

Puubiomassan mittaustarpeet ja kehittämisenäkemykset

Ilkka Pirhonen, Jukka Antikainen, Jari Lindblad ja Erkki Verkasalo

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. Kirjoitukset luokitellaan Metlan julkaisu toiminnassa samaan ryhmään monisteiden kanssa.

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 Pirhonen, Ilkka, Antikainen, Jukka, Lindblad, Jari & Verkasalo, Erkki			
Nimeke Puubiomassan mittaustarpeet ja kehittämisenäkemykset			
Vuosi 2013	Sivumäärä 49	ISBN 978-951-40-2440-5 (PDF)	ISSN 1795-150X
Alueyksikkö / Tutkimusohjelma / Hankkeet Itä-Suomen alueyksikkö / PUU / 3596 Puutavaran määrän ja laadun mittauksen uudet sovellukset ja asiakasratkaisut, 90248 Mittaustarpeet ja kehittämisenäkemykset metsäbiotalouden arvoketjuissa			
Hyväksynyt Henrik Heräjärvi, vanhempi tutkija, PUU-ohjelman johtaja. 9.10.2013			
Tiivistelmä <p>Puutavaran ja -tuotteiden mittaus on oleellinen osa metsäbiotalouden toimintaa. Puuta mitataan koko tuotantoketjun ajan alkaen metsän inventoinnista aina lopullisiin jalosteisiin saakka. Mittaustarpeet ja mittausmenetelmät vaihtelevat raaka-aineen tyypistä ja sen käyttökohteesta riippuen. Tämän selvitystyön tavoitteena oli kartoittaa nykyiset ja tulevaisuuden mittaustarpeet ja -menetelmät 10 – 15 vuoden aikajaksolla metsäbiotalouden toimijoiden parissa.</p> <p>Selvitystyö toteutettiin kirjallisuus- ja internet-katsauksena sekä metsäbiotalouden toimijoille puunhankinnasta aina puunjalostukseen saakka suunnattuna haastattelututkimuksena. Osa selvitystyön tuloksista saatiin alan toimijoille järjestetystä seminaarista.</p> <p>Asiantuntijoiden mukaan tulevien 10 – 15 vuoden aikana nykyinen metsäteollisuus tulee säilyttämään asemansa, vaikka puun käyttö siirtyykin massa- ja paperiteollisuudesta enemmän bioenergian ja biojalostuksen sekä saha- ja vaneriteollisuuden suuntaan. Puubiomassan käyttö lisääntyy uusien käyttömuotojen kuten pyrolyysiöljyn ja biohiilen tuotannon myötä. Tiukentuvat raaka-ainevaatimukset niin ainespuun kuin energiapuun tapauksissa tulevat lisäämään mittaamista entisestään, vaikka ainespuun mittauksessa niin tarkkuuden kuin määrän osalta ollaan jo nykyisin hyvällä tasolla. Selvitystyön perusteella mittaustarpeet tulevat kuitenkin painottumaan energia- ja biojalostuksen aloille sekä uusiin sellun käyttömuotoja koskeviin kohteisiin, kuten tekstiilien, biokomposiittien ja älykkäiden pakkausmateriaalien valmistukseen.</p> <p>Selvityksen perusteella tulevaisuudessa tulee syntymään suurten biojalostamoiden rinnalle erillisiä pieniä biojalostamoita, jotka eivät välttämättä ole suoraan lämpö- ja energialaitosten yhteydessä. Uudet biojalostamot puolestaan tulevat tuottamaan uusia mittaustarpeita, mutta ne eivät ole vielä tarkasti selvillä kehityksen tässä vaiheessa.</p>			
Asiasanat mittaus, mittaustarpeet, metsäbiomassa			
Julkaisun verkko-osoite http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2013/mwp278.htm			
Tämä julkaisu korvaa julkaisun			
Tämä julkaisu on korvattu julkaisulla			
Yhteydenotot Jukka Antikainen, Metsäntutkimuslaitos, PL 68, 80101 Joensuu. Sähköposti jukka.antikainen@metla.fi			
Muita tietoja			

Alkusanat

Selvitys tehtiin Metsäntutkimuslaitoksen Itä-Suomen alueyksikön toimesta. Mittaustarpeiden selvitys oli ensimmäinen vaihe Joensuun Tiedepuisto Oy:n vetämästä kolmivaiheisesta selvitystyöstä metsäbiotalouden mittausteknologian ja siihen perustuvan liiketoiminnan kehittämistarpeista ja mahdollisuuksista erityisesti Itä-Suomen alueella.

Selvityksen toisessa vaiheessa Measurepolis Development Oy kartoitti monipuolisesti potentiaalisten mittausteknologioiden soveltuvuutta puutavaran määrän ja laadun mittaukseen. Tämän vaiheen tulokset on julkaistu erillisenä raporttina. Joensuun Tiedepuisto Oy on käynnistänyt selvitystyön kahden ensimmäisen vaiheen tulosten pohjalta kolmannen vaiheen, jossa pyritään kehittämään uutta liiketoimintaa metsäbiotalouden sektorille mittausteknologian ja -logistiikan sekä tietojärjestelmien kehittäjille ja valmistajille.

Kiitokset selvitystyön rahoittajalle Joensuun Tiedepuisto Oy:lle sekä selvitystyön yhteydessä haastatelluille asiantuntijoille.

