

Uudistuvat puutuotearvoketjut ja puunhankintaratkaisut (PUU)

Tutkimus- ja kehittämishojelman keskeiset tulokset

Henrik Heräjärvi, Leena Kettunen & Irene Murtovaara (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.

Sarjassa ei käytetä tieteellistä tarkastusmenettelyä.

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
sähköposti julkaisutoimitus@metla.fi

Julkaisija

Metsäntutkimuslaitos
PL 18
01301 Vantaa
puh. 029 532 2111
sähköposti info@metla.fi
<http://www.metla.fi/>

Tekijät Henrik Heräjärvi, Leena Kettunen & Irene Murtovaara (toim.)			
Nimeke Uudistuvat puutuote- ja puunhankintaratkaisut (PUU) – Tutkimus- ja kehittämisohjelman keskeiset tulokset			
Vuosi 2014	Sivumäärä 117	ISBN 978-951-40-2461-0 (PDF) 978-951-40-2467-2 (paperback)	ISSN 1795-150X
Alueyksikkö / Tutkimusohjelma / Hankkeet Itä-Suomen alueyksikkö / Uudistuvat puutuote- ja puunhankintaratkaisut / 3498, PUU-ohjelman koordinaatiohanke			
Hyväksynyt Taneli Kolström, tutkimusjohtaja 27.2.2014			
Tiivistelmä Uudistuvat puutuote- ja puunhankintaratkaisut (PUU) -tutkimus- ja kehittämisohjelma (2009–2013) yhdisti Metsäntutkimuslaitoksessa tehtävää tutkimustoimintaa puunkorjuun, puukaupan, puutieteen sekä puutuote- ja markkinatutkimuksen aloilta. Ohjelma jaettiin kolmeen teema-alueeseen: 1) puuraaka-ainepotentiaalit ja puukaupan toiminta, 2) puunkorjuu ja korjuuyritysten liiketoiminta, sekä 3) puutuotteet ja asiakasratkaisut. PUU-ohjelman lähes 50 tutkimus- tai kehittämishankkeessa tuotettiin mm. yli 200 tutkimusjulkaisua. Käsillä olevan raportin tarkoitus on tiivistää yksin kansiin ohjelman keskeisimmät tulokset. Tutkimustulosten julkaisemisen lisäksi PUU-ohjelma on toiminut aktiivisesti tiedon ja osaamisen siirrossa käytäntöön. Tuloksia on välitetty tiedon käyttäjille satojen yrityskäyntien, kymmenien yleisötöilaisuuksien, tiedotusvälinehaastattelujen, ammattilehtiartikkelien sekä noin 1200 tilaajaa tavoittaneiden uutiskirjeiden avulla. PUU-ohjelma on toiminut puutuote- ja puunhankintaratkaisujen osaamisportaalina, jonka arvioidaan mahdollistaneen joustavan ja kustannustehokkaan palvelun niin yksityisille kuin julkisillekin asiakkaille. Ohjelmassa tehtiin varsinaisen tutkimustyön lisäksi monipuolista kehittämis- ja tuotekehitystyötä, esimerkkeinä metsäkoneenkuljettajan apuna maaston kaltevuuksia havainnollistava Loggin-Map-järjestelmä, puutavaran metsäkuljetuksen avuksi kehitetty maaston kantavuuden ennustamisjärjestelmä, Pohjoinen mänty / Northern pine www-sivustot, ARVO- ja PREHAS-simulaattorit leimikoiden arvonmääritykseen, pienpuuraaka-aineesta valmistettavat liimapalkit, Puutuotetori.fi -markkinointiportaali pirkanmaalaisille puutuotealan yrityksille, avoimiin tietokantoihin perustuva rakentamisen ympäristölaskentatyökalu PEnA, uudet menetelmät metsäteiden kantavuuden parantamiseksi, tukin muodon määrittäminen edullisesti laserdiffraktion avulla sekä tutkimusaineistojen keruun uudelleenlaiseksi työkaluksi kehitetty mind map -sovellus.			
Asiasanat korjuu, logistiikka, markkinat, mittaus, pitkäaikaiskestävyys, puukauppa, puutuote- ja puunhankintaratkaisut, raaka-aineet, rakentaminen, tuotteet, ympäristökilpailukyky, yritystoiminta			
Julkaisun verkko-osoite http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2014/mwp284.htm			
Tämä julkaisu korvaa julkaisun			
Tämä julkaisu on korvattu julkaisulla			
Yhteydenotot Henrik Heräjärvi, Metsäntutkimuslaitos, Joensuu, PL 68, 80101 Joensuu. henrik.herajarvi@metla.fi			
Muita tietoja Taitto ja kansi: Irene Murtovaara			

Alkusanat

Metlassa alettiin valmistella sidosryhmien kuulemisella uutta tutkimus- ja kehittämisohjelmaa jo vuonna 2007, kun edellinen puutuotearvoketjuja tarkastellut tutkimus- ja kehittämisohjelma *Puunkäytön mahdollisuudet ja puutuotteiden menekki (2002–2008)* oli päättymässä. PUU-ohjelma käynnistyi helmikuussa 2009. Ohjelman avulla haluttiin integroida Metlan tutkimustoimintaa puunkorjuun, puukaupan, puutieteen sekä puutuote- ja markkinatutkimuksen aloilta siten, että puutuotearvoketjuissa toimivat yritykset, yhteisöt ja yksityismetsänomistajat saisivat toiminnalleen monipuolisia tietoperustaisia kilpailukykyedellytyksiä.

Ohjelman johtajaksi nimettiin Henrik Heräjärvi. Koordinaation helpottamiseksi ohjelma jaettiin kolmeen teema-alueeseen: 1) Puuraaka-ainepotentiaalit ja puukaupan toiminta (koordinaattori Erkki Verkasalo), 2) Puun korjuu ja korjuuyritysten liiketoiminta (koordinaattori Matti Sirén), 3) Puutuotteet ja asiakasratkaisut (koordinaattori Henrik Heräjärvi). Ohjelman työtä suuntaamaan ja tuloksia tahoilleen viestimään perustettiin ohjausryhmä, jonka puheenjohtajaksi valittiin Erno Järvinen (MTK). Ohjausryhmän muut jäsenet olivat Ilmari Absetz (Tekes), Eino Hekali (Honka Oyj), Simo Jaakkola (Koneyrittäjien liitto ry), Minna Lappalainen (Fixteri Oy), Jaakko Lehto (Finnish Wood Research Oy), Markku Lehtonen => Jouni Väkevä (Metsäteollisuus ry.), Leena Paavilainen (Metla), Timo Pihkala (Lappeenrannan teknillinen yliopisto), Olli Raunio (Raunion Saha Oy), Reima Sutinen (TEM), Mika Säynäjäkangas => Sampsa Hämäläinen (UPM-Kymmene Oyj), Jouko Silen => Harri Järveläinen (Stora Enso Oyj), Timo Pöljö => Jani Riissanen => Olli Laitinen (Metsä Group), Hanna Vilkmán => Tuomo Moilanen (Ponsse Oyj). Vaihdot ohjausryhmän jäsenissä johtuivat eläköitymisistä, vanhempainvapaista tai henkilön siirtymisestä työtehtäviin, joissa linkitys PUU-ohjelman työhön oli vähäinen.

Ohjelman toiminta väliarvioitiin talvella 2011/2012. Väliarvioinnin tarkoitus oli tuoda sidosryhmien näkökulma ohjelman toimintaan ja loppuajan suuntaamistarpeisiin. Väliarvioijina toimivat Nuutti Kiljunen (Metsähallitus), Markku Lehtonen (Metsäteollisuus ry.), Anssi Niskanen (Suomen Metsäkeskus), Timo Pöljö (Metsä Wood) ja Mikko Tervo (Helsingin yliopisto). Ohjelman loppuarviointi valmistuu keväällä 2014. Loppuarvioinnin tekevät Erno Järvinen (MTK ry.), Nuutti Kiljunen (Metsähallitus) sekä emeritusprofessori Matti Kärkkäinen.

PUU-ohjelmassa toteutettiin yhteensä 48 tutkimus- tai kehittämishanketta, joista pienin oli budjettiltaan 6 000 € ja suurin 940 000 €. Hankkeista 18 kpl sai rahoituksensa suoraan Metlan budjettivaroista, 23 kpl oli Metlan ja jonkin muun organisaation yhteisesti rahoittamia ja 7 kpl puhtaasti asiakasrahoitteisia. Osa hankkeista siirtyi PUU-ohjelmaan käynnissä olevina ja osa jää käyntiin ohjelman päätyttyä. Vuosien 2009–2013 aikana käytetty Metlan budjettirahoitus (palkat sivukuluineen ja hankkeiden toimintamenorahat) ohjelmalle oli noin 6,43 milj. € (67,8 % ohjelman kokonaisbudjetista) ja ulkopuolinen rahoitus noin 3,06 milj. € (32,2 %). Suoran asiakasrahoitteisen toiminnan osuus ulkopuolisesta rahoituksesta oli 2,5 % ohjelman kokonaisbudjetista. Henkilötyövuosia PUU-ohjelman hankkeille kirjattiin noin 195.

PUU-ohjelman työtä rahoittivat vaihtelevan kokoisilla panoksilla Metlan budjettivarojen lisäksi seuraavat organisaatiot: Ekopine Oy, EU/NPP-ohjelma 2007–2013, Fibic Oy/Metsäklusteri Oy, Fidetron Oy, Finnish Wood Research Oy, Oy Finnprofile Ltd., Finn-Pylväs Oy, Iivari Mononen Oy, Joensuun Tiedepuisto Oy, Josek Oy, Kallion Konepaja Oy, Korwensuun Konetehdas Oy, Lameco LHT Oy, Lihasulan säätiö, LähiTapiola, Marjatta ja Eino Kollin säätiö, Metsä Group

Oy, Metsähallitus, Metsämiesten säätiö, Naturpolis Oy, The Nordic Forest Research Cooperation Committee (SNS), Parkanon Säästöpankki, Pinar Oy, Pirkanmaan ELY-keskus, Pirkanmaan lähivakuutusyhdistys, Ponsse Oyj, Puumiesten ammattikasvatussäätiö, Puutavaraliike Huomo Oy, Puutavaraliike I. Pölönen Oy, Puutavaraliike Pentti Heinonen Oy, Puutavaraliike Toimi Talka Oy, Ab Pâras Oy, Rovaniemen ammattikorkeakoulu, Saarijärven seudun yrityspalvelu Oy, Salorinteen säätiö, Stora Enso Building and Living, Suomen Metsäsäätiö, Tekes, Työ- ja elinkeinoministeriö, Valtra Oy, Vapo Oy, Versowood Oy ja Ääneseudun Kehitys Oy.

Tässä tuloraportissa esitetään PUU-ohjelmassa toteutetuista tutkimuksista vain keskeisimmät tulokset ja johtopäätökset sen mukaan, miten kunkin osaluvun kirjoittajaryhmä on asioita priorisoinut. Lukijan tiedonsaannin helpottamiseksi raportti on pyritty jäsentämään asiakokonaisuuksittain, hallinnolliset hanke- ym. rajat unohtaen. Mukaan ei ole mahdutettu likimainkaan kaikkea ohjelman hankkeissa syntynyttä tietoa vaan tuloraportti on pyritty pitämään mahdollisimman tiiviinä. Lukija löytääkin kunkin osaluvun lopusta kirjallisuusluettelon, jonka avulla hän pääsee lisätiedon lähteille.

Kiitokset PUU-ohjelman henkilöstölle, ohjausryhmälle, hankeyhteistyökumppaneille, rahoittajille, väli- ja loppuarvioijille, uutiskirjeen tilaajille ja ohjelman lukuisiin yleisötilaisuuksiin osallistuneille. Toivon tuotetun tiedon olevan hyödyllistä, yhteistyön jatkuvan ja käsillä olevan tuloraportin palvelevan tiedonjanoisia puutuotearvoketjujen toimijoita.

Joensuussa 14.3.2014

Henrik Heräjärvi

Sisällys

1 Puutuoteteollisuuden raaka-aineen laatu ja kilpailukyky	9
1.1 Muuttuva raaka-ainepohja – viljelypuu.....	9
1.2 Viljelypuun hyödyntämismahdollisuudet – kaksi esimerkkiä.....	13
1.3 Raaka-aineen ominaisuuksien ja kilpailukyvyn alueellisia tarkasteluja Suomessa, Ruotsissa ja Venäjällä.....	16
2 Apuvälineitä puukauppaan	22
2.1 Puukaupan toimintaympäristö Suomessa.....	22
2.2 Metsänomistajien tarvitsemat puukauppapalvelut.....	22
2.3 Kuinka puusta pitäisi maksaa?.....	23
2.4 Ostotarjoustun vertailun ongelma.....	25
3 Puunkorjuu ja logistiikka	28
3.1 Tausta.....	28
3.2 Korjuun kausivaihtelun vähentäminen.....	28
3.3 Raiteenmuodostuksen minimointi ja ennustaminen.....	30
3.4 Turvemaiden kantavuuden ennustaminen.....	34
3.5 Kuljettajaopastuksen tarpeet ja mahdollisuudet.....	35
3.6 Kuljetuslogistiikka.....	44
3.7 Metsäteiden rakentaminen ja kunnossapito.....	48
3.8 Korjuuyrittäjyys.....	49
4 Puutavaran mittaus	56
4.1 Kuormainvaakamittaus.....	56
4.2 Tukki- ja kuitupuutavaran kuormainvaakamittauksessa käytettävät tuoretiheysluvut.....	56
4.3 Latvusmassan kuormainvaakamittauksessa käytettävät tuoretiheysluvut.....	58
4.4 Hakkuukonemittauksen tyviprofiilifunktiot.....	59
5 Toimintoperusteisen kustannuslaskennan soveltaminen metsäteollisuuden kannattavuustutkimuksissa	62
5.1 Tausta.....	62
5.2 Sahauksen ABC-kustannuslaskenta.....	63
5.3 Sellunkeiton ABC-kustannuslaskenta.....	63
5.4 Paperitehtaan ABC-kustannuslaskenta.....	64
5.5 CHP-laitoksen ABC-kustannuslaskenta.....	64
5.6 Tulosten soveltaminen.....	65
6 Puutuotteiden ominaisuuksien mittaus- ja lajittelumenetelmät	66
6.1 Tausta.....	66
6.2 Sahatavaran lujuuden ennustaminen pystypuumittauksin.....	66
6.3 Tolppatuotteiden lujuuden ennustaminen äänennopeuden avulla.....	67
6.4 Liimapalkkien lujuuden ennustaminen ultraäänin avulla.....	68
6.5 Puun lämpökäsittelyolosuhteiden optinen jälkikäteismääritys.....	68
6.6 Tukin kolmiulotteinen mallinnus pienillä pyörösahoilla.....	69

7 Puun pitkäaikaiskestävyys, sen parantaminen ja puutuotteiden kierrätys	71
7.1 Stilbeenit	71
7.2 Mäntyöljy	74
7.3 Puristus- ja lämpömodifiointi	77
7.4 Puutavaran lahonkestävyyden testauspalvelu	79
7.5 Puutuotteiden kierrätys	80
8 Puurakentamisen kilpailukyky	85
8.1 Tausta.....	85
8.2 Puurakentamisen kilpailukyvyssä on parannettavaa.....	85
8.3 Rakentamisen ympäristölaskennan työkalut.....	86
8.4 Rakennusten ympäristösertifiointi	87
9 Markkinatutkimukset ja menekinedistäminen	89
9.1 Tausta.....	89
9.2 Piharakentamisen tuotteet	89
9.3 Rakennusmateriaalien merkitys asunnon valinnassa	89
9.4 Puutuotteiden ympäristösertifikaatit.....	90
9.5 Palvelurakentaminen.....	91
9.6 Venäjän puurakentamisen markkinat	93
9.7 Modifioidun puun markkinat Venäjällä	94
9.8 Puutuotteiden käytön edistäminen – Pohjoinen mänty	94
10 Yritys- ja innovaatiotutkimus sekä puutuotealan verkostot	98
10.1 Tausta.....	98
10.2 Verkostot ja paikalliset toimintaympäristöt kalustealan innovaatioalustoina.....	98
10.3 Alueklusterit puutuotealan yritysten innovaatioperusteisen kilpailukyvyyn kehitysalustana	99
10.4 Kansalliset politiikat ja ohjelmat sekä innovaatioiden edistäminen teollisessa puurakentamisessa	99
10.5 Puurunkorakenteiden valmistajien innovaatioiden lähteet	100
10.6 Innovaatioprosessin ajurit pienissä puutuotealan yrityksissä.....	101
10.7 Strateginen johtaminen pienissä puutuotealan yrityksissä	101
10.8 Puutuote- ja kalustealan pk-yritysten yhteistyö	102
10.9 Puutuotealan yrittäjyyden edistäminen Pirkanmaalla	102
10.10 Tutkimus osana Pirkanmaan puualan kehittämistä	103
11 Yhteenveto ja johtopäätökset	105
11.1 Puuraaka-aineet.....	105
11.2 Puun hankinta ja korjuuyritysten liiketoiminta	110
11.3 Puutuotteet ja asiakasratkaisut	113
11.4 Ohjelman merkitys elinkeinoelämälle	116
11.5 Osaamisen kehittyminen.....	117

1 Puutuoteteollisuuden raaka-aineen laatu ja kilpailukyky

Erkki Verkasalo & Harri Kilpeläinen

1.1 Muuttuva raaka-ainepohja – viljelypuu

Saha- ja vaneriteollisuuden kotimainen raaka-ainepohja on muuttumassa nopeasti erityisesti viljelymetsien ja harvennuspuun osuuden kasvaessa hakattavissa puustoissa metsänuudistamisen ja -kasvatuksen tehostumisen seurauksena. Eräillä alueilla vanhojen puustojen hakkuumahdollisuuksia rajoittavat kaavoitus, suojelu ja vinoutunut kehitysluokkarakenne. Tukin tuonnin varaan ei myöskään voida laskea kovinkaan paljoa sen saatavuuden, kustannustason ja tuontimaiden edelleen epävarman tullimaksupolitiikan vuoksi (Venäjä).

Metsänuudistaminen viljellen on Suomessa muista pohjoismaista poiketen melko uutta ja se alkoi laajassa mitassa 1960-luvulla. Viljelytukkia on saatu jonkin verran harvennushakkuista Etelä- ja Keski-Suomessa 2000-luvun alusta lähtien. Istutuskuusi ja kylvö- ja istutusmänty ovat kuitenkin vasta tulossa laajassa mitassa tukkimarkkinoille 2020-luvulla. Maan eteläpuoliskossa viljelypuustojen harvennushakkuista saatavien tukkien määrät ovat selvässä kasvussa ja myös päätehakkuisia niitä alkaa tulla mainittavasti.

Männyllä johtopäätökset viljelytukin laadusta ovat olleet Suomessa tähän asti melko negatiivisia monelta osin luonnonsyntyisten metsien tukkia huonommiksi havaittujen raaka-aineominaisuuksien sekä käytössä esiin tulleiden tuotanto- ja tuoteteknisten ongelmien vuoksi. Huono käyttöarvo on yhdistetty ennen kaikkea viljaville metsämaalle ja varsinkin pelloille istutettuun mäntyyn. Kylvömanniköissä ongelmia on pidetty pienempinä kuin istutusmanniköissä, osaksi karumpien kasvupaikkojen vuoksi. Istutuskusella laatua saha-, vaneri- ja kertopuuna on pidetty vähemmän ongelmallisena ja joiltakin osin jopa parempana kuin luonnonkusella. Tähänastiset tutkimustulokset ovat molemmilla puulajeilla peräisin ensimmäisistä viljelypuustoista, jotka on perustettu varsin rajalliseen tietoon ja vähäisiin kokemuksiin nojautuen; niissä ei ole myöskään yleensä sovellettu laatukasvatusta. Laatuongelmat ilmenevät niissä todennäköisesti vakavampina kuin myöhemmin perustetuissa viljelypuustoissa ja tulosten yleistettävyyden ja soveltuvuuden raakapuumarkkinoille tulevalle saha- ja vaneripuulle on kyseenalainen. Erityisesti viljelymännyn ja -kuusen nopeakasvuuteen liittyvät puuaineen ominaisuudet kuten tavallista alhaisempi tiheys ja uuteainepitoisuus ovat merkityksellisiä myös kemiallisen puunjalostuksen kannalta. Näihin liittyviin puumassan saanto- ja laatuksymyksiin ja tuotesoveltuvuuteen on kiinnitetty huomiota sekä männällä sellupuuna että kuusella hiomo- ja hierrepuuna.

Metlan puutieteen ja metsävarojen tutkimusryhmien yhteistyönä käynnistettiin tutkimukset markkinoille tulossa olevan viljelyhavupuun laadusta 10. valtakunnan metsien inventoinnin (VMI-10) aineistojen (kerätty vuosina 2004–2008) perusteella vuonna 2010. Tavoitteena oli tuottaa tarkastelu nykyisten mänty-, kuusi- ja lehtipuuvältaisten viljelymetsien ja luontaisesti syntyneiden metsien pinta-aloista ja puustojen määristä puutuotealan kannalta ja analyysi runkojen läpimitaluoittaisista eroista viljeltyjen ja luontaisesti syntyneiden puiden dimensioissa ja ulkoisessa laadussa. Laskelmat tehtiin puuntuotannossa olevalle metsämaalle Etelä-Suomessa (= Pohjois-Pohjanmaan ja Kainuun eteläpuolinen Suomi) ja Pohjois-Suomessa (= Pohjois-Pohjanmaa, Kainuu ja Lappi) ja Etelä-Suomessa erikseen kolmelle alueelle (länsi, itä, etelä). Lisäksi vertailtiin

viljeltyjen ja luontaisesti syntyneiden mäntyjen ja kuusten puutavaralajiosuuksia ja tukkivähennystä rungon läpimittaluokittain perustuen koepuiden mitta- ja laadutustietoihin ja apterauksen simulointiin. Tulokset antavat siis yleiskuvan tarkastelluista kysymyksistä valtakunnallisesti ja suuralueittain ja lisäksi pohjaa empiiristen raaka-ainetutkimusten suuntaamiselle alueittain ja tuoteryhmittäin.

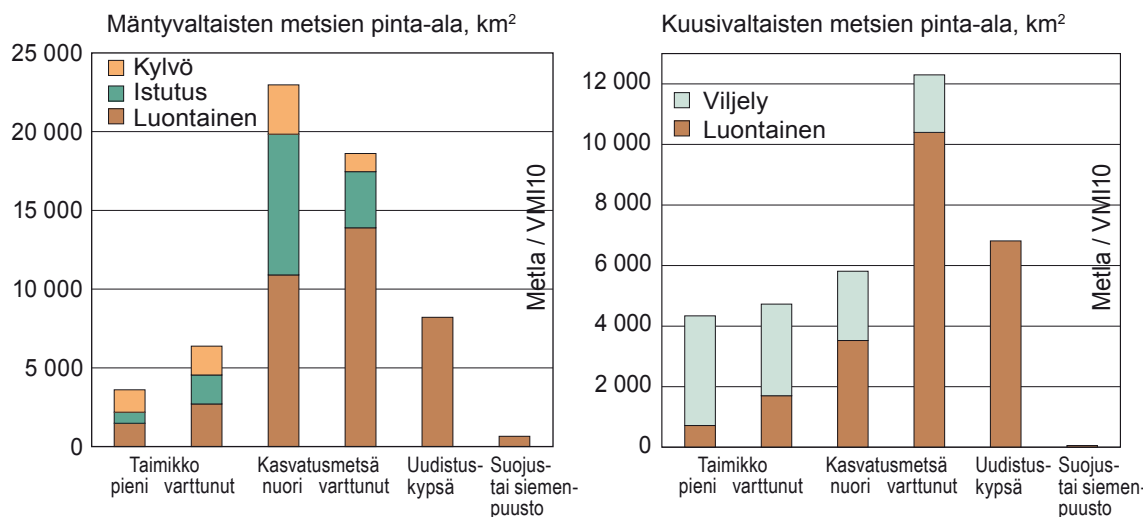
Koepuuaineisto käsitti 27 297 mäntyä (13 575 tukkikoossa) ja 16 651 kuusta (8 608 tukkikoossa). Mäntykoepuista oli 4 662 istutettuja (1 528 tukkikoossa) ja 1 813 kylvettyjä (474 tukkikoossa), kuusikoepuista istutettuja oli 1 672 (744 tukkikoossa). VMI-10 otantakehikko ja maastomittaukset on kuvattu inventoinnin tulosjulkaisussa (Korhonen ym. 2013). Puutavaralajien apterauksen simuloinnissa sallitut mitat on esitetty taulukossa 1.

Puutuotannon piirissä on metsämaata (ilman aukeita uudistusaloja) Etelä-Suomessa (= Pohjois-Pohjanmaan ja Kainuun eteläpuolinen Suomi) 106 240 km² ja Pohjois-Suomessa (= Pohjois-Pohjanmaa, Kainuu ja Lappi) 76 798 km². Mäntyvaltaisten metsien pinta-alasta on Etelä-Suomessa luontaisesti syntyneitä 63 %, istutettuja 25 % ja kylvettyjä 12 %, Pohjois-Suomessa vastaavasti 74 %, 16 % ja 10 %. Viljeltyjä uudistuskypsiä metsiä on toistaiseksi melko vähän. Niiden määrästä ei ole tarkkaa tietoa, koska inventoinnissa uudistuskypsien metsiköiden syntytapaa ei ole määritetty. Varttuneista kasvatusmetsiköistä viljeltyjä on Etelä-Suomessa mäntyvaltaisissa 25 % ja kuusivaltaisissa 15 %, mutta Pohjois-Suomessa mäntyvaltaisissa vain 15 % ja kuusivaltaisissa runsas prosentti. Nämä pinta-alaosuudet vastaavat osapuilleen osuuksia puuston määrästä. Nuorissa kasvatusmetsissä viljeltyjen puustojen pinta-alaosuus on Etelä-Suomessa kuitenkin yli puolet ja Pohjois-Suomessa neljännes, ja tilavuusosuudet jopa hieman suuremmat. Täten viljelypuun osuus tukin hakkuista tulee kasvamaan vähitellen selvästi enemmän kuin esitetyistä luvuista voisi päätellä. Etelä-Suomen mänty- ja kuusivaltaisten metsien pinta-aloja puuston kehitysluokan ja syntyvän mukaan on havainnollistettu kuvassa 1.

Ulkoisen arvioinnin perusteella Etelä-Suomen tukkikokoisista männyistä oli teknisesti virheettömiä kylvettyinä 78 % ja istutettuna 76 % mutta luontaisesti syntyneinä 72 %, kun taas istutus- ja luonnonkuusella ei ollut eroa tässä suhteessa (75 %). Pohjois-Suomessa viat olivat selvästi yleisempiä ja luonnonpuustot myös parempia kuin viljelypuustot: luontaisesti syntyneistä männyistä oli virheettömiä 43 % mutta kylvetyistä ja istutetuista vain 32 % ja 25 %, luontaisista kuusista taas 55 % ja istutuskuusista vain 18 %. Erilaiset mutkat olivat selvästi yleisin vika, tämän jälkeen lenkous ja oksaviat ja kuusella laho (luontaisesti syntyneillä puilla Pohjois-Suomessa). Pohjois-Suomen istutettujen tukkikokoisten kuusten aineisto käsitti vain 11 puuta, joten tulokset eivät ole yleistettäviä. Etelä-Suomessa laho oli yleisempää istutetuissa kuin luontaisesti syntyneissä kuusissa.

Taulukko 1. Mänty- ja kuusikoepuiden apterauksen puutavaralajit ja sallitut mitat.

Puutavaralaji	Mänty		Puutavaralaji	Kuusi	
	Minimilatvalpm, cm	Pituudet, m		Minimilatvalpm, cm	Pituudet, m
Sahatukki, normaali	15	3,7–5,5	Sahatukki	16	3,7–5,5
Tyvitukki, A-laatu	22	2,8–5,5	Vaneritukki	22	2,6 ja 5,2
Tyvitukki, C-laatu	15	3,7–5,5			
Pikkutukki	12	3,1–4,3	Pikkutukki	12	3,1–4,3
Kuitupuu	6	2,8–5,5	Kuitupuu	7	2,8–5,5

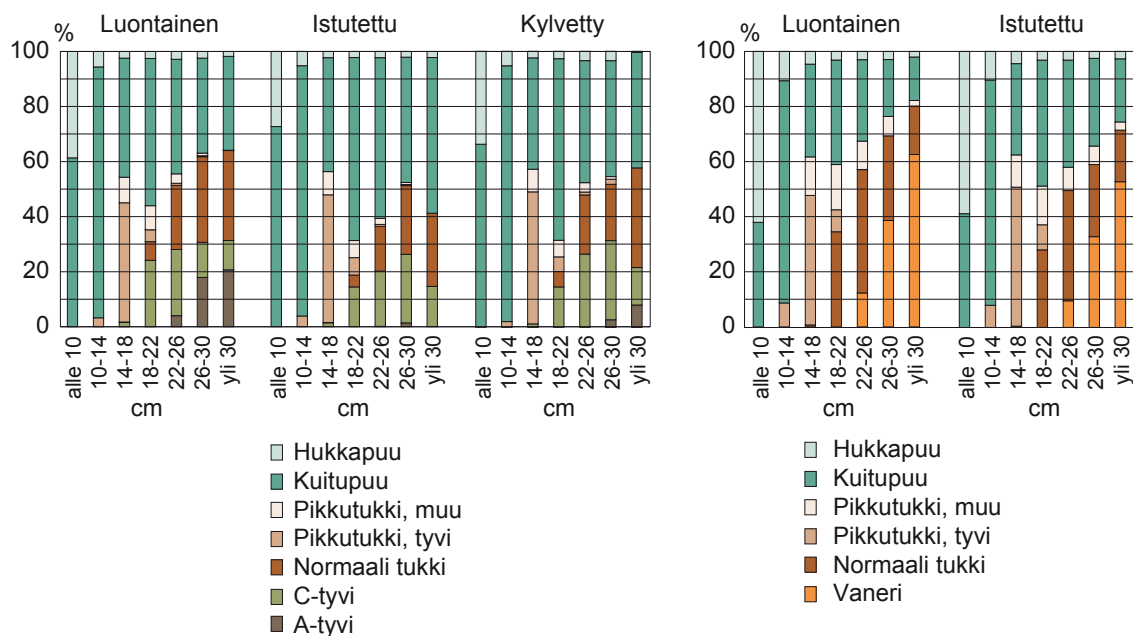


Kuva 1. Etelä-Suomen mänty- ja kuusivaltaisten metsien pinta-alat puuston kehitysluokan ja syntytyypin mukaan.

Samassa tukkipuiden läpimittaluokassa luontaisesti syntyneet männyt ovat keskimäärin 0,5–2 m pidempiä ja niissä on enemmän oksatonta tyveä ja latvusraja korkeammalla kuin kylvetyissä ja varsinkin istutetuissa männyissä Etelä-Suomessa. Syntytyypin mukaiset pituuserot koskevat kuusta jopa selvemmin kuin mäntyä, kun taas oksikkuudessa ei ole mainittavia eroja. Tulokset ilmentävät viljelypuiden nopeampaa läpimitan kasvua. Istutusmännyt ovat saavuttaneet saman läpimitan 20–50 vuotta ja kylvömännyt 15–50 vuotta aikaisemmin kuin luontaiset männyt ja istutuskuuset 20–45 vuotta aikaisemmin kuin luontaiset kuuset, ja ero kasvaa läpimittaluokan myötä. Puuaine on siis viljelypuussa nuorempaa kuin saman paksuisessa luonnonpuussa, joka ilmenee raaka-aineessa mm. suurempana nuorpuun osuutena, pienempänä sydänpuun osuutena ja alhaisempänä tiheytenä.

Runkojen järeyden ja teknisen laadun yhdistäminen apterauksella tukkitavaralajien mitta- ja laatuvaatimukseen johti selviin eroihin puutavaralajien osuuksissa puiden syntytyyppien välillä: viljellyistä puista saatiin Etelä-Suomessa selvästi vähemmän arvokkaimpia puutavaralajeja eli männyllä A-tyveä ja kuusella vaneritukkaa kuin luontaisesti syntyneistä puista (Kuva 2). Myös kaiken tukkipuun osuus kertymästä oli pienempi viljellyissä puissa. Läpimitaltaan yli 22 cm:n koepuissa tukkiosuus oli männyllä istutetuissa puissa 40–50 %, kylvetyissä puissa 50–55 % ja luontaisesti syntyneissä puissa 50–65 %. Kuusella tukkipuun osuus kertymästä oli suurempi, istutetuissa puissa 50–70 % ja luontaisesti syntyneissä puissa 60–80 %. Pikkutukkikokoisissa puissa syntytyyppi ei näyttänyt vaikuttavan pikkutukkien osuuteen kertymästä, osaksi koepuiden pikkutukkiosien puutteellisen laatu-tiedon vuoksi. Männyllä saatiin 14–18 cm:n läpimittaluokassa pikkutukkaa hieman yli 50 % kertymästä ja kuusella yli 60 %.

Tukkipuun kokoista puuta jouduttiin viljellyillä männyillä ja kuusilla myös siirtämään enemmän kuitupuuksi laatuviikkojen vuoksi kuin luontaisesti syntyneillä. Yli 22 cm:n läpimittaluokassa tukkivähennys oli männyllä istutetuissa puissa 43–56 %, kylvetyissä puissa 39–42 % ja luontaisesti syntyneissä puissa 31–37 %, ja kuusella vastaavasti istutetuissa puissa 22–35 % ja luontaisesti syntyneissä puissa 19–26 %. Laatu-tappio oli keskimäärin sitä suurempi mitä järeämpi puu oli kysymyksessä, sillä tukkivähennys kasvoi läpimittaluokan myötä. Viljeltyjen ja luontaisesti syntyneiden puiden erot tukkivähennyksessä myös kasvoivat järeyden mukana; tulokseen saattoi vai-



Kuva 2. Koepuiden puutaralajirakenne rinnankorkeuslähimittaluokittain Etelä-Suomessa: mänty vasemmalla ja kuusi oikealla.

kuttaa viljelypuiden suurempi oksikkuus suurissa lähimittaluokissa joissa viljelypuut olivat erityisen nuoria luontaisesti syntyneisiin puihin verrattuna.

Tarkastelut osoittavat tukkilaadun ja -saannon heikkomuutta sekä keskimääräisissä että samankokoisissa viljelypuustoissa verrattuna luontaisesti syntyneisiin puustoihin, varsinkin männyllä ja osittain myös kuusella. Puustojen laatuero ovat kuitenkin olennaisesti pienemmät nuoremmassa ikäluokissa verrattuna vanhempiin. Tulokset koskevat suoranaisesti vain nykyisiä tukki- ja pikkutukkipuustoja. Tutkimuksen haasteena onkin ennakoita miten nykyisten nuorten viljelypuustojen laatu kehittyi niiden järeytyessä ja miten metsänviljelyn parantuminen ja laatuksatuksen mahdollinen soveltaminen näkyvät jatkossa viljelymetsien puuraaka-aineen ominaisuuksissa ja arvossa. Käytävissä on ollut 1980-luvulta lähtien geneettisesti parempaa ja kasvuoloihin sopivampaa kylvösiementä ja istutustaimia kuin aikaisemmin, paljasjuuritaimet ja kuokkaistutus on korvattu paakkutaimilla ja putki-istutuksella ja maanmuokkaus pyritään sovittamaan nykyisin kasvuolosuhteiden ja uudistamistavan mukaan. Viljelypuustoissakin on suositeltavaa soveltaa laatuharvennusta ja tapauskohtaisesti lannoitusta, joskus myös pystykarsintaa.

Viljelymetsistä peräisin olevaa mäntytukkia ja -pikkutukkia on tulossa hakkuisiin nykyistä enemmän koko Väli-Suomessa ja kuusitukkia huomattavasti ennen kaikkea Itä- ja Etelä-Suomessa. Saatavilla olevan puuraaka-aineen ominaisuudet ja tuotteiden valmistuskustannukset sekä kysyntänäkymät ja kilpailukyky markkinoilla ratkaisevat lopulta mihin tuotteisiin ja millaisilla valmistustekniikoilla viljelypuuta kannattaa käyttää, miten sitä kannattaa lajitella ja mitä siitä voidaan maksaa. Muutamissa tapaustutkimuksissa on nopeakasvuisellakin viljelypuulla todettu hyvä jalostusarvo oikein kasvatettuna ja oikeisiin tuotteisiin suunnattuna.

Viljelypuu on Suomessa uusi mutta Keski- ja Etelä-Euroopassa tuttu ja usein ainoa raaka-aine metsäteollisuudelle ja sen pohjalta on kehitetty laaja puutuoteteollisuus esimerkiksi Saksassa, Itävallassa, Ranskassa ja Etelä-Ruotsissa. Näistä maista on saatavissa tietoja ja hyviä käytäntö-

ja viljelypuun hyödyntämiseksi. Biotalousnäkökulmat vaikuttavat jatkossa myös viljelypuututkimusten suuntaamiseen siten, että mm. raaka-aine- ja energiatehokkuus, ainevirtojen ympäristötietoinen hallinta ja elinkaarikysymykset, viljelymetsätalouden yhteiskunnallinen hyväksyttävyys ja kuluttajalähtöisyys kuten myös ns. vihreiden työpaikkojen lisääminen teollisuudessa ja palvelutuotannossa nousevat tärkeiksi tutkimus- ja kehittämistyön aiheiksi.

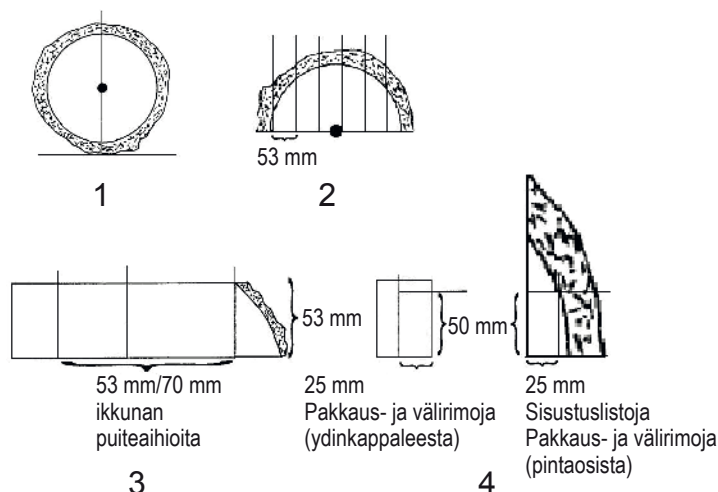
1.2 Viljelypuun hyödyntämismahdollisuudet – kaksi esimerkkiä

Nopeakasvuisen männyn laatukasvatus ja erikoissahaus

Männyn laatukasvatusta on pidetty metsätaloudessa karuhkojen maiden asiana. Mäntyä kasvaa kuitenkin runsaasti myös viljavilla metsämailla erityisesti 1960–1970 lukujen metsänviljelykäytäntöjen seurauksena. Etelä-Suomessa tällä on merkitystä puutuoteteollisuuden raaka-aineen saatavuuden kannalta siten että uudistuskypsistä metsistä on mäntyvaltaisia lehtomaisilla kankailla tai näitä paremmilla kasvupaikoilla 21 % ja tuoreilla kankailla 53 %, yhteensä 420 000 ha, ja varttuneista kasvatusmetsistä vastaavasti 17 % ja 57 %, yhteensä 836 000 ha (vrt. kuivahkot kankaat tai näitä karummat kasvupaikat 98 % ja 99 %, yhteensä 254 000 ha ja 459 000 ha) (Korhonen ym. 2013). Pohjois-Suomessa viljavien maiden männyn merkitys on uudistuskypsissä metsissä pienempi mutta varttuneissa kasvatusmetsissä suurempi kuin Etelä-Suomessa. Pohjois-Suomen uudistuskypsistä metsistä on mäntyvaltaisia lehtomaisilla kankailla tai näitä paremmilla kasvupaikoilla 12 % ja tuoreilla kankailla 51 %, yhteensä 257 000 ha, ja varttuneista kasvatusmetsistä vastaavasti 31 % ja 83 %, yhteensä 511 000 ha (vrt. kuivahkot kankaat tai näitä karummat kasvupaikat 97 % ja lähes 100 %, yhteensä 272 000 ha ja 370 000 ha). Tulevaisuuden tukkipuumetsissä eli nuorissa kasvatusmetsissä viljavien maiden mäntyvaltaisuus on koko maassa jopa hieman yleisempää mutta varttuneissa taimikoissa hieman harvinaisempaa kuin edellä mainituissa kehitysluokissa.

Esimerkkinä korkealuokkaisen puusepänteollisuuden raaka-aineen tuottamisesta viljelymännystä tutkittiin Sirparannan (2012) opinnäytetyössä voidaanko tyvitukkien hyödyntämiseen saada aikaan kannattava arvoketju pystykarsinnalla ja erikoissahauksella (Kuva 3). Aineistona oli 100 pystykarsittua ja 20 karsimatonta männyn tyvitukkia viideltä Itä-Suomessa sijaitsevalta koeleimikolta (kaksi lehtomaiselta ja kaksi tuoreelta kankaalta, vertailuerä kuivahkolta kankaalta). Pystykarsinta oli tehty 28–32 vuotta ennen koepuiden kaatamista ja koesahausta. Tukkien läpisahaustaan ja läpisaheiden pinnanmyötäiseen sahaustaan perustuvalla erikoissahauksella voitiin maksimoida ulkonäkölaadultaan erinomaisen, oksattoman, suorasyisen, mittansa ja muotonsa hyvin pitävän pintapuun saanto tavoiteltaessa laadukkaita ikkunanpuiteaihioita (Kuva 4). Menetelmällä voitiin hyödyntää tehokkaasti pystykarsinnalla aikaansaatu virheetön puu.

Tyvitukin arvosaannon lisäys maksimoitui nopeakasvuisella männyllä, jolla virheetöntä pintapuuta syntyy nopeasti karsinnan jälkeen kun lustot ovat vielä ainakin 3 millimetriä leveitä – kiertoaika pysyy samalla kohtuullisessa pituudessa. Pystykarsinta nosti männyn tyvitukin arvoa tutkittua sahaustapaa käytettäessä vähintään 30–50 prosenttia eli enemmän kuin mitä on todettu tavallisessa nelisahauksessa. Menetelmä sopii käytännössä pk-sahoille, mutta edellyttää tarkkoja laitteita tukin suuntaamiseen. Riittävän halvan ja tehokkaan kaluston kehittäminen erikoissahaukseen on haaste. Potentiaalisia tuotteita ovat tässä tutkimuksessa esille nostettujen kuultokäsiteltävien ikkunakomponenttien ja sisustuslistojen lisäksi laadukkaat ulkoliukuovet, lasiseinät ja erikoisikkunat, sisäovet, porraskaiteet ja paneelit, koristepalkit ja -pilarit, sisustusten, huonekalu-



1 = tukki halkaistaan,
 2 = tukin puolikas sahataan
 pituusakselin suuntaisesti läpisaheiksi,
 3 = läpisahe sahataan pinnan
 myötäisesti ikkunanpuiteaihioiksi,
 4 = läpisaheen pintaosa ja kartiokas
 sisäosa sahataan pinnanmyötäisesti
 sisustuslistoiksi ja pakkaus- ja
 välirimoiksi.

Kuva 3. Pystykarsittujen mäntytukkien erikoissahaus (Kuva: Seija Sulonen/Metla).

jen ja kalusteiden pinnoitusviilu ja visuaalisesti huippulaatuiset pyöröhirsiaihiot hirsitaloihin ja -huviloihin. Tässä on kuitenkin otettava huomioon että teollisten loppukäyttäjien vaatimukset laadukkaalle männylle tämänkaltaisissa tuotteissa ovat edelleen korkeat, esimerkiksi yleinen yläraja vuosiluston leveydelle on 4 mm.

Viljavilla mailla on käytännössä vaikeampi löytää riittävästi karsintakelpoisia mäntyjä kuin karuilla mailla. Tavoiteltava määrä on 450 kpl hehtaarilla, vähimmäismäärä noin 300 kpl. Karsittavien mäntyjen valintakriteerit ovat viljavilla mailla käytännössä samat kuin kuivahkoilla kankaililla: valitaan suoria, terveitä, läpimitaltaan 7–13 cm:n mäntyjä, joissa karsittavien oksien läpimitta on korkeintaan 25 mm. Karsinnan seurauksena syntyy tällöin korkeintaan 2 cm puuta, jossa on pihkatappi tai muuta teknistä vikaa. Karsituille puille on tehtävä myös tarpeeksi kasvutilaa harvennushakkuissa, jotta karsitut oksat kyljestyvät ja virheetöntä puuta alkaa muodostua nopeasti.



Kuva 4. Kaksi esimerkkiä viljelypuun käyttömahdollisuuksista puutuotteiden jatkojalostuksessa. Vas.: katoristikoiden tekoa kuusisahatavarasta (Karelement Oy, Nurmes) (Kuva: Erkki Verkasalo / Metla), oik.: ikkunanpuiteaihioita erikoissahatusta pystykarsitusta männystä (Sil-Kas Oy, Rantasalmi) (Kuva: Merja Lindroos / Metla).

Laatukasvatus onnistuu myös nopeakasvuisella männyllä ja jalostetulla metsänviljelymateriaalilla silloin, kun puuston laadulliset lähtökohdat ovat muuten sopivat ja menetelmiä käytetään oikein. Nopeakasvuisia mänty- ja koivumetsiä, erityisesti viljelypuustoja, on tulossa yhä enemmän hakkuisiin Itä- ja Etelä-Suomessa. Näistä saadaan jo runsaasti tukkipuuta ja osa puustoista on pystykarsittu. Suomessa on pystykarsittu metsiä julkisella tuella 141 000 hehtaaria vuosina 1985–2010 ja tämän lisäksi ilmeisen paljon maanomistajien omina hankkeina ilman tukia. Enemmistö pystykarsituista metsistä on epäilemättä männiköitä.

Istutuskuusi sahatavaran raaka-aineena

Istutuskuusen ominaisuuksia sahojen raaka-aineena tutkittiin Ropposen (2010) opinnäytetyössä neljältä alueelta Etelä-Suomesta vuosina 1994–95 kerättyjen istutus- ja luonnonkuusikoiden runko-, tukki- ja puuaineaineistojen sekä puutavaralajijakauman ja sahatavaran saannon ja laadun simulointitulosten perusteella. Tuotteiden brutto- ja nettoarvot laskettiin sahoilta kyselyillä kerättyjen vuosien 2006–2008 hinta- ja kustannustietojen perusteella. Istutukset oli tehty vuosina 1916–1949, joten tulokset kuvaavat ensimmäisiä päähakkuuvaiheen saavuttaneita istutuskuusikoita.

Tukkia kului sahatavarakuutiota kohti istutuskuusella suurissa tukkiluokissa niiden pienemmän kapenemisen ja vähäisemmän tyvekkyuden ansiosta hieman vähemmän kuin luonnonkuusella. Visuaalisen laatuluokituksen mukaan parhaita sahatavaralaatuja saatiin istutuskuusesta sen terveeksaisuuden ansiosta enemmän kuin luonnonkuusesta. Toisaalta myös huonoimpien laatujen osuus oli istutuskuusella sen suurempien oksien ja pienempien sahadimensioiden takia hieman luonnonkuusta suurempi. Sahauksen kokonaistuotot olivat istutuskuusella suuremmat kuin luonnonkuusella tukkitilavuutta kohti laskettuna, mutta hieman pienemmät sahatavaran tilavuutta kohti laskettuna. Jos vaneritukeiksi soveltuvat tukit eivät olleet mukana sahattavassa sumassa, olivat tuotot istutuskuusella kaikissa tapauksissa suuremmat.

Puuaineen keskimääräinen kuiva-tuoretiheys oli istutuskuusella 358 kg/m³ ja luonnonkuusella 380 kg/m³. Vuosiluston keskimääräinen leveys oli vastaavasti istutuskuusella tyvitukeissa 3,1 mm ja ylemmissä tukeissa 3,3 mm ja luonnonkuusella tyvitukeissa 2,1 mm ja ylemmissä tukeissa 2,5 mm. Todennäköisesti istutuskuusesta saatava sahatavara sijoittuu keskimäärin alempaan lujusluokkaan kuin luonnonkuusesta saatava. Mitta- ja muotopysyvyys sahatavaran kuivauksessa ja käytössä on myös ilmeisesti heikompi.

Kuivauksessa, työstössä ja loppukäytössä haitallista lylypuuta oli istutuskuusissa hieman vähemmän kuin luonnonkuusissa. Sydänpuuta oli istutus- ja luonnonkuusen tyvitukkiosassa yhtä paljon, vaikka tutkimusaineiston istutuskuusi oli keskimäärin 30 vuotta luonnonkuusta nuorempaa. Rungon ylemmissä tukeissa sydänpuuta oli istutuskuusissa kuitenkin vähemmän. Istutuspuustoissa tyypillinen läpimitan kasvun koheneminen ja siitä johtuvat muutokset puun laadussa näkyivät tuloksissa vielä varsin vähän, varsinkin nykyisiin istutuksiin verrattuna. Vuosilustot ovat 1960-luvulta lähtien istutetuissa kuusikoissa yleisesti leveämmät kuin tässä tutkimuksessa, esimerkiksi 5–10 millimetriä. Näin nopeakasvuisesta raaka-aineesta saatavat saha- ja sorvituotteet poikkeavat paljon tähän asti käytetystä raaka-aineesta saatavista tuotteista. Tämä koskee sekä rakennustuotteita, rakennuspuusepäntuotteita että hyvää ulkonäkölaatua edellyttäviä sisäkäyttötuotteita. Laadukkaan kuusen vuosiluston leveyden ylärajana on esimerkiksi rakennusliimapuun ja kattotuolien valmistuksessa nykyisin yleisesti 6 mm (Kuva 4).

1.3 Raaka-aineen ominaisuuksien ja kilpailukyvyn alueellisia tarkasteluja Suomessa, Ruotsissa ja Venäjällä

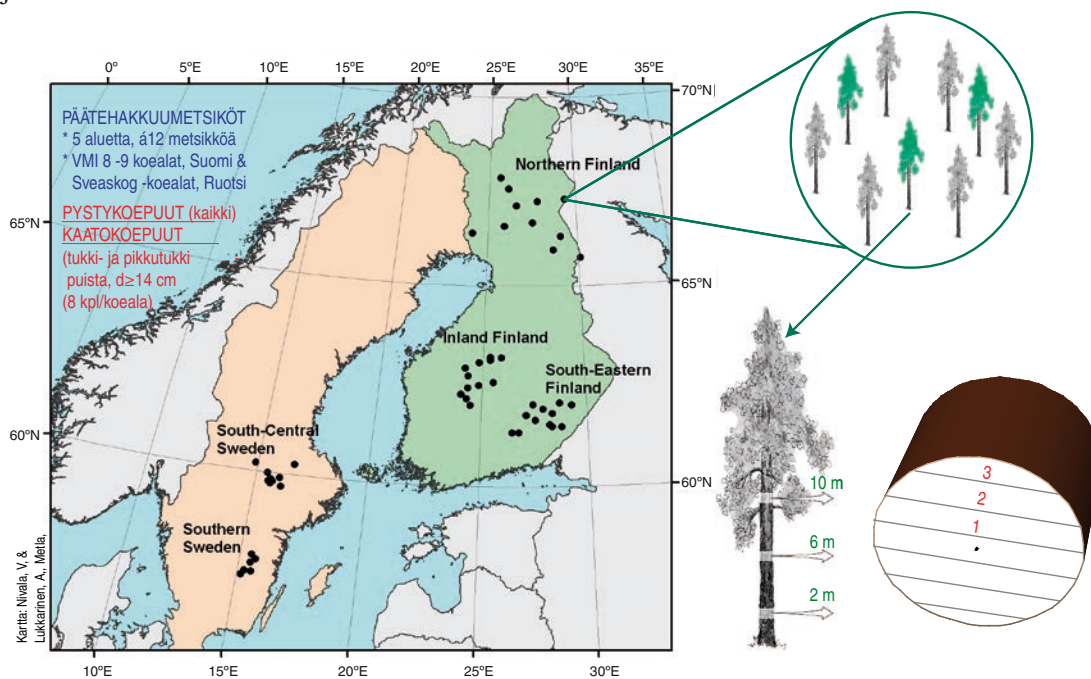
Taustaa

Raaka-aineen alueelliset ja toimittajakohtaiset laatuero ja soveltuvuus erilaisiin tuotteisiin ovat jatkuva keskustelunaihe puutuoteteollisuuden, jatkojalostajien ja asiakkaiden välillä. Laatu- ja arvoeroilla on vaikutusta puutuotteiden viennin ja tuonin edellytyksiin asemoiduttaessa kilpailuympäristöön ja suuntauduttaessa tuote- ja asiakasryhmiin. Alkuperäalueilla on merkitystä myös siitä syystä, että ostajat haluavat varmistua raaka-aineen kestävä kehityksen mukaisesta taustasta ja suhteuttaa raaka-aine- ja tuoteominaisuuksia omien jalostusprosessiensa, tuotevalikoimansa ja asiakkaidensa vaatimuksiin.

Metlassa tehtiin laajat yhteistutkimukset suomalaisen ja ruotsalaisen männyn erityisominaisuuksista puutuoteteollisuuden raaka-aineena vuosina 2002–2008 ja Suomen ja Luoteis-Venäjän mänty- ja kuusiraaka-aineen ja sahatavaran ominaisuuksista vuosina 2005–2009. Kummankin tutkimuksen päätulokset esiteltiin PKM-tutkimusohjelman loppujulkaisussa (Verkasalo ym. 2012). PUU-ohjelmassa jatkettiin suomalais-ruotsalaisen tutkimuksen tulosten analysointia, julkaisemista ja tiedonsiirtotoimintaa ja suomalais-venäläisen tutkimuksen pohjalta tehtiin jatkotutkimuksia. Tässä esitetään kooste näiden jatkotöiden tuloksista.

Pohjoismaisen männyn työstettävyysominaisuudet

Pohjoismaisissa mänty tutkimuksissa tuotettiin markkina- ja asiakaslähtöistä tietoa olennaisimmista ominaisuuksista yhtäältä rakennuspuusepäni-, sisustus- ja huonekalutuotteissa ja toisaalta rakennustuotteissa. Ominaisuuksien tasoa tutkittiin viidellä maantieteellisellä alueella Suomen Lapista ja Koillismaalta Etelä-Ruotsin Smoolantiin (Kuva 5). Tässä keskitytään männyn työstettävyysominaisuuksiin ja niiden merkitykseen kilpailukykytekijänä erityisesti rakennuspuusepäni- ja huonekalutuotteissa.



Kuva 5. Otanta pohjoismaisissa mänty tutkimuksissa alueittain, metsiköittäin ja koepuittain (Verkasalo ym. 2012).

Puuntyöstön lopputulos vaikuttaa olennaisesti tuotteiden tekniseen käyttäytymiseen jatkojalostuksessa ja loppukäytössä kuten myös ihmisen kokemaan visuaaliseen vaikutelmaan ja muuhun aistilliseen tuntemukseen. Materiaalien valinta, työstöprosessien optimointi ja työvarat, työvälineiden ja laitteiden asetukset kuten myös niiden kuluminen ja kesto riippuvat puun ominaisuuksista. Suuri vaihtelu materiaaliominaisuuksissa voi aiheuttaa vaihtelua työvälineisiin ja -laitteisiin kohdistuvissa rasituksissa, josta seuraa niiden tarpeetonta kulumista ja rikkoutumista sekä tuotelaadun vaihtelua. Samat ominaisuudet vaikuttavat mekaanisten liitosten, kuten nauлаusten, ruuvauksen ja sormijatkosten kestävyys.

Materiaalin fysikaaliset ja mekaaniset ominaisuudet ovat kriittisiä työstössä, tehtiin se sitten käsitönnä tai koneellisesti. Puulla nämä ominaisuudet liittyvät useimmiten myös visuaaliseen laatuun. Tässä tutkimuksessa työstettävyyssominaisuuksina tarkasteltiin a) puuaineen leikkauslujuutta (syiden suunnassa), vetolujuutta (poikkisyysuunnassa), pinnan kovuutta, b) oksien kokoa, laatua ja oksakulmaa, oksaväliä (virheetön puuaine) ja puuaineen syysuoruutta sekä c) puuaineen tiheyttä ja vuosilistorakennetta (taustatekijöinä). Näillä ominaisuuksilla on merkitystä kaikissa puun mekaaniseen jalostukseen perustuvissa lopputuotteissa ja käyttökohteissa, mutta niiden painoarvo vaihtelee sisä- ja ulkokäyttötuotteiden (kosteusrasitus), mekaanisille rasituksille eri tavoin altistuvien tuotteiden sekä massiivipuutuotteiden ja mekaanisia ja liimattuja asennuksia ja jatkoksia sisältävien tuotteiden välillä. Joissakin rakennusteknisissä sovelluksissa myös syiden suuntaisella puristus- ja vetolujuudella ja puusepänkäytössä myös pihkaisuudella on merkitystä.

Pohjoismainen mänty on kokonaisuudessaan kilpailukykyistä materiaalia työstettävyyttä kuvaavilta mekaanisilta ominaisuuksiltaan useimpiin muihin havupuulajeihin verrattuna. Etuna on erityisesti leikkauslujuus, joka kasvaa Suomessa ja Ruotsissa pohjoisesta etelään, mutta myös vetolujuus kohtisuoraan syitä vastaan, joka puolestaan kasvaa vuosilustojen kaventuessa kohti pohjoista. Molemmat ominaisuudet ovat sitä paremmat mitä pienempi on tukkipuun läpimita ja paranevat rungon tyvestä latvaan. Leikkauslujuus kasvaa ja vetolujuus heikkenee puun ytimestä eli sydäntavaraosasta pintalautoihin päin. Lapin mänty oli tutkimuksessa muita alueita pehmeämpää ja Keski- ja Kaakkois-Suomen mänty kovinta, joskin tulos riippui osaksi mittausmenetelmästä. Leikkauslujuuden ja kovuuden vaihtelu alueiden ja puiden välillä oli selvässä yhteydessä puuaineen tiheyteen ja todennäköisesti nuorpuun ja aikuispuun esiintymiseen. Vetolujuus ei sen sijaan riippunut tiheydestä. Tutkittujen ominaisuuden suuri vaihtelu tukkipuiden sisällä on männyn haittapuoli.

Männyn työstettävyyys vaikuttaa visuaalisten ominaisuuksien perusteella suhteellisesti jopa paremmalta kuin mekaanisten ominaisuuksien perusteella. Tämä ei ole yllätys ajatellen jatkojalostajien yleistä käsitystä puusepäntuotteiden hyvästä saannosta ja visuaalisesta laadusta. Mäntysaheiden oksaisuus eroaa alueiden välillä kuitenkin sen mukaan mitä oksaisuutta kuvaavaa suuretta tarkastellaan. Pohjoisen alkuperän etuina ovat kuivien oksien läpimitan pieneminen ja oksakulman kasvaminen etelästä pohjoiseen, mutta tuoreiden oksien läpimitassa ei ollut eroja. Virheetöntä puuainesta sisältänyt osa peräkkäisten oksakiehkuroiden välillä oli kasvupaikkojen viljavuuden ja pituuskasvunopeuden erojen vuoksi pisin Kaakkois-Suomessa ja Pohjois-Suomessa selvästi muita alueita lyhyempi, erityisesti sivu- ja pintalautoissa. Syysuoruus parani pohjoisesta etelään sydäntavarassa, tosin vain vähän tyvitukeista sahattuna, mutta huononi päinvastaiseen suuntaan, varsinkin väli- ja latvatukeista sahattuna.

Suomalaisen ja luoteisvenäläisen sahatavaran visuaaliset laatuluokkajakaumat ja lujuusluokkajakaumat

Suomalaisesta ja venäläisestä mänty- ja kuusitukista saatavan sahatavaran visuaalisen laatuluokkajakauman (pohjoismainen NT-lajittelu) ja lujuusluokkajakauman (eurooppalaisen EN338 standardin mukainen lajittelu) ennustamisen mahdollisuuksia tutkittiin tukeista, sahatavarasta tai molemmista tehtävissä olevien mittausten perusteella. Lisäksi analysoitiin ilmeneekö alueellisia laatueroja myös näiden tekijöiden huomioon ottamisen jälkeen.

