tukijärjestö, mutta siihen kuuluu vain osa yrittäjistä, tosin pääosa päätoimisista yrittäjistä. Ei ole siis olemassa yhtenäistä tietokantaa metsäkoneyrittäjistä. Sen takia tutkimuksen aineisto koottiin useista lähteistä. Näin syntyneet osa-aineistot eivät ole suoraan vertailukelpoisia keskenään, mutta mahdollistavat asian tarkastelun useilta eri tahoilta.

### 18.2.2 Koneiden ja verotuksen kautta yrittäjiin

Ajoneuvohallintokeskus pitää yllä rekisteriä hakkuukoneista ja kuormatraktoreista (Trafi 2011). Vuodesta 2008 aineisto on kattava, sitä ennen pieni osa koneista saattoi olla rekisteröimättömiä. Ajoneuvohallintokeskuksen rekisteritiedostosta kerättiin konetiedot ja niiden hallintatiedoista yritykset. Tiedostosta poistettiin muissa tehtävissä olevat koneet/yritykset. Maatalousyrittäjien rekisteristä haettiin maatalousyrittäjät, jotka saivat sivutulon puunkorjuusta (Mäntynen 2009). Näin saatiin tietoa myös yrittäjistä, jotka käyttivät maataloustraktoripohjaista puunkorjuukalustoa. Henkilökohtaisilla yrittäjähaastatteluilta kerättiin tarkempia tietoja yrittäjistä, yrityksistä, näiden asiakkaista sekä yrittäjien toiveista ja peloista.

### 18.2.3 Tilastokeskuksesta tilinpäätöstietoja

Ajoneuvohallintokeskuksen tietojen perusteella tehty tietokanta vietiin Tilastokeskukseen, josta saatiin pääosa yritysten tiedoista (Tilastokeskus 2011). Tietojen tarkkuus riippuu osin yritysmuodosta. Tilastokeskus ei saa antaa tietoja, jotka voidaan yhdistää yhteen yritykseen, joten tulokset ovat vain kokoluokkia, alueita ja yritysmuotoluokkia koskevia. Vuonna 2007 toimineiden yritysten tiedot kerättiin vuodesta 2000 vuoteen 2009.

## 18.3 Tulokset

### 18.3.1 Yrityskenttä

#### Yritysten määrät

Metsäkoneyrittäjien asiakkaina ovat Suomessa perinteisesti pääosin metsäteollisuus ja Metsähallitus, jotka toimivat normaalisti ympäri vuoden. Metsänomistajien itse päättämän puunkorjuun osuus on vähentynyt, ollen enää vajaa kymmenen prosenttia markkinahakkuista. Tästäkin metsänomistajat hakkaavat ja kuljettavat vain alle puolet itse. Metsänomistajakunnan vanheneminen ja kaupunkilaistuminen vähentäneet omatoimisuutta edelleen. Osan metsänomistajien määräämästä puunkorjuusta organisoivat metsänhoitoyhdistykset, joilla on osa- ja kokoaikaisia sopimusyrittäjiä.

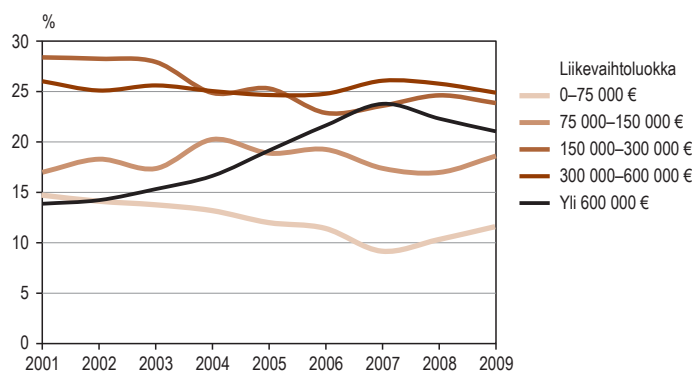
Kone- ja verotietojen perusteella 2006 Suomessa oli noin 1 600 metsäkoneilla toimivaa päätoimista yrittäjää (Penttinen ym. 2009b). Näiden lisäksi maataloilla toimi 2 200 puunkorjuusta tuloja saavaa tilanomistajaa, joista pääosa toimi maataloustraktoripohjaisella kalustolla (Mäntynen 2009). Osa näistä eri lähteistä saaduista yrittäjistä on todennäköisesti päällekkäisiä, jolloin päädytään noin 3 600 koneellista puunhakkuuta tai kuljetusta tarjoavaan yrittäjään (Rummukainen & Leppänen 2010). Vuoden 2007 ennätyskorkean puunkorjuumäärän jälkeinen romahdus ja sen jälkeen tapahtunut asiakkaiden vaatima sopimuskäytäntöjen muutos ovat vähentäneet yrittäjien lukumäärää, konemäärän pysyessä jotakuinkin entisellä tasolla.

Tutkimuksen perusvuoden 2007 aikana Tilastokeskuksen laajemmassa taseisiin perustuvassa aineistossa oli 1 600 yritystä (Penttinen ym. 2009 b). Tarkemmassa tilinpäätöksiin perustuvassa aineistossa oli 1 060 yritystä (Taulukko 18.1). Neljäsosalla yrityksistä vuotuinen liikevaihto ylitti 600 000 €. Näiden yritysten osuus kokonaisliikevaihdosta ja henkilöstön määrästä oli kuitenkin jo 60 %, koneidenkin määrästä puolet. Pienempien yritysten merkitys oli tärkeä yritysten ja koneiden lukumäärän perusteella arvioituna.

Tutkimuskauden aikana pienimpien yritysten osuus kokonaislukumäärästä väheni viisi prosenttiyksikköä samalla kun suurimpien yritysten osuus kohosi kymmenen prosenttiyksikköä (kuva 18.1). Toiseksi suurimman luokan yritysten osuus laski myös selvästi. Tilaston päättymisen jälkeen asiakkaat ovat edistäneet erityisen painokkaasti yritysköön kasvua tarjouskilpailumenettelyllä, joten on oletettavaa suurimman yritysköön osuuden kasvaneen edelleen.

**Taulukko 18.1.** Yritysten koko- ja rakennejakauma vuonna 2007 Tilastokeskuksen tilinpäätökset luovuttaneiden metsäkoneyritysten osalta (Penttinen ym. 2009b).

Liikevaihtoluokka, Yrityksiä 1 000 €	Yrityksiä		Liikevaihto		Koneiden lukumäärä %	Henkilöiden lukumäärä
	Lukumäärä	%	Milj. €	%		
Alle 75	98	9,2	4,9	1,0	4,1	0,9
75–150	185	17,5	20,6	4,1	8,1	3,7
150–300	254	24,0	54,5	11,0	15,1	10,5
300–600	273	25,8	112,8	22,7	24,3	22,9
Yli 600	250	23,6	305,0	61,3	48,3	62,0
Yhteensä, %		100,0		100,0	100	100
Yhteensä, kpl	1060		497,7		2975	4059

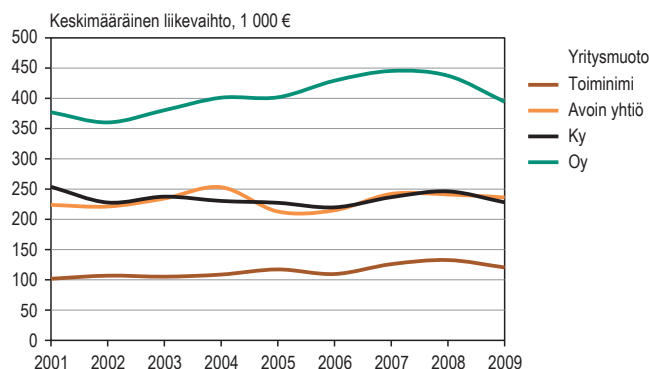


Kuva 18.1. Eri kokoisten yritysten osuuksien (%) muutos kokonaisyritysmäärästä 2001–2008.

## Liikevaihto

Ymmärrettävästi toiminimet olivat liikevaihdoltaan pienimpiä (kuva 18.2). Keskimääräinen 100 000 € liikevaihto kertoo, että yrityksellä on ollut yksi tai enintään pari käytettyä konetta. Avoimien ja kommandiittiyhtiöiden keskimääräinen liikevaihto on kaksinkertainen toiminimiin verrattuna. Yhtiömuoto kertoo, että mukana on vähintään kaksi toimintaan tai vain rahoitukseen osallistuvaa yrittäjää, jolloin liikevaihtokin kasvaa. Osakeyhtiöt ovat suurimmat noin 400 000 € keskimääräisellä liikevaihdolla.

Yritysten liikevaihto kasvoi tietysti korjuumäärien mukaan, ollen suurimmillaan 2007–2008. Suorimmin työmäärä vaikutti osakeyhtiöillä. Avoimilla ja kommandiittiyhtiöillä liikevaihto ei näyttänyt riippuvan kokonaiskorjuumääristä.

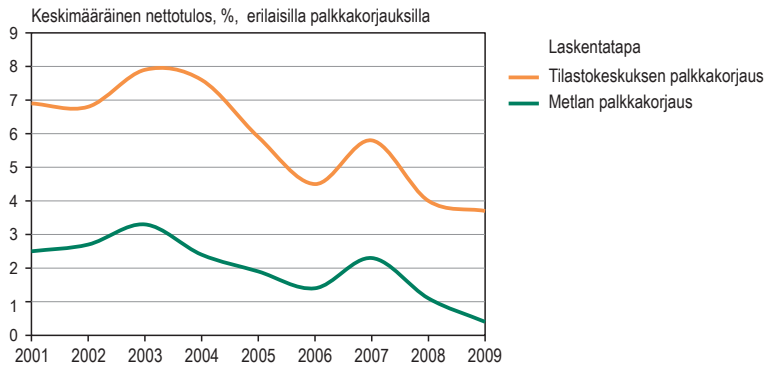


Kuva 18.2. Keskimääräinen liikevaihto yritysmuodoittain 2001–2009.

## 18.3.2 Taloudellinen tilanne tilinpäätösanalyysin valossa

### Kannattavuus

Yritysten kannattavuus putosi tutkimusjakson aikana puoleen (kuva 18.3). Ennätyskorjuumäärän vuonna 2007 kannattavuus nousi hetkeksi, mutta sen jälkeen tulos laski edelleen. Kuvassa 18.3 nettotulosprosentti on annettu kahdessa muodossa. Osakeyhtiö voi maksaa halutessaan palkkaa yrittäjälleen tai yrittäjä voi ottaa tulon pääomatulona. Toiminimet ja henkilöyhtiöt (avoimet yhtiöt ja kommandiittiyhtiöt) eivät voi maksaa omistajilleen palkkaa, jolloin yrityksen tulos sisältää myös



Kuva 18.3. Nettotulos tilastokeskuksen ja tämän tutkimuksen palkkakorjauksilla 2001–2009.

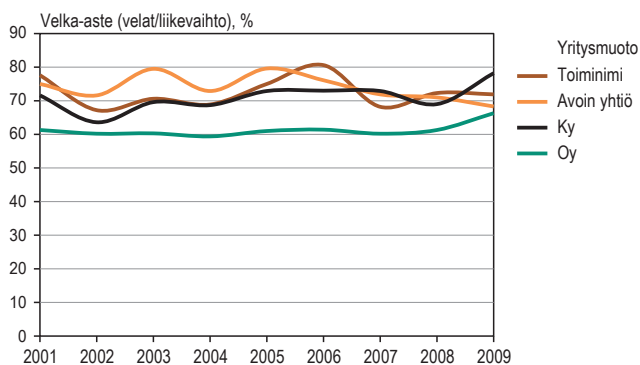
kaikki yrityksen omistajien eri muodoiin ottamat korvaukset. Jotta eri yritysmuotojen vertailu olisi tasapuolinen, on kuvassa 18.3 vähennetty toiminimien ja kommandiittiyhtiöiden tuloksesta yhden sekä avoimien yritysten tuloksesta puolentoista henkilön yhden vuoden tuntipalkan verran ”korvaukseksi” yrittäjien tekemästä työstä. Vasta tämän vähennyksen jälkeinen tulos on vertailukelpoinen osakeyhtiöiden tulosten kanssa. Muutama hyvä korjuuvuosi (2003 ja 2007) ovat ainoat, jolloin keskimääräinen kaikkien yritysten nettotulos ei olisi laskenut tarkasteluajanjaksolla. Muissa kuvissa ja taulukoissa on käytetty Tilastokeskuksen palkkakorjausta.

Kun henkilöyritysten palkkakorjaus otetaan huomioon, koko alan keskimääräinen nettotulos laskee pariin prosenttiin ja on pudonnut jo alle prosentin vuonna 2009. Kehitys ei anna hyviä mahdollisuuksia alan kehittämiseksi.

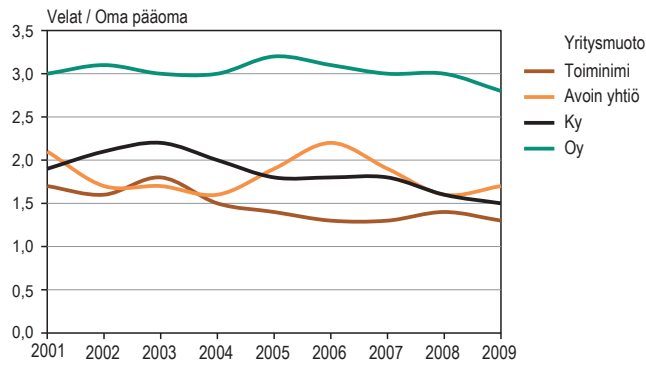
## Toiminnan rahoitus

Metsäkoneyrittämiselle on tyypillistä, että palkkakulut ovat suurin kustannuserä, runsas kolmasosa kokonaiskustannuksista (Metsäalan konekustannusindeksi 2011). Toiseksi suurin kulu hakkuukoneyrittämisessä on rahoituskustannukset, jotka ovat 20–25 % kokonaiskustannuksista. Kuormatraktoriyrittämisessä polttoaineiden sekä huolto- ja korjauskulujen osuus ylittää niukasti rahoituskustannukset. Viidestä seitsemään prosenttia kuluista menee koneiden siirtoon. Loput ovat muita, pääosin hallintokuluja.

Koneyritysten velka-aste, joka on velan suhde liikevaihtoon, on ollut samalla tasolla koko tarkastelujakson ajan (kuva 18.4). Yritystutkimusneuvottelukunnan (Yritystutkimuksen tilinpäätösanalyysi 2009) luokituksen mukaan 40–80 % velka-aste on tyydyttävä.



Kuva 18.4. Velka-aste (velka/liikevaihto, %) yritysmuodoittain 2001–2009.

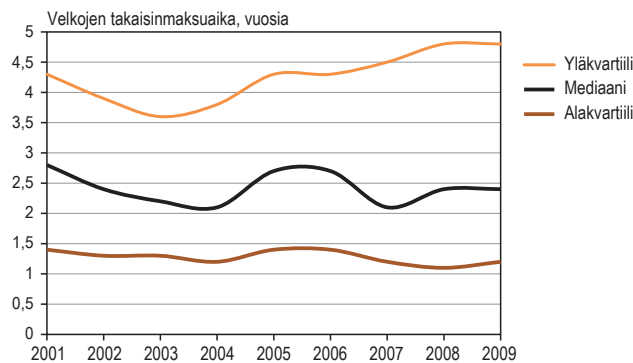


Kuva 18.5. Velkojen suhde omaan pääomaan yritysmuodoittain 2001 – 2009.

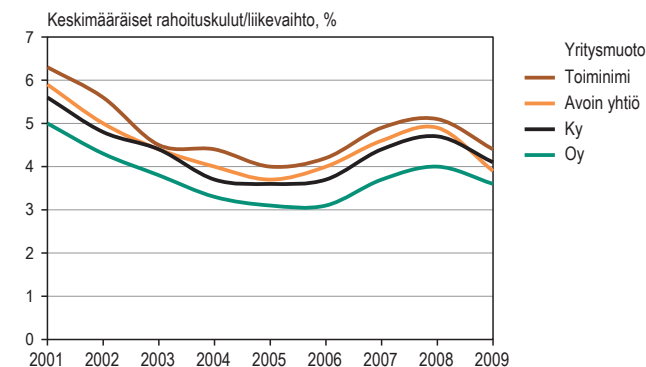
Osakeyhtiöiden paremmasta kyvystä hankkia velkarahoitusta kertoo suhdeluku velat per oma pääoma, jossa osakeyhtiöiden velat suhteessa omaan pääomaan ovat selvästi suuremmat kuin muilla yhtiömuodoilla (kuva 18.5).

Kolmas tapa tarkastella velan määrää on suhteuttaa se kannattavuuteen. Tämä voidaan tehdä tarkastelemalla velan teoreettista takaisinmaksuaikaa, jossa velkojen määrä jaetaan rahoitustuloksella. Tämä tunnus on ollut mediaaniyrityksellä kahden ja kolmen vuoden välillä. Koneiden keskimääräinen käyttöikä yhdellä yrittäjällä on kolmesta viiteen vuoteen. Keskimääräinen teoreettinen takaisinmaksuaika tuntuu kohtuulliselta suhteutettuna koneiden käyttöikään.

Rahoittajat pitävät osakeyhtiöitä vähemmän riskillisinä kuin muiden yhtiömuotojen yrityksiä, koska ne ovat koko tutkimuskauden ajan saaneet rahoitusta pienemmillä keskimääräisillä rahoituskuluilla (kuva 18.7). Yleinen talustilanne näkyy myös rahoituskulutason vaihtelussa.



Kuva 18.6. Velan takaisinmaksuaika yritysmuodoittain 2001–2009.



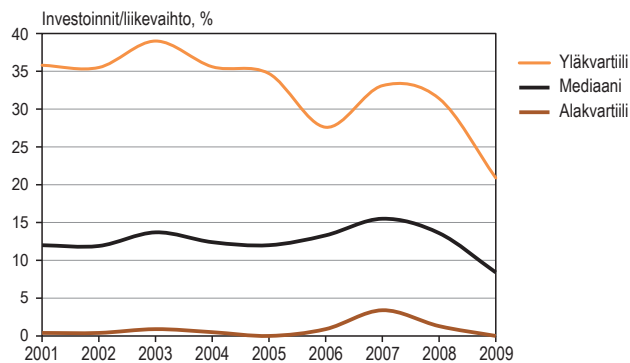
Kuva 18.7. Keskimääräiset rahoituskulut yritysmuodoittain 2001–2009.

Rahoituksen riittävyyttä kuvaa muun muassa suhdeluku Quick ratio, jonka mukaan metsäkoneyritykset ovat tyydyttävällä tasolla (Yritystutkimuksen tilinpäätösanalyysi 2009).

## Investoinnit

Pääomakulujen osuus on vajaa kolmasosa kokonaiskustannuksista (Metsäalan konekustannusindeksi 2011). Hakkuukoneet ja pääosin kuormatraktorin ovat erikoiskoneita, joille ei ole muuta työtä tarjolla, jos hakkuut eivät ole käynnissä. Koneen vanhetessa korjaus- ja huoltokulut saattavat nousta merkittävästikin pääomakulujen toisaalta pienentyessä. Pienessä yrityksessä ainoan koneen oikea-aikainen vaihto on merkittävä asia. Investointien onnistunut suorittaminen on siis hyvin tärkeää. Pienimmillä yrityksillä (kuvassa 18.8 alakvartiili) investoinnit ovat lähes olemattomat, ainoastaan ennätyskorjuuvuosi 2007 erottuu investointiaktiivisena. Ylimmän neljänneksen yritykset investoivat kolmasosan liikevaihdostaan, mutta sekä romahti vuoden 2007 jälkeen.

Kaikille edellä esitellyille tunnusluvuille oli tyypillistä suuri vaihtelu yritysten välillä, kuten esimerkiksi kuvista 18.6 ja 18.8 voi nähdä. Osakeyhtiöt ovat keskimäärin muita suurempia ja ymmärrettävästi niiden on pitänyt jo vakiinnuttaa asemansa. Näin ollen monet niiden tunnusluvuista ovat parempia kuin muilla yhtiömuodoilla, mutta toisaalta joillain yksittäisillä toiminimillä saattoi esimerkiksi nettotulos olla paljon osakeyhtiötä suurempi. Ja päinvastoin, oli olemassa hyvinkin tappiollisia toiminimiä.



Kuva 18.8. Investoinnit suhteessa liikevaihtoon 2001–2009.

### 18.3.3 Palveluvalikoiman laajentaminen

Väätäinen ym. (2008), Väätäinen & Pietikäinen (2010) ja Friman (2009) tekivät optimointilaskelmia metsäkoneiden siirron erilaisista toteutusvaihtoehdoista. Koneyrityksen kuluista enimmäkseen kymmenesosa saattaa mennä koneiden siirtoihin. Suurin osa yrityksistä omistaa itse siirtotoukon, jolla yrittäjä tai kuljettajat siirtävät kaluston. Pienissä yrityksissä siirtokalusto jää vähälle käytölle, joten sen yksikkökustannukset ovat kalliit. Yhtä siirtotoukkoa kohti korjatun puumäärän kasvaessa nelinkertaiseksi siirtokustannus putoaa lähes puoleen. Useita yrittäjiä palvelevan erillisen siirtoyrittäjän kannattaa hankkia ajanmukainen siirtokalusto. Ongelmaksi saattaa nousta sopivan kapasiteetin löytäminen, välillä voi käydä niin, että kaikki yrittäjät haluavat siirtää koneitaan samaan aikaan. Alueellisia eroja on myös, etelän kasvukeskuksissa on ulkopuolista siirtokalustoa saatavilla rakennustöiden ym. tarpeiden vuoksi, mutta korpiseuduilla ei siirtokalustolle ole muuta käyttöä, joten palvelujakaan ei ole tarjolla. Useita yrittäjiä palveleville siirtoyrittäjille on laadittu ohjelmistoja siirtojen ja odotusaikojen optimoimiseksi.

Moni yrittäjä tarjoaa kesällä maanmuokkauspalveluja, jossa tosin usein käytetään puunkorjuusta pois jäänyttä kalustoa. Laman jälkeen lähes kaikille metsäkoneyrittäjille on tarjottu energiapuun korjuuta leivän leventämiseksi. Energiapuun korjuussakin tarvitaan uutena vähintään joukkokäsittelykoura. Hakkuutähteiden kuljetus onnistuu normaalilla kuormatraktorilla.

Haastateltujen yrittäjien joukosta viidesosa teki muutakin kuin ainespuun hakkuuta ja kuljetusta. Heidän keskimääräinen nettotuloksensa jäi muutaman prosenttiyksikön pienemmäksi kuin yrityksillä, jotka suorittivat ainoastaan ainespuun hakkuuta ja kuljetusta. Pienen yrittäjän kannattanee erikoistua vain yhteen tehtävään, mutta suuremmilla yrittäjillä voi olla joku ketju energiapuun ja joku ainespuun korjuussa. Yrittäjän kannattaa tarkasti harkita, mitä palveluja tarjoaa, sillä palvelualikoiman laajentaminen ei sinällään näytä tarjoavan parempaa tulosta.

### **18.3.4 Yrittäjien vahvuudet ja heikkoudet**

Haastatellut yrittäjät kokivat yleisimmin vahvuudekseen hyvän ammattitaidon ja työnjäljen metsässä. Ammattitaitoinen ja sitoutunut työvoima oli merkittävä etu. Pahimpina ongelmina yrittäjät näkivät työmäärien liian suuren vaihtelun, joka johtaa monenlaisiin henkilökunta-, kalusto- ja rahoitusongelmiin. Varsinkin suuremmat yritykset kokivat ongelmaksi ammattitaitoisen henkilökunnan saamisen ja säilyttämisen, jota ei ainakaan helpota heikko taloudellinen tulos.

## **18.4 Tulosten tarkastelu**

### **18.4.1 Talous, talous, talous**

Puunkorjuu toimii tehokkaasti, sen reaalikustannukset ovat edellisen laman jälkeen (1993–2008) nousseet vasta parin viime vuoden aikana ollen nyt vain pari prosenttia alkua korkeammalla. Vastaavana aikana ovat mm. puutuoteteollisuuden ja sellu- ja paperiteollisuuden reaali-kustannukset nousseet parikymmentä prosenttia. Tehtävässä on auttanut erityisesti kauden alussa koneiden tekniikan ja myöhemmin mittalaitteiden ja automatiikan kehitys (Penttinen ym. 2006). Korjuupalvelujen ostajien organisaatiomuutokset ja yrittäjien oman toiminnan kehittäminen ovat tuottaneet siis hyvää tulosta. Kansainvälisessä innovointitutkimuksessa (Bouriaud ym. 2011) ei puunkorjuussa Pohjoismaiden osalta löytynyt suuria kehittämismahdollisuuksia ilman melkoisia teknologiahyppyjä esimerkiksi automaation ja konenäön kohdalla. Keski-Euroopassa pystyttiin vielä tehostamaan toimintaa Pohjoismaissa jo käytettyjen menetelmien käyttöönotolla.

Yrityskentällä pienten yritysten määrä vähenee ja suurimpien määrä kasvaa. Alalle on tulossa myös uusia verkottumisen muotoja, kuten pienten yrittäjien yhteisesti omistamat yritykset, jotka tekevät korjuusopimuksen asiakkaan kanssa. Yritysten kokonaismäärän selvittäminen on hyvin vaikeaa. Metsäkoneyritykset tekevät harvoin konkurseja, jotka voitaisiin tilastoista löytää. Toiminta vain loppuu, rahoittajat vievät koneet ja velat jäävät yrittäjien maksettavaksi.

Taloudellinen tulos on ollut keskimäärin hillitty ja se on heikentynyt koko ajan vuosia 2003 ja 2007 lukuun ottamatta (Penttinen ym. 2011). Investoinnit olivat samoina vuosina korkealla, mutta niidenkin taso on säilynyt ennallaan tai vähentynyt tarkastelujaksolla. Selvästi positiivisena piirteenä on havaittavissa rahoituskulujen väheneminen. Ne olivat alimmillaan vuonna 2005 ja sitten taas laskussa vuonna 2009. Tunnusluvuille on kuitenkin tyypillistä, että niiden vaihtelu on hyvin suurta erityisesti pienemmillä yrityksillä ja toiminimi -yritysmuodolla. Kehittyneemmällä yritysmuodoilla

vaihtelu pienenee ehkä ammattimaisemman otteen johdosta. Toisaalta näistä yrityksistä ei myöskään löydy huippukannattavia yrityksiä.

Yrittäjät näkivät itse alan ongelmana liian suuren kapasiteettivaihtelun sekä kohoavat kustannukset. Voimavaroja tarjosivat hyvä ammattitaito ja työnjälki, joiden he katsoivat takaavan tulevaisuudessakin työtä.

Brännbäck ym. (2009) havaitsivat biotekniikan alalla saman kuin Soirinsuo ja Mäkinen (2009, 2010a ja b) metsäkone ja -kuljetusaloilla, että kasvu ei sinällään paranna kannattavuutta. Menestyvät yritykset kasvavat menestyvästi monin eri keinoin. Menestyneet yrittäjät olivat innovatiivisia ja proaktiivisia, jolloin he pystyivät löytämään ne tärkeät toimintaan vaikuttavat tekijät. Useat menestyvästi kasvaneet yritykset ovat osanneet myös ulkoistaa tehtäviä.

### 18.4.2 Tilanne elää koko ajan

Tutkimusajanjaksolle sattui ”sopivasti” ennätysvuoden korjuun vuosi sekä pari lamavuotta. Toimialan rakennemuutos on jatkunut koko ajan. Yrittäjän tai parin yritykset ovat vähentyneet ja osakeyhtiönä toimivien useamman koneketjun yritysten osuus on kasvanut. Sukupolvenvaihdosten myötä yrityksiä on lopettanut, siirtynyt osaksi toista yritystä ja tapauksissa, joissa nuori sukupolvi on päättänyt jatkaa, uusilla yrittäjillä on usein entistä parempi osaaminen yrittämisessä.

Työmäärä on kulmakivi, joka vaikuttaa moneen asiaan (Rummukainen & Leppänen 2010). Korjuusopimukseen kirjataan perushankintamäärä, jolle hinta sovitaan. Jos hankintamäärä jääkin sopimusta pienemmäksi työn puuttumisesta ja vajaalle osalle tulleesta liian vähäisestä korvauksesta on yrittäjän vastuulla. Ainoastaan Metsähallituksen sopimuksissa on tietty minimikorvaus työmäärän jäädessä sopimusta pienemmäksi. Korjuukauden sisälläkin ”luontainen” vuotuinen vuoden kierrosta johtuva korjuumäärävaihtelu on kolmasosa keskimääräisestä korjuumäärästä. Puunhankintaketjut ovat niin suoria, että lopputuotteen ostojen vähetessä vähenee myös puunkorjuu. Siihen ei yrittäjä voi vaikuttaa.