Joensuussa 7.10.2013

Ilkka Pirhonen

Jukka Antikainen

Jari Lindblad

Erkki Verkasalo

Sisällys

1 Johdanto	6
1.1 Tausta.....	6
1.2 Tavoitteet	7
2 Aineistot ja menetelmät.....	7
3 Puubiomassan mittauksen nykytila	8
3.1 Metsävarojen inventoinnin ja metsätaloussuunnittelun mittaukset	8
3.2 Hakkuuta edeltävät ja hakkuun yhteydessä tehtävät mittaukset	9
3.3 Lähi- ja kaukokuljetuksen yhteydessä tehtävät mittaukset	11
3.4 Puuvastaanoton ja tuotanto- ja jalostuslaitosten mittaukset.....	12
3.5 Mittaaminen ja tietojärjestelmät	14
3.6 Mittausinformaation hankinnan ja käsittelyn standardisointi	15
4 Tärkeimmät tutkimus- ja kehittämishankkeet	16
5 Puutavaran mittauksen aktiiviset toimijat Itä-Suomen alueella.....	21
5.1 Tutkimus ja –kehittämisorganisaatiot.....	21
5.2 Puutavaran käyttäjät ja ensiasteen jalostajat	23
5.3 Mittalaiteteknologioiden kehittäjät ja toimittajat.....	24
5.4 ICT-sektorin toimijat	25
6 Tulevaisuuden mittaustarpeet metsäbiotaloudessa	26
6.1 Puubiomassan käyttö muuttuu ja kehittyy	26
6.2 Puubiomassan käyttäjät muuttuvat	29
6.3 Puunjalostuksen arvoketjujen tulevat tietotarpeet	31
6.4 Mittauksen menettelytapojen kehittyminen.....	33
6.5 Käytännön mittaus ja vaatimukset tuotettavalle tiedolle	35
6.6 Business Cafe -seminaarin satoa.....	37
7 Puutavaran mittauksen kehitysura ja keskeiset kehittämistarpeet 10 – 15 vuoden aikajänteellä.....	38
8 Lähteet.....	42
9 Liite 1. Haastattelulomake	46
10 Liite 2. Haastatellut asiantuntijat	49

1 Johdanto

1.1 Tausta

Puutavaran tuotanto-, hankinta- ja käyttöketjun eri vaiheissa tehdään mittauksia ja arviointeja useassa vaiheessa ja eri tarkoituksia palveleen. Valtakunnallisten metsäinventointien yhteydessä tehtävissä mittauksissa keskitytään pääasiassa määrän arviointiin, mutta koealojen maastomittauksissa tehdään myös laadun mittausta ja silmävaraista arviointia koepuukohtaisesti. Ensimmäiset varsinaiset puubiomassan määrään ja laatuun liittyvät kaupalliset arviot tehdään metsälökohtaisen metsäsuunnittelun ja seuraavat yleensä leimikon suunnittelun yhteydessä. Puunhankinnassa puutavaraa mitataan nykyisin ennen kaikkea hakkuukoneen mittauslaitteella ja metsätraktorin kuormainvaa'alla, jolloin mittaus tapahtuu leimikossa. Puutavaraa saatetaan mitata myös käsimittauslaitteilla ja tehdä siitä laatuarviointia metsävarastolla.

Puutavaran mittausketju jatkuu yleensä kaukokuljetuksen alkaessa metsävarastolta, juna- ja vesitiekuljetusta käytettäessä puutavaraa kuorma-autosta välivarastoon tai toiseen kuljetusmuotoon siirrettäessä ja viimeistään kaukokuljetuksen päättyessä tehtaan tai muun käyttöpisteen puuvastaanotossa, joskus myös erillisissä varastointi- tai käsittelyterminaaleissa. Käytännössä kaikki puutavara mitataan ainakin käyttöpisteessä, mutta mittausmenetelmät vaihtelevat tavaralajien, kuljetusmuotojen ja mittaustiedon käyttötarkoituksen mukaan. Käyttöpisteessä tehdään tuotantoprosessin ohjausta palvelevia mittauksia, joiden tarkastelu on rajattu tämän selvityksen ulkopuolelle. Samoin valmiiden tuotteiden mittaukset on rajattu pois.

Tarkasteltaessa puubiomassan hankintaketjua metsästä jalostusprosessiin tärkeimmät mitattavat suureet ovat tilavuus ja massa (painon kautta). Tilavuutta arvioidaan ensimmäisen kerran metsäsuunnitelmaa tehtäessä. Puukaupassa arviot kiinnittyvät välittömästi puunhankinnan kustannusten määrittämiseen ja odotettavissa olevan hakkuukertymän ja sen puutavaralajirakenteen arviointiin. Puuston tilavuuden arviointiin perustuu myös kaupanteko, osto ja myynti. Kuorellinen kiintotilavuus on ollut maassamme puutavarakaupan perinteinen perussuure. Se tulee myös jatkossa säilyttämään asemansa, eikä vähiten siksi että se on myös vanhenevan metsänomistajakunnan parhaiten ymmärtämä tapa ilmaista puutavaran määrä. Puumäärän arvio kertoo myyjälle odotettavissa olevan puunmyyntitulon ja se auttaa myös ostajaa puunhankinnan ja käytön operatiivisessa suunnittelussa. Leimikon suunnittelun yhteydessä tehdyn arvion pohjalta ostaja voi muun muassa arvioida hakkuu- ja kuljetuskustannukset ja kohdentaa ja jaksottaa hakkuita tehtaiden ja muiden käyttöpisteiden tarpeiden mukaan.