Sahatavaran mitattavan laadun mukainen jakauma on perusta eri laatuluokkien mahdolliselle saannolle. Riippuu toisaalta lajittelumenetelmän suorituskyvystä ja toisaalta markkinoiden tarvitsemista ja eri tasoille hinnoiteltavissa olevista laatuluokista, miten hyvin laatulajittelun potentiaali pystytään hyödyntämään. Visuaalista laatua arvostetaan näkyviin jäävissä puusepäntuotteissa, varsinkin männyllä mutta joissakin tuoteryhmissä ja erällä markkina-alueilla myös kuusella. Rakennustuotteissa kuusi on yleisempi puulaji kuin mänty, mutta suomalaisen teollisuuden pyrkimyksenä on lisätä niissä merkittävästi männyn käyttöä.

Lujuus ja jäykkyys ovat rakennuspuun tärkeimpiä ominaisuuksia puulajista riippumatta, mutta myös mitta- ja muotopysyvyys ja säänkesto vaikuttavat soveltuvuuteen. Rakennuspuulle voitaisiin saada lisäarvoa erityisesti huippulujilla laaduilla, jos ne pystyttäisiin erottamaan sahatavarasumasta luotettavasti käytännön lajittelussa ja lajittelustandardit tukisivat niiden erittelyä puutuotekaupassa. Toinen mahdollisuus arvonlisäykseen on lajitella sahatavaraeristä erilleen vaajaalaatuinen sahatavara, johon kuuluvat saheet alentavat koko erän laatua ja arvoa.

Tutkimusaineistot olivat peräisin kolmelta alueelta Suomesta ja kahdelta alueelta Luoteis-Venäjältä (Kuva 6). Aineistot kerättiin otannalla suomalaisille sahoille hankituista tukkieristä, yhteensä 1 162 kuusitukkia ja 1 107 mäntytukkia ja vähintään 44 tukkia per alue ja tukin läpimittaluokka (5 kpl).



Kuva 6. Aineistojen alkuperäalueet suomalaisen ja luoteisvenäläisen sahatavaran tutkimuksissa (Hautamäki ym. 2013).

Aineistoja voidaan pitää laajoina, mutta venäläisten leimikoiden alkuperän epätarkkuudet ja puutavaran mahdollinen lajittelu ennen toimituksia suomalaisille tehtaille merkitsevät tältä osin epävarmuutta tulosten yleistettävyydessä.

Tutkimusten mukaan puuaineen laadussa on eroja paitsi Venäjän ja Suomen myös eri alueiden välillä. Erot johtuvat osittain erilaisesta kasvukauden pituudesta ja kasvupaikkojen laadusta, mutta varsinkin metsänkasvatuksen perinteiden ja metsänhoidon tason eroista. Erot ovat puuaineessa ja -tuotteissa monimutkaisempia ja osin erisuuntaisia kuin mihin tukkien koko ja ulkonäkö viittasivat.

Männyn sydäntavarasta saatiin NT-lajittelun mukaisilta visuaalisilta ominaisuuksiltaan parhaita rakennuspuusepän- ja huonekalulaatuja (A-lankkuja) selvästi eniten Itä- ja Länsi-Suomessa, noin 35 %, ja Kainuussakin noin 25 %, mutta Novgorodissa ja Vologdassa vain 11 % ja 16 %. B-lankut ovat yleisin sydäntavaran laatuluokka, ja niiden osuuden alueelliset erot olivat käänteiset A-laatuun nähden. Kuusella sydäntavarasta saatiin A-laatua eniten Itä-Suomessa ja Vologdassa, kuitenkin vain noin 10 %, ja vähiten Venäjän Karjalassa ja Länsi-Suomessa, noin 2 %. Valtalaatua B oli eniten Länsi-Suomessa (yli 80 prosenttia) ja huonoimpia eli C- ja D-laatuja Vologdassa. – Kuusella luokiteltiin myös laudat kolmelta tutkitulta alueelta. Niiden laatujakauma oli Venäjällä selvästi äärevämpi kuin Suomessa ja sekä parhaita (A1-A4) että huonoimpia laatuja (C) oli enemmän sekä Venäjän Karjalassa että Vologdassa kuin Itä-Suomessa. A-laatujen osuus oli kaikilla alueilla alle 20 %.

Männyn saheista täytti EN338 lujuuslajittelustandardin luokan C30 eli normaalin hyvän lujuuslaadun vaatimukset Suomessa noin 55–60 % mutta Vologdassa ja Novgorodissa vain runsaat 10 %. Korkeampia lujuusluokkia C40 tai C50 oli mainittavasti vain Suomessa. Tavalliseksi rakennesahatavaraksi ja mm. rakennusliimapuun valmistukseen hyväksyttäviä saheita eli luokkaa C24 oli Suomessa 65–70 % ja Venäjällä noin 35 %. Kuusen saheista täytti luokan C30 vaatimukset Länsi-Suomessa, Kainuussa ja Vologdassa 65–70 %, Itä-Suomessa 60 % ja Venäjän Karjalassa runsaat 40 %. Korkeampia lujuusluokkia oli kuusella hieman vähemmän kuin männyllä mutta alueelliset erot olivat samansuuntaiset kuin C30-vaatimuksin. Luokkaa C24 oli Kainuussa, Länsi-Suomessa ja Vologdassa runsaat 80 % ja Itä-Suomessa ja Venäjän Karjalassa 65–70 %.

Tukeista, sahatavarasta tai molemmista tehtyjen mittausten perusteella laaditut regressiomallit antoivat sahatavaran visuaalisen laatuluokkajakauman ja lujuusluokkajakauman ennustamisessa männyllä säännöllisesti tarkempia ennusteita kuin kuusella. Tukkilajilla (tyvitukki vs. muu tukki, laatuluokka), sahatavaran oksikkuusmuuttujilla ja eräillä lisätunnuksilla voitiin ennustaa oikein visuaalinen NT-laatuluokka 40–50 prosentissa saheista ja visuaalisesti arvioitu T-lujuusluokka 44–59 prosentissa saheista. Ennusteet paranivat huomattavasti naapuriluokkia yhdistämällä, esimerkiksi NT-luokituksessa tasolle 76–83 % yhdistämällä neljä luokkaa kahdeksi. Alkuperäalueen vaikutus pieneni malleihin perustuvassa tarkastelussa jakaumien tasovertailuun nähden, mutta oli silti merkitsevä varsinkin männyllä.

EN338-standardin mukaista C-lujuusluokittelua simuloiden voitiin ennustaa oikea luokka 53–54 prosentille saheista ilman kimmokertoimen määrittystä ja 75 prosentille saheista kimmokertoimen määrittelyn kanssa, kun käytettävissä olivat sekä tukki- että sahatavaraominaisuuksien mittaukset. C40–C50 saheista voitiin malleilla tunnistaa oikein 45–65 % ilman kimmokerrointa ja 85 % kimmokertoimen kanssa. Tarkimmin voitiin tunnistaa C18- ja C30-luokkien saheet. Alkuperäalueen vaikutus lujuusluokkajakaumaan oli malleihin perustuvassa tarkastelussa merkitsevä vain männyllä.

Sahatavaran visuaaliseen lajitteluun verrattuna lujuslajittelu tuottaa kyseisten lajittelutapojen mukaisten laatuluokkien nykyisillä hintasuhteilla huomattavan lisäarvon sahoille lajiteltaessa kuusta, mutta ei ilmeisesti yhtä paljoa lajiteltaessa mäntyä. Tämä johtuu siitä että männyn visuaalisen lajittelun mukaiset laatuluokkajakaumat painottuvat kokonaisuutena selvästi enemmän parhaisiin ja korkeahintaisiin luokkiin kuin kuusen jakaumat. Tästä huolimatta lujuslajittelu tuottaa lisäarvoa myös männyllä visuaalisesti keskilaatuisille ja jopa huonohkoille sahatavaraerille. Koneellinen ja objektiivinen lujuslajittelu tuottaa molemmilla puulajeilla suuremman lisäarvon kuin tehoton ja subjektiivinen visuaalinen lujuslajittelu. Epätarkat ja tehottomat lajittelumenetelmät, joissa on käytettävä melko suuria varmuusrajoja yksittäisten saheiden laadun määrittämisessä, johtavat kyllä keskilaatuisten sahatavaraerien kohdalla arvonnousuun, mutta eivät ota täysinmääräisesti huomioon runsaasti korkealaatuisia saheita sisältävien erien todellista arvopotentiaalia. Lujus- ja jäykkyystulokset ilmentävät paitsi sahatavaran myös vaneri- ja kertopuutuotteiden mekaanisia ominaisuuksia. Nämä ovat tärkeitä lähtötietoja puutuotteiden valmistusprosessien optimoinnissa ja rakentamisen sovellusten suunnittelussa.

Tietoja ja ennusteita raaka-aineen odotettavissa olevasta laadusta voidaan hyödyntää myös sahojen ja havuvaneritehtaiden tukkien hankinnan suuntaamisessa alueittain ja jatkojalostajien sahatavaran ostojen suunnittelussa eri toimittajilta, kun painotetaan joko visuaalista laatua tai rakenteellista lujuuksia ja jäykkyyttä. Kannattavia lopputuoteryhmiä ja tuotevalikoimia voidaan ennakoita käytettäessä erilaisia yhdistelmiä eri alueilta peräisin olevista ja eri kokoluokkia edustavista tukkisumista. Puuraaka-aineen laatu- ja arvopotentiaali on myös yksi perustekijä harkittaessa teollisia investointeja.

Lisätietoa

- Grekin, M. & Verkasalo, E. 2010. Variations in basic density, shrinkage, and shrinkage anisotropy of Scots pine wood from mature mineral soil stands in Finland and Sweden. *Baltic Forestry* 16(1): 113–125.
- Grekin, M. & Verkasalo, E. 2013. Variations in and models for Brinell hardness of Scots pine wood from Finland and Sweden. *Baltic Forestry* 19(1): 128–136.
- Hautamäki, S., Kilpeläinen, H., Kannisto, K., Wall, T. & Verkasalo, E. 2010. Factors affecting the appearance quality and visual strength grade distributions of Scots pine and Norway spruce sawn timber in Finland and north-western Russia. *Baltic Forestry* 16(2): 217–234.
- Hautamäki, S., Kilpeläinen, H., Kannisto, K., Wall, T. & Verkasalo, E. 2011. Factors and models for the grade distributions of sawn timber for Scots pine and Norway spruce in Finland and north-western Russia: visual strength and appearance quality. In: Divos, F. & Ross, R.J. (eds.). *Proceedings of the 17th International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium*, Vol 2/2, 14–16 September 2011, Sopron, Hungary. University of West Hungary, Sopron. Pp. 247–254.
- Hautamäki, S., Kilpeläinen, H. & Verkasalo, E. 2013a. Factors and models for the bending properties of sawn timber in Finland and north-western Russia. Part I. Norway spruce. *Baltic Forestry* 19(1): 107–119.
- Hautamäki, S., Kilpeläinen, H. & Verkasalo, E. 2013b. Factors and models for the bending properties of sawn timber in Finland and north-western Russia. Part II. Scots pine. *Baltic Forestry* (painossa).
- Korhonen, K.T., Ihalainen, A., Viiri, H., Heikkinen, J., Henttonen, H.M., Hotanen, J.-P., Mäkelä, H., Nevalainen, S. & Pitkänen, J. 2013. Suomen metsät 2004–2008 ja niiden kehitys 1921–2008. *Metsätieteen aikakauskirja* 3/2013: 269–608.
- Lindström, H., Reale, M. & Grekin, M. 2009. Using non-destructive testing to assess modulus of elasticity of *Pinus sylvestris* trees. *Scandinavian Journal of Forest Research* 24(3): 247–257.

- Malinen, J. & Verkasalo, E. 2010. Pohjoinen mänty – laadukas ja monikäyttöinen. Scots Pine – Excellence and Image. <http://www.metla.fi/metinfo/northernpine/index.html>
- Mäkinen, H., Verkasalo, E. & Tuimala, A. 2013. Effects of pruning in Norway spruce on tree growth and grading of sawn boards in Finland. *Forestry (painossa)*.
- Ropponen, T. 2010. Istutettu ja luontaisesti syntynyt kuusi sahatavaran raaka-aineena Etelä-Suomessa. Itä-Suomen yliopisto, luonnontieteiden ja metsätieteiden tiedekunta. *Metsätieteiden pro gradu, erikoistumisala metsä- ja puuteknologia*. 90 s.
- Sirparanta, E. 2012. Läpisahausten ja pinnanmyötäisen sahausten yhdistelmä pystykarsittujen männyn tyvitukkien aihioshaustuksessa ikkunanpuitekomponenteiksi. Itä-Suomen yliopisto, luonnontieteiden ja metsätieteiden tiedekunta. *Metsätieteiden pro gradu, erikoistumisala metsä-, energia- ja puuteknologia*. 78 s.
- Verkasalo, E., Grekin, M., Nevalainen, S., Lindström, H., Wall, T., Fröblom, J., Stöd, R., Lukkarinen, A. & Kilpeläinen, H. 2012. Havupuun ominaisuudet, käyttömahdollisuudet ja laatukilpailukyky puutuotetalalla. Julkaisussa: Verkasalo, E. & Karvinen, L. (toim.). *Puunkäytön mahdollisuudet ja puutuotteiden menekki. PKM-tutkimusohjelman tulokset ja niiden hyödyntäminen*. Metlan työraportteja 251: 22–76.
- Verkasalo, E., Grekin, M., Tikakoski, S. & Malinen, J. 2013a. Tooling properties of Scots pine from Northern Europe for value-added interior products. In: IWMS-21 Organizing Committee (ed.). *21st International Wood Machining Seminar Proceedings, August 4–7, 2013, Tsukuba, Japan*. Pp. 56–63.
- Verkasalo, E., Grekin, M., Tikakoski, S. & Malinen, J. 2013b. Woodworking properties of Scots pine from Northern Europe and their competence for value-added joinery products. *PRO LIGNO* 9(4): 349–358.
- Verkasalo, E. & Hautamäki, S. 2011. Log quality and grade distributions of sawnwood from Finland and north-western Russia. In: Välkky, E., Viitanen, J. & Ollonqvist, P. (eds.). *Impact of changes in forest and economic policy and the business preconditions in Russia and Finland*. Metlan työraportteja 218: 71–83.
- Verkasalo, E., Hautamäki, S. & Kilpeläinen, H. 2012. Mänty- ja kuusisahtavaran laatujaumat ja sahatu-kin laatu Suomessa ja Luoteis-Venäjällä. *Metsätieteen Aikakauskirja* 2/2012: 115–120.
- Verkasalo, E., Kilpeläinen, H. & Ihalainen, A. 2011. Viljelypuu – tulevaisuuden puutuotteiden perusta. Metlan uutiskirje BIO/PUU 3/2011. <http://www.metla.fi/uutiskirje/bio/2011-03/viljelypuu.pdf>
- Verkasalo, E., Kilpeläinen, H. & Ihalainen, A. 2012. Timber quality for wood product industries in cultivated versus naturally regenerated forests in boreal conditions – Norway spruce and Scots pine according to Finnish National Forest Inventory. In: 2012 IUFRO Conference Division 5 Forest Products, 8–13 July' 12 – Estoril Congress Center, Lisbon, Portugal. *Final Program, Proceedings and Abstracts Book*. Pp. 65–66.
- Verkasalo, E., Kilpeläinen, H. & Ihalainen, A. 2013. Viljelypuustoissa pienempi tukkiosuus ja huonompi rungon laatu kuin samankokoisissa luontaisesti syntyneissä puustoissa. Puun korjuu ja käyttö – uutiskirje 3/2013. <http://www.metla.fi/uutiskirje/puu/2013-03/>
- Verkasalo, E. & Ropponen, T. 2011. Viljellyn ja luontaisesti syntyneen kuusen erot sahatavaran odotettua pienempiä. Metlan uutiskirje BIO/PUU 3/2011. <http://www.metla.fi/uutiskirje/bio/2011-03/istutusluontainen-kuusi.pdf>
- Verkasalo, E., Sirparanta, S. & Baker, M. 2012. Fast growth in relationship with commercial value of Scots pine for high-quality wood products after special sawing application. In: 2012 IUFRO Conference Division 5 Forest Products, 8–13 July' 12 – Estoril Congress Center, Lisbon, Portugal. *Final Program, Proceedings and Abstracts Book*. P. 182.
- Verkasalo, E., Sirparanta, S., Baker, M. & Silvennoinen, S. 2011. Nopeakasvuisesta männystä erikoissaha-uksella priimaa raaka-ainetta puutuoteteollisuudelle. Metlan uutiskirje BIO/PUU 3/2011. <http://www.metla.fi/uutiskirje/bio/2011-03/nopeakasvuinen-manty.pdf>
- Verkasalo, E., Sirparanta, S. & Silvennoinen, S. 2011. Added value and technical performance of manufacturing window frame components from pruned fast-grown Scots pine logs using combined live sawing and parallel-to-surface sawing technique. In: Grönlund, S. & Cristovao, L. (eds.). *Proceedings of the 20th International Wood Machining Seminar, June 7–10, 2011 Skellefteå Sweden*. Luleå University of Technology. Pp. 334–341.

2 Apuvälineitä puukauppaan

Jukka Malinen, Pekka Hyvönen & Harri Kilpeläinen

2.1 Puukaupan toimintaympäristö Suomessa

Yksityisten omistamia vähintään kahden metsämaahehtaarin metsätilakokonaisuuksia oli Suomessa lähes 350 000 kappaletta, joiden omistajiksi lukeutuu 632 000 henkilöä. Yksityisten ihmisten metsäomistus kattaakin yli puolet Suomen metsistä. Suomalaisessa perhemetsätaloudessa tilat siirtyvät usein perintönä sukupolvelta toiselle, ja samalla pirstoutuvat perinnönjaon yhteydessä. Suomalaisen yksityishenkilöiden omistamat metsätilat ovatkin tyypillisesti hyvin pieniä. Tilojen keskipinta-ala on 30,3 hehtaaria ja pinta-alaltaan yli sadan hehtaarin tiloja on vajaa 18 000, mutta alle 20 hehtaarin tiloja yli 227 000.

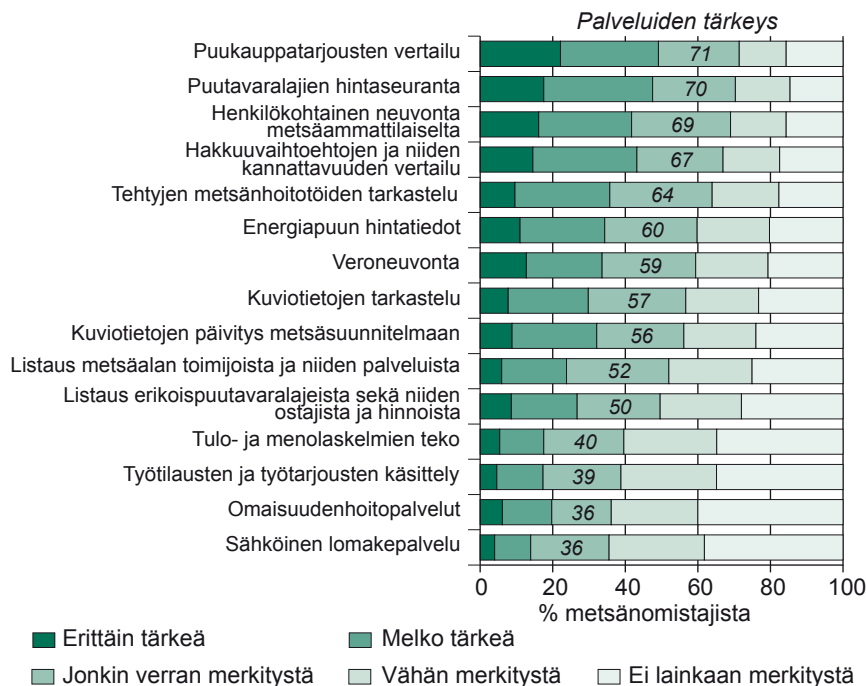
Yksityismetsien taloudellinen merkitys on suurempi kuin niiden osuus pinta-alasta, sillä 70–80 prosenttia metsäteollisuuden käyttämästä kotimaisesta puuraaka-aineesta saadaan yksityismetsistä. Yksityismetsänomistajalle puukauppa on erityislaatuinen kauppatapa monessakin suhteessa. Yleensä myyjä tuntee kaupattavan tuotteen ominaisuudet ja arvon ostajaa paremmin, mutta metsänomistajan myydessä puuta kenties kerran kymmenessä vuodessa tekee puuta ostava yritys satoja, jopa tuhansia kauppvoja vuosittain. Tämä epätasapainoinen informaatio kaupan kohteen ominaisuuksista ja arvosta tuotannossa yhdistettynä puuraaka-aineen monimuotoisuuteen on johtanut tilanteeseen jossa monet metsänomistajat tuntevat tarvitsevansa kolmannen osapuolen apua puukaupassa. Tilakoon pienentyminen ja metsänomistajakunnan rakenteen muutos korostavat jatkossa entistä enemmän tätä epätasapainoa ja asettavat puun myyjän ja ostajan entistä eriarvoisempaan asemaan.

2.2 Metsänomistajien tarvitsemat puukauppapalvelut

Metsäntutkimuslaitoksen hankkeessa ”Puuraaka-aineen mittaus, laadutus ja arvon määrittäminen puukaupan ja puunhankinnan tukena” tehdyn kyselyn perusteella metsänomistajat tarvitsevat moninaisia palveluja puukaupan suunnittelussa (Kuva 7) (Hyvönen 2010, Hyvönen ym. 2010). Osin palvelutarpeet liittyvät juuri niihin ongelmakohtiin, joissa metsänomistajalla on itsellään epäily oman asiantuntemuksensa riittävydestä. Noin viidennes metsänomistajista kokee puukauppatarjousten vertailun sekä puutavaralajien hintaseurannan erittäin tärkeiksi.

Puukauppatarjousten vertailun tärkeys korostuu varsinkin maa-/metsätalousyrittäjien, perikuntien ja eläkeläisten joukossa. Maa-/metsätalousyrittäjät pitävät keskimääräistä tärkeämpänä myös puutavaralajien hintaseurantaa kuten myös tilan sijaintikunnassa asuvat metsänomistajat. Myös metsäammattilaisen antamalla henkilökohtaisella neuvonnalla ja hakkuuvaihtoehtojen kannattavuuden vertailulla on kysyntää. Näiden tärkeyttä korostavat etenkin suurmetsänomistajat, monitaivoitteiset metsänomistajat sekä puukaupan yhteistyösopimuksen tehneet metsänomistajat.

Tärkein palveluntarjoaja metsänomistajien mielestä on metsänhoitoyhdistys, jota noin joka kolmas pitää itselleen erittäin tärkeänä. Etenkin suurissa kaupungeissa asuvat metsänomistajat ja perikunnat sekä yhtymät kokevat metsänhoitoyhdistysten palvelut tärkeiksi. Vajaa kymmenesosa metsän-



Kuva 7. Metsänomistajien tarvitsemat puukauppaluut (Hyvönen 2010).

omistajista pitää puunostajaa ja metsäkeskusta erittäin tärkeänä palveluntarjoajana. Yksityisillä metsäpalveluyrittäjillä ei nähty juuri olevan merkitystä yksittäiselle metsänomistajalle puukaupan suunnitteluun liittyvissä asioissa. Metsänhoitoyhdistysten toiminnanjohtajien arvioiden mukaan metsänhoitoyhdistyksillä on yli 80 prosentin osuus yksityismetsien puunmyyntisuunnitelmien ja puukaupparjoustien vertailusta. Heidän arvionsa perusteella noin joka kymmenes metsänomistaja tekee puukaupan ilman ulkopuolisten apua ja toinen kymmenes käyttää muita toimijoita apunaan. Toiminnanjohtajien arvioiden mukaan metsäpalveluyrittäjien osuus puukauppaluutien tarjonnassa ei juuri kasva. Heidän osuutensa metsäsuunnittelussa tulee kuitenkin lisääntymään selvästi, koska metsäpalveluyrittäjät toimivat muun muassa metsänhoitoyhdistysten alihankkijoina. Perinteisesti metsänhoitoyhdistykset sekä puunostajat ovat tarjonneet metsänomistajille operatiiviseen puukaupan suunnitteluun liittyviä palveluita. Metsäkeskusten ja metsäpalveluyrittäjien osuudet ovat olleet marginaalisia. Kyselytulosten mukaan nämä asetelmat tulevat säilymään ainakin sen perusteella mitkä ovat metsänomistajille tärkeimpiä palveluntarjoajia. On kuitenkin huomioitava, että esimerkiksi pankit ja vakuutuslaitokset tarjoavat metsänomistajille yhä aktiivisemmin muun muassa puukauppatulojen sijoittamispalveluja sekä myös sukupolvenvaihdoksiin liittyviä palveluja. Nämä voivat olla muun muassa perikuntien ja eläkeläisten kohdalla oleellinen osa puukaupan suunnittelua.

2.3 Kuinka puusta pitäisi maksaa?

Suomessa puuraaka-aineen hinnoittelu perustuu useimmiten hakattavien puutavaralajien määriin ja niistä maksettuihin yksikköhintoihin. Menetelmä on sinänsä selkeä ja yksinkertainen, mutta sisältää joitakin ongelmia. Metsänomistajan saadessa useita ostotarjouksia on niiden vertailu ongelmallista jos ostajilla on usein erilaisia puutavaralajiyhdistelmiä ja mittavaatimuksia. Puukaupasta sopimisen jälkeen metsänomistajan seuraava huoli on katkonnan ”oikeudenmukaisuus”,

maksimoiko puunostaja arvokkaimpien puutavaralajien kertymää vai meneekö osa alempiarvoisten puutavaralajien pinoihin. Puukaupassa sovitut mitta- ja laatuvaatimukset tuottavat ongelmia myös puun ostajalle. Tuotannon tarpeiden mukaisten katkontatavoitteiden ja puukaupassa sovitujen mitta- ja laatuvaatimusten yhdistäminen voi olla ongelmallista.

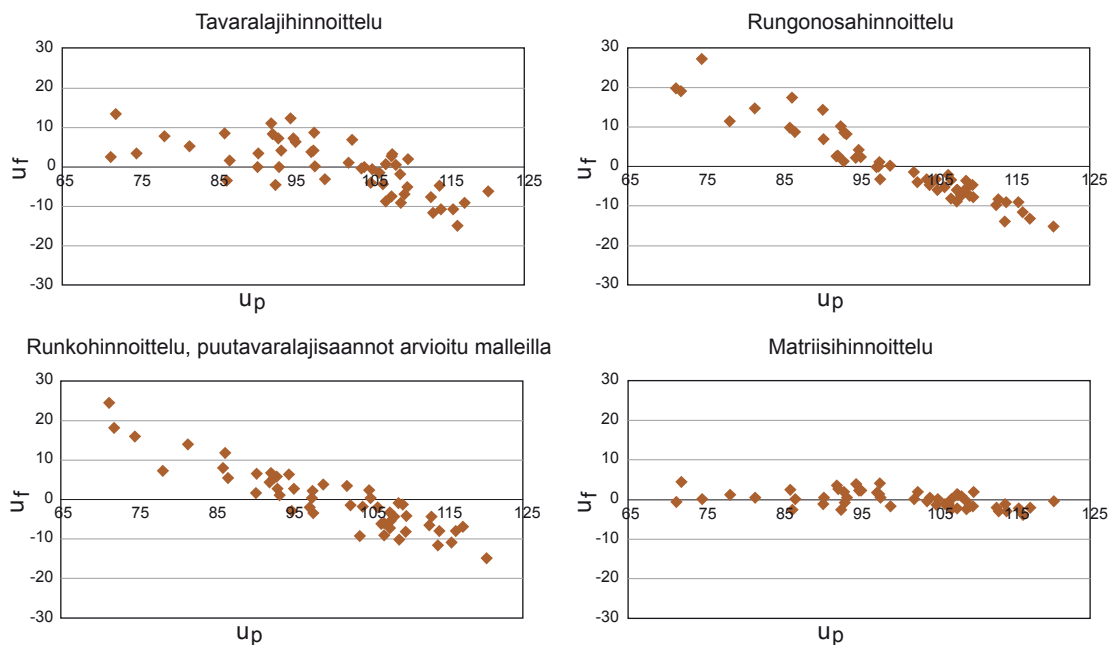
Suomalainen puukauppatavasta poiketen mm. Ruotsissa ja Norjassa sahatukeista maksetaan jalostusarvoperusteista hintaa kullekin laadulle sekä läpimitta-pituusyhdistelmälle. Menetelmä onkin helpompi soveltaa tienvarsi- ja toimituskaupoissa. Toisaalta muun muassa Skotlannissa, jossa pystykaupat ovat Suomen tavoin pääasiallinen kauppatapa, käytetään useimmiten maksuperusteena korjatun puutavaran painoa.

Markkinoiden toimivuuden kannalta puukaupassa käytettävän hinnoittelumenetelmän tulisi olla 1) molemmille osapuolille läpinäkyvä ja yksinkertainen, 2) sallia raaka-aineen katkonta kulloisenkin markkinatilanteen mukaan ja 3) kannustaa laadukkaan raaka-aineen tuottamiseen. Läpinäkyvä ja yksinkertainen hinnoittelumenetelmä antaa metsänomistajalle mahdollisuuden vertailla itse saatuja ostotarjouksia ja valita parhaimman tuoton antava tarjous. Katkonnan irrottaminen hinnoittelusta mahdollistaa raaka-aineen jalostusarvon maksimoimisen ja poistaa tarpeen puunkorjuun valvonnalle. Hinnoittelumenetelmän kannustimet laadukkaan ja järeän puuraaka-aineen tuottamiseksi ohjaavat metsänhoitotoimenpiteitä ja uudistamispäätöksiä parantaen puunostajan puustamaksukykyä.

Useimmin tavaralajihinnoittelun rinnalla tarjottu vaihtoehtoinen hinnoittelutapa on niin sanottu runkohinta, jolloin korjatusta hakkuukertymästä maksetaan yhtä kiinteää tilavuus- tai painoperusteista yksikköhintaa katkonnasta riippumatta. Puun myyjälle runkohinta on selkeä, katkonta ei vaikuta kaupan arvoon, jolloin ostaja voi vertailla runkohintaisia ostotarjouksia keskenään. Runkohinnoittelussa metsänomistajan ei tarvitse myöskään huolehtia katkonnan oikeudenmukaisuudesta. Runkohinnoittelu ei valitettavasti tarjoa metsänomistajalle selkeää viestiä kuinka puuraaka-aineen hinta muodostuu, jolloin kannustimet laadukkaan raaka-aineen tuottamiseksi jäävät pimentoon.

Runkohinnoittelu ei kuitenkaan ole ainut vaihtoehto tavaralajihinnoittelulle. Eräät puunhankkijat käyttävät Suomessakin niin sanottua matriisihinnoittelua, jossa sahatukeista maksetaan laadun, latvaläpimitan ja pituuden mukaista yksikköhintaa. Läpimitta-pituusluokittainen hintalista tarjoaa metsänomistajalle selkeän kannustimen kasvattaa järeää puutavaraa. Muita satunnaisesti käytettyjä tai esiteltyjä hinnoittelumenetelmiä ovat erilaiset järeys- tai lautupainotteiset sovellukset tavaralajihinnoittelusta, sekä rungonosahinnoittelu, jossa rungon järeysositteista maksetaan erilaista yksikköhintaa katkonnasta riippumatta.

Vaihtoehtoisia hinnoittelumenetelmiä vertailtiin Metsäntutkimuslaitoksen hankkeessa ”Puuraaka-aineen mittaus, laadutus ja arvon määrittäminen puukaupan ja puunhankinnan tukena” (Malinen ym. 2010a). Vertailluista hinnoittelumenetelmistä runkohinnoittelu ja osarunkohinnoittelu erotuivat edukseen tarjoamalla vapauden katkoa ostettu puuraaka-aine ostajan markkinatilanteen mukaisesti, josta on selkeitä etuja ennen kaikkea päätehakkuiden pystykaupoilla. Myös Työ- ja elinkeinoministeriön tilaaman puumarkkinaselvityksen loppuraportissa suositeltiin runko- ja rungonosahinnoittelun kehittämistä ja käyttöönottoa puukaupassa. Toimitus- ja hankintakaupoissa matriisihinnoittelu kannustaa puunmyyjää kasvattamaan ja katkomaan puuraaka-aineen puunostajan toimittamien laatu- ja dimensiovaatimusten mukaisesti.



Kuva 8. Myyntiarvon ja puustamaksukyvyyn välinen riippuvuus (u_t) leimikon suhteellisen arvon mukaisesti (u_p) erilaisilla hinnoittelutavoilla. Nollaa suuremmat arvot tarkoittavat suhteellista ylihintaa ja nollaa pienemmät arvot alihintaa.

Vaihtoehtoisten hinnoittelumenetelmien kannustavuutta laadukkaan raaka-aineen tuottamiseen voidaan selvittää vertaamalla metsänomistajalle maksettavan myyntitulon ja ostetulle puulle lankeavan puustamaksukyvyyn välistä riippuvuutta (Kuva 8). Hinnoittelumenetelmistä matriisihinnoittelu heijasti parhaiten puustamaksukyvyyn vaikutusta raaka-aineen hintaan. Tavaralajihinnoittelu, rungonosahinnoittelu ja runkohinnoittelu johtivat suhteellisesti suuriin myyntiarvoihin puustamaksukyvyltään heikoissa leimikoissa, joissa puuston keskijäreys oli alhainen ja puiden laatu huono, ja vastaavasti suhteellisesti pieniin myyntiarvoihin hyvälaatuisissa, järeissä leimikoissa.

2.4 Ostotarjousten vertailun ongelma

Puun ostotarjouksista selviää yksittäisistä puutavaralajeista maksettavat yksikköhinnat. Ostotarjousten vertailu on kuitenkin hankalaa, koska puunostajat katkovat puuta omiin loppukäyttökohteisiin niille sopivilla mitoilla. Metsänomistajan on vaikeaa, ellei mahdotonta, ennakoida kunkin puunostajan puutavaralajikertymiä. Metsänhoitoyhdistykset tarjoavat puukauppapalvelua, jossa puunostajien ostotarjouksia ja puutavaralajikertymiä tietyn järeyksistä leimikoista vertaillaan toteutuneiden kauppojen perusteella.

Ostotarjousten laadinnan ja niiden vertailun tueksi on Metsäntutkimuslaitoksen Itä-Suomen alueyksikössä ja EU:n pohjoisen periferian ohjelman Developing the Scots Pine Resource -hankkeessa kehitettiin ARVO-ohjelmisto (Malinen ym. 2011b), jonka avulla voidaan laatia ennuste hakattavan leimikon puustosta ja sen ominaisuuksista.

ARVO-ohjelmisto pyrittiin rakentamaan käyttöliittymältään mahdollisimman yksinkertaiseksi, jotta jokainen tietotekniikan perustaidot omaava voi omaksua sen käytön. Ohjelmistossa käyttäjän tehtävänä on syöttää hakattavan leimikon perustiedot, kuten ikä, pohjapinta-ala ja keskiläpimitta ohjelmistolle. ARVO-ohjelmisto vertailee näitä tietoja tietokannassaan oleviin aiemmin hakattuihin leimikoihin ja poimii tietokannasta samankaltaisia ”vastinleimikoita”, joista on kerätty perustietojen lisäksi runkokohtaiset mittaustiedot, eli stm-tiedot. Näiden vastinleimikoiden stm-tietojen pohjalta ARVO-ohjelmisto muodostaa ennustepuujoukon.

Hakkuukoneella kerätyt stm-tiedot sisältävät ainoastaan runkojen dimensiokuvauksen, joten ARVO-ohjelmisto ennustaa Metsäntutkimuslaitoksessa kerättyjen laatuaineistojen pohjalta kullekin ennustepuujoukon rungolle oksarajatiedot sekä ulkoisen teknisen laadun. Käyttämällä ARVO-ohjelmistoon rakennettua apteraaussimulaattoria käyttäjä voi katkoa rungot haluamallaan puutavaralajeilla ja mitoilla huomioiden runkojen teknisen laadun. ARVO-ohjelmiston lopulliset tulosteet sisältävät ennusteet leimikon kertymistä ja arvoista puutavaralajeittain ja läpimitta-pituusluokittain.

ARVO-ohjelmiston jakeluversio sisältää mallirunkopankin, jolla käyttäjä voi laatia alustavia puustoennusteita kohteena olevalle leimikolle. ARVO-ohjelmistoa on toivottavaa virittää kunkin puunostajan hankinta-alueelle paremmin soveltuvaksi alueelta aiemmin korjatuista leimikoista kerättyjen hakkuukoneilla tallennettujen mittaustietojen avulla. Tätä varten ARVO-ohjelmisto sisältää valmiit toiminnot, joilla käyttäjät voivat täydentää runkopankkia itse keräämillään hakkuukoneiden stm-aineistoilla.

ARVO-ohjelmisto on laadittu tarjoamaan puukauppa-apua niin puun ostajalle kuin myyjällekin. Lisäksi ARVO-ohjelmisto tarjoaa mahdollisuuden metsäalan opiskelijoille tutkia katkontaohjeiden vaikutusta katkontatulokseen ilman kalliita oppirahoja. ARVO-ohjelmisto, kuten myös sen kansainväliseen levitykseen laaditut sisäruksat Prehas_International ja Prehas_Scotland ovat vapaasti ladattavissa ja käytettävissä Metsäntutkimuslaitoksen sivuilta osoitteesta: <http://www.metla.fi/metinfo/arvo/>. ARVO-ohjelmisto on kehitetty ja testattu Windows XP ympäristössä.

Lisätietoa

- Hyvönen, P. 2010. Metsänomistajien puukaupan suunnitteluun liittyvien palveluiden käyttö. Metlan työraportteja 178. 53 s.
- Hyvönen, P., Malinen, J., Rämö, A.-K., Nuutinen, T. & Järvinen, E. 2010. Vastaavtko suunnittelupalvelut puukaupan haasteisiin? Metsätieteen aikakauskirja 4/2010: 504–509.
- Korhonen, L., Peuhkurinen, J., Malinen, J., Suvanto, A., Maltamo, M., Packalén, P. & Kangas, J. 2008. The use of airborne laser scanning to estimate sawlog volumes. *Forestry* 81(4): 499–510.
- Malinen, J. 2011. Puuraaka-aineen hinnoittelutavalle on vaihtoehtoja. Metsäsektorin suhdannekatsaus 2011–2012: 51–53.
- Malinen, J., Berg, V. & Kilpeläinen, H. 2010a. Roundwood pricing mechanisms and their performance in Scots pine roundwood markets. Metlan työraportteja 174. 35 p.
- Malinen, J., Kilpeläinen, H., Wall, T. & Verkasalo, E. 2008. Combining stem dimensions and technical quality with bucking objectives and constraints in the estimation of value potential of timber stand. In: Peltola, H. (ed.). *Connection between Forest Resources and Wood Quality: Modelling Approaches and Simulation Software*. IUFRO WP 5.01.04, June 8.–14, Koli, Finland. p. 40–44.

- Malinen, J., Kilpeläinen, H. & Ylisirniö, K. 2011a. Prehas-Software for pre-harvest assessment of timber assortments. In: Ackerman, P., Ham, H. & Gleasure, E. (eds.). Proceedings of 4th Forest Engineering Conference: Innovation in Forest Engineering – Adapting to Structural Change. 5–7 April 2011, Stellenbosch University. Stellenbosch University, South Africa. p. 146–149. ISBN 978-0-7972-1284-8
- Malinen, J., Piira, T., Kilpeläinen, H., Wall, T. & Verkasalo, E. 2010b. Timber assortment recovery models for Southern Finland. *Baltic Forestry* 16(1): 102–112.
- Malinen, J., Wall, T., Kilpeläinen, H. & Verkasalo, E. 2011b. Leimikon arvonmuodostus vaihtoehtoisissa loppukäyttökohteissa. *Metlan työraportteja* 206. 45 s.
- Maltamo, M., Peuhkurinen, J., Malinen, J., Vauhkonen, J., Packalén, P. & Tokola, T. 2009. Predicting tree attributes and quality characteristics of Scots pine using airborne laser scanning data. *Silva Fennica* 43(3): 507–521.
- Peuhkurinen, J., Maltamo, M. & Malinen, J. 2008. Estimating species-specific diameter distributions and saw log recoveries of boreal forests from airborne laser scanning data and aerial photographs: a distribution-based approach. *Silva Fennica* 42(4): 625–641.

3 Puunkorjuu ja logistiikka

3.1 Tausta

Tutkimusohjelman puunkorjuuseen ja korjuulogistiikkaan liittyvien tutkimusten keskeiset tulokset esitetään seuraavassa kolmen keskeisen tutkimuskysymyksen, kausivaihtelun vähentäminen, kuljettajaopastus ja logistiset ratkaisut, mukaan jaoteltuina. Valtaosa tuloksista liittyy useampaan näistä kysymyksistä, mutta ne on asemoitu keskeisimmän tavoitteensa mukaan. Kausivaihtelun vähentämiseen ja kuljettajaopastukseen liittyvä tutkimus niveltäi keskeisiltä osiltaan Fibicin Eff-Fibre-ohjelmaan (Hagström-Näsi ym. 2010).

3.2 Korjuun kausivaihtelun vähentäminen

Matti Sirén, Jari Ala-Ilomäki, Kari Väättäin, Sami Lamminen & Antti Asikainen

Korjuun kausivaihtelu aiheuttaa Pennasen ja Mäkelän (2003) mukaan puuhuollolle noin 100 milj. euron ylimääräiset kustannukset vuodessa. Kausivaihtelun keskeisiä syitä ovat sulan maan ajan, erityisesti kelirikkokauden aiheuttamat rajoitteet puunkorjuussa ja kaukokuljetuksessa. Leutojen talvien yleistyminen on omiaan voimistamaan kausivaihtelua (Pennanen ja Mäkelä 2003).

Metsähallituksen, Metsäntutkimuslaitoksen ja Ponsse Oyj:n yhteisprojektissa (Airavaara ym. 2008, Ala-Ilomäki ym. 2011) haettiin ratkaisuja, joiden avulla turvemaiden sulan maan ajan puunkorjuuta voidaan lisätä yleisesti käytössä olevaa konekalustoa käyttäen. Kehittämiskohteita olivat metsäkoneen varustaminen pehmeille maille, konetyöskentelyn sopeuttaminen heikosti kantaviin olosuhteisiin, suunnittelun kehittäminen sekä puunkorjuuyritysten valmiuksien parantaminen. Uutta tietoa kerättiin maastokokeen ja yrittäjähaastattelujen avulla hyödyntäen samalla aihealueen 1980-luvun laajan kokeilutoiminnan tuloksia.

Metsäkoneen liikkuvuutta pehmeillä mailloilla voidaan parantaa leveillä ja maastoystävällisillä teiloilla tai renkailla, käyttämällä apupyörää lisäämään kantopintaa tai mahdollistamaan telojen käyttö, kasvattamalla yksittäisten pyörien leveyttä pari- tai levikepyörien tai telan avulla ja alentamalla renkaiden ilmanpainetta. Maastokokeiden tulosten perusteella leveät, oikein muotoillut telat parantavat merkittävästi metsätraktorin suokelpoisuutta. Lupaava ratkaisu on telojen levenyttäminen ja telaston piteuden kasvattaminen apupyörärakenteen avulla. Koetta varten kehitetyllä apupyöräratkaisulla pystyttiin kuljettamaan puutavaraa pehmeillä koealueilla ilman ylisuuria raiteita ja kiinnijuttumisia. Osittain näiden kokemusten pohjalta Ponsse Oyj toi markkinoille PONSSE 10w -ratkaisun, jossa takatelin perään kiinnitetään kolmas pyöräpari ja olosuhteisiin soveltuvat telat. Nämä yhdessä tekevät kuormatraktorista kymmenpyöräisen, suurella kantopintalalla varustetun kuormatraktorin.

Turvemailla on työskentelyn kannalta kriittisiä kohtia, joita välttämällä voidaan parantaa korjuuolosuhteita ja sopeuttaa konetyöskentelyä kantavuusoloihin. Ratkaisuina voivat olla leimikon rajaus, varastopaikkojen ja ajourien sijoittelu, kuorman koon ja urakohtaisten ajokertojen rajoittaminen sekä erilaiset ajoalustan vahvistamisratkaisut. Joukkoon kuuluvat myös korjuun ajoituk-

seen liittyvät keinot kuten kuivien kausien hyödyntäminen ja toteutuksen ajallinen porrastus (kaksivaiheinen korjuu). Projektissa todettiin myös tarve metsäkoneiden suokelpoisuusluokituksen ja turvemaiden kantavuusluokituksen kehittämiseen. Hankkeessa tuotetut luokitusten perusmallit muodostivat pohjan myöhemmin kehitetyille turvemaiden kantavuusluokituksille (Högnäs ym. 2009, Högnäs ym. 2011).

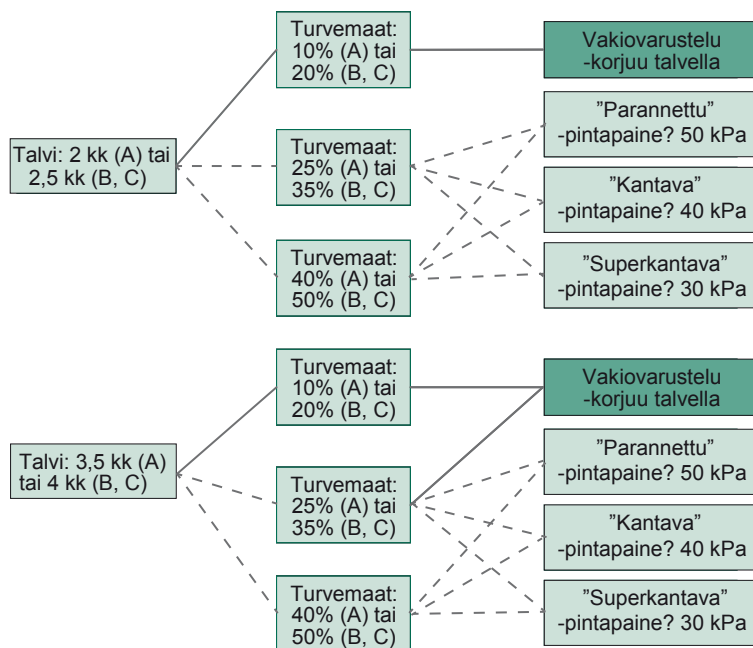
Ohjelmassa osallistuttiin myös Metsäliiton turvemaasavottaan 2009–2010, jossa suurimmat koneenvalmistajat toivat parhaaksi katsomansa ratkaisut käytännön työmaille. Näin saatiin monipuolista kokemusta erilaisten korjuuratkaisujen soveltuvuudesta turvemaille. Savotan keskeinen johtopäätös oli, että suometsissä päästään ympärivuotiseen korjuuseen monenlaisilla ratkaisuilta. Ratkaisevaan asemaan nousevat korjuun suunnitteluun ja toiminnan kokonaiskannattavuuteen liittyvät tekijät.

Varustelun kannattavuuteen ja aluetason vaikutuksiin pureuduttiin tutkimuksessa, jossa selvitettiin ympärivuotisen puunkorjuun kustannusvaikutuksia ojitetuilla turvemaille korjuuyrittäjän näkökulmasta alueilla, joissa turvemaiden osuus puunkorjuukohteista ja kertymästä on suuri (Väätäinen ym. 2010, Lamminen ym. 2010). Tarkasteltavina olivat korjuun kausittaisuus/ympärivuotisuus, talven pituuden vaihtelu, kaluston varustelutaso kantavuuden suhteen sekä leimikoiden ohjaaminen korjuuseen kantavuuden mukaan. Tutkimus aloitettiin varustelun vaikutuksia kartoittavalla koneyrittäjäkyselyllä, jonka tuloksia hyödynnettiin simulointien lähtötietoina.

Tutkimukseen räätälöitiin puunkorjuun simulointimalli kolmella korjuuketjulla ja yhdellä siirtoajoneuvolla toimivalle korjuuyrittäjälle. Simulointi tehtiin UPM Metsän, Metsäliiton ja Stora Enso Metsän leimikkoaineistoille Etelä- ja Pohjois-Pohjanmaalla, joissa ojitettujen turvemaametsien osuus on suuri. Turvemaiden kesäaikaiseen korjuuseen käytettiin yhtä korjuuketjua kolmesta.

Hakkuun ja metsäkuljetuksen ajanmenekkimalleja ja kuormakokoja korjattiin ottamaan huomioon turvemaiden kesäaikaisen puunkorjuun erityispiirteet. Koneyrittäjähaastattelun mukaan sulan maan aikainen maanpinnan heikko kantavuus ja raiteistumisherkkyyks pienentävät usein kuormakokoja 10–30 % verrattaessa talvikorjuuseen (Lamminen ym. 2010). Korjuutyön ajanmenekki on hieman suurempi kuin talvella, koska pienempi ajonopeus, pehmeiden kohtien havutus ja ojien ylitykset lisäävät ajanmenekkiä noin 5–15 %. Myös polttoaineen kulutus kasvaa talvikorjuuseen verrattuna. Tutkimuksen simulointivaihtoehdot esitetään kuvassa 9.

Kun turvemaiden korjuuta oli noin 25 % koko korjuukertymästä ja talvikorjuuaika oli pitkä (3,5 kk), turvemaat voitiin korjata joko talvella tai ympärivuotisesti. Kesäkorjuukohteiden määrän kasvaessa vähäisestä normaaliin, kasvoi ympärivuotisen turvemaiden puunkorjuun kustannushyöty pelkkään talviaikaiseen korjuuseen nähden 1,2 prosentista 3,8 prosenttiin. Varustelutasojen väliset erot olivat pieniä eikä niiden välistä paremmuutta voi esittää yksikkökustannusten perusteella. Kun turvemaiden korjuukohteiden määrää kasvatettiin 10 prosentista 25 prosenttiin pitkän talvikorjuuajan skenaarioissa, kasvoivat yksikkökustannukset vastaavasti noin 3–5 %. Toisaalta lyhyen talven skenaarioissa turvemaakohteiden kasvanut korjuumäärä alensi yksikkökustannuksia 4–5 %. Yksikkökustannusten aleneminen selittyi turvemaiden ympärivuotisen puunkorjuun ja korjuumäärien sekä koneiden käyttöasteiden kasvulla. Kangasmaiden kesäkorjuukohteet ohjautuivat kahdelle korjuuketjulle ja varusteltu korjuuketju vastasi turvemaiden korjuusta kesäaikaan. Korjuuyritystasolla ympärivuotinen puunkorjuu turvemaavaltaisilla alueilla on järkevää ja kustannustehokasta käytettäessä nykyisiä käytössä olevia kalusto- ja varusteluratkaisuja. Hyötyjen edellytyksenä on, ettei talvikorjuukohteista ole niukkuutta ympärivuotisen puunkorjuun



Kuva 9. Tutkimuksen simulointivaihtoehdot pääskenaarioittain. Talven pituus, turvemaiden osuus ja kuorimatraktorin varustelutaso vaihtelivat yrittäjittäin (A, B ja C).

skenaarioissa. Turvemaiden kustannustehokkaalle kesäaikaiselle korjuulle vaihtoehtoisia korjuukonsepteja ovat pehmeille maille varusteltu yleis-/harvennuskonekorjuuketju tai tela-alustaiset korjuukoneet. Siihen, millainen varustelu on järkevää yleiskorjuukalustolle tai tuleeko erikoiskorjuukalusto kysymykseen, vaikuttaa erityisesti turvemaakohteiden määrä suhteessa kovien maiden korjuumäärään. Jos turvemaiden korjuu on vain täydentävänä työmuotona kesäaikaan, vähäisempi varustelu voi olla kannattavinta. Kyseisellä toimintamallilla korjuun ajankohtaa voidaan ohjata esim. sateettomille kesäjaksolle, jolloin kohteen kantavuus ja korjuun kannattavuus paranee. Kun toimitaan alueella, jossa turvemaakorjuukertymä on 20–30 prosenttia, vähintään kolmannes korjuukalustosta tulisi varustella turvemaiden korjuukoneiksi tai tulisi olla turvemaille suoraan soveltuvia telakoneita.

3.3 Raiteenmuodostuksen minimointi ja ennustaminen

Matti Sirén, Jari Ala-Ilomäki & Sami Lamminen

Kausivaihtelun vähentämiseen liittyi myös tutkimus kuusikoiden kesäkorjuun toteutusvaihtoehdoista ja mahdollisia seurausvaikutusvaikutuksista (Sirén ym. 2012, Sirén ym. 2013), jossa osatehtävät olivat korjuujälki ja juurikäävän leviämiskasvun sulan maan aikaisissa harvennuksissa, juurikäävän torjunnan tehostaminen, juurikäävän esiintymiskasvun ja leviämisdynamiikan ennustamisen menetelmät ja kuusikoiden kasvatus- ja korjuuvaihtoehtojen puuntuotannolliset ja taloudelliset vaikutukset. Kuusikkoharvennuksissa on pitkään ohjeistettu tehtäväksi talvella lumen ja roudan suojatessa maaperää ja juuristoa. Viime vuosikymmenen lopun lauhat talvet nostivat esiin tarpeen selvittää niin kuusikoiden kuin suometsienkin kesäaikaisen korjuun mahdollisuuksia. Käytännön toimijoilla olikin jo myönteisiä kokemuksia korjuun onnistumisesta. Tällöin kuu-

sikoissa oli sovellettu hakkuumenetelmää, jossa mahdollisimman suuri osa hakkuutähteistä tuodaan ajouralle ja latvuksia käännetään uran suuntaisiksi suojaamaan maaperää ja juurenniskoja.

Tuottavuus- ja korjuujälkikysymysten lisäksi haluttiin tietoa myös korjuujäljen seurannaisvaikutuksista. Tämän vuoksi perustettiin kestokoealoja Tammelaan ja Tuusulaan. Niistä tullaan analysoimaan kantokäsittelyn vaikutuksia juurikäävän esiintymiseen, juurikäävän leviämistä samoin kuin puusto- ja maaperävaurioiden aiheuttamia laatu- ja kasvutappioita. Tammelan kokeessa vuonna 2009 selvitettiin lisäksi korjuuajan vaikutusta juurikääpärisikiin jakamalla korjuukoe kahteen ajankohtaan, elokuuhun ja lokakuuhun. Tuusulan koe tehtiin syyskuussa 2010. Tammelassa maaperä oli kivistä moreenimaata ja Tuusulassa hiesua. Vuonna 2009 heinä-lokakuussa sademäärä Tammelassa oli ainoastaan 55–68 % pitkän ajan keskiarvosta. Myös kesä 2010 oli lämmin ja kuiva. Heinäkuussa lämpötilat olivat yli 5 astetta keskimääräistä korkeampia ja sademäärä vain 20 % pitkän ajan keskiarvosta.

Hakkuussa verrattiin tuottavuutta ja korjuujälkeä kahta eri työtappaa käyttäessä. Normaalista työtappaa verrattiin hakkuutappaan, jossa lähes kaikki hakkuutähteet tuotiin uralle maaperää ja juuristoa suojaamaan. Lisäksi latvuksia käännettiin uran suuntaisiksi. Maaperän kantavuutta arvioitiin monipuolisilla mittauksilla (penetrometri, kivisyysrassi, maaperänäytteet) urien varteen viiden metrin väleillä perustetuilta mittauspisteiltä. Mittauspisteiltä mitattiin raiteiden syvyydet jokaisen koneen ylityksen jälkeen, ja kirjattiin ylimennyt massa koneen ja kuorman yhteispainona. Jokaisesta mittauspisteestä mitattiin hakkuukoneen jäljiltä painuneen hakkuutähdekerroksen paksuus, ja joka kolmannelta mittauspisteeltä hakkuutähteiden massa punnittiin. Normaalisti hakkuutyössä uralle tulee tyypillisesti hakkuukoneen yksi ajokerta ja ajokoneelle 2–3 ajokertaa. Koska kokoojaurille tulee suurempi rasitus, ajettiin ”kokoojauraa” täydellä kuormalla edestakaisin. Näin osalle urista tuli 10 ajokertaa, jolloin mittauspisteen yli kulkenut massa oli yli 300 tonnia.

Hakkuutappojen tuottavuudessa oli eroja. Hakkuutavalla, jossa lähes kaikki hakkuutähteet tuodaan uralle, runkokohtainen kokonaisajanmenekki oli hieman yli 5 % suurempi kuin normaalilla työtavalla. Ajanmenekkieroon oli kaksi syytä. Uran ulkopuolelta otettujen runkojen ajanmenekki oli jonkin verran suurempi, kun ne tuotiin käsiteltäväksi uran päälle ja puutavara valmistettiin ottopuolen vastakkaiselle puolelle. Normaalisti työtavalla uran ulkopuolelta otetuista puista vietiin uran yli noin 60 %, kun vastaava osuus hakkuutähteet uralle maksimoivalla työtavalla oli yli 80 %. Toinen syy ajanmenekin lisäykseen oli suurempi hakkuutähteiden järjestelyyn käytetty aika, jonka osuus hakkuutähteet uralle maksimoivalla työtavalla oli 3,4 % ja normaalilla työtavalla 1,1 % kokonaisajanmenekistä.

Ensiharvennuskusikossa urille saatiin vahva havumatto molemmilla hakkuutavoilla. Normaalisti hakkuutavalla hakkuutähdepotentialista kertyi urille 75–84 %, hakkuutähteiden määrää uralla maksimoivalla työtavalla 86–92 %. Hakkuutähteen keskimääräinen massa urilla koealueittain ja hakkuutavoittain vaihteli välillä 13,82–18,83 kg/m².

Raiteenmuodostus hakkuutähteiden määrää maksimoivalla työtavalla oli hieman pienempi kuin normaalilla työtavalla. Metsänhoitosuosituksissa (Hyvän metsänhoidon suositukset 2006) kivennäismailla hyväksyttävä korjuujälki edellyttää yli 10 cm syvyyttä raidetta olevan alle 4 % urien kokonaispituudesta. Tässä vaatimuksessa pysyttiinkin pääsääntöisesti vielä neljän ajokerran jälkeen. Syvien raiteiden määrä ylittyi erityisesti Tammelan lokakuun kosteammissa olosuhteissa 7–10 ajokerran jälkeen. Tuusulassa yli 10 cm raiteensyvyys ylittyi kovallakin kuormituksella vain harvoin. Kosteammissa olosuhteissa tilanne hiesumaalla olisi kuitenkin voinut olla hyvin toisen-

lainen. Kuormatraktorin raiteenmuodostuksessa ei ollut oleellista eroa ajettaessa teloilla tai ilman teloja. Kasvamaan jätetyistä puista vaurioitui 7–15 prosenttia. Vaikka huomattava osa puustovaurioista oli hakkuuvaiheessa syntyneitä pienikokoisia pintavaurioita, puustovaurioiden määrää on pidettävä liian korkeana. Koska pienetkin pintavauriot luettiin mukaan, vauriomäärät eivät ole suoraan verrannollisia esimerkiksi Tapion korjuujälkiseurantojen tuloksiin. Vaurioiden runsautta selittää se, että kohteita ei raivattu ennen hakkuuta.

Kuusikoiden sulan maan aikaisen korjuun korjuujälkeä mitattiin järjestetyn kokeen lisäksi neljältä käytännön työmaalta, joilla raiteenmuodostusta seurattiin reaaliaikaisesti. Käytännön kohteillakin urille kertyi verraten runsas havutus, sillä keskimääräinen hakkuutähteen massa urilla oli 9,70–15,30 kg/m² ja hakkuutähdematon paksuus 8,3–12,7 cm. Käytännön kohteilla raiteiden syvyys oli alle 10 cm kaikissa mittauspisteissä, ja kohteilla vaurioituneiden puiden osuus jäävän puuston runkoluvusta keskimäärin 5,4 % (1,6–13,2 %). Suurin osa vaurioista sijaitsi juurenniskoissa tai juuristossa.

Kuusikoiden harvennuksissa urille saadaan runsas havutus maaperää ja juurenniskoja suojaamaan. Urat on syytä avata riittävän leveinä, jotta juurenniskat säilyisivät vaurioitumattomina. Kuivat jaksot antavat mahdollisuuden harventaa kuusikoita sulan maan aikana verraten vähäisellä raiteenmuodostuksella. Sääolojen muutoksiin on kuitenkin pystyttävä nopeasti reagoimaan.