Yritysten tulee siis pystyä huolehtimaan kapasiteetin tarjolla olosta melkoisen vaikeissa oloissa. Näihin varautuminen vaatisi luonnollisesti riittävän hyvän tuloksen, jolla voitaisiin kerätä reserviä huonoja aikoja varten. Nykyisillä tyydyttävillä tuloksilla ja oman pääoman pienellä osuudella tavoitteet ovat vaikeasti saavutettavia. Toinen mahdollisuus on pitää konekaluston pääomat pieninä ja hankkia henkilökuntaa, joka voi tarvittaessa olla muissa tehtävissä. Pienissä yrityksissä yrittäjä voi itse venyttää työaikojaan, mutta monen ketjun yrityksissä ylitöiden teettäminen tai lomautukset tulevat suhteessa kalliimmiksi. Kalustopääomien pienenä pitäminen ei ole myöskään helppoa koneiden ja mittaus- ja tietojärjestelmien kehittyessä. Työmäärien lyhyt- ja pitkäaikaisen vaihtelun hallinta on siis ongelma, johon tulisi löytää uusia ratkaisuja.

### 18.4.3 Jatkotutkimusehdotuksia

Metsäkonealan sopimukset ovat laman jälkeen enenevästi perustuneet tarjouskilpailuihin. Tarjoukset on tehty aikaisempaa suuremmille työyksiköille, jonka seurauksena osan yrityksistä tai yhteistyöyksiköistä on kasvettava nykyisestä. Mikä mahdollisuus kasvavilla yrityksillä on kannattavaan toimintaan?

Tilastokeskuksen aineisto on laajin saatavilla oleva, mutta yrityskohtaisen seurannan toteuttaminen tässä aineistossa ei ole mahdollista. Pääsyy on yritysten tietosuojan, osin myös tietopuutteet. Itse

valituista yrityksistä voi maksullisesti kerätä yrityskohtaista tietoa ePortti -tietokannasta (2011). Siinä työmäärä ja kustannukset rajoittavat kerättävän aineiston kokoa ja erityisesti pienten yritysten aineistot ovat puutteellisia. Soirinsuo ja Mäkinen (2009, 2010a ja 2010b) keräsivät yrityksiltä itseltään seurantatiedot parille kymmenelle yritykselle, joka mahdollisti myös menestystekijöiden selvittämisen. Tällä tavoin tulisi jatkaa yritysten kasvumahdollisuuksien ja menestystekijöiden selvittämistä.

Toiminnan kannattavuus vaatii yrittäjältä entistä enemmän taloudellista osaamista sekä johtamistaitoa päteväen henkilökunnan säilyttämiseksi. Tarjouskilpailuihin perustuva asiakkaiden hankinta edellyttää tarkkaa tietoa yrityksen taloudellisesta tilasta ja sen mahdollisuuksista tulevaisuudessa. Talouden tunteminen on edellytyksenä myös mahdollisille laajentamispyrkimyksille.

Tällä hetkellä koneyrittäjien asiakkailta on usein yrittäjää tarkempi tieto yrittäjän toimintaoloista ja työsaavutuksista, koska tiedot kerätään asiakkaan omistamalla mittaus-, tiedonsiirto- ja katkonnan optimointilaitteistolla. Useimmissa tapauksissa asiakas maksaa yrittäjälle edellä mainittuihin tietoihin perustuen tilitykset suoritetusta työstä. Aidossa yrittämisessä yrittäjä laskuttaa itse suorituksistaan. Yrittäjiä varten on olemassa kaupallisia ohjelmistoja laskutusta, toiminnan tehokkuuden seuraamista ja tarjouslaskentaa varten. Nykyisiin ohjelmiin joudutaan syöttämään suuri osa tiedoista käsin, jolloin työ jää tekemättä ja toimintaa ohjataan perinteisillä vanhojen tietojen muutosoletuksilla. Yritysten edelleen kasvaessa yrittäjille olisi hyödyllinen ohjelmisto, joka keräisi toimintatiedot koneiden mittausyksiköistä ja yhdistäisi ne taloushallintoohjelmaan. Näin yrittäjä voisi seurata taloudellista tilannettaan lähes reaaliajassa ja hänellä olisi tosiasioihin perustuva tieto tarjous-, investointi- ja laajentamislaskelmiaan varten.

## Kirjallisuus

- Bouriaud, L., Kastenholz, E., Fodrek, L., Karaszewski, Z., Mederski, P., Rimmler, T., Rummukainen, A., Sadauskiene, L., Salka, J. & Teder, M. 2011. Policy and market-related factors for innovation in forest operations enterprises. In: Weiss, G., Pettenella, D., Ollonqvist, P. & Slee, B. (eds.). *Innovation in Forestry - Territorial and Value Chain Relationships*. CAB International, Wallingford, UK. 276-293.
- Brännbäck, M., Carsrud, A., Renko, M., Östermark, R., Aaltonen, J. & Kiviluoto, J. 2009. Growth and Profitability in Small Privately Held Biotech Firms: Preliminary Findings. College of Business Administration, Research Paper Series 9-11: 1-20.  
Saatavilla (tarkastettu 13.12.2011): <http://ssm.com/abstract=1412424>
- ePortti-tietokanta 2011. Maksullinen yritystietokanta. Yhteystieto (tarkastettu 13.12.2011): <https://eportti.kauppalehti.fi/1/yritykset/>
- Friman, J.-M. 2009. Metsäkoneiden siirtojen toteutustavat ja kustannukset - otos Keski-Suomen ja Savon korjuuyrittäjistä. Kandidaatintyö, Joensuun yliopisto, Metsätieteellinen tiedekunta, Joensuu. 24 s.
- Metsäalan konekustannusindeksi 2011. Tilastokeskus. Maksullinen aineisto. Yhteystieto (tarkastettu 7.12.2011): <http://tilastokeskus.fi/til/index.html>
- Mäkinen, P. 1988. Metsäkoneurakoitsija yrittäjänä. *Folia Forestalia* 717. 37 s.
- Mäkinen, P. 1993. Metsäkoneyrittämisen menestystekijät. *Folia Forestalia* 818. 23 s.
- Mäntynen, N. 2009. Kausiluonteisen puunkorjuu-urakoinnin kannattavuus monialaisilla maatiloilla. Pro Gradu -tutkielma MMM tutkintoa varten. Helsingin yliopisto, Metsäekonomian laitos. 86 s.
- Penttinen, M., Rummukainen, A. & Tikakoski, S. 2006. Fading of mechanical productivity enchants the need of new business models. In: Malmberg, P. (ed.). *EPC 2006, European Productivity Conference, Finland, 30 August - 1 September, 2006. Scientific Proceedings*. 2-6.

- Penttinen, M., Mikkola, J. & Rummukainen, A. 2009 a. Profitability of wood harvesting enterprises. Metlan työraportteja/Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 126. 40 s.
- Penttinen, M., Rummukainen, A., Leppänen, J. & Mikkola, J. 2009 b. Kuinka paljon koneyrittäjiä oikein on? Koneyrittäjä 1: 14-15.
- Penttinen, M., Rummukainen, A. & Mikkola, J. 2011. Profitability, liquidity and solvency of wood harvesting contractors in Finland. *Small-scale Forestry* 10(2): 211-229.
- Rummukainen, A. & Leppänen, J. 2010. Puunkorjuuyrittämisen ongelma ja vahvuus on kausiluontoisuus. *Teho* 1: 18-20.
- Soirinsuo, J. & Mäkinen, P. 2009. Kannattavan kasvun avaimet metsäkonealalla. TTS tutkimuksen tiedote. *Yritystoiminta* 727. 4 s.
- Soirinsuo, J. & Mäkinen, P. 2010 a. Kannattava kasvu ei ole päämäärätöntä. TTS tutkimuksen tiedote. *Luonnonvara-ala: Metsä* 739. 4 s.
- Soirinsuo, J. & Mäkinen, P. 2010 b. Puunkorjuuyritysten kasvussa tavoitteella on merkitystä. TTS tutkimuksen tiedote. *Luonnonvara-ala: Metsä*. TTS Tutkimus, 4 s.
- Tilastokeskus 2011. Tilastokeskus. Yritysaineistot. Aineistot maksullisia. Yhteystieto (tarkastettu 7.12.2011): <http://tilastokeskus.fi/til/index.html>
- Trafi 2011. Liikenteen turvallisuusvirasto Ajoneuvorekisteri. Yhteystieto (tarkastettu 7.12.2011): <http://www.ake.fi/AKE/Rekisterointi/>
- Väkevä, J. & Imponen, V. 2001. Puutavaran korjuu- ja kuljetusyritysten kannattavuus vuosina 1995-2000. *Metsätehon raportti* 125. 67 s. Saatavilla (tarkastettu 7.12.2011): [www.metsateho.fi/uploads/kvv86.pdf](http://www.metsateho.fi/uploads/kvv86.pdf)
- Väätäinen, K., Lappalainen, M., Asikainen, A. & Anttila, P. 2008. Kohti kustannustehokkaampaa puunkorjuuta - puunkorjuuyrittäjän uusien toimintamallien simulointi. Metlan työraportteja 73. 52 s.
- Väätäinen, K. & Pietikäinen, P. 2010. Uusilla toimintamalleilla voidaan säästää konesiirroissa pitkä sentti. *Koneyrittäjä* 9: 12-13.
- Yritystutkimuksen tilinpäätösanalyysi 2009. Yritystutkimusneuvottelukunta. Gaudeamus Helsinki University Press. 110 s.

Metlan työraportteja 289: 164–169

## 19 Energiapuumarkkinoiden hintatilastoinnin kehittäminen

Perttu Anttila, Antti Mutanen ja Piia Kurki

### Tiivistelmä

Metla toteutti Maa- ja metsätalousministeriön rahoituksella esiselvityksen energiapuumarkkinoiden tilastoinnin kehittämisestä. Hankkeen tavoitteena oli kartoittaa energiapuukaupassa vallitsevat käytännöt ja mahdollisuudet energiapuun toimitusketjun alussa tapahtuvan kaupan hinta- ja määrätalastoinnin järjestämiseen. Esiselvitys toteutettiin valtakunnallisena Internet-kyselynä, jota edelsivät merkittävimpien toimijoiden teemahaastattelut Itä-Suomessa. Kyselyyn vastasi yhteensä 583 henkilöä, jolloin vastausprosentiksi muodostui 39. Vastaajat katsoivat, että hintatietojen saatavuus ei nykyisellään ole hyvä, ja että energiapuukaupan tilastoinnille on tarvetta. Vastaajat suhtautuvat energiapuukauppätietojen luovuttamiseen tilastointitarkoituksiin pääasiassa myönteisesti ja halusivat eniten tietoa energiapuun hinnoista energiapuutavaralajeittain sekä metsäpäässä että käyttöpaikalla. Sopivin aluejako energiapuukaupan tilastoinnissa olisi joko metsäkeskusten mukainen aluejako tai sama aluejako kuin ainespuukaupan tilastoissa. Sopivin aikajänne energiapuukaupan tilastojen esittämiseen olisi vastaajien mielestä joko neljännesvuosittain tai kuukausittain. Ainespuukaupasta tuttua yksikköä €/kiintokuutiometri pidetään helposti ymmärrettävänä maksuperusteena ja tilastoinnin yksikkönä.

### Abstract

A pre-feasibility study on compiling statistics on energy wood sales was carried out. The aim was to get an overview of energy wood markets and to find out the possibilities to establish statistics on prices and volumes of energy wood at the roadside. Based on interviews with subjectively selected experts an Internet survey was made. Altogether 583 persons participated the survey (response rate 39%). The respondents found the present availability of price statistics insufficient and saw that there is a demand for statistics on energy wood sales. Their attitude towards giving information on their own sales for statistical purposes was mainly positive. According to the respondents the most interesting information from statistics would be the prices of energy wood by assortment both at the roadside and at the energy plant. Furthermore, the best spatial aggregation would be the one based on forest centres or the same as with roundwood statistics, and the best temporal aggregation the one based on quarters of a year or monthly statistics. The most feasible unit for the price statistics would be € per solid cubic meter.

## 19.1 Johdanto

Energiapuumarkkinat ovat ainespuukauppaan verrattuna nuoret ja käytännöt vielä suurelta osin vakiintumatta. Markkinoilla liikkuu monenlaista energiapuuta, ja toimijoita on tullut lisää perinteisten ainespuukaupan osapuolien lisäksi. Myös energiapuun hankintatavat ja käytetyt mittayksiköt vaihtelevat. Markkinoiden kirjavuus on ollut osasyynä siihen, ettei riittävän monipuolista ja kattavaa markkinaseurainta, ts. tilastoa energiapuun hinnoista ja määristä, ole toteutettu. Tällä hetkellä energiapuun käyttömääristä ja laitoshinnoista on jo saatavilla tietoa, mutta metsäpään korjuumääristä sekä kanto- tai hankintahinnoista ei ole kattavaa ja julkista tilastoa. Energiapuumarkkinoiden toimivuuden kannalta erityisesti hintainformaatio on kuitenkin olennaista.

Metla toteutti Maa- ja metsätalousministeriön rahoituksella esiselvityksen nimeltä ”Energiapuumarkkinoiden hintatilastoinnin kehittäminen”. Hankkeen tavoitteena oli kartoittaa energiapuukaupassa vallitsevat käytännöt ja mahdollisuudet energiapuun toimitusketjun alussa, metsäpäässä, tapahtuvan kaupan hinta- ja määrätalastoinnin järjestämiseen. Selvityksen kohteena olivat muun muassa käytössä olevat mittayksiköt, mittaus- ja maksutavat sekä kauppamuodot. Lisäksi tiedusteltiin toimijoiden tietotarpeita sekä halukkuutta ja kykyä toimittaa tietoja tilastointitarkoituksiin. Toimintatapoja ja tilastointitarpeita kartoittanut esiselvitys toteutettiin valtakunnallisena Internet-kyselynä, jota edelsivät merkittävimpien toimijoiden teemahaastattelut Itä-Suomessa. Selvityksen pohjalta annetaan esitys, millaista tilastotietoa toimijat tarvitsevat, onko julkisen, kattavan energiapuumarkkinatilaston luominen vaaditulla tarkkuustasolla mahdollista ja millaisia toimia tilastoinnin järjestäminen vaatisi.

Keskeisiä tutkimuskysymyksiä olivat muun muassa:

- Mitä energiapuun käytännön toimijoiden mielestä on ja tuleeko se jakaa alalajeiksi?
- Vallitsevat käytännöt (etenkin määräyksiköt ja korvaustavat) harvennuksilta tulevan energiapuun sekä hakkuutähteiden ja kantojen kaupassa?
- Kuinka mitataan, mihin tarkoitukseen ja mitkä ovat käytetyt mittayksiköt?
- Keitä ovat merkittävimmät toimijat (myyjät, ostajat/välittäjät, loppukäyttäjät)?
- Hankinta- ja toimialueet: kuinka alueelliset energiapuumarkkinat ovat?
- Kuinka hyvin energiapuun hintatietoja on nykyisin saatavilla?
- Onko energiapuusta kilpailua?
- Millaisia tilastotietoja toimijat tarvitsisivat (yksiköt, aikajänne ja aluejako)?
- Millaisia tietoja toimijat pystyisivät luovuttamaan tilastointitarkoituksiin?
- Kuinka toimijat suhtautuvat tietojen luovuttamiseen?

## 19.2 Aineisto ja menetelmät

Hanke alkoi toukokuussa 2011, jolloin tunnistettiin tärkeimmät markkinatoimijat ja valittiin haastateltavat energiapuun hankintaketjun eri vaiheista ja luotiin haastatteluja varten kysymyslomakkeet. Haastattelujen tarkoituksena oli selvittää alan toimintaa ja käytäntöjä ja toimia pohjana valtakunnallisen Internet-kyselyn laadinnassa. Haastateltavat jaettiin neljään eri ryhmään heidän toimintansa perusteella energiapuun hankintaketjussa ja energiapuumarkkinoilla: 1) energiapuun myyjät, 2) energiapuun ensijalostajat ja välittäjät, 3) energiapuun loppukäyttäjät sekä 4) energiapuumarkkinoiden asiantuntijat. Kesäkuussa suoritettiin puolistrukturoidut haastattelut ja laadittiin niistä yhteenveto. Haastatteluja tehtiin 11. Haastatelluista kaksi edusti energiapuun myyjiä,

5 energiapuun ensijalostajia ja välittäjiä, 1 loppukäyttäjää ja 3 asiantuntijoita. Haastateltavista 8 oli paikallisia toimijoita Pohjois-Karjalasta ja kolme valtakunnallista toimijaa. Haastattelut suoritettiin joko kasvotusten henkilön kanssa tai puhelimen välityksellä.

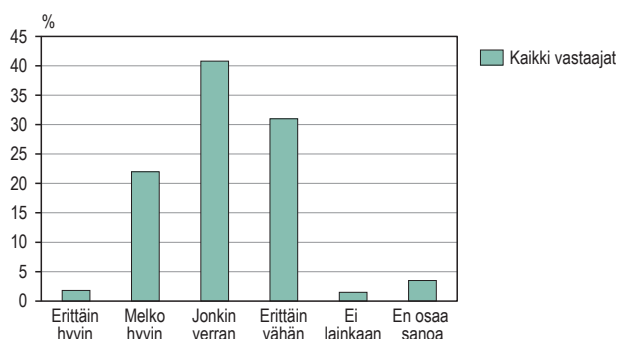
Haastattelujen pohjalta laadittiin kysymyslomakkeet valtakunnallista kyselyä varten. Myös valtakunnallisessa kyselyssä neljälle eri vastaajaryhmälle laadittiin omat kysymyslomakkeet. Kysymyslomakkeet laadittiin sekä suomeksi että ruotsiksi. Kysely toteutettiin syyskuussa suljetuna Internet-kyselynä ja kyselyn otos eli potentiaalisten vastaajien yhteystiedot poimittiin pääsääntöisesti julkisista lähteistä.

### 19.3 Tulokset ja tulosten tarkastelu

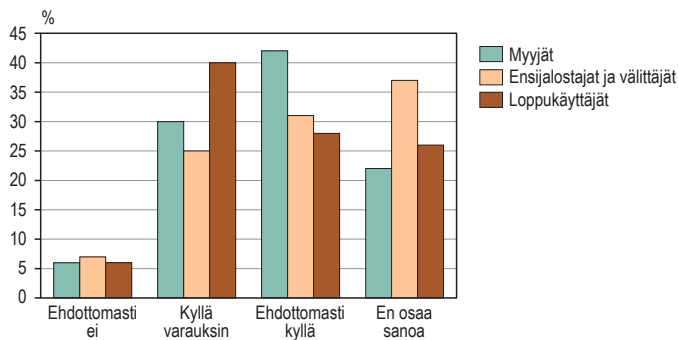
Kyselyyn vastasi yhteensä 583 henkilöä, ja vastausprosentiksi muodostui 39. Vastaajista energiapuun myyjiä oli 319 (vastausprosentti oli 39). Energiapuun ensijalostajia ja välittäjiä oli vastaajista 84 (vastausprosentti 29). Energiapuun loppukäyttäjää oli 117 (vastausprosentti 46). Energiapuumarkkinoiden asiantuntijoita kyselyyn vastasi 63 (vastausprosentti 58). Kaiken kaikkiaan kyselyn vastausprosenttia voidaan kyselyn toteutustavan huomioiden pitää hyvänä ja tuloksia siten edustavina.

Yli 70 % kaikista vastaajista koki, että energiapuun hintatietoja on saatavilla vain jonkin verran tai tätäkin vähemmän (kuva 19.1). Erityisen puutteelliseksi hintatietojen saatavuuden kokivat energiapuun myyjät sekä asiantuntijat. Vastaajaryhmistä loppukäyttäjät kokivat hintatietoja olevan parhaiten saatavilla, mutta heistäkin ilmoitti hintatietoja olevan saatavilla melko hyvin tai erittäin hyvin alle puolet osioon vastanneista. Hintatietojen puute vaikeuttaa siten olennaisesti markkinoilla toimijoiden päätöksentekoa.

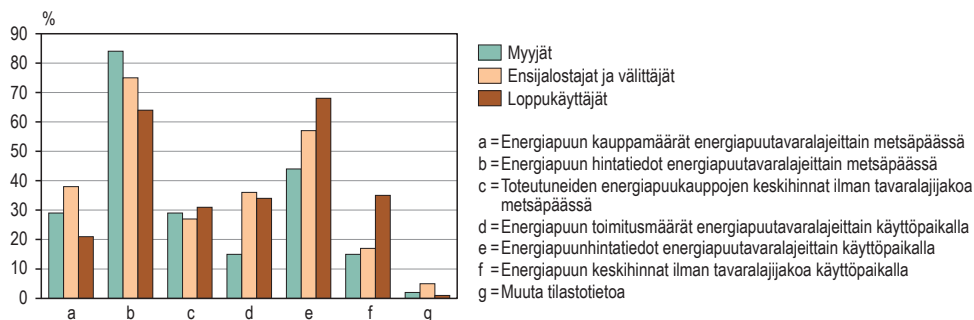
Kyselyyn vastanneista 95 prosenttia piti energiapuukaupan tilastointia tarpeellisena. Tilastoinnin koettiin lisäävän avoimuutta, helpottavan markkinoiden seuraamista sekä auttavan päätöksenteossa. Tilastointi nähtiin jopa edellytyksenä energiapuukaupan kehitykselle. Tilastointia tarpeettomana pitävien vastaajien mielestä vaihdettavat energiapuumäärät ovat edelleen pieniä ja tilastoinnista koitua hyöty on vähäinen. Lisäksi epäiltiin sitä, pystytäänkö hajanaisilta ja vakiintumattomilta markkinoilta keräämään kattavaa ja luotettavaa tilastoa.



Kuva 19.1. Energiapuun hintatietojen saatavuus vastaajien mielestä.



**Kuva 19.2.** Vastaajien suhtautuminen tietojen luovuttamiseen vastaajaryhmittäin.

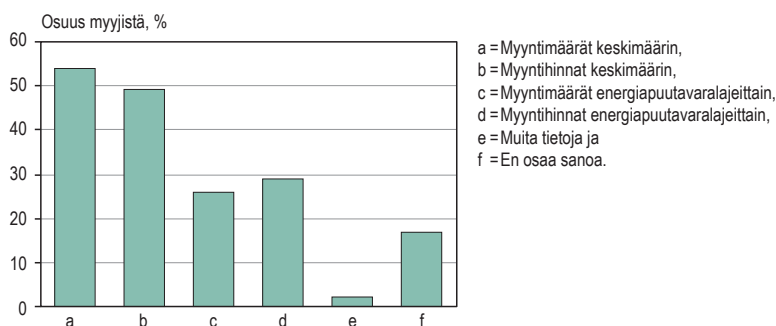


**Kuva 19.3.** Vastaajien näkemys tarvitsemastaan tilastotiedosta.

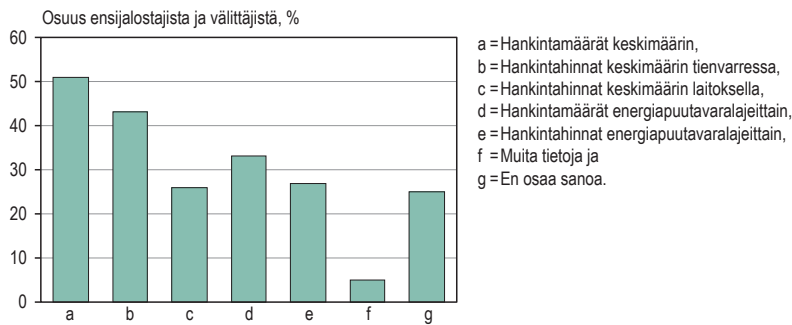
Vastaajat suhtautuivat energiapuukauppatietojen luovuttamiseen tilastointitarkoituksiin pääasiassa myönteisesti (kuva 19.2). Varauksina vastaajat mainitsivat kerättyjen tietojen ehdottoman luottamuksellisuuden, riittävän suuren otoskoon tilaston kattavuuden varmistamiseksi sekä tilastotietojen kerääjän ja ylläpitäjän riippumattomuuden.

Vastaajat tarvitsivat eniten tietoa energiapuun hinnoista energiapuutavaralajeittain sekä metsäpäässä että käyttöpaikalla (kuva 19.3). Metsäpäässä energiapuukaupoista ei tällä hetkellä ole kattavaa ja julkista tilastotietoa saatavilla.

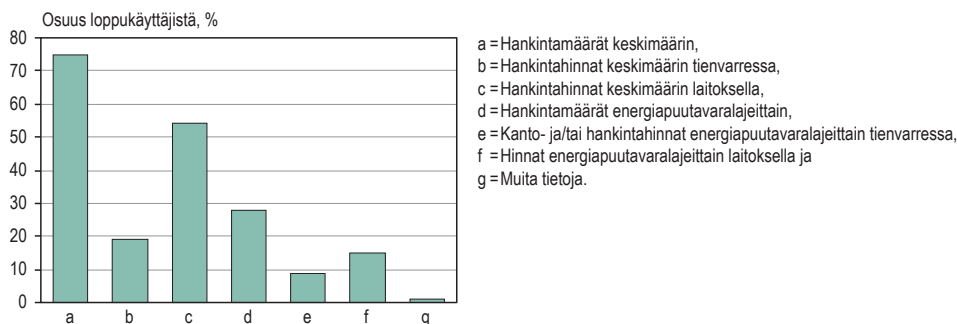
Kuvissa 19.4, 19.5 ja 19.6 on esitetty tiedot, joita vastaajat pystyisivät luovuttamaan tekemistään energiapuukaupoista vastaajaryhmittäin. Kaikissa vastaajaryhmissä suurempi osa vastaajista ilmoittaa pystyvänsä luovuttamaan keskimääräiset määrä- ja hintatiedot kuin energiapuutavaralajikohtaiset tiedot. Energiapuukauppojen tilastointi vastaajien enemmän tarvitsemien energiapuutavaralajikohtaisten tietojen mukaisesti näyttäisi kuitenkin olevan mahdollista.



**Kuva 19.4.** Mitä tietoja myyjät-osioon vastanneet pystyisivät luovuttamaan tekemistään energiapuukaupoista.



**Kuva 19.5.** Mitä tietoja ensijalostajat ja välittäjät-osioon vastanneet pystyivät luovuttamaan tekemistään energiapuukaupoista.

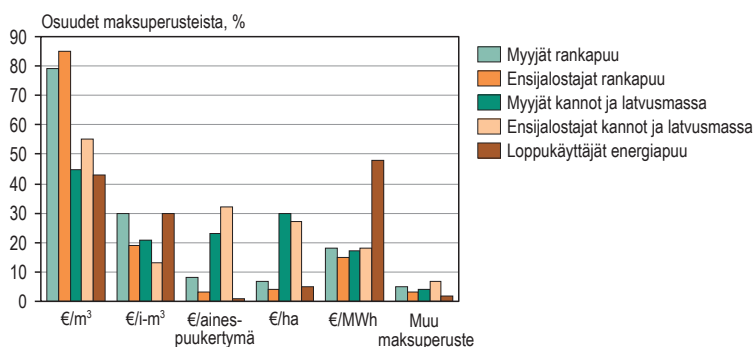


**Kuva 19.6.** Mitä tietoja loppukäyttäjät-osioon pystyivät luovuttamaan tekemistään energiapuukaupoista.

Kyselyyn vastanneista sopivin aluejako energiapuukaupan tilastoinnissa on joko metsäkeskusten mukainen aluejako tai sama aluejako kuin ainespuulla. Tilastoinnissa käytettävän aluejaon täytyy olla riittävän karkea, jotta yksittäisten toimijoiden tiedot eivät tule ilmi tilastosta. Toisaalta vastaajien mukaan energiapuun hintavaihtelut alueittain ovat suuria ja liian karkealla aluejaolla tilastotiedot eivät palvele käytännön toimijoita. Ainespuun tilastoinnissa käytettävä aluejako, joka käsittää 7 hinta-aluetta, on tuttu markkinoilla toimijoille ja voisi olla toimiva myös energiapuun osalta.

Sopivin aikajänne energiapuukaupan tilastoinnin esittämiseen vastaajien mielestä on joko neljännesvuosittain tai kuukausittain. Aluejaon tapaan tilastoinnissa käytettävän aikajänteen täytyy olla riittävän karkea, jotta yksittäisten toimijoiden tiedot eivät tule ilmi tilastosta.

Energiapuusta metsänomistajalle korvausta maksettaessa käytetään lukuisia maksuperusteita (kuva 19.7). Rankapuusta yleisimmin käytetty maksuperuste on €/kiintokuutiometri. Toiseksi



**Kuva 19.7.** Maksuperusteet, joita on eri toimijoiden vastausten perusteella käytetty maksettaessa korvaus rankapuusta, kannoista ja latvusmassasta metsänomistajille.

yleisin maksuperuste on €/irtokuutiometri. Latvusmassasta ja kannoista käytetään yleisesti viittä eri maksuperustetta: €/kiintokuutiometri, €/irtokuutiometri, €/ainespuukertymä, €/hehtaari ja €/megawattitunti. Loppukäyttäjät, jotka ostavat energiapuuta suoraan metsänomistajilta, maksavat korvauksen energiapuusta pääasiassa joko megawattituntien, kiintokuutiometriä tai irtokuutiometriä perusteella. Ainespuukaupasta tuttua kiintokuutiometriä pidetään helposti ymmärrettävänä maksuperusteena.

Toteutetun esiselvityksen perusteella energiapuukaupan tilastointi koetaan erittäin tarpeelliseksi. Käytännön toteutus toivotulla tarkkuustasolla on kuitenkin hajanaisilla ja toiminnaltaan osittain vakiintumattomilla markkinoilla haasteellista. Vastausten perusteella energiapuumarkkinoiden tilastoinnin toteutettavuuteen voidaankin suhtautua varovaisen positiivisesti.