Kaiken mittaamisen perusteena pitäisi olla konkreettinen nettohyöty. Tällainen hyöty voi liittyä myös esimerkiksi päästöoikeuksiin tai erilaisten tukien hakemiseen. Jopa loppukäyttäjiltä tulevien reklamaatioiden väheneminen tai asiakasvaatimusten täyttyminen voivat olla riittäviä syitä jonkin asian mittaamiseen

Mittausteknologian ja kerättävän informaation entistä tehokkaampi hyödyntäminen puubiomassan mittauksessa on tärkeässä roolissa läpi koko puunhankinnan ja teollisten tuotteiden valmistuksen ketjun. Hyvästä mittauksesta hyötyvät kaikki arvoketjun osapuolet, niin puunmyyjä, ostaja, loppukäyttäjä kuin näiden väliin sijoittuvat korjuu- ja kuljetusyrittäjät ja muut palveluiden tuottajat.

1.2 Tavoitteet

Tämän selvityksen tavoitteena oli kartoittaa metsäbiotalouden hankinnan ja käytön nykyiset ja tulevaisuudessa odotettavissa olevat mittaustarpeet erityisesti puubiomassan hankintaan, korjuuseen ja kuljetukseen, puubiomassan esikäsittelyyn tehtaalla sekä metsävarojen inventointiin liittyen. Selvitystyö sisälsi seuraavat osatehtävät:

1. Nykytilan kartoitus: mitä tällä hetkellä mitataan, mitkä ovat suurimmat pullonkaulat ja kehittämisen kohteet nykytilanteessa.
2. Tulevaisuuden tarpeet: mitä pitäisi jatkossa mitata ja mitä mittaustarpeita uusi biojalostus tuo metsäbiotalouden arvoketjun alkupäähän.
3. Kehitystoimenpiteiden visiointi: selvitetään tarvittavia kehitystoimenpiteitä sekä visioidaan tulevia tarpeita 10 – 15 vuoden aikajänteellä.

Lisäksi selvitettiin aktiivisia toimijoita, meneillään olevia mittausten organisoimien ja teknologian käyttöönoton toimenpiteitä ja kehityssuuntia metsäbiotalouden alalla

2 Aineistot ja menetelmät

Selvitystyö toteutettiin kirjallisuus- ja internet-katsauksena ja metsäbiotalouden toimijoille suunnattuna haastattelututkimuksena. Kirjallisuudesta ja internetistä koottiin aluksi aihealueen aikaisemmat selvitykset ja tutkimustulokset. Näitä tietoja käytettiin selvitystyön tavoitteiden ja sovellusten tarkentamiseen. Työn tärkein osa oli haastattelututkimus, jonka avulla kartoitettiin toimijatasolla mittaustoiminnan ajankohtaisimmat visiot ja kehitystarpeet. Haastattelututkimus kohdennettiin valikoidusti metsäbiotalouden erilaisille toimijoille puunhankinnasta aina puunjalostukseen saakka. Lisäksi haastateltiin aihealueen tutkijoita niin Metsäntutkimuslaitoksessa kuin yliopistoissa ja muissa tutkimusorganisaatioissa.

Kirjallisuus- ja internet-aineistoina käytettiin eri tutkimusorganisaatioiden, mm. Metsäntutkimuslaitoksen, Itä-Suomen yliopiston ja Metsäteho Oy:n aikaisempien tutkimusten ja selvitysten tuloksia. Merkittävimmät viimeaikaiset selvitykset ovat Metsäteho Oy:n Metsäteollisuus ry:n toimeksiannosta laatima Puutavaralogistiikka 2020 -kehittämisvisio [1] ja Puutavaran mittauksen visio 2020 [2], jonka laadinnassa myös Metsäntutkimuslaitos on ollut mukana.

Haastatteluaineisto kerättiin tutkimusryhmän yhdessä laatimaa strukturoitua kysymyslistaa hyödyntäen helmi – maaliskuussa 2013. Haastateltavat – yhteensä 17 asiantuntijaa – työskentelivät tutkimus- ja kehittämisorganisaatioissa, puunhankintaorganisaatioissa, puutuoteteollisuuden perus- ja jatkojalostuksessa, toimialan etujärjestöissä, bioenergia-alalla ja biojalostamotoiminnassa. Haastateltavien joukossa oli myös perinteisen metsäsektorin ulkopuolisten yritysten asiantuntijoita. Kerätyn haastattelumateriaalin pohjalta koottiin yhteenveto tulevaisuuden visioista. Selvityksessä käytetty haastattelulomake on liitteessä 1 ja haastatteluihin osallistuneet asiantuntijat organisaatioittain liitteessä 2.

Kirjallisuus- ja internet-aineistoja sekä haastattelujen tuloksia tarkasteltiin selvitystyössä rinnakkain. Aineistot tukivat toisiaan selvitystyön tuloksia muodostettaessa.

3 Puubiomassan mittauksen nykytila

3.1 Metsävarojen inventoinnin ja metsätaloussuunnittelun mittaukset

Metsävarat inventoidaan ja metsätaloussuunnittelun vaatimat mittaukset tehdään edelleen pääsääntöisesti maastossa. Tässä käytetään yleisesti satelliittipaikannusjärjestelmiä ja karttaohjelmistoja määriteltäessä metsiköiden sijaintia maastossa ja kartalla. Teknisinä apuvälineinä käytetään lähinnä Sonar-elektronisia mittasaksia, joilla mitataan koepuiden läpimitat ja etäisyydet koealan keskipaalusta, ja Vertex-pituusmittaria, jolla mitataan rungon pituus ja puutavaralajien rajakohtien korkeuksia. Tärkein tekninen apuväline on mittaustietojen keruulaite, jonka älykäs ohjelma ohjaa ja valvoo tiedonkeruuta ja sisältää erilaisia laskentamalleja mitattavien suureiden jalostamiseksi tavoitesuureiksi, esimerkiksi rungon ja puutavaralajien tilavuuksiksi.