Suometsien hakkuupotentiaalin tehokas hyödyntäminen edellyttää korjuulta nykyistä suurempaa ympärivuotisuutta. Metsähallituksen ja Metsätutkimuslaitoksen FIBICin EffFibre-ohjelman hankekokonaisuuteen ”Turvemaiden kesäkorjuu liikkeelle” liittyneessä yhteisprojektissa selvitettiin integroidun aines- ja energiapuun korjuun korjuujälkeä ja vaikutuksia ravinnetalouteen turvemaidella (Sirén ym. 2013). Suometsissä hakkuutähteillä on tärkeä rooli niin korjuujälki- kuin ravinnekysymyksissäkin. Tapion suosituksissa hyvän korjuujäljen rajana urapainumien osalta on, ettei yli 10 cm urapainuman osuus ajourien kokonaispituudesta ole rämeillä yli 10 % ja korpimailla yli 4 % (Suunnittelijan opas turvemaametsän kunnostukseen 2012). Typpi, fosfori, kalium ja boori ovat puuston kasvun kannalta keskeisimpiä ravinteita turvemaidella. Hakkuutähteiden sisältämän typen poistuminen kasvupaikalta ei ole ravinnetaloudellisesti merkittävää, koska metsänkasvatuskelpoisilla ojitetuilla soilla turpeeseen on sitoutunut runsaasti typpeä. Suometsien kokopuunkorjuussa on oltu erityisesti huolestuneita kaliumin ja boorin lisääntyvästä poistumisesta kasvupaikalta.

Kesäkorjuukelpoiseksi luokitetulla mäntyvaltaisella rämeellä verrattiin seuraavia Metsähallituksen valitsemia menetelmiä:

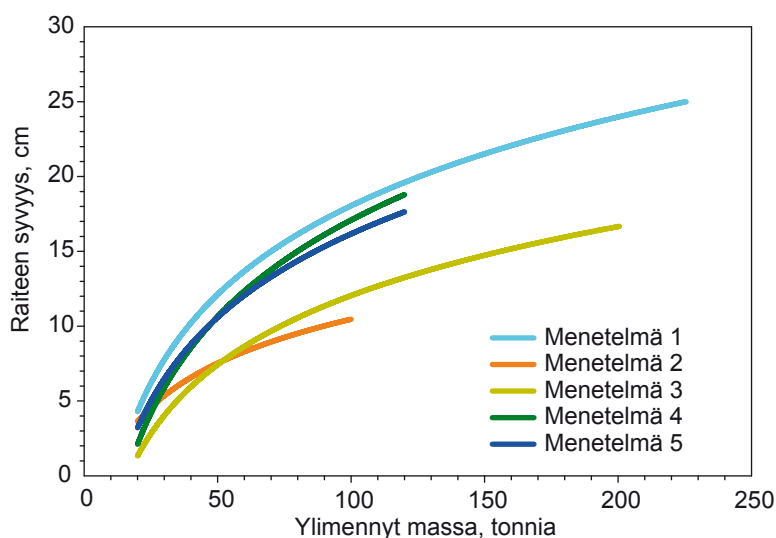
1. Ainespuu yksinpuin, energiapuun kokopuuna joukkohakkuu (minimirunko aines 11 cm, energia 5 cm)
2. Ainespuu joukkohakkuu (minimirunko 7 cm)
3. Ainespuu yksinpuinhakkuu (minimirunko 7 cm)
4. Ainespuu yksinpuin, energiapuun rankana joukkohakkuu (minimirunko aines 11 cm, ranka 5 cm)
5. Ainespuu joukkohakkuu, energiapuun rankana joukkohakkuu (minimirunko aines 7 cm, ranka 5 cm).

Kullakin menetelmällä hakattiin kolme 50 m x 20 m koalaa. Näiden keskelle sijoitettiin 10 m x 20 m puustokoeala, josta mitattiin puustotiedot ennen ja jälkeen korjuun. Urille sijoitettiin raiteenmuodostuksen mittauspisteet 15 metrin välein. Niiltä mitattiin kivisyysrassin painuma, leikkausmoduuli piikkisiipikairalla sekä havutuksen paksuus hakkuukoneen raiteista. Raiteen syvyys ja ylimennyt massa (kone + kuorma) mitattiin jokaisen ylityksen jälkeen. Hakkuutähteiden määrä mitattiin 3 m x 1 m koaloilta (11–18 kpl/50 m x 20 m koeala), joita perustettiin mittausrinjoille eri etäisyyksille urista. Hakkuutähteet punnittiin ja niistä otettiin kosteusnäytteet ja näyte ravinnananalyysia varten. Mitattua hakkuutähteiden määrää verrattiin myös puustokoealojen poistuman ja hakkuutavan perusteella laskettuun hakkuutähdemäärään.

Tutkimuskohteen runkoluku ennen hakkuuta oli keskimäärin 1 580 runkoa/ha, hakkuun jälkeen 593 runkoa/ha, hakkupoistuma 60 m³/ha ja poistettujen runkojen keskikoko 60,8 dm³. Kohde oli luokiteltu kesäkorjuukelpoiseksi, mutta koe tehtiin poikkeuksellisen sateisena syksynä lokakuun alussa vuonna 2011. Syyskuun sademäärä tutkimusalueella (94 mm) oli lähes kaksinkertainen pitkän aikavälin keskiarvoon verrattuna. Käytännön puunkorjuussa kohteelle ei olisi tutkimusajankohtana menty kosteuden vuoksi.

Mitattu raiteenmuodostus suhteessa ylimenneeseen massa esitetään kuvassa 10.

Raiteen syvyyttä selittivät ylimennyt massa, leikkausmoduuli, kivisyysrassin painuma ja havutuksen paksuus. Piikkisiipikairan (Ala-Ilomäki 2013) antama leikkausmoduuli kuvaa hyvin turpeen ja juuriston kantavuutta, ja vaikuttaa lupaavalta menetelmältä turvemaan kantavuuden ennustamiseen. Suometsissä havutusta kertyy urille verraten vähän myös silloin, kun energiapuuta ei oteta talteen. Havutuksen paksuus hakkuukoneen raiteessa oli pienin menetelmässä 1 (1,2 cm) ja suurin menetelmissä 2 ja 3 (8,55 cm ja 7,45 cm). Alle 10 cm havutus suojaa maaperää, mutta raskaasti kuormitetuilla kokoojaurilla vaikutus vähenee kuormituksen myötä. Raiteen syvyys harvesterin ylityksen jälkeen oli hyvä tulevan raiteenmuodostuksen selittäjä yhdessä kokonaiskuormituksen kanssa. Harvesterin raiteen perusteella voidaan ennustaa kuormitusta, jolla metsänhoitosuosituksen 10 cm raiteen syvyys tulee vastaan. Kun tutkimuskohteella raiteen syvyys oli keskimäärin 4,5 cm, saavutetaan 10 cm raiteen syvyys jo 60 tonnin kokonaiskuormituksella. Tutkimuskohteen kaltaisissa kantavuusoloissa kokoojaurilla on erittäin vaikea välttyä yli 10 cm syvyisiltä raiteilta.



Kuva 10. Raiteen syvyys testikohdan yli ajetun kuorman funktiona.

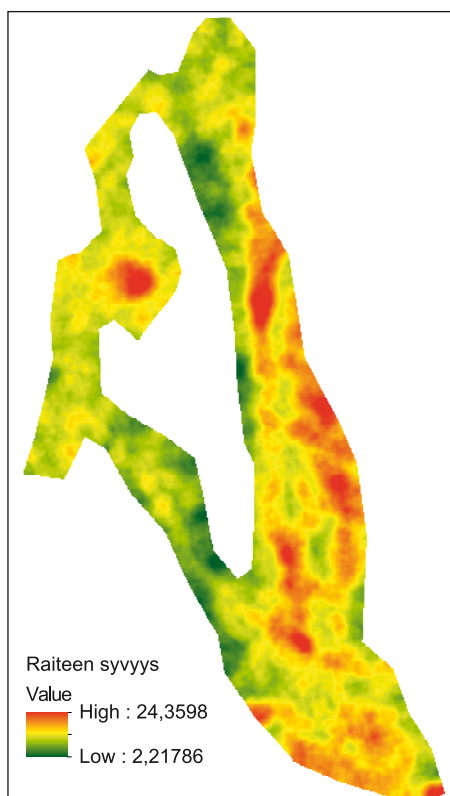
Jos koko tutkimusleimikko olisi korjattu kunkin vertailumenetelmän katkontaohjeen mukaisesti, menetelmällä 1 tuoremassa olisi ollut suurin (58 627 kg/ha). Menetelmillä 2 ja 3 tuoremassat olisivat olleet 47 738 kg/ha ja 52 907 kg/ha rankamenetelmillä 4 ja 5.

Metsään jäi mittausten perusteella enemmän hakkuutähdettä kuin poistuman perusteella laskennallisesti arvioitiin. Valtaosa hakkuutähteistä oli ajourilla tai ajourien välittömässä läheisyydessä. Hakkuutähteen kaliumistakin jäi energiapuun korjuun jälkeen 55–74 % kasvupaikalle. Jos halutaan ottaa talteen energiapuuta suometsistä, energiapuun korjuu rankana (menetelmät 4 ja 5) on turvallisin vaihtoehto, kun sekä korjuujälki että ravinnekesymykset otetaan huomioon.

3.4 Turvemaiden kantavuuden ennustaminen

Harri Lindeman, Jori Uusitalo & Jari Ala-Ilomäki

”Turvemaiden kesäkorjuu liikkeelle” yhteisprojektin toisessa osiossa selvitettiin laserkeilausaineistojen soveltuvuutta turvemaiden kantavuuden ennustamiseen sulan maan aikaisessa puunkorjuussa (Lindeman ym. 2013). Tutkimuksen maastokokeet toteutettiin Nurmeksessa elokuussa 2012. Laserkeilaus on nykyisin aktiivisessa käytössä metsävarojen inventoinneissa ja metsäsuunnittelussa. Puunkorjuun suunnittelussa laserkeilausaineistoilla voidaan ennustaa korjuukuvion sisäistä vaihtelua. Tutkimuksessa oli käytössä kaksi eri laserkeilausaineistoa. Metsähallituksella ja Metsäkeskuksella metsäsuunnittelukäytössä olevan harvapulssisen aineiston tiheys oli noin pulssi neliometrillä ja aineistoon oli tehty aluepohjainen tilastollinen puustotulkinta sekä kasvillisuuden korkeusmalli ja maan pintamalli. Tiheäpulssinen aineisto keilattiin tätä tutkimusta varten tiheydellä noin neljä pulssia neliometrillä. Siihen tehtiin puustoryhmiin perustuva ryvästulkinta sekä latvuksen korkeusmalli ja maan pintamalli.



Maastokokeen ennakkomittauksissa koealoilta mitattiin puusto, kasvillisuus, pohjavesi ja turpeen ominaisuuksia. Koealat hakattiin keskikokoisella hakkuukoneella, ja koealoilla ajettiin kuormatraktorilla ensin tyhjänä ja sen jälkeen kuormattuna noin 6,5 tonnin kuormalla. Koealoja oli yhteensä 72, joista 56 koealalla ajettiin kolme ajokertaa. Tilastolliset analyysit tehtiin käyttäen koealoja, joilla oli ajettu kolme kertaa. Ajokertojen määrä jouduttiin rajoittamaan kolmeen heikon kantavuuden vuoksi, sillä koealue oli todella märkä runsaiden sateiden takia.

Kuva 11. Latvuksen korkeusmallin avulla ennustettu raiteen syvyys (cm) kolmen ajokerran jälkeen tutkimuskohdeella.

Tutkimusaineistot analysoitiin korrelaatioanalyysillä ja lineaarisella regressioanalyysillä. Paras selittäjä raiteen syvyydelle oli maastossa mitattu puuston runkoluku. Laserkeilausaineistoista paras selittäjä oli tiheäpulsissisen aineiston pohjalta laskettu latvuksen korkeusmalli, jonka avulla ennustettu raiteen syvyys kolmen ajokerran jälkeen esitetään kuvassa 11. Puuston pohjapinta-ala oli jokaisessa aineistossa parempi selittäjä kuin puuston tilavuus. Muista kuin puustotunnuksista parhaiten raiteen syvyyttä selittivät turpeen kosteus ja pintaturpeen leikkausmoduuli.

Tutkimuksen tulokset ovat lupaavia. Puustoa kuvaavat mallit ennustivat raiteen syvyyttä pääosin loogisesti ja lähes yhtä hyvin kuin maastossa mitatut puustotunnukset. Laserkeilausaineistoa voidaan käyttää korjuun ennakkosuunnittelussa ja auttaa hakkuukoneenkuljettajaa korjuu-urien ja varastopaikkojen sijoittelussa. Erityisen tärkeää on löytää kantavat alueet raskaasti kuormitetuille kokoojaurille. Kantavuuden luontainen ja pienialainen vaihtelu on turvemailla runsasta, joten tarvitaan lisätutkimusta menetelmän hyödyntämiseksi käytännön puunkorjuussa.

3.5 Kuljettajaopastuksen tarpeet ja mahdollisuudet

Kari Väätäinen, Sami Lamminen, Jari Ala-Ilomäki, Matti Sirén & Antti Asikainen

Puunkorjuussa koneenkuljettajalla on ratkaiseva vaikutus korjuun tuottavuuteen ja työn laatuun. Korjuukoneiden pitkään jatkunut kehitystyö on johtanut tilanteeseen, jossa koneenkuljettajan työtapoja sekä työn tukemista ja opastusta kehittämällä ihminen-kone -järjestelmän tuottavuutta voidaan kasvattaa kustannustehokkaammin kuin itse konetta kehittämällä.

Metsäntutkimuslaitoksen koordinoimassa Kuljettajaa opastavat älykkäät järjestelmät puunkorjuussa -hankkeessa selvitettiin ensisijaisesti korjuukoneiden keräämien paikannus- ja toimintotietojen hyödyntämistä korjuutyön tukena. Hankkeen alussa toteutettiin kaksi tutkimusta, joista ensimmäisessä selvitettiin opastavien järjestelmien käyttöä ja kokemuksia muilla toimialoilla (Väätäinen ym. 2012). Toisessa selvitettiin kyselytutkimuksella kuljettajaa opastavien järjestelmien tarvetta koneellisessa puunkorjuussa (Ylimäki ym. 2012) ja paikallistettiin alueet, joissa opastukselle on eniten tarvetta.

Hankekokonaisuudessa etsittiin uusia automaattiseen tiedonkeruuseen ja olemassa olevaan dataan perustuvia teknologioita koneellisen puunkorjuun kustannus- ja ympäristötehokkuuden parantamiseksi. Ympäristötehokkuudella tarkoitetaan tässä hyvää korjuujälkeä, polttoainetaloudellisuutta ja pakokaasupäästöjen määrää. Keskeiset tutkimusteemat olivat:

1. Tarkkaan maastomalliin perustuva karttaopaste LoggingMap hakkuukoneenkuljettajan tukena
2. Korjuukohteen kulkukelpoisuuden määrittäminen hakkuukoneen CAN-väylätiedoista
3. Puutavaran lähikuljetuksen tehokkaat toimintamallit, opastustarpeet ja -mahdollisuudet.

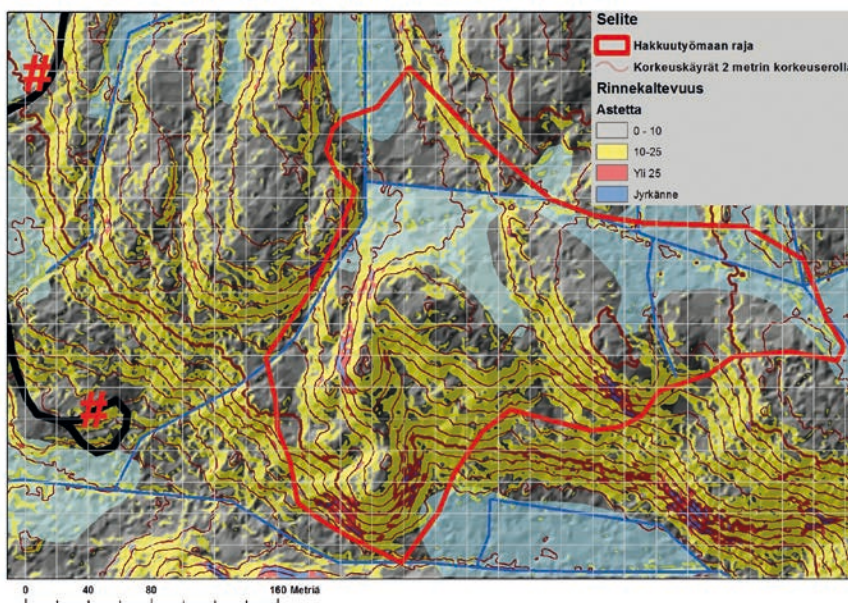
Ensimmäinen tutkimusteema, tarkkaan maastomalliin perustuva karttaopaste LoggingMap (Väätäinen ym. 2012, Väätäinen ym. 2013) auttaa kuljettajaa korjuukohteen ajouraston suunnittelussa, varastojen sijoittelussa ja käsittelyvoimakkuuden hahmottamisessa. Ajouraverkoston suunnittelu vaikuttaa sekä hakkuun että lähikuljetuksen tuottavuuteen sekä korjuujälkeen. Hyvän ajouraverkoston suunnittelun pohjana tulee olla metsäkuljetuksen kannalta kriittisten alueiden välttämi-

nen. Ajouria ei pidä sijoittaa kohtiin, joissa ajouran sivuttais- tai pitkittäiskaltevuus on liian suuri. Erityisesti sivuttaiskaltevuus vaikeuttaa metsäkuljetusta kuljettajan joutuessa varomaan kuorman kallistumista. Myös huonosti kantavia kohtia on mahdollisuuksien mukaan vältettävä.

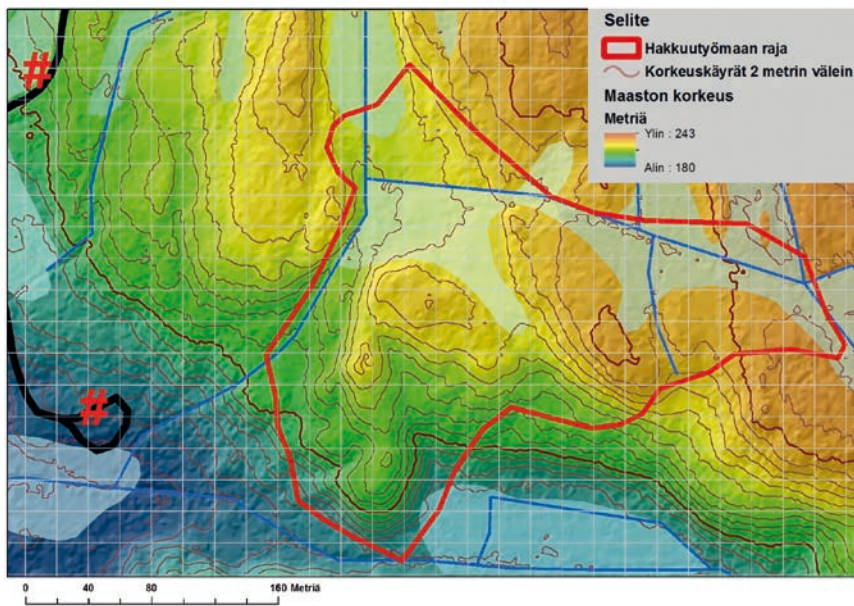
Nykyisin hakkuukoneen kuljettajalla on uraverkoston suunnittelussa apunaan Maanmittauslaitoksen peruskartta-aineistoon perustuva kartta, jolla voi lisäksi olla erilaista puunhankintaorganisaatiokohtaista informaatiota hakkuukohteesta ja sen erityispiirteistä. Kuljettajille tehdyn kyselytutkimuksen mukaan nykyinen karttatieto ei aina ole riittävää uraverkoston tarkalle suunnittelulle (Ylimäki ym. 2012). Hakkuukoneenkuljettajat haluaisivat yksityiskohtaisempaa ja tarkempaa tietoa kohteiden korjuuoloista ja ongelmallisista kohdista kuten pehmeiköistä ja kaltevuuksista.

Maanmittauslaitoksen laserkeilausaineistojen perusteella voidaan luoda uudenlaisia karttatasoja, joiden avulla hakkuukohteen sisäinen korkeusvaihtelu ja maaston muodot on mahdollista esittää perinteisiä karttoja havainnollisemmin. Laserkeilausmenetelmän ansiosta aineistojen korkeus- ja sijaintitarkkuus paranee entisiin verrattuna. Yksi tärkeimmistä aineistoista korkeusvaihtelun kuvaamiseen on digitaalinen maaston korkeusmalli (DEM). Maanmittauslaitoksella on ollut tarjolla koko maan kattava perinteisin menetelmin tuotettu korkeusmalli, jonka 10 x 10 m pikselikoko ja kahden metrin korkeustarkkuus on kuitenkin liian karkea hakkuukohteen sisäisen vaihtelun kuvaamiseen. Maanmittauslaitos tuottaa parhaillaan valtakunnallista laserkeilaukseen perustuvaa korkeusmallia, jonka pikselikoko on 2 x 2 m ja korkeustarkkuus $\pm 0,3$ m. Tämän huomattavasti tarkemman korkeusmallin perusteella on mahdollista kuvata myös pienialaisia maastonmuotoja ja äkillisiä muutoksia rinnekaltevuuksissa.

Yksi merkittävä mahdollisuus käsiteltäessä digitaalista korkeusmallia on tuottaa sijaintitarkkoja korkeuskäyriä. Korkeuskäyriä on mahdollista tuottaa pienemmällä korkeuserolla kuin perinteisten korkeuskäyrien viiden metrin erottelu. Yleisesti maaston korkeusmallista tuotettuja karttatasoja ovat maaston pinnanmuotojen vinovalovarjostus (Kuva 12), rinnekaltevuus (Kuva 13) ja rinteen suunta.



Kuva 12. Laserkeilatun korkeusmallin perusteella hakkuukohteelle on laskettu vinovalovarjostus, korkeuskäyrät kahden metrin korkeuserolla ja rinnekaltevuudet, jotka on luokiteltu kuormatraktorin liikkuvuusrajotteiden mukaisesti. (Aineistot Maanmittauslaitos ja Metsähallitus 2012, analyysit Metla).



Kuva 13. Digitaalinen korkeusmalli on liukuvärjätty ja mallista on laskettu korkeuskäyrät kahden metrin välein korkeusvaihtelun havainnollistamiseksi. (Aineistot Maanmittauslaitos ja Metsähallitus 2012, analyysit Metla).

Hankkeessa kehitettiin LoggingMap-konsepti, jolla voidaan esittää kuljettajan työtä tukevaa informaatiota karttaperusteisesti koneen näytöllä. Konseptiin perustuen järjestettiin marraskuussa 2012 ja tammikuussa 2013 Rautavaaralla Metsähallituksen työmailla kolme testaus- ja demonstraatiojaksoa, joilla kuljettajille esitettiin useita maaston muotoja kuvaavia karttatasoja erillisellä kannettavalla tietokoneella hakkuukoneen oman näytön rinnalla (Kuva 14). Erillinen tietokone mahdollisti monipuoliset karttasovellustestaukset ja yksityiskohtaisten karttojen esittämisen ja vertailun nykyiseen kartta-aineistoon.



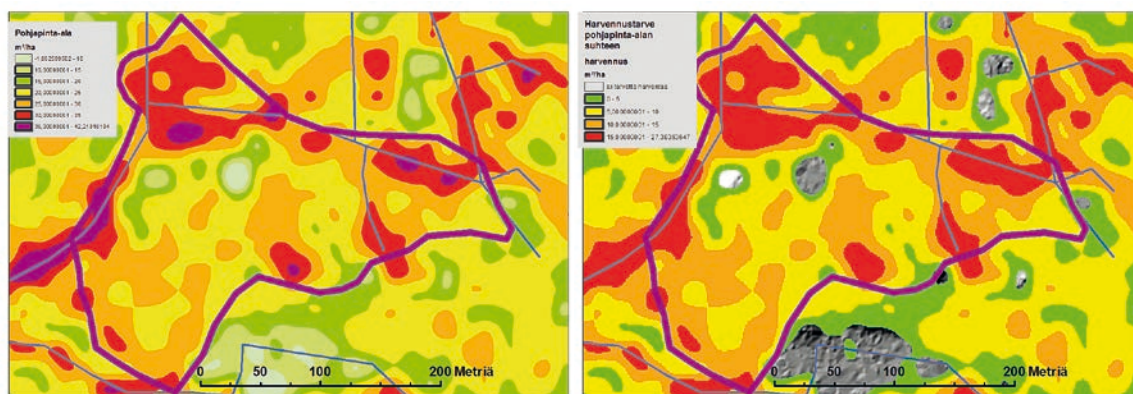
Kuva 14. LoggingMap-demonstraatioissa esitettiin kuljettajalle tarkkaa karttätietoa hakkuukoneen oman näytön rinnalla (kuva: Jari Ala-Ilomäki/Metla).

Kuljettajille esitettiin erilaisia tiedon visualisointiversioita, mm. puuston vaihtelua kohteen eri osissa. Puuston vaihtelua kuvaavia karttatasoja olivat runkoluku (r/ha), tilavuus (m³/ha), pituus (m), pohjapinta-ala (m²/ha) ja harvennustarve pohjapinta-alan mukaan (m²/ha), kun tavoitepohjapinta-ala oli tiedossa (Kuva 15).

Demonstraatioiden jälkeen kuljettajilta kerättiin palautetta esitetyistä vaihtoehtoista. Yhteinen näkemys kuljettajilla oli, ettei nykyinen karttatieto ole riittävän tarkkaa ajouraverkoston suunnitteluun maastoltaan vaihtelevilla kohteilla. Lisäinformaatiota tarvitaan myös näkyvyyden ollessa huono vuorokaudenajan, säätilan tai tiheän puuston takia. Tarkan karttainformaation korkeuskäyrät, rinnekaltevuudet ja korkeusvaihtelun kuvaaminen värein koettiin erittäin hyödyllisiksi karttatasoiksi. Luokitellun aineiston, kuten rinnekaltevuuden, kohdalla visualisoinnin tulisi olla mahdollisimman selkeää ja sisältää vain vähän luokkia. Luokittelun tulisi olla laadittu metsäkoneiden liikkuvuuden kannalta kriittisten raja-arvojen mukaan. Puustotieto ja sen vaihtelu nähtiin hyödylliseksi tiedoksi harvennuksen kannalta, mutta ajouraverkoston suunnitteluun sillä ei nähty olevan vaikutusta. Tähän on syynä hakkuualueen rajausta sekä se, että ajouraverkoston tulisi joka tapauksessa kattaa koko alue.

Kuljettajaopastukseen, korjuujäljen parantamiseen ja kausivaihtelun vähentämiseen liittyi myös toinen tutkimusteema leimikon kulkukelpoisuuskartan luonti hakkuukoneen CAN-väylätietojen avulla (Ala-Ilomäki ym. 2012, Väättäinen ym. 2013). Perusajatuksena on, että mittaamalla ajourilla ensimmäisenä liikkuvan hakkuukoneen kulkuvastusta on mahdollista luoda leimikolle kulkukelpoisuuskartta maastovaurioita ajatellen ongelmallisempaa kuormatraktoria varten. Perusedellytykset järjestelmän toteutukselle ovat jo olemassa: voimansiirron teho mitataan hakkuukoneen CAN-väylästä ja paikkaan sidottu kulkukelpoisuustieto välitetään karttajärjestelmään ja edelleen kuormatraktoriin. Mittaus tapahtuu normaalin hakkuutyön ohessa, kattaa jatkuvana koko ajouraverkon eikä sen kerääminen aiheuta kustannuksia, joten perinteisen lujuusmittauksen huonoimmat puolet vältetään.

Ajoneuvon teho käytetään maastossa lähinnä pyörien etenemistä vastustavan voiman (jäljempänä kulkuvastus), rinnevastuksen ja hitausvoiman voittamiseen. Tasaisessa maastossa vakionopeudella etenevän ajoneuvon etenemiseen käyttämä teho vastaa suuruudeltaan kulkuvastuksen kulluttamaa tehoa. Mittaamalla ajoneuvon etenemisnopeus ja sen käyttämä teho voimansiirrosta on mahdollista laskea arvio kulkuvastuksesta. Kulkuvastuksen arvo edellä kuvatuissa oloissa taas riippuu lähinnä pyörien uppoamasta kulkualustaan ja se puolestaan maaston lujuuden suhteesta



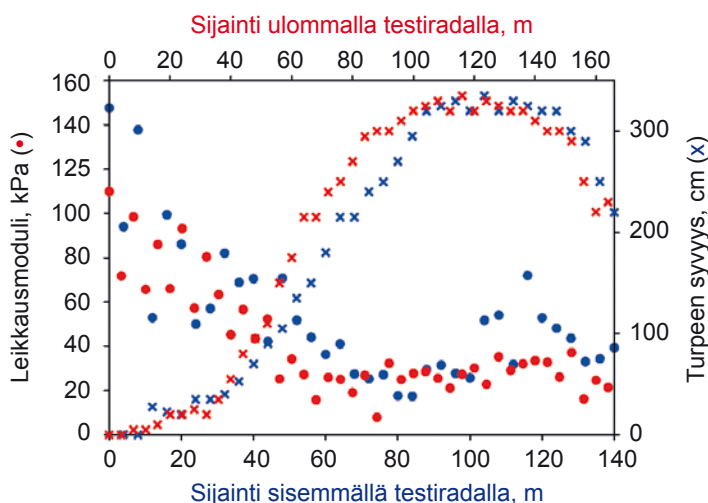
Kuva 15. Puuston pohjapinta-ala ja harvennustarve Logging Map -karttasovelluksella esitettynä. (Aineistot Maanmittauslaitos ja Metsähallitus 2012, analyysit Metla).

ajoneuvon aiheuttamaan kuormitukseen. Ajoneuvon kulkuvastusta mittaamalla voidaan siis saada arvio maaston kulkukelpoisuudesta.

Mittausperiaatteen tutkimiseksi 8-pyöräisen Ponsse Fox -hakkuukoneen ajovoimansiirtoon liitettiin tehonmittausta varten paineanturi suoraan CAN-väylän kautta saatavaa mittaustietoa täydentämään. Hakkuukoneen ajonopeutta ja kiihtyvyyttä mitattiin siihen kiinnitettyllä sähköisesti anturoidulla lankamittalaitteella. Hakkuukoneella ajettiin kahdella sisäkkäisellä noin 180 m pituisella testiradalla, jotka ulottuivat kantavalta kivennäismaalta turvemaalle. Hakkuukonepohjaisen mitausjärjestelmän tulosten validoimiseksi maaperän leikkausmoduuli mitattiin neljän metrin välein manuaalisesti Ala-Ilomäen (2013) kehittämällä halkaisijaltaan 200 mm piikkisiipikairalla. Turpeen syvyys mitattiin samoista mittauspisteistä rassilla. Suurimman saavutettavissa olevan vetovoiman selvittämiseksi turvemaan pinnan leikkauslujuutta mitattiin halkaisijaltaan 98 mm piikkisiipikairalla (Ala-Ilomäki 2013). Raiteensyvyys mitattiin myös manuaalisesti jokaisen ajokerran jälkeen neljän metrin välein turvemaan pinnan lujuuden mittauskohdista. Hakkuukonemittausten ennustearvoa selvitettiin kuormatraktorijolla toisella radalla. Koejärjestelyt on kuvattu tarkemmin julkaisussa Väättäinen ym. (2013).

Liikkeen suuntaisia ja sitä vastustavia voimia on tarkasteltu kertoimina jakamalla ne ajoneuvon painolla. Kun suurimmasta saavutettavissa olevasta mallinnetusta vetovoimasta vähennetään mitattu kulkuvastuksen voittamiseen käytetty voima, saadaan kiihdytykseen ja rinteen nousuun käytettävissä oleva nettovetovoima. Tutkitun tyyppisillä ajoneuvoilla tyydyttävä varmuus kulkukelpoisuudesta saavutetaan nettovetovoimakertoimen arvolla 0,2–0,4 muun muassa pinnan epätaisaisuudesta ja rinnekaltevuudesta riippuen.

Ratojen soveltuvuus kokeen tarkoitukseen oli erinomainen, sillä lujuuden vaihtelu oli suuri (Kuva 16). Hakkuukoneen raiteen syvyys selitti lineaarisella regressiomallilla kuormatraktorin raiteen syvyyden vaihtelusta ensimmäisellä ajokerralla 74 % regressiokertoimen ollessa 1,17. Piikkisiipikairalla mitattu leikkausmoduuli oli lupaava raiteen syvyyden selittäjä, esim. ulommalla radalla se selitti 42 % hakkuukoneen raiteen syvyyden vaihtelusta.

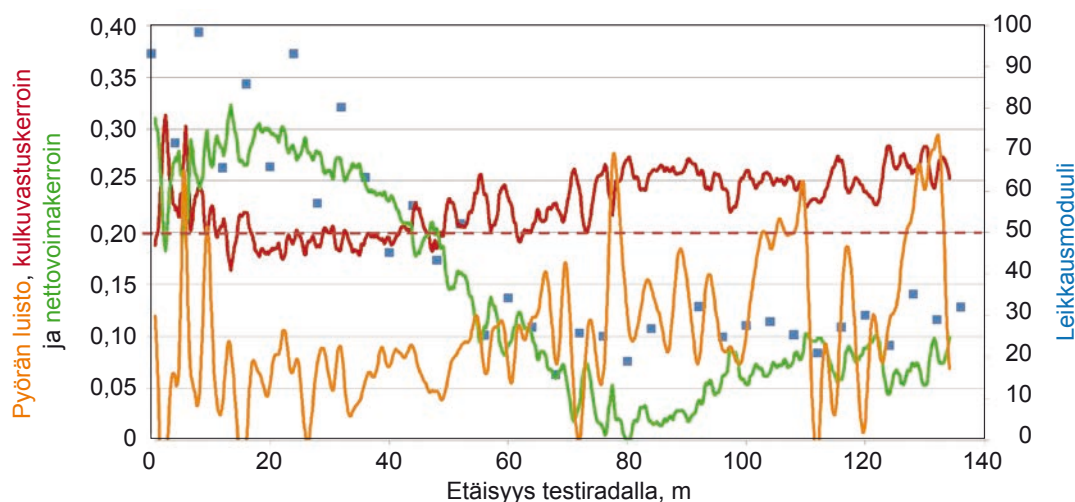


Kuva 16. Leikkausmoduuli (•) ja turpeen syvyys (x) sisemmällä (sin) ja ulommalla (pun) testiradalla.

Kuvassa 17 on esitetty tärkeimmät hakkuukoneen liikkuvuutta kuvaavat tunnuksat. Kuvasta havaitaan kulkuvastuksen ja luiston kasvavan siirryttäessä radan lujuudeltaan heikommalle alueelle. Luisto tasaantuu alun epävakauden jälkeen 5–10 % tasolle. Turpeen pinnan lujuuden alentuessa luiston taso ja sen vaihtelu kasvavat. Kulkuvastuksen käyttäytyminen on samankaltainen. Liikkuvuutta ja kulkukelpoisuutta parhaiten kuvaava nettovetovoima laskee voimakkaasti maan pinnan lujuuden alentuessa. Mikäli kulkukelpoisuuden alarajana tasaisella suolla pidetään aiemmin mainittua nettovetovoimakertoimen arvoa 0,2, olisi testirata ollut kuormatraktorin kuljettajalle välitettävässä tiedossa kulkukelvoton noin pituudesta 50 m eteenpäin. Hakkuukone liikkui radoilla pyörän uppoama- ja raiteen syvyysmittausten perusteella turvallisella liikkuvuusmarginaalilla, mutta kuormatraktorilla pinnan murtuminen oli selvästi lähempänä.

Järjestelmän tarkkuutta voitaisiin parantaa kehittämällä tiedonkeruuta CAN-väylästä tarkoitukseen sopivammaksi sekä mittaamalla toteutunutta ajovoimansiirron tilavuusvirtaa. Pelkästään moottoritehoon perustuva laskenta havaittiin epäluotettavaksi. Puunkorjuun tehostamiseen ja maaperävaurioiden vähentämiseen pyrittäessä olisi tärkeää varustaa lähitulevaisuuden puunkorjuukoneet kulkukelpoisuustiedon keräämiseen jo tehtaalla, jolloin myös etenemisnopeuden mittaamiseen tulisi kehittää käytäntöön soveltuva esim. useampaa satelliittijärjestelmää käyttävään GPS:ään perustuva ratkaisu. Käytännön tiedonkeruun tuloksena nyt lähes olematon mittaustieto maaston kulkukelpoisuudesta täydentyisi nopeasti.

Hakkuukoneen luoman kulkukelpoisuuskartan hyödyntämisessä voidaan käyttää hyväksi yhteyttä, joka ohjelman tutkimuksissa (Siren ym 2013a,b) on todettu hakkuukoneen raiteenmuodostuksen ja kuormatraktorin raiteenmuodostuksen välillä. Sekä kivennäis- että turvemaille voidaan hakkuukoneen raiteenmuodostuksen pohjalta laskea ennuste metsäkuljetuksen raiteenmuodostukselle erilaisilla kuormituksilla. Kun kantavuuden riskialueet tiedetään, oikealla ajotekniikalla mahdollisten ajokertarajoitteiden noudattaminen ei välttämättä merkittävästi vaikuta tuottavuuteen. Edellä esitetyt tulokset mahdollisuudesta tuottaa ajouraverkoston kulkukelpoisuuskartta hakkuukoneesta saatavien tietojen perusteella ovat lupaavia. Alkuvaiheessa voidaan kuitenkin ajatella myös järjestelmää, jossa hakkuukoneen kuljettaja merkitsee havaitsemansa kantavuusrajoitteet ja välittää ne ajokoneen kuljettajalle.

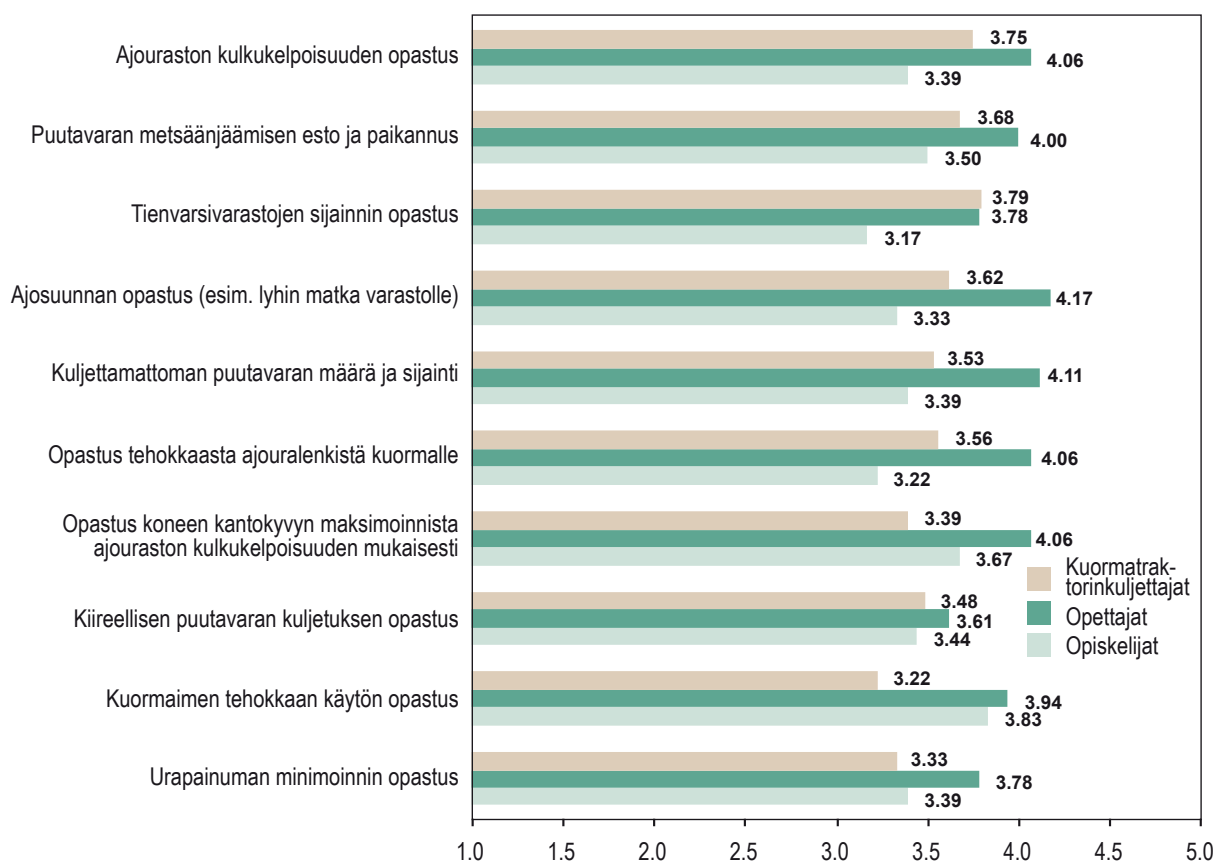


Kuva 17. Tärkeimmät hakkuukoneen liikkuvuutta kuvaavat tunnuksat ulommalla testiradalla. Kuormatraktorin kulkukelpoisuuden turvallisesti alarajaksi oletettu nettovetovoimakertoimen 0,2 arvo on merkitty kuvaan punaisella katkoviivalla.

Kuljettajaopastuksen kolmas pääteema käsitteli puutavaran lähikuljetuksen tehokkaita kuljetustapoja ja opastustarvetta (Väätäinen ym. 2013, Ylimäki ym. 2012). Puutavaran metsäkuljetuksen tuottavuuserot kuljettajien välillä ovat suuria. Erot aiheutuvat lähinnä kuljettajan työtekniikkavalinnoista ja työtavoista. Korjuukohteilla, joissa puutavaralajien määrä on suuri ja puutavaralajien määräsuhteet vaihtelevat leimikon eri osissa, puutavaran tehokas kuljettaminen on hankalaa ilman ennakkotietoa. Lisähaasteita kuljettajalle tuovat korjuukohteen mahdolliset kulkukelpoisuusrajoitteet kuten jyrkänteet ja pehmeiköt.

Ylimäen ym. (2012) tutkimuksessa, jossa selvitettiin metsäkoneenkuljettajien näkemyksiä opastavien järjestelmien tarpeesta puunkorjuussa, kulkukelpoisuustiedon ja puutavaran sijaintitiedon tarve nousivat esiin (Kuva 18). Tällä hetkellä osalla metsäkonevalmistajista on tarjolla jonkinasteista karttapohjalla esitettävää paikkatietoa puutavaralajeista, mutta järjestelmien käyttö on hyvin vähäistä.

Puutavaran lähikuljetuksen reittioptimointia selvittävässä tutkimuksessa optimoinnin avulla saatavat säästöt ajanmenekissä ja kokonaisajomatassa ovat olleet noin 10 % (Arvidsson ym. 1999, Carlsson ym. 1999, Flisberg ym. 2007). Ilmeisestä hyötypotentiaalista huolimatta puutavaran lähikuljetuksen reittioptimointia ei ole tuotteistettu käytännön kuormatraktoriyöhön.

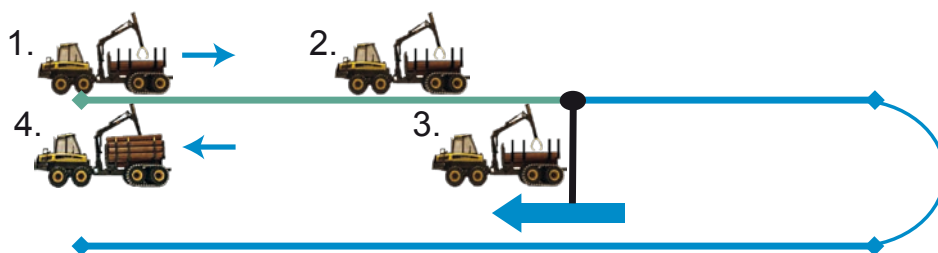


Kuva 18. Opastuksen tarve lähikuljetuksessa eri vastaajaryhmillä, kymmenen tarpeellisinta kohtaa (Ylimäki ym. 2012).

Metsäkuljetuksen reitityksen ja opastuksen tutkimiseksi kerättiin työntutkimus- ja olosuhdetietoaineisto kolmelta toisen harvennuksen hakkuukohteelta, joilta kokenut ja taitava kuormatraktorin kuljettaja ajoi yhteensä 35 kuormaa. Työntutkimusaineisto käsitti aikatutkimuksen jatkuva-aikamittauksella, automaattisen konetoimintojen ja polttoainekulutuksen tallennuksen Ponsse-konemonitorointisovelluksella, ajouraverkoston reittitallennuksen, kuljetuksen tuottavuusseurannan kuutiometreissä ja tonneissa sekä kasakohtaiset ajanmenekkitiedot puutavaralajeittain paikkaan sidottuina.

Kuormatraktorin kuljettajan kuljetussuoritusta verrattiin ArcGis-sovelluksen VRP-optimointilisäosalla generoituun kuljetusmatkaa minimoivaan laskentatulokseen. VRP (Vehicle Routing Problem) -optimointi laskee annettujen lähtötietojen turvin lyhyimmän kokonaisajomatkan sekä esittää kuljetusreitit kullekin kuormalle. Koska laskenta antaa teoreettisen minimin kuljetusmatkalle ja kuormakohtaisille kuljetusreiteille, osa reiteistä voi poiketa yleisesti käytössä olevista kuljetusratkaisuista. Laskennan onnistumisen edellytyksenä oli sijainti- ja määrätarkka tieto kaikista puutavaralajikasoista, tienvarsivarastojen puutavarapinoista ja ajouraverkostosta. Lisäksi jokaiselle kuormalle oli määritettävä laskennallinen kuormakoko, joka perustui kuormattujen pölkkyjen poikkipinta-alaan sekä kuormatiiviyskertoimeen. Kuormakoon määräävänä tekijänä käytettiin kuormatilan poikkipinta-alaa, sillä kuorman massa ei ylittänyt millään laskentakombinaatiolla kuormatraktorille määritettyä 13 tonnin kantavuusrajoitetta.

Tutkimustehtävässä selvitettiin samanaikaisesti tehokasta, käytäntöön sovellettavaa kuormanhakutekniikkaa, kun hyvän lähikuljetuksen kriteereinä pidettiin ajourapainaumien minimointia, polttoainekulutuksen minimointia, lähikuljetuksen tuottavuuden lisäämistä sekä koneen kuormituksen minimointia. Erityisesti harvennuksille kehitetyn puutavaran kuljetusmallin (Kuva 19) tehokkaan hyödyntämisen edellytyksenä on puutavaralajien sijainnin esittäminen karttapohjalla sekä paikkatiedon päivittyminen lähikuljetuksen edetessä (ts. kuljetetut puutavaralajikasat poistuvat karttanäytöltä). Käytetty toimintamalli on hyvin lähellä kokonaiskuljetusmatkaa minimoivaa VRP-optimoinnilla saatavaa kuljetusreitiratkaisua. Malli perustuu ns. monilajikuormien hakuun eli samaan kuormaan lastataan useita puutavaralajeja hallitusti siten, että kuorman purkamisen ei hidastu merkittävästi. Kuormauksessa otetaan samalla huomioon purkupaikalle toteutettava puutavaralajipinojen optimaalinen sijoittelu. Kyseisellä työtekniikalla kuljetusmatka palstalla alenee merkittävästi, mutta vastaavasti purkupaikalla ajanmenekki kasvaa.



Kuva 19. Kuljetusmatkaa minimoivan työtekniikan vaiheet: 1. Kuormaus aloitetaan peruuttamalla kuormatraktorilla ajouraa pitkin samalla kuormaten vähemmistöpuutavaralajeja kuormatilaan. 2. Vähemmistöpuutavaralajien kuormauksesta jatketaan edelleen kohtaan 3, jossa ajosuuntaa vaihdetaan ja palatessaan kuormataan loput puutavaralajit kyytiin. Kyseisestä kohdasta palatessa takaisin saadaan kuormatila täyteen ja ajettu ajouralenkki tyhjäksi puutavaralajeista. 4. Kuormatila on täynnä, jonka jälkeen ajetaan kuormattuna tienvarsivarastolle. Vähemmistö- ja enemmistöpuutavaralajit erotetaan toisistaan poikittain asetetulla välipuulla tai porrasteisella kuormatilan täytöllä.

VRP-optimointi toteutettiin tutkimuksen kolmannen harvennuskohteen kuljetussuoritteelle, joka käsitti 13 kuormaa, yhteensä 152 m³. VRP-optimoinnin antamille kuormareiteille laskettiin ajanmenekit tutkimuskuljettajan ajosuorituksen ajanmenekkitietojen pohjalta. Kokonaisajomäärää ja monilajikuormausta soveltava ajoreittioptimointi toi parannuksia kaikkiin tarkasteltaviin kriteereihin (Taulukko 2).

Suurimmat erot toteutuneen ja kokonaiskuljetusmatkaa minimoivan työtekniikan välillä olivat kokonaiskuljetusmatkassa ja kuljetussuoritteessa ajettua bruttotonnikilometriä kohden. Myös 7 % polttoainesäästöpotentiaali toteutuneeseen nähden on merkittävä. Suhteellisesti vähäisimmät hyödyt on saavutettavissa tuottavuudessa, joka sekä esimerkkitapauksessa kasvoi 4,4 %. Työvaiheittain suurin ajanmenekkisäästö tulee ”kuormauksen aikaisessa ajossa”, kun taas ajanmenekki kasvaa hieman ”ajo kuormattuna” - sekä ”kuorman purku” työvaiheissa.

Ajomäärää minimoivaa ajotekniikka edellyttää tarkkaa paikkaan sidottua ennakkotietoa puutavaralajikasoista ja -määristä ajourilla. Työtekniikassa kuljettajan on hallittava monilajikuormien ajo. Koska purku aika lisääntyy monilajikuormia ajettaessa, tienvarsivaraston puutavaralajipinot on sijoitettava siten, että siirtymiset purkamisen aikana minimoidaan. Monilajikuormia hyödynnettävä ajotekniikka soveltuu erityisen hyvin kohteille, joissa kuorman purkaminen voidaan tehdä purku-uran molemmille puolin.

Nykyään kuormatraktorin kuljettaja voi saada käyttöönsä hakkuun ja korjuusuunnitelman tietoja puutavaralajimääristä ja niiden suhteista kohteella. Tätä tietoa ei kuitenkaan aina hyödynnetä, eikä tämä kertymän yleistieto vielä mahdollista ajon optimointia. Käytännössä usein ensimmäisellä kuormakierroksella tutustutaan ajouralenkkiin, ja ratkaisut tehdään tältä pohjalta. Karttaan päivittyvä paikkatieto puutavaralajien sijainnista auttaisi erityisesti kahdessa vuorossa ajavia, sillä seuraavan vuoron kuljettaja näkisi ajantasaisen tilanteen ajettavasta alueesta heti vuoron alussa.

Jotta lähikuljetuksen tuottavuutta voitaisiin parantaa opastavilla järjestelmillä ja tehokkaammilla kuormanhakutekniikoilla, korjuuketjun työskentelyn toimintamalleihin tulisi myös puuttua. Monilla työmailla puutavaran ajo seuraa välittömästi hakkuuta, jolloin ajettavaa puutavaraa voi olla niukalti valmiina. Metsäkuljetusta voidaan tehostaa, jos kohde on metsäkuljetuksen alkaessa kokonaan tai pääosin hakattu. Talvikorjuussa tulee kuitenkin ottaa huomioon lumisateen aiheuttamat ongelmat kasojen peittyessä lumen alle. Jos Suomen kaikilla harvennushakkuukohteilla korjattaisiin edellä esitetyn mallin mukaisesti uutta ajomäärää minimoivaa ajotekniikkaa hyödyntäen, lähikuljetuksen polttoainesäästö olisi 0,8–1,6 miljoonaa litraa vuodessa.

Taulukko 2. Toteutuneen ja ajomäärää minimoivan metsäkuljetuksen (VRP-optimointi) erot.

	Toteutunut ajo	Ajomäärän minimointi	Ero, %
Metsäkuljetuksen tuottavuus, min/t	3,22	3,08	-4,4
Puutavaralajeja kuormassa keskimäärin, kpl	3,5	3+3, 3+4	-
Kokonaisajomatka, m	9 000	7 502	-16,6
Kokonaisajosuorite, bruttotonnikilometriä	213,1	184,7	-13,3
Polttoaineen kulutus, l/m ³	0,613	0,568	-7,3

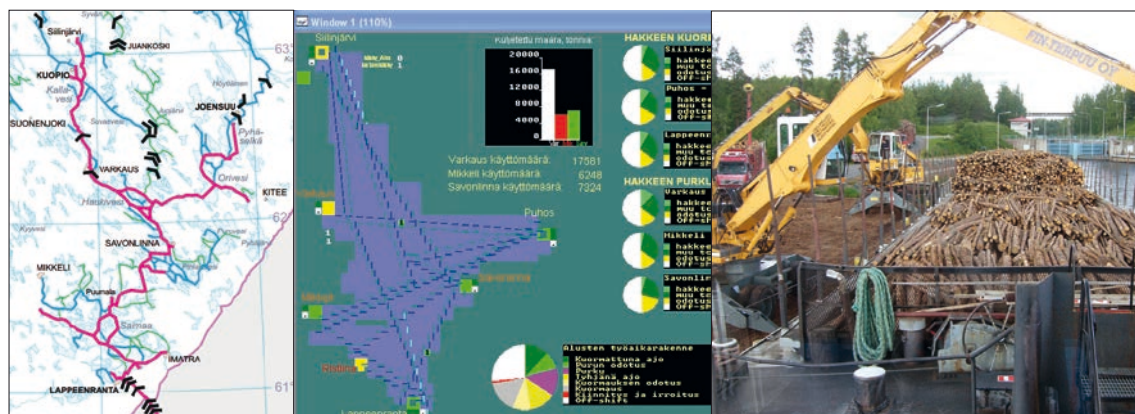
3.6 Kuljetuslogistiikka

Kari Väätäinen & Juha Laitila

Uudet logistiset ratkaisut teollisuuden puunhankinnan turvaamiseksi -hankkeessa selvitettiin kuljettajaa opastavien järjestelmien hyödyntämisen lisäksi ainespuun kaukokuljetuksen kustannustehokkaita ratkaisuja. Aihealuetta käsiteltiin laajasti sekä hankkeen sisäisissä tutkimuksissa että myös yhteistyössä muiden hankkeiden kanssa (Karttunen ym. 2008, Hiltunen 2010, Korpinen ym. 2011, Anttila ym. 2012, Laitila ja Väätäinen 2012, Karttunen ym. 2012, Laitila ym. 2013, Laitila ja Väätäinen 2013, Sorsa 2013). Tässä keskitytään pääosin kahteen aihealueeseen; aluskuljetusten uusiin logistisiin ratkaisuihin aines- ja energiapuun kaukokuljetuksessa Vuoksen vesistöalueella sekä kyselytutkimukseen, jossa selvitettiin aines- ja energiapuun kustannustehokkaita kuljetusratkaisuja ja etsittiin vastauksia kaukokuljetuksen merkittävimpiin ongelmakohtiin sekä näkemyksiä tulevaisuuden ratkaisuksi kaukokuljetuksen kustannustehokkuuden kehittämiseksi.

Uudet logistiset ratkaisut... –hanke tarjosi simulointimallinnusosaamista hankkeisiin, joissa tutkittiin aluskuljetusten tehokkaita toimintamalleja aines- ja energiapuun kuljetuksissa (Kuva 20). Lappeenrannan Teknillisen Yliopiston Mikkelin bioenergiayksikön hankkeissa ”Metsäpolttoaineiden vesitiekuljetus proomukalustolla” ja ”Biopolttoaineiden saatavuus ja hankinta Kaakkois-Suomessa” Metla simuloi aluskuljetuksia. Metsähallituksen hankkeessa ”Pienproomut käyttöön Pielisellä” simuloitiin kuitupuun aluskuljetuksia Pielisen alueelta

Ainespuun aluskuljetukset ovat viimeisen kolmen vuoden aikana kasvaneet Suomen sisä- ja rannikkovesillä yli 70 %, 758 000 kuutiometriin vuonna 2012. Ainespuun alus- ja proomukuljetuksia on tehty Vuoksen alueella jo pitkään. Metsäenergiahaketta on aiemmin kuljetettu vain satunnaisesti aluskuljetuksena, mutta nykyisin metsähaketta kuljetetaan säännöllisesti muutamilla Vuoksen vesistöreiteillä. Erityisesti energiahakkeen aluskuljetuksiin on löydetty tehokkaita logistisia ratkaisuja samalla kun tarve kustannustehokkaisiin pitkän matkan kuljetusmuotoihin, kuten vesija rautatiekuljetuksiin on kasvanut. Metsäpolttoaineiden vesitiekuljetuksen logistiikkaa kehittämällä toimitusvarmuutta pystytään parantamaan ja hankintaa laajentamaan kustannustehokkaasti ja ympäristöystävällisesti (Karttunen ym. 2008).



Kuva 20. Vesitiekuljetusten uusia logistisia toimintamalleja tutkittiin tapahtuma-aikasimuloinnilla kolmessa hankkeessa (kuva oikealla: Joonas Sorsa 2012).

Karttusen ym. (2012) tutkimuksen simulointiskenaarioista tehokkain metsähakkeen aluskuljetusketju oli maantiekuljetusta kustannustehokkaampi jo 100–150 kilometriä pidemmillä kuljetusmatkoilla, kun aluskuljetusketjun kustannuksissa oli mukana 30 kilometrin rekkakuljetus lastauspaikalle, proomujen lastaus- ja purkukustannukset sekä itse aluskuljetuksen kustannukset. Tehokkain kuljetusmalli koostui pienen kokoluokan hinaaja-aluksen ja suuren proomuyksikön kiinteästä proomulogistiikasta, ympäri vuorokauden käytettävissä olevista lastaus ja purkutoiminnoista pyöräkuormaajalla ja hihnakuljettimella.

Hiltusen (2010) tutkimuksessa kustannustehokkain kuljetuslogistiikka saatiin käyttämällä pienikokoista hinaajaa (Tapio-hinaaja), vaihtoproomuja sekä lastauksessa hihnakuljetinta ja purussa materiaalinkäsittelykonetta. Simulointitutkimuksen lisäksi selvitettiin koko kuljetusketjun kustannuksia, jotka sisälsivät myös ajoneuvokuljetuksen lastauspaikalle sekä hakettamisen. Vesitiekuljetuksen kuljetusetäisyydet olivat 220 km ja 333 km. Vertailussa havaittiin yhdistetyn ajoneuvo- ja vesitiekuljetusketjun olevan kustannuksiltaan kilpailukykyinen terminaalihaketusketjun kanssa, kun metsähaketta kuljetettiin autokuljetuksella terminaaliin 45 ja 90 kilometrin kuljetusetäisyyksiltä.

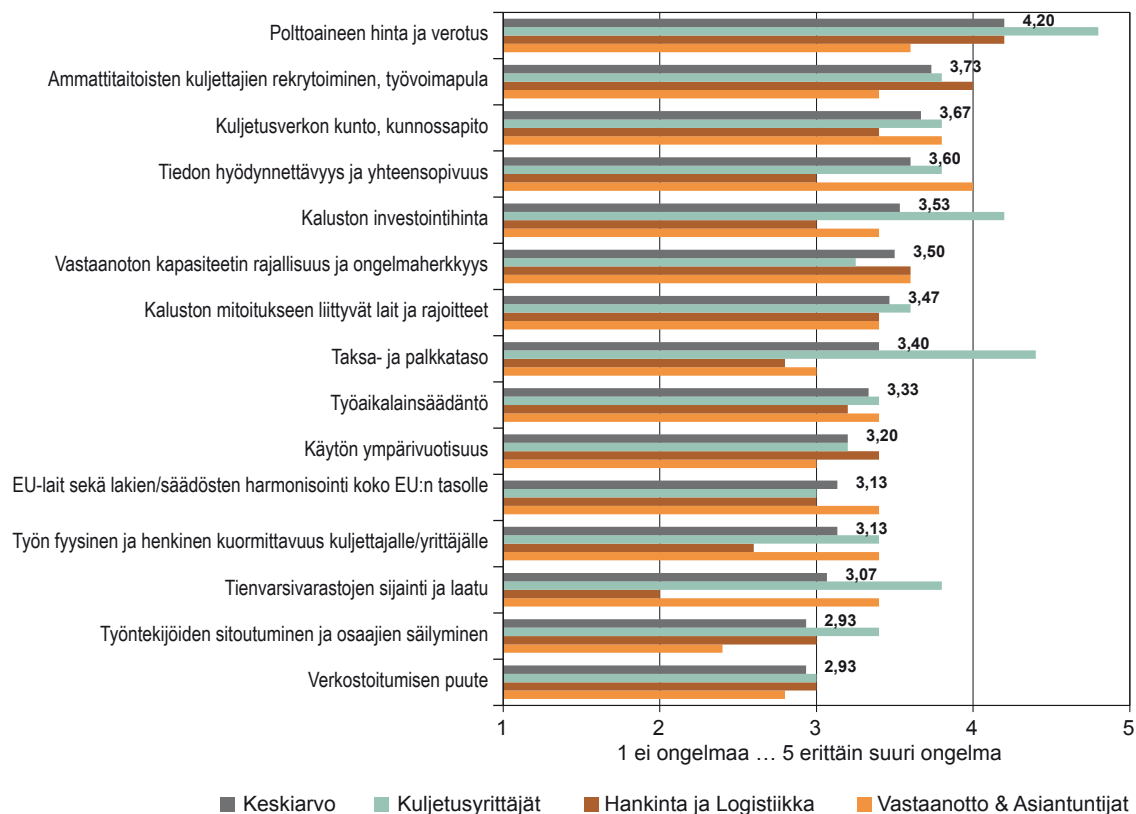
Metsähallituksen Pienproomut käyttöön Pielisellä -hankkeessa selvitettiin proomukuljetusten toimintamahdollisuuksia ja tehokkaimpia toimintamalleja Pieliseltä tapahtuvassa aluskuljetuksessa (Sorsa 2013). Tässä aluskuljetuksen on ajateltu hyödyttävän uittoa, kun proomulla kuljetetaan huonosti uivaa puutavaraa kuten tuoretta mäntykuitupuuta. Aluskuljetuslogistiikoista kaksi selvästi kannattavinta vaihtoehtoa olivat moottoriproomu ja vaihtoproomulogistiikka Sampo- ja Vorokki-proomuilla ja pienen kokoluokan aluksella. Kyseiset skenaariot tuottavat noin 20 % edullisemmat yksikkökustannukset kuin nykymalli pelkällä Sampo-proomulla ja aluksella. Aluskuljetuksen heikkoutena on sen kausiluontoisuus: kuljetukset on tehtävä sulan veden aikaan ja tämän lisäksi Pielisellä vedenkorkeuden vaihtelu rajoittaa kuljetuksia. Aluskuljetuksen kannattavuuteen vaikuttaa myös se, että puolet matkasta tehdään tällä hetkellä ilman kuormaa – kustannustehokkuus lisääntyisi, jos jotakin tuotetta voitaisiin kuljettaa aluksella Etelä-Saimaalta pohjoiseen.