Metlan työraportteja 289: 170–179

## 20 Metsäbiomassan määrän ja laadun mittaus

Jari Lindblad, Miina Jahkonen, Juha Laitila, Harri Kilpeläinen, Seija Sirkiä ja Jaakko Repola

### Tiivistelmä

Energiapuun käyttömäärän lisääminen on asettanut vaatimuksia energiapuun mittauksen järjestämiselle ja mittausmenetelmien kehittämiseksi. Energiapuun mittausta ei toistaiseksi ole säädelty lailla ja mittaustoiminta on perustunut alan toimijoiden väliseen sopimukseen energiapuun mittauksen järjestämisestä. Toimijoiden yhteisesti hyväksymä ensimmäinen energiapuun mittausopas valmistui vuonna 2008.

Energiapuun painon mittaukseen perustuvat mittausmenetelmät muodostavat tärkeimmän mittauksen kehittämiskohteen. Energiapuun painon ja tilavuuden välisissä muunnoissa käytetään tavaralajikohtaisia tuoretiheyslukuja, joita on tutkittu ja kehitetty energiapuun mittausopasta varten. Energiapuun mittausoppaassa tuoretiheysluvut on jaoteltu tavaralajin, kosteusluokan sekä kuivumisajankohdan mukaan. Tuoretiheyslukujen käyttöä varten Metsäntutkimuslaitoksessa on laadittu EPPU –energiapuun mittauslaskuri.

Energiapuun kosteuden tunteminen hyödyttää painon mittaukseen perustuvan määrän mittauksen lisäksi energiapuun käyttöön ohjausta. Kosteus on energiapuun tärkeimpiä laatutekijöitä ja se vaikuttaa energiapuun teholliseen lämpöarvoon ja sitä kautta energiapuuerien kokonaisenergiäsältöön. METKA – hankkeessa tutkittiin varastointiajan sekä sääolosuhteiden vaikutuksia energiapuun kuivumiseen sekä laadittiin säätietojen avulla ennustemallit energiapuutavaralajien kosteudelle. Parhaana selittäjänä mallissa toimi potentiaalinen haihduntasumma. Mallinnuksessa on ongelmallista yli talven ajoittuvien varastojen kosteuden arvioiminen.

Energiapuun määrää mitataan usein myös hakkeen tilavuutena. Hakkeen tiiviyyteen vaikuttaa mm. palakoko. Hakkeen irtotilavuuden muuntamisessa kiintotilavuudeksi käytetään tällä hetkellä yhtä vakiintunutta muuntokerrointa. Hankkeessa tutkittiin hakkeen tiiviyyttä kahdella eri tavaralajilla. Hakkeen tiiviyyteen vaikuttavien lukuisten, muun muassa tavaralajista, hakkuri- ja kuljetuskalustosta ja kuormaustavasta, johtuvien tekijöiden tuloksia ei voida yleistää.

Biomassamalleilla pystytään tuottamaan runko- ja rungonosakohtaiset ennusteet kuiva-aineen määrästä. Lähtöarvoina biomassamalleissa käytetään puun rinnankorkeusläpimittaa ja pituutta, sekä tarvittaessa latvusrajaa. Hakkuukoneen mittauslaitteen ja manuaalisen mittauksen yhtäpitävyys oli hyvä rungon rinnankorkeusläpimitan ja pituuden mittauksessa. Hakkuukoneella mitattu rungon pituus oli hieman alempi kuin pystymitattu. Menetelmällä on käyttömahdollisuuksia biomassamalleihin perustuvassa energiapuun määrän arvioinnissa sekä puunhankinnan suunnittelussa.

### Abstract

Increasing volume of energywood supply has increased the need to organize and develop energy wood measurement. Currently energywood measuring is based on an agreement between energywood operators and no legislation concerning energywood measurement is available. The first guideline of energywood measurement accepted by the operators completed in 2008.

Energywood measurement is mainly based on energywood mass determination, which is also the main target for development. Green density factor studied and developed for energywood measurement guidelines are used when converting mass into volume. Green density factors are classified according to tree compartment, moisture class and drying season. An EPPU – energywood counting device has been developed in The Finnish Forest Research Institute.

Knowledge of energywood moisture is needed in mass based estimation and in energywood supply control. Moisture is one of the most significant quality factors and it affects the calorific intensity of forest biomass. The effects of storage period and weather conditions were examined in METKA –project and a model for energywood moisture was developed. A model with the potential evaporation sum had the best coefficient of determination. However, modelling during winter season was found difficult.

The quantity of energywood is often measured also by wood chip volume. Particle size, for example, affects the density of the chips. Currently, an established conversion factor is used to convert bulk volume to true/absolute volume. The density of bulk was examined with two tree compartments. Because many factors (e.g. tree compartment, chipper and transportation stock ) affect the density of chipped wood, the results can not be generalized.

Biomass functions produce dry matter estimations for different tree components. The initial data needed for the function are breast height diameter, height and the height of the living crown. The measurements done manually and by felling machine were equally good for both breast height diameter and height measurements. Height of the trunk was slightly lower when measured by felling machine than when measured on the stump. The method can be used in biomass model based energywood estimation and in timber supply planning.

## 20.1 Johdanto

Energiapuusta on tullut materiaalivirtojen lisääntymisen myötä merkittävä markkinatuote. Energiapuu on saavuttanut perinteisiin ainespuutavaralajeihin verrattavan aseman omana tavaramääränsä. Samalla esille on tullut osin vakiintumattomia ja toisaalta puutteellisesti toimivia puunhankinnan osa-alueita, jotka vaativat kehittämistä joustavan energiapuun hankinnan turvaamiseksi. Tällaisen kokonaisuuden energiapuun hankinnassa muodostaa energiapuun määrän ja laadun mittaus.

Ainespuun mittauksesta säädetään erityislainsäädännöllä, puutavaran mittauslailla. Energiapuu ei kuulu lain soveltamisalaan, eikä energiapuun mittaukselle ole toistaiseksi olemassa vastaavaa säädösperustaa. Energiapuun mittausta on leimannut toimintatapojen kirjavuus ja vakiintumattomuus, puutteellinen ja luotettavuudeltaan heikko, usein paikallisiin ja toimijakohtaisiin mittausohjeisiin ja –menetelmiin perustuva käytännön mittaustoiminta ja tutkimustiedon vähäisyys mittausten kehittämiseksi.

Energiapuun mittauksessa on tämän hankkeen kestoaikana – ja useissa kohdin sen ansiosta – saatu aikaan edistymistä mittauksen järjestämisen, organisoimisen sekä mittausten ohjeistamisen ja yhtenäistämisen suhteen. Käytännön mittaustoiminnassa on kuitenkin edelleen paljon haasteita. Karkeasti jakaen haasteet liittyvät 1) energiapuun mittauksen toimintatapojen vakiintumiseen käytännön toimintaan, 2) energiapuun mittausten kehittämättömyyteen, heikkokoon tarkkuuteen ja näistä johtuviin mittaeroihin sekä 3) oikeusturvakysymyksiin.

Käytännön energiapuun mittauksessa käytetään lukuisia mittausten menetelmiä tai määrän arviointimenetelmiä. Energiapuun luovutuksen perusteena saattaa olla ainespuun määrään perustuvaa määränarviota, kuormainvaakamittausta, pinomittausta tienvarressa tai hakkeena tai murskeena mittausta

kaukokuljetuksen yhteydessä. Käyttöpaikoilla tehtävät mittaukset, mukaan lukien kosteuden, lämpöarvon ja energiasisällön määrittäykset, voidaan tehdä näitä koskevien standardien perusteella.

Oleellinen haaste energiapuun mittauksessa on raaka-aineen monimuotoisuus ja siten sen heikko mitattavuus. Lisäksi raaka-aineen verraten vähäinen arvo edellyttää alhaisia mittauskustannuksia. Energiapuun massan mittaus ja siihen perustuvat menetelmät ovat perusteltuja mittauksen objektiivisuuden ja toteutettavuuden vuoksi, soveltuen hyvin muodoltaan säännöttömille raaka-aineille ja mittauserille. Painon mittaukseen perustuvat mittausmenetelmät muodostavat energiapuun mittauksen potentiaalisimman kokonaisuuden ja tärkeimmän kehittämiskohteen. Menetelmien etuna on myös kohtalaisen hyvä yhteensopivuus ainespuun mittausmenetelmien kanssa, mikä on oleellista menetelmän hyödyntämiseksi yhdistetyssä aines- ja energiapuun korjuussa.

## 21.2 Energiapuun mittauksen järjestäminen

Hakkila (2006) laati MMM:n toimeksiannosta selvityksen, jossa energiapuun mittauksen yleistilanne, keskeiset kehittämistarpeet ja ehdotukset toimenpiteistä energiapuun mittauksen järjestämiseksi tuotiin jäsennellyksi esille. Selvityksen keskeiset johtopäätökset olivat, että ennen kuin energiapuulla on edellytyksiä säädösperusteiseen mittaukseen, on vähintäänkin siirtymäajalla pyrittävä joustavaan sopimusperusteiseen ratkaisuun. Siirtymäaika mahdollistaisi mittauksen toimintatapojen vakiinnuttamisen, mittausmenetelmien kehittämisen ja mittausmenetelmien perusteiden tutkimisen.

Vuonna 2007 Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio ja Metsäntutkimuslaitos toteuttivat hankkeen, jonka tavoitteena oli laatia keskeisten toimijoiden hyväksymä sopimus energiapuun mittauksen järjestämisestä. Hankkeen aikana käytiin perusteellisissa kahdenvälisissä- ja ryhmäkeskusteluissa läpi mittauksen yleiset periaatteet, mittauksen organisointi, käytettävät mittausuureet eri raaka-aineilla ja toimitusketjuilla, mittaustuloksen käyttö, mittausmenetelmien kehittäminen ja käyttöönotto, energiapuun mittauksesta sovittavat asiat sekä energiapuun mittauksen tavoitteita.

Vuoden 2008 alussa keskeiset metsä- ja energia-alan toimijat ja edunvalvojat sopivat energiapuun mittauksen yleisistä periaatteista ja menettelytavoista. Energiapuun mittauksen järjestäminen sopimusperusteisesti (ns. energiapuun mittaus sopimus) muodosti tietynlaisen vastineen puutavaran säädösperusteiselle mittaukselle. Sopimuksella muodostettiin energiapuun mittausta koskevia asioita käsittelevä energiapuun mittaustoimikunta (EMT), jonka tehtäviin kuuluu muun muassa energiapuun mittauksessa käytettävien mittausmenetelmien ja –ohjeiden hyväksyminen.

Vuonna 2011 käynnistyi puutavaran mittaustavan uudistaminen, jonka valmistelu jatkui vuonna 2012. Mittaustavan uudistamisen yksi tärkeimmistä, ellei tärkein, peruste on energiapuun sisällyttäminen mittaustavan soveltamisalaan. Uusi mittaustava tulee todennäköisesti voimaan 1.7.2013.

## 20.3 Energiapuun mittauksen ohjeistaminen

Sopimus energiapuun mittauksen järjestämisestä –hankkeessa laadittiin kuvaukset sen hetkisistä parhaiten energiapuun mittaukseen soveltuvista mittausmenetelmistä. Mittausmenetelmät koottiin Energiapuun mittaussoppaan, jonka energiapuun mittaustoimikunta hyväksyi. Ensimmäinen versio mittaussopimuksesta valmistui alkuvuodesta 2008. Kantavana periaatteena on, että mittaussopimalla ja siinä esitetyillä mittausmenetelmillä tulee olla osapuolten yhteinen hyväksyntä, millä luodaan edellytyksiä mittausmenetelmien jalkautumiselle käytännön mittaustoimintaan. Opas on

## EPPU 1.62 - energiapuun mittauslaskuri

Sovellus tuottaa massan ja tilavuuden välisissä muunnoissa käytettävät tuoretiheysluvat latvusmassalle ja harvennusenergiapuulle. Tuoretiheysluvun määrittäminen noudattaa Energiapuun mittausoimikunnan 27.9.2010 hyväksymää Energiapuun mittausopasta.

Käyttäjä vastaa sovelluksella tehtyjen määritysten oikeellisuudesta Energiapuun mittausoppaan mukaisesti.

Sovellukseen on lisätty tulosten vienti erilliseen excel-tiedostoon, jonka käyttäjä voi tarvittaessa tallentaa omaksi tiedostoksi ja tulostaa raportina ulos. Lisäksi muutamia päivämäärätietoihin liittyviä tarkistuksia on tehty. Toiminta on testattu Excel 2003 ja 2007-versioissa.

### KÄYNNISTÄ LASKURI

Energiapuun mittausopas on ladattavissa osoitteesta:

[http://www.metla.fi/metinfo/tietopaketti/mittaus/aineistoja/energiapuun\\_mittausopas\\_EMT\\_hyvaksyty\\_27092010.pdf](http://www.metla.fi/metinfo/tietopaketti/mittaus/aineistoja/energiapuun_mittausopas_EMT_hyvaksyty_27092010.pdf)

Tietoa energiapuun ja puutavaran mittauksesta Metsäntutkimuslaitoksen MetINFO-palvelussa:

<http://www.metla.fi/metinfo/tietopaketti/mittaus/>

© Metsäntutkimuslaitos 2011

## ENERGIAPUUN MITTAUS

EPPU 1.62 - energiapuun mittauslaskuri

Valitse alue

Etelä-Suomi  
 Pohjanmaa  
 Kainuu - Kollismaa  
 Lappi  
 Ylä-Lappi

Kartta

Energiapuutavara

Harvennusenergiapuu  
 Latvusmassa

Valitse puulaji

Havupuu  
 Koivu  
 Muu lehtipuu  
 Sekapuusto

Hakkuujankoha

Päivä: 3 Kuukausi: 4

Mittausajankoha

Päivä: 6 Kuukausi: 5 Vuosi: 2011

Varastointiaika: 33 vrk (maksimialka = 365 vrk)

Lisätarkenteet

Tuore, jossa lunta tai jäätä  
 Lumi ja sulamisvesi on vaikuttanut palstakasojen kuivumiseen  
 Palstakasoissa ja/tai niiden alla on jätkevasti lunta tai jäätä

Määritelmä

LASKE VIE RAPORTTIIN LOPETA

ENERGIAPUUN TUORETIHEYSLUKU: 930 kg/m<sup>3</sup>

Taulukko 9 Painoluokka: 2

Massan muunto tilavuudeksi

Massa: 49510 kg / Tuoretiheys: 930 kg/m<sup>3</sup> = Kiintotilavuus: 53.2 m<sup>3</sup>

Tietoa sovelluksesta © Metsäntutkimuslaitos 2011

27.9.2010

Kuva 20.1. Näkymä EPPU-Energiapuun mittauslaskurista

saatavilla sähköisenä MetInfo-puutavaranmittaus –sivustolla. Sähköinen opas mahdollistaa verraten joustavan oppaan päivittämisen ja levittämisen sen jälkeen, kun energiapuun mittausoimikunta on sopinut muutoksista ja lisäyksistä.

Energiapuun mittausoppaan laadinnassa Metsäntutkimuslaitos on mittausmenetelmien perusteiden tutkija ja keskeinen sisällön tuottaja. Energiapuun mittausopasta on uudistettu kaksi kertaa ensimmäisen version julkaisemisen jälkeen. Molemmissa uudistuksissa muutokset ovat koskeneet pääosin kuormainvaakamittauksen ja tässä käytettävien painon ja tilavuuden välisissä muunnoissa käytettävien tuoretiheyslukuja.

Energiapuun mittausoppaan ohella Metsäntutkimuslaitos on laatinut Excel-tilukkolaskentaohjelmaan perustuvan EPPU – energiapuun mittauslaskurin (kuva 20.1), jota käytetään apuvälineenä käytännön energiapuun mittauksessa.

## 20.4 Energiapuun kuormainvaakamittauksessa käytettävät tuoretiheysluvat

Puutieteessä tuoretiheydellä (kg/m<sup>3</sup>) tarkoitetaan puun tuoreena mitatun massan ja tilavuuden suhdetta. Puuaineen tuoretiheys muodostuu kahdesta tekijästä – puuaineen tiheydestä (kuivatuoretiheys) ja puuaineen sisältämästä vedestä. Puuaineen tuoretiheys on siis laskettavissa kuivatuoretiheyden ja kosteuden perusteella.

Sovellettaessa tuoretiheyttä puuraaka-aineen mittauksessa painon ja tilavuuden välisissä muunnoissa, on käsitteen määrittelyä laajennettava. Tällöin tuoremassa on käsitettävä raaka-aineen

painona punnitushetkellä, jolloin on otettava huomioon kosteuden muutokset kaatotuoreen puuraaka-aineen kosteuteen nähden. Lisäksi tuoretiheysluvun tulisi ottaa huomioon mittauserän mukana kulkeutuva normaali määrä pintavettä, lunta, jäätä ja muita vierasaineita.

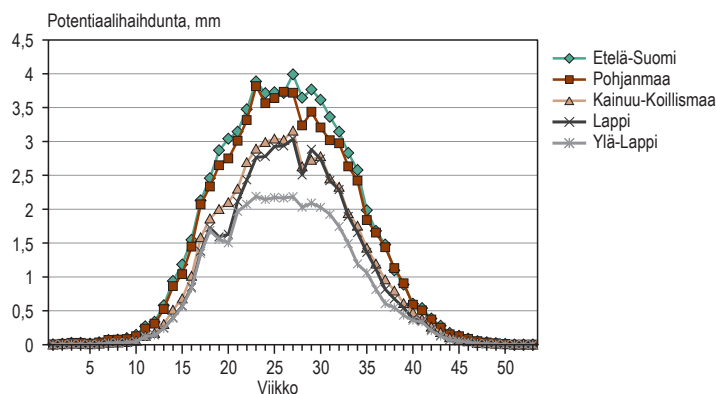
Energiapuun kuormainvaakamittauksessa mittauserä punnitaan metsätraktorin kuormainvaa'alla. Oleellisena erona ainespuun korjuuseen nähden on tavoite alentaa puuraaka-aineen kosteutta korjuun ja varastoinnin aikana. Vaihtelevista puuraaka-aineen ominaisuuksista, sääolosuhteista ja korjuumenetelmistä johtuen energiapuun kosteusvaihtelu on suurta metsäkuljetusvaiheessa. Energiapuutavaralajien erityispiirteenä voidaan pitää tavaralajien ja näiden ositteiden tyypillisesti pieniä läpimittoja, jolloin vettä sitovaa ja luovuttava pinta-ala on tilavuuteen nähden paljon. Tällöin myös kosteuden muutokset ovat verraten nopeita ja suuria.

Energiapuun tuoretiheyslukujen perustana ovat energiapuutavaralajikohtaiset kuivatuoretiheydet, jolla tarkoitetaan puuraaka-aineen kuivana mitatun painon ja tuoreena mitatun tilavuuden suhteena ( $\text{kg/m}^3$ ). Energiapuun mittaussoppaassa käytettävät kuivatuoretiheysluvut perustuvat Hakkilan (1978) tutkimukseen.

Puu on vettä imevä eli hygroskooppinen aine. Puu pystyy sitomaan vettä ympäröivästä ilmasta ja toisaalta luovuttaa ilmaan vettä. Puun kosteus muuttuu kohti lämpötilan ja kosteusolojen mukaista tasapainokosteutta, jolloin haihtuvan ja sitoutuvan veden määrät ovat yhtäsuuria. Koska luonnossa olosuhteet muuttuvat, on myös puun kosteus jatkuvassa muutostilassa.

Energiapuun kosteuden muutosnopeus määräytyy raaka-aineen ominaisuuksien lisäksi kuivumisolosuhteiden mukaan. Veden siirtymistä kuivattavan aineen pinnalta vesihöyrynä ilmaan kutsutaan haihtumiseksi, jonka määrää kuvataan suureella haihdunta ( $\text{mm/vrk}$ ). Tämän haihdunnan suuruuteen vaikuttaa oleellisesti ilmankosteus. Suhteellisen ilmankosteuden alentuessa ja toisaalta lämpötilan kasvaessa ilman kyky sitoa vettä kasvaa. Ilmankosteuteen vaikuttavat vuoden- ja vuorokauden aika, paikallien säätila ja olosuhteet, tuulisuus, kasvillisuus ja vesistöt (Haikonen 2005).

Potentiaalinen haihdunta kuvaa sitä veden määrää, joka vallitsevissa olosuhteissa haihtuu täysin veden kyllästämästä pinnasta, toisin sanoen veden määrä ei rajoita haihtumista. Potentiaalisen haihdunnan aiheuttamaa vastetta energiapuun kuivumisnopeuteen on tutkittu jonkin verran, tosin ei kattavasti. Energiapuun tuoretiheyslukujen määrittämistä varten määritettiin pitkän aikavälin (1995–2010) suuraluekohtaiset ja vuodenajan mukaiset sääolosuhteet. Kuvassa 20.2 on esitetty



**Kuva 20.2.** Potentiaalisen haihdunnan keskiarvot viikoittain (1995–2010) energiapuun tuoretiheystaulukoiden alueilla.

energiapuun tuoretiheystaulukoiden alueita vastaavat pitkän aikavälin potentiaaliset haihdunnat viikoittain. Potentiaalisen haihdunnan taso alkaa nousta viikon kymmenen tienoilla ja päätty lähelle nollatasoa viikon 40 jälkeen. Aluekohtaisesti Etelä-Suomi ja Pohjanmaa olivat potentiaalisen haihdunnan suhteen samankaltaisia, samoin Kainuu-Koillismaa ja Lappi olivat lähellä toisiaan. Ylä-Lapissa potentiaalihaihdunta poikkesi muista alueista.

Energiapuun mittausoppaassa tavaralajikohtaiset ja alueelliset tuoretiheysluvat on muodostettu taulukoiksi, jossa tuoretiheysluku määräytyy painoluokan ja tätä vastaavan kosteusluokan mukaan. Taulukot on jaettu neljään eri aikajaksoon kuivumisolosuhteiden mukaisesti. Taulukoissa Etelä-Suomen ja Pohjanmaan alueet on yhdistetty yhdeksi alueeksi, samoin Kainuu-Koillismaan, Lapin ja Ylä-Lapin alueet muodostavat oman alueensa (kuva 20.3). Alueiden väliset erot on otettu huomioon kuivumisjaksojen ajankohdissa siten, että pohjoisilla alueilla kevään kuivumisjakso alkaa myöhemmin kuin eteläisillä alueilla. Samoin pohjoisilla alueilla syksyn kuivumisjakso alkaa aiemmin ja ylipäänsä kuivumiskausi on lyhyempi kuin eteläisillä alueilla.



Kuva 20.3. Energiapuun tuoretiheystaulukoiden alueet.

Taulukoiden käyttö edellyttää tavaralajin ja alueen tuntemisen lisäksi mittausajankohdan (kuormainvaakamittauksen metsäkuljetuksen ajankohdan) ja hakkuuajankohdan tuntemista. Mittausajankohta määrittää sen, mitä aikaväliä taulukoissa luetaan. Kuivumiskaudella taulukossa siirrytään seuraavaan painoluokkaan, kun energiapuu on ollut hakkuun jälkeen palstalla varastoituna kyseisessä taulukon solussa merkityn vuorokausien määrän. Kuivumiskauden erilaiset olosuhteet on otettu huomioon määrittämällä kolmelle kuivumisjaksolle kuivumisnopeudet. Kullekin kuivumisjaksolle on esitetty painoluokittain vuorokausien määrät, joilla seuraavaan painoluokkaan siirrytään. Alemmissa painoluokissa, kuivumisen hidastuessa alhaisissa kosteuksissa, kynnysvuorokausien määrä seuraavaan luokkaan siirtymiselle lisääntyy. Jos varastointi jatkuu yli kuivumisjakson päivämäärärajan, siirrytään seuraavalle kuivumisjaksolle siinä painoluokassa, joka siihen mennessä oli saavutettu. Taulukossa 20.1 on esitetty esimerkki Energiapuun mittausoppaassa käytettävistä tuoretiheyslukuista.

**Taulukko 20.1.** Harvennusenergiapuun tuoretiheysluvat Energiapuun mittausoppaassa havupuilla Etelä-Suomessa ja Pohjanmaalla.

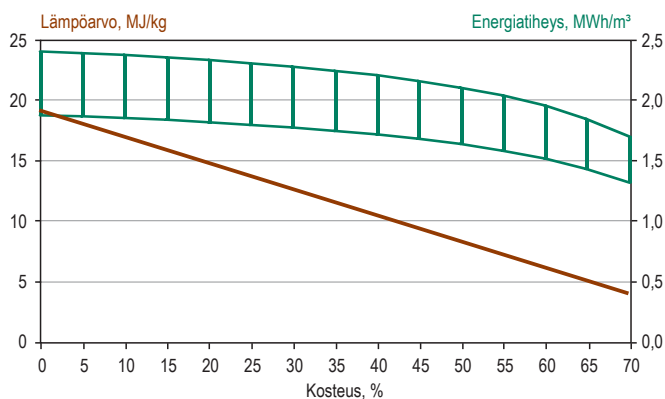
#### HAVUPUUT

##### Etelä-Suomi & Pohjanmaa

Painoluokat	Kosteus %	Ajankohta				Tuoretiheys kg/m <sup>3</sup>
		1.4.–30.4.	1.5.–15.8.	16.8.–30.9.	1.10.–31.3.	
1	> 60	-	-	-	Tuore	1000
2	55–60	Tuore, 30 vrk ↓	Tuore, 10 vrk ↓	Tuore, 30 vrk ↓	-	930
3	50–54	> 30 vrk	⇒ 20 vrk ↓	> 30 vrk	> 30 vrk	830
4	45–49	-	25 vrk ↓	30 vrk ↑	30 vrk ↑	750
5	40–44	-	30 vrk ↓	30 vrk ↑	30 vrk ↑	680
6	< 40	-	> 85 vrk	30 vrk ↑	-	600

## 20.5 Energiapuun tienvarsivarastojen kosteuden ennustaminen

Kosteus on energiapuun tärkeimpiä laatutekijöitä. Se vaikuttaa oleellisesti energiapuun teholliseen lämpöarvoon ja sitä kautta energiapuuerien kokonaisenergiasisältöön (kuva 20.4). Energiapuun hankinnassa kosteus vaikuttaa välillisesti korjuun ja kuljetusten kustannuksiin. Lisäksi kosteus vaikuttaa merkittävästi lämpö- ja voimalaitosten polton hyötysuhteeseen. Ajatellen energiapuun käyttöä kokonaisuudessaan, kosteuden suhteen oikea-aikaisella energiapuuerien toimittamisella ja käytöllä pystyttäisiin parantamaan koko energialiiketoiminnan kannattavuutta. Lähtökohtaisesti tämä edellyttää nykyistä parempia mahdollisuuksia arvioida energiapuuvarastojen kosteutta.



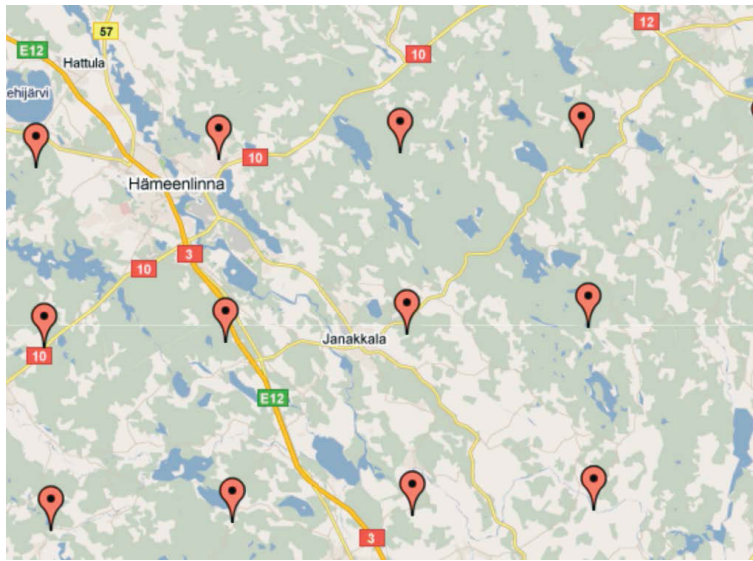
**Kuva 20.4.** Puun lämpöarvo (MJ/kg) ja energiatiheys (MWh/m<sup>3</sup>) kosteuden suhteen. Energiatiheyden laskennassa kuivatuoretiheyden vaihteluväli oli 350–450 kg/m<sup>3</sup>.

METKA – Metsäenergiaa kannattavasti –hankkeessa tutkittiin varastointiajan ja varastointiajan-kohdan vaikutuksia energiapuun kosteuteen eri energiapuutavaralajeilla. Lisäksi tutkittiin säähavaintomuuttujien vaikutusta energiapuun kosteuteen sekä laadittiin ennustemallit eri energiapuutavaralajien kosteudelle.