Valtakunnan metsien inventoinnin ja suurten metsätaloussyhtiöiden metsäsuunnittelun mittausten perusaineistoa kerätään jo kuitenkin ilmasta laserkeilauksella (LiDAR) ja niissä on käytetty 1980-luvulta lähtien apuna satelliittikuvia. [26] Laserkeilauksella saadaan tietoa

puuston määrästä, latvussmassasta ja sen perusteella voidaan arvioida metsikön tilavuuden puulajijakaumaa. [27] Puulajien tunnistamiseen sovelletaan lentokoneesta otettua laserkeilausta ja ilmakuvaa tai satelliitin välityksellä saatua maastokuvaa. Inventointimittausten tulosten tarkentamiseen hyväksyttävälle tasolle tarvitaan kuitenkin edelleen koealaotantaan ja koeala- ja koepuumittauksiin perustuvia mittauksia maastossa. Tämä on tarpeen koska lentolinjojen väliä ilmasta tehtävässä laserkeilauksessa ei pystytä ainakaan vielä pienentämään riittävästi mittaustarkkuuden saattamiseksi hyväksyttävälle tasolle ilman että kustannukset nousevat selvästi korkeammiksi kuin laserkeilausta ja maastotarkennuksia käytettäessä. [28]

Puun ja puutavaralajien dimensiot ja määrät ovat pääkohteena metsäninventointiin ja metsäsuunnitteluun kuuluvissa mittauksissa. Valtakunnan metsien inventoinnin koepuumittauksissa kerätään varsin yksityiskohtaista laatutietoa pääasiassa silmävaraisiin arviointeihin perustuen muun muassa runkojen oksikkuusrajoista ja suurimpien oksien koosta, lenkouden, mutkien ja haarojen esiintymisestä, käyttöarvoon vaikuttavien bioottisten ja abioottisten vikojen esiintymisestä ja puutavaralajien yleisiin laatuvaatimuksiin perustuvista laaturajoista korkeussuunnassa. [29] Inventoinneissa kerättyä laatutietoa on hyödynnetty toistaiseksi kuitenkin hyvin vähän sekä tutkimuksessa että käytännön sovelluksissa.

Metsäsuunnittelu perustuu ilmakuva-aineistoihin ja maastoarviointeihin. Suuret metsänomistajat kuten Metsähallitus ja metsäteollisuusyritykset käyttävät jo osittain ilmasta tapahtuvaa laserkeilausta. Maastoarvioinneissa puuston määrän mittauksessa käytetään edelleen relaskooppi-, mittasaksi- ja korkeusmittarimittauksia. Puuston ja puutavaran laadun arviointi perustuu käytännössä vain silmävaraiseen arviointiin puuston keskiläpimitasta, puutavaralajirakenteesta ja hakkuutarpeista sekä rungon keskitilavuudesta metsiköittäin ja joskus puulajeittain. Lisäksi saatetaan tehdä merkintöjä erikoispuutavaralajien saatavuudesta (mäntypylväät ja hirsitukit, männyn ja kuusen pikkutukit, koivun viilutyvet, yms.; myös: energiapuu). Tietoja käytetään jossain määrin puunmyynnin suunnittelussa ja hankittaessa ostotarjouksia leimikoille.

3.2 Hakkuuta edeltävät ja hakkuun yhteydessä tehtävät mittaukset

Puunmyynnin ja oston suunnittelussa käytetään tavallisesti metsälön kuvioittaista metsäsuunnitelmaa ja tehdään useimmiten maastoarviointi, jossa huomiota kiinnitetään sekä korjuun olosuhteisiin, metsäteihin ja varastopaikkoihin ja korjuun ja kuljetusten mahdolliseen vuodenaikaan että puuston hakkuukelpoisuuteen, puutavaralajirakenteeseen ja laatuun. Menetelmät ovat pääosin samoja kuin metsätaloussuunnittelussa.

Puuston laadun ennakoarviointi on toistaiseksi ollut yksinkertaista silmävaraista arviointia järeydestä, teknisistä vioista ja puutavaralajirakenteesta. Laadun epäyhtenäinen huomioon ottaminen on ollut yhteydessä systemaattisen laatuhinnoittelun puuttumiseen. Kaksi lyhytaikaisiksi jäänyttä laatuhinnoitteluyritystä on kuitenkin nähty, ensimmäinen 1980 – 1990 vuosikymmenten vaihteessa ja toinen 2000-luvun ensimmäisellä vuosikymmenellä. Ensimmäinen kokeilu tarkoitti mäntytukkirunkojen laatuhinnoittelua, jossa leimikkoon sijoitetuilta koealoilta määritettiin tukkirunkojen rinnankorkeusläpimitan ja oksattoman ja muuten virheettömän tyvitukkiosan perusteella keskitunnuksia, jotka vaikuttivat leimikon mäntytukkien yksikköhintaan. Tätä 1980-luvulla tehtyihin laajoihin tutkimuksiin perustunutta menetelmää käytti kaksi suurta puunostajaa muutaman vuoden ajan. Toinen kokeilu tarkoitti mänty- ja kuusitukkileimikoiden laatuhinnoittelua, jossa tukin keskihintaan vaikuttivat ennen kaikkea järeys ja oksikkuuslaatu (useiden muuttujien perusteella määritettynä) leimikon maastoarvioinnissa tehtyjen havaintojen ja arviointia tukeneiden mittausten perusteella. Menetelmän kehittänyt puunostaja käytti tätä lyhyen aikaa leimikoiden ostossa ja hinnoittelussa.