Aines- ja energiapuun vesitiekuljetuksen simulointitutkimukset antoivat rohkaisevia tuloksia aluskuljetuslogistiikan kehittämisen ja kuljetusten lisäämisen puolesta Vuoksen alueella. Parhaiden tutkittujen aluskuljetuslogistiikkojen lisäksi kuljetusmenetelmän kilpailukyky paranee edelleen, jos kuljetusta voidaan toteuttaa sisävesireiteillä ympäri vuoden. Aines- ja energiapuun yhteiskuljetukset sekä meno-paluukuljetusten lisääminen parantaisivat proomujen kuljetuskapasiteetin hyödyntämistä ja kokonaiskustannustehokkuutta. Nopeakulkuinen ja talviliikennöntikelpoinen moottoriproomu voisi parantaa vesitiekuljetusten kilpailukykyä jo tavanomaista lyhyemmilläkin kuljetusetäisyyksillä. Aluskuljetusketjut ovat riippuvaisia puu- ja polttoaineterminaaleista ja siihen kytketyistä satamatoiminnoista (Karttunen ja Väätäinen 2012). Tästä toimivana käytännön esimerkkinä on Joensuun syväsatama ja sen vieressä oleva biomassaterminaali, josta pyöreää puuta ja metsähaketta kuljetetaan aluksilla mm. Lappeenrantaan.

Aines- ja energiapuun kaukokuljetuksen nykytila ja tulevaisuuden ratkaisut -tutkimuksen päätaiviteena oli kartoittaa kaukokuljetuksen nykytilaa ja tulevaisuuden haasteita aines- ja energiapuun hankinnassa Suomessa (Väätäinen ym. 2014). Tutkimuksessa etsittiin puubiomassojen kaukokuljetuksen, kuljetuslogistiikan ja -ohjauksen pullonkauloja ja parhaita kehittämiskohteita, joiden pohjalta koostetaan tutkimusraportti aines- ja energiapuun kustannustehokkaasta kauko-

kuljetuksesta ja sen kehittämistratkaisuista tulevaisuudessa. Ensimmäisessä vaiheessa ”Tulevaisuuden teknologiat” -asiantuntijaryhmään valittuja henkilöitä haastateltiin vapaamuotoisesti ja kartoitettiin nousemassa olevat uudet kaukokuljetuksen teknologiat ja kehityssuunnat. Haastattelu kohdistettiin kaukokuljetuksessa toimiviin, hankintaketjussa mukana oleviin ja kaukokuljetuksen tilaan vaikuttaviin henkilöihin ja asiantuntijoihin neljästä eri vastaajaryhmästä, jotka olivat a) kuljetuksen toteutus (kuljetusyrittäjät, kuljettajat), b) hankinnan organisointi ja logistiikan hallinta (hankintaesimiehet, VR, uitto), c) asiakkaat (Metsäteollisuuslaitokset ja voimalaitokset) sekä d) muut asiantuntijat (etujärjestöt, tutkijat ja muut kuten opettajat ym.). Tässä raportissa esitetään jälkimmäisen tutkimusosion päätuloksia.

Kolme merkittävintä kustannustehokasta kaukokuljetusta haittaavaa tekijää olivat 1) Polttoaineen hinta ja verotus, 2) Ammattitaitoisten kuljettajien rekrytoiminen ja kuljettajapula, ja 3) Kuljetusverkon kunto ja kunnossapito (Väätäinen ym. 2014). Kuvasta 19 nähdään 15 kyselyssä tärkeimmiksi nousutta tekijää. Kuljetusyrittäjät kokivat erityisesti polttoaineen hinnan ja verotuksen, kaluston investointihinnan, taksa- ja palkkatason, tienvarsivarastojen sijainnin ja laadun sekä työn henkisen ja fyysisen kuormittavuuden kuljettajalle/yritykselle muita vastaajaryhmiä suuremmiksi ongelmiksi. Vastaavasti metsäteollisuuden hankinnan ja logistiikan toimihenkilöt kokivat muita pienempinä ongelmia tiedon hyödynnettävyyden ja yhteensopivuuden sekä tienvarsivarastojen sijainnin ja laadun.



Kuva 21. Tekijöiden merkitys kustannustehokkaan kuljetuksen kannalta (1 ei ongelmaa...5 erittäin suuri ongelma) (Väätäinen ym. 2014).



Kuva 22. Tekijöiden merkitys kuljetusten parantamisessa tulevaisuudessa (1 ei ongelmaa...5 erittäin suuri ongelma) (Väättäinen ym. 2014)

Tärkeimpiä kehittämiskohteita olivat teiden ylläpidon parantaminen, kausivaihtelujen tasaaminen ja valtion ohjausmekanismit kaukokuljetusten kehittämiseksi (Väättäinen ym. 2014). Nämä erottuivat selvästi muista tekijöistä, joiden merkitykset nähdään kuvasta 22. Kuljetusyrittäjät kokivat seuraavat tekijät muita vastaajaryhmiä suuremmiksi mahdollisuuksiksi: a) Kuljetuksen hinnoittelun määrittäminen kannattavan yritystoiminnan tasolle, b) Terminaaliverkostot ja uudet tehokkaat terminaalitoiminnot ja c) Koko hankintaketjun hallitsevien ja siinä toimivien yrittäjien merkitys. Vastaavasti metsäteollisuuden hankinnan ja logistiikan toimihenkilöt kokivat uusitun lainsäädännön, joka sallii puutavaran kuljetukseen suuremmat painot myös pituutta ja korkeutta lisäämällä, muita vastaajaryhmiä suurempana mahdollisuutena.

Edellä esitettyjen tutkimusesimerkkien lisäksi hankkeessa selvitettiin muun muassa, missä tilanteissa rangan autokuljetus käyttöpaikalle hakettavaksi on kustannustehokkaampi ratkaisu kuin kokopuun tienvarsihaketus (Laitila ja Väättäinen 2012). Tulosten mukaan rankana korjuussa haketus tulisi tehdä hakkeen käyttöpaikan välittömässä läheisyydessä. Jos toimitusketjussa käytetään terminaaleja, niin kuljetustaloudellisesti tehokkain tapa on kuljettaa kokopuun sijaan karsittua rankaa. Uusia korjuun toimintamalleja turvemaakohteilla tarkasteltiin kahdessa erillisessä tutkimuksessa, joissa tutkittiin mäntyjen kokopuukorjuuta kantoineen tavanomaisella hakkuukoneella (Laitila ym. 2013) sekä hakkuutyön tuottavuutta metsävarustellulla turvetuotantotraktorilla karsittuun aines- ja energiapuun korjuussa (Laitila ja Väättäinen 2013)..

3.7 Metsäteiden rakentaminen ja kunnossapito

Tomi Kaakkurivaara & Jori Uusitalo

Logistiikkaan ja kausivaihtelun vähentämiseen liittyy myös hanke ”Uudet teknologiat alemman tieverkon rakentamisen ja ylläpidon apuna” (Kaakkurivaara & Uusitalo 2011), jossa tutkitaan metsäteiden kantavuuden mittausta, uusia kunnostusmenetelmiä ja tuhkan käyttöä tienparannusmateriaalina.

Metsätiet ovat osa alempaa tieverkkoa, jonka varassa metsäteollisuuden kuljetukset toimivat. Metsätiet ikääntyvät ja yhä suurempi osa vaatii peruskunnostusta. Kustannusten minimoimiseksi tieverkolta on löydettävä mittaustulosten perusteella eniten kulkukelpoisuutta haittaavat tekijät ja kohdistettava korjaustoimenpiteet ongelmakohteille. Metsäteillä kantavuuden mittauslaitteita ja vaihtoehtoisia kunnostusmenetelmiä on tutkittu Pirkanmaan ELY-keskuksen rahoittamassa hankkeessa.

Kantavuutta mitattiin perustetuilla koealoilla kolmella eri laitteella DCP, Loadman ja pudotuspainolaite (PPL). Mittaukset tehtiin Metsähallituksen tiestöllä Parkano-Kuru-Virrat -alueella neljänä keväänä ja yhtenä kesänä. Koealoja oli sekä turvemaalle että kivennäismaalle rakennetuilla teillä. Osalle koeteistä tehtiin kunnostus vaihtoehtoisilla kunnostusmateriaaleilla kahden vuoden seurannan jälkeen. Kunnostusmateriaaleina käytettiin risutukkeja kahdella, masuunihiekka-teräskuonaseosta viidellä, geoverkkoja kahdella ja kaksinkertaista suodatinkangasta kahdella koealalla. Vertailuna toimi pelkällä kalliomurskeella kunnostetut kaksi koealaa.

Kunnostusmateriaaleista geoverkko osoittautui parhaiten kantavuutta parantavaksi. Myös suodatinkangas ja pelkkä murske toimivat kelvollisesti. Masuunihiekka-teräskuonan sekoittaminen tierakenteeseen ei parantanut kantavuutta. Tierakenteen osalta turvepohjaisilla koealoilla kantavuudet olivat parempia kuin kivennäismailla paksumpien rakennekerrosten ansiosta. Tien keskeltä mitatut kantavuudet puolestaan ovat selvästi alhaisemmalla tasolla kuin tiivistyneeltä rengasuralta mitatut kantavuudet.

Kaakkurivaara (2012) selvitti voimalaitostuhkan käyttömahdollisuuksia metsäteiden parannusmateriaalina. Yleisillä teillä tuhkan käyttö on tavallista ja lupamenettelyt vakiintuneita. Metsäteiden osalta tuhka on vähemmän käytetty mm. käytön lainsäädännön ja kuljetuskustannusten vuoksi. Tutkimustietoa aiheesta on myös olemassa vähän. Koetiestönä käytettiin UPM Metsän hallinnassa olevaa tieverkon osaa joka sijaitsee Jämsän kunnan pohjoisosassa. Koetiestön kokonaispituus oli noin kolme kilometriä ja tuhkaa käytettiin yhteensä noin 2000 tonnia. Tieosuuksille sijoitettiin 10 seurantakoealaa, joissa seurattiin kantavuuden muutosta ennen ja jälkeen kunnostuksen. Lisäksi koealoilla rakennettiin raskasmetallien huuhtoutumisen seurantajärjestelmä. Tiestölle asennettiin 54 lysimetriä, joihin kerättiin tuhkakerroksen lävitse kulkeutuvaa vettä. Koealoista kaksi kunnostettiin pelkästään murskeella ja ne jäivät verrokeiksi tuhkakoealoille. Tuhkaa on yhteensä kymmenellä koealalla: kahdella tuhkaa on 0,5 metrin kerros, kahdella 0,25 metrin kerros, kahdella koealalla tuhkaa on sekoitettu murskeeseen suhteella 1/1, kahdella koealalla tuhkan osuus on 1/3 ja murskeen 2/3 ja kahdella tuhkaa on sekoitettu kivituhkaan suhteessa puolet ja puolet.

Kahden vuoden seurannan jälkeen kantavuudessa on havaittu selvää paranemista. Kantavuuden yleinen taso kevätkelirikon aikaan vastaa tilannetta keskikesän aikaan ennen kunnostusta. Kallio-

murskeen ja tuhkan sekoituksella kantavuudesta saatiin hieman parempi kuin murskeella peitetyn yhtenäisen tuhkakerroksen koealoilla. Korkein kantavuus mitattiin kivituhkaa sisältäviltä koealoilta. Tuhkan lisänä käytettävän murskeen määrä oli sama kuin peruskunnostamisen yhteydessä, joten tien kunnostuskustannus nousee tällä menetelmällä korkeaksi. Taloudellinen kannattavuus paranee jos otetaan huomioon tuhkan vaihtoehtoinen kustannus eli kaatopaikkamaksu. Raskasmetalleista havaintoja kertyi runsaasti arseenista, mutta kadmiumpitoisuus jäi alhaiseksi.

3.8 Korjuuyrittäjyys

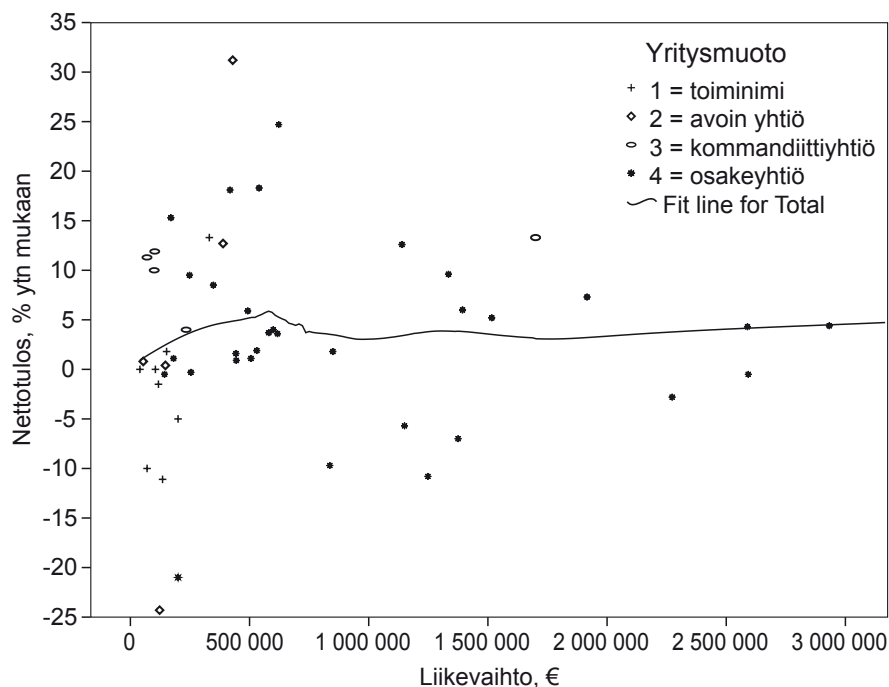
Arto Rummukainen

Koneellinen puunkorjuu alkoi kun maataloustraktorit otettiin 1950–60 lukujen vaihteessa metsäkuljetukseen. 15 vuoden päästä metsäkuljetus oli koneellistettu. Hakkuukoneet tulivat 1970 luvun lopulla ja metsäteollisuuden puunkorjuu oli käytännössä koneellistettu vuosituhannen vaihteessa. Ensimmäiset yrittäjät olivat maaseudun miehiä, jotka pitivät monimutkaiset koneet käynnissä. Luotettavuuden parantuessa ja tietokoneiden tullessa mittaukseen työn laatu muuttui. Ensimmäinen sukupolvi alkoi jäädä eläkkeelle ja samalla yritysten koko alkoi kasvaa.

Koneyrityksiä oli 2000-luvun alkupuolella laskutavasta riippuen 1 000–1 600 kappaletta (Penttinen ym. 2009c). Tilastokeskuksen verotietoihin perustuvien tilastojen mukaan metsäkoneyritysten kannattavuus keskimäärin puolittui vuodesta 2003 vuoteen 2009, poikkeuksena hakkuiden ennätysvuosi 2007 (Penttinen ym. 2011). Pienimmistä, yleensä toiminimenä toimivista yrityksistä lähes puolet teki tappioita, kun voitosta vähennettiin yrittäjän palkaksi koneen kuljettajan tuntipalkkaa vastaava summa. Osakeyhtiöitä oli kaiken kokoisia, mutta kaikki suurimmat yritykset olivat osakeyhtiöitä. Osakeyhtiöt tekivät harvoin tappiota, mutta niiden voittoprosentti jäi myös pieneksi. Vuoden 2001 keskimäärin kuuden prosentin voitto putosi vuonna 2009 kahteen prosenttiin. Suuret yli 600 000 €/vuosi liikevaihdon tehneet yritykset vastasivat hieman yli puolesta koko alan liikevaihdosta vuonna 2007. Yritysten lukumäärästä ne vastasivat reilua neljäsosaa. Yli 600 000 € liikevaihdon yritysten lukumäärä lähes kaksinkertaistui vuodesta 2001 vuoteen 2007, kun pienemmissä liikevaihtoluokissa yritysten lukumäärä pysyi lähes ennallaan.

Paras kannattavuus oli keskikokoisilla yrityksillä liikevaihdoltaan 150 000–600 000 €/vuosi (Penttinen ym. 2009b). Tämä tarkoittaa konemäärinä yhdestä viiteen konetta. Niistä useat olivat avoimia yhtiöitä ja kommandiittiyhtiöitä. Keskimääräinen liikevoittoprosentti oli parhaimmillaan jopa yli 10. Näissä yrityksissä on pari omistajaa, jotka ovat itse mukana työssä, jolloin ulkopuolisten palkkojen osuus jää pieneksi. Jos yritys on pystynyt keräämään riittävän oman pääoman, voittoa on mahdollista tehdä. Toiminta ei ole niin suurella alueella, etteivät yrittäjät itse ehtisi tehdä työjohtoa ja siirtoja.

Viidellekymmenelleyhdelle yritykselle tehdyn kyselyn yritysten vuoden 2009 nettotulos oli 3,5 %. Lapissa tulos oli vähän yli puolet tästä ja Keski-Suomen alueella vielä hieman pienempi. Ylimmillään tulos oli lähellä viittä prosenttia Itä-Suomessa ja Pohjanmaalla. Lapissa olosuhteet ovat muuta maata vaikeammat puiden pienen koon ja vähäisyyden, pitkien matkojen sekä lumisten talven takia, mutta Keski-Suomen heikolle tulokselle ei löytynyt selvää syytä. Nettotulos ei tilastollisesti riippunut yrityksen liikevaihdosta (Kuva 23). Keskimääräiset nettotulokset olivat korkeimmillaan noin 500 000 € liikevaihdon yrityksissä. Vaihtelu oli kuitenkin hyvin suurta.



Kuva 23. Viidenkymmenen yhden haastatellun koneyrityksen nettotuloksen riippuvuus liikevaihdosta. Käyrä on Loessin paikallisesti tasoitettu polynomiregressio. Yritysmuoto 1: toiminimi 2: avoin yhtiö, kommandiittiyhtiö ja 4: osakeyhtiö.

Keskimääräinen nettotulos oli kommandiittiyhtiöillä lähes kolme kertaa suurempi kuin kaikilla yhtiöillä keskimäärin (Taulukko 3). Toiminimillä nettotuloksen keskiarvo oli hieman negatiivinen. Kaksi kolmasosaa yhtiöistä oli osakeyhtiöitä, joiden keskimääräinen nettotulos oli sama kuin kaikilla yhtiöillä yhteensä. Osakeyhtiöitä sitovat muita tiukemmat säännökset, joten niillä oli yleensä toiminta vakaata, esimerkiksi velan osuus liikevaihdosta muita yritysmuotoja pienempi. Tosin osakeyhtiöissä ei nettotuloskaan kohonnut kovin korkeaksi.

Aliyrittäjinä toimineista yrityksistä, joita oli viidennes aineistosta, lähes kaksi kolmasosaa toimi tappiolla. Itsellisinä tai pääyrittäjänä toimineista yrityksistä vain alle kolmasosa toimi tappiolla. Aliyrittäjistä 80 %:lla liikevaihto oli alle puoli miljoonaa, mutta suurimmalla niistä liikevaihto oli peräti 1,7 miljoonaa euroa. Aliyrittäjänä pärjääminen on vaikeaa, mutta huonoa tulosta voivat tehdä myös itsenäiset toimijat. Lähes viidesosa yrityksistä tarjosi hakkuun ja metsäkuljetuksen lisäksi muitakin palveluja, esimerkiksi energiapuun korjuuta, maanmuokkausta, puutavaran kaukokuljetusta tai koneiden huoltopalveluja (Taulukko 4). Näiden yritysten keskimääräinen nettotulos jäi kuitenkin kaikkien yritysten nettotuloksesta. Myös Yksinomaan hakkuuta tai metsäkuljetusta tarjoavien yritysten tulos jäi kaikkien yritysten keskiarvoa pienemmäksi. Parhaiten pärjäävät tarjosivat vain hakkuuta ja metsäkuljetusta.

Taulukko 3. Haastateltujen 51 metsäkoneyrityksen nettotulosten keskiarvo yritysmuodoittain.

Yritysmuoto	Nettotulos, %	Keskihajonta	Yritysten lukumäärä
Toiminimi	-1,5	7,7	8
Avoin yhtiö	4,2	20,2	5
Kommandiittiyhtiö	10,1	3,6	5
Osakeyhtiö	3,6	8,9	33
Keskimäärin / Yhteensä	3,5	10,1	51

Taulukko 4. Haastateltujen 51 metsäkoneyrityksen nettotulosten keskiarvo tarjottujen palveluiden mukaan.

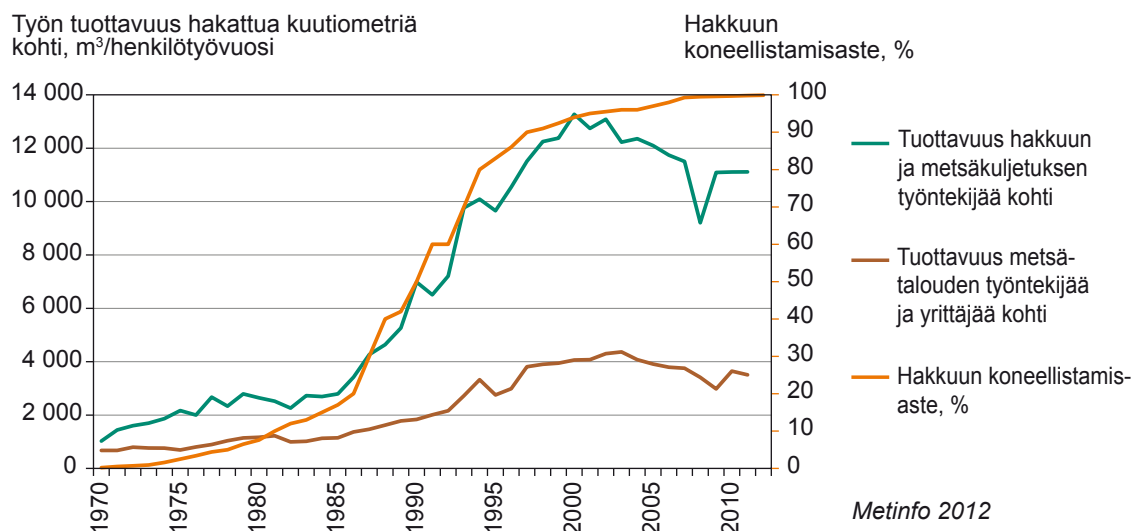
Yritysmuoto	Nettotulos, %	Keskihajonta	Yritysten lukumäärä
Hakkuu	0,8	1,5	2
Metsäkuljetus	1,4	9,1	8
Hakkuu ja metsäkuljetus	4,4	11,3	32
Edellisten lisäksi muita palveluja	2,8	7,8	9
Keskimäärin / Yhteensä	3,5	10,1	51

Rahoituksen merkitystä kuvasi itsestäänselvyys: mitä suurempi omavaraisuus, sen parempi nettotulos. Tosin joku yritys teki tappioita lähes omarahoitteisella toiminnallakin. Toiminnan organisoinnin vaikutusta tulokseen kuvaavat siirtojen järjestäminen ja kaluston koko. Viidesosalla kaikista yrityksistä ei ollut omaa siirtokalustoa, mutta se ei heikentänyt heidän nettotulostaan. Siirtokalustottomia yrityksiä oli toisaalta vain eteläisemmissä osissa maata, missä matkat eivät ole kovin pitkiä ja muutakin siirrettävää löytyy. Kahdella kolmasosalla yrityksistä kalusto oli ”perinteistä keskiraskasta”. Keskiraskaiden lisäksi suurempia tai pienempiä koneita käyttävien yritysten nettotulos oli samaa luokkaa kuin vain yhtä kokoluokkaa käyttävien yritysten.

Yksiselitteistä hyvän tuloksen tekemällä ei haastatteluaineistosta löytynyt. Jokaisen yrittäjän on siis itse luotava olosuhteisiin sopiva organisaatio ja kilpailukykyinen kustannusrakenne. Yritysten laajentamiselle ei myöskään löytynyt selviä kannustimia. Aliyrittäminen oli usein tappiollista. Liikevaihdon järjestelmällinen kasvattaminen tuo toimintaan vakautta, mutta nettotulos jää pieneksi. Muiden työlajien tai toimialojen tarjoaminen pikemminkin heikensi tulosta.

Selviä murroksia olivat vuoden 2007 ennättyshakkuut ja 2009 tapahtunut hakkuiden romahdus. Kotimaan hakkuita lisättiin Venäjän tullimaksukiistojen takia, puun hinta oli korkealla ja yrittäjät investoivat lisää koneita. Pahimmillaan koneet oli vasta toimitettu kun hakkuut hiljenivät dramaattisesti. Heikoimmin varustautuneet yritykset lopettivat (Penttinen ym. 2009a). Metsäteollisuus tiukensi huonon markkinatilanteen takia hankintaorganisaatioitaan. Suurimmat koneyrityksien asiakkaat alkoivat siirtyä alueurakointiin, jossa sama yrittäjä vastaa laajan alueen korjuun kaikista töistä, minkä seurauksena asiakas-organisaatio selviää pienemmällä omalla henkilökunnalla. Energiapuun hankintaa alettiin lisätä voimakkaasti. Näin puukauppaan tuli uusia ostajia, joilla ei ole sidosta perinteisiin metsäteollisuuden organisaatioihin, joten koneyrityksien palveluille tuli uusia ostajia.

Kuljettajien määrällä jaettu hakkuumäärä antaa korjuulle yhdenlaisen tuottavuusluvun. Koneellistaminen ja tietotekniikan tulo mittaukseen ja tiedonsiirtoon nosti tämän tuottavuusluvun vuodesta 1970 vuoteen 2000 jopa yli kymmenkertaiseksi (Kuva 24). Sitten kasvu pysähtyi ja hakkuumäärien vaihtelusta riippuen on jopa laskenut. Tilastot eivät ole kovin herkkiä kuljettajien määrävaihteluille, joten arvio ei yhden vuoden kohdalla ole kovin tarkka. Pääsyyinä tuottavuuden kasvun pysähtymiseen ja laskuun lienee se, että työolosuhteet ovat leimikkorakenteen kannalta heikentyneet. Pienipuustoisimmatkin työmaat tehdään koneilla. Hakkuualueilta on rajattu vesistöjen laitoja, leimikoille jätetään jättöpuita ja ensiharvennusten ennakko-aivaukset jäävät usein tekemättä. Uuden puutavaralajin eli pienikokoisen energiapuun korjuu on hyvin työlästä. Nyt tarvittaisiin merkittävä teknologiahyppy tuottavuuden parantamiseen. Hakkuu- ja kuormaustoimintojen automatisointi ja uudet voimansiirto ja –lähteet, kuten diesel-sähköhybridi, voisivat olla tällaisia tekniikoita.



Kuva 24. Metsätöiden tuottavuuden ja koneellistamisasteen kehitys 1970–2011.

Suuresta kausivaihtelusta johtuen koneet eivät tee niin paljon tunteja vuodessa kuin olisi mahdollista (Rummukainen & Leppänen 2010). Vuotuisille pääomakustannuksille tulee siis vähemmän katetta. Kausivaihtelun vähentäminen parantaisi työntekijöiden työllisyyttä. Suunnittelun ja säätilojen seurannan keinoilla voitaisiin toimintaa ohjata kulloinkin kuljetukset kestävien maaperien leimikoille ja sielläkin kaikkein parhaiten kantaville reiteille (Uusitalo 2013). Toisaalta koneiden kulkukelpoisuutta voitaisiin parantaa lisävarustein ja uusien tekniikoin (Väättäinen ym. 2013).

Vuodesta 2011 työmäärät ovat siis palanneet samalle tasolle kuin ennen vuoden 2009 romahdusta. Jäljelle jääneet yritykset ovat nyt suurempia, yhden yrityksen vuosityömäärä vaihtelee välillä 200 000–500 000 m³. Koneyrittäjien liiton seurannan mukaan yhtiöt tekevät pääosin positiivista tulosta, mutta nettotulosprosentti on pienentynyt koko ajan (Jaakkola 2013). Monet yritykset ovat joutuneet tempuillemaan maksujensa kanssa ja usein yritysten omistajat nostavat ”omaa palkkaansa” pienempänä kuin mitä kuljettajille maksetaan.

Vaikka palkka- ja pääomakulut ovat suurimmat yksittäiset kulutekijät metsäkoneyrityksissä, ovat polttoainekulut kuitenkin nousseet selvimmin. Palkka- ja pääomakuluja kohottaa toiminnan kausiluonteisuus, johon vaikuttaminen tehostaisi toimintaa ja parantaisi taloutta.

Taloudellisesti voitollisen tuloksen tekeminen edellyttää työn tarjoamista kannattavaan hintaan (Bouriaud ym. 2011). Asiakkaat antavat työn edullisimmin tarjoavalle. Oman hankintaorganisaation kustannusten säästämiseksi entistä enemmän tehtäviä annetaan yrittäjille. Vastapainoksi yrittäjiä pidetään strategisina kumppaneina, jolloin toimintaa pyritään kehittämään yhdessä molempien tarpeet huomioon ottaen. Uusia työlajeja voi tulla mukaan, mutta lisätehtävien kannattavuus on syytä pyrkiä analysoimaan etukäteen. Yrittäjän päätehtävä kooltaan kasvaneissa yrityksissä on yrityksen talouden ja työntekijöiden johtaminen. Tässä on tarpeen taloushallinto, joka tukee myös koneyrityksissä tarpeellisten tietojen (esim. tarjouslaskennat, investoinnit, mahdollisesti urakapalkkauksen ja aliyrittäjien korvausten laskeminen) tuottamista, ei ainoastaan verottajaa varten tehtävien tietojen tuottamista. Koneiden tietojärjestelmistä saadaan entistä enemmän tietoa, jota voidaan käyttää myös yritystalouden suunnitteluun ja seurantaan.

Lisätietoa

- Airavaara, H., Ala-Ilomäki, J., Högnäs, T. & Sirén, M. 2008. Nykykalustolla turvemaiden puunkorjuuseen. Metlan työraportteja 80. 46 s.
- Ala-Ilomäki, J. 2013. Spiked shear vane – a new tool for measuring peatland top layer strength. (Piikkisii-pikaira – uusi väline turvemaan pintakerroksen lujuuden mittaukseen). Suo 64(2–3): 113–118.
- Ala-Ilomäki, J., Högnäs, T., Lamminen, S. & Sirén, M. 2011. Equipping a Conventional Wheeled Forwarder for Peatland Operations. *International Journal of Forest Engineering*. Vol. 22. No. 1: 7–13.
- Ala-Ilomäki, J., Lamminen, S., Sirén, M., Väätäinen, K. & Asikainen, A. 2012. Using harvester CAN-bus data for mobility mapping. In: Special issue. Abstracts for international conferences organized by LS-FRI Silava in cooperation with SNS and IUFRO. *Mezzinatne* 25(58): 85–87.
- Anttila, P., Korpilahti, A. & Väätäinen, K. 2012. Puutavaran maantiekuljetusten kehittämissyöntejä Suomessa ja Ruotsissa. *Metsätieteen aikakauskirja* 3/2012: 179–186.
- Arvidsson, P.-Å., Eriksson, I., Erisson, P., Rönqvist, M., Westerlund, A. & Igeklint, P. 1999. Smartare vägval i skotningen – bra för både ekonomi och miljö. SkogForsk. Uppsala. Sweden. Resultat 22.
- Bouriaud, L., Kastenholtz, E., Fodrek, L., Karaszewski, Z., Mederski, P., Rimmler, T., Rummukainen, A., Sadauskienė, 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. (toim.). *Innovation in Forestry – Territorial and Value Chain Relationships*. CAB International, Wallingford, UK. 276–293.
- Carlsson, D., Rönqvist, M. & Westerlund, A. 1999. Extraction of logs in forestry using operations reach and geographical information systems. In: *Proceedings of the 32nd Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, 5–8 January 1999, Maui, Hawaii. IEEE Computer Society.
- Flisberg, P., Forsberg, M. & Rönqvist, M. 2007. Optimization based planning tools for routing of forwarders at harvest areas. *Can. J. For. Res.* 37: 2153–2163.
- Hagström-Näsi, C., Gädda, L. & Tukiainen, P. 2010. Value through Intensive and Efficient Fibre supply (EffFibre). Program Plan, Forestcluster. 67 s.
- Hiltunen, J. 2010. Metsähakkeen vesitiekuljetuksen simulointi Saimaan vesistöissä. Itä-Suomen Yliopisto. Luonnontieteiden ja metsätieteiden tiedekunta. Metsä- ja puuteknologian kandidaatin tutkielma. 25 s.
- Hyvän metsänhoidon suositukset 2006. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. 59 s.
- Högnäs, T., Kumpare, T. & Kärhä, K. 2011. Turvemaaharvennusten korjuukelpoisuusluokitus. Metsätehon tulosalvosarja 3/2011. 10 s.
- Högnäs, T., Kärhä, K., Lindeman, H. & Palander, T. 2009. Turvemaaharvennusten kantavuusluokitus. Metsäteho, Tulosalvo-sarja 17/2009. 24 s.
- Jaakkola, S. 2013. Koneyritysten tulokunto heikko. *Koneyrittäjä* 5: 6–7.
- Kaakkurivaara, T. 2012. Tuhkasta on moneksi – Metla tutkii käyttöä metsäteillä. *Koneyrittäjä* Helmikuu: 8–9.
- Kaakkurivaara, T. & Uusitalo, J. 2011. Kelirikkoaikaisen puunkuljetuksen haasteet – Ratkaisuja metsäteiden kuljetuskelpoisuuden ongelmiin sekä metsäteiden kantavuuden mittaukseen ja kunnostamiseen. Metlan työraportteja 200. 37 s.
- Karttunen, K., Jäppinen, E., Väätäinen, K. & Ranta, T. 2008. Metsäpolttoaineiden vesitiekuljetus proomukalustolla. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Tutkimusraportti ENTE B-177. 54 s.
- Karttunen, K. & Väätäinen, K. 2012. Energiabiomassan vesitiekuljetusketju. *Tieteen tori*. Metsätieteen Aikakauskirja 3/2012. 192–194. <http://www.metla.fi/aikakauskirja/full/ff12/ff123192.pdf>
- Karttunen, K., Väätäinen, K., Asikainen, A. & Ranta, T. 2012. The operational efficiency of waterway transport of forest chips on Finland's Lake Saimaa. *Silva Fennica* 46(3): 395–413.
- Korpinen, O.-J., Föhr, J., Saranen, J., Väätäinen, K. ja Ranta, T. 2011. Biopolttoaineiden saatavuus ja hankintalogistiikka Kaakkois-Suomessa. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Teknillinen tiedekunta. LUT Energia. Tutkimusraportti 12. 108 s.
- Laitila, J. & Väätäinen, K. 2012. Truck transportation and chipping productivity of whole trees and delimbed energy wood in Finland. *Croatian Journal of Forest Engineering* 33(2): 199–210.

- Laitila, J. & Väätäinen, K. 2013. Hakkuutyön tuottavuus metsävarustellulla turvetuotanto- traktorilla karsitun aines- ja energiapuun korjuussa. The cutting productivity in integrated harvesting of pulpwood and delimbed energy wood with a forestry-equipped peat harvesting tractor. Research articles. *Suo* 64(2–3): 97–112.
- Laitila, J., Väätäinen, K. & Asikainen, A. 2013. Comparison of two harvesting methods for complete tree removal on tree stands on drained peatlands. Runko- ja juuripuun sekä latvusmassan yhdistelmä- ja erilliskorjuu ojitetuissa suometsissä. Research articles. *Suo* 64(2–3): 77–95.
- Lamminen, S., Väätäinen, K. & Asikainen, A. 2010. Operational efficiency of the year-round CTL-harvesting on sensitive sites in Finland – A simulation study In: Ackerman, P.A., Ham, H. & Lu, C. (eds.) *Developments in Precision Forestry since 2006. Proceedings of the International Precision Forestry Symposium, Stellenbosch, South Africa, 1–3 March 2010.* Stellenbosch University, p. 18–21. ISBN 978-0-7972-1324-1.
- Lindeman, H., Ala-Ilomäki, J., Sirén, M., Vastaranta, M., Holopainen, M. & Uusitalo, J. 2013. Turvemaan kantavuuden ennustaminen laserkeilausaineistoilla. *Metlan työraportteja* 263. 31 s.
- Nuutinen, Y., Väätäinen, K., Asikainen, A., Prinz, R. & Heinonen, J. 2010a. Operational efficiency and damage to sawlogs by feed rollers of the harvester head. *Silva Fennica* 44(1): 121–139.
- Nuutinen, Y., Väätäinen, K., Asikainen, A., Prinz, R. & Heinonen, J. 2010b. Hakkuukoneen syöttörullien vaikutus rungon prosessoinnin nopeuteen, polttoaineenkulutukseen sekä tukkipuuvaurioihin. *Metsätieteen aikakauskirja* 2/2010: 208–210.
- Pennanen, O. and Mäkelä, O. 2003. Raakapuukuljetusten kelirikkohaittojen vähentäminen. *Metsätehon raportti* 153. 53 s.
- Penttinen, M., Mikkola, J. & Rummukainen, A. 2009a. Miten laman haasteisiin voidaan vastata. *Koneyrittäjä* 6: 27–29.
- Penttinen, M., Mikkola, J. & Rummukainen, A. 2009b. Profitability of wood harvesting enterprises. *Metlan työraportteja* 126. 40 s.
- Penttinen, M., Rummukainen, A., Leppänen, J. & Mikkola, J. 2009. 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.
- Sirén, M., Ala-Ilomäki, J., Mäkinen H., Lamminen, S. & Mikkola, T. 2013. Harvesting damage caused by thinning of Norway spruce in unfrozen soil. *International Journal of Forest Engineering* 24(1): 60–75.
- Sirén, M., Hytönen, J., Ala-Ilomäki, J., Neuvonen, T., Takalo, T., Salo, E., Aaltio, H. & Lehtonen, M. 2013. Integroitu aines- ja energiapuun korjuu turvemaalla sulan maan aikana – korjuujälki ja ravinnetalous. *Metlan työraportteja* 256. 24 s.
- Sorsa, J. 2013. Raakapuun aluskuljetuksen käyttömahdollisuudet Pielisellä. *Opinnäytetyö.* Karelia Ammatikorkeakoulu. 76 s.
- Uusitalo, J. 2013. Kausivaihtelu puunkorjuussa – miten sitä voidaan vähentää? *Koneyrittäjä* 9: 30–31.
- Väätäinen, K., Anttila, P., Laitila, J., Asikainen, A. & Nuutinen, Y. 2014. Aines- ja energiapuun kaukukuljetuksen tulevaisuuden haasteet ja teknologiat. *Metlan työraportteja* 291. 31 s.
- Väätäinen, K., Ikonen, T., Ala-Ilomäki, J., Sirén, M., Lamminen, S. & Asikainen, A. 2012. Kuljettajaa opastavat älykkäät järjestelmät ja niiden käyttö koneellisessa puunkorjuussa. *Metlan työraportteja* 223.
- Väätäinen, K., Lamminen, S., Ala-Ilomäki, J., Sirén, M. & Asikainen, A. 2012. More efficiency with intelligent operator tutoring systems in wood harvesting. In: Special issue. Abstracts for international conferences organized by LSFRI Silava in cooperation with SNS and IUFRO. *Mezzinatne* 25(58): 125–126.
- Väätäinen, K., Lamminen, S., Ala-Ilomäki, J., Sirén, M. & Asikainen, A. 2013. Kuljettajaa opastavat järjestelmät koneellisessa puunkorjuussa – koosta hankkeen avaintuloksista. *Metlan työraportteja* 279. 24 s.

- Väätäinen, K., Ylimäki, R., Lamminen, S., Sirén, M., Ala-Ilomäki, J., Asikainen, A. & Anttila, P. 2011. The potential of intelligent operator assisting systems in different phases of mechanized loggings. In: Kanzian, C., Rottensteiner, C., Holzleitner, F., Pertlik, E., Bohrn, G., Putz, G., Leitner, T., Berkett, H. & Kühmaier, M. (eds.). Pushing the Boundaries with Research and Innovation in Forest Engineering. FORMEC2011 Austria, 44 th International Symposium on Forestry Mechanisation. p. 1–5.
- Ylimäki, R., Väätäinen, K., Lamminen, S., Sirén, M., Ala-Ilomäki, J., Ovaskainen, H. & Asikainen, A. 2012. Kuljettajaa opastavien järjestelmien tarve ja hyötypotentiaali koneellisessa puunkorjuussa. Metlan työraportteja 224. 70 s.

4 Puutavaran mittaus

Jari Lindblad

4.1 Kuormainvaakamittaus

Kuormainvaakojen käyttö on lisääntynyt nopeasti puutavaran kauppahinnan ja työsuoritteiden määrittämisen perusteena olevassa mittauksessa. Kuormainvaaoilla tehtävän mittauksen osuus kokonaismittausmäärästä ei edelleenkään ole suuri, mutta tietyillä puutavaralajeilla ja tietyntyyppisillä puutavaraerillä – muun muassa energiapuun ja pienten kuitupuuerien tapauksissa – kuormainvaaoilla tehtävä mittaus on kasvattanut merkitystään. Kuormainvaakamittaus ja ylipäättän painon mittaukseen perustuvat menetelmät soveltuvat hyvin mitattavuudeltaan haasteellisen energiapuun mittaukseen. Samaa voi sanoa pienistä kuitupuueristä, joille on ollut tarpeen kehittää jouhevaa ja kustannuksiltaan edullista mittausmenetelmää korvaamaan kallista pinomittausta tienvarressa.

Kuormainvaakamittauksen etuna on sen nivoutuminen osaksi puutavaran normaalia käsittelyä korjuun tai kuljetusten yhteydessä. Puutavaran punnitus voidaan tehdä metsätraktorin kuormaimen kiinnitettyllä vaa’alla lähikuljetuksen yhteydessä tai puutavara-auton kuormaimen kiinnitettyllä vaa’alla kaukokuljetuksen yhteydessä.

Kuormainvaakamittausmenetelmässä puutavaran paino voidaan punnita lopullisena mittaus tuloksena. Menetelmään voi sisältyä puutavaran painon muuntaminen todelliseksi kuorelliseksi tilavuudeksi (kiintotilavuus) muuntoluvulla, niin sanotulla tuoretiheysluvulla (kg/m^3). Tuoretiheyslukuja voidaan käyttää myös päinvastoin tilavuuden muuntamiseen painoksi esimerkiksi kaukokuljetusmaksujen määrittämistä varten. Tällöin puutavaran tilavuus on määritetty jollakin puutavaran mittauksessa käytettävällä mittausmenetelmällä ja tämä tilavuus muunnetaan painoksi käyttämällä tuoretiheyslukua

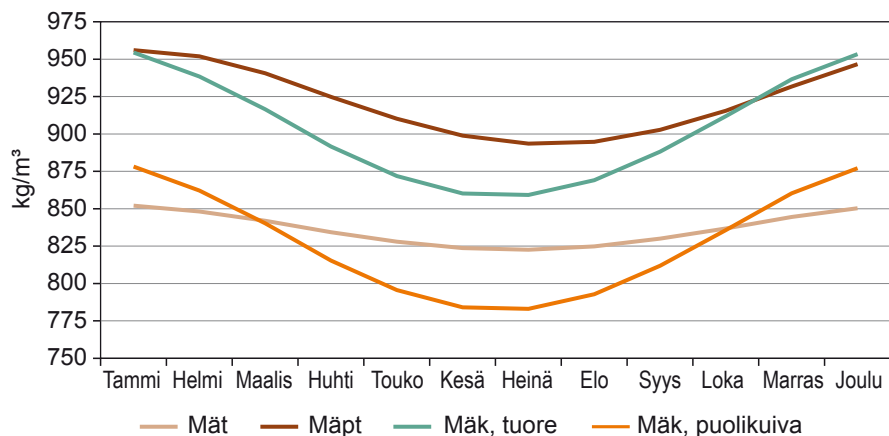
4.2 Tukki- ja kuitupuutavaralajien kuormainvaakamittauksessa käytettävät tuoretiheysluvut

Tuoretiheyslukujen käyttöön perustuvien mittausmenetelmien käytön edellytykseksi nähtiin vuonna 1990 esitettyjen tuoretiheystaulukoiden uudistaminen. Toimintaolosuhteiden muuttuminen, mukaan lukien korjuun ja kuljetusten nopeutuminen, tienvarsivarastointiaikojen lyhentymisen ja puutavaralajien määrän lisääntyminen, olivat luoneet tarpeen tuoretiheyslukujen päivittämiselle.

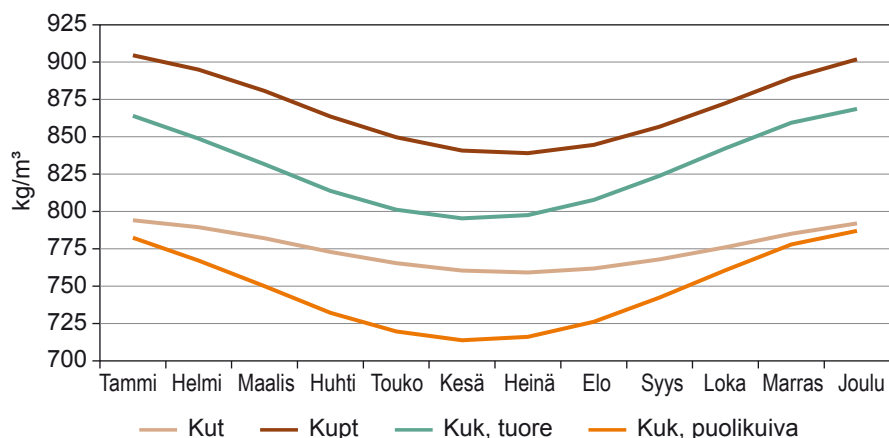
Ajantasaisten tuoretiheystaulukoiden tuottamiseksi toteutettiin kaksi yhteistutkimushanketta, joista ensimmäinen ajoittui vuoteen 2005 ja tämän laajempi jatkohanke vuosille 2007–2009. Suurin osa hankkeiden kestoajasta käytettiin varsin mittavien laskenta-aineistojen hankintaan. Laskenta-aineisto, joka koostui noin 150 000 havainnoista, kerättiin yhteistyössä suurten metsäyhtiöiden, itsenäisten sahojen, puutavaran mittaukseen erikoistuneiden yhtiöiden ja puutavaran kuljetusyritysten kanssa.

Puutavaralajien tuoretiheydet mallinnettiin ajankohdan suhteen maan viidelle eri suuralueelle (Etelä-Suomi, Pohjanmaa, Kainuu-Koillismaa, Lappi ja Ylä-Lappi). Eri puu- ja puutavaralajien

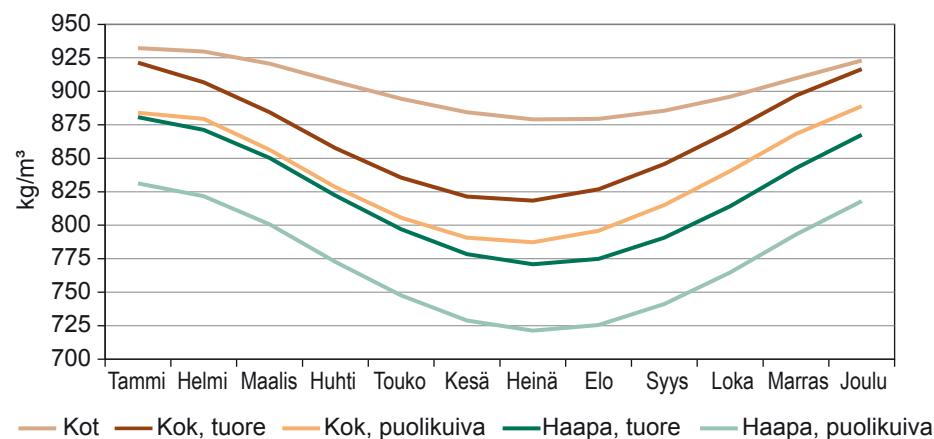
tuoretiheydet kuukausittain Etelä-Suomessa on esitetty kuvissa 25–27. Kuvissa kuukausi tarkoittaa puutavaran toimitusajankohtaa käyttöpaikalle, eli tuoretiheyden tasoon vaikuttavat puu- ja puutavaralajien luontaisen puuaineen tiheyden ja kosteuden vaihtelun lisäksi palsta- ja tienvarsi-varastoinnista aiheutuva tuoretiheyden muutos. Kuitupuu määritellään puolikuivaksi silloin, kun varastointiaika ylittää kuusi viikkoa 1.5.–30.9. välisenä aikana.



Kuva 25. Männyn puutavaralajien tuoretiheys (kg/m³) kuukausittain.



Kuva 26. Kuusen puutavaralajien tuoretiheys (kg/m³) kuukausittain.



Kuva 27. Koivun puutavaralajien ja haavan tuoretiheys (kg/m³) kuukausittain.

Mäntytukin ja mäntypikkutukin tuoretiheydelle on ominaista vähäinen vuodenajoittainen vaihtelu ja kautta linjan melko pienet erot maantieteellisten suuralueiden välillä. Mäntykuitupuulla tuoretiheyden vuodenajoittainen vaihtelu on selvästi suurempaa, mikä johtuu kuitupuun hankinnalle ominaisesta selvästi pidemmästä varastointiajasta tukkipuutavaralajeihin verrattuna. Mäntykuitupuun ja mäntypikkutukin mittavaatimukset ovat lähellä toisiaan ja osittain päällekkäisiä. Tämä näkyy myös samantasoisena tuoretiheytenä talvella, jolloin erot varastointiajassa eivät merkittävästi vaikuta puutavaran kosteuteen eivätkä siten myöskään tuoretiheyteen. Mäntytukilla tuoretiheyden taso oli läpi vuoden selvästi alempi kuin muilla mäntypuutavaralajeilla. Yhtenä syynä tälle voidaan arvioida olevan mäntytukin suuremman sydänpuuosuuden.

Kaikilla kuusen puutavaralajeilla tuoretiheyden vaihtelu alueiden välillä on melko vähäistä. Kuusipikkutukin tuoreiheys on selvästi korkeampi kuin kuusitukin ja samaa suuruusluokkaa kuin tuoreen kuusikuitupuun. Jos tarkastellaan pelkästään hiomokuusikuitupuuta, jonka tuoreusvaatimus on tiukempi kuin selluloosakuitupuun, päädytään kesällä 10–25 kg/m³ suurempiin tuoretiheyksiin kuin kuvan 26 tuoreella kuusikuitupuulla. Kuusitukin tuoretiheyden vuodenajoittainen vaihtelu on vähäistä.

Koivutukilla ja tuoreella koivukuitupuulla tuoreiheys on talvella lähes samalla tasolla. Koivukuitupuun usein selvästi pidemmän varastointiajan vuoksi muina vuodenaikoina tuoreiheys on selvästi alempi kuin koivutukilla. Koivulla puutavaralajien välinen kuivatuoretiheyden vaihtelu on vähäistä, joten erot tuoretiheydessä johtuvat lähinnä kosteuden ja tuoreusasteen vaihtelusta.

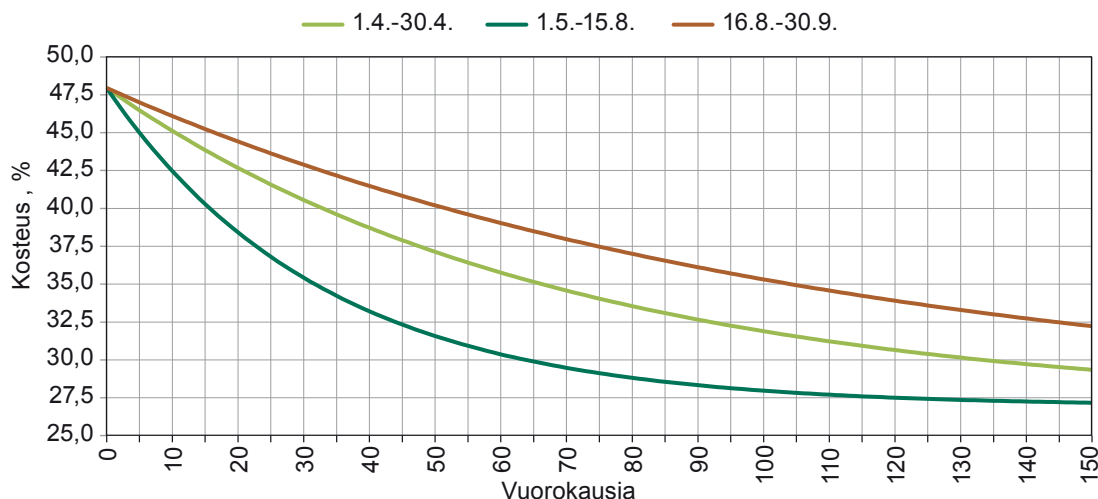
Koivun tuoreiheyslukuja määritettäessä oli otettava huomioon koivulajien esiintyminen. Etelä-Suomessa rauduskoivun osuus on suurimmillaan, kun taas Pohjanmaan soisilla ja karummilla kasvupaikoilla hieskoivun osuus on erityisen suuri. Tunnettua on myös se, että rauduskoivun määrä vähenee etelästä pohjoiseen mentäessä. Tuoreiheys oli etelästä pohjoiseen päin nouseva.

4.3 Latvusmassan kuormainvaakamittauksessa käytettävät tuoreiheysluvut

Kuormainvaakamittaus on käytännössä ainoa käytettävissä oleva mittausten menetelmä uudistushakkuualoilta korjattavan latvusmassan mittaukseen korjuun ja tienvarsivarastoinnin aikana. Energiapuun mittaussoppaassa esitettävät latvusmassan painon ja kiintotilavuuden välisissä muunnoissa käytettävät tuoreiheysluvut perustuvat keskimääräiseen kuiva-tuoretiheyden arvoon (445 kg/m³) ja tavaralajin arvioituun kosteuteen. Kosteusarviot perustuvat varastointiajankohtaan ja varastointiajan pituuteen. Koska kuormainvaakamittaus tehdään metsäkuljetuksen aikana, on varastointiaika hakkuun ja metsäkuljetuksen aikaväli.

Maa- ja metsätalousministeriö ja muut Energiapuun mittaustoimikunnan jäsenorganisaatiot rahoittivat tutkimusta, jonka tavoitteena oli kehittää painon mittaukseen perustuvia energiapuun mittausten menetelmiä. Tutkimuksessa seurattiin latvusmassan palstakasojen kosteuden muutosta todellisilla korjuukohteilla kesällä 2012. Kokeet perustettiin hakkuun aikana ja niitä jatkettiin latvusmassan lähikuljetukseen saakka, tyypillisesti 3–4 viikon ajan.

Ilmatieteen laitos tuottaa soveltavan tutkimuksen tarpeisiin käytettävää säähavaintoaineistoa. Tässä tutkimuksessa säähavaintoaineistoa käytettiin kenttäkokeiden palstavarastoinnin aikana vallinneiden sääolosuhteiden määrittämisen. Latvusmassan tilastomatemattisen kuivumismallin



Kuva 28. Latvusmassan kosteus palstalla varastointiajan suhteen eteläisillä alueilla (Etelä-Suomi ja Pohjanmaa).

laadinnassa käytettiin varastointiajan haihduntasummaa (mm), sadesummaa (mm) ja näiden erotuksena määritettyä nettohaihduntasummaa. Ehdotus tuoretiheysluvuista laadittiin latvusmassan kuivumismallin ja pitkän aikavälin alueellisten säähavaintojen perusteella. Kuvassa 28 on esitetty latvusmassan kosteus varastointiajan suhteen eri ajankohtina Etelä-Suomessa ja Pohjanmaalla.

Latvusmassan uudet tuoretiheysluvut käytännön mittaustoiminnassa otettiin käyttöön 1.7.2013. Keskeinen muutos oli tuoreen latvusmassan tuoretiheysluvun laskeminen. Muutos perustuu tulokseen, jonka mukaan latvusmassan kosteus tuoreena on keskimäärin noin 47 prosenttia, kun aiemmissa tuoretiheysluvuissa tuoreen latvusmassan kosteutena käytettiin 50–55 prosenttia. Muutos tarkoitti kiintotilavuuden mittaustuloksen suurentumista lähes kymmenen prosenttia silloin, kun mittaus tehdään kesäaikana noin viikon kuluessa hakkuusta.

Tulosten perusteella latvusmassa myös kuivuu hitaammin kuin aiemmissa tuoretiheysluvuissa oli oletettu. Samoin tuoretiheysluvuissa on otettu huomioon se, että kuivuminen hidastuu alemmissa kosteuksissa verrattuna aiemmin oletettuun. Tuoretiheystaulukoiden muutokset tarkoittivat latvusmassan kiintotilavuuden mittaustuloksen pienentymistä 8–18 prosenttia, kun hakkuu ja mittaus ajoittuvat kesäajalle ja mittaus tehdään yli kaksi viikkoa hakkuun jälkeen. Yli 2,5 kuukauden varastointiajoille tuoretiheyslukujen uudistaminen ei aiheuttanut muutoksia mittaustulokseen.

4.4 Hakkuukonemittauksen tyviprofiilifunktiot

Hakkuukonemittauksessa ja sen tarkastuksessa runkojen tyviosan läpimitat ja edelleen tilavuus määritetään laskennallisesti. Tyviosalla tarkoitetaan 1,3 metrin pituista rungonosaa kaatosahauksesta lähtien. Tyviosan läpimittojen laskenta tehdään puulajikohtaisilla tyviprofiilifunktiolla. Lähtöarvona funktioissa on 1,3 metrin korkeudelta hakkuukoneen mittausrakenteella määritetty rungon läpimitta. Tyviprofiilifunktiot otettiin käyttöön säädösperusteisina vuonna 2006.

Puutavaran mittaustoiminnassa on havaittu viitteitä siitä, että hakkuukonemittauksessa käytettävät tyviprofiilifunktiot aiheuttaisivat systemaattista mittausrvirhettä. Metsäntutkimuslaitos toteutti tutkimuksen, jossa arvioitiin tyviprofiilifunktioiden oikeellisuutta. Tutkimuksessa käytettiin tukkimittareilla puutavaran vastaanotossa normaalista puusumasta kerättyä aineistoa. Lisäksi kerättiin erillinen tutkimusaineisto, jossa verrattiin kolmea mittausten menetelmää – tukkimittarimittausta, manuaalista saksimittausta ja tyviprofiilifunktioita – tukkien tyviosien mittauksessa.