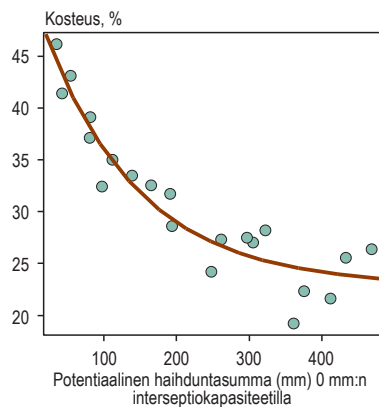
Kanta-Hämeen ja Keski-Suomen alueilta kerätyissä aineistossa määritettiin energiapuutavaralajien kosteus tienvarsivarastosta käyttöpaikkaan toimitettaessa. Varastointiajat toimituserillä vaihtelivat muutamista viikoista kolmeen vuoteen saakka. Varastot käsittivät latvusmassa-, kantopuu- ja harvennusenergiapuuvarastoja.

Ilmatieteen laitos tuottaa soveltavan tutkimuksen tarpeisiin käytettävää säähavaintoaineistoa. Aineisto sisältää päiväkohtaisesti havainnot sademäärästä, lämpötilasta, auringon säteilystä ja vesihöyryn paineesta. Aineisto tuotetaan koko maan kattavasti siten, että interpoloidut säähavainnot saadaan 10 × 10 km ruudukossa (kuva 20.5) sijaitseville säähavaintopisteille. Säätietoja käytettiin sekä Hämeen että Keski-Suomen kosteushavaintoaineistossa varastointiajan sääolosuhteiden määrittämiseen. Energiapuuerien sijaintitiedon perusteella haettiin lähimmän säähavaintopisteen päiväkohtaiset sää tiedot varastointiajalle.

Energiapuun kosteudelle sovitettiin energiapuutavaralajeittain epälineaariset kosteuden ennustemallit, joissa selittäjinä käytettiin varastointiajan potentiaalista haihduntasummaa. Potentiaaliset haihduntasumat laskettiin eri interseptiokapasiteeteilla, jolloin energiapuutavaralajien erilainen kyky pidättää sadevettä tuli huomioiduksi. Parhaaseen tulokseen päästiin kantopuulla (kuva 20.6), jolla kosteuden vaihtelusta pystyttiin mallilla selittämään noin 90 prosenttia. Kyseiset kantopuuerät



**Kuva 20.5.** Ilmatieteen laitoksen säähavaintopisteet Hämeenlinnan lähistöllä (Karttatiedot Tele Atlas 2011, Geocentre Consulting).



**Kuva 20.6.** Kantopuun kosteus potentiaalisen haihduntasumman suhteen (yksikkö mm), kun interseptiokapasiteetti on 0 mm.

oli korjattu ja toimitettu käyttöpaikkaan yhden kesäkauden aikana. Vastaavat selitysasteet harvennusenergiapuulla olivat männyllä 68 prosenttia ja koivulla 86 prosenttia sekä latvusmassalla 79 prosenttia.

Johtopäätöksenä voidaan todeta, että energiapuubarastojen kosteuden ennustamista voidaan parantaa varastointiajan sääolosuhteisiin perustuvalla mallinnuksella. Haasteellista on yli talvikauden varastoidun energiapuun kosteuden mallintaminen. Tällöin uudelleen kastuminen ja lumi aiheuttavat vaihtelua energiapuubarastojen kosteuteen.

## 20.6 Metsähakkeen tiiviys

Energiapuun mittaaminen hakkeena on varsin yleisesti käytetty mittaussuunnitelma. Menetelmä sisältää kuorman irtotilavuuden määrittämisen ( $i\text{-m}^3$ ) ja edelleen laskennallisen muuntamisen kiintotilavuudeksi ( $\text{m}^3$ ). Muuntokertoimeksi irtto- ja kiintotilavuuden välisessä muunnossa on vakiintunut  $0,4 \text{ m}^3/i\text{-m}^3$ .

Hakkeen tiiviyyteen vaikuttavat monet tekijät mukaan lukien hakkuritekniikka, palakokojakauma, haketettava raaka-aine, kuormausmenetelmä, ajomatka ja kuljetuskalusto. Vaikka mittauksessa käytetään yhtä keskiarvoistavaa muuntokerrointa, on tiiviyyden tosiasiallinen vaihtelu edellä mainituista seikoista johtuen suurta.

Tässä tutkimuksessa hakettiin yhteensä viisi energiapuubarastoa, jotka olivat tavaralajiltaan kuitupuuta tai kokopuuta. Tienvarsihaketuksen jälkeen kuormista määritettiin käyttöpaikalla massa

**Taulukko 20.2.** Hakkeen tiivyyden keskiarvo ja kuormien välinen tiivyyden keskihajonta ja variaationkerroin tavaralajeittain.

Tavaralaji	Hakkeen tiiviyys, m <sup>3</sup> /i-m <sup>3</sup>	Hakkeen tiiviyys, keskihajonta, m <sup>3</sup> /i-m <sup>3</sup>	Hakkeen tiiviyys, variaatiokerroin, %
Kuitupuuh	0,43	0,019	4,5
Kokopuu	0,44	0,027	6,1
Kaikki	0,43	0,024	5,4

ja kehystilavuus. Lisäksi kuormakohtaisista näytteistä määritettiin kosteus ja kuivatuoretiheys, jolloin voitiin määrittää kuormakohtainen kiintotilavuus. Kaikiaan tiivyyden määrittäminen tehtiin 28 täysperävaunun kuormasta.

Hakkeen tiivyyden keskiarvo oli kokopuusta tehdyllä hakkeella 0,44 m<sup>3</sup>/i-m<sup>3</sup> ja kuitupuusta tehdyllä hakkeella 0,43 m<sup>3</sup>/i-m<sup>3</sup> (taulukko 20.2). Ero oli vähäinen ja tilastollisesti ei merkitsevä. Eron suunta sinänsä on perusteltu ja sen voidaan arvioida johtuvan hakkeiden palakokojakauman eroista. Kuitupuusta valmistettu hake on tyypillisesti palakokojakaumaltaan tasalaatuista. Sen sijaan kokopuusta valmistetussa hakkeessa on enemmän myös pieniä jakeita, jolloin isompien jakeiden väliin jäävät raot täyttyvät ja hakkeen tiiviyys muodostuu korkeammaksi.

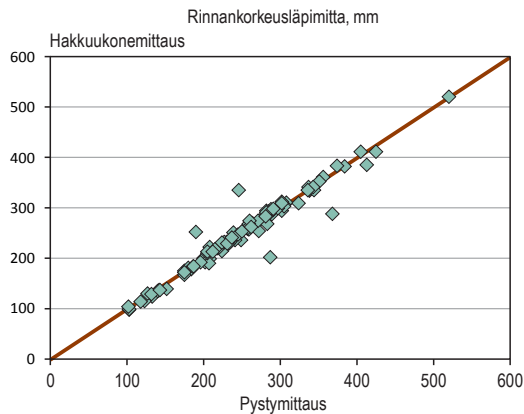
Tässä tutkimuksessa saadut tulokset metsähakkeen tiivyydestä ovat vastaavalla tasolla kuin Metsäntutkimuslaitoksessa 1980-luvun lopussa kerätyistä laajoista aineistoista määritetyt metsähakkeen tiivyydet. Tulokset viittaavat siihen, että energiapuun mittauksessa käytettävässä kertoimessa on mahdollisesti systemaattinen virhe. Tuloksia ei kuitenkaan voida yleistää yhtäältä hakkuri- ja kuljetuskaluston muuttumisen myötä 1980-luvulta lähtien ja toisaalta tämän tutkimuksen aineiston suppeuden vuoksi.

## 20.7 Latvusmassan ja kantopuun määrän arviointi hakkuukonemittauksessa.

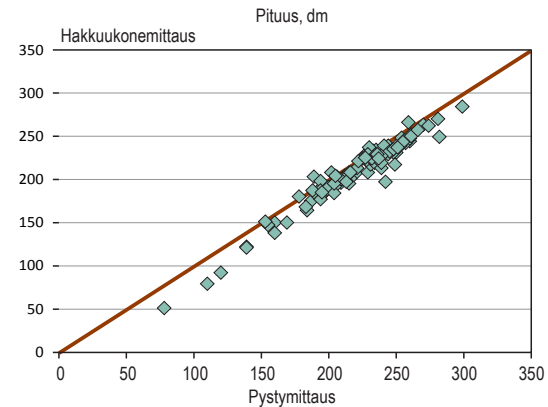
Harvesterihakkuussa tuotetaan automaattisesti runkokohtaista mittaustietoa. Hakkuun aikana mitataan ja tallennetaan niitä läpimitta- ja pituustietoja, joita tarvitaan lähtötietoina biomassamalleissa. Käytettävissä olevista biomassamalleista Repolan ym. (2007) esittämät mallit muodostavat kattavan kokonaisuuden sekä ositteiden että puulajien suhteen ja ovat sovellettavissa maantieteellisen käyttöalueen perusteella koko Suomessa. Malleilla pystytään laskemaan energiapuuksi korjattavan latvusmassan ja kantopuun biomassan määräarviot rungoittain ja metsiköittäin.

Tässä tutkimuksessa koottiin ja osin kehitettiin ne latvusmassan ja kantopuun määräarvioinnissa käytettävät biomassamallit, joita voidaan käyttää perustana sovelluksen jatkokehittämisessä. Lisäksi tutkittiin tapaustutkimuksena hakkuukoneella määritettävien puun läpimittojen ja pituusennusteiden paikkansapitävyyttä pystymittauksella määritettyihin vertailuarvoihin nähden. Yhtenä edellytyksenä biomassamallien soveltamiselle hakkuukonemittauksessa on, että biomassamallien syöttötietoina käytettävät puukohtaiset läpimitta- ja pituustiedot pystytään määrittämään riittävän luotettavasti.

Läpimitan mittauksessa ei havaittu systemaattista eroa hakkuukoneen ja pystymittauksen välillä (kuva 20.7). Hakkuukoneella puun pituusennuste laadittiin käyttöosan pituuden mittauksen ja latvaosan laskennallisen pituusennusteen perusteella. Pituuden määrittämisessä hakkuukoneella saatiin useammin pienempiä tuloksia pystymittaukseen verrattuna (kuva 20.8). Sekä pituuden



**Kuva 20.7.** Hakkuukoneella ja pystymittauksella mitatut puiden rinnankorkeusläpimitat.



**Kuva 20.8.** Hakkuukoneella ja pystymittauksella määritetyt puiden pituudet

että läpimitan määrityksen satunnainen vaihtelu oli verraten pientä. Hakkuukonemittaus tuotti noin 5 % alhaisemman runkobiomassan ja vajaa 4 % korkeamman latvusbiomassan pystymittaukseen verrattuna. Kantopuun määrääriiot hakkuukonemittauksen ja pystymittauksen välillä olivat lähellä toisiaan.

Biomassamalleilla voidaan tuottaa arvio siitä latvusmassan ja kantopuun määrästä, joka on metsikössä hakkuuajankohtana. Metsikkökohtaisen arvion tarkkuutta heikentää biomassan määrän satunnainen vaihtelu metsiköiden välillä. Lisäksi latvusmassaa ja kantoja pyritään jättämään korjuualalle korjuusuositusten mukaisesti. Käytännössä tämä talteensaanto vaihtelee myös korjuuolosuhteiden mukaisesti. Menetelmällä on kuitenkin saatavissa nykyistä tarkempi määrääriio latvusmassan ja kantopuun kokonaismäärästä. Menetelmällä on käyttömahdollisuuksia puunhankinnan ja logistiikan suunnittelussa ja energiapuun mittauksessa.

## Kirjallisuus

- Haikonen, T. 2005. Tutkimus biopolttoaineen aumakuivauksesta. Diplomityö. TKK. 73 s.
- Hakkila, P. 1978. Pienpuun korjuu polttoaineeksi. *Folia Forestalia* 342. 38 s.
- Hakkila, P. 2006. Selvitys energiapuun mittauksen järjestämisestä ja kehittämisestä. Dnro:n 491/67/2005/ MMM mukainen selvitystehtävä. 30 s.
- Repola, J., Ojansuu, R. & Kukkola, M. 2007. Biomass functions for Scots pine, Norway spruce and birch in Finland. *Metlan työraportteja* 53. 28 s.

Metlan työraportteja 289: 180–193

## 21 PELLETime – Solutions for competitive pellet production in medium size enterprises

Robert Prinz & Dominik Röser

### Abstract

The PELLETime project has developed an accessible package of tools to design sustainable pellet supply chains, thereby promoting the role of local entrepreneurs in utilising local renewable energy resources and supporting the energy self-sufficiency of northern peripheral regions. The small scale production of pellets currently faced both technological limitations, as well as lack of knowledge. The project addressed those challenges by offering a holistic approach for small- and medium-sized enterprises (SMEs) reaching from identification and estimation of available resources, raw material procurement, the design of the entire pellet production process to the final product. PELLETime encouraged sustainable expansion of the raw material resource, and carried out widespread awareness raising and information dissemination to facilitate market development.

### Tiivistelmä

PELLETime –hankkeessa kehitettiin työkalupaketti kestävien pellettitoimitusketjujen suunnittelumiseksi. Hankkeessa edistettiin paikallisten yrittäjien uusiutuvien energianlähteiden hyödyntämistä sekä pohjoisten syrjäseutujen energiaomavaraisuutta. Pienen mittakaavan pellettituotannossa ongelmana ovat sekä teknologiset rajoitteet että osaamisvajeet. Hanke vastasi näihin ongelmiin tarjoamalla kokonaisvaltaisen lähestymistavan pienten ja keskisuurten yritysten käyttöön olemassa olevien raaka-ainevarojen arvioimiseksi ja hankkimiseksi aina pellettituotannon suunnitteluun, tuotantoon ja lopputuotteeseen saakka. PELLETime-hankkeessa edistettiin kestävää raaka-ainepohjan laajentamista ja toteutettiin laajaa tiedonsiirtoa pellettimarkkinoiden kehittämiseksi.

### 21.1 Introduction

The European Spatial Development Perspective (ESDP) stresses the need for economic diversification in rural areas through strategies based on local resources and needs. Utilising local agricultural and forest resources in pellet production, will improve economic competitiveness and sustainability in peripheral areas.

Pellets are currently imported from outside the Northern Periphery Programme (NPP) region because of the limited raw materials base which needs to be broadened to balance the regional fluctuations in current raw material supply. Establishment of pelletizing requires technical information and expertise. The PELLETime project developed a package of tools to support development of small-scale pelletizing supply chains.

The overall objective was to develop a package of tools to facilitate establishment of SMEs in small scale pellet production, support existing pellet production, and, enhance energy availability throughout the NPP region. As a result it made a significant contribution to efficient use of natural resources, and to climate change mitigation and renewable energy policy objectives.

To the end the project resolved key issues concerning shortages of raw materials, technical difficulties in handling and processing different raw material streams and widespread lack of information and understanding amongst both producers and consumers.

The project identified current and future potential availability of both existing raw materials and alternative raw materials. GIS analysis identified any bottlenecks arising from fluctuations in existing raw material supply over time and regional markets were also analysed to highlight areas where these bottlenecks could become a significant constraint on market development.

In these areas development of new raw materials is vital and the project examined the potential of a range of agricultural and short rotation forestry crops, developing best practice guidance on the landscape, biodiversity and hydrological dimensions of management.

Handling, logistics and innovative techniques for matching variable raw materials to different end user requirements was modelled and a cost-calculator developed to allow SMEs to assess the feasibility of local pellet production.

Potential new raw materials and mixtures of raw materials were pelletized and tested in terms of fuel quality, calorific value and emissions and the results formed the basis for a best practice guidance document on utilisation of different raw materials and mixtures in small and medium scale pellet production.

Information dissemination and awareness raising through seminars, study tours and guidance documents was another major project output.

## **21.2 Material and Methods**

The objectives of the project have been reached through addressing the following project targets:

### **Security of energy supply and preventing the climate change:**

(One of the prime objectives of the EC energy policy is to ensure energy supply to all consumers at affordable prices while respecting the environment and ensuring competition on the energy markets. EC has defined energy to be a key factor for Europe's competitiveness and economic development. In addition, limiting the climate change raises the importance of sustainable use of natural resources and increasing use of renewable energies.

Regionally feasible production of renewable energy improves the public confidence, protects the environment and ensures a cost-efficient and more secure supply of energy.) Removing technical and economic bottlenecks and dissemination of best practices of pelletizing are key issues in developing local pellet production and implementing the energy policy objectives.

## **Need to broaden the raw material base:**

### 1. Rising domestic and export demand of pellets

Pellet markets vary in the northern periphery. In Sweden the production is ~ 1.8 million tons (2007), and a high domestic demand that requires imports. Finland has increasing production, and expanding from 300 000 tons to over 1 million tons, with about a dozen new or updated production units (2007). Production is mostly steered to foreign markets.

In Northern Scotland there are two major pellet production schemes starting, which both have an annual output of about 100 000 tons. In addition, there is also growing import trade of pellets because of consistent and growing domestic demand. Iceland does not have any pellet production yet but there is small scale annual fuel and non-fuel demand (1 500–2 000 tons) that is met via imports.

### 2. Economic fluctuations and shortage of current materials

High demand and variations in the availability of current raw materials have an impact on the economics and feasibility of small-scale production. The raw material base of pellets needs to be broadened and a buffer resource is needed to balance the regional fluctuations of raw materials and sawmilling industry, and to ensure the availability and efficient allocation of resources to the right scales in end-use.

### 3. Preventing delays in market development

In Finland, Sweden and Scotland, the growing raw material/by-product demand has led to concerns about possible shortfalls in raw material supply. Commercial forests in Scotland are even-aged and the maximum timber production will be in late 2020's, which causes local "peaks and troughs" in raw material supply. Short Rotation Coppice (SRC) could smooth the supply curves and price variations, fill in the minimums in the industrial raw material demand, and prevent delays in the development of small and medium scale markets. Woodlands and short rotation farming can aid farm diversification and new income streams contribute to the viability of rural communities and farm businesses, and also compensate the economic gap between urban and rural regions.

### 4. Meeting both fuel and non-fuel demand of pellets

Due to continuing afforestations, Eastern Iceland has a growing forest resource and need to develop local markets for small dimension wood from first thinning. The activities in Iceland focussed in the development of forest management, and feasibility of raw materials, handling and logistics.

Potential use of pellets in Iceland include energy use in small-scale heating systems and non-fuel use, such as animal beddings and the use of wood pellets as water purification filters.

Partners in Iceland worked with farmers and land-owners in developing the use for current resources, and supporting the development towards cost-effective forest products supply to local markets.

## **Rural business development, innovativeness**

The utilisation of agrobiomass and forest resources in pellet production helps rural regions utilise their local development potential and raise competitiveness. Establishment of a new pelletizing business, or complementing existing business with pellet production, requires both tacit and codified knowledge. Tool package for small-scale pelletizing includes the best practices, i.e. tailored tools for each stage of production process, from raw materials source to end-users of pellets.

Project contained innovative features in testing new raw material mixtures and in optimising and channelling different qualities of fuel to right type of end-uses. The final result of the project is innovative by connecting different tools and methodologies, from economics and logistics to land use planning and environmental protection. This way it provides a holistic approach for development towards sustainability, local natural resource management and energy production.

### **21.3 Results**

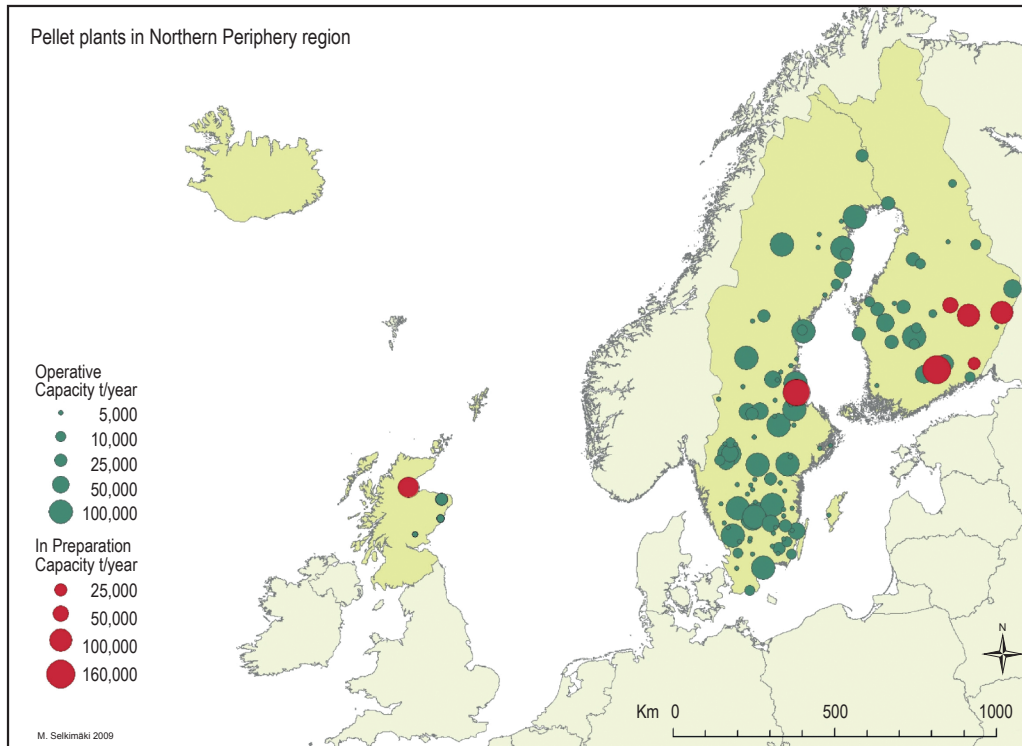
The results of the PELLETtime project contained the descriptions of current operations, future markets scenarios (Paukkunen et al. 2009, Selkimäki et al. 2010a, Selkimäki et al. 2010b), best practices (Prinz & Röser 2011) as well as the creation of a freely available tool package to design sustainable pellet supply chains ([www.pellettime.fi](http://www.pellettime.fi)).

#### **Pellet plants in the Northern Periphery region**

In Sweden, the first pellet plant started wood pellet production in 1982, since then the number of pellet plants has increased to 94. Today Sweden is the world leader regarding the pellet production and consumption (Peksa-Blanchard et al. 2007, Sikanen et al. 2008). Out of the 94 pellet producers, the production capacity of six of the plants is 100 000 tons or over while 15 plants have a capacity of between 50 000–100 000 tons. Additionally there are around 50 small scale pellet producers whose production capacity is from a few hundreds of tons to several thousand tons a year (Figure 21.1). The total capacity of the small scale producers is under 100 000 tons/year, which is around 5% of the total capacity of the pellet industry in Sweden (Bioenergi 2008). A pellet plant with a capacity of 160 000 tons is built recently, which increases the country's total pellet production capacity to over 2 million tons.

In Finland, the first pellet plant was built in 1998, since then the number of producers has increased to 24, the total production capacity being around 750 000 tons. There are six plants with a capacity of over 50 000 tons, and one of them is 100 000 tons, and four small scale producers (capacity under 5 000 tons annually) (Figure 21.1). Additionally five new plants are planned. When operational the total production capacity could reach up to 1.1 million tons.

In Scotland the first commercial pellet plant with a capacity of 15 000 tons was established in December 2007. Besides that there are two other plants operating and one large scale plant (capacity 100 000 tons) which should be in operation by summer 2009 is under construction (Figure 21.1). In the near future the total production capacity is going to be around 148 000 tons.



**Figure 21.1.** Location of existing and forthcoming pellet plants in Northern Periphery region. (Selkimäki et al. 2010b)

## Raw material

Existing raw materials are the by-products of the wood industry; sawdust, cutter chips and wood chips, mainly from spruce and pine. In Sweden, around 97% of the pellets are made from these raw materials, the rest are from bark and peat (New Ways 2008). Thin stem wood has started to be used as a raw material in two pellet production sites in Sweden (Kallio & Kallio 2004, Näslund 2007).

There are many potential raw materials for pellets (Okkonen et al. 2009), though some are already in use, however, the whole potential is not being utilized. In Sweden several plants are aiming to use round wood for pellet production in the near future (New Ways 2008) also short rotation coppice, which is currently used only in district heating, could be used for pelletizing. Currently only 50 000 tons of bark is used for pellet production, however, the potential production is estimated to be around 3 000 000 tons. The limiting factor is that most of the bark is combusted in the places where it is produced, mainly in the saw mills and pulp mills. Bark pellets are mainly combusted in large heat and district heating plants as its ash content (3.5%) is too high for small scale boilers (Näslund 2007). Other possible raw materials for pelletizing could be rejected adjusted wood, pulp wood, hydride aspen and salix as well as forest residues (tree tops and branches). In Sweden, there are large volumes of forest residues not being utilized, mainly because of the long distances from the origin to places with demand (Hismark 2002, Peksa-Blachard et al. 2007, Höglund 2008).

There are many other materials than wood which can be processed into fuel pellets as well. This includes grasses such as Miscanthus (*Miscanthus spp.*), Reed Canary Grass (*Phalaris arundinacea L.*), Switchgrass (*Panicum virgatum*) and Hemp (*Cannabis spp.*). Also agricultural residues

like wheat and barley straw are viable biomass resources for fuel pellet production. Residues from food crop production such as corn cobs can also be processed into pellets.

Many biomass feedstocks have a higher ash content than the current European Standards allow. In addition, some grasses and other materials generate ash that tends to form clumps and can cause slugging. Therefore, many wood pellet stoves are not suitable for the combustion of fuel pellets made from non-wood. Instead, “biomass pellet” stoves or boilers, which are designed especially for various fuels, should be used.

### Trends in handling of raw materials for pellets

In recent years several manufacturers expanded their range of models and new brands with tailored equipment for pellet production are starting to enter the markets. For example numerous manufacturers offer new chippers or grinders producing micro-chips which are suitable for pellet production. Also debarking machines for round wood are sold with increasing numbers in the pellet sector.

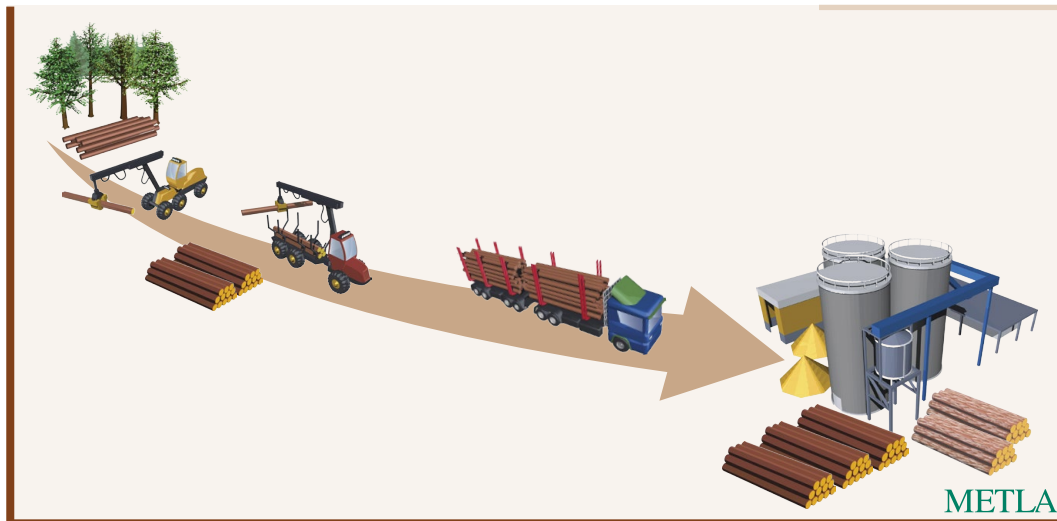
### Transportation and logistics

Raw materials are mainly domestic by-products of the wood processing industry (cutter chips and sawdust). Most of the pellet plants are next to their raw material supply (sawmill, wood industry, furniture industry etc.) which is lowering the raw material transportation costs. In addition, a small amount of sawdust is imported to Finland from Russia and to Sweden from Finland by trucks (Alakangas et al. 2007, Höglund 2008). Many small and medium scale pellet plants are working together with other activities, such as planing mills or carpentry factories, which are the source of raw materials, often meaning that short distance transportation of the material is done by conveyors or pneumatically in a tube to the pelletizing lines. Larger producers are mainly collecting the raw materials from several wood processing places in the locality of the pellet plant; transportation is done mainly by trucks. Raw materials arriving to the pellet plant are stored inside if the plant does not have dryers and outside if there is a dryer. Typically only the largest pellet plants have dryers, while the small and medium scale producers are mainly using dry raw materials. At least one Swedish small scale producer uses fresh sawdust and therefore has a dryer. Raw materials are emptied from the trucks to open air field storages which are asphalted or to warehouses, from where they are moved to the production line with loading shovels or by conveyors. If the raw material is coming from several places by trucks, it is usually sieved and a magnetic separator is used to remove the foreign particles, such as stones and metallic pieces.

### From the forest to the pellet plant

Due to an increasing demand and competition for raw materials for the production of pellets, especially for the side products from the forest industries, solutions providing pellet plants with wood material directly from the forests have become more important in recent years. Wood in forms of round wood, whole trees, residues or short rotation coppice has to be delivered to the plants where the processing towards pellets is been done. Delivery as chipped or crushed material is already a first processing step and helps to decrease transportation costs.

Depending on the used raw material, the steps start from the forest material harvesting, forwarding, chipping and transportation ending with the material arriving at the pellet plant.