Suurin osa tavaralajimenetelmällä tehtävistä hakkuista tehdään Pohjoismaissa nykyisin hakkuukoneilla, jotka on varustettu runkojen katkonnin optimointia avustavalla ja hakatun puutavaran tilavuutta mittaavalla mittalaitteella sekä mittaustiedon käsittelyyn ja tiedonsiirtoon soveltuvalla järjestelmällä. Hakkuukonemittaus on hakatun puutavaran määrän mittauksessa selvästi tärkein menetelmä. Mittaus tapahtuu runkojen prosessoinnin yhteydessä ja käsiteltävän rungon läpimittaa ja pituutta mitataan jatkuvasti karsinnan ja katkonnin aikana. Mittaustiedot tallentuvat hakkuukoneen ohjaus- ja mittausjärjestelmään. Yksityiskohtaisesta mittaustiedosta muodostetaan tuotantoraportteja erilaisilla sisällöillä ja erilaisia käyttötarpeita varten, muun muassa puutavaran mittaustodistuksen laadintaan puukaupan, urakointityön ja koneenkuljettajien palkanmaksun maksuliikenteeseen, mittalaitteen tarkkuuden seurantaan ja kalibrointiin ja puunhankkijan ja puunkäyttäjän operatiivisen toiminnan tarpeisiin (kaukokuljetusten ja raaka-aineen ohjaus, tehtaiden tuotannon suunnittelu, puutavarakirjanpito, puunhankinnan valvontatehtävät).

Hakkuukoneen mittalaitteen kalibrointitarpeen määrittämiseksi mittalaitteen toiminta tarkastetaan satunnaisotantarunkojen mittauksella. Varsinainen mittalaitteen kalibrointi edellyttää puutavarapölkkyistä muodostuvan tarkastuserän mittausta käsin mittasaksilla. Luotettava kalibrointi edellyttää riittävän suurta tarkastuserää, jotta läpimitan, pituuden ja tilavuuden mittaukselle saadaan tarpeeksi vertailuarvoja. Hakkuukoneen kuljettaja virittää mittalaitteen tuottamaan oikeaa mittaustulosta tarkastuserien mittausten perusteella.

Hakkuukoneen tietojärjestelmä luokittelee puutavaraa jakamalla sen tukki- ja kuitupuuksi ja tarvittaessa erikoistavaralajeiksi sekä määrittää mittaustietojen ja sisäänrakennettujen mallien perusteella ennusteen energiapuun määrästä. Kone tallentaa muistiinsa läpimitan, pituuden ja katkontakohtien tiedot rungoittain ja järjestelmästä on mahdollista tulostaa esimerkiksi pölkkyjen kappalemäärät tavaralajeittain, runkojen keskikoko runkoluokittain ja muita tuotantoraportteja.

Hakkuukoneen tuottamaa mittaustietoa hyödynnetään jo moninaisesti, mutta tuotetun tiedon määrä antaisi mahdollisuuksia sen paljon laajempaankin hyödyntämiseen. Koneen tuottamaa tietoa käytetään paitsi kaupan kohteena olevan puumäärän mittaukseen (luovutusmittaus) myös urakointityön kohteena olevan ja palkanmaksun perusteena olevan työmäärän mittaukseen (työmittaus). Runkojen ja puutavaran ensimmäinen laadutus, joka johtaa puutavaralajien määrittämiseen ja pölkkyjen katkontaan tavaralajeittain, tapahtuu käytännössä hakkuutyön yhteydessä. Tapahtuma aloittaa puutavaralajien ohjauksen omiin käyttökohteisiinsa ja vaikuttaa ratkaisevasti tuotannosuunnitteluun tehtailta.

3.3 Lähi- ja kaukokuljetuksen yhteydessä tehtävät mittaukset

Lähi- ja kaukokuljetuksen yhteydessä mittaus tehdään tavallisimmin punnitsemalla puutavara metsätraktorin tai puutavara-auton kuormainvaa'alla. Alun perin kuormainvaakamittausmenetelmä kehitettiin erityisesti pienten tukki- ja kuitupuuerien mittaukseen kaukokuljetuksen yhteydessä. Sittemmin energiapuun hankinnan ja käytön lisääntyneenä kuormainvaakamittauksesta on tullut merkittävä mittausmenetelmä energiapuun mittaukseen lähikuljetuksen yhteydessä.

Kuormainvaakamittauksessa puutavaran paino mitataan kuormauksen tai kuorman purkamisen aikana. Puutavaran paino muunnetaan tarvittaessa kiintotilavuudeksi puutavaralajikohtaisilla tuoretiheyslukuilla. Menetelmän merkittävänä etuna on sen nivoutuminen osaksi kuljetusta. Kuormainvaakamittaus on korvannut kallista ja työlästä pinomittausta tienvarressa. [30]

Metsähaketta ja mursketta mitataan hakeauton säiliössä määrittämällä säiliön leveys, pituus ja kuorman korkeus tasoitetuksi katsottuun säiliön yläreunaan nähden. Kehystilavuus muunnetaan kiintotilavuudeksi käyttämällä raaka-aineelle määritettyä tai pinon ominaisuuksista laskettua muuntolukua. Esimerkiksi hakkeen ja murskeen tapauksessa muuntoluku on 0,40. [6]

Hakkuun, lähi- tai kaukokuljetuksen yhteydessä tuotettu mittaustieto siirretään sähköisesti myös puunostajan tietojärjestelmiin – ainakin suurien yhtiöiden tapauksessa – vaikka puutavara

mitataan uudelleen tehtaan vastaanotossa. Puutavaralajin mukaan vaihdellen puutavarasta mitataan tilavuutta, painoa tai näitä molempia. Nykyisin kuitupuun mittauksessa on siirrytty painon mittaukseen perustuviin mittausmenetelmiin ja paino-otannon kautta saataviin tilavuuksiin.