Taulukossa 5 on esitetty mänty- ja kuusityvitukien tukkimittarilla ja tyviprofiilifunktiolla määritettyjen tyven ensimmäisen metrin tilavuuksien suhteellisen eron keskiarvot ja -hajonnat läpimittaluokittain laajassa puutavaran vastaanottomittausaineistossa. Suhteelliset erot on laskettu tyviprofiilifunktion arvoon nähden eli tyvifunktiolla saatiin kaikissa läpimittaluokissa keskimäärin suurempi tilavuus. Mäntytyvitukeilla kaikkien tukkien tilavuuseron keskiarvot vaihtelivat toimituskohteen ja -vuoden mukaan välillä 4,9–8,4 prosenttia. Kuusella toimituskohteita oli vain yksi. Läpimittaluokkien mukaisista tilavuuseron keskiarvoista on nähtävissä, että männyllä suhteellinen ero pienentyy läpimittaluokan kasvaessa. Kuusella tilavuusero läpimittaluokan mukaan pysyy samalla tasolla, pois lukien suurin läpimittaluokka.

Taulukossa 6 sekä kuvassa 29 on esitetty mänty- ja kuusityvitukien tukkimittarilla mitatut ja tyviprofiilifunktiolla määritetyt tyven ensimmäisen metrin tilavuudet 1,3 metrin kohdalta mitatun läpimitan suhteen. Tässä mittausten menetelmien välillä ei ollut systemaattista eroa tyven tilavuuden määrittämisessä. Systemaattista eroa ei havaittu myöskään manuaalisen saksimittauksen ja tyviprofiilifunktioiden välisessä vertailussa. Sen sijaan systemaattinen ero tyven tilavuudessa havaittiin manuaalisen saksimittauksen ja tukkimittarin välillä.

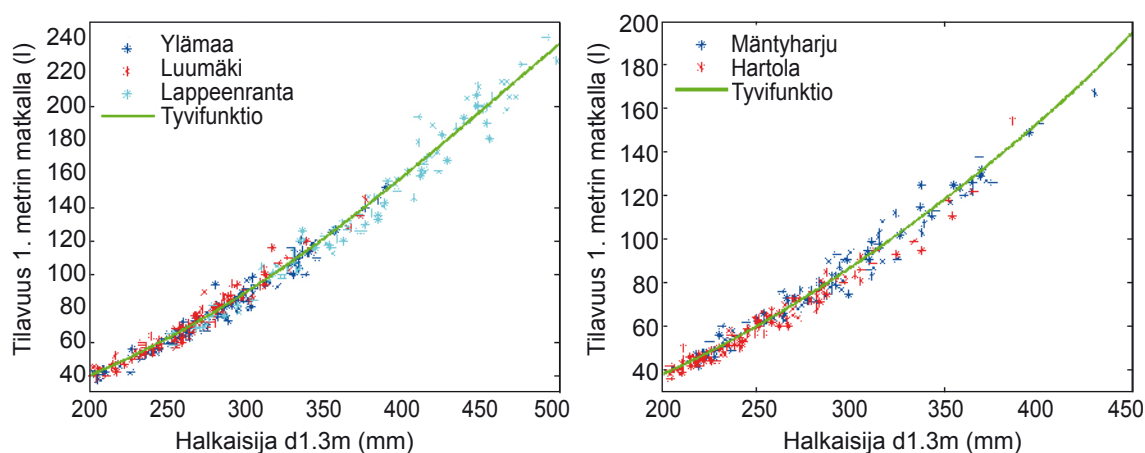
Tutkimusaineiston perusteella tyvifunktioissa ei ole sen tasoista systemaattista virhettä kuin käytännön mittaustoiminnassa ja laajojen vastaanottomittausaineistojen perusteella voitaisiin arvioida. Tutkimuksessa ei kuitenkaan pystytty määrittämään, mistä muista tekijöistä ja millä painoarvolla mittausten menetelmien väliset erot käytännön mittaustoiminnassa johtuvat. Mahdollisuutta tyvifunktioiden systemaattiseen virheeseen ei pystytty sulkemaan pois. Metsäntutkimuslaitos jatkaa mittausten menetelmien mittauseroista ja sisällöstä johtuvien mittaustulosten erojen tutkimista.

Taulukko 5. Mänty- ja kuusityvitukien tukkimittarilla ja tyviprofiilifunktiolla määritettyjen tyven ensimmäisen metrin tilavuuksien suhteellisen eron keskiarvot ja -hajonnat läpimittaluokittain. Suhteelliset erot on laskettu tyviprofiilifunktion arvoon verrattuna.

Läpimitta 1,3 m kohdalta, mm	Mäntytyvitukit				Kuusityvitukit	
	Määrä, kpl	Tilavuusero, %		Määrä, kpl	Tilavuusero, %	
		keskiarvo	keskihajonta		keskiarvo	keskihajonta
100–150	111	-18,5	29,3	1 672	-4,7	11,4
150–200	86 644	-9,5	10,2	204 242	-5,3	8,5
200–250	204 622	-7,7	8,6	490 979	-5,6	8,8
250–300	189 179	-6,0	7,4	324 406	-5,2	8,8
300–350	113 100	-5,4	7,0	161 538	-4,9	8,6
350–400	46 389	-5,5	6,9	36 239	-5,4	8,8
400–450	13 249	-5,8	7,1	3 927	-7,5	9,2
Yhteensä	653 294	-6,9	8,2	1 223 555	-5,4	8,8

Taulukko 6. Manuaalisella saksimitauksella ja tyviprofiilifunktiolla tyven ensimmäiselle metrille määritettyjen tilavuuksien suhteellisen eron keskiarvot ja -hajonnat koeleimikoittain. Erot on laskettu suhteessa tyviprofiilifunktion mittaustulokseen.

Leimikko	Puutavaralaji	Koetyvitukkeja, kpl	Tilavuusero, %	
			keskiarvo	keskihajonta
Mäntyharju	Kuusitukki	118	0,5	5,8
Hartola	Kuusitukki	113	-0,9	6,4
Luumäki	Mäntytukki	118	0,9	5,7
Lappeenranta	Mäntytukki	101	1,7	5,4
Ylämaa	Mäntytukki	127	-0,7	5,6



Kuva 29. Mänty- (vas.) ja kuusityvitukkeiden (oik.) tukkimittarilla mitatut tyven ensimmäisen metrin tilavuudet 1,3 metrin kohdalta mitatun läpimitan suhteen ja tyviprofiilifunktiolla lasketut tilavuudet.

Lisätietoa

- Jahkonen, M., Lindblad, J., Sirkiä, S. & Lauren, A. 2012. Energiapuun kosteuden ennustaminen. Metsäntutkimuslaitoksen työraportteja 241. 35 s.
- Lindblad, J. 2010. Puutavaran tuoretiheystaulukot. Lausunto puutavaranmittauksen neuvottelukunnalle. 20.1.2010. Dnro TME2576. 17 s.
- Lindblad, J., Antikainen, J. & Kilpeläinen, H. 2012. Hakkuukonemittauksessa käytettävien tyviprofiilifunktioiden muutostarpeen määrittäminen. Lausunto puutavaranmittauksen neuvottelukunnalle. 8.7.2012. Dnro 514/62/2012. 21 s.
- Lindblad, J., Jahkonen, M. & Sirkiä, S. 2013. Latvusmassan tuoretiheyslukujen uudistaminen. Raportti Energiapuun mittaustoimikunnalle. 19.3.2013. 16 s.

5 Toimintoperusteisen kustannuslaskennan soveltaminen metsäteollisuuden kannattavuustutkimuksissa

Heikki Korpunen & Jori Uusitalo

5.1 Tausta

Puun arvoketju alkaa kannolta ja päättyy asiakkaalle, ja koko ketjun tehokkuuden arvioimiseksi tarvitaan tietoa sen jokaisesta lenkistä. Runkojen katkonta perustuu puutavaralajien kysyntään ja keskinäisiin arvoihin, ja näiden arvojen selvittämiseksi on tiedettävä millaisia kustannuksia ja tuottoja kukin katkontapäätös aiheuttaa koko arvoketjussa. Puun korjuu ja kaukokuljetus on mallinnettu aiemmissa tutkimuksissa, mutta puun markkinaperusteisia tehdashintoja ei ole ollut julkisesti saatavilla. Metlankin tilastoimat puun markkinahinnat ovat keskimääräisiä lukuja, jotka voivat sisältää esimerkiksi paikallisia hintaspekulointeja, tällöin hintojen läpinäkyvä markkinaperusteisuus ei toteudu. Jotta tehdashintoja ja niiden markkinaperusteisia muutoksia voidaan arvioida kustannuslaskentamalleilla, on tiedettävä miten jalostuslaitosten tuotantokustannukset muodostuvat.

Toimintoperusteinen kustannuslaskenta (activity-based costing, ABC) on kehitetty 1980-luvulla paikkaamaan perinteisten kustannuslaskentamenetelmien heikkouksia. Perinteiset kustannuslaskentamenetelmät on suunniteltu henkilötöyövaltaisten toimintojen kustannusten analysointia varten. Metsäteollisuus, kuten muutkin teollisuudenalat, on jatkuvasti koneellistunut, jolloin henkilötöyöaikaan perustuvat kustannusten kohdistamismenetelmät ovat jääneet auttamatta jälkeen. Virheellinen kustannuslaskenta puolestaan johtaa lopulta virheelliseen hinnoitteluun, mistä seuraa ongelmia kannattavuudessa ja markkinoilla.

Toimintoperusteinen kustannuslaskenta perustuu kolmeen periaatteeseen: 1) yleisesti helppo muokattavuus, 2) tuotanto jaetaan prosesseihin, joille jokaiselle tehdään omat kustannuslaskelmat, 3) kustannukset kohdistetaan tuotteille tai palveluille niiden tuottamiseen kuluvan resurssin mukaan. Toimintoperusteista kustannuslaskentaa on sovellettu verrattain vähän metsäteollisuudessa, vaikka useilla muilla aloilla suuret teollisuusyritykset, kuten Hewlett-Packard ja General Electric, ovat käyttäneet menetelmää onnistuneesti jo vuosia.

”Puun jalostusketjujen arvonmuodostus ja niiden optimointi” -hankkeessa toimintoperusteista kustannuslaskentaa sovellettiin neljässä eri teollisuuslaitostapauksessa. Tutkimuksia rahoitti Metlan lisäksi WoodWisdom-net. Laitosmallinnus tehtiin virtuaalisille greenfield-laitoksille eli tuotannon kustannukset arvioitiin tehtaille, jotka rakennettaisiin uusista laitteista tyhjälle tontille. Mallinnettavat laitostyypit valittiin niiden yleisen taloudellisen merkityksen perusteella.

Ensimmäinen kustannusmallinnus käsitteli havupuusahaa. Sahan kustannuslaskenta toteutettiin laitokselle, jossa vuosituotanto on noin 200 000 kuutiometriä valmista sahatavaraa. Toisena tutkimuskohteena oli kemiallista markkinahavusellua tuottava laitos ja kolmantena paperitehdas. Selutehtaan tapauksessa laskelmat tehtiin noin 600 000 ilmakeivätonnia vuodessa valkaistua markkinahavusellua tuottavalle laitokselle. Paperitehdasmalli kuvaili 300 000 tonnia päällystämätöntä aikakauslehtipaperia vuodessa tuottavan laitoksen. Koska energiapuu on noussut omaksi puutavaralajikseen, myös puun energiakäytön kustannukset mallinnettiin 100 megawatin CHP-yhdistelmävoimalaitoksella.

5.2 Sahauksen ABC-kustannuslaskenta

Sahauksen kustannuslaskentatutkimuksen tavoitteena oli määritellä teollisen sahailaitoksen tuotantoprosessit, määritellä prosessien edellyttämät tuotantoresurssit, selvittää tuotantoresurssien aiheuttamat kustannukset, ja kohdistaa kustannukset tukeille, sahatavaralle, hakkeelle, purulle ja kuorelle. Tutkimuksessa muodostettiin sahan kustannuslaskentamalli, jota testattiin lisäksi kahdella erilaisella sahausaseteella, jotta voitiin selvittää, miten mahdollinen sahatavaran markkina-tilanteen muutos vaikuttaa tuotantokustannuksiin.

Sahan tuotanto jaettiin kahdeksaan tuotantoprosessiin: tukkien vastaanotto, purku ja lajittelu; kuorinta; sahaus ja särmäys; tuorelajittelu ja rimoitus kuivausta varten; kuivaus; laatulajittelu ja paketointi; varastointi ja lähetys asiakkaille; ja alasaha eli hakkeen ja purun käsittely. Tuotantoresurssien täysimääräinen käyttö aiheutti sahalle vuodessa noin 7,1–7,5 miljoonan euron kustannukset. Tuotantoprosesseista suurimmat kustannukset aiheutuivat sahatavaran kuivauksesta, joka vastasi noin 40 prosenttia kaikista tuotantokustannuksista. Tukeille kohdistetut tuotantokustannukset vaihtelivat välillä 18,37–25,11 €/m³, riippuen sahausaseteesta ja tukin dimensioista. Sahatavaran tuotantokustannukset vaihtelivat välillä 30,41–48,96 €/m³, riippuen sahausaseteesta ja sahatavaradimensiosta. Hakkeen ja purun tuotantokustannukset olivat 7,67–8,12 €/m³, ja kuoren tuotantokustannukset olivat 2,79 €/m³. Sahausasetteen muuttaminen siten, että pintalautojen määrää vähennettiin tasaisesti jokaisesta tukkiluokasta, aiheutti 16 % vähennyksen sahatavaran määrään, mutta alensi tuotantokustannuksia noin 4,5 %.

Tulosten perusteella tukkijakaumalla on merkitystä sahauksen kustannusten muodostumiseen, mikä puolestaan heijastuu myös raaka-ainevirtoihin. Tässä tutkimuksessa ei laskettu sahatavaraa saatavia tuottoja, joten täysimääräinen tuotannon arviointi edellyttää mallin päivittämisen myös tuottojen osalta.

5.3 Sellunkeiton ABC-kustannuslaskenta

Sellutehtaan kustannuslaskentatutkimuksessa selvitettiin laitoksen tuotantoprosessit, -resurssit ja -kustannukset. Näiden perusteella muodostettiin kustannuslaskentamalli, jota testattiin laskemalla kustannukset ja tuotot harvennus- ja päätehakkuumäntykuitupuulle. Tuotantokustannukset kohdistettiin mallin avulla kuitupuulle, sellulle, energialle, kuorelle, tärpätille ja raakamäntyöljylle.

Sellutehtaan tuotanto jaettiin kymmeneen prosessiin: puun vastaanotto, purku ja kuorinta; haketus; hakkeen seulonta; hakkeen varastointi; keittoprosessi; sellun pesu; sellun seulonta; happivalikaisu; sellun kuivaus ja viimeistely; ja kemikaalien kierrätys. Tehtaan vuotuiset tuotantokustannukset olivat noin 216 miljoonaa euroa. Kemikaalien kierrätys aiheutti prosessien keskinäisessä vertailussa suurimman osuuden kustannuksista, noin 39 %. Kuitupuun jalostuskustannukset olivat noin 51 €/m³, sellun 134 €/kuivattonni, energiaksi käytettävän massan 119 €/tonni, kuoren noin 0,35–0,5 €/tonni, raakamäntyöljyn 2,79 €/tonni, ja tärpätin 0,17 €/tonni.

Sellun markkinahintana käytettiin 692 €/ilmakuivattonni. Harvennus- ja päätehakkuumäntykuitupuusta tehtyjen massojen nettotuotoiksi saatiin näin ollen noin 269 ja 294 €/ilmakuivattonni. Harvennuskuitupuun tehdashintana käytettiin 41,66 €/m³, jolloin raakapuulle laskettu nettotuotto oli 37,21 €/m³. Päätehakkuumäntykuitupuun tehdashinta oli 38,94 €/m³ jolloin nettotuotto oli 41,74 €/m³. Tulosten mukaan sellun markkinahinnoilla on suurin vaikutus sellunkeiton kannattavuuteen.

5.4 Paperitehtaan ABC-kustannuslaskenta

Paperitehtaan kustannuslaskentatutkimuksessa selvitettiin tuotantoprosessit, resurssit, kustannukset ja tuotot. Tehtaalla määriteltiin olevan kymmenen tuotantoprosessia: puun vastaanotto, purkaminen ja kuorinta; lämpömekaaninen massan (TMP) valmistus; paperimassan valmistus; perälaatikko ja viira; puristus; kuivaus; rullaus; kalanterointi; pakkaus; ja paperin varastointi asiakasta varten. Kuten sellutehtaan kustannuslaskentatutkimuksessa, myös paperitehtaan tapaustutkimuksessa testattiin harvennushakkuukuitupuun ja päätehakkuukuitupuun kustannus- ja tuottovaikutuksia. Puulaji oli paperitehtaan tapauksessa kuusi. Harvennuskuitupuun tehdashintana käytettiin 38,38 €/m³ ja päätehakkuukuitupuun tehdashintana 43,22 €/m³. Paperin markkinahinta oli 590 €/ilmakuivattonni.

Paperitehtaan vuotuiset tuotantokustannukset olivat noin 88 miljoonaa euroa, joista TMP-prosessin osuus oli noin 35 %. Paperin tuotantokustannukset olivat 294 €/ilmakuivattonni, jolloin paperin nettotuotoksi saatiin harvennuskuitupuuta käyttäessä 92,20 ja päätehakkuukuitupuuta käyttäessä 104,47 €/ilmakuivattonni. Kuitupuuta kohti laskettuna jalostuskustannukset olivat noin 305 €/tonni, jolloin harvennuskuitupuun kohdalla nettotuotto oli 52,66 €/m³ ja päätehakkuupuulla 63,23 €/m³. Kuten sellutehtaalla, myös paperin valmistamisen kannattavuuden määrittelee suurelta osin paperin maailmanmarkkinahinta; hintojen ja kysynnän laskiessa vaikutukset ulottuvat myös puunhankintaan.

5.5 CHP-laitoksen ABC-kustannuslaskenta

Sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitoksen kustannuslaskentatutkimuksen tavoitteena oli määrittää energiapuuta käyttävän yksikön tuotantoprosessit, resurssit ja kustannusrakenteet, joiden avulla muodostettiin malli energiapuun kustannusten ja tuottojen laskemiseksi. Mallinnetun laitoksen polttoaineina käytettiin puun (90 % energiasta) ja ruokohelven (10 %) yhdistelmää. Polttoaineyhdistelmä poikkeaa perinteisesti Suomessa käytetystä puu-turve-yhdistelmästä, koska tutkimuksessa haluttiin selvittää nykynormien mukaisten uusiutuvien biopolttoaineiden käytön kustannusrakenne. Laitoksen tuotanto jaettiin neljään prosessiin: polttoaineen käsittely; leijukerroskattila; turbiinilaitos; ja savukaasujen puhdistus. Laskennassa pääoman korkokanta vaihteli kolmen ja kymmenen prosentin välillä. Laitoksen tuotannon huipun käyttöajat olivat joko 4 000, 4 500 tai 5 000 tuntia vuodessa. Energiapuun tehdashintana käytettiin 18,38 €/MWh ja ruokohelven 20 €/MWh. Kaukolämmön myyntihinta oli 54,5 €/MWh ja sähkön myyntihinta 66,8 €/MWh.

Laitoksen vuotuiset tuotantokustannukset vaihtelivat pääoman korkokannan mukaan 10 ja 14 miljoonan euron välillä. Kapasiteetin käyttöaste vaikutti puolestaan raaka-ainekustannuksiin sekä energiasta saataviin tuottoihin ja sitä kautta laitoksen kannattavuuteen. Leijukerroskattila eli varsinainen polttoprosessi aiheutti 46,6 prosenttia laitoksen vuosikustannuksista. Pääoman koron ollessa 5 % ja huipun käyttöajan 4 000 tuntia, laitoksen nettotuotto oli noin miljoona euroa. Huipun käyttöajan noustessa 4 500 tuntiin kasvoi kannattavuus 2,55 miljoonaan euroon, ja 5 000 tunnin käyttöajalla kannattavuus kipusi jo 4,09 miljoonaan. Polttoprosessi ei ollut kannattavaa puulle (-8 €/m³) tai ruokohelvelle (-18 €/tonni) alhaisella huipun käyttötuntimäärällä (4 000 tuntia) ja korkealla pääoman korkokannalla, mutta korkeimmalla huipun käyttötuntimäärällä (5 000 tuntia) ja alimmalla korkokannalla puun polton kannattavuus nousi lähes 20 euroon per kuutio ja ruokohelven 27 euroon per tonni. Ruokohelven kannattavuuden suuri vaihtelu johtui pääasiassa siitä, että toimintaympäristön muutokset vaikuttavat enemmän sen polttoainejakeen kannattavuuteen, jonka

osuus energian lähteenä on pieni. Lopputuotteiden eli sähkön ja lämmön tuotannon kannattavuus riippui laitoksen tuotannon huipun käyttöajasta ja korkokannasta samalla tavalla kuin polttoaineiden kohdalla: korkea käyttöaika ja matala korko johtivat parhaimpaan kannattavuuteen. Yleisesti lämmön tuotanto oli aina kannattavaa, vaihteluvälin ollessa 3,6–15,6 €/MWh, kun taas sähkön tuotannon kannattavuus oli heikompi vaihdellen välillä -22,3–3,6 €/MWh. Energian tuotannon kannattavuus on riippuvainen myös muiden energialähteiden hinnoista ja tuista, jolloin vaikutukset ulottuvat myös puun arvoketjuihin.

5.6 Tulosten soveltaminen

Tulosten mukaan toimintoperusteinen kustannuslaskenta soveltuu hyvin myös metsäteollisuuden käyttöön. Maailmanmarkkinoilla tapahtuvat muutokset vaikuttavat suoraan tai välillisesti puuta jalostavien laitosten talouteen, ja edelleen myös puunhankinnan kautta metsänomistajiin. Esitettyjen kustannuslaskentamallien avulla muutosten vaikutuksia voidaan ennakoida, arvioida ja niihin voidaan varautua.

Edellä mainittuja yksittäisiä tutkimustuloksia voidaan käyttää, kun halutaan mallintaa rungolle, runkojoukolle tai jopa kokonaiselle puunhankinta-alueelle parhaita mahdollisia katkontavaihtoehtoja. Kustannuslaskentamallit ja tulokset mahdollistavat katkonnan perusteiksi puutavaralajiluokille arvot, joissa ei ole markkinaspekulaatioita. Tällöin katkontavaihtoehtojen valintaan vaikuttavat rungon ominaisuudet, leimikon koko, ominaisuudet ja sijainti suhteissa tehtaisiin, sekä laitosten puustamaksukyky. Tuloksia ei voida käyttää täysimääräisesti nykyisillä puukauppatavoilla, koska puun myyjät ja ostajat määrittelevät puukauppatilanteessa tietyt rajat puutavaralajisuhteille, eli täysin vapaa katkonta ei onnistu. Ratkaisuna on ehdotettu runko- tai rungon-osahinnoittelun käyttöä, jolloin katkonta olisi lähes vapaata ja puun jalostusreitit voisi valita markkinatilanteen mukaan.

Lisätietoa

- Korpunen, H., Mochan, S. & Uusitalo, J. 2010. An activity-based costing method for sawmilling. *Forest Products Journal* 60(5). s. 420–431.
- Korpunen, H. & Paltakari, J. 2013. Testing an activity-based costing model with a virtual paper mill. *Nordic Pulp and Paper Research Journal. Nordic Pulp & Paper Research Journal*. 28(1) s.146–155.
- Korpunen, H. & Raiko, R. 2014. Testing Activity-Based Costing to Large-Scale Combined Heat and Power Plant using Bioenergy. *International Journal of Energy Research*. 38(3) pp. 339–349.
- Korpunen, H., Virtanen, P., Dahl, O., Jylhä, P. & Uusitalo, J. 2012. An activity-based cost calculation for a kraft pulp mill. *Tappi Journal*. 11(9). s. 19–27.
- Uusitalo, J., Kivinen, V.-P. & Korpunen, H. 2011. A step towards optimal wood supply chain: A case study on optimal tree bucking in Southern Finland. In: Kanzian, C., Rottensteiner, C., Holzleitner, F., Pertlik, E., Bohrn, G., Putz, G., Leitner, T., Berkett, H. & Kühmaier, M. (eds.). *Pushing the Boundaries with Research and Innovation in Forest Engineering. FORMEC2011 Austria, 44th International Symposium on Forestry Mechanisation*. 10 s.

6 Puutuotteiden ominaisuuksien mittaus- ja lajittelumenetelmät

Jukka Antikainen, Veikko Möttönen & Henrik Heräjärvi

6.1 Tausta

Tutkimusohjelman eri hankkeissa on tutkittu ainetta rikkomattomien eli NDT-menetelmien käytökelpoisuutta puumateriaalien ominaisuuksien määrittämiseen. Tavoitteena on ollut tutkia uusia puunkorjuuseen tai puutuoteteollisuuteen soveltuvia mittausmenetelmiä, joilla puumateriaalin laatua voitaisiin seurata hankinnan tai tuotannon aikana nopeammin, tarkemmin ja kattavammin kuin perinteisillä lajittelumenetelmillä. Tutkitut menetelmät perustuivat mm. äänen- ja ultraäänien sekä optisen taitekertoimen mittaamiseen.

6.2 Sahatavaran lujuuden ennustaminen pystypuumittauksin

Puutuoteteollisuuden näkökulmasta katsottuna metsistä saatavan puuaineen voidaan arvioida tasalaatuistuvan lyhyeen kiertoaikaan tähtäävän metsänhoidon ja jalostetun viljelyaineiston käytön seurauksena. Metsiköiden sisällä puiden välinen vaihtelu on kuitenkin edelleen suurta. Puuraaka-aineen tehokkaan käytön kannalta pitäisi pyrkiä tunnistamaan puuaineen ominaisuuksia mahdollisimman aikaisessa vaiheessa käsittelyketjua. Tällaisia ominaisuuksia ovat mm. puun tiheys- ja lujuusominaisuudet. Anttonen (2010) tutki, kuinka äänennopeuteen perustuva Fibre-Gen -yrityksen valmistama Director ST-300 -laite soveltuu mänty- ja kuusisahatavaran taivutuskimmokertoimen ja -murtolujuuden määrittämiseen. Äänen nopeus mitattiin pystypuista, tyvitukin pintapuusta pituussuuntaisesti noin yhden metrin matkalta väliltä 0,5–1,5 metriä tyveltä. Tutkimuksessa käytettävä aineisto koostui kahdesta erillisestä osa-aineistosta, joista ensimmäinen (pystypuuaineisto) kerättiin VMI-koealoilta kesäkuussa 2009. Ensimmäisen osa-aineiston tulosten perusteella kerättiin tarkemmin analysoitavaksi toinen osa-aineisto (kaatokoepuuaineisto). Kaatokoepuista otettiin tyveltä kaksi kahden metrin pituista tukkia, joista sahattiin ytimeistä pintaan ulottuva saheaineisto sekä tiheysnäytteet. Sahatavarakappaleiden taivutuskimmokerroin ja -murtolujuus määritettiin standardin EN 408 mukaisessa taivutuskokeessa.

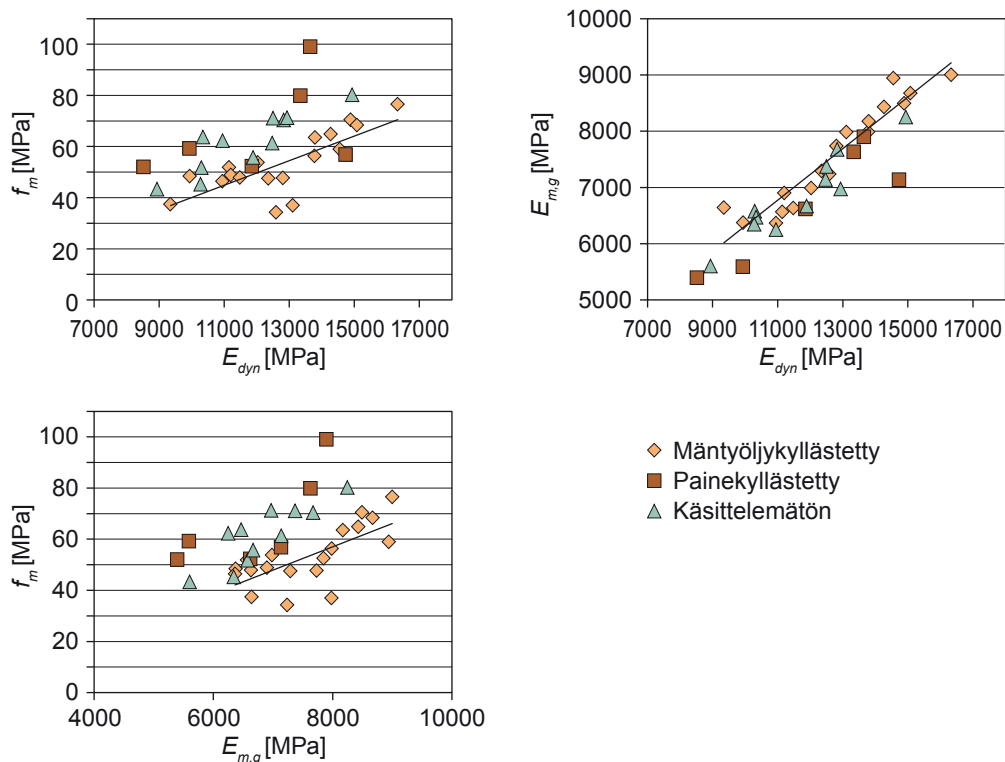
Äänen nopeus vaihteli puun tyvitukin pintaosista tehdyissä mittauksissa välillä 4 300–4 700 m/s siten, että karummilla kasvupaikoilla kasvaneissa puissa äänen kulkunopeus oli keskimäärin suurempi. Puun tyveltä mitatun äänen nopeuden ja puuaineen tiheyden perusteella laskettu tukin dynaaminen kimmokerroin selitti alemmasta tukista saadun sahatavaran lujuuden vaihtelusta lähes 69 %. Ylemmstä tukista saadun sahatavaran lujuuden vaihtelusta rungon tyveltä määritetty dynaaminen kimmokerroin selitti vain runsaat 30 %. Ennusteet olivat tarkempia pinnan läheltä saaduille saheille. Pystypuusta määritettyyn dynaamiseen kimmokertoimeen, rungon kehitysluokkaan sekä rinnankorkeusläpimittaan ja pituuteen perustuvalla regressiomallilla voitiin selittää yli 75 % tyvitukista saadun sahatavaran kimmokertoimen vaihtelusta.

Tutkimuksen tulosten perusteella mittalaitteella on käyttöpotentiaalia männyn ja kuusen ominaisuuksien ennustamiseksi ja puutavaran ohjaamiseksi sopivimpiin käyttökohteisiin. Saatujen tu-

lostien mukaan äänennopeuteen perustuvan dynaamisen kimmokertoimen perusteella voidaan ennustaa puuaineen, etenkin pintapuun, staattista kimmokerrointa sekä murtolujuutta.

6.3 Tolppatuotteiden lujuuden ennustaminen äänennopeuden avulla

Piharakentamiseen tarkoitettujen tolppatuotteiden sekä sähköpylväiden jäykkyyden ja murtolujuuden ennustamista äänennopeuden avulla tutkittiin Fibre-Gen Ltd:n Hitman HM200 ja Director ST300 äänennopeuden mittalaitteilla. HM200 on tarkoitettu tukin tai saheen päädyistä tehtävään koputusmittaukseen kun taas ST300:lla voidaan mitata äänennopeus halutulta väliltä puutavaran tai pystypuun sivusta. Äänennopeuden avulla määritetyn dynaamisen kimmokertoimen ja taivutustestin antaman staattisen kimmokertoimen välillä oli voimakas lineaarinen korrelaatio tolppilla (Kuva 30), mutta pylväillä korrelaatio oli yleensä kohtalaisen heikko (Taulukko 7). ST300-mittalaitteella määritetyt dynaamisen kimmokertoimen arvot ennustivat kuitenkin pylväiden staattista kimmokerrointa selvästi paremmin kuin HM200-mittalaitteella määritetyt arvot. Tolppien jäykkyyden kasvaessa dynaamisen kimmokertoimen arvo kasvoi selvästi voimakkaammin kuin staattisen kimmokertoimen arvo, eli tutkimuksessa käytetty dynaamisen kimmokertoimen laskentakaava ei siltä osin soveltunut lyhyille tolppatuotteille. Dynaaminen kimmokerroin ennusti suhteellisen hyvin myös staattista murtolujuutta käsittelemättömissä ja mäntyöljykyllästetyissä sorvitolpissa, mutta heikosti painekyllästetyissä sorvitolpissa sekä pylväissä (Taulukko 7). Luotettavamman lujuusennusteen saamiseksi äänennopeus tulisi mitata pylväistä koko pituuden sijasta vain murtumiselle kriittiseltä alueelta.



Kuva 30. Murtolujuuden (f_m) riippuvuus dynaamisesta (E_{dyn}) ja staattisesta ($E_{m,g}$) kimmokertoimesta sekä dynaamisen ja staattisen kimmokertoimen välinen riippuvuus mäntyöljykyllästetyissä, painekyllästetyissä ja käsittelemättömissä tolppatuotteissa.

Taulukko 7. Äänennopeus- ja taivutustesteissä mitattujen muuttujien väliset keskinäiset korrelaatiot. f_m = murtolujuus, E_{dyn} = dynaaminen kimmokerroin, $E_{m,g}$ = staattinen kimmokerroin, v = äänennopeus, ρ = ilmakeivatiheys.

	Sorvitolpat						Pylväät					
	Mäntyöljykyllästys ^a		Painekyllästys ^a		Käsittelemätön ^a		Ryhmä 1 ^{a,c}		Ryhmä 2 ^{a,d}		Ryhmä 3 ^b	
	f_m	$E_{m,g}$	f_m	$E_{m,g}$	f_m	$E_{m,g}$	f_m	$E_{m,g}$	f_m	$E_{m,g}$	f_m	$E_{m,g}$
E_{dyn}	0,598	0,891	0,009	0,398	0,741	0,906	0,246	0,124	0,203	0,093	0,238	0,527
v	0,465	0,323	0,013	0,192	0,415	0,533	0,086	0,110	0,076	0,093	0,091	0,335
$E_{m,g}$	0,499	1	0,579	1	0,773	1	0,064	1	0,107	1	0,156	1
ρ	0,074	0,002	0,125	0,203	0,743	0,872	0,297	0,041	0,226	0,027	0,219	0,299

^a = Fibre-Gen Hitman HM200, ^b = Fibre-Gen Director ST300, ^c = pylväiden mittausstandardin EN 14229 mukainen, ^d = standardin EN 14229 vaatimukset eivät täytyneet.

6.4 Liimapalkkien lujuuden ennustaminen ultraäänen avulla

Ultraäänen käyttömahdollisuuksia tutkittiin männystä ja kuusesta valmistettujen liimapalkkien lujuuden ja jäykkyyden ennustamisessa. Palkit koostuivat 8–13 sormijatketusta lamellista ja olivat dimensioiltaan 44×200×3800 mm, 44×300×5700 mm, 70×200×3800 mm ja 70×300×5700 mm. Pintalamellien lujuusluokka oli vähintään C24. Ultraäänen nopeus mitattiin erikseen veto- ja puristuspinnoilta sekä palkin uuman keskivaiheilta. Ultraääni- ja rikkovat taivutustestit tehtiin yhteensä 163 kuusi- ja 91 mäntypalkille. Ultraäänimittauksissa käytettiin Pundit-mittalaitetta (CNS Farnell Ltd., Lontoo, UK) ja taivutustestit tehtiin standardin EN 408 mukaisesti. Mäntypalkkien keskimääräinen ilmakeivatiheys oli 499 kg/m³ ja kuusipalkkien 460 kg/m³.

Veto- eli alapinnan lamellin ultraäänen nopeus korreloi parhaiten kappaleen staattisen kimmokertoimen kanssa. Vetopinnan keskimääräinen ultraäänen nopeus oli kuusella 5302 ja männyllä 4987 m/s. Ultraäänen nopeuden ja puun ilmakeivatiheyden avulla laskettu kappaleiden dynaaminen kimmokerroin oli keskimäärin 8,6 prosenttia korkeampi kuin staattinen kimmokerroin. Dynaamisella kimmokertoimella pystyttiin tässä aineistossa selittämään noin 27 % palkkien staattisen kimmokertoimen vaihtelusta, mutta ainoastaan noin 3 % murtolujuuden vaihtelusta. Tulokset eivät näin ollen kannusta jatkamaan tutkimuksia ultraäänen käytöstä liimapalkkien lujuuslajittelussa.

6.5 Puun lämpökäsittelyolosuhteiden optinen jälkikäteismääritys

Lämpökäsittelyn puun käsittelyparametrien toteaminen jälkikäteen voi olla tarpeen esimerkiksi reklamaatiotilanteessa. Tällöin nousee esiin kysymys, voidaanko esimerkiksi käsittelylämpötila määrittää valmiista tuotteesta otetun näytteen perusteella, ja kuinka kauan käyttökohteessaan olleeseen tuotteeseen tällaista analyysia voidaan soveltaa.

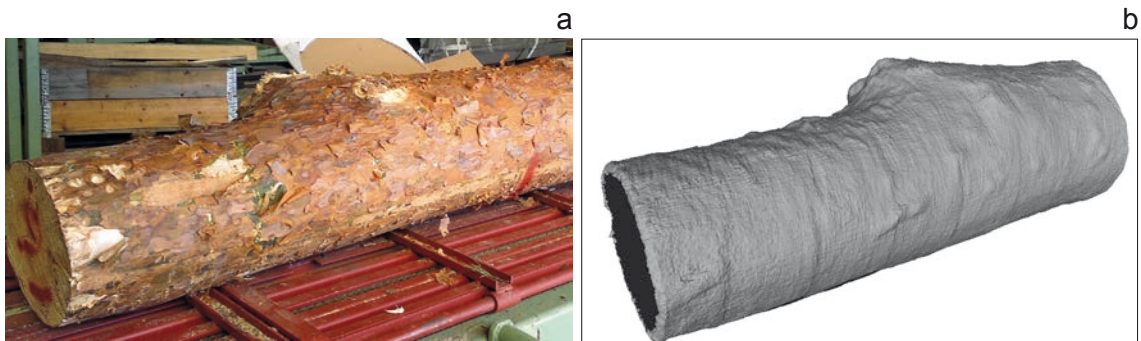
Niskanen ym. (2012) tarkastelivat optisen taitekertoimen soveltuvuutta lämpöpuun käsittelyparametrien jälkikäteismääritykseen. Immersiomenetelmällä mitattava taitekerroin kuvaa aineen optista tiheyttä eli aineen vaikutusta sähkömagneettiseen säteilyyn, ja sen arvo on valonnopeuden suhde väliaineessa etenevän sähkömagneettisen säteilyn nopeuteen. Tutkimuksen aineistona oli mäntylankua, jota oli lämpökäsitelty Thermowood® -prosessilla kolmessa lämpötilassa: 180, 200 ja 230 °C. Lankuista valmistettiin jauhetta, joka kuivattiin ennen optisia mittauksia. Jauhetta sekoitettiin taitekertoimiltaan erilaisiin immersionesteisiin ja valon takaisinsirontaintensiteetti suspensioissa mitattiin itse valmistetulla spektrofotometrillä.

Immersionesteen taitekertoimen ja valon takaisinsirontaintensiteetin yhdistävä tarkastelu osoitti, että lämpökäsittelyn männyn tehollinen taitekerroin kasvaa käsittelylämpötilan kasvaessa. Yleensä tehollisen taitekertoimen kasvu kertoo tutkittavan aineen tiheyden kasvusta. Lämpökäsittelyssä puun huokoisuuden tiedetään kuitenkin kasvavan ja tiheyden alenevan lämpökäsittelyn tuloksena: mitä korkeampi lämpötila, sitä suurempi muutos. Taitekertoimen kasvu käsittelylämpötilan kasvaessa selittyykin sillä, että huokoisempaan rakenteeseen pääsee tunkeutumaan enemmän immersionestettä, jolloin immersionesteen ja suspension taitekertoimet lähestyvät toisiaan. Itse taitekertoimen muutosta selittää selluloosamolekyylien muutos kiteisistä amorfisiksi korkeissa lämpötiloissa. Tämä alentaa ns. kahtaistaitavuutta, ja muutoksen arvioidaan olevan suhteellinen taitekertoimen muutoksen kanssa.

Pienellä aineistolla toteutettu esitutkimus antoi viitteitä siitä, että taitekertoimen avulla voidaan määrittää jälkikäteen lämpökäsittelyn puun käsittelylämpötila. Tarvitaan kuitenkin laajempia testiaineistoja tulosten varmentamiseksi ja mm. sen asian selventämiseksi, voidaanko taitekertoimen avulla identifioida käsittelylämpötilan lisäksi muitakin prosessiparametreja kuten lämpökäsittelyn kestoaikaa. Lisäksi immersionen menetelmä on liian hidaskäyttöinen ja kallis käytännön mittauksiin. Taitekertoimelle tunnetaan myös vaihtoehtoisia mittaamenetelmiä, joilla voitaisiin päästä nopeampaan ja edullisempaan lopputulokseen.

6.6 Tukin kolmiulotteinen mallinnus pienillä pyörösahoilla

Pienillä pyörösahoilla tukin muodon ja siitä saatavat saheet määrittää pääosin sahuri. Pienillä pyörösahoilla tukin muodon ja sahausasetteen määrittäminen perustuu pääosin sahurin ammattitaitoon ja silmämääräiseen arvioon, jolloin tukkien arvosaanto saattaa vaihdella huomattavasti sahurin kokeneisuuden mukaan. Pienten pyörösaurojen sahausmäärät ovat suhteellisen vähäisiä eivätkä käytettävien mittalaitteiden kustannukset saa nousta suuriksi. Silmämääräisen arvioinnin tueksi testattiin uutta Microsoftin Kinect -sensoriin perustuvaa mittaamenetelmää, jonka tuottaman tukin kolmiulotteisen mallin perusteella sauria voidaan opastaa pyörittämään tukkia optimaaliseen asentoon ja optimoimaan sahausasetteet. Nopeutensa ja edullisuutensa vuoksi Kinect-sensori sopii tähän tarkoitukseen erinomaisesti. Kolmiulotteisen mallin mittaus perustuu tiheän pisteparven tulkintaan käyttäen Structured light -menetelmää, jossa kohteen valaisuun käytetyn kuvion (pisteparvi) muoto on ennalta tiedossa. Sensorin sisällä oleva diffraktiivinen hilakomponentti jakaa käytetyn laservalokeilan pisteparveksi, jonka muoto kuvataan sensorissa olevalla kameralla kohteen syvyyskartan mittaamiseksi. Varsinainen kolmiulotteinen malli muodostetaan yhdistämällä tukin eri kohdista mitattuja syvyyskarttoja.



Kuva 31. Mäntykoetukin pääty (a) ja mittausjärjestelmän avulla tuotettu 3D-malli (b).

Menetelmän toimivuutta tukkien mallinnukseen testattiin aluksi tarkoitusta varten rakennetulla telineellä, jossa tukkia voitiin pyörittää hallituissa olosuhteissa. Onnistuneiden testimittausten perusteella menetelmää päätettiin testata myös reaaliympäristössä piensahoja valmistavan yrityksen kanssa yhteensä 16 kuusi- ja mäntytukilla. Aluksi tarkasteltava tukki mitattiin maassa saksimalla, jonka jälkeen se nostettiin sahauspöydälle. Sahauspöydällä tukkia pyöritettiin pituusakselinsa ympäri 360°, jotta koko tukin vaippa saatiin mitattua Kinect-sensorilla. Koska yhden sensorin kuvausalue on rajallinen (Kuva 31), tukkia jouduttiin siirtämään pituussuunnassa kuvausalueen verran, jonka jälkeen tukin pyöritys toistettiin. Tukin kokonaisuuden kuvantamiseen tarvittiin neljä erillistä mittausta, jotka yhdistettiin myöhemmin ohjelmallisesti. Mitatuista malleista määritettiin dimensiot tarkastuspisteissä (tyvi), joita verrattiin saksimittauksista saatuihin tuloksiin. Tällä tavoin saksi- ja sensorimittausmenetelmien keskimääräiseksi mittauseroiksi 16 tukin aineistolla saatiin 1,07 % hajonnan ollessa 0,97 %. Alustavien tulosten perusteella sensorimittausmenetelmä näyttäisi soveltuvan hyvin tukin kolmiulotteisen mallin mittaamiseen. Jos mittauksessa käytettäisiin neljää sensoria samanaikaisesti, saataisiin mittaus tehtyä yhdellä pyöräytyksellä.

Lisätietoa

- Antikainen, J., Verkasalo, E., Heräjärvi, H., Möttönen, V. & Monni, J. 2013. Prediction of bending properties of Scots pine utility poles and small diameter posts using acoustic velocity. In: Ross, R.J. & Wang, X. (eds.). 18th International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium, September 24–27, 2013, Madison, Wisconsin. Conference Guide Book. USDA Forest Products Laboratory and Forest Product, Madison, Wisconsin. p. 85.
- Antikainen, J. & Verkasalo, E. 2013. A real-time 3D modelling for sawing operation in a small circular sawmill. In: Proceedings of the 21st International Wood Machining Seminar, August 4–7, 2013, Tsukuba, Japan. The Japan Wood Research Society, Tsukuba. p. 75–82.
- Anttonen, P. 2010. Kuusen ja männyn puuaineen lujuuden ja jäykkyyden ennustaminen pystypuumittauksiin perustuen eri kasvupaikkatyypeillä. Itä-Suomen yliopisto, Luonnontieteiden ja metsätieteiden tiedekunta, metsätieteiden osasto, metsätieteiden pro gradu-tutkielma. 46 s.
- Möttönen, V., Heräjärvi, H. & Stöd, R. 2013. Behaviour of acoustic velocity in pine oil impregnated, pressure impregnated and untreated wooden posts. In: Van Acker, J. & Van den Bulcke, J. (eds.). Extended abstracts of COST action FP1006 3rd Workshop “Process and Service life modelling”. Ghent University, Ghent, Belgium. 2 p.
- Möttönen, V., Heräjärvi, H., Stöd, R. & Koivunen, H. 2012. Prediction of bending properties of impregnated small diameter scots pine posts using acoustic velocity. In: Baltrusaitis, A. & Ukvalbergiene, K. (eds.). Northern European network for wood science and engineering (WSE). Proceedings of the 8th meeting, September 13–14, 2012, Kaunas, Lithuania. Technologija Kaunas University of Technology, Kaunas, Lithuania. p. 151–162.
- Niskanen, I., Heikkinen, J., Mikkonen, J., Harju, A., Heräjärvi, H., Venäläinen, M. & Peiponen, K.-E. 2012. Detection of effective refractive index of thermally modified Scots pine by immersion liquid method. *Journal of Wood Science* 58: 46–50.
- Stöd, R. & Heräjärvi, H. 2010. Ultrasound measurements of glulam beams to assess bending stiffness and strength. In: Ridley-Ellis, D. & Moore, J. (eds.). Proceedings of COST E53 Final Conference, May 4–7th, 2010, Edinburgh, Scotland. 8 s.

7 Puun pitkäaikaiskestävyys, sen parantaminen ja puutuotteiden kierrätys

Veikko Möttönen, Martti Venäläinen, Anni Harju & Henrik Heräjärvi

7.1 Stilbeenit

Männyn pinta- ja sydänpuu ovat perinteisen kemiallisen ja mekaanisen puunjalostuksen mutta myös biojalostuksen kannalta kaksi hyvin erilaista raaka-ainetta. Merkittävimmän laatueron aiheuttavat sydänpuuhun varastoituvat uuteaineet. Määrällisesti merkittävin uuteaineryhmä ovat terpeenit. Männyn pihka koostuu pääasiassa amorfisista terpeeneistä eli hartsihapoista. Pihkassa mukana olevat herkästi haihtuvat monoterpeenit aiheuttavat mäntypuun tuoksun ja tekevät pinta-puun pihkasta juoksevaa. Terpeenejä on sekä pinta- että sydänpuussa, mutta sydänpuussa niiden määrä on moninkertainen pintapuuhun verrattuna. Toiminnallisesti tärkeämpi ja mielenkiintoisempi uuteaineryhmä ovat fenoliset stilbeenit. Niitä esiintyy vain sydänpuussa, sisäoksissa ja pintapuun vauriokohdissa, mutta ei lainkaan normaalissa pintapuussa. PUU-ohjelman aikana tehdyt tutkimukset keskittyivät stilbeenien muodostumiseen, vaikutukseen ja stilbeenipitoisuuden vaihtelun kuvaamiseen.

Tutkimuksessa kerättiin ja analysoitiin poikkeuksellisen laajoja puunäytesarjoja. Sopivia metsiköitä valittiin metsänjalostuksen jälkeläiskoeaineistosta. Näiden metsiköiden perherakenne tunnetaan, mikä on välttämätöntä perinnöllisen vaihtelun tutkimiselle. Samalla tasaikäiset jälkeläiskoe metsiköt edustavat normaalia varttunutta istutusmännikköä. Luontaisesti syntyneet männiköt valittiin Metlan käytössä olevista Metsähallituksen hallinnoimista tutkimusmetsistä. Tutkimukseen mukaan otetuista puista kerättiin myös siemeniä, joista kasvatetut taimet mahdollistivat tiettyjen ominaisuuksien tutkimisen peräkkäisissä sukupolvissa.

Muinaisista ajoista saakka on tiedetty, että männyn sydänpuu on paremmin kosteutta sietävää ja lahonkestävämpää kuin männyn pintapuuta tai kuusen sydän- ja pintapuuta. Ruotsalaisissa tutkimuksissa päätettiin jo 1940-luvulla, että männyn sydänpuun lahonkestävyys johtuu fenolista uuteaineesta. Yhdiste kuuluu kemiallisesti stilbeenien ryhmään ja sille annettiin nimeksi pinosylviini (PS). Osa pinosylviinistä metyloituu puusolukoissa pinosylviinimonometyylietteriksi (PSM). PS:n ja PSM:n määrälliset suhteet vaihtelevat jonkun verran, ja karkeasti voidaan sanoa, että PSM pitoisuus on noin puolitoistakertainen verrattuna PS pitoisuuteen. Uudet tutkimukset ovat vahvistaneet ja tarkentaneet aiempia tuloksia stilbeenien vaikutuksesta. Puhtaiden stilbeeniyhdisteiden todettiin hidastavan ruskolahottajasisäntien ja bakteerien kasvua laboratorio-oloissa. Sydänpuunäytteillä tehdyt lahotuskokeet osoittivat merkittävän yhteyden puukappaleen massahäviön ja rinnakkaisesta näytteestä mitatun stilbeenikonsentraation välillä. Stilbeenipitoisuudella ei havaittu olevan yhteyttä puun tiheyteen, mutta korrelaatio hartsihappopitoisuuden kanssa on positiivinen. Lopullinen synteesi siitä, mikä on tiheyden ja hartsihappopitoisuuden rooli stilbeenien ohella männyn lahonkestävyyden lisääjänä, muodostetaan myöhemmin tehtävien tilastollisten monimuuttuja-analyyysien pohjalta.

Lahonkestävyyden suora mittaaminen on hidasta, ja toisaalta pitkäaikainen lahotuskoe on altis satunnaisille häiriötekijöille. Siksi luontaista lahonkestävyyttä kannattaa arvioida epäsuorasti puun uuteainepitoisuutta mittaamalla. Puusta otetun näytteen uuttamisella ja uutteen kemiallisella ana-

lysoinnilla päästään hyvään tulokseen. Aiemmissä tutkimuksissa oli jo todettu, että epäspesifisellä Folin-Ciocalteu -menetelmällä määritetty kokonaisfenolipitoisuus ennustaa hyvin männyn sydänpuun lahonkestävyyttä. Yksittäisten yhdisteiden kemiallisessa analysoinnissa käytettävää GC-MS menetelmää kehitettiin Metlassa hankkeen aikana stilbeenipitoisuuden määrittystarkkuuden optimoimiseksi. Sen jälkeen optimoitua menetelmää käytettiin laajojen näytesarjojen analysointiin.

Useiden näytesarjojen kemiallinen analysointi osoitti, että metsiköiden välisellä stilbeenipitoisuuden vaihtelulla ei ole suurta merkitystä verrattuna kunkin metsikön puiden väliseen stilbeenipitoisuuden vaihteluun. Vaihtelu on huomattavasti laajempaa kuin kasvussa tai ulkoisissa laatuominaisuuksissa. Puun käytön kannalta vaihtelu on kiusallista. Materiaali ei ole tasalaatuista ja kestävyydeltään heikot yksilöt pilaavat materiaalin, joka keskimäärin olisi kelvollista. Toisaalta puiden välinen vaihtelu tarjoaa mahdollisuuksia. Jos lahonkestävyydeltään kaikkein heikoimmat yksilöt osattaisiin lajitella pois, pitenisi puurakenteen käyttöikä. Jos taas kaikkein kestävimmit kappaleet lajiteltaisiin erilleen omaksi ositteekseen, saataisiin huomattavasti keskimääräistä kestävämpi puutavaraerä erityistä kestävyyttä vaativiin kohteisiin.

Puiden välisen kestävyysvaihtelun hyödyntämistä mutkistaa osaltaan se, että jokaisen puuyksilön sydänpuun sisällä on systemaattista vaihtelua. Keskimäärin sata vuotta vanhoista Punkaharjun Patosalon siemenpuurungoista tehty analyysi osoitti, että sydänpuun pintaosassa on korkeampi stilbeenipitoisuus kuin sydänpuun sisäosassa. Samoin ilmeni, että jo viiden metrin korkeudella pitoisuudet olivat alhaisempia kuin rinnankorkeudella. Tulokset rungon sisäisestä vaihtelusta ovat yhteneviä aiemmin tehtyjen mittausten ja lahotuskokeiden kanssa. Sydänpuun määrä suhteessa pintapuun määrään lisääntyy puun ikääntyessä, mutta runkojen väliseen sydänpuun määrän vaihteluun on muitakin syitä kuin ikävaihtelu.

Jälkeläiskokeiden puista mitatusta tietyn ominaisuuden vaihtelusta pystytään laskennallisesti erottelemaan perimän ja ympäristötekijöiden aiheuttamat osuudet, koska jälkeläiskokeen puut muodostavat sukulaisryhmiä. Mitä voimakkaammin ominaisuuden vaihtelu johtuu perintötekijöistä, sitä suurempi osuus kokonaisvaihtelusta selittyy sukulaisryhmien välisellä vaihtelulla. Perintötekijöiden aiheuttaman vaihteluosuuden tunnuslukua kutsutaan heritabiliteetiksi ja se voi saada arvoja väliltä 0–1. Tässä tutkimuksessa stilbeenipitoisuudelle saatiin heritabiliteettiä kahdesta aineistosta. Molempia estimaatteja, 0,54 ja 0,73, voi pitää varsin korkeina kasvuominaisuuksien estimaatteihin verrattuna. Tuloksista voidaan päätellä, että tulevaisuuden viljelymänniköiden sydänpuun stilbeenipitoisuutta voidaan nostaa perinteisin metsänjalostuksen keinoin, joita ovat fenotyypin valinta ja risteyttäminen. Kun stilbeenien tuotantoa säätelevät geenit opitaan tuntemaan, voidaan valinta teoriassa kohdistaa suoraan puiden geeneihin.

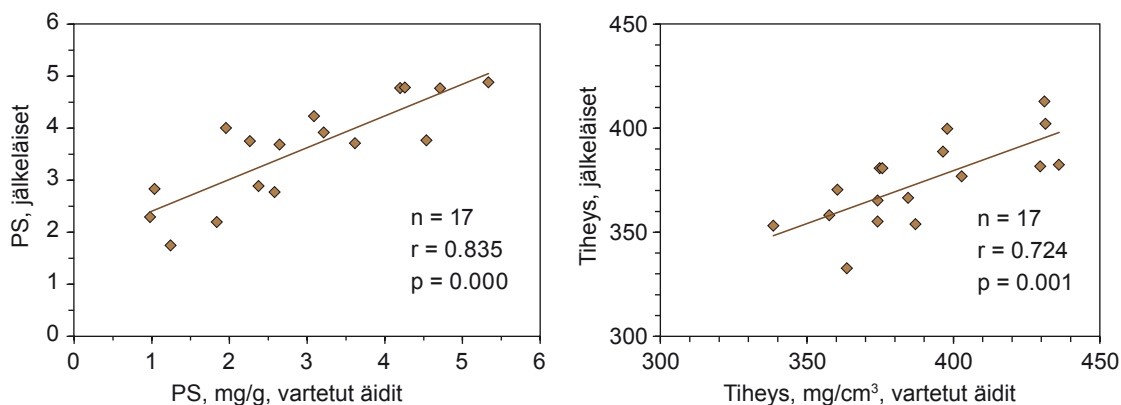
Mikäli nykymetsistä hakattavaa mäntypuutavaraa halutaan lajitella stilbeenipitoisuuden suhteen tai mikäli halutaan tehdä geneettistä jalostusta tulevaisuuden viljelymetsien stilbeenitason nostamiseksi, tarvitaan nykyistä kustannustehokkaampia stilbeenipitoisuuden mittaamenetelmiä. Tarkkaa mutta hidasta kemiallista määrittystä voidaan käyttää referenssinä uusia optisia tai sähköisiä mittaamenetelmiä kehitettäessä.

Jo ennen kuin puuhun alkaa muodostua sydänpuuta, jonka suojaamiseksi puu syntetisoi stilbeenjä, samaiset stilbeenit auttavat puuta puolustautumaan abioottisia ja bioottisia tuhonihoitajia vastaan. Elävän puusolukon puolustautuminen perustuu indusoituvaan stilbeenisynteesiin. Sen voi käynnistää esimerkiksi mekaaninen vaurio tai voimakas säteily. Kun piestä tainta vaurioit-

tiin poraamalla sen varteen reikiä, ensimmäiset merkit stilbeenisynteesin käynnistymisestä havaittiin jo muutamien tuntien kuluttua. Indusoituvan tuotannon voimakkuudessa havaittiin voimakas perinnöllinen vaihtelu. Mikäli myöhemmin varmistuu, että indusoituvan stilbeenuotannon ja sydänpuun stilbeenuotannon voimakkuutta säätelevät geenit ovat samoja, on olemassa ihannepuuta, jotka ovat kasvuvaiheessa kestäviä tuholaisia vastaan ja tuottavat myöhemmällä iällä arvokasta sydänpuuta.

Suomessa on useita laajoja männyn siemenviljelyksiä ja niissä mukana olevien vartekloonien lukumäärä on suuri. Sydänpuunäytteitä kairattiin kahdesta siemenviljelyksestä, minkä jälkeen pluspuuvartteiden sydänpuusta mitattua ja samojen pluspuiden 40 vuotta vanhojen jälkeläisten sydänpuusta mitattua stilbeenipitoisuutta verrattiin. Pitoisuuksien välinen korrelaatio oli merkitsevä (Kuva 32), mistä voi päätellä, että mikäli stilbeenipitoista sydänpuuta tuottavat vartekloonit tunnistettaisiin, niistä voitaisiin kerätä siementä puolustautumiskykyistä metsänviljelyaineistoa varten. Tätä suuren mittakaavan tunnistamistehtävää varten tarvittaisiin nopea ja kustannustehokas stilbeenien mittaumenetelmä.

Kaikki rungon osat, joissa on korkea stilbeenipitoisuus, eivät kelpaa sahatavaraksi (kannot, puru, lahovikaiset ja koroiset rungot, sisäoksat, kävyt jne). Näistä uutettuja stilbeeneitä voidaan kuitenkin ajatella käytettävän esimerkiksi männyn pintapuun tai pinta- ja sydänpuuta sisältävien kappaleiden kyllästämiseen. Koska stilbeenien puhdistaminen raakauutteesta on kallis prosessi, kokeiltiin edullisemmalla raakauutteella saatavaa kyllästysvaikutusta. Kolmella lahottajasiennellä tehdyissä laboratorikokeissa havaittiin, että raakauutteella painekyllästetyt männyn pintapuukappaleet lahosivat huomattavasti hitaammin kuin verrokkikappaleet. Tulos on merkittävä askel luonnonainepohjaisten kyllästeaineiden kehittämisen suuntaan.



Kuva 32. Siemenviljelyksillä vartteina kasvatettujen emopuiden sydänpuun pinosylviinipitoisuuden (PS) korrelaatio maastokoealalla kasvavien jälkeläisten pinosylviinipitoisuuden kanssa (vasemmalla). Emopuiden sydänpuun tiheyden korrelaatio jälkeläisten tiheyden kanssa (oikealla) (Partanen ym. 2011).