**Figure 21.2.** Roundwood from forests for the production of pellets.

### Roundwood for pellets

When using roundwood for pellets the harvesting is either carried out motor manual or by a harvester (see figure 21.2). There are also two opportunities to carry out the skidding. Under normal conditions when using roundwood with a typical length of 2 to 4 meters a forwarder is used. However, if the roundwood is still in full length, it is more efficient to use a skidder. After skidding/forwarding, the roundwood will get reloaded on to trucks to transport them to a place near the pellet plant. The reason why the chipping is not done directly in the forest is that the transportation of roundwood is generally more efficient than transportation of woodchips. When using a terminal, a truck mounted chipper is utilized for the chipping. Transportation of chips to the pellet plants is done cost effective with trucks.

### Logging residues as a raw material for pellet production

Logging residues can serve as an alternative source of raw material for pellet production. The residues can be collected after a clear-felling operations and brought to the roadside storage with a forwarder. In most cases the logging residues are then chipped at the roadside storage using a truck mounted chipper. The material is usually chipped directly into the truck and then transported to the heating plant. In case of short road transportation distances the loose residues can also be brought directly to the plant where they are either chipped with a truck mounted chipper or crushed using in many cases stationary large scale electric or diesel powered crushers or grinders.

Another supply method for the utilization of logging residues is the bundling method (Figure 21.3). A bundler collects the material in the clear-felling area and makes residue bundles that are then brought to the roadside by a forwarder. The produced bundles are log shaped which enables the use of typical cut-to-length technology and allows for the integration of the bundling operation into the normal roundwood harvesting. Using a bundler is also of particularly interest whenever road transportation distances are relatively long since the material is highly compressed. The bundles are usually crushed at the end-use facility using stationary large scale electric or diesel powered crushers or grinders. However, at present this method is only used in large scale operations.



**Figure 21.3.** Logging residues from forests to pellet production with bundling method

### Whole trees from thinning as a raw material for pellet production

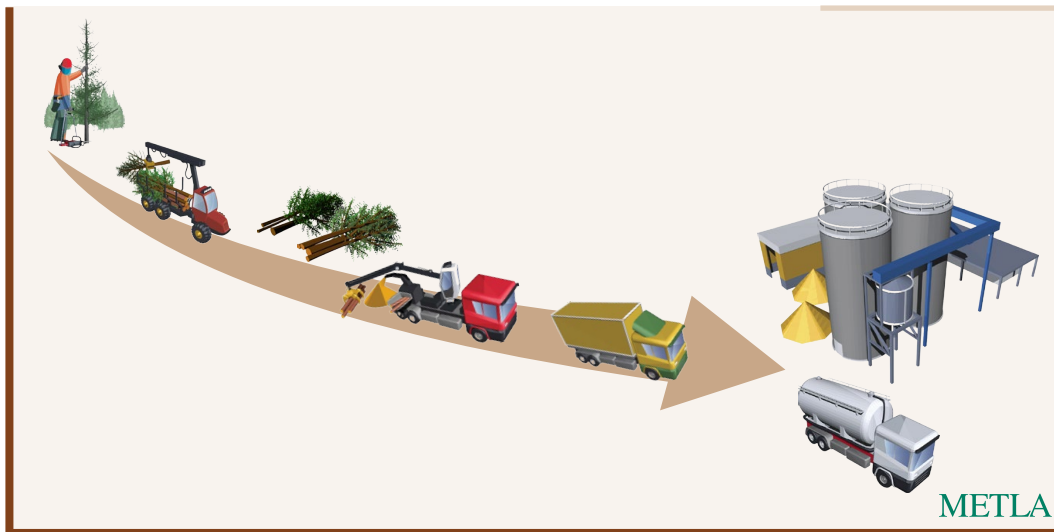
Whole trees from thinning are one source of raw material for the production of pellets. The harvesting methods can be divided into motor manual harvesting and mechanized harvesting. Mechanized thinning operations are either carried out with purpose built machines such as harvesters and forwarders or with farm tractors.

#### Motor manual harvesting

Motor manual harvesting of trees is still very common in many countries across Europe. Especially in young forest stands this method can be profitable and cost efficient when compared to mechanized harvesting methods. In particular private forest owners have the possibility to carry out thinning operations by themselves. The hauling of whole trees from thinning operations to the roadside storage can be done efficiently using a forwarder (see figure 21.4). The whole trees should then be stored at the roadside for at least one drying season usually ranging, depending on the location, from April to early September in order to decrease the moisture content. The chipping operation is commonly done at the roadside with truck-mounted chippers. The chips are directly blown into a truck that brings the chips to the pellet facility.

#### Small scale all-terrain vehicle (ATV) forwarding

Forestry in Iceland is becoming more important as the forest area is increasing. Regional afforestation programmes support the planting of trees and the use of land in the form of forestry. Forests have been growing since those programmes offered land owners alternatives to conventional usage of land. Now, forest scientists see the chances for regional use of bioenergy and therefore connected the necessity to do forest operations in Icelandic forests more than ever. Even-aged forest stands as they are common in Iceland and normal in planted stands have a need for thinning operations in order to increase the value of the remaining trees.



**Figure 21.4.** Manual harvesting of whole trees, roadside chipping and delivery of chips from the roadside to the pellet plant.

Energy is a cheap resource in most of the country, nevertheless, bioenergy in form of forest based energy can provide a local solution in some cases. The recent opening of a wood chip boiler in Hallormsstadur is an outstanding example how this can be implemented.

In combination with motormanual harvesting methods, or in other special circumstances small scale forwarding methods can also be an interesting and a cost efficient solution. The investment costs of small scale equipment is lower compared to bigger and purposely built machinery and the main cost factor is the labour cost.

The overall hauling productivity is a function of the trailer capacity, the handling time (loading and unloading of logs) and the ATV's driving speed. Resent trials (see figure 21.5) conducted in Iceland have revealed considerable differences in productivity in natural grown birch (*Betula pubescens*), pine (*Pinus contorta*) and larch (*Larix sibirica*) stands. In pine log forwarding the productivity was higher compared to conditions with birch stems. Larch stems had the highest average productivity and the variation has been very small.



**Figure 21.5.** Small scale forwarding with ATV after motor manual felling in Iceland. (© Robert Prinz)

## Transportation and chipping with farm tractors

The transportation and chipping based on smaller scale farm based equipment is a suitable method for private forest owners and farmers with own machinery. In many cases the harvesting operation is done motor-manually followed by a tractor-based skidding (see figure 21.6). Forest trailers for tractors are commonly used for hauling of thinning material such as whole trees. The chipping will be done directly to farm trailers at the roadside with a wood chipper based on a farm tractor. The tractor will bring the wood chips directly to the pellet plant. In order to guarantee an efficient supply, the transportation distance to the pellet plant should be comparatively short.

## Mechanized harvesting

The thinning operations are either carried out with purpose built machines such as harvesters, forwarders or a farm tractors equipped with a felling head (see figure 21.7). In recent years multitree felling heads have become increasingly popular in particular for thinning operations. A forwarder/



Figure 21.6. Whole trees from forests to pellet production with farm-based equipment.



Figure 21.7. Mechanized harvesting of whole trees, roadside chipping and delivery of chips from the roadside to the pellet plant.

farm tractor will then haul the whole trees to the roadside landing where they are properly stored for at least one drying season usually ranging from April to early September, depending on climate conditions. The chipping operation is commonly done with either truck-mounted chippers or farm tractor based chippers where the chips are directly blown into a separate truck or container for chip transportation. The chips are then directly transported to the pellet facility.

### Harvesting of Short Rotation Coppice

In order to avoid damages to the crop and soil the harvesting of Short Rotation Coppice (SRC) should be done outside the growing season. The harvesting intervals have a large effect on the yield of energy crops. In the case of poplar rotations periods of 5 to 15 years, and for willow 3 to 6 years are considered to be suitable depending on the geographical conditions, based on experiences in Central Europe and Sweden. Advantages of shorter harvesting intervals are cheaper harvesting methods and the earlier return of capital.

The proper method and machinery in the Northern Periphery will depend on whether SRC will have a commercially viable future. The growth of willow in peripheral areas is in the testing phase at the moment and mechanized harvesting methods are not considered to be feasible in all cases. However, on a larger commercial scale, when higher yield can be achieved, mechanized methods and machinery can be taken into consideration. Central European countries, as well as Sweden, have a considerable experience in that field and technology transfer from those countries should always be considered when starting a new endeavour.

### Handling of pellets at the pellet plant & pellet delivery

Handling of the pellets at the plant site is similar in Finland and Sweden. The share of different delivery types is probably determined by the equipment used in the pellet packing process. Pellets are stored at the plant site in large silos or in warehouses for bulk deliveries and packed into small and large sacks. Pellets' packing in large (500–1 000 kg) and small (10–20 kg) sacks is usually done straight from the pelletizing line or if the pellets are packed later, in the warehouse, in this case they are sieved again before packing.

In Finland and Sweden bulk pellets are stored at the pellet plant in silo storages and/or in warehouses. Bulk deliveries are loaded from the silo storage to pneumatic trucks or with a loading shovel onto normal trucks (Figure 21.8). Overseas transportation is done by train from the pellet plants which have a rail connection (Figure 21.9); the train transports the pellets to the harbour



**Figure 21.8.** Loading pellet to pneumatic truck from silo and warehouse (©Metla).



**Figure 21.9.** Loading pellets to railroad carriage for export (©Metla).

where they are shipped. In Sweden, many plants are located on the coast and pellets are shipped straight from the plants for export as well as for domestic markets.

### Pellet transport to end users

Pellets are transported in sacks loose on trucks and by pneumatic trucks. Private users can collect pellets straight from the plants loading them onto their own containers or trailers. Small sacks from 15 to 40 kg are usually packed onto interchangeable pallets and delivered to retailers. Large sacks, 500 to 1 000 kg, are sold straight from the plant or through retailers.

Pneumatic trucks are used when delivering pellets to households or medium size customers, for large scale users pellets are delivered by large normal trucks. The equipment for bulk deliveries varies, from normal trucks and specially designed pellet tanker trucks, to existing machinery used for animal feed deliveries. New trucks have an integrated weighting scale which allows accurate delivery and billing. The minimum amount of bulk deliveries by truck is typically 3 tons. Quality issues have to be considered since the length of the unloading pipe, pressure and power used during unloading and the model and conditions of the delivery trucks, as well as the experience of the driver, affect the quality of the pellets during transport and delivery (Tuomi 2007, Vapo 2008).

Most of the pellet imports, for example to Sweden, are done by cargo ships. In the European market area ship loads are typically 4 000–6 000 tons, with the overseas shipments being done in large volumes of usually 20 000–30 000 tons.

### Quality assurance

To be reliable part of fuel supply, pellet plants have to have balancing raw material available. An important issue with raw materials from forests is the moisture content of the different materials (Oberberger & Thek 2010). Fresh timber can be assumed to have moisture content of approximately 50%; pellets have a moisture content of approximately 10 to 12%. When using timber for pellets the difference of these moisture contents has to be lowered. This can be done as natural drying of the raw material or artificially during the processing the material to pellets. Natural drying before the processing of the raw material can lower the moisture content to approximately 20–25%, the remaining 10–15% have to be lowered during the further processing of the material.

The lower is the moisture value before the processing, the lower are the costs of drying during the pelletizing process. Also the sensitivity towards mould infestation will decrease.

### Storage and handling of raw material

The aim of storage is to lower the moisture content in a certain time period. An ideal storage facility is highly aerated, aligned towards the sun and has a dry ground which is accessible throughout the year.

The storage facility has a solid ground base which can be accessed under various weather conditions and enables air ventilation of the piles. Part of the storage is covered by roof with optimal drying conditions (aerated construction with high roof). This way decomposition is minimized and the moisture content can be kept at a certain level or even lowered until the material is used. However, the storage time of wood chips should be as short as possible.

## Debarking of raw material

The aim of debarking of woody biomass is to lower the bark content in the mixture of material used for the production of pellets. In combination with a chipper unit it is possible to produce micro-chips for pellet production with a capacity of 30 to 35 tons per hour. The particle size of micro-chips is already that small that the material can be used optimally in pellet production as the efforts at the plant are lowered. The use of two separate machines allows a flexible design of supply chains, machines are working according to the needs and at various locations.

## 21.4 Conclusions

The PELLETTime project encouraged the sustainable expansion of the raw material resource through increasing the awareness and information to facilitate market development. PELLETTime aimed to provide new tools for designing sustainable pellet supply chain and examining the new potential raw materials for pelletizing. Various solutions for raw material fuel supply for pellet production are available and greatly depend on each specific situation. Supply of raw materials to pellet units can ensure an efficient use of existing available materials. Different logistic systems and solutions have been developed for raw material supply of pellet and other end-using facilities across the Northern Periphery area. The Best Practice Guideline provides information about such logistical solutions and highlights the importance of quality measures within the fuel supply for pellet production.

An availability analysis conducted in a certain area shows the potential in that area and the supply- and procurement options for an existing or potential new end-using facility. This studies have to be conducted case specific, general conclusions are difficult to make from a broader view. Based on the availability of material in a certain area, cost calculations can then predict costs and deliver productivity information as a useful analytical planning tool for the support of decisions.

A very important factor of raw material supply for pellet production is quality. This is of great interest in the small and medium scale of pellet production where the use of high quality raw materials is essential for a successful pellet production. Quality factors are the contents of bark, needles and other particles or elements that affect the pelletizing process and the combustion of such pellets. Ash forming elements that create slag within the combustion unit and cause higher emissions should be avoided and have an effect of raw material quality. Moisture content as a quality factor mainly effects the costs of transportation and artificial drying. Therefore, measure for increased natural drying are considered as very important and improve the raw material supply conditions for pellet production.

## References

- Alakangas E., Heikkinen A., Lensu T. & Vesterinen P. 2007. Biomass fuel trade in Europe-Summary Report VTT-R-03508-07. EUBIONET II-EIE/04/065/S07.38628. Technical Research Centre of Finland.
- Bioenergi 2008. 94 Pelletfabriker 2008. Bioenergi Nro 1, 2008, p.19.
- Hirsmark J. 2002. Densified Biomass Fuels in Sweden: Country report for the EU/INDEBIF project. Swedish University of Agricultural Sciences, Examarbeten Nr 38, 2002.

- Höglund, J. 2008. The Swedish fuel pellets industry: Production, market and standardization. Swedish University of Agricultural Sciences, Examarbeten Nr 14, 2008. ISSN 1654–1367.
- Kallio M. & Kallio E. 2004. Puumateriaalien pelletointi. Project report. PRO2/P6012/04. VTT Prosessit.
- New Ways 2008. New Ways 3/2008. SCA Transforest. Retrieved at: <http://www.transforest.sca.com/en/Press/News-features/Articles/2008/New-Ways-No-32008/> [7.11.2008]
- Näslund M. 2007. Pellet production and market in Sweden. Conference presentation: Energetic Valorisation of Forest Biomass in the South Europe, Pamplona 24–25.1.2007.
- Obernberger, I. & Thek, G. 2010. The Pellet Handbook. The production and thermal utilisation of biomass pellets. Earthscan. 549pp.
- Okkonen, L., Paukkunen, S., Lamberg, H., Sippula, H., Tissari, J, Jokiniemi, J. 2009. PELLETTime investigates alternative raw materials of pellet production. Bioenergy 2009 – Book of Proceeding: 755–759. 2009.
- Paukkunen, S., Sikanen, L., Okkonen, L., Vilppo, T., Lamberg, H. 2009. Energy pellets in the future – markets and raw materials.
- Peksa-Blanchard M., Dolzan P., Grassi A., Heinimö J., Junginger M., Ranta T. & Walter A. 2007. Global Wood Pellets Markets and Industry: Policy Drivers, Market Status and Raw Material Potential. IEA Bioenergy Task 40.
- Prinz, R. & Röser, D. 2011. Best Practice Guidelines on Logistics and Quality Assurance for Pellet Production. Metla, Joensuu. 20 p.
- Prinz, R. 2011. Small scale ATV forwarding in Iceland. PELLETTime Infocard. 2 p.
- Selkimäki, M., Mola-Yudego, B., Röser, D., Prinz, R. & Sikanen, L. 2010a. Present and future trends in pellet markets, raw materials, and supply logistics in Sweden and Finland. Renewable & Sustainable Energy Reviews 14(9): 3068-3075.
- Selkimäki, M., Prinz, R., Mola-Yudego, B. & Röser, D. 2010b. Pellet market, raw materials, handling and logistics in Northern Periphery. PELLETTime. Metlan työraportteja / Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 157. 25 p.
- Sikanen L., Mutanen A., Röser D. & Selkimäki M. 2008. Pellet markets in Finland and Europe-An overview. Available at: [www.pellettime.fi](http://www.pellettime.fi) [12.2008]
- Tuomi S. 2007. Puupelletin laadunhallinta pienjaketussa ja käsittelyssä – PUUY27. In: Alakangas E.(Ed.) Puupolttoaineiden pientuotannon ja käytön panostusalue, Vuosikatsaus 2007. Teknologian katsaus 208/2007. Helsinki. p. 84–91.
- Vapo 2008. Vapo company webpages. Retrieved at: <http://www.vapo.fi> [19.09.2008].

Metlan työraportteja 289: 194–202

## 22 Development and Harmonization of New Operational Research and Assessment Procedures for Sustainable Forest Biomass Supply - COST Action FP0902

Dominik Röser ja Robert Prinz

### Abstract

The COST framework of the European Union decided to support the modernization of forest biomass operations research in Europe to strengthen Europe's leading role as the world leader in the utilization of forest biomass for energy.

Forest biomass is a major contributor to meet the ambitious 20/20/20 targets of the EU. However, the cost-effective and sustainable procurement of forest biomass remains a challenge in countries around the globe. To tackle that challenge the COST Action "Development and Harmonization of new operational research and assessment procedures for sustainable forest biomass supply" was initiated in October 2009.

The overall objective of the Action is to harmonize forest energy terminology and methodologies of forest operations research and biomass availability calculations thereby building the scientific capacity within forest energy research and supporting the technology transfer of the forest biomass procurement chain and sustainable forest management.

### Tiivistelmä

EU:n COST -ohjelma päätti tukea metsäbiomassan korjuuoperaatioiden tutkimusta Euroopassa vahvistaakseen Euroopan johtavaa roolia metsäbiomassan energiakäytössä. Metsäbiomassa on tärkein uusiutuvan energian muoto vuoden 2020 EU energiatavoitteiden saavuttamisen kannalta. Kuitenkin metsäbiomassan hankinnan kustannustehokkuus ja kestävyys ovat kehityksen haasteena. Lokakuussa 2009 Metla yhteistyökumppaneineen käynnisti "Kestävän biomassan hankinnan tutkimus- ja arviointimenetelmien kehitys ja harmonisointi" hankkeen. Sen tavoitteena on harmonisoida metsäenergiaterminologia sekä metsäoperaatioiden tutkimusmenetelmät ja biomassan saata- vuuslaskelmien menetelmät. Samalla rakennetaan alan tutkimuskapasiteettia ja tuetaan metsäbiomassan hankintateknologian siirtoa ja kestävää metsänhoitoa.

## 22.1 Introduction

At present the use of forest and agricultural biomass for energy is an increasingly important topic particularly in the light of the recent debate on climate change and of employment in rural areas. In order to combat climate change, the EU commission, as well as other countries outside the EU, has set ambitious targets to increase the share of renewable energy sources, the so called 20/20/20 targets. Furthermore, the "Directive for renewable energy" also promotes the use of forest biomass for energy. In order to meet these objectives, a large share of this increase has to come from forest biomass. In the European context, forest biomass offers the largest and most economic potential as a renewable fuel when managed on a sustainable basis. Moreover, forest biomass has clear advantages in comparison to agricultural crops since it does not compete with food production. At the current state of the forest biomass development, the targets set by the EU Commission are a great challenge for the sector. In order to ensure the reliable and sustainable supply of forest fuel new technological solutions to procure and process forest biomass are needed. The Cost Action addresses this challenge and will contribute to the harmonization and implementation of forest biomass supply and utilization technology.

Forest biomass is also a central tool in the decentralization of energy systems and contributes to the development of rural areas, another objective of the EU strategy. In addition, forest biomass for energy contributes to the security of energy supply and promotes the energy independence of fossil fuels. The forest biomass procurement chain from the forest site to the power plant or biofuel refinery promotes new and innovative enterprise solutions, jobs in the procurement chain and also earning possibilities for forest owners in rural areas. However, one of the biggest challenges to increase the use of forest biomass is the availability and proper use of suitable harvesting technology to meet the growing demand for raw material and at the same time ensure the sustainable use of the forest ecosystems. Currently, forest biomass technology and supply systems are still under rapid development and in some countries experimental trials have only started recently. On the contrary, research on this topic has a long tradition in several countries that lead development in the sector and have produced a large corpus of specific knowledge. However, there is a wide variability in the terminology, the organization of the experimental design, the data collection methods and the data processing techniques used by different research groups in different countries: this makes it difficult not only to transfer experience where this is lacking, but especially to compare data when more studies are already available on a given aspect. As a result, information about the biomass supply systems is fragmented and often contrasting: a great international synergy could be developed if all could agree on a common study method, or a set of common methods among which to choose. To date, the fragmentation, variability and - at times - inconsistency of study methods has prevented both practitioners and the international academic community to fully profit from the already large amount of information about the supply systems in place. For example, forest machine cost calculations (cost/hour) are carried out in each country but vary significantly and results are therefore often not comparable. In order to build trust and confidence in the wood biomass markets the supply systems in place have to function properly and have to be economically viable both in the short and long term. Work and method studies are an essential component in increasing the efficiency of such systems and contribute to a large extent to successful promotion and implementation of existing as well as new and innovative technologies.

Research organizations dealing with wood supply topics have developed a wide variety of modelling tools to examine and forecast the impacts of changing wood flows from local to global levels of woody biomass harvesting and supply. The structured platform for comparison

of methods, exchange of information and further joint development of modelling methodology is, however, lacking. As a result, existing human resources are not used effectively to support the information need of the sector's industry in the rapidly changing situation. The above mentioned problems are causing a serious fragmentation of research efforts and problems in Europe, in terms of communication and exchange of research results among researchers but also among other players in the field such as forest industries, machine manufacturers, forest owners and finally small and medium enterprises working the field of forest biomass for energy. Since the forest energy technology development and associated time studies are a recent phenomenon it provides the opportunity to develop a joint work study methodology right from the beginning. Cost is the best mechanism for support since it allows building on the already existing scientific knowledge of each partner country. Furthermore, through the possibilities of the networking concept, the most suitable research methods can be identified, harmonized and then standardized throughout the European Union. This would also contribute greatly to capacity building with the EU and strengthen the entire sector. The term forest biomass operations research includes work studies, measurements of inputs and outputs and logistics research of the whole supply chain.

## 22.2 Objectives

The objective of the Action is to harmonize forest energy terminology and methodologies of forest operations research and biomass availability calculations thereby building the scientific capacity within forest energy research and supporting the technology transfer of the forest biomass procurement chain and sustainable forest management.

### Secondary objectives

- Capacity building to strengthen the scientific body of forest operations research in the European Union through improved communication by using jointly developed terminology and methodologies
- The Cost Action will harmonize standard measurements, sampling methods and estimation of the different biomass components and produce a handbook
- The Cost Action will establish a common standard terminology and units in regards to forest biomass supply for energy which will be published in a forest biomass glossary
- The Cost Action will develop best practice guidelines for a work study protocol in regards to the forest biomass procurement chain.
- The Cost Action will establish a simple format for cost calculations (costs/hour) of machines in the forest biomass procurement chain
- The Cost Action will harmonize commonly used methodologies in forest operations research
- The Cost Action will carry out a system analysis to analyse the different operational biomass procurement chain systems that are available at the moment
- The Cost Action will initiate an electronic peer reviewed online journal
- The Cost Action will support effective technology and knowhow transfer inside EU

To achieve the objectives the Action has to collect and harmonize the research efforts done in the different member countries in regards to operations research on forest biomass supply for energy. The activities of the Action can be divided into three major tasks. The first task is the production of a joint terminology related to forest biomass for energy and its associated research.

The second task, which is divided into two stages, is related to the work study methodologies, system analysis and modelling approaches in forest operations. Forest biomass procurement chains are going through major changes in terms of improving technology, harvested volumes, raw material flows and varying costs. To predict the changes in the raw material supply for the forest and energy industry calls for a variety of modelling approaches and tools.

- Stage 1 consists of the synthesis and analysis of existing forest operations research methodologies, system analysis and modeling approaches in forest operations by literature reviews and
- Stage 2 consists of the analysis, identification and harmonization of the most suitable operations research methods among Action participants.

Finally in task 3 of the Cost Action, sampling methods and standard measurements of forest biomass will be investigated, described and summarized in order to produce best practice guidelines which then lead to harmonization.

The overall results will be analysed and information is synthesized and shared with the scientific community in the handbook, best practice guidelines and the forest energy glossary. The innovative aspect in this proposal is the holistic approach to tackle current and very prevalent problems and create outputs that will be applicable for the scientific sector the forestry and energy industries as well as for small and medium enterprises. Finally, the Action anticipates establishing a joint peer reviewed scientific online journal. This will provide an example of the fruits yielded by EU networking and research method harmonization.

The scientific work is divided into 4 different working groups each with its own specific workplan and outcomes. The working groups are as follows:

WG 1 will establish a database of commonly used terms and units related to the use of forest biomass for energy and create a unified terminology. Furthermore, standard measurement and biomass units are harmonized within participating countries. The purpose is to develop a common and official terminology for forest biomass for energy operations. The most recent official terminology issued by IUFRO in 1995 expired 8 years ago and has never been replaced.

WG 2 In this working group participating member countries will summarize their current methodologies and procedures in regards to work studies, the current sampling methods and standard measurements for different types of forest energy material. The purpose is to a) survey; b) analyse, c) categorize and b) compare the different and numerous work study methodology, sampling methods and standard measurement approaches in participating countries. Furthermore, based on the results of the national reports the working group will ID the most suitable methods and measurements.

WG 3 In this working group the Action will investigate the current forest biomass research methodologies including machine costing assumptions as well as data analysis methods in participating countries. The purpose is to a) survey; b) analyse, c) categorize and b) compare the different and numerous methods to determine machine costs and data analysis methodology approaches. The work package aims to develop a simple format for cost calculation (cost/hour) of forest machinery. Furthermore, based on the results of the national reports the working group will ID the most suitable methodologies in forest operations research.

WG 4 In this working group the Action will investigate the current state of the art in regards to system analysis and modelling in forest operations in participating countries. The purpose is to a) survey; b) analyse, c) categorize and b) compare the different and numerous system analysis approaches and models (from simple deterministic to more complex stochastic and discrete-event) developing recently in all of Europe as a result of the rapid change of harvesting methods under the pressure of increased mechanization and forest energy harvesting. Furthermore, the WG will investigate new approaches to design supply chains and their associated costs and how to study resource availability in terms of cost and supply.

### **22.3 Benefits of the COST Action**

The Action will provide an original synthesis of multidisciplinary research efforts and an innovative European wide reference for forest biomass for energy terminology, sampling methods, standard measurements, and research methodologies. This synthesis will promote the anticipated increase in the use of forest biomass for energy as laid out in the EU strategies and policies. The Action will also provide valuable input to the ongoing development of the CEN/TC 383 standard "Sustainably produced biomass for energy applications". Furthermore, other ongoing processes within and outside the EU such as the "MCPFE open-ended ad-hoc working group on "sustainability criteria" for forest biomass production, including bioenergy" will be supported by the Action by providing input, exchanging of achieved result and active discussions. The key advantage of the Action is that the research has been ongoing but now the Action offers the possibility to find the best solutions and ensures that scientists across Europe use the best available methods and speak the same language when communicating with each other thereby strengthening Europe's scientific networking capacity. Moreover, research into existing and new innovative technologies is ongoing in all participating member countries as well as in many other countries.

With the growing demand for energy, research in the field of forest biomass for energy will increase considerably in the future. The Action provides an important tool to coordinate these ongoing activities and look at studies that have been done in the past and studies that are ongoing and then suggest the best possible way to do them in the future. This is the perfect opportunity to create new methods standards and terminology in an evolving industry thereby increasing the competitiveness of the sector and the importance of scientific research in the EU as such. By harmonizing the research methodologies in forest biomass operations research it is anticipated that more solid conclusions can be drawn from the research results since the Action enables more comparable repetitions of the same studies across Europe. This will significantly improve the quality of the research and its results in the future. The Action will ensure that research results will be more comparable in the future and the generalization of research results will be improved.

Today, the forest machine market is a global market; however, the science dealing with all aspects of forest machines has remained more of a national phenomenon. Extensive testing of existing machinery and new evolving technologies is a constant process ongoing in most European countries. As a result, methodologies vary significantly between different countries. These differences are most prevalent in used methodology, approach, analysis of results as well as technology and equipment used to carry out time studies. However, when dealing with a new issue like forest biomass for energy the exchange of information is of utmost importance which emphasizes the need for harmonized scientific terminology, measurement methods, and study methodologies. The scientific implications of the achieved objectives would be extensive since future research activities would be carried out according to the developed best practice guidelines or anyway

they will use methods that are clearly described and understood so that research results would be understandable and applicable across Europe by the participants of the Action. It is also to be expected that other member countries will adopt the best practice guidelines in the future thereby improving the competitiveness of the entire sector in the EU. Since the forest energy technology development and the associated science are a recent phenomenon it provides the opportunity to develop a joint forest operations methodology right from the beginning.