3.4 Puuvastaanoton ja tuotanto- ja jalostuslaitosten mittaukset

Saha- ja vaneriteollisuus

Puutavaran mittauksessa käytetään sahoilla ja vaneritehtailla optisia tukkimittareita. Tukkimittareilla tehtyä mittausta käytetään puukaupan ja kaukukuljetuksen maksuliikenteen perusteena olevassa kuorellisen tilavuuden mittauksessa, mutta myös tukkien lajittelussa ja prosessiin ohjauksessa. Tilavuuden määrittämiseen tarvittavien dimensioiden lisäksi tukkimittarilla pystytään määrittämään puutavarapölkkyjen kolmiulotteinen profiili. Tätä voidaan hyödyntää pölkkyjen muotoa kuvaavien tunnuslukujen määrittämisessä (muun muassa lenkous) ja pölkkyjen sahausasetteiden mukaisessa lajittelussa. Muut laatuhavainnot lajittelua varten tehdään silmävaraisesti.

Tukkiröntgeneitä käytetään optisilla tukkimittareilla saatavien mittausten täydentämiseen suurilla, useimmiten mäntyä käyttävillä sahoilla. Tukkiröntgen mahdollistaa tarkimmillaan tukin sisärakenteen kuvantamisen. Tyypillisesti tukkiröntgeniä käytetään kuoren ja puuaineen rajapinnan eli kuoren paksuuden määrittämiseen kuten myös oksien koon ja laadun ja oksakiehkuroiden välien, sydän- ja pintapuun rajan ja eräiden sisävikojen kuten lahon ja halkeamien määrittämiseen sekä vierasesineiden, kuten metallien tunnistamiseen. Metalliset esineet pyritään löytämään metallinpaljastimen avulla. Tukkimittarin ja -röntgenin yhdistelmämittauksella voidaan määrittää varsin tarkasti sekä tukin ulkoiset mitat että sisärakenne ja jalostusarvo.

Kuiduttava teollisuus

Kuitupuun mittaukset tehtaalla pohjautuvat tällä hetkellä pääsääntöisesti tilavuuden mittaukseen automaattisilla kehyskuvamittausmenetelmillä tai massan mittaukseen painon kautta silta- tai kurottajavaaioilla. Kehyskuvamittauksessa kuitupuukuorman tilavuus mitataan laser- ja kameratekniikasta koostuvalla järjestelmällä. Mittauksessa laservalo heijastetaan puutavarapölkkyjen pintaan ja heijastumaa kuvataan kameroilla. Mitatuista kuvista voidaan määrittää kuva-analyysin perusteella kuorman puutavaranippujen pituus, korkeus ja leveys, eli kolmiulotteinen kehyskuva. Näiden parametrien avulla saadaan määritettyä mitatun nipun kiintotilavuuden laskennassa käytettävät tunnuksat.

Painomittauksessa tilavuuden määrittämiseen käytetään paino-otantamittausta, jossa koko vastaanotettava puutavaraerä punnitaan ja erästä valitaan otannalla otantanippuja, joiden tilavuus mitataan saksimittauksella, automaattisella otantamittausasemalla tai upotusmittauksella. Otantanippujen mittausten perusteella määritetään painon ja tilavuuden välinen muuntoluku, jota käytetään koko puutavaraerän painon muuntamiseen tilavuudeksi. Otantanippujen mittauksessa yleistyvä menetelmä on upotusmittaus. Upotusmittauksessa otantanipun paino mitataan sekä ilmassa että vesialtaaseen upotettuna. Näiden mittausten avulla voidaan Arkhimedeen lain periaatteiden mukaisesti laskea upotetun nipun tilavuus. [30]

Bioenergia ja -jalostus

Energiasisällön määrittämiseen perustuva mittaus on tavallista varsinkin yhtiöiden välisen kaupan perusteena. Energiayhtiön näkökulmasta energiasisältö on tarkoituksenmukainen suure, joka kuvaa energiapuun käyttöarvoa parhaiten.

Energiasisällön määrittäminen perustuu koko energiapuuerän massan mittaukseen painomittauksen kautta ja tehollisen lämpöarvon määrittämiseen saapumiskosteudessa. Tehollinen lämpöarvo saapumiskosteudessa perustuu kosteusotannalla määritettyyn energiapuun kosteuteen sekä eri energiapuutavaraeräiden teholliseen lämpöarvoon kuivana. Kosteusnäytteiden ottaminen tehdään automaattisilla otantalaitteilla tai kuormakohtaisesti manuaalisella näytteenotolla. Edustavan näytteen ottaminen hake-, murske- tai purukuormasta on varsin haastavaa kuorman sisäisen kosteusvaihtelun ja kuorman lajittumisen vuoksi. Kosteusmääritysten tarkkuudessa on usein havaittu puutteita. Keskeinen syy heikkoon tarkkuuteen on todennäköisesti liian pieni näytteiden määrä kosteusnäytteiden otannassa, jolloin kosteuden laajaa vaihtelua ei saada katettua.

Kun energiapuuerästä määritettyyn massaan liitetään laboratoriossa mitattu kosteusprosentti ja puulajitieto, voidaan sen energiasisältö määrittää energiayhtiöiden nykykäytön mukaan riittävällä tarkkuudella. Varsinaiselle energiapuulle ei laadutusta tehdä, mutta käsittelyohjeet on standardisoitu. Alalla yleisesti vallalla olevan käsityksen mukainen puun käsittelyterminaaleihin siirtyminen tulisi tehostamaan energiapuun ja hakkeen laadun ja kosteuden mittaamista ja seurantaan. Kosteuden lisäksi myös hakkeen palakoko ja vierasaineet ovat laatukriteereitä, joita seurataan ja jotka vaikuttavat energian konversioprosessin tulokseen.