7.2 Mäntyöljy

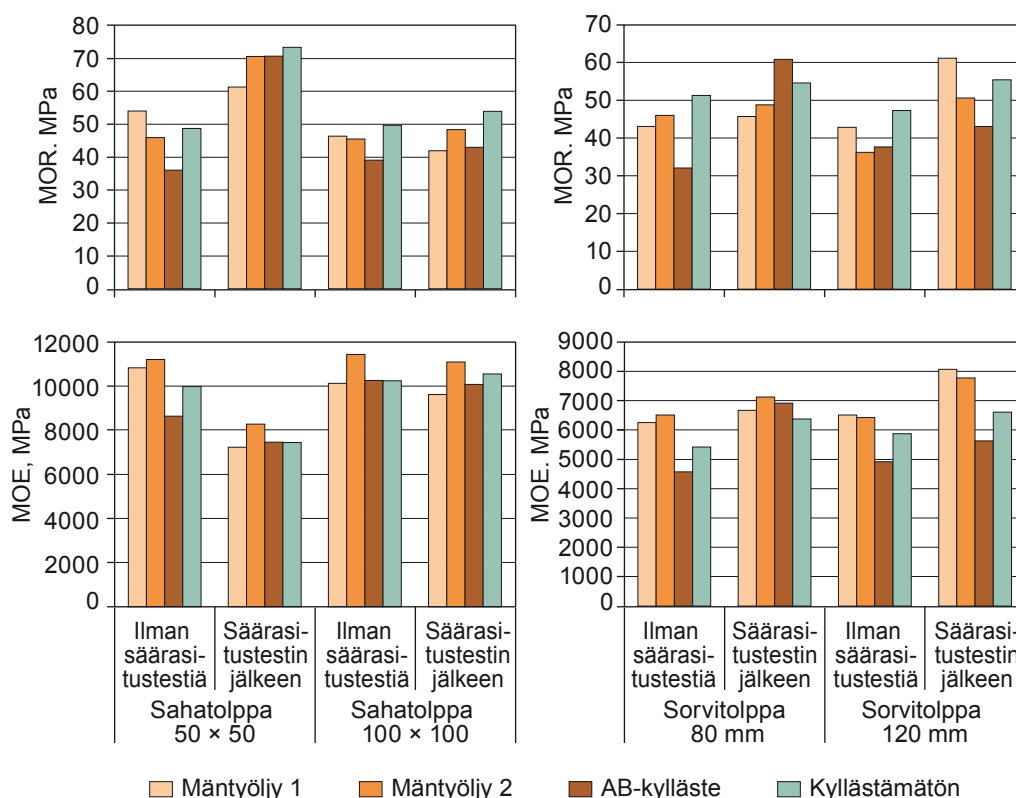
Puun lahonsuojaukseen pyritään löytämään ympäristöystävällisiä vaihtoehtoja yleisimmin käytettyjen kuparisuola- ja kreosoottikyllästeiden tilalle, koska niiden teho perustuu biosidisiin eli mikrobeille ja muille eliöille haitallisiin ominaisuuksiin. Puuta voidaan käyttää ilman biosideillä tehtyä lahonsuojaustakin jos sen kosteussuhde voidaan pitää lahottajamikrobeille sopivan tason eli noin 26–32 %:n alapuolella. Puun kosteuden pitäminen alhaisena voidaan toteuttaa joko välttämällä sen vesi- ja maakosketus tai estämällä veden tunkeutuminen puuhun. Mäntyöljytutkimus oli osa Metsäntutkimuslaitoksen Itä-Suomen alueyksikön, Ekopine Oy:n ja Lameco LHT Oy:n yhteishanketta ”Pienpuuhun perustuvien liimattujen rakennetuotteiden ja piha- ja ympäristörakentamisen tuotteiden ominaisuudet”. Tutkimuksen lähtökohtana oli, että kyllästys mäntyöljypohjaisilla aineilla yhdessä lämpökäsittelyn kanssa voisi olla biosidejä korvaava ja niitä ekologisempi vaihtoehto, jolla voitaisiin lisätä puun hydrofobisuutta eli vedenhylkivyyttä. Mäntyöljykyllästys voisi soveltua hyvin mm. sellaisiin piha- ja ympäristörakentamisen tuotteisiin, joissa hyödynnetään oksaista, tiheydeltään suhteellisen alhaista ja vähän sydänpuuta sisältävää pienpuumateriaalia. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää erilaisten mäntyöljyllä ja perinteisellä painekyllästyksellä tehtyjen lahonsuojauksikäsitteilyiden vaikutukset pienpuuraaka-aineesta valmistettujen tolppatuotteiden ja sahatavaran mekaanisiin ominaisuuksiin, säänkestoon, sekä maa- ja vesikosketuksessa tapahtuviin muutoksiin.

Aineistona käytetyt tyvitukit kerättiin pääosin nuoren kasvatusmetsikön ensiharvennuksesta. Tukit sahattiin nelikulmaisiksi (läpimitat 50x50 mm ja 100x100 mm) tai sorvattiin pyöreiksi (halkeaisijat 80 mm ja 120 mm), ydinkeskeisiksi tolppa-aihioksi. Aihion tyviosa muodosti varsinaisen tolppatuotteen, tyviosan yläpuolelta katkaistiin maalahoituskappale ja aihion latvaosasta valmistettiin astialahoituskappaleet. Lisäksi sahattiin mitoiltaan 25x100 mm ja 25x150 mm sahatavaraa, jota käytettiin vesiupotus- ja sääkaappikokeiden testikappaleiksi valmistettujen liimapalkkien uumassa (keskiosassa). Tolppatuotteille ja maalahoituskappaleille tehtiin kaksi erilaista mäntyöljykyllästystä sekä normaali AB-luokan painekyllästys, joiden lisäksi aineistoon kuului verrokkiryhmä kyllästämättömiä tuotteita. Mäntyöljykyllästeet erosivat teknisesti toisistaan siten, että mäntyöljy 1:n viskositeetti oli korkeampi eli se oli ”paksumpaa” kuin mäntyöljy 2. Tolpat jaettiin ositteittain kolmeen testiketjuun: 1) taivutustesti, 2) säärasituskoe + taivutustesti ja 3) kellarilahotuskoe + taivutustesti. Testiketjujen 1 ja 2 tolppatuotteista määritettiin pääty- ja sivuhalkeamat, taivutuslujuus ja -kimmokerroin (standardi SFS-EN 408), sekä murtuman ensisijainen aiheuttaja. Kellarilahotuskokeessa testikappaleet ja sivulaudat upotettiin keskikohdaltaan multa-seokseen (Venäläinen ym. 2014). Maalahoituskokeessa testikappaleet upotettiin maahan siten että niistä noin puolet jäi maanpinnan yläpuolelle. Lahon etenemistä kappaleissa seurataan säännöllisin väliajoin ja kokeiden tulokset valmistuvat vasta viimeisten kokeiden päätyttyä. Eri tavoin lahonsuojattujen liimapalkkien vedenkestävyyttä tutkittiin vesiupotus- ja säärasituskokeilla (Herjälä ym. 2012, 2014).

Taivutustestien perusteella mäntyöljykyllästys heikensi tolppatuotteiden murtolujuutta hieman kyllästämättömiin tolppatuotteisiin verrattuna (Kuva 33). Todennäköinen syy murtolujuuden heikkenemiselle on kuuman mäntyöljykyllästyksen yhteydessä tapahtuva puun kuivuminen korkeassa lämpötilassa, joka aiheuttaa fysikaalisia ja kemiallisia muutoksia puun rakenteessa ja rakennekomponenteissa. Lujuuden heikkeneminen mäntyöljykyllästyksessä on verrattavissa lämpötilan lujuutta heikentävään vaikutukseen puutavaran kuivauksessa ja lämpökäsittelyssä. Testikappaleet murtuivat lähes poikkeuksetta oksakiehkuran tai ison oksan kohdalta, joita pienpuuraaka-aineessa on runsaasti. Mäntyöljykäsiteltyjen tolppatuotteiden taivutuskimmomoduuli oli suurempi kuin

kyllästämättömien ja painekyllästettyjen tolppatuotteiden taivutuskimmoduuli. Taivutuskimmoduuli erosi myös mäntyöljykyllästysten välillä ollen hieman suurempi pienemmän viskositeetin mäntyöljyllä kyllästetyillä tolvilla. Lujuusarvojen laskennassa ei käytetty standardin mukaista kosteuskorjausta, koska erityisesti painekyllästettyjen tolppien kosteussuhde oli niin suuri, että kosteuskorjaus olisi antanut selvän yliarvion niiden lujuudesta. Säärasituskokeen aiheuttama halkeilu ja siten myös sen syy murtumisessa lisääntyi painekyllästetyissä ja kyllästämättömissä testikappaleissa (Taulukko 8). Mäntyöljykyllästys siis parantaa puutuotteiden dimensiopysyvyyttä ja sitä kautta vähentää halkeiluherkkyttä.

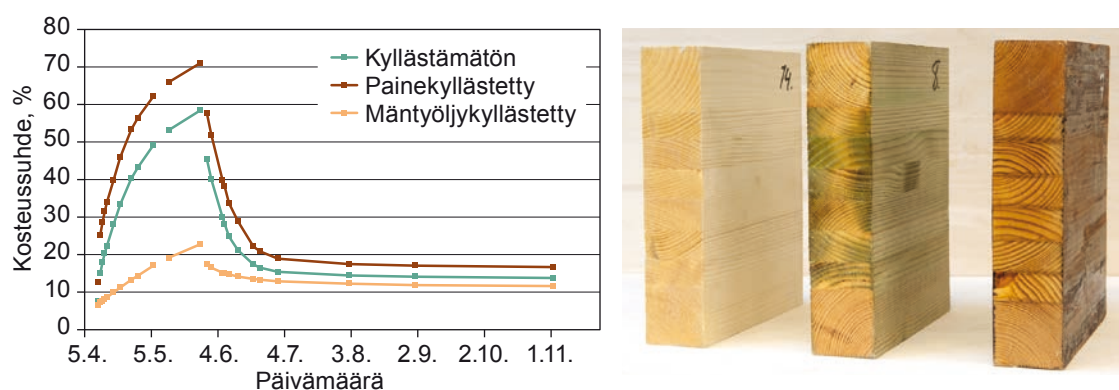
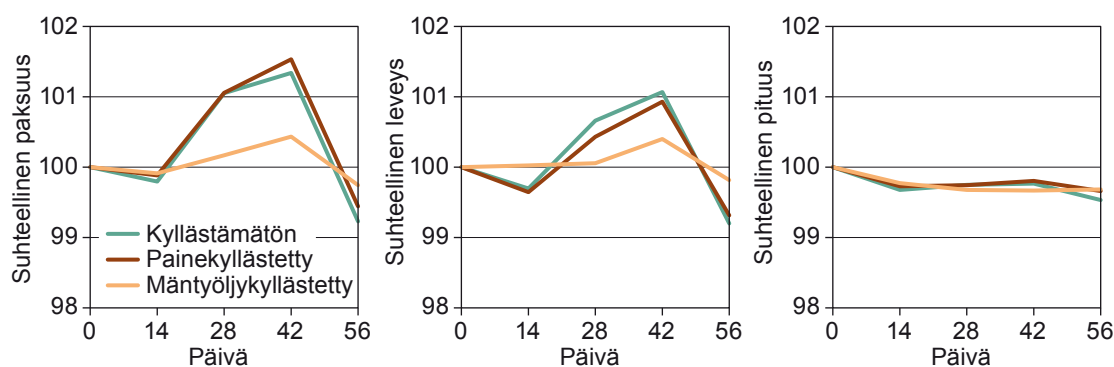
Vesiupotuskokeessa veden imeytyminen liimapalkkeihin oli selvästi vähäisempää mäntyöljykyllästetyissä testikappaleissa kuin kyllästämättömissä tai painekyllästetyissä testikappaleissa (Kuva 34). Absorptiovaiheen alhaisemmasta kosteussuhteesta johtuen mäntyöljykyllästetyt testikappaleet myös kuivuivat kyllästämättömiä ja painekyllästettyjä testikappaleita nopeammin alle 20 %:n kosteussuhteen vesiupotuksen jälkeisessä tasaannutusvaiheessa (T 20 °C, RH 65 %). Säärasitustestissä mäntyöljykyllästettyjen testikappaleiden dimensio-, massa- ja tiheysmuutokset olivat selvästi pienempiä kuin kyllästämättömien ja painekyllästettyjen testikappaleiden vastaavat arvot (Kuva 35). Tulosten perusteella mäntyöljykyllästys voisi soveltua puun lahonsuojaukseen kyllästämättömä tai painekyllästettyä puuta paremmin erityisesti sellaisissa kohteissa, joissa ilmankosteuden vaihtelu on suurta tai joissa puu voi ajoittain olla vesikosketuksessa.



Kuva 33. Eri tavoin käsitellyjen tolppatuotteiden taivutusmurtolujuus (MOR) ja -kimmomoduuli (MOE).

Taulukko 8. Sivuhalkeamien koko eri tavoin käsitellyissä tolppatuotteissa.

Tuote	Mäntyöljy 1 Mäntyöljy 2 AB-kylläste Kyllästämätön					
	Halkeaman keskimääräinen koko, mm					
Sorvitolppa 80 mm	Ilman	Pituus	333	714	683	794
	säärasitustestiä	Leveys	0,40	0,22	0,36	0,40
	Säärasitustestin jälkeen	Pituus	320	650	517	683
		Leveys	1,73	3,81	10,13	4,52
Sorvitolppa 120 mm	Ilman	Pituus	201	233	381	1 174
	säärasitustestiä	Leveys	0,70	0,54	0,60	0,48
	Säärasitustestin jälkeen	Pituus	837	1 074	897	1 087
		Leveys	2,20	4,04	2,57	7,48
Sahatolppa 50 × 50 mm	Ilman	Pituus	349	477	0	-
	säärasitustestiä	Leveys	3,20	3,58	0	-
	Säärasitustestin jälkeen	Pituus	290	455	682	401
		Leveys	1,73	3,93	2,28	2,68
Sahatolppa 100 × 100 mm	Ilman	Pituus	1 221	-	-	-
	säärasitustestiä	Leveys	4,60	6,28	0,95	-
	Säärasitustestin jälkeen	Pituus	1 231	1 604	1 807	1 953
		Leveys	4,77	5,85	4,47	9,34

**Kuva 34.** Eri tavoin käsiteltujen liimapalkkikappaleiden kosteussuhteen muutos vesiupotuksen ja sitä seuranneen tasaannusjakson aikana (vas.) sekä mallikappaleet (oik.).**Kuva 35.** Eri tavoin lahonsuojäksiteltujen liimapalkkikappaleiden dimensiomuutokset säärasitustestissä.

7.3 Puristus- ja lämpömodifiointi

Metlan, Puumiesten ammattikasvatussäätiön ja Korwensuun konetehtä Oy:n yhteisrahoittamassa hankkeessa (2012–2014) tutkitaan puun ominaisuuksien muokkaamista puristus- ja lämpömodifioinnin avulla. Tutkimuksen lähtökohtana oli kotimaisten valtapuulajiemme puuaineen suhteellisen alhainen tiheys, joka rajoittaa niiden käyttöä erityisesti kovuutta ja kulutuskestävyyttä vaativissa tuotteissa, kuten lattia- ja huonekalutuotteissa. Huokoisena materiaalina puun tiheyden kasvattaminen on mahdollista puristamalla, jolloin huokostila pienenee solujen litistytessä. Puristamiseen vaaditaan kosteutta ja lämpöä; kostea puu alkaa pehmetä 100–150 °C:ssa, kun lähestytään sen rakennekomponenttien lasisiirtymälämpötilaa. Tämän tutkimuksen tavoitteena oli tutkia puun tiheyden lisäämistä ja sen vaikutusta haapa- ja koivusahatavaran ominaisuuksiin teollisen mittakaavan puristus- ja lämpömodifiointilaitteistolla.

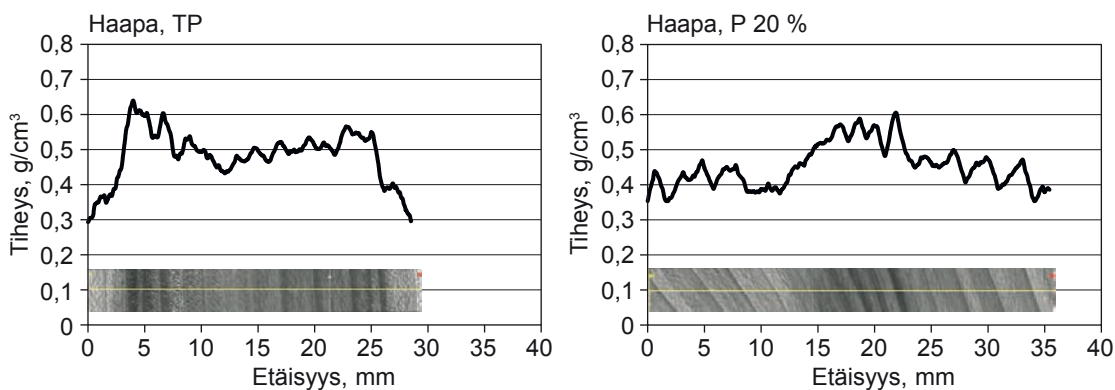
Muuttujina modifiointikäsitelyissä olivat puulaji, puristusaste, puristuksen aloitusvaihe, sekä lämpökäsittely (Möttönen ym. 2013). Puristusasteella tarkoitetaan paksuuden pienenemistä (%) tuoreen sahatavaran nimellispaksuudesta puristuksen jälkeiseen tavoitepaksuuteen. Modifioidusta sahatavarakappaleista määritettiin tai tullaan määrittämään tiheys, paksuuden suuntainen tiheysprofiili röntgenanalyysillä, saavutettu puristusaste, dimensiopysyvyys olosuhdekaappikokeessa, taipuskimmomoduuli ja -murtolujuus sekä värinmuutos eri syvyyksillä lankun profiilissa. Tavoitepuristusasteet, koivulla 10 % ja haavalla 30 %, toteutuivat kun puristus aloitettiin sahatavaran ollessa tuoretta. Tällöin sahatavaran tiheys kasvoi koivulla keskimäärin 16,1 % ja haavalla 51,6 %. Kun puristus aloitettiin vasta 20 %:n kosteussuhteessa, tiheyden kasvu oli erityisesti haavalla selvästi pienempi, vain 12,5 %. Tiheyden kasvu tehostui koivusahatavaralla edelleen, kun modifiointiprosessi sisälsi lämpökäsittelyn. Tällöin tiheys kasvoi tuoreena aloitetussa puristuksessa enimmillään 21,3 % modifioimattomaan sahatavaraan verrattuna. Puristettujen kappaleiden pinnan muoto oli pituussuunnassa lievästi kaareva, minkä arvioidaan johtuvan keskiosan suuremmasta palautumisesta välittömästi puristuksen jälkeen. Tuoreena puristus aiheutti sahatavaraan enemmän halkeilua kuin puristus esikuivauksen jälkeen. Sahatavaran halkeilu oli haavalla voimakkaampaa kuin koivulla, mikä johtui todennäköisesti haavan suuremmasta puristusasteesta (Taulukko 9).

Taulukko 9. Puristumista ja halkeilua kuvaavat tunnusluvut eri modifiointikäsitelyissä. TP = puristettu aloitettu tuoreena, P 20 % = puristus aloitettu 20 %:n kosteudessa, LK = lämpökäsittely.

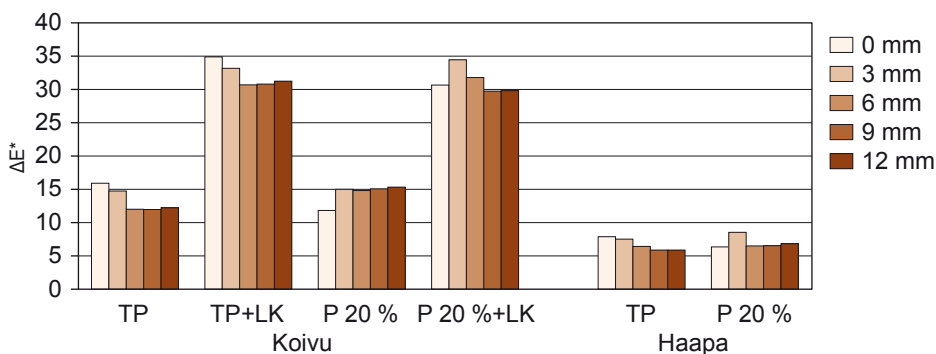
Käsittely	Toteutunut puristusaste, %	Poissonin suhde	Pintahalkeamat		Päätyhalkeamat		Sisähalkeamat	
			Keskim. mm	Max. mm	Keskim. mm	Max. mm	Keskim. mm	Max. mm
Koivu TP	9,6	-1,17	1,01	11,0	1,01	6,0	1,22	3,0
Koivu TP + LK	12,5	-0,92	0,57	5,0	0,32	3,0	0,13	2,0
Koivu P 20 %	7,7	-1,53	0	0	0	0	0	0
Koivu P 20 % + LK	10,7	-1,23	0	0	0	0	0,35	2,0
Haapa TP	27,3	0,22	30,75	200,0	8,96	21,0	0,89	5,7
Haapa P 20 %	8,0	-0,7	15,70	84,0	10,94	23,0	1,01	5,3

Sahatavaran paksuuden suuntainen tiheysprofiili erosi modifioinnin jälkeen sekä puulajien välillä että käsittelyiden välillä. Koivulla tiheysprofiili oli tyypillisesti tasainen läpi koko paksuuden. Haavalla havaittiin noin 3–5 mm:n paksuiset tihentymät pinnan läheisyydessä kun puristus aloitettiin sahatavaran ollessa tuoretta ja 5–15 mm:n paksuiset tihentymät kappaleen keskiosassa kun puristus aloitettiin 20 % kosteudessa (Kuva 36). Näissä tihentymissä tiheys oli jopa 40–45 % suurempi kuin käsittelemättömässä puussa. Puristuma on siis suurempi pinnan lähellä silloin, kun kosteus on jakautunut kappaleessa puristuksen aikana tasaisesti, mutta muuttuu sahatavaran kuivumisen edetessä siten, että kosteampaana pidempään pysyvä keskiosa puristuu enemmän. Alustavasti näyttää siis siltä, että puutuotteiden ominaisuuksien parantamisen kannalta päästään edulliseen lopputulokseen kun puristus aloitetaan tuoreena, jolloin modifioidusta puusta voidaan ohuella pinnan höyläyksellä paljastaa tiheämpi kerros. Toisaalta lyhytkestoiset käyttökohteen lämpötila- ja kosteusmuutokset, jotka edistävät puristuman palautumista, rajoittuvat lähinnä kappaleen pintaosiin. Keskiosistaan puristunut kappale olisi lyhytkestoisille olosuhdemuutoksille alttiissa kohteissa ”suojattu” palautumaa edistäviltä tekijöiltä.

ThermoWood® -menetelmän tavoin yhdistetty puristus- ja lämpömodifiointi vähensi koivupuun vaaleutta ja lisäsi punaisuutta verrattuna tavanomaiseen lämminilmakuivaukseen, jossa puu säilyy vaaleana. Molemmilla puulajeilla tummuminen oli voimakkainta pintakerroksessa, kun puristus oli aloitettu tuoreena, mutta syvemmällä, kun puristus oli aloitettu 20 % kosteudessa (Kuva 37).



Kuva 36. Röntgenanalyysillä määritetty haapasahatavaran paksuudensuuntainen tiheysprofiili, kun puristus on aloitettu tuoreena (TP) ja 20 %:n kosteudessa (P 20 %).



Kuva 37. Puupinnan spektrimittausten perusteella laskettu väriero (ΔE^*) eri tavoin modifiointikäsiteltyjen ja ilmakeivätyt sahatavaran välillä eri syvyyksillä paksuussuunnassa. ΔE^* on dimensioton suure, minimissään noin 2 yksikön suuruinen väriero on silmin havaittava. TP = puristettu aloitettu tuoreena, P 20 % = puristus aloitettu 20 %:n kosteudessa, LK = lämpökäsittely.

7.4 Puutavaran lahonkestävyyden testauspalvelu

Pitkäaikaiseen ulkokäyttöön ja muihin kosteudelle altistuviin käyttökohteisiin tarvitaan lahonkestävää puutavaraa. Puutavaran lahonsuojaukseen kehitettävät uudet kyllästysaineet ja modifikaatiomenetelmät vaativat lopputuloksen testaamista ja testattavalta tuotteelta vaaditaan kymmenien vuosien käyttöikä. Kuitenkin tuotekehityksen ja valmiin tuotteen markkinoille saamisen kannalta nopea kestävyyden testaaminen olisi toivottavaa. Testausolosuhteiden yksinkertaistaminen ja lahoamisen nopeuttaminen äärimmilleen lisää kuitenkin aina epävarmuutta tulosten todellisesta käyttökelpoisuudesta. Sen vuoksi on suotavaa, että johtopäätösten tekoon käytetään useita erityyppisiä testausmenetelmiä. PUU-ohjelman aikana kehitettiin palvelua puun pitkäaikaiskestävyyden testaukseen ja testauksen suunnitteluun sekä tehtiin normeilla vakioituja ja asiakkaiden tarpeisiin räätälöityjä testejä. Metlassa keskityttiin kehittämään ulkokentällä ja lahotuskellarissa tehtäviä maakosketustestejä. Näissä testeissä lahottajaorganismit ovat rehevässä maaperässä esiintyviä sieniä ja bakteereita. Niiden yhdessä aiheuttamaa epämääräistä puuaineen hajoamista kutsutaan termeillä katkolaho ja ”soft rot”, jolle ei ole tarkkaa suomenkielistä vastinetta. Lisäksi laboratoriossa tehtiin tutkimuksia tyypillisillä ruskolahottajasienillä, joita ovat kellarisieni, saunakääpä, istukkakääpä ja lattiasieni.

Maakosketuskokeen tekeminen kestää ulkokentällä vähintään viisi vuotta, mutta useissa kokeissa seuranta jatketaan yli kymmenenkin vuoden. Koesauvat tarkistetaan silmänvaraisesti kerran vuodessa ja niiden kestävyys koestetaan taivutuslaitteella. Vaikka testierien kestävyyseroista saadaan ennakkotietoja jo 3–4 vuoden jälkeen, kokeen hitaus on ongelma.

Maakosketuskoe voidaan siirtää pienimuotoisena ”multalaatikkokokeena” sisätiloihin. Laatikko täytetään testauskentältä otetulla mullalla ja pidetään lämpimänä (27 °C) ja kosteana. Laatikoon upotetaan 10 cm pituisia puutikkuja ja niiden hajoamista seurataan 32 viikkoa.

Vakioitua multalaatikkokoetta kehitettiin valmistamalla lämpölaatikko, jossa lujuustestaukseen soveltuvaa 20x20x300 mm:n koepalikkaa voidaan lahottaa keskeltä (Kuva 38). Uudentyyppisen laatikon avulla päästään mittaamaan puuaineen lujuuden heikkenemistä, jota tapahtuu jo lahoamisen alkuvaiheessa, jolloin massan häviämistä ei vielä havaita. Tämä selittyy sillä, että sellulosa- ja ligniinimolekyylien väliset lujuutta antavat sidokset tuhoutuvat jo ennen kuin molekyylien entsyymaattinen hajotus vedeksi ja hiilidioksidiksi voi alkaa. Pilottikokeen perusteella männyn pintapuun taivutuslujuudesta oli enää noin puolet jäljellä siinä vaiheessa, kun mikrobit olivat hajottaneet kapulan keskiosan puuaineesta vasta noin 10 %. Testin kokonaiskestoksi on suunniteltu 18 kk.



Kuva 38. Kostealla mullalla täytetyssä laatikossa koepalikkaa lahotetaan keskeltä. Lahoamista seurataan mittaamalla lujuuden heikkenemistä (kuvat: Martti Venäläinen / Metla).

7.5 Puutuotteiden kierrätys

Kierrätyksellä tarkoitetaan käytöstä poistetun tuotteen tai materiaalin ohjaamista takaisin samaan (uudelleen käyttö) tai uuteen (uusiokäyttö) käyttötarkoitukseen. Siihen sisältyy eloperäisen aineksen uudelleenkäsittely, mutta ei energian hyödyntäminen eikä uudelleenkäsittely materiaaleiksi, joita käytetään polttoaineena tai maankäyttötoimiin.

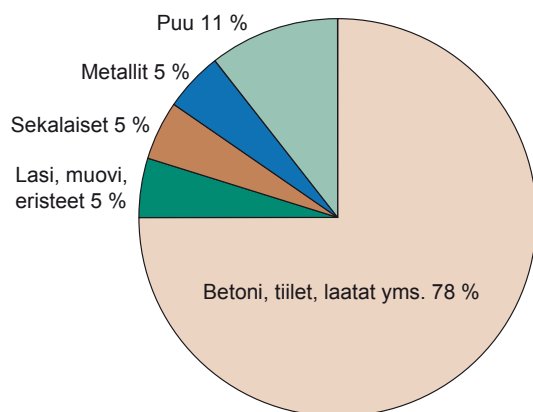
Tässä kappaleessa tarkastellaan käytöstä poistetun puun kierrätyksen tämän hetkistä tilaa Suomessa ja Euroopassa sekä kierrätyksen lisääntymiseen tähtäävän normiohjauksen nykytilaa ja siihen odotettavissa olevia muutoksia. Laaja katsaus aiheeseen löytyy viitteestä Pirhonen ym. (2011).

Suomessa syntyy vuosittain noin 850 000 tonnia eli noin 2 miljoonaa kiintokuutiometriä puujätettä, josta noin 670 000 tonnia on peräisin rakentamisesta ja rakennusten purkamisesta. Puujätteestä päätyy pysyvästi kaatopaikoille noin 25 000 tonnia. Ongelmajätteeksi luettavaa käsiteltyä puuta syntyy vuodessa noin 39 000 tonnia. Logistisesti tehokkaimmin hyötykäyttöön saatava puujäte, noin 400 000 t/a, syntyy Uudenmaan, Varsinais-Suomen, Pirkanmaan ja Kanta-Hämeen maakuntien alueella Helsinki–Tampere–Turku -kolmiossa.

Materiaalien kierrätysjärjestelmät ovat Suomessa hyvin samankaltaisia. Arvokkailla raaka-aineilla on toimivimmat kierrätysjärjestelmät, ja vastaavasti materiaaleilla, joiden kerääminen ja kier-

räty eivät ole taloudellisesti kannattavasti järjestettävissä, kattavaa kierrätysjärjestelmää ei ole. Kierrätysjärjestelmistä toimivimpia ovat tuottajavastuusäädösten määrittelemien tuotteiden sekä metallien kierrätys, joka on olennaisesti laajempaa kuin tuottajavastuu edellyttää. Kehittämishaasteita on eniten rakennusjätteen ja muovin kierrätyksessä. Tällä hetkellä polttaminen energiaksi on teknis-taloudellisesti järkevin jätepuun käyttötapa Suomessa ja useissa muissa Pohjois-Euroopan maissa, joissa on pitkä lämmityskausi. Puhtaalla puulla ei ole polttorajoituksia, mutta kemikaaleilla käsitellyn puun poltto edellyttää päästömittauksia ja riittävän suurta, polttotekniikaltaan edistynyttä kattilaa. Jätteenpoltoasetus asettaa kierrätyspoltoaineen ja ongelmajätteen poltolle erityiset vaatimukset. Jätepuun osuus energiantuotannon käyttämästä puuraaka-aineesta on vaihdellut vuoden 2000 1,4 prosentista vuoden 2008 5,1 prosenttiin (735 000 m³), mihin ei kuulu teollisuuden jätepuu. Erillistä jätevanerin kierrätystä ei ole käytössä. Myös lastulevy on välituote, joka kiertää lopputuotteiden, kuten rakennusten ja huonekalujen kierrätysjärjestelmien kautta. Kuitulevy kiertää muun puujätteen mukana ja päätyy nykyisellään pääasiassa haketukseen ja sitä kautta energiakäyttöön. Kalusteista enimmillään puolet pystytään myymään uudelleen käytettäväksi, neljäsos hyödyntämään muussa käytössä ja neljäsos joutuu raaka-ainekierrätykseen, jolloin kaatopaikalle päätyy alle prosentti kokonaismäärästä. Puupakkauksista pyritään tuottajavastuun kautta kierrättämään 15 prosenttia niiden painosta. Kyllästetystä puusta käytännössä kaikki päätyy poltettavaksi. Rakentamisen lajittelemattomista puujätteistä päätyy kaatopaikalle paikkakunnasta riippuen 1–20 prosenttia.

Puun osuus rakentamisen ja purkamisen jätteistä EU:ssa on noin 11 % (Kuva 39). Purku- ja muun jätteen uusien hyötykäyttömuotojen löytämiseksi tehdään työtä laajasti Euroopassa. Euroopan Unionin tavoite uusiutuvien luonnonvarojen käytön lisäämiseksi energiantuotannossa luo kaikenlaiselle puulle, mukaan lukien puujäte, lisäkysyntää. EU:n jätehierarkiassa tavoitteena on siirtää alimman hierarkiataason (kaatopaikkajäte) jätemääriä seuraavalle tasolle (polttaminen energiaksi) ja edelleen ylemmälle tasolle (uusiokäyttö tai uudelleenkäyttö). Suomen ja EU:n jätelainsäädäntö on kierrättämiseen ohjaavaa, ei sitä rajoittavaa. Lisäksi on olemassa ja kehitteillä järjestelmiä, jotka pyrkivät luomaan markkinakysyntää uusiomateriaaleja sisältäville tuotteille. Pitkän aikavälin tavoitteena on tehdä EU:sta kierrätysyhteiskunta, jossa pyritään välttämään jätettä ja jossa jätettä käytetään resurssina. Komissio korostaa kierrätyksen lisäämistä ja parantamista. Kierrätystä koskevat laatuvaatimukset lisäävät uusiokäyttöön tarkoitetun materiaalin kysyntää ja hyväksyttävyyttä. Jätevirrat siirtyvät näin kohti kierrätystä.



Kuva 39. Eri materiaalien suhteellinen osuus rakentamisen ja purkamisen jätteistä EU:ssa. Kuvan lähde: ETC/SCP, <http://scp.eionet.europa.eu/themes/waste/#4>, luettu 31.1.2011.

Suomen puujätteen määrä on noin 2,5 prosenttia koko Euroopan puujätteestä. Euroopan vuosittainen puujättemäärä vastaisi noin 80 miljoonaa kiintokuutiometriä puuta. Eteläisen Euroopan maissa energiantuotanto ei merkittävässä määrin kilpaile puuraaka-aineesta levyteollisuuden kanssa, ja käytöstä poistettu puu meneekin pääasiassa lastulevyn raaka-aineeksi. Eri puolilla Eurooppaa on myös joukko puutuotteiden uusiokäyttöä ja kierrätystä harjoittavia organisaatioita, joista osan toiminta painottaa sosiaalisia ja ympäristöpäämääriä. Niiden merkitys puujätteen kokonaiskäyttöön on kuitenkin marginaalinen. Alankomaissa jätelaki kieltää käyttökelpoisen rakennusjätteen sijoittaminen kaatopaikalle, minkä seurauksena rakennusjätteestä kierrätetään 90 prosenttia (v. 2002). Rakennusjätettä käsittelevät yritykset toteuttavat jätteiden keräyksen, erittäin tarkan lajittelun ja käsittelyn. Jätepuu on pieni osa rakennus- ja purkujätteen käsittelystä syntyvää ja hyödynnettävää uusiomateriaalia. Pääosin yritykset hakettavat tai murskaavat puujätteen. Hakkeen ja murskan ne vievät joko Saksaan tai Belgiaan lastulevyn raaka-aineeksi tai Tanskaan tai Ruotsiin poltettavaksi. Yhdysvalloissa ja Kanadassa puujätteen kierrättäminen on kasvava liiketoiminta-alue. Japanissa jopa puolet puujätteestä poltetaan edelleen ilman energian talteenottoa tai muuta hyötykäyttöä.

Suurin yhteiskunnallinen hyöty puun käytöstä saavutetaan kierrättämällä puu puutuotteiden kautta energiakäyttöön. Kierrätyspuun käyttömahdollisuudet olemassa olevilla rakenteilla ja tekniikoilla ovat suppeat. Teknisesti realistisimpia ovat kierrätyspuun käyttö lastulevyjen valmistuksessa ja purkupuun uusiokäyttö ei-kantavissa rakennusosissa ja sisustuksessa. Lisääntyvällä puujätteen käytöllä lastulevytuotannossa ympäristövaikutukset painottuvat joko nykyisen raaka-aineen tai uusiokäyttöraaka-aineen vaihtoehtoihin käyttömuotoihin, lähinnä energiakäyttöön. Kierrätyksestä syntyvät kasvihuonekaasupäästöt ovat olemattomat verrattuna vältettäviin päästöihin energiatuotannossa. Jos lastulevytuotannosta vapautuva raaka-aine korvaa fossiilisten polttoaineiden polttoa, vähennyspotentiaali uusiomateriaaleja käyttämällä olisi 0,2–0,5 miljoonaa ekv CO₂-tonnia, mikä korvaisi vain 0,5 prosenttia vuosittaisista fossiilisista kasvihuonekaasupäästöistä. Puun arvoketuille tämä voisi merkitä muutaman miljoonan vuosittaista lisätuloa, jos päästöoikeuksien kauppa ulotettaisiin puun energiakäyttöön. Kotimaisen lastulevytuotannon korvaaminen tuontilastulevyllä avaisi mahdollisuuksia muille levytuotteille ja massiivipurakenteille. Tällöin ilmastovaikutus olisi kokonaisuutena positiivinen, sillä kasvaneiden kuljetuksen päästöjen määrä verrattuna vältettäviin fossiilisiin päästöihin energiatuotannossa on suhteellisen pieni.

Sekä Suomessa että ulkomailla on kierrätystoimintaa, joka on osin liiketoiminnallista mutta usein hyväntekeväisyyspainotteista. Se työllistää mm. erityisryhmiä ja vapaaehtoisia. Kierrätys vaatii runsaasti työvoimaa, jonka palkkaaminen ilman yhteiskunnan tukea ei usein ole liiketaloudellisesti kannattavaa. Sektori tarjoaakin erityisryhmien työllistämiseen ja kuntoutukseen mahdollisuuksia, joiden hyödyntäminen sosiaalisen yritystoiminnan tukijärjestelmien avulla on yhteiskunnan, yritysten ja kierrätyssektorin etu. Sosiaalisissa yrityksissä erityisesti Iso-Britanniassa on käytännössä testattuja malleja käytöstä poistetun puun hankintaan, lajitteluun, jalostukseen ja myyntiin. Iso-Britanniassa kehitetty Brighton & Hove Wood Recycling Project'n liiketoimintamalli voisi sovellettuna toimia myös Suomessa.

Käytöstä poistettu puu voisi toimia myös pienten ja keskisuurten sahojen kausivaihteluiden tasaa-jana. Sahat voisivat liittää toimintaansa käytöstä poistetun puun vastaanoton. Kausi- tai suhdan-nevaihtelun aiheuttaman hiljaisen kauden aikana voitaisiin yrityksen resursseja käyttää käyttökelpoisen materiaalin erotteluun jätepuumassasta. Puu, jota ei enää voida uudelleen käyttää, olisi mahdollista hakettaa energiahakkeeksi. Käyttökelpoisen kierrätyspuun ja/tai hakkeen myynnillä

sahat voisivat tasoittaa sahatavaran kysynnän vaihteluita. Erityisesti tällä olisi merkitystä, jos sahalla olisi omaa lämmön tai sähkön ja lämmön tuotantoa.

On odotettavissa, että lainsäädäntö kiristyy eikä jätetuun polttoa enää hyväksytä kierrätykseksi. Käytöstä poistetulle puulle on tällöin oltava valmiina muita käyttökohteita. Kierrättäminen tulisi aloittaa jo rakennuksen suunnitteluvaiheessa. Rakentamiseen olisi kehitettävä tuotejärjestelmiä, jotka mahdollistaisivat komponenttien yksinkertaisen purkamisen, kunnostamisen ja uudelleen-käytön.

Lisätietoa

- Anttila, A.-K., A.M., Häggman, H., Harju, A., Venäläinen, M., Haapala, A., Holmbom, B. & Julkunen-Tiitto, R. 2013. Condensed conifer tannins as antifungal agents in liquid culture. *Holzforchung* (painossa).
- Harju, A. & Venäläinen, M. 2012. Stilbenes as constitutive and induced protection compounds in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). In: Sniezko, R.A., Yanchuk, A.D., Kliejunas, J.T., Palmieri, K.M., Alexander, J.M. & Frankel, S.J. (eds.). *Proceedings of the fourth international workshop on the genetics of host-parasite interactions in forestry: Disease and insect resistance in forest trees*. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-240. Albany, CA: Pacific Southwest Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture. USDA Forest Service General Technical Report 240: 20–26.
- Harju, A., Venäläinen, M. & Haapanen, M. 2009. Association of growth with high heartwood quality in Scots pine. In: Bergstedt, A. (ed.). *The Nordic-Baltic Network in Wood Material Science and Engineering. Proceedings of the 5th Meeting, October 1–2 2009, Copenhagen, Denmark*. Forest & Landscape Working Papers 43: 79–84.
- Harju, A., Venäläinen, M., Laakso, T., Saranpää, P. 2009. Wounding response in xylem of Scots pine seedlings show wide genetic variation and connection with the constitutive defence of heartwood. *Tree Physiology* 29(1): 19–25.
- Heräjärvi, H., Möttönen, V., Reinikkala, M. & Stöd, R. 2014. Absorption–desorption behaviour and dimensional stability of untreated, CC impregnated and pine oil treated glulam made of Scots pine and Norway spruce. *International Biodeterioration and Biodegradation* (86): 66–70.
- Heräjärvi, H., Möttönen, V. & Stöd, R. 2012. Water absorption and desorption of non treated, pressure impregnated, and pine oil treated glulam made of small diameter Scots pine and Norway spruce. IRG/WP 12-40616. IRG Secretariat, Stockholm, Sweden. 5 p.
- Heräjärvi, H., Pirhonen, I., Rätty, T. & Saukkola, P. 2011. Increased sustainability for wood construction by recycling. *Publications of IRG secretariat*. www.irg-wp.com. 8 p.
- Heräjärvi, H., Pirhonen, I. & Saukkola, P. 2010. Recycling of modified wood products. In: Hill, C.A.S., Militz, H. & Andersons, B. (eds.) *Proceedings of the Fifth European Conference on Wood Modification ECWM5*. September 20–21, 2010, Riga, Latvia. Latvian State University of Wood Chemistry, Riga, Latvia. p. 285–290.
- Jääskeläinen, A.-S., Hatakka, R., Kivioja, A., Harju, A., Partanen, J. & Venäläinen, M. 2010. Pinosylvin distribution in wood as studied by UV resonance Raman spectroscopy, pp.465–468. In: *11th European Workshop on Lignocellulosics and Pulp*. Hamburg, Germany, August 16–19. *Proceedings*. DeGruyter, 191 p.
- Lu, J., Harju, A.M. & Venäläinen, M. 2013. Effect of stilbene impregnation on the growth of brown rot fungi. In: Brischke, C. & Meyer, L. (eds.). *Proceedings of the 9th meeting of the Nordic Baltic Network in Wood Material Science and Engineering (WSE)*, September 11–12, 2013, Hannover, Germany, pp. 215–220.
- Möttönen, V., Heräjärvi, H. & Reinikkala, M. 2013. Puun ominaisuuksien muokkaaminen puristus- ja lämpömodifioinnin avulla. *Puun korjuu ja käyttö -uutiskirje* 3/2013. <http://www.metla.fi/uutiskirje/puu/2013-03/>

- Möttönen, V., Heräjärvi, H., Stöd, R. & Koivunen, H. 2012. Prediction of bending properties of impregnated small diameter scots pine posts using acoustic velocity. In: Baltrusaitis, A. & Ukvalbergiene, K. (eds.). Northern European network for wood science and engineering (WSE). Proceedings of the 8th meeting, September 13–14, 2012, Kaunas, Lithuania. Pp: 151–162.
- Möttönen, V., Reinikkala, M., Heräjärvi, H. & Luostarinen, K. 2013. Effect of compression and thermal modification on selected technical properties of European aspen and silver birch. In: Berti, S., Achim, A., Fioravanti, M., Lihra, T., Loewe Munoz, V., Marchal, R., Wiedenbeck, J. & Zanuttini, R. (eds.). 4th International Scientific Conference on Hardwood Processing 2013, 7th–9th October 2013. Florence, Italy. Proceedings. p. 165–171.
- Möttönen, V., Stöd, R., Heikkilä, K. & Heräjärvi, H. 2012. Effect of preservative treatment on mechanical performance of round and square poles made of small diameter Scots pine. IRG/WP 12-40612. IRG Secretariat, Stockholm, Sweden. 11 p.
- Partanen, J., Harju, A. M., Venäläinen, M. & Kärkkäinen, K. 2011. Highly heritable heartwood properties of Scots pine: possibilities for selective seed harvest in seed orchards. Canadian Journal of Forest Research 41: 1993–2000.
- Pirhonen, I., Heräjärvi, H., Saukkola, P., Rätty, T. & Verkasalo, E. 2011. Puutuotteiden kierrätys. Finnish Wood Research Oy:n osarahoittaman esiselvityshankkeen loppuraportti. Metlan työraportteja 191. 66 s.
- Tiitta, M., Tomppo, L., Järnström, H., Löijä, M., Laakso, T., Harju, A., Venäläinen, M., Iitti, H., Paajanen, L., Saranpää, P., Lappalainen, R. & Viitanen, H. 2009. Spectral and chemical analyses of mould development on Scots pine heartwood. European Journal of Wood and Wood Products 67: 151–158.
- Tomppo, L., Tiitta, M., Laakso, T., Harju, A., Venäläinen, M. & Lappalainen, R. 2009. Dielectric spectroscopy of Scots pine. Wood Science and Technology 43(7–8): 653–667.
- Tomppo, L., Tiitta, M., Laakso, T., Harju, A., Venäläinen, M. & Lappalainen, R. 2011. Study of stilbene and resin acid content of Scots pine heartwood by electrical impedance spectroscopy (EIS). Holzforschung 65(5): 643–649.
- Venäläinen, M., Partanen, H. & Harju, A. 2014. The strength loss of Scots pine timber in an accelerated soil contact test. International Biodeterioration & Biodegradation (86):150–152.

8 Puurakentamisen kilpailukyky

Tarmo Rätty & Maria Riala

8.1 Tausta

Puurakentamisen kilpailukykyyn liittyvät haastattelututkimukset PUU-ohjelmassa kartoittivat puutuotealan kykyä ja halukkuutta viestiä tuotteidensa ympäristötehokkuudesta ja rakennusalan näkemyksiä puurakentamisen kilpailukykytekijöistä. Kilpailukykyyn edistämiseksi on myös aloitettu kehitystyö helppokäyttöisten ympäristölaskennan työkalujen luomiseksi ja rakennusten ympäristösertifioinnin kehittämiseksi vastaamaan paremmin puurakentamisen tarpeita.

8.2 Puurakentamisen kilpailukyvyssä on parannettavaa

PPuurakentamista on edistetty Suomessa 1990-luvulta lähtien. Toiminta on painottunut puisiin tiiviisti rakennettuihin asuinalueisiin ja puukerrostalojen rakentamiseen. Varsin mittavista panostuksista huolimatta puurakentaminen on lisääntynyt hitaasti. Syitä hitauteen haluttiin hakea rakennusalan toimijoita haastatteleamalla; heiltä arvioitiin saatavan realistisia näkemyksiä puurakentamisen kilpailukykyvyydestä. Loka-joulukuussa 2012 haastateltiin yhteensä 18 rakennusyhtiötä, rakennuttajaa ja puutuoteyritystä.

Suurin osa haastatelluista oli sitä mieltä, että monikerroksisessa rakentamisessa puu on edelleen muita rakennusmateriaaleja kalliimpi ratkaisu. (Riala 2013, Riala & Ilola 2013) Merkittävimmät syyt puun kalleudelle olivat kehittymättömät ja tehottomat rakentamisen prosessit, pakolliset sprinklerijärjestelmät, äänieristys asuntojen välillä ja välipohjaratkaisut. Vaikka näitä, etenkin rakentamisen prosesseja ja äänieristystä, onkin pyritty kehittämään, on niissä asiakasnäkökulmasta vielä puutteita.

Puualan kannalta positiivista on, että puurakentamisen kilpailukykyyn koettiin kuitenkin parantuneen. Tästä oli kiittäminen erityisesti uusia ratkaisuja rakennustekniikassa, joista merkittävimmiksi koettiin ristiinlaminoidun puun käyttö, valmiiden rakenneosien parempi saatavuus ja esivalmistusasteen nousu. Kilpailukykyä ovat parantaneet lisäksi säätelyn höllentyminen, suunnitteluosaamisen lisääntyminen, rakennusprosessin nopeutuminen sekä markkinoilla olevien toimijoiden määrän kasvu. Kilpailukykyyn parantamiseksi osaamista pitäisi kuitenkin kehittää vielä enemmän, minkä lisäksi esivalmistuksen ja standardoinnin lisääminen auttaisi. Haastatellut tunsivat Runko-PES järjestelmän ainakin pääpiirteissään ja useat olivat sitä mieltä, että se voisi auttaa lisäämään puurakentamista. Osa suhtautui kuitenkin järjestelmään varsin kriittisesti.

Puurakentamisen edistämisessä korostetaan usein, että kuluttajat pitävät perinteisestä rakennus-tyylistä ja ympäristöystävällinen kuluttaminen lisääntyy. Tämän aineiston perusteella puurakentamisen lisäästä ei voi laskea kuluttajilta tulevien vaatimusten varaan. Haastateltavien mukaan loppukäyttäjät pääsevät vaikuttamaan rakennuksen suunnitteluun vain vähän. Vaikutusvaltaa on hieman enemmän, jos kyseessä on toimitila tai jos rakennus tehdään tilauksesta. Kuluttajien ei myöskään koettu olevan kovin kiinnostuneita rakennusmateriaaleista, esimerkiksi niitä koskeva palaute oli harvinaista. Vaikka ympäristötietoisuuden koettiin lisääntyneen kuluttajien joukos-

sa, eivät he kuitenkaan yleisesti ole valmiita tinkimään asumisviihtyvyydestä tai maksamaan ympäristöstävällisestä asumisesta tavallista enempää.

Haastateltavilla oli myös positiivisia kokemuksia puurakentamisesta. Puurakentamisen eduiksi koettiin useimmin nopeus, kuiva rakentaminen ja keveys. Puurakentaminen koettiin kuivaksi rakentamismenetelmäksi sekä kuivumisaikojen tarpeettomuuden että usein teltassa toteutettavan rakentamisen ansiosta. Keveydestä voisi olla hyötyä esimerkiksi korjausrakentamisessa tai lisäkerrosten rakentamisessa, vaikka nämä eivät noussetkaan haastatteluissa esiin. Monikerroksisen puurakentamisen edistämisessä voisi siis käyttää näitä argumentteja.

Tutkimuksen valossa näyttää siltä, että monikerroksisen puurakentamisen kilpailukyky Suomessa on kohentunut, mutta parantamisen varaa on edelleen. Jatkoimenpiteitä suunniteltaessa kannattaa pitää mielessä, että tunteellinen lobbaus ja asemakaavojen kautta vaikuttaminen eivät haastatteluaineiston perusteella ole menetelmiä, joilla voitetaan insinöörivoittoinen rakennusala puolelleen. Rakennusala haluaa kuulla perusteluja, joilla on käytännön näyttöä takanaan.

8.3 Rakentamisen ympäristölaskennan työkalut

Sekä rakennustuotteiden valmistajilta että suunnittelijoilta on toistaiseksi puuttunut tosiasiallinen mahdollisuus havainnollistaa rakentamisen tuotteiden, rakenteiden tai rakennusten ympäristövaikutuksia. Havainnollistavia ympäristömittareita, niiden laskentavälineitä ja ympäristöosaamista ei ole ollut saatavilla. Tilanne on muuttumassa olennaisesti, sillä laskennan yhtenäistämiseksi on hyväksytty joukko standardeja. Keskeinen uudistus on yhtenäinen ohjeistus rakennusalan ympäristöselosteiden laatimiseksi. Se luo pohjan rakentamisen ympäristötiedolle ja sen integroinnille rakentamisen päätöksentekoon.

PUU-ohjelmassa on tehty työtä rakentamisen ympäristölaskennan käyttöönoton helpottamiseksi ja integroimiseksi rakentamisen eri vaiheisiin. Tulosten pohjalta on kehitetty ensimmäiset versiot avoimesta ympäristötietokannasta ja rakentamisen päätöksentekoon integroituvasta laskurista. Tutkimus ja kehittämishankkeen tuloksena on syntynyt ensimmäinen versio avoimeen ympäristötietoon perustuvasta rakentamisen ympäristölaskentajärjestelmästä (PEnA, Platform for Environmental Assessment of Buildings, www.metla.fi/pena).

Hankkeella oli kolme avoimeen ympäristötietoon perustuvaa tehtävää. Ensimmäisenä kehitettiin avointa ympäristötietokantaa ja niiden tiedonsiirtoa. Tietokanta (PEnA-Db) toteutettiin MySQL ohjelmalla ja siihen siirrettiin saksalainen avoin rakentamisen ympäristötietokanta Okobau.dat. Tietokannassa on 972 ympäristövaikutusta liittyen rakennusmateriaalien valmistukseen, hävittämiseen tai kierrättämiseen ja rakentamiseen eri työvaiheisiin.

Hankkeen toisena tehtävänä toteutettiin internetselaimella toimiva rakentamisen ympäristölaskuri (PEnA-Calc). Käyttäjä voi luoda ohjelmalla omia rakennusosatiekantoja PEnA-Db:n rakennusmateriaaleista. Rakennusosia voi liittää toisiinsa suuremmiksi kokonaisuuksiksi ja arvioida esimerkiksi kokonaisen talon ympäristövaikutuksia. Arviointi kattaa paitsi materiaalien vaikutukset rakennusaikana, myös niiden mahdollisen uusimisen laskenta-ajanjakson aikana.

Kolmantena tehtävänä oli testata tietokannan ja laskurin käytettävyyttä suomalaisessa pilottirakennuksessa. Pilottilaskelmat kuvaavat betonirunkoista kerrostaloa. Lämmitettävää pinta-alaa ra-

kennuksessa on 2 251 m² eli se on samaa kokoluokkaa kuin Heinolan PuuERA-kerrostalo. Kantavat rakenteet arvioitiin välipohjissa ja -seinissä tietokannan betonilaattaelementtien perusteella. Arvioitu koko rakennuksen hiilijalanjälki on 298 kg/m², josta 49 % syntyy em. betonilaattaelementtien valmistusprosessissa. Hiilijalanjälki on 30 kg/m² korkeampi kuin vastaavassa PuuERAlaskelmassa. Pilotissa hiilijalanjälkeä kasvattaa laatoitusten määräaikaisen uusimisen lisäksi betonilaattaelementin rakenne; Ökobau.dat-tietokannasta löytyvät betonilaatat ovat huomattavasti järeämmät kuin Suomessa yleisesti käytettävät ontelolaattaelementit. Ökobau-tietokannan käyttömahdollisuudet ovat kuitenkin hiilijalanjälkilaskentaa laajemmat. Hiilijalanjäljen lisäksi vaikutusarvio voidaan esittää 12 muun ympäristövaikutuksen suhteen, esimerkiksi vaarallisia jätteitä syntyy pilottirakennuksen komponenttien valmistuksen vuoksi noin 0,5 kg/m², koko rakennusta kohden yli 1 000 kg.

Tutkimuksen tulokset alleviivaavat kattavan kotimaisen elinkaaritiedon tarvetta. Esimerkiksi kansallisessa metsäohjelmassa (KMO 2015) asetettu tavoite puutuotteiden ekotehokkuusmittarista on realistinen vasta, kun puun metsikkötason ja puutuotteiden jalostuksen ympäristöselosteet ovat kattavasti saatavilla ja rakennusten suunnittelijoilla on välineet vaikutusten arviointiin.

Kehitetty laskenta-alusta on toimiva, mutta sen vakautta ja käytettävyyttä kehitetään vielä ennen julkistamista. Jatkokehitystä pyritään tekemään kansainvälisenä hankkeena. Ohjelman kehitystä voi seurata sivuilla www.metla.fi/pena.

8.4 Rakennusten ympäristösertifiointi

Puurakentamisen kilpailukyky ratkeaa viime kädessä rakennuttajan tai rakennuksen käyttäjän päätöksellä. Heillä ei ole useinkaan mielenkiintoa perehtyä rakennuksen ympäristövaikutuksiin yksityiskohtaisesti. Sen sijaan he kaipaavat tietoa tiivistetysti ympäristösertifikaatin tai ekomerkinnän muodossa. Rakennusten ympäristösertifiointijärjestelmiä on kehitetty 1990-luvun alkupuolelta alkaen. Alueellisesti ja rakennustyyppien mukaan sovitettuja järjestelmiä on yli sata, mutta aidosti kansainvälisiä järjestelmiä on vain kaksi, Englannista lähtöisin oleva BREEAM ja USA:ssa kehitetty LEED. Muista alueellisesti merkittäviä järjestelmiä ovat CASBEE (Japani ja Kaakkois-Aasia), HQE (Ranska) ja DGNB (Saksa). Suomalainen sertifiointijärjestelmä on Promise, Ruotsissa Miljöbyggnad. Kansallisesti kehitystä pyrkii edistämään Finnish Green Building Council. Pöyry Oyj:n vuonna 2012 tekemän Green Marketing Studyn pohjalta näyttäisi siltä, että kansainvälisesti sertifioitujen LEED- ja BREEAM-rakennusten määrä Suomessa on selvästi lisääntymässä – tosin niitä on vielä selvästi alle 50. Vuonna 2011 Metlassa tehtyjen haastattelujen perusteella puutuotteiden valmistajat eivät vielä hyödynnä rakennusten ympäristösertifioinnin mahdollisuuksia (Räty ym. 2012).

Kaikki järjestelmät luokittelevat rakennukset ympäristövaikutusten tai kestävän kehityksen suhteen eri tasoille. Yleensä rakennuttajat valitsevat suunnittelun alkuvaiheessa sertifiointijärjestelmän ja tason, johon suunnittelulla pyritään. Puurakentamisen edistämisen kannalta keskeinen kysymys on, miten materiaalivalinnat ja asumisen viihtyisyys vaikuttavat sertifioinnissa käytettyyn pisteilykseen. Materiaalivalintojen painotus sertifikaateissa on yleensä selvästi alle 10 % ja siitäkin vain osa tulee materiaalien uusiutuvuudesta, kestävästä käytöstä tai alhaisesta hiilijalanjäljestä. On ilmeistä, että nykyisillä sertifiointijärjestelmillä ei voi merkittävästi vaikuttaa puun käytön edistämiseen.

PUU-ohjelmassa on kehitetty uudenlaista ekotehokkuusmittaria, joka ottaisi paremmin huomioon kestävästä kehityksestä edistävät materiaalivalinnat. Ekwotehokkuusmittarissa taloudellisten, sosiaalisten ja ympäristövaikutusten painoarvo määräytyy joustavasti – sen mukaan, miten eri osa-alueilla on onnistuttu suhteessa muihin käyttötarkoitukseltaan vastaaviin rakennuksiin. Ratkaiseva tekijä on saavutetun hyödyn määrä ja käytetyt resurssit. Jos joku mitattu ympäristövaikutus syntyy käyttämällä puuta muita vaihtoehtoja alhaisemmilla kustannuksilla, tämän kriteerin painoarvo nousee puurakennuksen sertifikaatissa. Vastaavasti, betoni- tai teräsrakennuksilla voidaan painottaa enemmän kriteereitä, joissa ne onnistuvat paremmin. Toisin kuin jo käytössä olevissa sertifiointijärjestelmissä, ekotehokkuusmittarissa mikään materiaalivalinta ei ole etukäteen katsoen huonommassa asemassa.

Vastaavanlaisia ekotehokkuusmittareita on jo käytössä laajasti sellaisissa päätöksentekotilanteissa, joissa vaikutukset eivät ole arvioitavissa rahamääräisesti tai edes subjektiivisesti. Rakennusten ympäristösertifiointiin kehitetty sovellus on toistaiseksi vasta matemaattinen malli, mutta seuraavaksi sen toimintaa pyritään testaamaan ja havainnollistamaan olemassa olevien sertifiointijärjestelmien aineistoilla. Rakennusten ympäristösertifiointi on keskeinen ja yleistymässä oleva keino tuoda ympäristövaikutukset rakentamisen päätöksentekoon.