Through the Action the entire research methodologies as well as sampling methods and standard measurements will be prioritized and harmonized and therefore the entire research community will be much more competitive in the future by improving the results about resource availability, appropriate technologies and cost of delivered fuel. The Action will support the decision making in regards to the use of forest biomass for energy on national and EU levels by providing decisions makers with improved research results that are not only applicable to national circumstances but that will be applicable across Europe. This in return will strengthen the forest and energy sector and rural development efforts. In addition, the environmental consequences of forest biomass harvesting are being more and more discussed as the pressure to harvest more biomass is increasing. The Action will provide useful input for that debate and will contribute to the sustainable and secure supply of forest biomass for energy generation. Moreover, the Action will support the development of new, innovative and more environmental friendly harvesting systems of forest biomass. The anticipated results of the Action will therefore have a long lasting lifetime and will not be limited to the time-span of the Action. This work will certainly draw upon the previous initiative on the harmonization of work study protocols funded by the EU several years ago within the scope of a Concerted Action: however, the work conducted then did not specifically address the harvesting of biomass, which involves the determination of specific parameters with their own (often complex) measurement methods. Moreover, completely new study methods of forest operations have been made available in the latest year by the development of ICT technology, which can be deployed with much benefit in this sector.

Finally, this Action will not only consider the development of a data collection protocol, but it will make available a terminology for forest biomass operations and other close fields (then offered by IUFRO, and now unavailable as the validity of the IUFRO reference has long expired) and a complete set of alternative best practice methods comprehensive of study design, sampling, data collection and data processing, to promote common understanding, even beyond the practical limits of harmonization. In addition, the COST Action will also address the topics of system analysis and modelling, of growing importance as the sector advances.

## **22.4 Results to date**

As work in the different working group still ongoing only few results are yet available. However, the Action has already been very active in networking activities, the establishment of an online presence and the organization of meetings.

### **22.4.1 Networking**

The Forest Energy Network has a strong focus on inter-disciplinary networking and training of young researchers in particular. During the first half of the Action 28 Short Term Scientific Action have been carried out across the globe to investigate and transfer knowledge on the use of forest biomass for energy in new operational environments. In addition more than 100 young and

experienced scientists have participated in 3 Training Schools to learn and share their knowledge regarding the sustainable use of forest biomass for energy by the end of 2011.

#### **22.4.2 The Action on the web**

The Forest Energy COST Action has established the “Forest Energy Portal” a platform that interlinks the scientific and industrial communities and is designed to significantly improve information flows among the different disciplines and stakeholders regarding the sustainable use of forest biomass for energy.

The Forest Energy Portal includes:

- An Online Wiki tool
- An expert database
- A company register
- A global database on harvesting guidelines
- An online database of publications and presentations called the Forest Energy Observer
- The Forest Energy Blog
- A video platform
- A social networking site called Logger’s camp
- The Journal of Forest Energy, a peer reviewed online journal
- A platform with supply & procurement chains illustrations

#### **22.4.3 Meetings**

During the first year of the project the Action organized 2 meetings. The Action kick-off meeting was organized in Berlin, Germany in January 2010 where Action participants got to know each other and the workplan for the coming years was established. The second MC meeting was also held in conjunction with the meeting in Berlin. The meeting included one day of excursions in which a heating plants using forest chips and a harvesting site in the forest were visited. Day 2 was started with a plenary session where the Action participants got to know each other and the Action was introduced to all participants. The afternoon of day 2 was reserved for WG meetings. On day 3 a plenary session in which the work in the WG was presented to the whole group marked the end of the meeting. The MC meeting was held in the afternoon of day 3. The meeting was very successful and provided a good start of the entire Action and provided the opportunity to network with existing and new colleagues in the field.

The second meeting was held in Trento, Italy in October 2010. The meeting started again with a field tour to visit several sites in the Italian Alps including a chipping operation, a cable yarder operation and a heating plant using wood chips. Day 2 of the meeting was marked by work in WGs and concluded with a plenary session to exchange the progress in the WGs. The MC meeting took place in the late afternoon on Day 2. The 3rd day was reserved for an international conference in which Action participants presented their experiences in the use of wood for energy. Furthermore, research results were also presented. The conference drew a large audience with more than 300 registered participants mainly from Italy but also with a large share of participants from around the globe. The conference was an ideal platform to present the work of the Action to a very large audience and also provide some dissemination and extension of the large body of experience in the Action. It was an excellent opportunity for the Action stakeholders to see that much research

efforts are ongoing in the field. There was also a lively discussion in which the future research trends and needs have been identified.

During 2011 the Action organized two meetings and the Chair of the Action served as Vice Chair in the organization of the High Level Conference on “The Future Role of Bio-energy from Tree Biomass in Europe” which was jointly organized by the European Science Foundation, IUFRO and COST.

WG 1 held a separate work meeting in Wildau, Germany to continue the efforts in establishing the glossary. The meeting was considered to be essential in achieving the objectives of the working group. It was considered that web meetings and online discussion forums are no replacement for face to face meetings that promote the discussion among participants.

The Action has also participated in the organization of the FORMEC 2011 conference which was jointly organized by BOKU, IUFRO and COST Action FP0902. The event was attended by 222 people from 37 different countries and offered about 80 presentations as well as proceedings. The meeting started again with a two day conference where about 80 presentations were presented. On Day 2 of the meeting the Management Committee meeting was held. Day 3 of the meeting was marked by work in WGs and concluded with a plenary session to exchange the progress in the WGs.

A major outcome of the Action, the “Good Practice Guidelines for Biomass Production Studies” were presented during the 2012 meeting in Lisbon. As an outcome of Working Group 2, the Good practice guidelines (GPG) for time studies have been produced in 2012 by an international group of experts, operating within the framework of COST Action FP0902. The new guidelines are specifically designed for time studies of biomass harvesting operations, but they are fit for general use and can be applied to many other fields where time studies are needed. Guidelines cover the whole time study, from study design to final report, through actual field measurement and data analysis. The GPG have been tested in the field and approved by independent reviewers. They are freely available and have been adopted by many scientific institutions worldwide. The GPG offer a good introductory reading to anyone who has interest in performing time studies.

## **Selected Publications**

- Díaz-Yáñez, O., Anttila, P., Asikainen, A. & Röser, D. 2011. Procurement of Forest Chips for Energy in Selected Countries. *Forest Energy Observer*. 5 p.
- Liepiņš, K. & Zeps, M. 2011. Short rotation hybrid poplar plantations for energy wood. *Forest Energy Observer*. 7 p.
- Magagnotti, N., Spinelli, R. (eds.) 2012. Good practice guidelines for biomass production studies. ISBN 978-88-901660-4-4. 50 p
- Nati, C. 2011. How much can a wood chipper chip? *Forest Energy Observer*. 6 p. Fiedler, P. 2011. Development of a Common Analysing and Calculation Procedure for Wooden Biomass Supply Chains. Experiences of a Short Term Scientific Mission on Knowledge Transfer. *Forest Energy Observer*. 7 p.
- Prinz, R. 2011. Forest and Nature Park management in South Africa - Study and excursion report. *Forest Energy Observer* 3. 25 p

- Prinz, R., Brown, M., Röser, D., Eker, M., Pizzirani, S., Caliskan, E., Uzelac, S., Zeps, M., Borges, V.-L., Mekhrentseva, A., Riala, M., Lopatin, E., Asikainen, A. 2011. Procurement of forest biomass - Cost calculation and value chains. Workgroup Report/ Joensuu Forestry Networking Week. Forest Energy Observer. 11 p
- Röser, D. & Prinz, R. (eds.) 2011. Forest Energy in Action - Cost Action FP0902 Newsletter 2010. 18 p.
- Sikanen, L. & Pitkanen, S. (eds.) 2011. Joensuu Forestry Networking Week 2011 – Final Report. Forest Energy Observer. 50 p.
- Windisch, J., St.-Amour, M., Lirette, J. & Röser, D. 2011. A Study of Accumulating Felling Heads for Thinnings in Canada. Experiences of a Short Term Scientific Mission on Technology Transfer. Forest Energy Observer. 6 p.

## Biojalosteet

Metlan työraportteja 289: 203–223

### 23 Bioetanolin ja erikoissokereiden valmistus metsistä ja soilta saatavista uusiutuvista raaka-aineista

Hannu Ilvesniemi, Olli Byman, Sanna Hautala, Matias Häyrynen, Petri Kilpeläinen, Veikko Kitunen, Kaisu Leppänen, Peter Spetz, Johanna Tanner, Tarja Tapanila ja Teemu Tikkanen

#### Tiivistelmä

Tässä hankkeessa tutkimme pääasiassa mänty-, kuusi- ja koivusahanpurun ja hakkeen sekä näiden lisäksi myös rahkasammalten ja turpeen hyödyntämismahdollisuuksia etanolin, erikoissokereiden sekä muiden biopolttoaineiden raaka-aineena ja pitkäketjuisen hemiselluloosan tuotannossa. Tutkittava biomassa fraktioitiin eli eroteltiin paineistettua kuumavesiuuttoa käyttäen veteen liuenneeksi hemiselluloosaksi sekä ligniinistä ja selluloosasta muodostuvaksi kiintoaineksi, jota käsiteltiin edelleen laimealla emäsuutolla ligniinin ja selluloosan erottamiseksi toisistaan. Uutettu hemiselluloosa ja selluloosa hydrolysoitiin eli pilkottiin sokerimonomeereiksi joko entsyymien avulla tai happohydrolyysillä.

Sokerimonomeerejä voidaan fermentoida etanoliksi tai muiksi alkoholeiksi tai hyödyntää esimerkiksi erikoissokereina. Uutettua polymeeristä hemiselluloosaa ja ligniiniä voidaan hyödyntää erilaisten biojalosteiden lähtöaineena. Uuttumatta jäävä kiintoaine voidaan hyödyntää polttoaineena sellaisenaan tai se voidaan torrefioida eli paahtaa biohiileksi, jolloin sen energiatiheys ja varastoitavuus talvikauden tuotantohuippuihin varautumista ajatellen on metsähaketta parempi. Erikoissokereiden, etanolin ja biohiilen valmistus samassa tuotantolaitoksessa mahdollistaa tuotevalikoiman optimoinnin niin, että suuri osa prosessissa syntyvästä energiasta voidaan joko myydä tai hyödyntää valmistettavien tuotteiden prosessienergiana. Teollisen tuotantolaitoksen riskien hallinnan kannalta on olennaista, että laitoksen tuotevalikoimaa voidaan tarvittaessa muunnella kysynnän ja hintasuhteiden muuttumisen mukaisesti.

Erikoissokereiden (esim. arabinoosi ja ramnoosi) sekä sokereista fermentoimalla eli käymisen avulla valmistettavien alkoholien tuotanto voidaan periaatteessa aloittaa teollisessa mittakaavassa ilman suuria viiveitä, koska saatavilla on valmiita teollisia laitteistoja erikoissokerien puhdistukseen ja sokerien fermentointiin sekä syntyvän etanolin erotukseen ja väkevöintiin.

Rahkasammalten sokerien ja uuteaineiden koostumus poikkeaa merkittävästi puiden sokerikoostumuksesta, ja ne voivat siten tarjota mielenkiintoisen raaka-ainelähteen esimerkiksi erikoissokerien ja lääkeaineiden valmistukseen.

Metsäntutkimuslaitos on toiminut aktiivisena osapuolena pyrkiessään yhdistämään eri toimialoilla toimivien yritysten erityisosaamista biomassan fraktioinnissa ja fraktioitujen tuotteiden jatkojalostamisessa. Hankkeessa toteutetun tutkimuksen sisältö palvelee yritysten erotusteknologioiden ja

jatkojalosteiden tuotannon menetelmäkehitystä korkeamman jalostusarvon tuotteiksi ja aiemmin hyödyntämättömien biomassojen hyödynnettäväksi saamista.

Hankkeessa kehitettiin tuotantomenetelmiä biohiilen, bioetanolin ja erikoissokereiden tuottamiseksi. Kuumavesiuuttotutkimuksen pääpaino on ollut sellaisten uuttomenetelmien kehittämisessä, jotka mahdollistavat pienen vedenkulutuksen, halutun hydrolysaatioasteen ja suuren uutekonentraation.

## Abstract

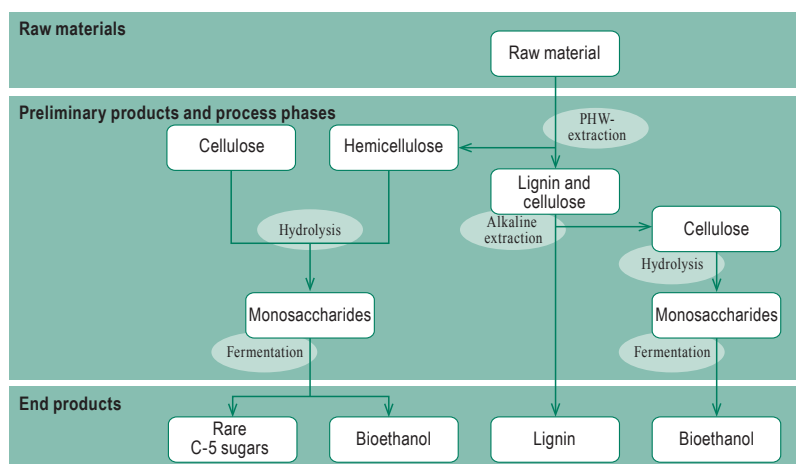
### Production of bioethanol, biocoal, and special sugars from renewable raw materials obtained from forests and peatlands

In this project we studied the possibilities to utilize sawdust, chips, Sphagnum mosses and peat as a source of biorefinery raw materials, bioethanol, special sugars and biocoal. The biomass was fractionated with pressurized hot water into dissolved hemicelluloses (See graph below). Solid fraction consisting of lignin and cellulose was further treated with base solution (NaOH) to separate lignin from cellulose. The fractionated hemicelluloses were hydrolyzed into sugar monomers, which were fermented into bioethanol or utilized as special sugars. Cellulose can be used as fibers or as a raw material of fermentation. Lignin can be used as a raw material of biorefineries, burnt as such or pyrolyzed into biocoal. The storing properties and the weight based energy content of biocoal are better compared to wood chips. The production of bioethanol, special sugars and biocoal in a same production unit enables the optimization of product selection so that the whole energy and/or biomass content of the raw material can be utilized as physical products, commercial energy products or process energy.

The production of special sugars (e.g. arabinose or rhamnose) and the bioethanol can be started without any major delays, since industrial scale equipment for refining the sugars, fermentation and distillation of ethanol are commercially available.

Some of the raw materials studied within this project have not been studied for these purposes earlier. The sugar monomer mixture of Sphagnum mosses differs from other plant genera, and offers thus an interesting raw material for special sugar and extractive production.

The Pressurized Hot Water Extraction (PHWE), base extraction and pyrolysis can be combined as a flexible combination of processes, where the proportion of products can be modified according to changes in the demand and price. The outcome of this project will support the development of the fractionation technologies and R&D of higher value products and utilization of raw materials that have not been used for such purposes earlier.



Graph of the fractioning process

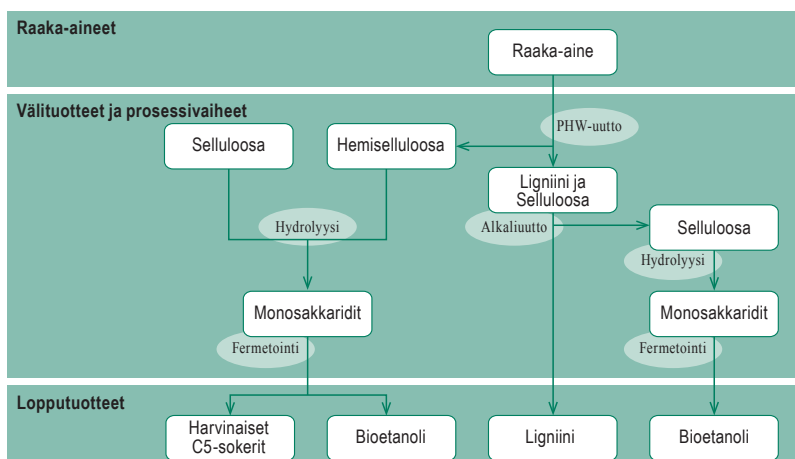
## 23.1 Johdanto

Suomalainen massateollisuus käyttää vuosittain yli 20 miljoonaa kuutiometriä havupuuta (Metsätilastollinen vuosikirja 2013). Se sisältää noin 2 miljoonaa tonnia hemiselluloosaa, jota ei hyödynnetä täysimääräisesti selluntuotannossa. Tästä määrästä noin 1,3 miljoonaa tonnia on helposti käyviä heksoosisokereita. Jos tämä määrä pääasiassa galaktoglukomannaaneista koostuvaa hemiselluloosaa voitaisiin hydrolysoida sokerimonomeereiksi ja fermentoida etanoliiksi, saataisiin tästä noin 800 miljoonaa litraa (3,6 TWh) etanolia. Jos myös hemiselluloosan sisältämät pentoosit voitaisiin fermentoida, kasvaisi tuotetun etanolin kokonaismäärä noin 1,2 miljardiin litraan (5,5 TWh). Vuonna 2012 moottoribensiiniä myytiin Suomessa noin 2,1 miljardia litraa. Dieselöljyn myynti oli runsaat 2,8 miljardia litraa.

Biojalostamo- ja bioenergiasektoreilla on meneillään voimakas tutkimus- ja tuotekehitysvaihe, jonka aikana luodaan edellytyksiä ja testataan erilaisten tuoteyhdistelmien valmistusketjuja. Työn tavoitteena on kasvattaa tuotteiden jalostusarvoa ja saavuttaa lähtömateriaalin kokonaisvaltainen ja ekonomisesti mielekäs hyödyntäminen. Uudenlaisen tuotannon aloittamisen ehto on sellaisten tuotteiden tai tuoteyhdistelmien löytäminen, joille olemassa olevat markkinat luovat taloudellisen toiminnan edellytykset uusien tuotteiden valmistamiselle.

Tämän hankkeen tavoitteena oli erilaisten erotusmenetelmien kehittäminen saatavilla olevien biomassapohjaisten uusiutuvien raaka-aineiden jalostamiseen bioenergiatuotteiksi muiksi biojalosteiksi. Hankkeessa tehdyn koetoiminnan tavoitteena oli myös luoda uutta tietopohjaa taloudellisesti kannattavien tuotantolaitoskokonaisuuksien toteuttamiseksi.

Hankkeessa tutkimme miten metsistä ja soilta saatavista sahanpurusta, hakkeesta, suosammalista ja turpeesta voidaan jalostaa taloudellisesti kannattavasti etanolia liikennepolttoainekäyttöön, energiaa ja biohiiltä lämpölaitoskäyttöön sekä erikoissokereita elintarvike- ja lääketieteellisuuden käyttöön. Tutkimuksessa sahanpurua ja muita biomassoja käsiteltiin paineistetulla kuumalla vedellä (paineistettu kuumavesiuutto, Pressurized Hot Water Extraction, PHWE; Bobleter ym. 1976, Bobleter 1994) ja emäsluoksella (emäsuutto) selluloosan, hemiselluloosan ja ligniinin erottamiseksi omiksi jakeikseen (Bobleter & Concin 1979, Hatakka 1994). Hemiselluloosa ja selluloosa hydrolysoitiin sokerimonomeereiksi, jotka fermentoitiin bioetanoliiksi (kuva 23.1; Hörmeyer ym. 1988, Ragauskas ym. 2006, Xu ym. 2008, Chirat ym. 2009).



Kuva 23.1. Kaaviokuva hankkeessa tutkitusta kokonaisuudesta.

Hemiselluloosaliuosta voidaan konsentroida haihuttamalla tai suodattamalla (Al Manasraha ym. 2012). Uuttolämpötilaa ja kontaktiaikaa muuttamalla voidaan vaikuttaa uutettujen hemiselluloosaketjujen pituuteen (pilkkoutumiseen) ja muihin ominaisuuksiin, kuten hemiselluloosaan liittyneiden etikkahappomolekyylien määrään eli asetyloitumisasteeseen (Song ym. 2008, Leppänen ym. 2009, Kilpeläinen ym. 2012, 2013). Asetyloitunut hemiselluloosa on vesiliukoista ja sitä voidaan käsitellä ja muokata vesiliuoksessa. Uutetusta hemiselluloosasta voidaan valmistaa esimerkiksi kalvoja ja aerogeelejä (Mikkonen ym. 2009).

Hemiselluloosan erottamiseksi tutkittiin kahta erilaista uuttotekniikkaa, joista läpivirtausuuttoa koskevat kokeet tehtiin Metlassa sekä panosuuttoa koskevat kokeet Åbo Akademiassa. Uuttokokeet toteutettiin pääosin laboratoriomittakaavassa. Ylöskaalauskokeita tehtiin kolme kappaletta 300 litran uuttolaitteella.

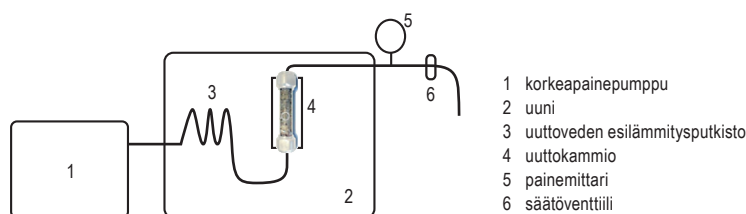
## 23.2 Menetelmät

### 23.2.1 Paineistettu kuumavesiuutto

Paineistetussa kuumavesiuuttoprosessissa uuttokammion lämpötila pidetään yli 100 °C lämpötilassa, mutta alle veden kriittisen lämpötilan 374 °C. Vesi pidetään uuton aikana nestemäisenä paineen avulla. Veden dielektrisyysvakio muuttuu lämpötilan kohotessa, minkä seurauksena veden ominaisuudet muuttuvat lähemmäs orgaanisten liuottimien ominaisuuksia. Tästä syystä uuttolämpötilaa muuttamalla voidaan vaikuttaa myös uutettujen kemiallisten yhdisteiden ominaisuuksiin. Paineistettu kuumavesiuutto on siten myös ekologinen vaihtoehto monille liuottimille. Käytetyn uuttolaitteen toiminnan periaatekuva on esitetty kuvassa 23.2.

Uuttolaite koostuu pumpusta, lämmitysyksiköstä, uuttokammioista, jäähdyttimestä sekä uutteen keräysastiasta. Uuttoneste pumpataan esilämmityskierukan läpi uuttokammioon, joka on täytetty halutulla biomassalla. Uuttokammioista tuleva uute jäähdytetään ja kerätään talteen. Uuttoolosuhteita ja uuttolaitteen toimintaa kuvaavat lämpötilan mittaukset tehdään kammioon asennetuilla termopareilla. Tässä hankkeessa tehdyt uutot toteutettiin Metsäntutkimuslaitoksen 50 ml:n, 3 l:n ja 300 l:n uuttolaitteilla (kuvat 23.3a, 23.3b ja 23.3c) sekä Åbo Akademin panosuuttolaitteistoilla.

Uuttokokeissa käytetty raaka-aine oli pääasiassa kuusi-, mänty- ja koivusahanpurua. Myös haketta ja suurempikokoisia puukappaleita sekä olkea, rahkasammalta, turvetta ja lietteitä uutettiin. Hankkeessa toteutetuissa uutoissa testattiin erilaisia uuttoolosuhteita sekä sitä, käyttäytyvätkö eri puulajit ja muut biomassat samoissa uuttoolosuhteissa toisiaan vastaavalla tavalla ja miten uutteen ja erotettu hemiselluloosajae käyttäytyivät hydrolyysissä ja fermentointikokeissa.



Kuva 23.2. Kokeissa käytetyn läpivirtausuuttolaitteiston toimintaperiaatekaavio.



**Kuva 23.3a.** Kokeissa käytetty 50 ml:n uuttokammio on sijoitettu kaasukromatografian uuniin, jonka avulla uuttolämpötilaa voidaan säädellä tarkasti. Uuttoliuoksen pumppaus tapahtuu kuvassa oikealla olevalla pumpulla. Kuva Metla/Kaisu Leppänen.

**Kuva 23.3b.** Kokeissa käytetty 3 litran uuttolaitteisto. Oikealta vasemmalle: Liuosten kuljettamiseen käytettävä, kemikaaleja kestävä pumppu, jonka virtausnopeutta voidaan säätää, lämmityskierukka, lämmitettävä 3 litran uuttoastia ja lämmönsäätöyksikkö (uuttoastian takana). Lasisessa keräysastiassa vaaleanruskeaa kuumavesiuutetta. Kuva Metla/Petri Kilpeläinen.



**Kuva 23.3c.** 300 litran uuttolaitteisto, jonka veden pumppamiseen käytettävä sininen suurtehopumppu (max. 100 l/min) näkyy kuvassa oikealla. 300 litran uuttokammio on kuvan keskellä oleva pystyasennossa oleva lieriö. Kaksi kuvassa vaakatasossa olevaa metallilieriötä ovat lämmönvaihtimia, joiden avulla uuttoliuoksen sisältämä lämpöenergia otetaan talteen samalla kun uute jäähdytetään huoneenlämpöiseksi. Uutteet kerättiin taustalla näkyviin kontteihin. Kuva Metla/Petri Kilpeläinen.



**Kuva 23.4.** Kuumavesiuutetta mittapullossa (vas.) ja 300 litran laitteella uutettua kuusipurua (oik). Kuva Metla/Petri Kilpeläinen.

Biomassassa olevien erilaisten yhdisteryhmien erottamisen tutkimiseksi kuumavesiuuttoa käytettiin laajalla lämpötila-alueella (60–280 °C) ja erilaisilla virtausnopeuksilla. Uuttoliuoksen määrä oli suhteutettu kammiossa olevan purun määrään erilaisten puu-vesi suhteiden aikaansaamiseksi. Virtaus myös pysäytettiin eripituisiksi ajoiksi uuton eri vaiheissa, jotta voitiin tutkia yhdistetyn panos- ja läpivirtausuuton vaikutuksia hemiselluloosan saantoon.

Jokaisen uuton aikana tiedot uuttoliuoksen virtausnopeudesta sekä lämpötiloista uuttolaitteiston eri osissa tallennettiin automaattisesti. Lisäksi utteiden määrät mitattiin uuton jälkeen. Kuumavesiuute kerättiin talteen analysointia ja mahdollista hydrolyysiä varten. Myös uutettu sahanpuru (kuva 23.4) analysoitiin.

Silloin kun uutettavat massat ovat hieman suurempia (> 0,5 kg) lämmityksen vaatima aika aiheuttaa sen, että uutoissa on käytännössä kolme toisistaan erotettavissa olevaa vaihetta: esiuutto, pääuutto, jälkiuutto. Esiuuton aikana uuttokammioon luodaan ennakolta päätetyt uutto-olosuhteet. Vaikka haluttuja uutto-olosuhteita ei tässä vaiheessa ole vielä saavutettu, puun yhdisteiden erottumista ja uuttumista tapahtuu myös silloin. Pääuuton aikana uutto-olosuhteet pyrittiin pitämään asetetun tavoitteen mukaisina ja mahdollisimman vakioisina. Suurin osa hemiselluloosasta ja myös muista uutuvista yhdisteryhmistä saadaan tähän fraktioon. Jälkiuuton ensisijainen tarkoitus oli kiintoaineissa jäljellä olevien hemiselluloosajakeiden poistaminen.

### 23.2.2 Emäsuutto

Paineistettu kuumaemäsuutto toteutettiin samalla laitteistolla kuin paineistettu kuumavesiuutto. Emäsuutossa uuttoliuoksena käytetään esim. natriumhydroksidilla emäksiseksi tehtyä liuosta. Paineastian täyttö tehdään selvästi vesiuttoa hitaammalla virtausnopeudella mistä syystä emäsuutossa kokonaisuuttoaika oli yleensä selvästi vesiuttoa pidempi. Emäsuutto voidaan tehdä joko uuttamattomalle biomassalle tai kuumavesiuuttoa seuraavana käsittelynä. Emäliuos uuttaa puuainesta erityisesti ligniiniin, jättäen kiinteään faasiin jäljelle biomassan sisältäneen selluloosajakeen.

### 23.2.3 Uutteen ja uuttojäännöksen jatkokäsittely

#### Hydrolyysi

Omiksi jakeikseen uutetut hemiselluloosa ja selluloosa voidaan pilkkoa eli hydrolysoida sokerimonomeereiksi joko entsyymikäsittelyillä tai happohydrolyysiä käyttäen. Erilaisten happojen ja entsyymien hydrolysoivia ominaisuuksia testattiin sekä kuumavesiuutteille että NaOH-uutetulle kiintoaineelle. Hydrolyysin raaka-aineena käytettiin joko pelkkää hemiselluloosaa tai selluloosajaetta, jotka oli saatu suorittamalla joko pelkkä emäsuutto tai peräkkäiset kuumavesi- ja emäsuutot. Hemiselluloosa- ja selluloosajakeita myös yhdisteltiin eri suhteissa liuoksen sokerikonsentraation optimoimiseksi.