Tuoreen metsähakkeen kosteus on yleensä välillä 40 – 55 %, jos metsähakkeen mukana ei ole lunta tai jäätä. Puun tasainen palaminen alkaa tuottaa vaikeuksia kosteuden noustessa 60 prosenttiin ja sen energiasisältö kuluu veden haihduttamiseen kosteuden ollessa suurempi kuin 70 % [31]. Joskus ongelmia voi aiheuttaa liian kuiva hake, joten sen havaitseminen on myös

tärkeää. Yleensä polttoprosessin parametrit on säädetty kostealle hakkeelle ja kuivan hakkeen tapauksessa kattilan hiekkapeti pääsee kuumenemaan liikaa ja lasittumaan. Tämä tilanne voi aiheuttaa suuria ongelmia koko laitoksen toimivuudelle.

Latvusmassasta tehty hake tai murske on yleensä huonolaatuista verrattuna hakkeeseen, joka on tehty kokonaisista rungoista. Viheraine ja siihen sisältyvät erilaiset haitta-aineet kuten kloori ja alkaloidit tuovat ongelmia polttoon. Joidenkin energiayhtiöiden mukaan viherainetta ei tulisi sallia lainkaan polton yhteydessä. Kantomurske taas sisältää vaihtelevassa määrin maa-ainesta ja kiviä.

Käytettävissä olevan hakkeen tai murskeen laatuun vaikuttaa myös markkinatilanne. Jos kuiduttava teollisuus Suomessa vähenee, saadaan energiapuumarkkinoille entistä parempaa polttoainetta metsästä ja lisäpolttoaineita sahojen ja vaneritehtaiden sivuvirroista (sahanpuru, hiontapöly, höylänlastut, katkaisupätkät, sorvipurilaat, sahanhake, vanerihake).

3.5 Mittaaminen ja tietojärjestelmät

Hakkuukone kerää tietoa hakatusta puutavarasta omaan tietojärjestelmäänsä, josta tieto siirretään sähköisesti eteenpäin. Puunjalostuslaitosten vastaanotossa erätiedot syötetään vastaanoton järjestelmiin ja vastaanoton tiedot kootaan vuorotiedoiksi. Päivittäin nämä tiedot siirretään tuotannon omiin järjestelmiin. Erityisesti metsästä tuotantoon päin tieto kulkee sujuvasti digitaalisena. Sen sijaan puunmyyjien ja -tuottajien piirissä pidetään tärkeänä, että tieto kulkisi myös toiseen suuntaan. Tällä tarkoitetaan lähinnä nykyistä parempaa hakkuun puutavaralajiluetteloiden tiedoksi saamista ja hyödyntämistä.

Suuria kotimaisia tiedonhallintajärjestelmien toimittajia metsäteollisuuden raaka-aineen ja arvoketjujen hallinnassa ovat muun muassa ABB, Tieto Oy ja Savcor Forest Oy. Sahoille on tarjolla myös pienempiä ja erikoistuneempia tiedonhallintajärjestelmien toimittajia.

Metsäenergiapuun kaupassa näyttäisi olevan tarvetta nykyistä paremmille palautejärjestelmille energialaitosten ja hakkeen myyjien välille hakkeen määrästä ja varsinkin laadusta. Energiapuun isäntälinjan hakkuuta ja metsävarastojen manuaalista mittausta lukuun ottamatta kaikki mittaaminen on digitaalista, mikä helpottaa tiedon siirtoa sähköisesti.

Mittaustietoa käytetään myös ostojen suunnitteluun ja myöhemmin laskutuksen oikeellisuuden tarkistamiseen. Silloin kun puuta käsitellään joko kuitupuuna tai tukkeina, vastaanottotieto viedään laaduttamisen jälkeen varastotietojärjestelmään. Varastotietojärjestelmän merkitys on

kahtalainen. Ensinnäkin se palvelee kirjanpidon ja yrityksen sisäisen laskennan tarpeita. Toisaalta varastotietojärjestelmät ovat yhteydessä tuotannonohjauksen järjestelmiin. Tätä kautta tapahtuu tulevien hakkuuerien puutavaran ohjaus oikeisiin kohteisiinsa. Tiedonsiirron ja -hallinnan yleisen kehityksen myötä myös metsäalan erilaisten järjestelmien keskinäinen kommunikointi on viime vuosina parantunut merkittävästi. Muun muassa VTT on kehittänyt ainespuun tukkikohtaiseen seurantaan soveltuvia tunnistimia, mutta niiden hyöty ja hyödyntämismahdollisuudet tuntuvat kuitenkin olevan nykyisille toimijoille vielä epäselviä.

Energiapuun ensivaiheen mittaustiedon käyttö keskittyy määrän ja kosteuden hallintaan. Siltavaa'alla mitatun hakeauton painomittauksen tiedot siirretään vastaanottajan tietojärjestelmiin. Vastaanotossa hake-erästä otetun kosteusnäytteen laboratoriokokeiden tulokset syötetään lämpölaitoksen tietojärjestelmään. Myöhemmin tätä tallennettua tietoa käytetään kosteudenhallinnassa energian konversioprosessin tarpeisiin. Tietokannoissa säilytettävän tiedon avulla seurataan varastoitavan hakkeen kosteuden kehitystä. Tiedon avulla pyritään myös ennakoimaan vuodenaikojen vaikutusta tulevaan hakemassaan. Tiedonsiirrossa on yrityskohtaisia järjestelmiä, standardoitu massa- ja kosteustieto kiertää kuitenkin sähköisesti järjestelmästä toiseen. Energian tuotannossa puun energiasisältö on suure, jolla on suurin merkitys. Vasta kun hake on poltettu, tiedetään tarkasti sen sisältämä energiamäärä. Yhdistämällä tämä ja muu tuotettu tieto, voidaan jälkikäteen arvioida hakkeen laatua. Hakkeen alkuperätiedon säilyttäminen ei noussut haastattelujen valossa merkittäväksi kysymykseksi, mutta sen merkityksen arveltiin tulevaisuudessa kasvavan.