Lisätietoa

- Hassinen, T. 2012. Ympäristölaskenta rakentamisen päätöksenteon työkaluna. Ylemmän AMK-tutkinnon opinnäyte, Pohjois-Karjalan AMK, Teknologiaosaamisen johtamisen koulutusohjelma, 72 s.
- Heräjärvi, H. 2009. Rakennustuotteiden raaka-aineet, tasa-arvonäkökulma. Puumies 7/2009: 28.
- Heräjärvi, H. 2013. Puukerrostalorakentamisen vaikutus puun kulutukseen ja hiilivarastoon. Puun korjuu ja käyttö -uutiskirje 1/2013. <http://www.metla.fi/uutiskirje/puu/2013-01/>
- Perttula, S. & Rätty, T. 2011. Miten puualan yritykset hyödyntävät ympäristöarvoja? Puumies 9: 17–18.
- Riala, M. 2013. Rakennusalan ammattilaiset: puun kustannustehokkuus rakentamismateriaalina on kohentunut. Puun korjuu ja käyttö -uutiskirje 1/2013. <http://www.metla.fi/uutiskirje/puu/2013-01/>
- Riala, M. & Ilola, L. 2013. Puurakentamisen kilpailukyvyssä vielä parannettavaa – puurakentamisen ammattilaisten näkemyksiä. Puun korjuu ja käyttö -uutiskirje 3/2013. <http://www.metla.fi/uutiskirje/puu/2013-03/>
- Rätty, T. 2013. Puu mukaan, kun kestävä rakentamisen suuntaviivoja vedetään. Puun korjuu ja käyttö -uutiskirje 2/2013. <http://www.metla.fi/uutiskirje/puu/2013-02/>
- Rätty, T. & Ito, H. 2013. Eco-efficiency and environmental rating tools for buildings. In: Sustainable Procurement in Urban Regeneration and Renovation. SB13 Oulu, Finland, May 22–24, 2013. Conference proceedings. RIL & VTT, p. 299–308.
- Rätty, T., Lindqvist, D., Nuutinen, T., Nyrud, A.Q., Perttula, S., Riala, M., Roos, A., Tellnes, L.G.F., Toppinen, A. & Wang, W. 2012. Communicating the environmental performance of wood products. Metlan työraportteja 230. 71 s.

www.metla.fi/pena

9 Markkinatutkimukset ja menekinedistäminen

Maria Riala, Juhani Marttila, Tuomas Nummelin, Tarmo Rätty & Erkki Verkasalo

9.1 Tausta

PUU-ohjelmassa toteutetut markkinatutkimukset kartoittivat kuluttajien käsityksiä puisten pihatuotteiden laadusta ja puurakentamisesta. Yritysten välisessä liiketoiminnassa puolestaan tutkittiin ympäristösertifikaattien roolia ja palvelurakentamista koskevia toiveita. Venäjän osalta keskiytettiin puurakentamiseen ja modifioidun puun markkinamahdollisuuksiin. Ohjelmassa kehitettiin myös internetsivusto männyn käytön edistämiseksi. Tämä luku esittelee markkinatutkimuksen tuloksia aihepiireittäin sekä ”Pohjoinen mänty”-sivuston.

9.2 Piharakentamisen tuotteet

Kuluttajien käsityksiä piharakentamisen tuotteista (aidat ja terassilaudat, piharakennukset ja pihahuonekalut) ja niiden ominaisuuksista kartoitettiin Mäntyharjun loma-asuntomessuilla ja K-Rauta Vantaanportissa kesällä 2011.

Tutkimuksen tulokset osoittivat, että tee-se-itse-asette vallitsee piharakentamisessa edelleen. Yli puolet vastaajista kertoi tekevänsä pihan rakennustyöt ensisijaisesti itse. Piha oli vastaajille myös tärkeä rentoutumisen ja yhdessäolon paikka ja pihakalusteet koettiin osaksi kodin kokonaiskalustamista. Vastaajien mielestä tärkeimpiä pihatuotteen laadun osa-alueita olivat tuotteen tekninen laatu, ulkonäkö ja käyttööminaisuudet. Nämä olivat kaikille vastaajaryhmille tärkeitä.

Faktorianalyysin avulla löydettiin neljä kokonaisuutta, jotka kuvaavat laadun eri ulottuvuuksia. Nämä ovat ”ympäristö ja alkuperä”, ”aineettomat ominaisuudet”, ”ulkonäkö” ja ”käytännölliset ominaisuudet”. Suomalaisen puutuoteteollisuuden kannalta erityisen kiinnostava on faktori ”ympäristö ja alkuperä”. Tähän kuuluivat laadun ominaisuuksista tuotteen kotimaisuus, ympäristöystävällisyys ja tuotteella oleva sertifikaatti. Kotimaiset, sertifioidut tuotteet voisivat siis olla eettisesti myyvä ratkaisu.

Tuotteiden kehityksen suhteen tärkeimmiksi alueiksi koettiin teknisen laadun ja ympäristöystävällisyyden kehittäminen, kotimaisuus ja räätälöitävyys. Lisäksi vastaajat toivoivat parempaa muotoilua. Modernin ja tyylikkään muotoilun sisältöä selvitettiin tutkimuksen toisessa osassa yhdessä Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulun muotoilun ja graafisen suunnittelun opiskelijoiden kanssa. Tämän tutkimuksen tulosten perusteella voidaan sanoa, etteivät tyylikkyys ja kallis ulkonäkö kulje aina käsi kädessä ja että ainakin pohjoiskarjalaisille kuluttajille tyylikkyys ja mukavuus ovat pihakalustoa valitessa tärkeämpiä kuin kaluston moderni ulkonäkö.

9.3 Rakennusmateriaalien merkitys asunnon valinnassa

Puuhun perustuvaa julkista ja kerrostalorakentamista on pyritty edistämään Suomessa 1990-luvulta lähtien, mutta edistyminen on ollut varsin hidasta. Internet-pohjaisella menetelmällä selvi-

tettiin, mitkä asumisen ominaisuudet ovat kuluttajille tärkeitä ja voisiko puurakentamiselle löytyä näistä kilpailuetuja.

Monimutkaisiin päätöstilanteisiin, kuten asunnonvalintaan, vaikuttavista tekijöistä on vaikea saada tietoa. Tämä johtuu osittain siitä, että tällaisessa tilanteessa myös päätöksentekijän on vaikea hahmottaa, mitkä tekijät ovat hänelle tärkeitä. Kerätäksemme tietoa monimutkaisesta päätöksenteosta kehitimme uuden työkalun aineistonkeruuseen. Työkalu pohjautuu miellekarttaan ja visuaalisuuden pitäisi helpottaa päätöksentekoon vaikuttavien tekijöiden ja niiden välisten yhteyksien hahmottamista. Työkalua on käytetty tutkimaan kuluttajien asunnonvalintaa ja palvelurakentamista (Riala & Nummelin 2011, 2012, Nummelin & Riala 2013).

Tulosten perusteella vaikuttaa siltä, että asunnonvalinnassa tärkeitä kriteerejä ovat esimerkiksi sijainti ja pohjapiirros, eivät niinkään rakennusmateriaalit. Puurakentaminen tuskin saa merkittävää kilpailuetua vain materiaalin vuoksi, vaan tarpeen on kehittää laadukasta ja kustannuskilpailukyistä rakentamista, joka tarjoaa asukkaille asumisviihtyvyyttä.

9.4 Puutuotteiden ympäristösertifikaatit

Puutuoteteollisuuden yritykset arvostavat metsäsertifikaatteja kaupallisten toimijoiden välillä, mutta harva yritys pystyy kertomaan asiakkailleen, miten he voisivat konkreettisesti hyötyä hyvästä ympäristösuorituskyvystä. Tämän vuoksi tutkittiin, millainen ympäristöviestintä on tehokasta puutuoteteollisuudessa ja mitkä ovat puutuotteisiin liittyvän ympäristötiedon käytön ongelmakohdat ja mahdollisuudet (Räty 2011, Räty 2012, Räty ym. 2012a, b).

Tutkimuksessa kartoitettiin, mitä ympäristösuorituskyvyn mittareita puutuotteita valmistavat ja myyvät yritykset tällä hetkellä käyttävät ja miten ne näkyvät näiden yritysten viestinnässä. Erityisesti oltiin kiinnostuneita ympäristöarvojen käytöstä teollisten toimijoiden välillä. Metlan tutkimusyhteistyökumppaneita olivat Helsingin yliopisto, Ruotsin maatalousyliopisto sekä Tretelnisk Norjasta. Tutkimuksessa haastateltiin yhteensä 40 puutuoteteollisuuden ammattilaista. Yritykset valittiin siten, että mukana oli ympäristöasioista kiinnostuneita yrityksiä kaikista puutuotteiden tarjontaketjun vaiheista, sahoilta vähittäiskauppaan ja rakennuttajiin.

Ennen yritysten haastatteluja kartoitettiin käytössä olevat sertifikaatit, kuluttajamerkit ja niiden taustalla vaikuttavat standardit. Ympäristösuorituskykyä ei mitata vain metsäsertifikaateilla (Pohjoismaissa PEFC ja FSC). Muita käytössä olevia mittareita ovat ympäristöjohtamisen järjestelmät (ISO 14001, EMAS), kuluttajamerkit, ympäristöselosteet ja jalanjälkimittarit sekä vihreän rakentamisen sertifikaatit (esim. BREEAM, LEED, DGNB, PromisE).

Metsäsertifikaatit ovat käytössä sekä teollisten toimijoiden että kuluttajien markkinoilla. Tutkimuksen keskeinen tavoite oli selvittää sertifikaattien käyttö puutuotteiden tarjontaketjun eri portaissa ja niistä saatu tai koettu hyöty. Kysyttäessä asiaa, yrityksillä havaittiin olevan vahva usko kestävän metsänhoidon sertifiointiin ja sen merkitykseen yritysten välisessä kaupassa. Haastatellut yritykset suhtautuivat kuitenkin varauksellisesti kuluttajien kiinnostukseen metsäsertifiointista. Kuluttajamarkkinoilla on käytössä kuluttajien paremmin tunnistamia ympäristömerkkejä kuten Joutsenmerkki ja EU-kukka. Näiden tunnusten avulla puutuotteita olisi helpompi markkinoida kuluttajille. Ongelmaksi koettiin yleiseurooppalaisen, kaikkiin puutuotteisiin soveltuvan tunnetun kuluttajamerkin puuttuminen.

Vaikka valmistajien käyttämä kotimainen raakapuu on lähes aina sertifioitua, kuluttajille myytävissä metsäalan tuotteissa sertifikaatti löytyy useimmiten paperituotteista, muista puutuotteista merkittävästi harvemmin. Puutuoteyritykset voisivat panostaa enemmän alkuperäketjun sertifiointin näkyvyyteen.

Pohjoismainen Joutsenmerkki oli yrittäjien mielestä tehokkain keino innostaa kuluttajia ympäristöystävällisten puutuotteiden hankintaan. Tästä huolimatta Joutsenmerkin käyttö puutuotteissa on vähäistä. Harvat haastatelluista yrittäjistä edes tunnistivat muita kansainvälisiä kuluttajamerkkejä.

Ympäristöjohtamisen sertifiointi on yleistä, ja sitä vaaditaan erityisesti vientiyrityksiltä. Vertailut aikaisempiin tutkimuksiin antoivat samansuuntaisen tuloksen kuin nyt tehty haastattelukin. Ympäristöjohtamisen sertifikaateilla on vain vähän vaikutuksia ympäristölle tai yritysten tuloksellisuuteen. Ne velvoittavat toiminnasta aiheutuvien ympäristövaikutusten systemaattiseen analysointiin, mistä aiheutuu kustannuksia.

Yritykselle riittää harvoin yksi ympäristösertifikaatti. Koska niiden vaatimukset ovat usein päällekkäisiä, sertifiointia tulisi kehittää kokonaisvaltaisemmin. Näin säästyisi vaivaa ja kustannuksia.

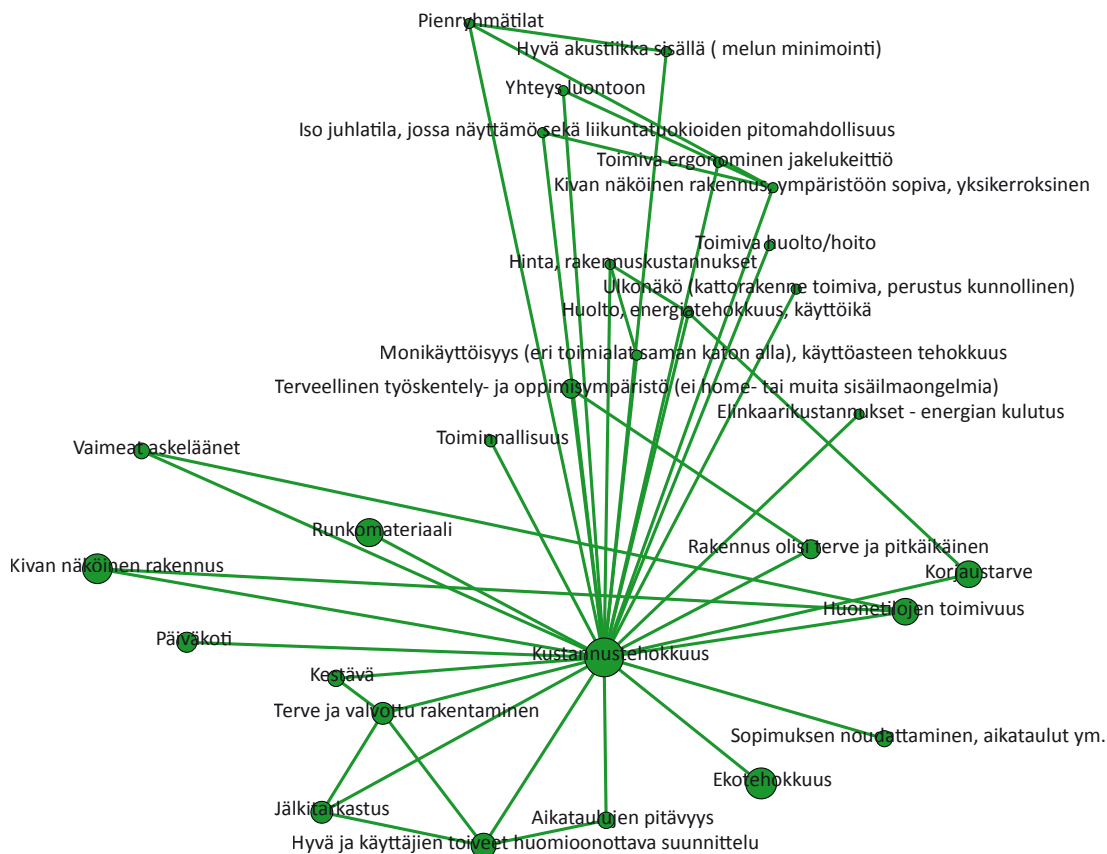
Noin 95 prosenttia Suomen talousmetsistä on PEFC-sertifioituja ja noin 2 prosenttia FSC-sertifioituja. Kuitenkin eräillä puutuotteiden keskeisillä markkinoilla FSC on paremmin tunnettu ja usein myös ainoa kelpuutettu sertifikaatti. Metsiemme hoidon kaksinkertainen sertifiointi ei ole hyvä vaihtoehto ratkaista tästä syntyviä kaupan ongelmia. Parempi tavoite olisi saavuttaa kilpailevien alkuperäketjusertifikaattien (PEFC-alkuperäketju ja FSC-tuotantoketju) keskinäinen hyväksyntä. Näin loppukäyttäjien ei tarvitsisi opetella kestävänsä metsänhoidon nyansseja, mutta terve kilpailu sertifiointissa säilyisi. Keskinäinen hyväksyntä on yksi tärkeimmistä tavoitteista puun ympäristösuorituskyvyn hyödyntämisessä.

Huolestuttava havainto tutkimuksessa on se, että vain harvat yritykset pystyvät vielä kertomaan, miten niiden asiakkaat konkreettisesti hyötyvät hyvästä ympäristösuorituskyvystä. Kuvailut hyödyt sopivat mihin tahansa tuotteeseen tai kertovat yleisestä ympäristöystävällisyydestä. Liiketaloudellisen tutkimuksen ajan mantra on asiakaslähtöisyys ja asiakasarvon tuottaminen. Näiden saavuttamiseen laajassa mittakaavassa on puun ympäristösuorituskyvyllä vielä matkaa.

9.5 Palvelurakentaminen

Palvelurakentamisella tarkoitetaan kouluja, päiväkoteja ja ikääntyvien palvelutaloja. Nämä ovat myös mahdollinen markkina teolliselle puurakentamiselle. Nummelin & Riala (2013) selvittivät millaisia näkemyksiä ja toiveita käyttäjillä ja kuntatoimijoilla (tekninen toimi) oli erityyppisille palvelurakennuksille. Kyselyn vastaajat edustavat Suomen kuntasektoria varsin kattavasti.

Kaikkiaan vastauksissa mainittiin 556 eri ominaisuutta, jotka ovat tärkeitä palvelurakennuksen valintapäätöksessä. Näistä noin 30 esiintyi yli 20 vastaajalla (yhteensä 170 vastaajaa). Kaikkein useimmin esiintyvät ominaisuudet olivat turvallisuus, esteettömyys, elinkaarikustannukset, kustannustehokkuus ja ekotehokkuus. Kaikki nämä ovat hyvin laajoja ja materiaalineutraaleja ominaisuuksia, jotka sopivat kaikenlaisiin palvelurakennuksiin.



Kuva 40. Kustannustehokkuuteen liitetyt muuttujat. Pallojen koot kuvaavat muuttujan esiintymismäärää ja linkkien paksuudet linkin esiintymistä aineistossa.

Uuden aineistonkeruumenetelmän avulla voitiin analysoida myös ominaisuuksien yhteyksiä toisiinsa. Tärkeimpien ominaisuuksien kohdalla löytyi yllättäviä yhteyksiä. Kuva 40 tarjoaa esimerkiksi yhteyksistä ominaisuuksien välillä. Tarkasteltava ominaisuus on kustannustehokkuus, joka mainittiin vastauksissa hyvin usein. Siihen on liitetty monia muita ominaisuuksia, jotka kuvaavat sitä, kuinka monimutkainen käsite kustannustehokkuus on. Osa ominaisuuksista, esimerkiksi korjaustarve ja monikäyttöisyys liittyvät varmasti monen mielessä kustannustehokkuuteen. Osa muista, kuten vaimeat askeläänet ja yhteys luontoon ovat yllättävämpiä kustannustehokkuuden osia. Kuvaa tulkittaessa kannattaakin huomata, että pallon koko viittaa siihen, kuinka monessa vastauksessa se esiintyy. Tosin vain muutamassa vastauksessa esiintyneet muuttujat voivat olla yksittäiselle, vaikutusvaltaiselle kuntapäätäjälle tärkeitä.

Tarkastelimme yhteyksiä ominaisuuksien välillä myös muodostamalla klustereita eli isompia kokonaisuuksia toisiinsa liittyvistä muuttujista. Puurakentamisen kannalta kiinnostava klusteri on esimerkiksi ”perinteinen ja paikallinen rakentaminen”, johon sisältyi osia 106 vastauksesta. Siihen sisältyivät esimerkiksi ominaisuudet ”perinteinen rakennustapa”, ”terveellinen sisäilma”, ”puu runkomateriaalina” ja ”rakentamisen aikataulu pitää”. Puurakentaminen voi hyötyä näistä positiivisista mielikuvista palvelurakentamisen saralla, kunhan rakentaminen ei tuota asiakkaille pettymyksiä laadun suhteen.

9.6 Venäjän puurakentamisen markkinat

Venäjän asuntorakentaminen lisääntyi vuosina 2000–2008 nopeasti, minkä jälkeen kasvu on taantunut. Merkittävimpiä syitä asuntorakentamisen lisääntymiseen ovat olleet asumisen ahtausta ja kansalliset ohjelmat, joilla asunto-oloja on pyritty parantamaan. Myös puun osuus erityisesti pientalorakentamisessa on kasvanut (Marttila 2010). Vuonna 2012 maan asuntorakentamisen määrä oli kaikkiaan 65,7 miljoonaa neliometriä (Žilištšnoje stroitelstvo 2013).

Kasvava kysyntä on keskeinen mahdollisuus suomalaisen rakentamisen puutuoteollisuuden toiminnalle Venäjällä. Suomalaisen rakentamisen puutuoteollisuuden yritysten kilpailuetuja Venäjällä ovat etenkin laadukkuus ja toimitusvarmuus (Marttila & Ollonqvist 2010).

Venäjän liiketoimintaympäristössä on kuitenkin monia riskejä, kuten korkea inflaatio ja logistiikan kehittymättömyys. Muita hankaluuksia aiheuttavia tekijöitä ovat muun muassa tullauksen ongelmat ja kustannukset sekä hitaasti yhtenevät standardit, lainsäädännön ristiriitaisuudet, byrokratia ja korruptio. Liiketoimintaympäristön odotetaan näiltä osin vakautuvan, joskin muutos on hidasta.

Myös venäläisten kuluttajien intressit asumisen laadun kohottamiseksi lisäävät pientaloasumisen kysyntää. Merkittävin asunnonvalintakriteeri oli hinta, jonka jälkeen seuraavat pohjaratkaisu, ympäröivä miljöö ja sijainti. Hintakilpailukyky sekä suurten volyymien toimituskyky muodostavat merkittävimmät haasteet suomalaisten puurakentamisen yritysten toiminnalle Venäjän asuntorakentamisen markkinoilla (Marttila & Ollonqvist 2012). Haasteena on myös markkinoille sopivan tuotemalliston kehittäminen (Marttila & Ollonqvist 2010). Metropolialueilla intensiivinen maankäyttö ja alueiden kalleus ovat esteenä matalan puurakentamisen toteuttamiselle. Tämä ohjaa puurakentamista kaukaisiin lähiöihin ja pieniin asutuskeskuksiin (Marttila 2010).

Suomalaisten puutuoteyritysten osallistuminen Venäjän aluerakentamiskohteisiin on ollut toistaiseksi vähäistä. Liiketoiminnan laajentaminen Venäjän markkinoille vaatiikin systemaattista toimintaympäristöön perehtymistä sekä strategisia linjauksia pitkän ajan toiminnalle. Tärkeää on koko arvoketjun toiminnan hallittavuus. Vertikaaliset integraatit, joissa suuri osa tuotantoketjusta on saman tahon hallinnassa, ovat olleet keskeisessä asemassa Venäjän rakennussektorilla, mutta kilpailutukseen perustuvat toimintamallit ovat yleistymässä (Marttila & Ollonqvist 2010).

Tyypillisesti korkeiden markkinointi- ja jakelukustannusten hallinta on onnistunut vain erikoistuotteiden viejiltä, joilla on erityisiä kilpailuetuja esimerkiksi laatuun liittyen. Perustamalla rakentamisen arvoketjuun vientirenkaita, jossa useat rakentamisen teollisuus- ja palveluyritykset organisoivat toimintoja yhteisesti, voidaan parantaa esimerkiksi logistiikan kustannustehokkuutta ja vähentää markkinanäkyvyyteen liittyviä kustannuksia (Marttila & Ollonqvist 2010).

Mikäli Venäjällä jatketaan paikallisten investointien tukemista ja puurakentamisen tuotteiden tulleitaso pysyy korkealla, kiinteiden investointien määrä maahan todennäköisesti kasvaa (Ollonqvist ym. 2011). Tämä mahdollistaa rakentamisen volyymimarkkinoille osallistumisen.

9.7 Modifioidun puun markkinat Venäjällä

Puun modifiointiliiketoimintaa, alan kehitystyötä ja modifioitujen puutuotteiden markkinoita Venäjällä tunnetaan huonosti. Tutkimuksen (Kiseleva ym. 2014) tavoitteena oli kartoittaa venäläisiä modifioidun puun ja modifiointilaitteistojen tuottajia, alan tutkimus- ja kehitystoimintaa, tuotantomääriä sekä modifiointiin käytettäviä tekniikoita. Lisäksi arvioitiin kuluttajien ja suunnittelijoiden tietoisuutta modifioitujen puutuotteiden ominaisuuksista ja käyttömahdollisuuksista rakentamisen ja asumisen ratkaisussa. Tiedon hankinnassa käytettiin yritysten ja tutkimusorganisaatioiden internet-sivuja sekä henkilöhaastatteluja.

Puun modifiointia on kehitetty Venäjällä monipuolisesti viimeisten 15 vuoden aikana. Suurin osa tutkituista menetelmistä ei ole johtanut tuotannon käynnistymiseen. Tällä hetkellä tuotanto rajoittuu lämpökäsittelyn variaatioihin, jotka jäljittelevät alun perin Länsi-Euroopassa kehitettyjä menetelmiä. Venäläiset modifioidun puun tuottajat tähtäävät vientimarkkinoille, mutta toimivat toistaiseksi lähinnä kotimaassa. Kansalliset politiikkapäätökset pyrkivät vähentämään tuontiriippuvuutta, mikä helpottaa venäläisten tuottajien toimintaa ja vaikeuttaa ulkomaalaisten tuotteiden pääsyä markkinoille.

Modifioidun puun markkinoiden, jotka ovat tällä hetkellä noin 35–40 miljoonaa euroa vuodessa, arvioidaan kasvavan tasaisesti Venäjällä. Tällä hetkellä maassa toimii noin 20 lämpökäsittelyn puun tuottajaa, joiden yhteistuotantokapasiteetti on 60 000–65 000 kuutiometriä vuodessa. Se vastaa noin puolta Suomen tuotannosta. Suomessa tuotettu lämpöpuu on pääosin terassi- ja ulko-verhouslautoja, kun taas Venäjällä lämpökäsittelyn puun markkinoiden merkittävä osa ovat liimatut ja massiiviset hirret.

Arkkitehtien ja suunnittelijoiden tietämys modifioidun puun käyttömahdollisuuksista arvioitiin toistaiseksi melko huonoksi. Kuluttajien puolestaan ajatellaan suhtautuvan modifioituun puuhun edelleen premium- tai jopa eliittituotteena. Muotilehdet, television sisustusohjelmat ja internetin keskustelufoorumit, joissa modifioitua puuta mainostetaan aktiivisesti, lisäävät sen tunnettuutta ja menekkiä.

9.8 Puutuotteiden käytön edistäminen – Pohjoinen mänty

Männylle luontaisissa kasvuoloissa Pohjoismaissa muodostuu runsaasti laatupuuta, jonka ominaisuudet sopivat hyvin erilaisiin loppukäyttökohteisiin ja tuovat toiminnallisia etuja puutuotteiden käyttäjille. Pohjoista alkuperää olevalla männyllä on joukko erityisominaisuuksia, joilla on myönteisiä vaikutuksia siitä valmistettaviin tuotteisiin, vaikka myös käyttöä suuntaavia rajoitteita. Suomessa pohjoisen männyn tyypillisinä kasvialueina voidaan pitää Kemi-Joensuu -linjan pohjoispuolisia alueita sekä korkeita, viljavuudeltaan enintään keskitasoisia alueita Sisä-Suomessa ja Pohjanmaalla.

Pohjoismainen mänty ja sen käyttömahdollisuudet eri tuoteryhmissä tunnetaan kuitenkin yllättävän huonosti varsinkin kaukomarkkinoilla (Aasia, Afrikka, Pohjois-Amerikka, Latalalainen Amerikka). Suomalaisilla puutuoteyrityksillä on myös usein puutteelliset tiedot männyn yhteensopivuudesta kansainvälisiin ja kansallisiin tuotestandardeihin. Tarvitaan siis jalkautettua tietoa ja apuvälineitä tukemaan markkinointiviestintää, innovaatiotyötä ja tuote- ja teknologiakehityksen

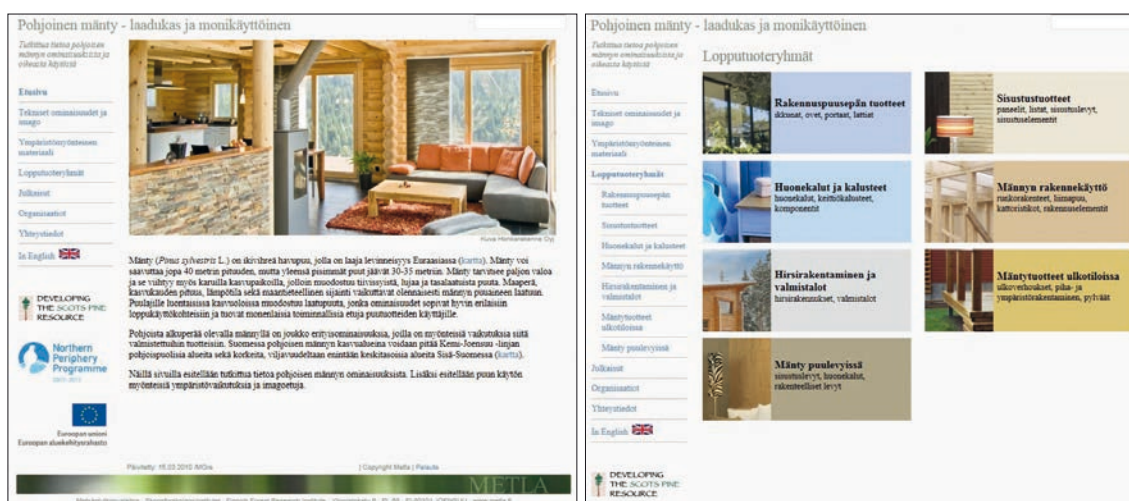
suuntaamista, kuten myös perus- ja jatkojalostuksen raaka-aineiden lähteiden optimointia tuotesegmenttien ja asiakasryhmien tarpeiden mukaan.

Mäntyä puutuotekäytössä koskeva tutkimustieto on ollut tähän asti saatavilla pääasiassa tutkimusjulkaisujen, lehtiartikkelien ja erilaisten tiedonsiirtotapahtumien välityksellä. Metlan puutieteen tutkimusryhmässä ryhdyttiin tästä syystä tehostamaan erityisesti 2000-luvulla tehtyjen laajojen mäntytutkimusten tulosten jalkauttamista osana EU:n Pohjoisen Periferian ohjelman tiedonsiirto- ja kehityshanketta ”Developing the Scots Pine Resource (DSP)” (2008–2011).

Hankkeen alussa koottiin kattavasti yhteen suomalainen tutkimustieto, jota täydennettiin lisätiedoilla Skotlannista, Ruotsista ja Norjasta (hankkeen partnerimaat) sekä yrityshaastattelujen tuloksilla Suomesta (hankkeen kolmen kohdealueen asiantuntijaryhmät). Tulokset on koottu raporttiin Tikakoski ja Verkasalo (2011).

Tutkimustiedon pohjalta luotiin kaksikielinen internet-sivusto, ”Pohjoinen mänty – laadukas ja monikäyttöinen / Scots pine – Excellence and image” (Kuva 41). Sivuston tavoitteena on tuoda mänty-tietous puutuoteyritysten, kotimaisen ja kansainvälisen puutuotealan osapuolten sekä puutoimialan kehittäjien saataville siten, että käyttäjä- ja asiakaslähtöinen kokonaisuus tavoittaa kohderyhmät. Sivuston avulla pyritään lisäämään männyn arvostusta ja hyödyntämistä puutuotealan teollisten asiakkaiden ja kuluttajien keskuudessa. Markkinoinnissa nostetaan esiin vanhaa ja luodaan uutta imagoa mäntytuotteille sekä korostetaan tarvetta tuotebrändien luomiseen ja niiden lanseeraamiseen asiakasmarkkinoille. Lisäksi tuodaan esiin faktatietoa mäntysahapuun kaupan ja raakapuumarkkinoiden toimivuuden kehittämiseksi.

Sivustolla esitellään todennettua tietoa pohjoisen männyn kilpailukykyominaisuuksista ja oikeasta käytöstä sekä puulajina että erikseen seitsemän lopputuoteryhmän vaatimusten näkökulmista katsottuna. Lopputuoteryhmät edustavat mäntyteollisuuden avainalueita. Lisäksi sivustolla esitellään puun käytön ympäristövaikutuksia ja imagokysymyksiä. Sivuston suunnitteluun, tekoon ja testaukseen osallistui Metlan tutkijoiden lisäksi puutuotealan opettajia ja opiskelijoita Rova-



Kuva 41. ”Pohjoinen mänty – laadukas ja monikäyttöinen / Scots pine – Excellence and image”-sivuston etusivu (vas.) ja sivustolla esiteltävät lopputuoteryhmät (oik.). <http://www.metla.fi/metinfo/northernpine/index.html>

niemen ja Pohjois-Karjalan ammattikorkeakouluista. Lisäksi hankkeen kohdealueiden asiantuntijaryhmien kautta työhön osallistui 21 puutuoteyritysten ja kahdeksan kehittämisorganisaatioiden edustajaa. Kohdealueet olivat Koillismaa-Lappi, Pohjois-Karjala ja Keski-Suomi. Sivustolla esitettyä materiaalia ja johtopäätöksiä voidaan vapaasti lainata tai muuten käyttää esimerkiksi yritysten oman markkinointi- ja asiakasviestinnän tueksi. Aineisto ja julkaisulinkit ovat myös käytettävissä tuote- ja teknologiakehitystyöhön, liiketoimintamahdollisuuksien ideointiin sekä raaka-aineen hankinnan suunnitteluun. Metla vastaa sivuston ylläpidosta.

Suomenkielisen sivuston kohderyhminä ovat ennen kaikkea puutuotealan ammattilaiset ja teolliset mäntytuotteiden käyttäjät. Näkökulmina ovat ensisijaisesti tekninen tieto, liiketoimintamahdollisuudet ja riskien hallinta ja toissijaisesti mielikuvat. Englanninkielisen sivuston kohderyhminä ovat erityisesti kuluttajat, suunnittelijat ja arkkitehdit, puutuotekaupan eri portaat sekä julkispäättäjät. Sivustolla korostuvat ensin mielikuvat ja vasta sitten tekninen tieto, käyttöominaisuudet, hyvinvointivaikutukset ja riskien hallinta.

Lisätietoa

- Kettunen, L. 2012. Product attributes and dimensions affecting consumer preferences – Residential landscaping construction. Pro gradu, Helsingin yliopisto, Puumarkkinatieteen laitos.
- Kiseleva, V., Möttönen, V., Riala, M. & Heräjärvi, H. 2014. Wood modification and markets for modified wood in Russia. Proceedings of the 7th European Conference on Wood Modification. 8 p.
- Malinen, J. & Verkasalo, E. 2010. Pohjoinen mänty – laadukas ja monikäyttöinen. Scots Pine – Excellence and Image. <http://www.metla.fi/metinfo/northernpine/index.html>
- Marttila, J. 2010. Venäjän puurakentaminen 2000-luvulla. Julkaisussa: Hänninen, R. & Sevola, Y. (toim.). Metsäsektorin suhdannekatsaus 2010–2011. Metsäntutkimuslaitos, s. 49–51.
- Marttila, J. & Ollonqvist, P. 2010. Puurakentamisen suomalais-venäläinen liiketoiminta Venäjällä – vientikaupasta verkostoihin. Metlan työraportteja 151. 73 s.
- Marttila, J. & Ollonqvist, P. 2012. Kuluttaja-arvostusten vaikutukset suomalaisen puurakentamisen kilpailukykyyn Luoteis-Venäjällä. Metsätieteen aikakauskirja 2/2012: 126–132.
- Nummelin, T. & Riala, M. 2013. Palvelurakentamisen tarpeet ja toiveet varhaiskasvatukseen, opetustoimen, ikääntyneiden palveluiden ja teknisen toimen näkemyksiä. Metlan työraportteja 277. 50 s.
- Ollonqvist, P., Marttila, J., Viitanen, J., Pirhonen, I. & Toropainen, M. 2011. Russian residential construction networks – options for Finnish timber construction enterprises and the economic and employment impact potential in Finland and Northwest Russia. Julkaisussa: Välkky, E., Viitanen, J. & Ollonqvist, P. (toim.). Impact of changes in forest and economic policy and the business preconditions in Russia and Finland. Metlan työraportteja 218. S. 84–126.
- Riala, M. & Kettunen, L. 2011. Kuluttajat arvostavat viihtyisää pihaa. Puumies (8): 16–17.
- Riala, M., Kettunen, L. & Toppinen, A. 2013. Consumer preferences for wooden garden products and related requirements for new products. Journal of Forest Products Business Research (10): 1–11.
- Riala, M. & Nummelin, T. 2012. Mapping customers' minds with a new technique: The case of housing needs and preferences in Finland. In: Rediscovering Wood: The Key to a Sustainable Future. The International Conference on the Art and Joy of Wood, Bangalore, India, 19 October–22 October 2011. Proceedings. FAO, s. 425–453.
- Riala, M. & Nummelin, T. 2014. Developing and testing an online tool for probing customer preferences. International Journal of Market Research (painossa).
- Räty T. 2012. Boosting Nordic wood sales with green marketing. News and Views, Scandinavian Journal of Forest Research (27/8): 808–809.

- Räty, T., Lindqvist, D., Nuutinen, T., Nyrud, A.Q., Perttula, S., Riala, M., Roos, A., Tellnes, L.G.F., Toppinen, A. & Wang, W. 2012a. Communicating the environmental performance of wood products. *Metlan työraportteja* 230. 71 s.
- Räty, T., Nuutinen, T., Perttula, S., Riala, M., Toppinen, A., Wang, L., Lindqvist, D., Roos, A., Nyrud, A.Q. & Tellnes, L. 2012b. Communicating environmental performance: qualitative study on the perspectives of the Nordic wood industry. In: Toppinen, A., Karppinen, H. & Kleemola, K. (eds.). *Proceedings of the Biennial Meeting of the Scandinavian Society of Forest Economics*, Hyytiälä, Finland, May 2012. *Scandinavian Forest Economics* 44, s. 132–139.
- Räty, T., Toppinen A., Roos, A., Riala, M., Nyrud, A.Q. Julkaistavana. Environmental policy in the Nordic wood product industry: insights into firms' strategies and communication. *Business Strategy and the Environment*.
- Tikakoski, S. & Verkasalo, E. 2011. Technical properties and their regional variation of Scots pine – perspective of wood products with the reference to image factors. Report from literature reviews and expert interviews. METLA Finnish Forest Research Institute, Eastern Finland Regional Unit, Joensuu. 184 s.
- Verkasalo, E., Grekin, M., Tikakoski, S. & Malinen, J. 2013a. Tooling properties of Scots pine from Northern Europe for value-added interior products. In: IWMS-21 Organizing Committee (ed.). *21st International Wood Machining Seminar Proceedings*, August 4–7, 2013. Tsukuba, Japan. P. 56–63.
- Verkasalo, E., Grekin, M., Tikakoski, S. & Malinen. 2013b. Woodworking properties of Scots pine from Northern Europe and their competence for value-added joinery products. *PRO LIGNO* 9(4): 349–358.
- Verkasalo, E. & Malinen, J. 2010. Pohjoinen mänty – laadukas ja monikäyttöinen. *Puumies* 55(4): 22–23.
- Žilištšnoje stroitelstvo [Asuinrakentaminen] (2013) Federalnaja služba gosudarstvennoi statistiki [Liittovaltion tilastopalvelu]. Saatavilla: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/enterprise/building/# Viitattu 11.11.2013.

10 Yritys- ja innovaatiotutkimus sekä puutuotealan verkostot

Thomas Rimmler, Heikki Korpunen & Jori Uusitalo

10.1 Tausta

Tässä kappaleessa raportoidaan yhteiseurooppalaisessa COST E51 -tutkimushankkeessa tehdyn tutkimustyön tuloksia siltä osin kun ne liittyvät PUU-ohjelman tavoitteisiin. COST E51 -hankkeessa tehtyjen erillistutkimusten tulokset on julkaistu mm. kokoomateoksessa (Weiss ym. 2011). Lisäksi raportoidaan kotimaisten yritystutkimusten ja Pirkanmaalla toteutettujen pienyritysten kehittämishankkeiden tuloksia.

10.2 Verkostot ja paikalliset toimintaympäristöt kalustealan innovaatioalustoina

Jo pitkään vahvassa muutospaineessa olleen kalustealan yritystoiminta on kehittynyt puutuotealaa voimakkaammin, erityisesti verkostomaisten ja asiakaslähtöisten liiketoimintamallien osalta. Haastattelututkimus, johon osallistui kymmenen kalustealan yritystä ympäri Eurooppaa, osoitti että alan yritykset ovat eriytyneet erilaisiin strategisiin ryhmiin. Tuotedifferointiin tähtäävän kilpailustrategian avulla yritykset ovat onnistuneet kompensoimaan suhteellista kustannushaittaa kilpailijamaihin verrattuna ja pysymään siten markkinoilla. Samalla yritykset ovat kehittäneet tuotannon kustannustehokkuutta erikoistumalla, ulkoistamalla tuotantovaiheita sekä tehostamalla prosessiautomaatiota. Ulkoistaminen suuntautui päämarkkinoita lähellä oleviin alemman kustannustason maihin.

Ketteryyttä painottavien toimintamallien toimeenpanossa tietokoneavusteisten tuotesuunnittelu- ja tuotannonohjausjärjestelmien avulla yritykset ovat parantaneet kykyään vastata nopeasti kysynnän muutoksiin ja ottaa entistä paremmin huomioon kuluttajien yksilöllisiä tarpeita.

Uudet markkinointikanavat välittävät yrityksille entistä paremmin tietoa ostajista. Tietokoneavusteisten informaatiojärjestelmien avulla hajautetun toimitusketjun ohjattavuutta on myös voitu kehittää. Tietotekniikan käyttöönotto ei ole kuitenkaan ratkaisevalla tavalla muuttanut alan yritysten suhteellista kilpailuasemaa tai laajentanut niiden tuotteiden markkinoita.

Tuotedifferointiin tähtäävän kilpailustrategian mukaan tuotesuunnitteluun ja markkinointiin panostaneissa yrityksissä tärkeää muotoiluosaamista on hankittu verkostoitumalla.

Alan kehitykselle suotuisaa toimintaympäristöä luotaessa on tärkeää keskittyä toimenpiteisiin, jotka turvaavat täydentävän osaamisen ja innovaatiopalveluiden saatavuutta. Alan innovaatiokyvykkyys perustuu keskeiseltä osalta konfiguratiiviseen osaamiseen, jonka kolme elementtiä ovat: 1) kyvykkyys kerätä ja hyödyntää hajallaan olevaa tietoa ja osaamista eri tieteen ja teknologian alueilta sekä yhdistellä sitä uudella tavalla omiin tarpeisiin, 2) kyvykkyys koota ja johtaa yhteistyöverkostoja sekä 3) tuotekonseptointi- ja muotoiluosaaminen. Lisäksi korostuu hiljaisen, sosiaalisiin verkostoihin juurtuneen tiedon merkitys alan yritysten innovaatiokyvykkyyteen vaikuttavana rakenteellisena tekijänä.

10.3 Alueklusterit puutuotealan yritysten innovaatioperusteisen kilpailukyvyn kehitysalustana

Puutuotealan pk-yritysten innovaatiokyvykkyyden kehittämässä korostuu sisäisten voimavarojen ja menestystekijöiden lisäksi toimintaympäristöön liittyvien tekijöiden merkitys. Esimerkiksi pienet yritykset ovat riippuvaisia maantieteelliseen läheisyyteen sijoittuvista voimavaroista.

Suomessa pienet kaupunkiseutujen ulkopuoliset yrityskeskittymät ja niiden alueelliset toimintaympäristöt ovat olleet puutuotealan kannalta tärkeitä klusteripohjaisen kehittämisen kohteita. Pienten aluekeskusten kehittämisohjelmiin osallistuneista alueista yli puolella puutuoteala on ollut erityisen huomion kohteena elinkeinopoliittisissa päätöksissä. Tapaustutkimuksen tulokset viittaavat siihen, että puutuotealan alueelliset kehitysstrategiat olisivat olleet keskenään heikosti koordinoituja, minkä seurauksena erikoistumisen ja keskittämisen etuja ei ole voitu täysin realisoida. Alueiden välisen yhteistyön tiivistäminen ja voimavarojen käyttökohteiden määrätietoisempi valinta kansallisten prioriteettien pohjalta parantaisi kehitysponnistusten tuloksellisuutta.

Myös muualla Euroopassa puutuotealan kehittäminen on organisoitu systemaattiseksi järjestäytyneeksi toiminnaksi (Cluster Initiatives). Tapaustutkimus osoitti, että kaikissa neljässä tutkitussa maassa puutuotealan pk-yritykset olivat alueellisten klusteriyhteistyöverkostojen kautta ohjelmallisen yritys- ja innovaatiopolitiikan piirissä. Kehittämistoimien tärkeimmät kohteet ovat pk-yritysten strategiset yhteistyöverkostot, osaamisen ja teknologian siirto sekä markkinointiyhteistyö, jossa puualan strategisina kumppaneina ovat koulutus- ja tutkimussektorin sekä julkisen sektorin alueelliset toimijat.

10.4 Kansalliset politiikat ja ohjelmat sekä innovaatioiden edistäminen teollisessa puurakentamisessa

Innovaatioprosessin systemisen ymmärryksen pohjalta tarkasteltiin rakentamisen tuotantojärjestelmän rakennetta ja sen osapuolten välistä työnjakoa muuttavan tuottajamuotoisen puurakentamisen toimintamallin rakenteellisia esteitä. Systemisen innovaatiokäsityksen mukaan uuden teknologian ja toimintamallin leviäminen edellyttää suotuisaa institutionaalista innovaatioympäristöä.

Teollisen puurakentamisen diffuusiota ja soveltamista hidastavia tai estäviä tekijöitä analysoitiin viitekehyksessä, joka pohjautuu käsitykseen rakentamisesta monitasoisena, kompleksisena ja monimutkaisena tuotantojärjestelmänä. Aidosti systeemitason tavoitteita palvelevien innovaatioiden diffuusion ja käyttöönoton rakenteellisina esteinä ovat päätöksenteon hajautuneisuus omien intressien pohjalta toimivien projektiosapuolten kesken.

Kompleksisessa järjestelmässä uudistus jossain osassa tyypillisesti vaikuttaa kielteisesti joidenkin toimijoiden asemaan tai koetaan uhkana heidän intresseilleen. Tarjouskilpailun perusteella valitut urakoitsijat ja toimittajat ovat harvoin riittävässä määrin valtuutettuja teknisiin uudistuksiin. Samalla tuotantojärjestelmän ohjauksesta vastaaville ja järjestelmäintegraattoreina toimiville avaintoimijoille lankeaa rooli tuotantojärjestelmän uudistamisessa. Rakentamisen tuotantojärjestelmässä keskeinen rooli järjestelmäintegraattoreina ja innovaatiojohtajina on arkkitehdillä, pääsuunnittelijalla ja pääurakoitsijalla.

Rakentamisen tuotantojärjestelmän innovaatioperusteiseen uudistuskykyyn vaikuttavat tekijät kytkeytyvät tuotantoprosessin osapuolina olevien yritysten lisäksi laajemmin niitä ympäröivän innovaatiojärjestelmän ominaisuuksiin. Kompleksisuutta lisäävinä tekijänä ovat prosessin sidosryhmien erisuuntaiset vaatimukset.

Perustuen yrityscase-kohtaisiin havaintoihin seitsemästä Euroopan maasta arvioitiin uuden rakennusmateriaalin, rakennekomponentin ja rakennusjärjestelmän käyttöönoton vaikutuksia rakentamisen prosessin osapuolten väliseen työnjakoon ja asemaan rakentamisen arvoketjussa.

Arviointiin laadullisina mittareina käytettiin innovaatioiden järjestelmävaikutusten laajuutta osoittavia innovaatiotyyppejä. Vaikutukset olivat joko vähäisiä rajoittuen yrityksen sisäisiin muutoksiin tai edellyttivät oleellisia muutoksia sekä prosessiosapuolten välisissä suhteissa että lopputuotteen rakenteessa.

Lisäksi tarkasteltiin mahdollisia radikaalien uudistusten taustalla olevia ja maiden välisiä eroja selittäviä tekijöitä rakennustoiminnan säädösympäristön sekä politiikan toimien osalta. Johtopäätöksenä ja suosituksena esitettiin keinoja rakentamisen tuotantojärjestelmän uudistumisen nopeuttamiseksi: 1) kansainvälisen harmonisointiprosessin edistäminen, 2) tilaajan ja loppukäyttäjän aseman vahvistaminen, 3) tutkimussektorin ja tuotantojärjestelmän osapuolten alueellisen yhteistyön edistäminen, 4) perinteisten toimintamallien rakentamisen tuotantojärjestelmän uudistumista hidastavien vaikutusten tutkiminen sekä 5) pienempien yritysten näkökulman huomioonottaminen innovaatiopolitiikan toimien suunnittelussa.

10.5 Puurunkorakenteiden valmistajien innovaatioiden lähteet

Tapaustutkimuksen kohteena olleet viiden maan yritykset olivat uudistaneet liiketoimintaansa tarjoamalla asiakkaille yksittäisten tuotteiden sijaan kokonaisratkaisua ja näin omaksuneet ansaintalogiikan suhteen uudenlaisen tuote- ja palvelukokonaisuuden kattavan liiketoimintamallin. Yritykset olivat laajentaneet tarjoamaansa rakennusmateriaalien ja komponenttien toimituksista kohti rakennuskohteen suunnittelun ja toimituksen kattavia kokonaistoimituksia.

Markkinoilta saadut signaalit ja kannattavan uuden liiketoiminnan kehittämisen motiivit ovat olleet merkittäviä innovaation aloitetekijöitä kaikissa tapauksissa. Innovaatioprosessin olivat laukaisseet oivallus demografisen muutoksen ja uusien asiakastarpeiden ja mieltymysten myötä kehittyvien markkinoiden tarjoamista mahdollisuuksista. Uusille markkinoille tuloa tuki yhtäältä käyttäjälle tarjottava lisäarvo tuotteen ympäristö- ja käyttölaadusta, toisaalta tilaajalle hankintaprosessia yksinkertaistamalla koituvat vaihdantakustannussäästöt sekä uuteen teknologiaan liittyvien taloudellisten riskien väheneminen avaimet käteen -toimituksilla. Arvolupauksen ja sen täyttämisen edellytysten välisen kuilun havaitseminen käynnisti uusien liiketoimintaprosessien ja niiden edellyttämän osaamispohjan kehittämiseen tähtäävän toiminnan yrityksissä.

Politiikka-analyysin kohteena oli kysymys siitä, miten laajasti erilaiset julkisen vallan politiikka-keinot ovat osoittautuneet merkittäviksi käynnistämään ja edistämään case-yritysten innovaatioprosesseja. Yleistettäviä johtopäätöksiä eri politiikan keinojen merkityksestä ei voitu esittää. Poliitiikan keinot ovat olleet vaikutukseltaan vastakkaismerkkisiä ja merkityksellisiä vain yksittäisten tekijöiden osalta.

10.6 Innovaatioprosessin ajurit pienissä puutuotealan yrityksissä

Löydöt innovaatioprosessin ajureista ja sen menestykseen vaikuttavista tekijöistä perustuvat kansainvälisiin havaintoihin neljästätoista pienyrityksestä. Yritysten analyyseissa käytiin läpi innovaatioprosessin käynnistyksen ja menestyksellisen läpiviennin kannalta tärkeitä tekijöitä neljällä eri tasolla.

Tapaustutkimuksissa löydetty innovaatioajurit olivat maa- ja tapauskohtaisesti erilaisia ja sijoituivat eri tavalla vaikutustekijöiden eri tasoihin. Innovaation ajurina ja innovaatioprosessin laukaisijana ovat olleet sekä havainnot yrityksen toimintaympäristön tarjoamista uusista liiketoimintamahdollisuuksista että yrityksen toiminnan ja sisäisten prosessien uudistamisen tuottamista taloudellisista eduista.

Innovaatioprosessin alkupäässä mahdollisuuksien ja ideoiden etsimisessä ja löytämisessä korostui verkostosuhteiden ja heikkojen sidosten merkitys. Innovaatioprosessin läpiviennissä ja innovaation varsinaisessa toimeenpanovaiheessa sen sijaan korostui vahvojen sidosten merkitys. Vahvoja sidoksia muodostivat arvoverkon osapuolten ja muiden innovaatioprosessin hyödynsaajien väliset taloudelliset kytkennät.

Innovaatioprosessin menestyksen kannalta heikkojen sidosten eli henkilökohtaisiin ja epämuodollisiin suhteisiin perustuvien sidosten merkitys vahvojen sidosten rinnalla on ollut vähäinen. Eräässä tapauksessa heikot sidokset korvasivat puuttuvia vahvoja verkostosuhteita. Tällöin heikkojen sidosten merkitys korostui yrityksen innovaatioprosessille tärkeiden palveluiden puuttuessa. Yrityskohtaisessa innovaatioympäristössä puuttuvat vahvat sidokset voi olla merkki siitä, että innovaatiojärjestelmää ei ole onnistuttu integroimaan yrityksen innovaatioprosessiin. Paikallisten tai alueellisten sidosten merkitystä ei voitu havaita.

Yksilötasolla merkitykselliseksi osoittautui vahvan johtajan rooli uuden liiketoiminnan kehittämiseen tähtäävän innovaatioprosessin johtamisessa. Innovaatiojohtaja keskeisenä innovaatioprosessin käynnistäjänä ja eteenpäin viejänä voimahahmona henkilöityy pienissä yrityksissä yrittäjään tai toimitusjohtajaan. Johtopäätöksensä ja suosituksensa esitettiin, että innovaatiojohtajan merkitys tulisi tunnustaa keventämällä hänen kantamaansa hallinnollista taakkaa. Havainnoista päätellen innovaation menestyksen ratkaisee proaktiivinen liiketoimintamahdollisuuksien ymmärtäminen, joka edellyttää liiketoimintaympäristön kehityksen jatkuvaa seurantaa ja uhkia tai mahdollisuuksia muodostavien muutosten ennakoitua.

10.7 Strateginen johtaminen pienissä puutuotealan yrityksissä

Pysyäkseen nopeasti muuttuvassa toimintaympäristössä muutoksen mukana korostuu yrityksen jatkuvan oppimisen ja muutoskyvykkyyden merkitys. Yritystoiminnan pitkäjänteisen kehittämisen kannalta muutoskyvykkyys ilmenee siinä, miten yritys määrittää ja panee toimeen strategiset suuntaukset liiketoimintansa kehittämiseksi, ja miten kehittämisstrategia ohjaa yrityksen ponnistuksia strategian edellyttämien valmiuksien määrätietoiselle kehittämiselle.

Pienissä satakuntalaisissa puutuotealan yrityksissä tehdyissä haastatteluissa ei tullut esiin yhtään valmiuksien kehittämiseen tähdännyttä strategista päätöstä. Tutkimuksessa ei myöskään pystytty vahvistamaan aiemmissa tutkimuksissa tärkeinä esille nousseiden kilpailukykytekijöiden mer-

kitystä. Yrityksissä strateginen kehittäminen painottui käytännön parannuksiin. Yritysten käytännönläheinen suhtautuminen strategiseen päätöksentekoon näkyi siinä, että yritykset kokivat hyötynsä eniten selvästi rajatuista kehityshankkeista. Kirjattua strategiaa tärkeämmäksi osoitettiin tavoitteellinen ja asiakaslähtöinen liiketoiminnan kehittäminen.

10.8 Puutuote- ja kalustealan pk-yritysten yhteistyö

Kyselytutkimuksella selvitettiin yhteistyöaktiivisuutta liiketoiminnassa ja yhteistyön merkitystä liiketoiminnan ja osaamisen sekä epävarmuuden hallinnan ja uudistuskäytännön kohenemisessä. Kyselyyn osallistui 14 kalusteita ja niiden komponentteja sekä puutaloja ja rakennuspuusepäntuotteita valmistavaa yritystä, joiden yhteinen liikevaihto on runsaat 50 milj. euroa. Liiketoiminnan organisoimisen osalta tutkimus tuotti tietoa yhteistyösuhteiden laadusta suhteessa tärkeimpiin toimittaja- ja asiakasyrityksiin. Yhteistyö osaamisen ja kyvykkyyksien kehittämisen osalta ulottui yritysten lisäksi innovaatiopolitiikan toimeenpano-organisaatioihin.

Ulkoisen yhteistyön merkitys yritystoiminnan ja sen eri osaamisalueiden kehittämisessä arvioitiin kohtalaiseksi. Asiakassuhteiden kehittäminen priorisoidaan yhteistyön kehittämiskohteeksi. Tärkeimmäksi arvioitu yritysten välinen yhteistyö on usein jatkuvaa tai säännöllistä, kun taas yhteistyö muiden toimijoiden kanssa on satunnaisempaa ja käsittää käytännössä aiheeltaan tai kestoltaan rajatut hankkeet.

Yritykset ovat keskenään hyvin erilaisia sen suhteen, miten eri tekijöiden tärkeyttä arvioidaan yhteistyön menestyksellisyydelle. Tärkeimmiksi osoittautuivat hyvät henkilökohtaiset suhteet, vähiten tärkeiksi kumppanin maantieteellinen läheisyys. Maantieteellisen läheisyyden merkitys liitetään yleensä hiljaisen tiedon siirtoon. Huippuosaamisen merkitystä korostaneet yritykset pitivät henkilökohtaisia suhteita vähemmän tärkeinä kuin muut, mikä heijastaa yritysten ja huippuosaamisen tunnistamisesta vastaavien välittäjäorganisaatioiden välisten suhteiden luottamuksellisuutta.

Yhteistyön tarve korostui liiketoiminnan jatkuvassa kehittämisessä. Vähemmän tärkeäksi arvioitiin yhteistyö, joka tähtää uuden liiketoimintaosaamisen ja teknisen osaamisen hankkimiseen. Ei ole myöskään kovin vahvaa yhteistä näkemystä yhteistyön tärkeydestä uusien liiketoimintamahdollisuuksien etsimisessä ja kehittämisessä. Tuloksessa heijastuvat yritysten varsin erilaiset näkemykset kasvumahdollisuuksista ja -halukkuudesta.

Yritykset erottuvat sen suhteen, paljonko ne panostavat liiketoimintansa ja osaamisensa kehittämiseen. Yritykset, jotka panostavat paljon yhteistyöhön, panostavat myös liiketoiminnan ja osaamisen kehittämiseen. Mitä tiiviimmin ja laajemmin yhteistyötä harjoitetaan, sitä enemmän kehittämiseen myös panostetaan.

10.9 Puutuotealan yrittäjyyden edistäminen Pirkanmaalla

PUU-ohjelmaan on kuulunut koko ohjelman ajan Pirkanmaan puutuotealan kehittäminen. Kehittämistyötä tehtiin Elinvoimainen puuverstas (2009–2012) ja Puusta elinvoimaa (2012–2014) -hankkeissa. Elinvoimainen puuverstas -hankkeessa kehitettiin Pirkanmaan puualan yritysten osaamista, edistettiin markkinointiviestintää ja verkottumista sekä aktivoitiin yritysten tuoteke-

hitystä ja investointeja. Yritysten toiveiden mukaan puualan kehittämistä jatkettiin Puusta elinvoimaa -hankkeessa, jossa edelleen tehostetaan yritysten verkottumista ja markkinointiviestintää, edistetään puurakentamishankkeiden käynnistämistä, aktivoidaan yrityksiä uusiin tutkimus- ja kehittämishankkeisiin ja välitetään tietoa valtakunnallisista PuuSuomi-verkoston kehittämissuunnitelmissa. Hankkeen kautta on myös mahdollista jakaa Metlan tutkimustietoa suoraan käytännön toimijoille.

Kehittämistyö on yrityslähtöistä ja siinä on keskitytty pirkanmaalaisiin puutuotealan pk-yrityksiin. Pirkanmaalla on yli 300 puutuotealan yritystä ja alueen puunjalostus on perinteisesti painotunut ensiasteen jalostukseen, eli sahaukseen, höyläykseen ja kyllästämiseen. Maakunnassa on myös runsaasti puusepäntuotannon yrityksiä, joille Tampereen seutukunta ja myös pääkaupunkiseutu ovat tärkeitä markkina-alueita. Puun jalostusasteen nostamisessa ja markkinoinnin parantamisessa on siis runsaasti potentiaalia. Kehittämissuunnitelmissa on perustettu Puutuotetori.fi-palvelu, jossa halukkaat yritykset voivat markkinoida tuotteitaan suoraan asiakkaille. Puutuotetori.fi-nimikkeen alla on myös koordinoitu ja järjestetty yhteisosastoja useille eri messuille, näin pienyrityksille on hankittu näkyvyyttä ja uusia markkinointimahdollisuuksia. Yrityksille on järjestetty toimialasuunnattuja ja taloushallinnollisia koulutuksia, joiden aiheet ovat nousseet esiin yrityskäynnillä. Esimerkiksi kesällä 2013 useille rakenteellisille puutuotteille pakolliseksi tullut CE-merkintä sekä INSTA 142 -lujuuslajittelu aiheuttivat kurssitustarvetta.