Hydrolyysikokeet tehtiin panoshydrolyysinä eri lämpötiloissa, käyttäen eri happoja ja happojen väkevyyttä tai erilaisia entsyymejä. Kokeissa tutkittiin myös entsyymejä aktivoivia lisäaineita sekä käytetyn kuiva-ainemäärän ja hydrolyysiajan vaikutusta. Jokaisesta näytteestä saatu neste ja kiintoaine kerättiin talteen myöhempää analysointia varten.

#### Fermentointi

Fermentointikokeiden avulla kartoitettiin erilaisten lähtömateriaalien ja uutto-olosuhteiden avulla tuotettujen uutteen soveltuvuutta lähinnä etanolin tuottamiseen (saanto, inhibitio eli käymisen estyminen).

Fermentointikokeet tehtiin panoskäymisenä. Fermentointiin käytettiin lähtöaineena hydrolysaattia, joka saatiin kuumavesiuutteen tai kuumavesi- ja/tai alkaliuutetun biomassan hydrolysoinnista.

Fermentoitavista uuttoliuoksista analysoitiin kuiva-aineen määrä, yhdestä sokerimolekyylistä muodostuvien sokerimonomeerien laatu ja määrä sekä hydrolysoitumatta jääneiden, pitkistä sokeriketjuista koostuvien hemiselluloosapolymeerien ja muutamien sokerimolekyylien ketjuista koostuvien oligomeerien määrä.

#### Puhdistus ja eristys

Uuttoliuosten puhdistus ja eristyskokeissa uutto-, hydrolyysi- ja fermentointikokeiden jakeita puhdistettiin polymeerisiä hartseja, suodatusta ja saostusta käyttäen.

Uuttoliuokseen liuenneiden yhdisteiden analysoinnissa käytettiin lähinnä kaasua- ja nestekromatografisia menetelmiä. Yhdisteiden erotuskokeissa käytettiin kalvosuodatusta (eri valmistajien ultra-suodatus ja nanosuodatuskalvoja). Kromatografisissa erotuskokeissa käytettiin kolonnin täyteinä ioninvaihtohartseja. Suodatuskokeet toteutettiin yhteistyössä Lappeenrannan teknisen yliopiston kanssa.

### 23.2.4 Analyysimenetelmät

Näytteiden analysoinnissa käytetyt analyysimenetelmät on kuvattu yksityiskohtaisesti Metsäntutkimuslaitoksen analyysikirjastossa, josta ne ovat haluttaessa saatavissa tarkasteltavaksi.

### 23.2.5 Alustava laitossuunnittelu

Laitossuunnittelun ensimmäisessä vaiheessa kartoitettiin kirjallisuuden perusteella eri prosessi- vaihtoehtoja ja näissä tarvittavia yksikköoperaatioita ja laitetyppejä, joiden perusteella tehtiin virtauskaaviot muutamille prosessivaihtoehdoille. Näiden perusteella tehtiin alustavat laskelmat massa- ja energiataseista sekä investointi- ja käyttökustannuksista.

## 23.3 Tulokset

### 23.3.1 Raaka-aineen koostumus

Uuttokokeiden pääasiallinen lähtömateriaali oli kuusi-, koivu- ja mäntysahanpuru. Kokeissa käytetyn sahanpurun partikkelikoko oli 1–3 millimetriä. Myös valikoima muita metsistä, soilta ja pelloilta saatavia biomassoja tutkittiin niiden kemiallisen koostumuksen ja käyttäytymisen määrittämiseksi uutto-olosuhteissa. Taulukossa 23.1 on esitetty eräiden tutkittujen biomassojen hemiselluloosan, selluloosan, ligniinin ja uuteaineiden suhteelliset osuudet.

Taulukko 23.1. Raaka-aineiden koostumus (% kuiva-aineesta).

Raaka-aine	Hemiselluloosa	Selluloosa	Ligniini*	Tuhka	Uuteaineet
	%				
Mänty	22	37	31	2	7
Kuusi	26	40	27	n.a.	2
Koivu	28	41	21	n.a.	3
Rahkasammal	32	28	n.a.	n.a.	2

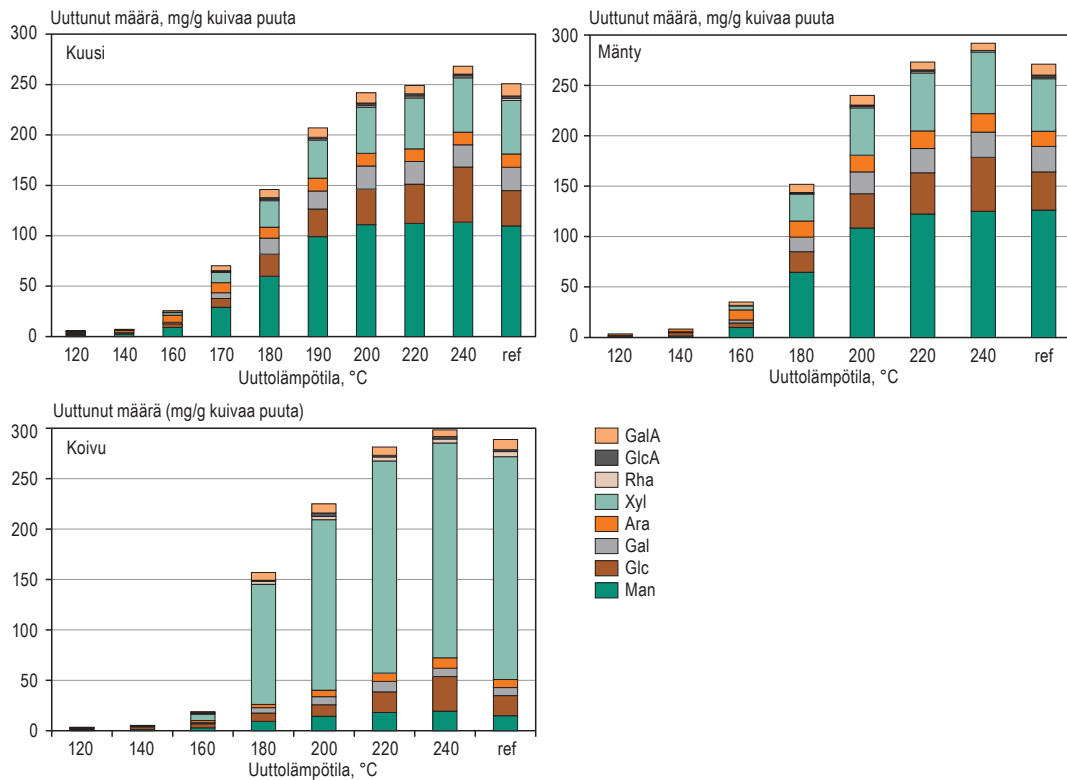
\*Klason ligniini määrittäminen (mukana liuennut ligniini ja tuhka)

### 23.4.2 Paineistettu kuumavesiuutto

#### Eri uuttomateriaalit ja uutto-olosuhteet

Kuusi, mänty ja koivu käyttäytyivät kuumavesiuuttoissa melko samalla tavalla (kuvat 23.5 a,b ja c). Alle 150 °C lämpötilassa uuttuneiden kokonaissokerien määrä oli alhainen. Hemiselluloosaa uuttui hyvin vähän ja merkittävä osa uuttuneista sokereista oli sokerimonomeerejä. Uuttuneiden sokerien määrä riippuu uuttoajan pituudesta. Hemiselluloosaa alkoi uuttua 160 °C lämpötilassa, 180 °C:ssa uuttuminen lisääntyi merkittävästi ja 200 °C lämpötilassa valtaosa lähtöaineen hemiselluloosasta uuttui nestefaasiin. Uuttuneen hemiselluloosan keskimääräinen molekyylikoko laski uuttolämpötilan kohotessa. Jos uuttoaika pidettiin vakiona, suurin kokonaissaanto saatiin suurimmilla virtausnopeuksilla, mutta samalla uuttoliuoksen konsentraatio oli alhaisempi. Uuttoliuoksen hemiselluloosakonsentraatio oli korkein kokeissa käytettyjen virtausnopeuksien keskivaiheilla. Uuttuneiden hemiselluloosien kokonaismäärä oli tällöin 75–90 % nopeamman virtauksen saannosta, mutta veden kulutus oli vain 50 % suurimmalla virtausnopeudella käytetystä vesimäärästä.

Monosakkaridien suhteellinen osuus kasvoi ja uuttuneiden hemiselluloosamolekyylien keskimääräinen molekyyliainepaino aleni, kun uuttoaika kasvoi. Lämpötilan vaikutus moolimassaa alentavana tekijänä oli kuitenkin selvästi kontaktaika suurempi. Tämän perusteella voidaan päätellä, että



**Kuva 23.5 a,b,c.** Paineistetulla kuumavesiuuttolla saatujen kuusi, mänty ja koivu-uutteiden hemiselluloosan kokonaismäärät ja uutteen sokerikoostumus. Koivun hemiselluloosasta valtaosa on ksylaania.

uuttoaikaa kasvattamalla ja virtausnopeutta alentamalla voidaan pienentää käytettävän veden määrää ilman että saanto ja molekyylikoko kärsivät merkittävästi.

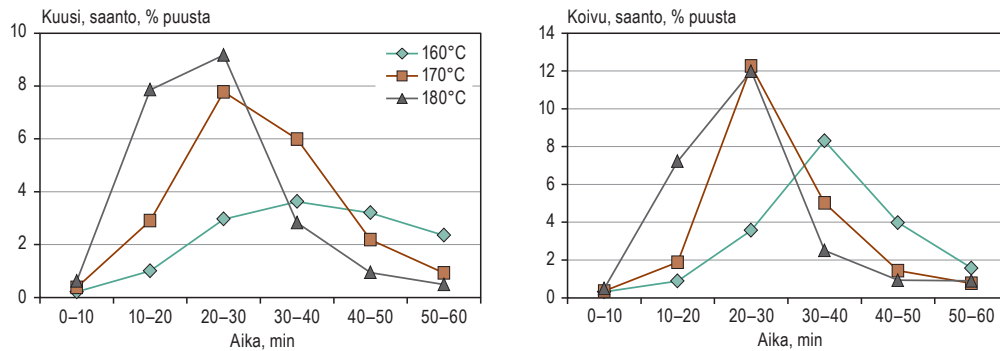
Rahkasammalilla tehdyissä kokeissa havaittiin, että niistä uuttuvan hemiselluloosan vapautuminen noudatti vastaavan tyyppistä lämpötilariippuvuutta, kuin kolmen puulajin havaittiin noudattavan.

Kun kuusen ja koivun uuton aikana tapahtuvaa yhdisteiden liukenemista tutkittiin peräkkäisinä 10 minuutin aikajakeina, ensimmäisessä 10 minuutin aikajakeessa ei ollut juurikaan hemiselluloosaa. 160 °C lämpötilassa uuttoliuoksen konsentraatio kasvoi tasaisesti 30–40 minuutin välillä kerättyyn jakeeseen asti. Tässä lämpötilassa koivusta uuttui enemmän hemiselluloosaa (ksylaaneja) kuin kuusesta. Puulajien välinen ero oli suurimmillaan tässä 30–40 minuutin fraktiossa.

170 °C ja myös 180 °C lämpötilassa liuoksen konsentraatiohuippu oli 20–30 minuutin välillä kerättyssä jakeessa, mutta 180 °C lämpötilassa myös 10–20 minuutin jakeen hemiselluloosapitoisuus oli kummallakin puulajilla selvästi korkeampi kuin 170 °C lämpötilassa. Näissä kahdessa lämpötilassa kokonaissaannoissa ei puulajien välillä ollut suuria eroja (kuva 23.6).

Koska saannon huippu saavutetaan korkeammassa lämpötilassa nopeammin, tämä antaa mahdollisuuden kokonaisuuttoajan lyhentämiseen. Samalla kuitenkin uuttuneen hemiselluloosan keskimääräinen moolimassa pienenee.

Monsakkaridien osuus liuoksen kokonaissokerimäärästä kasvoi uuttolämpötilan kohotessa. Kuusiuutteessa suhteet olivat 8, 12 ja 16 % 160, 170 ja 180 °C lämpötiloissa. Koivu-uutteissa vastaavat luvut olivat 6, 8 ja 12 %. Kuusiuutteessa oli vain hyvin pieniä määriä mannoosia ja



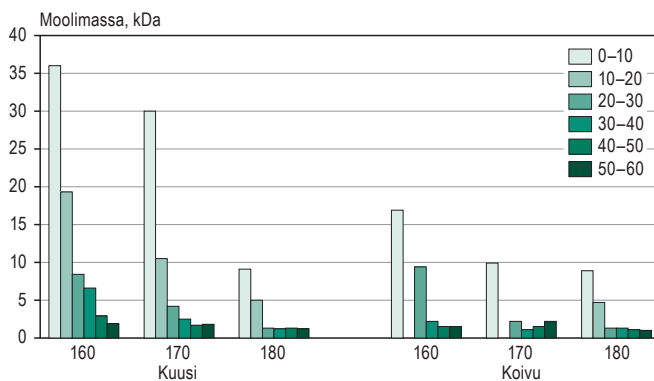
**Kuva 23.6.** Hemiselluloosan saanto uuttoliuoksesta kerätyissä 10 min fraktiossa.

glukoosia eli näistä sokereista muodostuneen galaktoglukomannaanin pääketju ei ollut juurikaan hydrolysoitunut. Koivu-uutteessa monosakkaridit olivat miltei yksinomaan ksyloosia.

Hemiselluloosan asetyloitumisaste eli hemiselluloosaketjuun kiinnittyneiden asetyyliryhmien osuus säilyi uuton aikana korkeana. Männyllä ja kuusella asetyloitumisaste vaihteli 0,18–0,33 välillä, koivulla 0,25–0,35 välillä. Tulokset viittaavat siihen, että valtaosa asetyyliryhmistä säilyi hemiselluloosassa. Korkea asetyloitumisaste on todennäköinen syy havaitulle hemiselluloosien suurelle vesiliukoisuudelle.

Uuttuneen hemiselluloosan molekyylikoko oli suurin aivan uuton alussa, ja pieneni uuttoaajan funktiona. Koivulla aivan uuton alussa uutui glukomannaania ja sen jälkeen pääasiassa ksylaania, havupuiden uute koostui galaktoglukomannaanista. Uuttolämpötilan vaikutus uutuneiden hemiselluloosamolekyylien kokoon oli selvä (kuva 23.7). Keskimääräinen molekyylikoko oli sitä pienempi, mitä korkeampaa uuttolämpötilaa käytettiin. Kuusen hemiselluloosa uutui keskimäärin suurempina molekyyleinä kuin koivun ksylaani. Osa tästä erosta saattaa johtua mittausteknisistä syistä.

Kuumavesiuuton yhteydessä lähtöaineesta liukenee myös hemiselluloosan rakenteeseen kuuluvia asetyyliryhmiä. Kuusiuutteen happamuus on selvästi alle pH neljän, koivu-uutteen jopa alle kolmen. Jos hemiselluloosa halutaan hydrolysoida hapolla, liuoksen pH on siten jo valmiiksi alhainen.



**Kuva 23.7.** Uuttolämpötilan vaikutus uutuneen hemiselluloosan moolimassaan (Mw, kDa) peräkkäisissä 10 minuutin erissä kerätyissä uute-näytteissä.

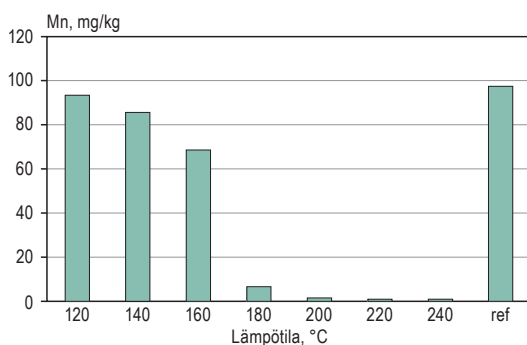
## Uuttojäännöksen koostumus

Punnitusten avulla määritetty kuumavesiuuton aikainen keskimääräinen massahäviö oli noin 25 % lähtöaineen massasta silloin kun uutto-olosuhteet oli valittu niin, että valtaosa hemisellulosasta uuttuu nestefaasiin. Koivua raaka-aineena käytettäessä uuttuneen kiintoaineen määrä oli havupuita suurempi. Kuumavesiuutetun purun keskimääräinen kuiva-ainepitoisuus on selvästi alhaisempi kuin tuoreen puun kuiva-ainepitoisuus. Hemiselluloosan saanto ja jäljelle jääneen kiintoaineen kuiva-ainepitoisuus riippuvat jonkin verran toisistaan. Ilmeisesti jäljellä oleva kiinteän aineen rakenne avautuu hemiselluloosan uuttuessa niin, että siihen voi sitoutua enemmän vettä.

Kuumavesiuutetun sahanpurun hemiselluloosan osuus putosi uuton aikana käsittelemättömän sahanpurun määrästä (mänty 22 %, koivu 28 %) noin viiteen prosenttiin. Samoin tuhkan, yksittäisten alkuaineiden ja uuteaineiden osuus pieneni uuton aikana merkittävästi. Sen sijaan selluloosan määrä säilyi kuumavesiuutoissa lähellä alkuperäistä määrää. Ligniiniä uuttui kuumaan veteen sitä enemmän mitä kuumempaa vettä käytettiin, alle 200 °C lämpötiloissa kuusella 1–10 % ligniinin kokonaismäärästä.

Paineistettu kuumavesiuutto poistaa sahanpurusta myös monia siinä olevia alkuaineita (B, K, Mg, Mn, P, Zn, kuva 23.8). Käytössä olevasta laitteistosta saattaa liueta joitakin alkuaineita (Cr, Cu, Fe), koska näiden aineiden alkuainepitoisuudet kasvavat uutetussa sahanpurussa.

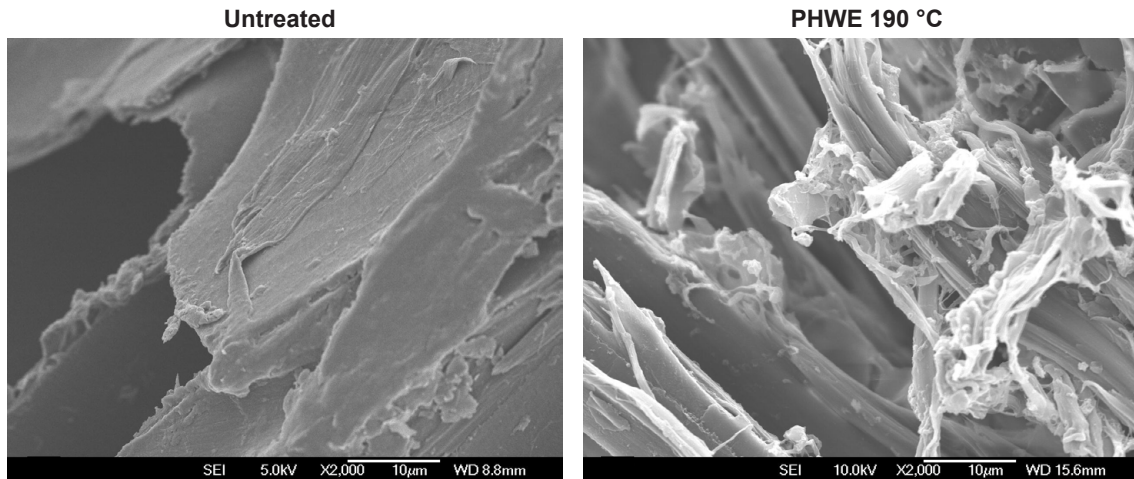
Uuttuvien ja biomassaan uuton jälkeen jäljelle jäävien alkuaineiden määrällä voi olla merkitystä tuotteiden käytön ja jatkojalostuksen kannalta arvioituna. Taulukossa 23.2 esitetään uuttamattoman ja 180 °C:ssa uutetun puuaineksen alkuainepitoisuuksia. Ainemäärät vähenivät uuton aikana melkein kaikissa tapauksissa. Taulukossa ei ole huomioitu uuton aikana tapahtunutta hemiselluloosan uuttumisen aiheuttamaa massahäviötä, eli uuttunut määrä on noin 20 % suurempi, kuin suoraan näitä pitoisuuksia vertaamalla voidaan havaita. Monien alkuaineiden pitoisuudet alittivat havaintorajan eikä näitä tuloksia siksi ole esitetty.



**Kuva 23.8.** Kuumavesiuuton uuttolämpötilan vaikutus kiinteän jakeen mangaanipitoisuuteen (mg/kg).

**Taulukko 23.2.** 180 °C lämpötilassa uutetun mänty ja kuusisahanpurun alkuainepitoisuudet.

	B	Ca	K	Mg	Mn	P	Zn	S
	mg/kg							
Kuusi kontrolli	2,4	823	443	100	69	51	9,9	52
Kuusi uutettu	<0,4	369	<62	23	0,4	<4,3	1,2	39
Mänty kontrolli	1,7	748	361	185	47,3	45	6,6	51
Mänty uutettu	<0,4	776	<62	33	1,17	<4,3	2,1	45

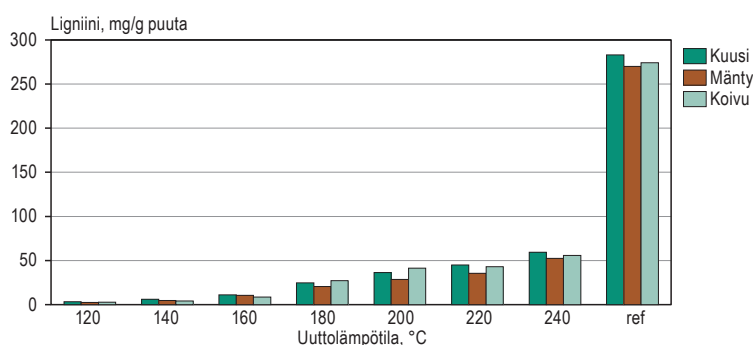


**Kuva 23.9.** Elektronimikroskooppikuvat käsittelemättömästä (untreated) ja 190 °C:ssa uutetun (PHWE 190 °C) kuusihakkeen pinnasta. Kuva Metla/Risto Korpinen

Pyyhkäisy-elektronimikroskooppilla otetussa kuvaparissa voidaan vertailla silmänvaraisesti uuttamatoman ja uutetun puun rakennetta (kuva 23.9). Uuttunut materiaali oli kuiduttuneempaa kuin uuttamaton lähtöaine. Vaikutus oli sitä voimakkaampi, mitä korkeampi uuttolämpötila oli. Muutokset sahanpurussa olivat voimakkaampia kuin muutokset hakkeessa todennäköisesti sen suuremman kokonaispinta-alan vuoksi.

### Ligniinin uuttuminen

Kuumavesikäsiteltyssä uuttuneen ligniinin määrä oli kaikilla puulajeilla samoissa käsittelylämpötiloissa suunnilleen sama (kuva 23.10). Ligniinituloksia tarkasteltaessa täytyy kuitenkin huomioida, että liuosta jäädytettäessä osa ligniinistä saostuu, eikä ole siten mitattavissa käytetyllä UV-menetelmällä kvantitatiivisesti.



**Kuva 23.10.** Lämpötilan vaikutus eri puulajeista kuumavesiuutossa uuttuvan ligniinin kokonaismäärään.

### Palakoko

Kun uutot tehtiin sahanpurulle ja hakkeelle samanlaisissa olosuhteissa havaittiin, että hemiselluloosaa uuttui enemmän silloin, kun lähtöaine oli sahanpurua. Hemiselluloosan vapautuminen hakkeesta näyttää kuitenkin jatkuvan pidempään kuin sahanpurusta. Tämä tarkoittaa, että hakkeen hemiselluloosasaantoa olisi mahdollista kasvattaa uuttoaikaa pidentämällä. Samalla kuitenkin käytettävät vesimäärät kasvavat.

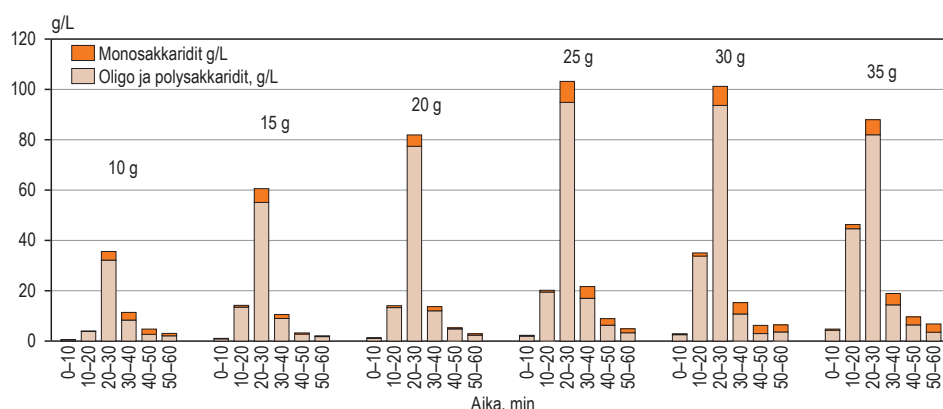
## Pakkaus

Uuttoliuoksen sokerikonsentraatio on melko suoraan riippuvainen uutettavan purun ja läpi virranneen veden määrien suhteesta eli uuttoliuoksen sokerikonsentraatioita voidaan kasvattaa pienentämällä veden ja purun suhdetta (kuva 23.11).

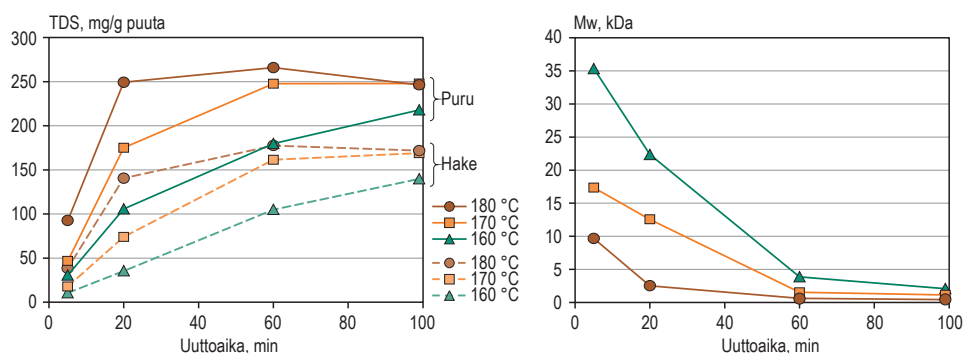
Panosuutot käyttäytyvät eri uutto-olosuhteissa vastaavan tyyppisesti kuin läpivirtausuutot, mutta saannot ovat usein jonkin verran läpivirtausuuttoja alhaisempia (kuva 23.12). Panosuutoissa moolimassa on kuitenkin yleensä vastaavissa oloissa tehtyä läpivirtausuuttoa pienempi ja esim. myrkyllisten furfuraalien määrä suurempi.

## Kierrätys

Kun samaa uuttoliuosta käytettiin useamman puruerän uuttamiseen, nousi uuttoliuoksen liuenneiden aineiden kokonaismäärä (Brix) ja hemiselluloosan määrä perättäisten uuttojen sarjassa jokaisella uuttokerralla (taulukko 23.3).



**Kuva 23.11.** Kuvassa uutettavan purun kokonaismäärä kammiossa oli 10–35 g. Uuttoliuoksen konsentraatiossa havaitaan aina 25 g pakkaustiheyteen asti suunnilleen saman suuruinen lisäntyminen kuin uutetun purunkin määrässä. Korkeammassa pakkausasteessa uuttoliuoksen konsentraatio oli noin 100 g/l, missä sokerimäärä on jo niin korkea, että jos hydrolyysi ja fermentaatio onnistuvat hyvin, etanolia syntyy niin paljon, että sen tislauksen on mahdollista.



**Kuva 23.12.** Uuttoajan ja uuttolämpötilan sekä uutettavan materiaalin palakoon vaikutus panosuutossa uutettavien yhdisteiden kokonaismäärään (TDS) ja uuttoajan ja lämpötilan vaikutus hemiselluloosien moolimassaan Mw, (kDa).

**Taulukko 23.3.** Samaa uuttoliuosta kierrättämällä tehtyjen kolmen peräkkäisen uuttoliuksen hemiselluloosapitoisuudessa havaittu kasvu.