Pääosa kehittämistyöstä on kuitenkin yrittäjien arkipäiväisten ongelmien ratkaisujen etsiminen; pk-sektorin yrityksillä ei usein ole resursseja tai mahdollisuuksia etsiä tietoa, mistä voi seurata pienten ongelmien kasaantuessa vaikeuksia yritystoimintaan. Yrittäjät kokevat usein hankalaksi erityisesti ulkopuolisten vaatimusten kuten sertifiointien, lakien tai direktiivien aiheuttamat muutokset toiminnassaan. Toimialakohtaisen kehittämistyön avulla yrittäjille on mahdollista tarjota ”yhden luokun malli”, josta apua on helposti saatavilla. Yritykset ovat palautteen perusteella olleet varsin tyytyväisiä Metlan kehittämishankkeiden tarjoamiin palveluihin.

10.10 Tutkimus osana Pirkanmaan puualan kehittämistä

Puusta elinvoimaa -hankkeessa toteutettiin erillinen tutkimusosio, jossa selvitettiin Pirkanmaan puutuotealan yritysten toiminnan pullonkauloja ja vahvuuksia, jotta tulevia kehittämistoimenpiteitä ja -resursseja voidaan kohdistaa paremmin maakunnan puutoimialan hyväksi.

Puutuotealan yrityshaastattelu toteutettiin vuosina 2012–2013 haastatteleamalla 47 pirkanmaalais- ta yrittäjää. Haastattelu jaettiin viiteen osioon: yrityksen taustatiedot, tuotanto ja talous, yhteistyö ja verkostot, markkinointi sekä yritystoiminnan riskit. Tulosten perusteella yritykset eivät ole määritelleet tarkasti omia kasvutavoitteitaan, mutta tunnistavat omat vahvuutensa tuotannossa ja myös toiminnan kasvun rajoitteet. Yrittäjien mielestä yhteismarkkinoinnissa on kasvun eväitä ja myös tuotannollinen yhteistyö kiinnosti yrityksissä. Yhteistyö kiinnosti sitä enemmän mitä jalostetumpaa tuotetta yritys valmisti. Yritystoiminnan ensisijainen riski liittyi henkilöstön terveyden ja työkyvyn ylläpitoon, tämän riskitekijän tunnisti puolet yrittäjistä.

Tulosten perusteella Pirkanmaan puutuotetoimialan kehittämiseksi on lisättävä yritysten yhteistyötä ensisijaisesti markkinoinnissa, mutta kestävä kasvun tavoittelu edellyttää myös tuotannollisten asioiden, kuten osaamisen ylläpitoa. Puutuotealalla on yleisestä taloustilanteesta

riippumatta yritysten luottamus ja kasvulle nähdään mahdollisuuksia. Kehittämistyölle on siis tulevaisuudessakin tarjolla runsaasti sekä haasteita että mahdollisuuksia.

Lisätietoa

- Nord, T., Tykkä, S., McCluskey, D., Bajric, F., Bouriaud, L., Hugosson, M., Nyrud, A.Q., Ollonqvist, P., Roos, A., Ukrainski, K. & Bysheim, K. 2010. Role of Policies and National Programmes for Innovations in Timber-Frame Construction. In: Weiss, G., Pettenella, D., Ollonqvist, P. & Slee, B. (eds.). *Innovation in Forestry – Territorial and Value Chain Relationships*. CAB International, Wallingford, UK. Chapter 13, p. 204–232.
- Nybakk, E., Niskanen, A., Bajric, F., Duduman, G., Feliciano, D., Jablonski, K., Lunnan, A., Sadauskiene, L., Slee, B. & Teder, M. 2010. Innovation in the Wood Bio-energy Sector in Europe. In: Weiss, G., Pettenella, D., Ollonqvist, P. & Slee, B. (eds.). *Innovation in Forestry – Territorial and Value Chain Relationships*. CAB International, Wallingford, UK. Chapter 15, p. 254–275.
- Oinas, E. & Korpunen, H. 2012. Elinvoimaa puualalle! Pirkanmaan puuhankkeet yritysten mieleen. Puun korjuu ja käyttö -uutiskirje 1/2012. <http://www.metla.fi/uutiskirje/puu/2012-01/>
- Ollonqvist, P., Nord, T., Pirc, A., Ukrainski, K., Takala-Schreib, V., Teder, M., Strykowski, W. & Viitala, A. 2010. Networks and Local Milieus as a Furniture Industry Innovation Platform. In: Weiss, G., Pettenella, D., Ollonqvist, P. & Slee, B. (eds.). *Innovation in Forestry – Territorial and Value Chain Relationships*. CAB International, Wallingford, UK. Chapter 14, p. 233–253.
- Ollonqvist, P., Nummelin, T. & Riala, M. 2012. Strategiset päätökset ja niiden taustatekijät pienissä puutuotealan yrityksissä. Länsi-Suomen suuraluepilotti – Satakunta. Metlan työraportteja 234. 69 s.
- Rimmler, T., Coppock, R., Oberwimmer, R., Pirc, A. & Posavec, S. & Weiss, G. 2010. How to support innovations in forest-based industries? Clusters as policy means in Europe. In: Weiss, G., Pettenella, D., Ollonqvist, P. & Slee, B. (eds.). *Innovation in Forestry – Territorial and Value Chain Relationships*. CAB International, Wallingford, UK. Chapter 7, p. 101–117.
- Tykkä, S., McCluskey, D., Nord, T., Ollonqvist, P., Hugosson, M., Roos, A., Ukrainski, K., Nyrud, A. & Bajric, F. 2010. Development of timber framed firms in the construction sector – Is EU policy one source of their innovation? *Forest Policy and Economics* (12): 199–206.
- Weiss, G., Pettenella, D., Ollonqvist, P. & Slee, B. 2011. (toim.). *Innovation in Forestry – Territorial and Value Chain Relationships*. CAB International, Wallingford, UK. 344 s.

11 Yhteenveto ja johtopäätökset

Henrik Heräjärvi, Matti Sirén & Erkki Verkasalo

11.1 Puuraaka-aineet

Puuraaka-ainepotentiaalit ja puukaupan toiminta

PUU-ohjelman ohjelmasuunnitelmassa (2009) teema-alueen Puuraaka-ainepotentiaalit ja puukaupan toiminta avaintutkimusalueiksi määriteltiin *tulevaisuuden raaka-aineet, ominaisuudet, laatu ja määrä, kilpailukyky ja substituutio, arvonmuodostus ja hinnoittelu, puutavaran mittaus ja laadutus, katkonnan ja raaka-aineen mittaus sekä puukaupan suunnittelu ja palvelumallit*.

Teema-alue edustaa ohjelmassa Metsäntutkimuslaitoksen ydinosaamista, jonka vakinaiset tutkijaresurssit ovat aihepiireittäin kuitenkin yksittäisten avainhenkilöiden varassa. Teema-alueen hankkeisiin käytti vakinaisista tutkijoista vuotuisesta työajastaan 5–7 henkilöä yli puolet ja 3–6 henkilöä lyhyempiä jaksoja. Hankkeissa työskenteli lisäksi vuosittain 4–6 määräaikaista tutkijaa ja 1–3 ulkopuolista tutkijaa. Väitöskirja- ja pro gradu-tutkijat olivat merkittävä tutkijaresurssi vuosina 2009–2011. Tutkimukset edellyttivät lisäksi varsin paljon kenttä- ja laboratoriohenkilöstön työpanoksia, joiden saatavuus heikkeni ohjelman loppua kohti.

Teema-alueessa toteutettiin viisi tutkimushanketta ja seitsemän ulkopuolisesti rahoitettua tutkimus- tai kehittämishanketta. Yksi tutkimushanke ja kaksi ulkopuolisesti rahoitettua hanketta jatkuvat vielä ohjelman päättymisen jälkeen. Seuraavassa nostetaan esiin tuloksia ja johtopäätöksiä teema-alueen keskeisistä aiheista.

Viljelypuu raaka-aine- ja tuotepohjana

Esitutkimus 10. VMI:n aineistoihin ja koepuiden apterauksen simulointiin perustuen osoitti, että viljelymetsistä peräisin olevaa mäntytukkia ja -pikkutukkia on tulossa hakkuisiin nykyistä enemmän koko Väli-Suomessa ja kuusitukkia huomattavasti ennen kaikkea Itä- ja Etelä-Suomessa 2020-luvulla. Tukkilaatu ja -saanto ovat nykyisissä viljelypuustoissa heikommat sekä keskimäärin että samankokoisiin luontaisesti syntyneisiin puustoihin verrattuna, varsinkin männyllä ja osittain myös kuusella. Erot johtuvat ensisijaisesti viljelypuustojen huonommasta suoruuslaadusta ja männyllä myös pahemmasta oksikkuudesta, varsinkin istutusmänniköissä. Puustojen laatuerot ovat nuoremmassa ikäluokissa olennaisesti pienemmät verrattuna vanhempiin, joten suurehkot läpimittaluokittaiset erot syntytapojen välillä ilmentävät myös viljelypuuiden nopeampaa sädekasvua. Puuaine on viljelypuussa selvästi nuorempaa kuin saman paksuisessa luonnonpuussa. Tämä ilmenee raaka-aineessa mm. suurempana nuorpuun osuutena, pienempänä sydänpuun osuutena, alhaisempana tiheytenä ja heikompina mekaanisina ominaisuuksina.

Kyseessä oli ensimmäinen suomalainen tutkimus, jossa VMI-aineistoja hyödynnettiin suoraan puutieteellisissä tai -teknologisissa tutkimuksissa. On huomattava että tulokset koskevat nykyisiä tukki- ja pikkutukkipuustoja. Tutkimuksen haasteena ja tehtävänä on ennakoida, miten nuorten viljelypuustojen laatu kehittyy niiden järeytyessä ja miten metsänviljelyn parantuminen ja laatu-

kasvatuksen mahdollinen soveltaminen näkyvät jatkossa viljelymetsien puuraaka-aineen ominaisuuksissa ja arvossa. Tarkasteluissa tarvitaan hyviä mallinnusratkaisuja, joita vasta kehitellään.

Saatavilla olevan puuraaka-aineen ominaisuudet ja tuotteiden valmistuskustannukset, kysyntä-näkömät ja kilpailukyky markkinoilla ratkaisevat lopulta, mihin tuotteisiin ja millaisilla valmistustekniikoilla viljelypuuta kannattaa käyttää, miten sitä kannattaa lajitella ja mitä siitä voidaan maksaa. Aihepiirin tapaustutkimuksissa nopeakasvuissellakin viljelypuulla todettiin hyvä jalostus-arvo, oikein kasvatettuna ja oikeisiin tuotteisiin suunnattuna. Eurooppalaisessa vertaisarvioinnissa analysoitiin puutuoteteollisuuden rakennetta ja raaka-aineen ja tuotteiden kysyntää ja selvitetiin haastatteluin teollisuuden kokemuksia viljelypuun raaka-aineen määrällisestä, laadullisesta ja tuoteryhmittäisestä soveltuvuudesta ja metsänkasvattajien kokemuksia viljelymetsätalouden kannattavuudesta. Viljelypuu on Suomessa uusi, mutta Keski- ja Etelä-Euroopassa tuttu ja usein ainoa raaka-aine metsäteollisuudelle. Sen pohjalta on kehitetty laaja puutuoteteollisuus esimerkiksi Saksassa, Itävallassa, Ranskassa ja Etelä-Ruotsissa. Näistä maista on saatavissa tietoja ja hyviä käytäntöjä viljelypuun hyödyntämiseksi kannattavasti.

Biotalousnäkökulmat vaikuttavat jatkossa viljelypuututkimusten ja yleensäkin puunkäyttö- ja raaka-ainetutkimuksen suuntaamiseen. Raaka-aine- ja energiatehokkuus, ainevirtojen ympäristötietoinen hallinta ja elinkaarikysymykset, viljelymetsätalouden yhteiskunnallinen hyväksyttävyyys ja kuluttajalähtöisyys kuten myös ns. vihreiden työpaikkojen lisääminen teollisuudessa ja palvelutuotannossa nousevat tärkeiksi tutkimus- ja kehittämistyön aiheiksi.

Puutuotteiden käytön edistäminen – Pohjoinen mänty

Mäntyä puutuotekäytössä koskeva tutkimustieto on ollut tähän asti saatavilla pääasiassa tutkimusjulkaisujen, lehtiartikkelien ja erilaisten tiedonsiirtotapahtumien välityksellä. Teema-alueessa ryhdyttiin tästä syystä tehostamaan Metlassa erityisesti 2000-luvulla tehtyjen ja ohjelman aikana jatkettujen laajojen suomalais-ruotsalaisten mäntyutkimusten ja suomalais-venäläisten mänty- ja kuusitutkimusten tulosten jalkauttamista. Erityisenä tavoitteena oli luoda apuvälineitä männyn markkinointiviestintää, innovaatiotyötä ja tuote- ja teknologiakehityksen suuntaamista varten, kuten myös perus- ja jatkojalostuksen raaka-aineiden lähteiden optimointiin asiakas- ja tuoteryhmälähtöisesti. Kattavasti kootun tutkimustiedon sekä yrityshaastattelujen perusteella rakennettiin kaksikielinen internet-sivusto Pohjoinen mänty – laadukas ja monikäyttöinen / Scots pine – Excellence and Image. Sivustolla esitellään todennettua tietoa pohjoisen männyn ominaisuuksista ja oikeasta käytöstä sekä puulajina että erikseen seitsemän lopputuoteryhmän kannalta. Lisäksi esitellään yleisesti puun käytön ympäristövaikutuksia ja imagokysymyksiä. Sivustolla esitettyä materiaalia ja johtopäätöksiä voidaan vapaasti lainata tai muuten käyttää esimerkiksi yritysten oman markkinointi- ja asiakastyön tukena. Metla vastaa sivuston ylläpidosta.

Suomenkielisen sivuston kohderyhminä ovat ennen kaikkea puutuotealan ammattilaiset ja teolliset mäntytuotteiden käyttäjät. Näkökulmina ovat ensisijaisesti tekninen tieto, liiketoimintamahdollisuudet ja riskien hallinta ja toissijaisesti mielikuvat. Englanninkielisen sivuston kohderyhminä ovat erityisesti kuluttajat, suunnittelijat ja arkkitehdit, puutuotekaupan eri portaat sekä julkispäättäjät. Tässä korostuvat ensin mielikuvat ja vasta sitten tekninen tieto, käyttöominaisuudet, hyvinvointivaikutukset ja riskien hallinta.

Metsänomistajien tarvitsemat puukauppapalvelut

Ostajan ja myyjän epätasapainoinen tietämys kaupan kohteen ominaisuuksista ja arvosta sekä puuraaka-aineen vaihtelevuus on johtanut tilanteeseen, jossa monet metsänomistajat tuntevat tarvitsevansa kolmannen osapuolen apua puukaupassa. Kyselytutkimus metsänomistajien puukaupan suunnitteluun liittyvien palveluiden käytöstä osoitti, että noin viidennes metsänomistajista kokee puukauppatarjousten vertailun sekä puutavaralajien hintaseurannan erittäin tärkeäksi. Metsäammattilaisen antamalla henkilökohtaisella neuvonnalla ja hakkuuvaihtoehtojen kannattavuuden vertailulla on niin ikään kysyntää. Palvelutarpeiden priorisointi vaihtelee metsänomistajaryhmän mukaan. Metsänomistajat, etenkin suurissa kaupungeissa asuvat metsänomistajat, perikunnat ja yhtymät, pitävät metsänhoitoyhdistyksiä tärkeimpänä puukaupan palveluntarjoajana. Kolmannes metsänomistajista pitää yhdistyksiä erittäin tärkeinä, vajaa kymmenes puolestaan puunostajia ja metsäkeskuksia.

Metsänhoitoyhdistykset ja puunostajat ovat tarjonneet perinteisesti metsänomistajille puukaupan operatiivisen suunnittelun palveluja, metsäkeskusten ja metsäpalveluyrittäjien osuudet ovat olleet marginaalisia. Nämä asetelmat näyttäisivät säilyvän jatkossakin. Metsäpalveluyrittäjien osuus kuitenkin lisääntynee metsäsuunnittelussa, mm. alihankkijoina yhdistyksille.

Raakapuun hinnoittelumenetelmät

Puukaupassa käytettävän hinnoittelun tulisi olla molemmille kaupan osapuolille läpinäkyvä, salia raaka aineen katkosta kulloisenkin markkinatilanteen mukaan ja kannustaa laadukkaan raaka-aineen tuottamiseen. Metsänomistajalla tulisi olla mahdollisuus ostotarjousten omatoimiseen vertailuun ja parhaimman tarjouksen valintaan. Ainespuun vaihtoehtoisten hinnoittelumenetelmien vertailuissa runko- ja osarunkohinnoittelu erottuivat edukseen tavaralajimenetelmästä tarjoamalla vapauden katkoa ostettu puuraaka-aine pystykaupoissa ostajan markkinatilanteen mukaisesti. Tästä on etua etenkin päätehakkuissa. Toimitus- ja hankintakaupoissa matriisihinnoittelu taas kannustanee myyjää kasvattamaan ja katkomaan puuraaka-aineen ostajan laatu- ja mittavaatimusten mukaisesti. Matriisihinnoittelu heijasti parhaiten puustamaksukyvyn vaikutusta raaka-aineen hintaan vertailtaessa vaihtoehtoisten hinnoittelumenetelmien kannustavuutta laadukkaan raaka-aineen tuottamiseen. Tavaralajihinnoittelu ja varsinkin rungonosa- ja runkohinnoittelu johtivat suhteellisesti suuriin myyntiarvoihin puustamaksukyvyltään heikoissa leimikoissa, joissa keski-järeys oli alhainen ja laatu huono, ja vastaavasti suhteellisesti pieniin myyntiarvoihin hyvälaatuisissa, järeissä leimikoissa.

Tutkimukset leimikon arvonmuodostuksesta ostajan ja myyjän kannalta ja siihen vaikuttavista leimikko- ja tuotetekijöistä viimeisteltiin ja peliteorian soveltamisen kehittäminen ja puunohjauksen optimointiin aloitettiin ja ensimmäinen versio laskentamallista on valmistunut. Tähän liittyy tutkimus raaka-aineen ohjautumisesta erilaisilla hinnoittelumenetelyillä ja ostajatyypeillä, joka on viimeistelyvaiheessa.

Leimikoiden ostotarjousten laadinnan ja niiden vertailun tueksi kehitettiin ARVO-ohjelmisto, jonka avulla voidaan laatia ennusteet hakattavan leimikon puustosta ja sen ominaisuuksista. Ohjelmiston jakeluversio sisältää mallirunkopankin, mutta ohjelmisto suositellaan viritettäväksi kullekin hankinta-alueelle aiemmin korjattujen leimikoiden hakkuukonemittaustietojen avulla. Ohjelmisto on laadittu puukaupan apuvälineeksi niin ostajalle kuin myyjällekin ja sitä voidaan

käyttää myös opetustehtävissä. ARVO samoin kuin sen kansainväliseen käyttöön esiteltyt versiot Prehas_International ja Prehas_Scotland ovat vapaasti ladattavissa Metlan internet-sivustolta.

Puutavaran mittausmenetelmät

Puutavaralajien tuoreiheyslukujen täydentäminen ja täsmentäminen massan ja tilavuuden välisiä muuntoja varten erityisesti Kuormainvaakamittaus-menetelmäohjeen uudistamista silmällä pitäen oli mittaustutkimusten tärkein tulos. MMM:n keväällä 2010 vahvistama uusittu ohje sisältää tuoreiheysluvut yhteensä yhdelletoista tukki- ja kuitupuutavaralajille, viidelle alueelle ja kahdelle kuivuusasteelle. Tutkimusten laajentaminen koskemaan sekä aines- että energiapuukäyttöön menevää raakapuuta, v. 2010 pienpuuta (ranka ja kokopuu), v. 2012 latvusmassaa ja v. 2013 kantoja tuotti tuoreiheystaulukot em. tavaralajeille ja EPPU-energiapuulaskurin. Tutkimuksiin liittyi kuivuusasteen huomioon ottaminen ensin kuitupuun ja sittemmin myös energiapuun tavaralajien tuoreiheydessä liittämällä sen arviointiin Ilmatieteen laitoksen säähavaintoaineiston perusteella laaditut kuivumismallit.

Puutavaran mittausmenetelmien tarkkuutta koskevassa tutkimuksessa määritettiin metrologian tieteenalalla ja yleisessä mittauslainsäädännössä käytetyt mittaustarkkuuden termit puutavaran mittauksen toimintaympäristöön soveltuviksi ja tarkasteltiin termejä joita puutavaran mittaustarkkuudessa ei nykyisin tunneta. Lisäksi määritettiin puutavaran mittausmenetelmien epävarmuus puutavaralajin ja eräkoon suhteen kattavilla tarkastusmittausaineistoilla. Tuloksia hyödynnettiin puutavaran mittauslainsäädännön uudistamisessa määriteltäessä lain terminologiaa ja mittausmenetelmäkohtaisia tarkkuusvaatimuksia.

Hakkuukonemittauksessa ja sen tarkastuksessa runkojen tyviosan läpimitat ja edelleen tilavuus määritetään laskennallisesti puulajikohtaisilla tyviprofiilifunktioilla. Käytännön mittaustoiminnassa on havaittu tyvitukkien tilavuuden systemaattinen yliarviointia funktioita käytettäessä. Asiasta tehdyn tutkimuksen perusteella tyvifunktioissa ei havaittu vastaavaa virhettä mutta ei pysytty myöskään määrittämään mistä muista tekijöistä ja millä painoarvolla mittausmenetelmien väliset erot ovat johtuneet. Tutkimusta mittausmenetelmien periaatteesta ja sisällöstä johtuvista mittaustulosten eroista jatketaan.

Tukkien 3D-mittausta ryhdyttiin tutkimaan vuonna 2013 sovellettavaksi sahausprosessin ohjaukseen piensahoilla. Menetelmässä käytetään laserdiffraktioon perustuvaa skannausta ja kuvatulkintaa helpottamaan tukin suuntausta ja sahausasetteen valintaa. Menetelmä tarjoaa todennäköisesti sovellusmahdollisuuksia puutavarapölkkyjen tarkastus- ja kalibrointimittauksen rationalisointiin.

Puutavaranmittauksen toimialan kehittämistyössä painotettiin edelleen Metlan puutavaran mittaustulosten mukaisten kehittämis- ja viranomaistehtävien tukemista, monipuolista tutkimustiedon siirtoa, asiakasneuvontaa, lausuntoja, ammatillisten seminaarien järjestämistä sekä oppi- ja käsikirjojen kirjoitustyötä. Kansainvälisessä yhteistyössä avustettiin Ruotsia puutavaran mittauslainsäädännön uudistamisprosessissa sekä osallistuttiin Suomen maavastuullisena UNECE/FAO:n puutuotteiden eurooppalaisten muuntokerrointen tutkimuksen toteutukseen.

Puutuotteiden pitkäaikaiskestävyys ja sen testaus

Männyn sydänpuun lahonkestävyyden riippuvaisuus ainoastaan uuteainepitoisuudesta vahvistui teema-alueen tutkimuksissa. Tärkeimmät uuteaineryhmät ovat stilbeenit ja hartsihapot. Toistai-

seksi ei tiedetä, missä määrin soluseiniin ja -onteloihin kasautuneet uuteaineet vaikuttavat veden hylkimisen ja missä määrin lahottajaorganismien elintoiminnoille koituvan häiriön kautta. Stilbeenipitoisuuden mittausten menetelmien tutkimuksissa ilmeni positiivinen korrelaatio kemiallisen ja optisen menetelmän tulosten välillä, joten optinen UVRR spektroskopia olisi teoriassa mahdollinen mittausten menetelmä. Ulomman sydänpuun fenolisten yhdisteiden pitoisuus oli korkeampi kuin sisemmän sydänpuun ja rungon alaosassa pitoisuudet olivat korkeammat kuin ylemmässä osassa. In vitro lahotuskokeet osoittivat, että paljon fenolisia uuteaineita sisältävät ja tiheät näytteet lahoavat kellarisien, *Coniophora puteana*, vaikutuksesta hitaammin kuin uuteaineköyhät ja keveät näytteet.

Yhteistyössä Itä-Suomen yliopiston kanssa todettiin sähköisellä impedanssispektroskopiolla (EIS) voitavan mitata tuoreen puun uuteainepitoisuutta. NIR-spektroskopiaan perustuvien menetelmien kehittelyä jatkettiin kansainvälisenä yhteistyönä. UV-valossa ilmenevän stilbeenien fluoresenssin käyttöä sydän- ja pintapuun rajan määrittämiseen kehitettiin edelleen. Laitteen rakentamista ja menetelmän kehittelyä jatketaan elektroniikka-alan yrityksen kanssa. Pilodyn-laitetta testattiin hyvällä menestyksellä mäntyöljykyllästettyjen tolppien maalahotuskokeen mittauksessa.

Stilbeeneistä pinosylviini ja sen monometyylieetteri toimivat hyvin männyn sydänpuun kemiallisen laadun kemiallisina merkkeinä. Männyn sydänpuun fenolisten uuteaineiden, mm. stilbeenien pitoisuuksissa on laaja additiivinen vaihtelu ja korkea periytyvyysaste. Jälkeläiskoetulokset osoittivat, että sydänpuun kemiallisten ominaisuuksien jalostamisella on mahdollista saavuttaa moninkertainen jalostushyöty kasvuominaisuuksien ja morfologisten ominaisuuksiin jalostamiseen verrattuna. Valikoiva klooneittainen siemenkeruu männyn siemenviljelyksiltä näyttää lupaavalta keinolta tuottaa taimia, joilla on perinnöllinen kyky tuottaa aikuisina puina lahonkestävää sydänpuuta. Ympäristöolosuhteilla on selvästi heikompi vaikutus sydänpuun uuteainepitoisuuteen kuin esimerkiksi puun kasvuominaisuuksiin ja sydänpuun määrään. Sydänpuun määrän ja uuteainepitoisuuden todettiin myös olevan toisistaan riippumattomia ominaisuuksia.

Mekaanisella vaurioituksella ja UVC-säteilyllä voidaan herättää männyn taimissa kemiallinen puolustusreaktio. Tässä reaktiossa todettiin olevan suuri perinnöllinen vaihtelu. UVC-säteilyyn voimakkaasti ja ensisijaisesti reagoiva geeni liittyy olennaisesti stilbeenisynteisiin.

Mänty- ja kuusiaineiston sääkaappikokeissa ja kuva-analyyseissä ilmeni, että mänty halkeilee enemmän kuin kuusi ja tiheäsyinen puu halkeilee enemmän kuin harvasyinen, kun tarkastellaan sekä halkeamien määrää että kokoa. Männyllä halkeilu on säteensuuntaisella sahepinnalla vähäisempää erityisesti sydänpuualueella kuin tangentin suuntaisella pinnalla. Kuusella yksittäiset halkeamat ovat tangentin suuntaisissa pinnoissa suurempia kuin männyllä.

Puurakentamisen lisääntyessä sekä talonrakentamiseen että piha- ja ympäristörakentamiseen tarvitaan yhä enemmän puutavaraa, jolta edellytetään pitkäaikaista kosteudensietoa sekä sään- ja lahonkestävyyttä. Puutuotteiden pitkäaikaiskestävyyden varmistamisessa samoin kuin puutavaran suoja-aineiden ja modifiointimenetelmien kehittämisessä tarvitaan lopputuloksen testaamista erityyppisin menetelmin. Tätä silmällä pitäen kehitettiin Metlan asiantuntijapalveluja yrityksille ja t&k-kumppaneille puumateriaalien sekä puu- ja komposiittituotteiden pitkäaikaiskestävyyden testaukseen ja testauksen suunnitteluun. Lisäksi tehtiin normeilla vakioituja ja asiakkaiden tarpeisiin räätälöityjä testejä. Tässä vaiheessa keskityttiin maakosketustesteihin ulkokentällä ja lahotuskellarissa, joissa lahottajaorganismit ovat rehevässä maaperässä esiintyviä sieniä ja bakteereita eli

katkolahottajia ja ns. soft rot -lahottajia. Laboratoriotutkimuksia tehtiin tyypillisillä ruskolahottajasienillä.

Maakosketuskoe kestää ulkokentällä vähintään viisi vuotta. Koesauvat tarkistetaan silmänvaraisesti kerran vuodessa ja niiden kestävyys koestetaan Metlassa tähän tarkoitukseen rakennetulla taivutuslaitteella. Tarkastuksessa käytettävän luokittelevan asteikon tuloksesta on muodostettu jatkuvalla asteikolla mitattua muuttujaa muistuttava kestävyysindeksi. Vaikka testierien kestävyyseroista saadaan ennakkotietoja jo 3–4 vuoden jälkeen, kokeen hitaus on ongelma. Testausmenetelmät kaipaavat myös kehittämistä.

Maakosketuskoe voidaan siirtää pienimuotoisena ”multalaatikkokokeena” sisätiloihin. Laatikko täytetään testauskentältä otetulla mullalla, joka pidetään lämpimänä ja kosteana. Laatikkoon upotetaan 10 cm pituisia puutikkuja ja niiden hajoamista seurataan 32 viikkoa. Koemenetelmää kehitettiin valmistamalla lämpölaatikko, jossa lujuustestaukseen soveltuvaa 20x20x300 mm:n koepalikkaa voidaan lahottaa keskeltä. Uudentyyppisen laatikon avulla päästään mittaamaan puuaineen lujuuden heikkenemistä, jota tapahtuu jo lahoamisen alkuvaiheessa, jolloin massan häviämistä ei vielä havaita. Pilottikokeen perusteella männyn pintapuun taivutuslujuudesta oli enää noin puolet jäljellä siinä vaiheessa, kun mikrobit olivat hajottaneet kapulan keskiosan puuaineesta vasta noin 10 %. Testin kokonaiskestoksi on suunniteltu 18 kk.

11.2 Puun hankinta ja korjuuyritysten liiketoiminta

Puunhankintaan liittyvien tutkimusten keskiössä olivat kausivaihtelun vähentäminen, kuljetta- ja opastus ja logistiset ratkaisut. Nämä kolme kysymystä kietoutuvat monella tavoin toisiinsa. Kausivaihtelun vähentäminen on puunhankinnan tärkeimpiä kehittämiskohteita. Siihen voidaan vaikuttaa kehittämällä kohteiden korjuukelpoisuusluokitusta ja käyttämällä korjuukelpoisuuden määrittelyyn ja olosuhteiden muutosten ennakointiin uuden teknologian suomina mahdollisuuksia. Korjuun nykyistä suurempaa ympärivuotisuutta voidaan edistää koneita kehittämällä ja varustamalla, mutta myös etsimällä parhaita käytäntöjä ja tehokkaita keinoja kertoa niistä koneen kuljettajille. Puunhankinnan hyödynnettävissä on valtava määrä paikkaan sidottua tietoa niin maaperästä, maanpinnan muodoista, vesitaloudesta, säätilasta kuin puustostakin. Myös korjuukoneet keräävät suuren määrän tietoa ja voivat myös eri tavoin aistia ympäristöään. Louhittavana on valtava tietomassa, jonka hyödyntäminen niin korjuulogiikassa kuin leimikkotason toiminnassakin ottaa vasta ensiaskeleitaan.

Kone- ja kuljetusyrittäjillä on ratkaiseva rooli puunhankinnassa. Toimintakentän ja -mallien muutos on jatkuvaa. Yhä suurempi osa puunhankintayritysten tehtävistä on siirretty koneyrityksille. Tehtävien siirto luo yrittäjille vapautta toimintojen järjeistämiseksi, mutta kausivaihtelu, ammattitaitoisen työvoiman saatavuus ja pysyvyys alalla haastavat yrittäjät. Uusien tehtävien tuoman työmäärän arviointi ja siirtäminen urakkahinnoitteluun on myös haastavaa.

Kausivaihtelun vähentäminen

Koneiden varustelu, erikoiskoneiden käyttö, hyvä suunnittelu ja oikeat työmenetelmät antavat mahdollisuuksia suometsien ja kuusikoiden nykyistä ympärivuotisempaan korjuuseen. Ratkaisevaan asemaan nousevat korjuun suunnitteluun ja toiminnan kokonaiskannattavuuteen liittyvät tekijät. Tutkimukset ja käytännön kokemukset niin suometsistä kuin harvennuskuusikoista

osoittivat, että korjuu onnistuu myös sulan maan aikana hyväksyttävällä korjuujäljellä. Kesäaikainen korjuu edellyttää hyvää suunnittelua ja reagointikykyä sääolojen muutoksiin. Suometsien ja kuusikoiden korjuu sulan maan aikana edellyttää myös metsänomistajien hyväksyntä, jonka takaamiseksi tarvitaan luotettavaa tietoa korjuun seurausvaikutuksista. Korjuukohteista olevan ennakkotiedon samoin kuin korjuun onnistumisesta kerätyn tiedon tehokas hyödyntäminen ja dokumentointi mahdollistavat kesäkorjuuseen sopivien kohteiden paikantamiseen ja niillä toimimisen.

Kuljettajaopastus

Koneenkuljettaja on puunhankkijan käyntikortti, jolla on ratkaiseva vaikutus työn tuottavuuteen ja korjuujälkeen. Monilta muilta logistiikan aloilta tuttu kuljettajaopastus antaa mahdollisuuksia myös puunkorjuussa. Korjuukoneiden pitkään jatkunut kehitystyö on johtanut tilanteeseen, jossa koneenkuljettajan työtapoja sekä työn tukemista ja opastusta kehittämällä ihminen-kone järjestelmän tuottavuutta voidaan kasvattaa kustannustehokkaammin kuin itse konetta kehittämällä.

Opastavat järjestelmät ovat käytössä monilla aloilla ja niiden käytölle nähdään tarvetta myös puunkorjuussa. Keskeisiksi tutkimuskohteiksi valikoituivat tarkkaan maastomalliin perustuva karttaopaste LoggingMap, korjuukohteen kulkukelpoisuuden määrittäminen hakkuukoneen CAN-väylätiedoista sekä puutavaran lähikuljetuksen tehokkaat toimintamallit, opastustarpeet ja -mahdollisuudet. Kaikissa näissä tutkimusta tehtiin yhteistyössä käytännön toimijoiden ja metsäkoneenvalmistajien kanssa. Tulokset osoittivat kuljettajaopastuksen suuren hyötypotentiaalin ja useat seuraavista kuljettajaopastuksen tutkimustuloksista ovat nyt vaiheessa, jossa kehitystyö jatkuu sovelluskehittäjien ja metsäkoneenvalmistajien toimesta.

LogginMap -karttaopastetta käytännön työmailla testattaessa kuljettajat totesivat järjestelmän hyödyt ajourien ja varastopaikkojen sijoittelussa sekä kohteen puustorakenteen ja tavoitetilan hahmottamisessa. Tarkka tieto kaltevuudesta parantaa myös työturvallisuutta. Hakkuukoneen kulkuvastusta mittaamalla on mahdollista luoda leimikolle kulkukelpoisuuskartta metsäkuljetusta varten ja näin vähentää maaperävaurioita. Voimansiirron teho voidaan mitata hakkuukoneen CAN-väylästä ja paikkaan sidottu kulkukelpoisuustieto välittää sen karttajärjestelmään ja edelleen kuormatraktoriin. Mittaus tapahtuu normaalin hakkuutyön ohessa, kattaa jatkuvana koko ajouraverkon eikä sen kerääminen aiheuta kustannuksia, joten perinteisen lujuusmittauksen huonoimmat puolet vältetään.

Puutavaran metsäkuljetuksen tuottavuuserot kuljettajien välillä ovat suuria. Merkittävä osa eroista johtuu kuljettajan työtekniikkavalinnoista ja työtavoista. Korjuukohteilla, joissa puutavaralajien määrä on suuri ja niiden määräsuhteet vaihtelevat leimikon eri osissa, puutavaran tehokas kuljettaminen on hankalaa ilman ennakkotietoa. Lisähaasteita kuljettajalle tuovat korjuukohteen mahdolliset kulkukelpoisuusrajotteet kuten jyrkänteet ja pehmeiköt. Kun hyödynnetään hakkuukoneen keräämää paikkaan sidottua puutavaralaji- ja -määrätietoa ja käytetään tutkimuksessa kehitettyä ajotekniikkaa kuormausajossa, voidaan saavuttaa merkittäviä säästöjä metsäkuljetuksen ajanmenekissä ja polttoainekulutuksessa sekä vähentää maaperän kuormitusta. Puutavaralajien paikka- ja määrätieto auttaa myös varastojen sijoittelussa ja rakenteen suunnittelussa.

Korjuulogistiikka

Korjuulogistiikassa on tarpeen löytää uusia kaukokuljetusratkaisuja, koska erityisesti energia- puulla pitkät kuljetusmatkat estävät potentiaalin hyödyntämistä. Vuoksen vesistöalueella aluskuljetukset osoittautuivat kustannustehokkaiksi. Tehokkain metsähakkeen aluskuljetusketju oli maantiekuljetusta kustannustehokkaampi jo 100–150 kilometriä pidemmällä kuljetusmatkoilla, kun aluskuljetuksessa oli mukana 30 kilometrin rekkakuljetus lastauspaikalle, aluksen proomujen lastaus- ja purkukustannukset sekä itse aluskuljetuksen kustannukset.

Kolme merkittävintä kustannustehokasta kaukokuljetusta haittaavaa tekijää olivat kyselytutkimuksen perusteella polttoaineen hinta ja verotus, ammattitaitoisten kuljettajien rekrytoiminen ja kuljettajapula sekä kuljetusverkon kunto ja kunnossapito. Kuljetusyrittäjät kokivat erityisesti polttoaineen hinnan ja verotuksen, kaluston investointihinnan, taksa- ja palkkatason, tienvarsivarastojen sijainnin ja laadun sekä työn henkisen ja fyysisen kuormittavuuden muita vastaajaryhmiä suuremmiksi ongelmiksi. Vastaavasti metsäteollisuuden hankinnan ja logistiikan toimihenkilöt kokivat muita pienempinä ongelmina tiedon hyödynnettävyyden ja yhteensopivuuden sekä tienvarsivarastojen sijainnin ja laadun.

Metsäteiden hyvä kunto on edellytys korjuulogistiikan toimivuudelle. Metsäteiden kantavuuden mittaamiseen löytyy kokeilujen mukaan laitteilta, joilla kantavuus voidaan määrittää ja perusparannusta kaipaavat kohteet paikantaa. Perusparannukseen kokeiltiin kalliomurskeen vaihtoehtoina risutukkeja, masuunihiekka-teräskuonaseosta, geoverkkoja ja kaksinkertaista suodatinkangasta. Geoverkko osoittautui parhaiten kantavuutta parantavaksi. Myös voimalaitostuhkalla voi olla käyttömahdollisuuksia metsäteiden parannusmateriaalina.

Korjuuyritysten liiketoiminta

Koneyritysten kannattavuus on keskimäärin huono, mutta yritysten välinen vaihtelu on suurta. Kannattavuus on myös pitkässä juoksussa huolestuttavasti alentunut. Kaikkiaan 51 yritykselle tehdyn kyselyn mukaan yritysten vuoden 2009 nettotulos oli 3,5 %. Ylimmillään tulos oli lähellä viittä prosenttia Itä-Suomessa ja Pohjanmaalla. Aliyrittäjinä toimineista yrityksistä lähes kaksi kolmasosaa toimi tappiolla, kun vastaavasti itsellisinä tai pääyrittäjänä toimineista yrityksistä vain alle kolmasosa toimi tappiolla. Paras kannattavuus oli keskikokoisilla yrityksillä, joista useat olivat avoimia yhtiöitä ja kommandiittiyhtiöitä. Keskimääräinen liikevoittoprosentti oli parhaimmillaan jopa yli 10. Näissä yrityksissä omistajat ovat usein mukana työssä, jolloin ulkopuolisten palkkojen osuus jää pieneksi.

Yksiselitteistä hyvän tuloksen tekemistä ei löytynyt. Jokaisen yrittäjän on itse luotava olosuhteisiin sopiva organisaatio ja kilpailukykyinen kustannusrakenne. Yritysten laajentamiselle ei myöskään löytynyt selviä kannustimia. Aliyrittäminen oli usein tappiollista. Liikevaihdon järjestelmällinen kasvattaminen tuo toimintaan vakautta, mutta nettotulos jää usein pieneksi. Suuresta kausivaihtelusta johtuen koneet eivät tee niin paljon tunteja vuodessa kuin olisi mahdollista, jolloin pääomakustannukset jakautuvat pienemmälle tuntimäärälle.

Taloudellisesti voitollisen tuloksen tekeminen edellyttää työn tarjoamista kannattavaan hintaan. Yhä suurempi osuus puunhankintaorganisaatioiden tehtävistä on siirretty yrittäjille. Vastapainoksi yrittäjiä pidetään strategisina kumppaneina, jolloin toimintaa pyritään kehittämään yhdessä, molempien tarpeet huomioon ottaen. Uusia työlajeja voi tulla mukaan, mutta lisätehtävien kan-

nattavuus on syytä pyrkiä analysoimaan etukäteen. Yrittäjän pätehtävä kooltaan kasvaneissa yrityksissä on yrityksen talouden ja työntekijöiden johtaminen. Tässä on tarpeen taloushallinto, joka tukee myös koneyrittämisessä tarpeellisten tietojen (esim. tarjouslaskennat, investoinnit, mahdollisesti urakkapalkkauksen ja aliyrittäjien korvausten laskeminen) tuottamista, ei ainoastaan verotajaa varten tehtävien tietojen tuottamista. Koneiden tietojärjestelmistä saadaan entistä enemmän tietoa, jota voidaan käyttää myös yritystalouden suunnitteluun ja seurantaan.

11.3 Puutuotteet ja asiakasratkaisut

PUU-ohjelman ohjelmasuunnitelmassa (2009) teema-alueen Puutuotteet ja asiakasratkaisut avaintutkimusalueiksi määriteltiin *puurakentaminen, markkinat ja verkostot, tekninen suorituskyky, ympäristösuorituskyky, liiketoimintainnovaatiot, uudet tuotteet ja järjestelmäratkaisut sekä asiakasarvostukset ja maksuhalukkuus*.

Ohjelman kolmesta teema-alueesta Puutuotteet ja asiakasratkaisut -teema on Metsäntutkimuslaitoksen osaamisalana nuorin ja kevyimmän resursoitu. Teema-alueen hankkeisiin käytti pääosan työajastaan kuusi Metlan vakinaista tutkijaa ja kahdesta viiteen määräaikaista tutkijaa t&k-hankkeiden kulloisenkin rahoitustilanteen mukaan. Tyypillisesti empiirisiin aineistoihin perustuvat tutkimukset edellyttivät lisäksi merkittäviä kenttä- ja laboratoriohenkilöstön työpanoksia. Erityisesti teema-alueen yritys- ja markkinatutkimuksessa, mutta myös puuteknologisessa tutkimuksessa henkilöresurssit olivat lähes koko ohjelman ajan puutteelliset työnantajavaihdosten ja avaintutkijoiden rekrytointien viivästymisten vuoksi. Vaikka hankkeet pystyttiin toteuttamaan pääosin suunnitellusti, on julkaisujen kirjoittaminen viivästynyt tästä syystä.

Teemassa toteutetut 20 tutkimus- ja kehittämishanketta toimivat pääosin lähellä asiakkaita. Joissakin hankkeissa suoria rahoittaja- ja hyödynsaajayrityksiä oli vain yksi tai muutama. Julkaisujen lisäksi teema-alue tuottikin hankkeiden rahoittajayrityksille luottamuksellisia yritysraportteja. Keskeisiksi tutkimusaloiksi muodostuivat seuraavissa kappaleissa käsitellyt aihepiirit.

Puun modifiointi mäntyöljyllä, puristamalla ja lämpökäsittelmällä

Puun modifioinnista mäntyöljyn avulla tuotettiin soveltamiskelpoista tietoa. Erityisen kiinnostavaa on puun vedenhylkivyyden paraneminen mäntyöljykäsittelyn seurauksena, mikä voi olla merkittävä edistysaskel rakenteellisten kosteusvahinkojen ehkäisyssä. Menetelmän kaupallistaminen edellyttää kuitenkin kehitystyötä mäntyöljyn tuotteeseen kiinnittymisen parantamiseksi. Olennaista on myös säilyttää käytettävät yhdisteet ja menetelmät sellaisina, ettei mäntyöljykäsittelyä tulkita biosidiseksi puunsuojaukseksi. Käynnissä olevat maalahotuskokeet tulevat aikanaan tuottamaan mielenkiintoista tietoa menetelmän toimivuudesta suorassa maakosketuksessa.

Mekaaninen puristaminen kasvattaa puukappaleen tiheyttä, helpoiten kevyillä puulajeilla kuten haavalla. Puristuksen ajoitus puun kuivumisen suhteen ratkaisee, mistä kohdin puu ensisijaisesti puristuu. Puristettaessa märkää kappaletta tulee tiheysprofiilista hampurilaisrakente eli puu puristuu pintojen läheltä sisäosia enemmän. 20 % suhteelliseen kosteuteen esikuivatussa haapa- ja koivupuussa kokonaispuristuma jäi vähäisemmäksi ja puristuma kohdistui kappaleen pintaosien asemesta sen keskiosiin. Puristusmodifioinnin kaupallistamista on hidastanut puristuman palautuminen erityisesti tuotteiden altistuessa kosteusvaihteluille. Hypoteesi on, että lämpökäsittelyllä

rakennetta voidaan jossain määrin stabiloida eli vähentää palautumisriskiä. Käynnissä olevat olosuhdekaappikoheet tulevat osoittamaan, mikä on lämpökäsittelyn todellinen stabilointivaikutus.

Puutuotteiden ominaisuuksien ennustaminen NDT-menetelmillä

Äänen nopeuteen perustuvia mittausmenetelmiä tutkittiin sahatavaran, liimapalkkien, aitatolppien ja puupylväiden lujuuden ennustamisessa. Pystypuun mittaukseen perustuvalla menetelmällä päästiin lupauksia herättäviin ennustemalleihin koskien tyvitukeista saatavan mänty- ja kuusisahatavaran lujuutta. Tämä voisi mahdollistaa hakkuukoneen kouraan liitettävien mittalaitteiden avulla toteutettavan sahatavaran tai muiden puutuotteiden jäykkyyden tai lujuuden ennustamisen. Ultraääni, jolla tutkittiin valmiiden liimapalkkien lujuuden ennustamista sekä koputusmittausmenetelmät, joiden käyttöä tutkittiin puupylväiden lujuuden ennustamisessa, eivät toimineet niin luotettavasti että menetelmät soveltuisivat tuotantokäyttöön. Noin kahden metrin pituisilla ja 80–120 mm paksuilla mitallistetuilla aitatolpilla äänen nopeuden sen sijaan havaittiin selittävän hyvin lujuuden ja jäykkyyden vaihtelua. Kuparisuolakyllästetyissä aitatolpissa äänen nopeuden ja mekaanisten ominaisuuksien korrelaatiot olivat suuren kosteusvaihtelun vuoksi huonompia kuin käsittelemättömissä tai mäntyöljykyllästetyissä aitatolpissa.

Puutuotteiden kilpailukyky rakennusmateriaalina

Rakennusalan toimijoiden haastattelujen perusteella monikerrosrakentamisessa puu on edelleen muita rakennusmateriaaleja kalliimpi ratkaisu. Merkittävimmät syyt puun kalleudelle olivat kehittymättömät ja tehottomat rakentamisen prosessit, pakolliset sprinklerijärjestelmät, äänieristys asuntojen välillä ja välipohjaratkaisut. Puurakentamisen kilpailukykyyn koettiin kuitenkin parantuneen erityisesti ristiinlaminoitun puun, valmiiden rakenneosien paremman saatavuuden ja esivalmistusasteen nousun seurauksena. Kilpailukykyyn parantamiseksi osaamista pitäisi kuitenkin kehittää vielä enemmän, minkä lisäksi esivalmistuksen ja standardoinnin lisääminen auttaisi. Aineiston perusteella puurakentamisen lisäämistä ei voi laskea kuluttajilta tulevien vaatimusten varaan, koska loppukäyttäjät pääsevät vaikuttamaan rakennuksen suunnitteluun vain vähän, eivätkä ole niistä edes kovin kiinnostuneita. Puurakentamista edistettäessä tulisi muistaa, että tunteellinen lobbaus ja asemakaavojen kautta vaikuttaminen eivät haastatteluaineiston perusteella ole menetelmiä, joilla voitetaan insinöörivoittoinen rakennusala puolelleen. Rakennusala haluaa kuulla perusteluja, joilla on käytännön näyttöä takanaan.

Analyysi ns. vihreän rakentamisen sertifiointityökaluista (mm. LEED, BREEAM) osoitti, ettei nykyisillä sertifiointijärjestelmillä voi merkittävästi vaikuttaa puun käytön edistämiseen. PUU-ohjelmassa kehitettiin uudenlaista ekotehokkuusmittaria, joka ottaisi paremmin huomioon kestävää kehitystä edistävät materiaalivalinnat. Varsinaisen rakentamisen ympäristölaskennan käyttöönoton helpottamiseksi ja integroimiseksi rakentamisen eri vaiheisiin kehitettiin avoimeen ympäristötietokantaan perustuvaa laskentatyökalua (PEnA, Platform for Environmental Assessment of Buildings, www.metla.fi/pena). Tutkimusten tulokset korostavat kattavan kotimaisen elinkaaritiedon tarvetta. Esimerkiksi kansallisessa metsäohjelmassa (KMO 2015) asetettu tavoite puutuotteiden ekotehokkuusmittarista on realistinen vasta, kun puun metsikkötason ja puutuotteiden jalostuksen ympäristöselosteet ovat kattavasti saatavilla ja rakennusten suunnittelijoilla on välineet vaikutusten arviointiin.

Puutuotealan yritysverkostot, johtaminen ja innovaatiotoiminta

Suomessa puutuotealan alueelliset kehitysstrategiat ovat olleet keskenään heikosti koordinoituja, minkä seurauksena erikoistumisen ja keskittämisen etuja ei ole voitu täysin realisoida. Yritysten liiketoiminnan kehittämiseen tähtäävän innovaatioprosessin johtamisessa korostuu vahvan johtajan rooli, mikä tulisi tunnustaa keventämällä hänen hallinnollista taakkaansa. Yritykset, jotka panostavat paljon yritys yhteis-työhön, panos-tavat myös liiketoiminnan ja osaamisen kehittämiseen.

Pirkanmaan alueelle perustetussa Puutuotetori.fi -portaalissa halukkaat yritykset voivat markkinoida tuotteitaan suoraan asiakkaille. Niin ikään Pirkanmaan alueella toteutetussa haastattelututkimuksessa todettiin, etteivät maakunnan yritykset ole määritelleet tarkasti omia kasvutavoitteitaan, mutta tunnistavat omat vahvuutensa tuotannossa ja myös toiminnan kasvun rajoitteet. Yhteismarkkinointi ja myös tuotannollinen yhteistyö kiinnostaa sitä enemmän mitä jalostetumpaa tuotetta yritys valmistaa. Puutuotealalla on yleisestä taloustilanteesta riippumatta yritysten luottamus ja kasvulle nähdään mahdollisuuksia.

Puutuotteiden markkinat

Piharakentamisessa vallitsee edelleen tee-se-itse-asetus. Tärkeimpiä pihatuotteen laadun osa-alueita ovat tekninen laatu, ulkonäkö ja käyttöominaisuudet. Piharakentamisen tuotteiden kehityksen tärkeimpiä alueita ovat teknisen laadun ja ympäristöystävällisyyden kehittäminen, kotimaisuus, räätälöitävyys ja parempi muotoilu. Modernin ja tyylikkään muotoilun sisältöä selvitettiin Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulun muotoilun ja graafisen suunnittelun opiskelijoiden kanssa. Tulosten perusteella tyylikkyys ja kallis ulkonäkö eivät kulje aina käsi kädessä ja tyylikkyys ja mukavuus ovat pihakalustoa valitessa tärkeämpiä kuin moderni ulkonäkö.

Vuonna 2013 toteutetun esiselvityksen mukaan modifioidun puun markkinat Venäjällä kasvavat tasaisesti. Eri tavoin lämpökäsitellyn puun tuotantokapasiteetin Venäjällä arvioidaan olevan jo yli 60 000 kuutiometriä vuodessa. Todellisesta tuotannosta, joka on arviolta puolet kapasiteetista, valtaosa jää kotimarkkinoille. Kaupalliset modifiointitekniikat ovat lämpökäsittelyyn perustuvia länsimaisten teknologioiden variaatioita. Suomalaisesta Thermowood® -prosessista poiketen venäläinen Vacuum Plus -teknologia kykenee lämpökäsittelyyn suuria dimensioita, jopa massiivihirsiä. Lämpökäsiteltyä puuta pidetään edelleen osin eliittituotteena, mutta sen tunnettuus on lisääntynyt voimakkaasti tuotteen edut omaksuneiden sisutuslehtien ja -tv-ohjelmien myötä. Lisäksi Venäjällä ja Ukrainassa on kehitetty kemialliseen tai polymeerimodifiointiin perustuvia menetelmiä, mutta ne eivät ole toistaiseksi kaupallistuneet. Venäjän harjoittama tuontiriippuvuuden alentamiseen tähtäävä kauppapolitiikka vaikeuttaa länsimaisten tuottajien pääsyä sinänsä laajoille ja ostovoimaisille Venäjän markkinoille.

Puutuotteiden kierrätyksen nykytila ja tuleva kehitys

Suomessa syntyy vuosittain noin 850 000 tonnia eli noin 2 miljoonaa kiintokuutiometriä puujätettä, josta noin 670 000 tonnia on peräisin rakentamisesta ja rakennusten purkamisesta. Logistisesti tehokkaimmin hyötykäyttöön saatava puujäte, noin 400 000 t/a, syntyy Uudenmaan, Varsinais-Suomen, Pirkanmaan ja Kanta-Hämeen maakuntien alueella Helsinki–Tampere–Turku -kolmiossa. Tällä hetkellä polttaminen energiaksi on teknis-taloudellisesti järkevin jätepuun käyttötapa maissa, joissa on pitkä lämmityskausi. EU:n jätehierarkiassa tavoitteena on siirtää alimman hie-

rarkiatason (kaatopaikkajäte) jätemääriä seuraavalle tasolle (polttaminen energiaksi) ja edelleen ylemmälle tasolle (uusiokäyttö tai uudelleenkäyttö). Pitkän aikavälin tavoitteena on tehdä EU:sta kierrätysyhteiskunta. Euroopan vuosittainen puujättemäärä vastaisi noin 80 miljoonaa kiintokuumetria puuta. Suurin yhteiskunnallinen hyöty puun käytöstä saavutetaan kierrättämällä puu puutuotteiden kautta energiakäyttöön. Kierrätyksestä syntyvät kasviuonekaasupäästöt ovat ole-mattomat verrattuna vältettäviin päästöihin energiatuotannossa. Kierrätyssektori tarjoaa erityis-ryhmien työllistämiseen ja kuntoutukseen mahdollisuuksia, joiden hyödyntäminen sosiaalisen yritystoiminnan tukijärjestelmien avulla on yhteiskunnan, yritysten ja kierrätyssektorin etu.

Käytöstä poistettu puu voisi toimia myös pk-sahojen kausivaihteluiden tasaajana jos sahat liittäisivät toimintaansa käytöstä poistetun puun vastaanoton. Kausi- tai suhdannevaihtelun aiheuttamina hiljaisina aikoina yrityksen resurssija voisi käyttää käyttökelpoisen materiaalin erotteluun jättepuuvirrasta, loput haketettaisiin energiahakkeeksi. Käyttökelpoisen kierrätyspuun ja/tai hakkeen myynnillä sahat voisivat tasoittaa sahatavaran kysynnän vaihteluita. Erityisesti tällä olisi merkitystä, jos sahalla olisi omaa lämmön tai sähkön ja lämmön tuotantoa. Lainsäädäntö kiristyy eikä jättepuun polttoa enää kauan hyväksytä kierrätykseksi. Käytöstä poistetulle puulle on täl-löin oltava valmiina muita käyttökohteita. Rakentamiseen olisi kehitettävä tuotejärjestelmiä, jotka mahdollistaisivat komponenttien yksinkertaisen purkamisen, kunnostamisen ja uudelleenkäytön.

11.4 Ohjelman merkitys elinkeinoelämälle

PUU-ohjelma on toiminut paitsi aktiivisena tiedon tuottajana myös tiedon ja osaamisen siirtäjänä. Varsinaisen tieteellisen julkaisutoiminnan lisäksi tuloksia on välitetty tiedon käyttäjille satojen yrityskäyntien, kymmenien yleisötilaisuuksien, tiedotusvälinehaastattelujen, ammattilehtiartikkelien sekä noin 1200 tilaajaa tavoittaneiden uutiskirjeiden avulla. Ohjelman tutkijat ovat lujittaneet yhteistyöverkostojaan erityisesti kotimaisen puutuoteteollisuuden ja t&k-organisaatioiden (mm. Fibic Oy, Finnish Wood Research Oy, Helsingin yliopisto, Itä-Suomen yliopisto, Lappeenrannan teknillinen yliopisto) kanssa, mutta myös kansainvälisiä verkostoja on vahvistettu mm. osallistumalla kansainvälisiin rahoitushakuihin ja yhteishankkeisiin. Osin ohjelman vahvasti kotimaisten tavoitteiden, osin epäonnistuneiden rahoitushakujen vuoksi kansainvälisiä yhteistutkimushankkeita toteutui suunniteltua vähemmän.

Tutkimuksen lisäksi PUU-ohjelmassa tehtiin monipuolista kehittämis- ja tuotekehitystyötä, esimerkiksi metsäkoneenkuljettajan apuna maaston kaltevuuksia havainnollistava LogginMap-järjestelmä, puutavaran metsäkuljetuksen avuksi kehitetty maaston kantavuuden ennustamisjärjestelmä, Pohjoinen mänty / Northern pine www-sivustot, ARVO- ja PREHAS-simulaattorit leimikoiden arvonmääritykseen, pienpuuraaka-aineesta valmistettavat liimapalkit, Puutuotetori.fi -markkinointiportaali pirkanmaalaisille puutuotealan yrityksille, avoimiin tietokantoihin perustuva rakentamisen ympäristölaskentatyökalu PEnA, uudet menetelmät metsäteiden kantavuuden parantamiseksi, tukin muodon määrittäminen edullisesti laserdiffraktion avulla sekä tutkimusaineistojen keruun uudelleenlaiseksi työkaluksi kehitetty mind map -sovellus.

Yksityisten ja julkisten asiakkaiden arvioidaan saaneen ohjelmarakenteen ansiosta joustavampaa palvelua kuin ilman PUU-ohjelmaa olisi ollut mahdollista. Ohjelmarakenteen ansiosta saatiin suuren joukon osaaminen valjastettua ripeään reagointiin tilaustutkimuksissa, -selvityksissä, lausunnoissa tai rahoitushauissa. Reagointikykyä pyritään edelleen parantamaan ja muokkaamaan sitä asiakastarpeiden mukaiseksi palveluksi.

11.5 Osaamisen kehittyminen

PUU-ohjelmassa on tuotettu tammikuuhun 2014 mennessä yhteensä yli 170 tieteellistä julkaisua. Kuusi ohjelman tutkijaa (Jukka Antikainen, Paula Jylhä, Juha Laitila, Katja Lähtinen, Yrjö Nuutinen ja Markku Penttinen) väitteli ohjelman aikana. Vuoden 2014 aikana odotetaan jätettäväksi esitarkastukseen kolme väitöskirjaa ja käynnissä on kaksi väitöskirjatyötä, joiden odotetaan valmistuvan 2–3 vuoden kuluessa. Viisi PUU-ohjelman tutkijaa suoritti oppisopimuskoulutuksena tuotekehittäjän erikoisammattitutkinnon (Henrik Heräjärvi, Pekka Hyvönen, Timo Muhonen, Tuula Packalen ja Martti Venäläinen). Ohjelman tutkijat osallistuivat noin 10 väitöskirjan ja noin 15 pro gradu-, diplomi- tai muun opinnäytetyön ohjaamiseen sekä tarjosivat harjoittelupaikkoja noin 20 koti- ja ulkomaiselle opiskelijalle. Erityyppisiä luennointi- tai opetustehtäviä toteutettiin lähes 100. Lisäksi tutkijat toimittivat yli 30 erillisselvitystä asiakkaille sekä toimivat erilaisissa asiantuntijatehtävissä (lausunnot, arvioinnit, ohjaus- tai työryhmäjäsenyydet) noin 120 kertaa.