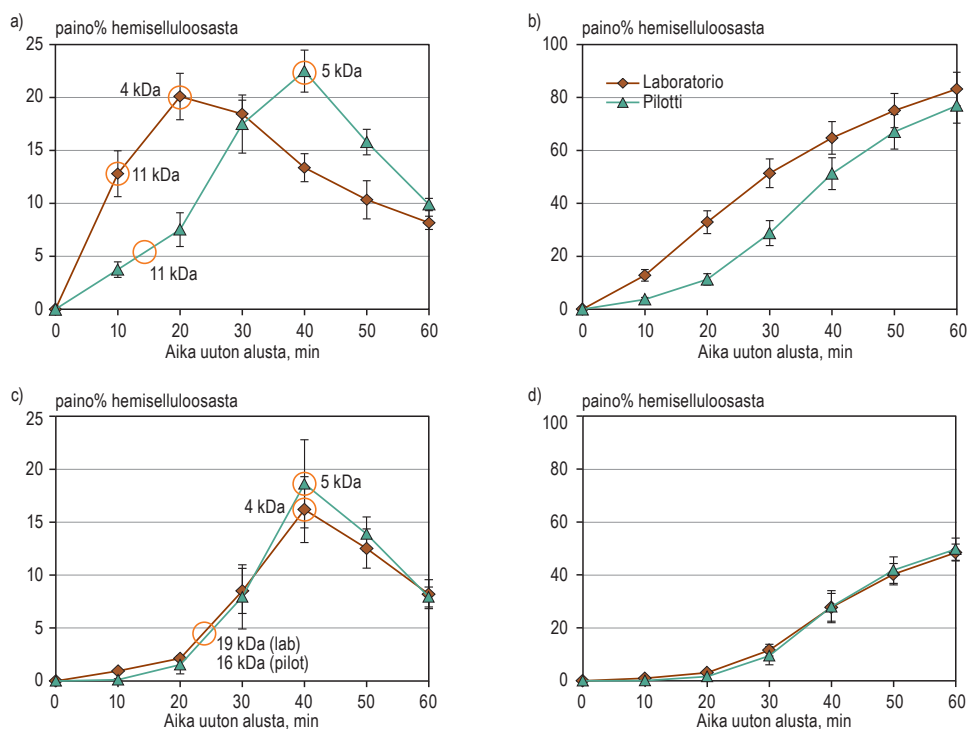
Uuttokammioiden lukumäärä	1	2	3
Korkein hemiselluloosa pitoisuus	16 g/l	23 g/l	28 g/l
Piikin sijainti 10 minuutin uuttojaksoissa	30–40 min	30–40 min	40–50 min
Uuttoliukseen tullut lisä 1 uuttoon verrattuna		+ 36 %	+ 67 %
Piikin kohdalla mitattu moolimassa	3,7	5,3	4,7

## Pilottimittakaava

300 l uuttolaitteistolla uutettiin kuusi, mänty ja koivu sahanpurua, kuusihaketta sekä kuusirimoja. Uutto olosuhteita varioitiin samalla tavoin kuin laboratoriomittakaavassa tehdyissä kokeissa.

Yleisenä ilmiönä havaittiin, että 300 l laitteistolla tehdyissä uutoissa saannot olivat melko samanlaisia kuin laboratoriomittakaavassa tehdyissä uutoissa. Lämpötilaerot kammion sisällä ovat suuremmat isossa mittakaavassa tehdyissä uutoissa erityisesti lämmitysvaiheessa, samoin myös kanavoinnin mahdollisuus on suurempi. Lämmitysvaiheen uuttoliuksessa oli keskimäärin noin 2 %, ja jäähdytysvaiheessa käytetyssä vedessä noin 3 % lähtöaineen hemiselluloosasta.

Yleiskuvaltaan isossa mittakaavassa tehdyt uutot (pilot) vastasivat pienemmässä mittakaavassa (lab) tehtyjä uuttoja. Monosakkaridien osuus oli 180 °C:ssa ~10–13 %, moolimassat olivat suurimpia uuton alussa ja putosivat lähelle 1 kDa uuton loppuosassa. Hakkeesta saannot olivat 50–60 % vastaavissa olosuhteissa tehtyihin sahanpuru-uuttoihin verrattaessa. Hakeuuttojen saannot ovat hieman alhaisempia myös siitä syystä, että hakeuutoissa käytettiin uuttokammion sisään asennettua



**Kuva 23.13.** Kuusen (yläkuvat) ja koivun (alakuvat) sahanpurusta tapahtuvan hemiselluloosan uuttumisen ajoittuminen uuton aikana laboratorio ja pilotti mittakaavan uuttolaitteistoissa. Vasemmanpuoleisissa kuvissa uuton eteneminen ajan suhteen (a,c) ja oikealla (b,d) uuttosaanto.

uuttoastiaa, jonka havaittiin pienentävän kokonaissaantoa sen aiheuttaman mahdollisen ohivirtauksen takia.

### 23.3.3 Emäsuutto

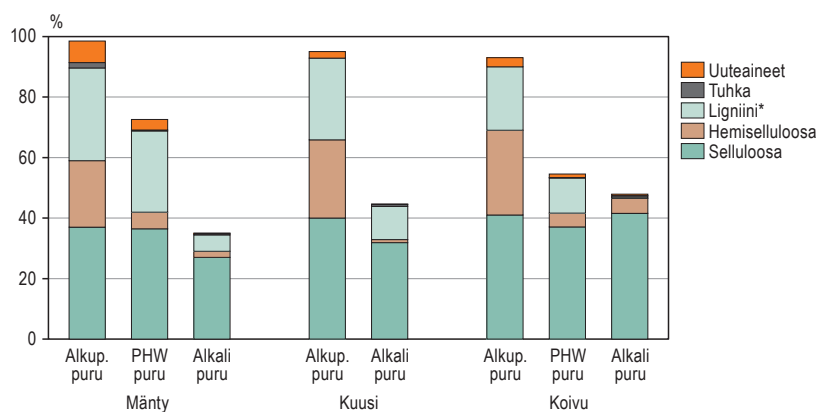
Laboratoriomittakaavassa tehdyissä kokeissa tutkittiin emäsluoksen (NaOH) konsentraation vaikutusta uutettavaan biomassaan. Natriumhydroksidiliuoksen konsentraation kasvaessa 0,44 molaarisesta liuoksesta 0,72 molaariseen liuokseen selluloosan osuus jäljelle jääneen kiintoaineksen kokonaismäärästä kasvoi kymmenellä prosenttiyksiköllä (75 → 85 %). Kuusipurusta uutuneen kiintoaineen määrä kasvoi samalla noin 50 prosentista 55 prosenttiin. Tämä tulos tarkoittaa, että korkeammassa emäskonsentraatioissa uutui viisi prosenttiyksikköä enemmän lähinnä ligniiniä. Reaktiossa kului lisätystä natriumhydroksidista 87 %–65 % eli emäsluoksen väkevyyden lisääntyessä reaktiossa kuluneen emäksen suhteellinen osuus pieneni.

Alkuperäisen mäntysahanpurun selluloosan määrä oli noin 450 mg/g. Kun uutettujen fraktioiden selluloosapitoisuus laskettiin puun alkuperäistä kokonaismassaa kohden, selluloosan määrä oli 350–400 mg/g. Purun alkuperäinen hemiselluloosamäärä oli noin 235 mg/g. Alkaliuuttojen jälkeen kiintoaineessa olevan hemiselluloosan määrä oli alle 50 mg/g. Alkuperäisen puun ligniinin määrä oli 260 mg/g. Laimeimmalla emäsluoksella käsitellyn puun ligniinin määrä oli uuton jälkeen 70 mg/g ja väkevimmällä liuoksella n. 40 mg/g. Uuteaineita alkuperäisessä puussa oli 23 mg/g, uuton jälkeen vain 1–2 mg/g. Uuttumatta jääneessä kiinteässä faasissa selluloosapitoisuus oli 770–935 mg/g.

Koivulla ligniinin uuttuminen tapahtui kuusiuttoa alhaisemmassa konsentraatioissa. Jo 0,3 M natriumhydroksidiliuoksella kiintoaineen selluloosapitoisuus oli noin 85 % ja 0,5 M uuton jälkeen 93,5 %. Hemiselluloosan määrä uuttumatta jääneessä kuiva-aineessa oli noin 10 % ja ligniinin 3–10 %.

Kuumavesiuutetun mäntypurun alkaliuutossa uutui kiintoainetta 20–35 % lähtömassasta, koivulla uutunut määrä oli 44 %. Lisätyn natriumhydroksidin takia kuivatun uutteen tuhkapitoisuus oli hyvin korkea (60–75 %), kierrätysuutoissa vielä tätäkin korkeampi. Mikäli uutettu ligniini halutaan hyödyntää, täytyy liuennut natrium erottaa ligniinijakeesta ennen kuivaamista (kuva 23.14).

Alkaliuutto poistaa valtaosan havupuiden ligniineistä ja miltei kaiken koivussa kuumavesiuuton jälkeen jäljellä olevasta ligniineistä.



**Kuva 23.14.** Sahanpuruissa olevien yhdisteryhmien määrät uuttamattomassa, kuumavesi- ja alkaliuutetussa purussa (% alkuperäisestä massasta).

### 23.3.4 Uutteen ja uuttojäännöksen jatkokäsittely

#### Kalvosuodatus

Kalvosuodatusta testattiin suurten hemiselluloosamolekyylien erottamiseen omaksi jakeekseen sekä uutteen konsentroimiseksi (kuva 23.15). Kalvoina käytettiin 5 kDa selluloosa-asetaatti kalvoja. Kalvoille pidättyi noin 50 % liuoksen hemiselluloosasta ja 40 % ligniinistä (taulukko 23.4). Kalvon syöttöpuolelle jääneiden yhdisteiden molekyylikoko oli selvästi kalvon läpäisseitä yhdisteitä suurempi.

Suodatus tapahtuu nopeammin, kun liuoksen lämpötila on korkeampi. Kalvon ominaisuudet kuitenkin määrittävät käytettävissä olevan maksimilämpötilan, ja koska suodatus itsessään lämmittää liuosta, suodatusastia täytyy jäähdyttää, ettei suodatinkalvo vahingoitu. Kalvon korkein käyttölämpötila oli 55 °C.



**Kuva 23.15.** Metsäntutkimuslaitoksella käytetty kalvosuodatuslaite. Kuva Metla/Petri Kilpeläinen

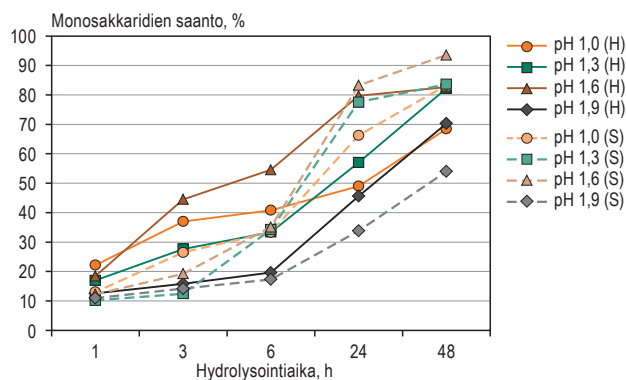
**Taulukko 23.4.** Hemiselluloosan konsentraatio ja moolimassa. Permeaatti on kalvon läpi suodattunut liuos, konsentraatti on suodattumatta jäänyt osa.

	Hemiselluloosan konsentraatio, g/l	Moolimassa, kDa
Uute	5,9	6,0
konsentraatti	21,8	12,8
permeaatti	2,4	2,8

#### Hydrolyysikäsittelyt

Eri uutto-olosuhdekokeista hydrolysoitavaksi otettujen näytteiden selluloosan hydrolysointias- teessa oli huomattavia eroja. Keskimäärin 45 % selluloosasta pilkkoutui glukoosiksi. Ligniinin suuri määrä (26 % hydrolyysiseoksen kuivapainosta) ei estänyt hydrolyysin onnistumista.

Rikki- ja suolahapolla 90 °C:een lämpötilassa ja pH:n ollessa 1,0 tehty hydrolyysi tuotti 24 tunnin käsittelyssä noin 50 % monosakkaridisaannon. Jos lämpötilaa nostettiin kymmenellä asteella (100 °C) pH:n ollessa 1,6 ja uuttoaajan 48 tuntia, päästiin suolahapolla jopa 80 % monosakkaridisaantoon.



**Kuva 23.16.** Monosakkaridien saannot 100 °C lämpötilassa tehdyissä hydrolyyseissä, S = rikkihappo, H = suolahappo.

Rikkihapolla puolestaan saavutettiin korkeampi monomerisaatiaste (60 %) 24 tunnin käsittelyajalla. Muissa käsittelyissä monomeerien määrä jäi alle 50 %:iin. Sokerien kokonaismäärä ei vähentynyt happokäsittelyjen seurauksena, mistä voidaan päätellä, että sokerit eivät hajonneet merkittävästi hydrolysoinnin aikana (kuva 23.16).

## Fermentointi

Fermentointi suoritettiin suodatetuille hydrolysaateille. Fermentoinnissa käytettiin erilaisia tehokasta etanolin tuotantoa silmällä pitäen valittuja hiivakantoja, mutta myös tavallista leivontahiivaa testattiin vertailun vuoksi. Fermentointi leivontahiivaa käyttämällä vähensi fermentotiliuksessa olevien sokerien määrää puolella. Erikoishiivoilla yli 95 % monomeereiksi hydrolysoituista sokereista fermentoitui etanoliksi.

Fermentointiaikaan vaikutti selvästi se oliko hydrolyysissä käytetty vettä vai hemiselluloosauutetta alkaliuutetun sahanpurun lisäksi. Vettä sisältäneet hydrolyysiliuokset olivat fermentoituneet suurimmaksi osaksi jo kuuden tunnin kohdalla, mutta kuumavesiuutetta sisältäneet näytteet tarvitsivat pidemmän fermentointiajan. Hiivakannat tarvitsevat ilmeisesti jonkin verran aikaa sopeutukseen erilaisiin sokerilähteisiin. Myös uutteen sisältämät inhibiittorit kuten ligniinit, etikkahappo ja uuteaineet ovat mahdollisesti pidentäneet fermentoitumisaikaa.

Yhdeksän käymiskokeen tulokset on esitetty taulukossa 23.5. Rikkihapolla hydrolysoidut liuokset fermentoituiivat keskimäärin hieman suolahappoliuoksia paremmin. Liuoksen sokerikonsentraatio oli fermentoinnin saannon kannalta keskeinen tekijä. Kokeissa käytetty hiivakanta C käytti käytännössä liuoksen kaikki sokerit 72 tunnin kuluessa, kun liuoksen lähtökonsentraatio oli 52 g/l. Kannoilla A ja B saannot olivat noin 70 %, kun liuoksen väkevyys oli 90 g/l. Jos konsentraatiota

**Taulukko 23.5.** Käymistulokset.

Koe	Hiiva kanta	Happo	Hemiselluloosa konsentraatio, g/l	Heksoosi monosakkaridien käyttö, %	Käymisaika, h
1	A	HCl	90	68	72
2	B	HCl	90	73	72
3	A	HCl	175	0	72
4	B	HCl	175	6	72
5	B	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	130	74	72
6	B	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	69	87	144
7	B	HCl	74	70	144
8	C	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	52	100	72
9	C	HCl	52	100	72

kasvatettiin 175 g/l, fermentoitavuus putosi lähelle nollaa kannalla A ja oli vain 6 % kannalla B. Inhiboituminen saattoi johtua joko liuoksessa olevien inhiboivien yhdisteiden korkeammasta konsentraatiosta tai suurempi sokerikonsentraatio sinänsä esti fermentoitumista. Tässä koesarjassa sokeripitoisuus 130 g/l oli korkein käymiselle sopiva pitoisuus.

Heksoosien eli kuusihiilisten sokerien lisäksi käymisen aikana kului 40–65% liuoksen alkuperäisistä arabinoosi, xyloosi ja ramnoosi monosakkarideista. Käymisen aikana syntyi etanolin lisäksi myös pieniä määriä muita alkoholeja kuten 1-propanolia ja isobutanolia.

Teoreettinen etanolin maksimisaanto uutteenä olevasta hemiselluloosasta on 88 kg etanolia tonnia puuta kohden. Korkein tässä kokeessa saavutettu etanolisaanto oli 28 kg/tonnia puuta kohden eli korkein saavutettu saanto oli 32 % teoreettisesta maksimisaannosta.

Kuumavesiuutossa poistui korkeimmillaan n. 80 % of hemiselluloosan kokonaismäärästä. Suodattamalla tehdyssä konsentroidussa menetettiin nyt käytetyllä kalvolla noin puolet liuoksen kokonaissokereista permeaattiin. Permeaatin kierrätyksellä voidaan kasvattaa tämän jakeen sokerikonsentraatiota. Jos 80 % uutteen hemiselluloosista saataisiin konsentroiduun hydrolysaattiin, olisi etanolisaanto noin 45 kg/tonni puuta.

## **23.4 Bioenergiaa tuottavien jalostamojen toteutusmahdollisuudet**

### **23.4.1 Tuotteiden markkinatilanne ja kehitysnäkymät**

Bioetanoli on yleisin fossiilisia polttoaineita korvaava liikenteen biopolttoaine. Etanoli nähdään monissa maissa tärkeäksi välineeksi myös kansallisen energiariippumattomuuden saavuttamiseksi. Etanolin valmistus ruokakasveista on kuitenkin keskeinen huolenaihe pohdittaessa etanolin tuotannon kestävyyttä.

EU on direktiivissä 2009/28/EY (EU 2009) asettanut jäsenvaltioilleen kunnianhimoiset tavoitteet biopolttoaineiden käytön lisäämiseksi. Suomi on luonut kansallisen toimintasuunnitelman uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian edistämisestä direktiivin tavoitteiden mukaisesti. Suunnitelman mukaan biopolttoaineiden käytön edistäminen perustuisi etupäässä liikennepolttoaineiden myyjille asetettavaan jakeluväliteeseen. Tavoitteena olisi, että biopolttoaineita koskeva jakeluvälite olisi jopa 20 % energiasisällöstä vuonna 2020.

Jotta näihin tavoitteisiin päästään, tulee liikenteen uusiutuvia polttoaineita tuottaa mahdollisimman monista raaka-aineista huolehtien samalla, että tuotanto täyttää sille asetetut kestävyyskriteerit (ns. RES-direktiivin kestävyyskriteerit). Liuskekaasun ja -öljyn räjähdysmäinen markkinoille tulo ja sen aiheuttama hintakilpailu voi kuitenkin muuttaa myös Euroopassa harjoitettavan energiapolitiikan suuntaa ja on jo huonontanut uusiutuvien biopolttoaineiden hintakilpailuasemaa.

### **23.4.2 Toimintaympäristö**

Lignoselluloosapohjaisista raaka-aineista tehtävää etanolin tuotantoa on tutkittu pitkään ja erilaisia tuotantovaihtoehtoja kehitetään monissa maissa. Kehityspanostuksista huolimatta kaupallisen mitta-kaavan tuotanto ei ole vielä suurta. Yksi syy tähän tilanteeseen on se, että saatavat energiatuotteet eivät laskelmien mukaan ole taloudellisesti kannattavia.

Laskelmien sisältämiä epävarmuustekijöitä ovat mm. raaka-aineen, tuotantokustannusten ja etanolin hintakehitys. Investointikustannukset tuotetta kohti laskevat yksikkökoko kasvatamalla, mutta investoinnin kokonaisarvo nousee helposti sellaiselle tasolle, että riskinsietokyky ylittyy.

Rakentamalla pienempiä laitoksia raaka-ainelähteiden lähelle voidaan pyrkiä varmistamaan raaka-aineiden edullinen saatavuus sekä alentaa yksittäisen investoinnin riskitasoa. Tässä hankkeessa tutkituilla uuttomenetelmällä on hyvä skaalautuvuus.

Tulevaisuudessa kilpailu puuraaka-aineesta tulee olemaan merkittävää ja sen vuoksi on tärkeää selvittää myös muiden kansallisesti merkittävässä mitassa saatavilla olevien raaka-aineiden, kuten soilta saatavien biomassojen soveltuvuus energiatuotteiden jalostukseen. Tässä hankkeessa tehtiin esikokeita sammalten ja turpeen käyttäytymisestä uutto-olosuhteissa.

Tutkimushankkeessa tehtiin aihepiirin nykytietämyksen tasoa kartoittava kirjallisuusselvitys. Tässä työvaiheessa käytiin läpi kuumavesiuutto- ja hiiltotutkimuksissa tähän mennessä toteutettuja töitä.

Tällä hetkellä kuumavesiuuttoon liittyy Metsäntutkimuslaitoksen nimissä tehty kansallinen patenttihakemus sekä vastaavat kansainväliset patenttihakemukset EU:hun, USA:han, Japaniin, Brasiliaan, Venäjälle ja Kiinaan.

### **23.5 Johtopäätökset ja pohdintaa**

Paineistetulla kuumavesiuutolla voidaan erottaa riittävän korkeissa lämpötiloissa (> 180 °C) melkein kaikki lähtöaineen sisältämä hemiselluloosa nestefaasiin. Jos uuttolämpötila on selvästi alle 170 °C, saanto jäi merkittävästi tätä pienemmäksi. Kokeiltujen erilaisten uuttotapojen vaikutukset uuttuneen aineksen kokonaismäärään olivat melko pienet. Uuttonesteen kierrätys kasvatti liuoksen kokonaiskonsentraatiota mutta alensi uutetun purun määrää kohden laskettua kokonaissaantoa.

Kuumavesiuuton jälkeen jäljelle jääneen purun kuiva-aineen prosenttiosuus oli uuttoliuoksen poiston jälkeen keskimäärin noin 25 %. Kun uuttoa jatkettiin alkaliuutolla, jäljelle jääneen purun kuiva-ainepitoisuus oli vielä alhaisempi, noin 10–15 %. Tästä syystä kuumavesi- ja alkaliuutetun sahanpurun mukana kulkee paljon vettä. Kun alhaista kuiva-aineprosenttia tarkastellaan fermentoinnin jälkeen odotettavissa olevan etanolipitoisuuden kannalta, 10 % kuiva-aine tarkoittaa hydrolyysin jälkeisenä potentiaalisenä sokeripitoisuutena noin 100 g/l, josta voidaan saada 50 g/l etanolia, jos kaikki kuiva-aine olisi hydrolysoituvia sokereita. Koska todellinen hydrolysointiaste ei erityisesti entsyymikäsittelyissä ollut läheskään 100 %, päädyttiin fermentoinnin jälkeen liuoksen etanolikonsentraatioihin, jotka ovat muutamien prosenttien suuruisia. Nämä pitoisuudet ovat liian alhaisia etanolin taloudellisen tislauksen kannalta, mistä syystä liuoksen kuiva-ainepitoisuuden kasvattaminen on tarpeellista.

Peräkkäisiä uuttoja käytettäessä hemiselluloosan osuus uuttuneen kiintoaineen kokonaismäärästä aleni kierrätyskertojen määrän kasvaessa. Kolmannessa ja neljännessä uutossa hemiselluloosaa uuttui vain noin 30 % kiintoaineen hemiselluloosan kokonaismäärästä. Näyttäisi siltä, että samaa uuttoliuosta kierrättämällä voidaan kasvattaa liuoksen hemiselluloosan kokonaismäärää, mutta koska samalla myös ligniinin ja uuteaineiden määrä kasvaa liuoksessa, uutteen hydrolysoitavuus ja fermentoitavuus voi alentua.

Emäsuutossa päästään varsin puhtaaseen selluloosajakeeseen, jos uuttolämpötila nostetaan lähelle 200 °C. Tällaisessa uutossa kuiva-aineen saanto on noin 25 % lähtöaineena käytetystä kuumavesiuutetusta sahanpurusta. Jos laskelmassa huomioidaan myös kuumavesiuutteeseen poistunut ainemäärä, jää saanto alle 20 % lähtöaineesta. Kasvattamalla uutettavan materiaalin pakkaustiheyttä voidaan samalla kasvattaa myös uutteen hemiselluloosapitoisuutta.

Pääasiassa selluloosaa sisältävän kuumavesi- ja emäsuutetun purun hydrolysointi onnistui tässä koesarjassa käytetyllä entsyymillä ja käsittelyajalla niin, että keskimäärin noin puolet lähtöaineen hemiselluloosasta saatiin liukseen monosakkarideina. Näin alhainen hydrolysointiaste on suurin yksittäinen etanolin saantoa rajoittanut tekijä. Happohydrolyysiä käytettäessä saavutetut monomerisointiasteet olivat tätä korkeampia.

Uutteessa olleet heksoosimonosakkaridit ja myös osa polysakkarideista sekä pentooseista fermentoituivat käytetyillä erikoishiivakannoilla useimmissa tapauksissa helposti ja kattavasti etanoliksi tai käytettiin hiivan oman biomassan kasvattamiseen. Niissä käsittelyissä, joissa fermentointi etanoliksi ei käynnistynyt, liukosen korkea ligniinipitoisuus saattoi olla yksi syy havaittuun inhibitioon. Myös liukseen mahdollisesti päässeiden kilpailevien mikrobikantojen monosakkaridien käyttö on yksi mahdollinen selitys huonoihin saantoihin.

Uutettavan purun lämmitysvaiheen nopeuttaminen (esim. höyryllä tehtävä esilämmitys) ja lämmityksen tasaisuuden varmistaminen ovat tärkeitä lähitulevaisuuden kehittämiskohteita. Seuraavassa tutkimusvaiheessa myös mahdollisuudet vastavirtaperiaatteella toimivan laitteiston rakentamiseen ja käyttöön tulee selvittää. Tällä tavoin uutoissa olisi mahdollista päästä jatkuvatoimisuuteen ja todennäköisesti myös kasvattaa uuttoliuksen hemiselluloosakonsentraatiota.

Suunnitteilla olevan koelaitoksen pääasiallinen tarkoitus on selvittää miten uuttolaitteiston ylösskaalaus teolliseen mittakaavaan on toteutettavissa. Laitoksen suunnittelussa on tärkeää huomioida sen muunneltavuus erilaisia väli- ja sivutuotteita tuottaviksi tuotantokokonaisuuksiksi. Laiteteknisenä suurena haasteena on vastavirtaperiaatteella toimivan uuttolaitteiston kehittäminen niin, että sahanpuru ja uuttoliuos liikkuvat samanaikaisesti toisiaan vastaan. Koelaitoksen tärkeä tehtävä on ratkaisuiltaan joustavan tuotantoprosessin kehittäminen siten, että tuotteiden laatua ja keskinäisiä suhteita voidaan modifioida muuttuvien tarpeiden mukaan.

## Kirjallisuus

- Al Manasraha, M., Kallioinen, M., Ilvesniemi, H., and Mänttari, M. 2012. Recovery of galactoglucomannan from wood hydrolysate using regenerated cellulose ultrafiltration membranes. *Bioresource Technology*. 114, 375–381.
- Bobleter, O., Niesner, R., and Röhr, M. 1976. The hydrothermal degradation of cellulosic matter to sugars and their fermentative conversion to protein. *J. Appl. Polym. Sci.* 20(8), 2083–2093.
- Bobleter, O. and Concin, R. 1979. Degradation of poplar lignin by hydrothermal treatment. *Cellulose chem. Technol.*, 13, 583–593.
- Bobleter, O. 1994. Hydrothermal degradation of polymers derived from plants. *Prog. Polym. Sci.* 19(5), 797–841.
- Chirat, C., Pilon, G., Viardin, M.T., Lachenal, D., Lloyd, J.A., Suckling, I. 2009. Hemicelluloses extraction from eucalyptus and softwood chips: Pulp properties and ethanol production. *Proceedings, 15th ISWFPC, June 15–18, Oslo, Norway.*

- EU. 2009. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2009/28/EY uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytön edistämisestä sekä direktiivien 2001/77/EY ja 2003/30/EY muuttamisesta ja myöhemmästä kumoamisesta. Euroopan unionin virallinen lehti 5.6.2009.
- Hatakka, A. 1994. Lignin-modifying enzymes from selected white-rot fungi - production and role in lignin degradation. *FEMS Microbiology Reviews*, 1994, 13 (2-3), p. 125-135.
- Hörmeier, H. F., Schwald, W. Bonn, G. and Bobleter, O. 1988. Hydrothermolysis of birch wood as pretreatment for enzymatic saccharification. *Holzforschung* 42, 95–98.
- Kilpeläinen, P., Leppänen, K., Spetz, P., Kitunen, V., Ilvesniemi, H., Pranovich, A., and Willför, S. 2012. Pressurised hot water extraction of acetylated xylan from birch sawdust. *Nord. Pulp & Pap. Res. J.* 27(4), 680-689.
- Kilpeläinen, P., Kitunen, V., Pranovich, A., Ilvesniemi, H., Willför, S. 2013. Pressurized hot water flow-through extraction of birch sawdust with acetate pH buffer. *BioRes.* 8(4), 5202-5218
- Leppänen, K., Spetz, P., Pranovich, A., Hartonen, K., Kitunen, V., Ilvesniemi, H. 2009. Pressurized hot water extraction of Norway spruce hemicelluloses. *Wood Science and Technology* Volume 45, Number 2 (2011), 223-236.
- Metsätalastollinen vuosikirja 2013. Suomen virallinen tilasto. Maa-, metsä- ja kalatalous 2013. Metsäntutkimuslaitos.
- Mikkonen, K.S., Laine, P., Parikka, K., Yadav, M.P., Jouppila, K., Xu, C., Willför, S., Tenkanen, M. (2009) Spruce galactoglucomannans are potential new biopolymers for films, microcapsules, and emulsions. *Proceedings, 2nd NWBC, September 2–4, Helsinki, Finland.*
- Ragauskas, A.J., Nagy, M., Kim, D.H., Eckert, C.A., Hallett, J.P. Liotta, C.L. (2006) From wood to fuels. Integrating biofuels and pulp production. *Ind. Biotechnol.* 2(1), 55–65.
- Song, T., Pranovich, A., Holmbom, B. (2008) Extraction of galactoglucomannan from spruce wood with pressurised hot water. *Holzforschung* 62(6), 659–666.
- Xu, C., Pranovich, A., Vähäsalo, L., Hemming, J., Holmbom, B., Schols, H.A., Willför, S. (2008) Kinetics of acid hydrolysis of water-soluble spruce O-acetyl galactoglucomannans. *J. Agric. Food Chem.* 56,2429–2435.