3.6 Mittausinformaation hankinnan ja käsittelyn standardisointi

Mittausta koskevaa standardisointia säätelee eurooppalaisella tasolla Euroopan standardisoimiskomitea CEN ja Suomessa kansallisena toimijana Suomen Standardisoimisliitto SFS. Suomessa puutavaran mittauksesta säädetään puutavaran mittauslailla ja sen alempiasteisilla säädöksillä. Puutavaran mittauslainsäädäntöä ollaan paraikaa uudistamassa ja se tulee jatkossa koskemaan teollisuuden raaka-aineen lisäksi yksiselitteisesti myös energiapuun mittausta. Lailla määritellään mittauksen minimivaatimukset, mutta käytännössä teollisuuden puunhankkijoiden omat ohjeet ja vaatimukset ovat usein lain edellyttämiä tiukempia. Mittaustiedon tallentamisen suhteen lainsäädäntö on jo nykyisellään varsin yksiselitteinen, mutta yrityksillä on käytössä omia erityisohjeita omissa mittausjärjestelmissään.

Metsäkoneissa mittausta on useimmiten standardisoitu siten, että se soveltuu siirrettäväksi pohjoismaisen StanForD 2010 –standardin mukaisissa tietojärjestelmissä. Metsäyhtiöiden ja kuljetusyritysten rajapinnan tiedonsiirtoa määrittelee PapiNet-tiedonsiirtostandardi. Laki

mittausmenetelmistä määrittelee standardit vaakalaitteille arvoketjun eri osissa. Sahahakkeen määrän ja laadun mittaukselle on pohjoismainen standardi.

VTT puolestaan on määritellyt energiahakkeen näytteenotolle kotimaisen standardin. Hakkeelle suoritetaan myös puun kosteuden standardin mukainen määrittely. Vaikka hakkeelle sinänsä onkin erilaisia standardeja, on energiapuukaupassa ja -käsittelyssä haastateltujen asiantuntijoiden mukaan vielä paljon tekemätöntä standardisoimistyötä. Lisäksi olemassa olevat eurooppalaiset näytteenottostandardit ottavat puutteellisesti huomioon kansallisia erityispiirteitä. Näytteenottostandardissa laskentakaavat ovat sovelluksia hiilellä käytetyistä yhtälöistä, jotka perustuvat yleensä suurempiin toimitus- ja osaeriin kuin biopolttoaineilla. Standardin suositustarkkuudet kosteuden osalle ovat 1 – 1,5 prosenttia riippuen haketyypistä. Tämä raja on liian tiukka suomen oloihin ja VTT suosittaa käytettäväksi neljän prosentin tarkkuutta. Standardissa ei myöskään ole suositusarvoja kantomurskeen tuhkapitoisuuden näytteenoton kannalta, joten se täytyy määrittää paikallisille oloille ja tekniikalle soveltuvaksi. [32]

4 Tärkeimmät tutkimus- ja kehittämishankkeet

Aihealue on ajankohtainen ja siihen liittyen on käynnissä useita tutkimus- ja kehittämishankkeita. Taustalla on tarvekartoituksia 20 vuoden ajalta. Metsäteho Oy on tehnyt viimeisimmän mittaustarpeiden ja mittausmenetelmien aihealueen avainkysymysten ja sovellusten identifiointiin tähänneen selvityksen ”*Puutavaran mittauksen visio 2020*” [2]. Selvityksessä on arvioitu puuraaka-aineen mittaustapojen kehitysnäkymiä ja priorisoitu kehittämistä kaipaavat mittausmenetelmät. Yhtenä tärkeänä kohtana selvityksessä on energiapuun kosteuden hallinta ja mittaaminen hankinta- ja käyttöketjun eri vaiheissa. Tämän seurauksena Metsäteho Oy on tehnyt selvitystyötä kosteuden on-line mittauksesta metsätähdehakeesta [3]. Muita selvityksessä esille nostettuja kohteita ovat mm. mittausten standardisointi, puuta koskemattomat mittaukset, informaatiojärjestelmien kehittäminen ja katkonnanohjauksen parantaminen. Ehdotetut toimenpiteet tähtäävät ennen kaikkea mittausten rationalisointiin ja kustannustehokkuuden parantamiseen osana puunhankinnan ja -käytön logistista ketjua.

Metsäntutkimuslaitoksessa tutkittiin kahdessa yhteishankkeessa metsäteollisuuden ja mittauksen muiden sidosryhmien kanssa tukki- ja kuitupuutavaraalajien tuoretiheyttä ja siihen vaikuttavia tekijöitä vuosina 2005–2009. Tutkimusten pohjalta laadittiin kuormainvaakamittauksessa vuodesta 2010 lähtien käytössä olleet tuoretiheysmallit ja -taulukot 11 puutavaraalajille, viidelle alueella ja kahdelle kuivuusasteelle. Tutkimuksia kuivuusasteen huomioon ottamiseksi jatkettiin

vuosina 2010–2012 yhdistämällä tuoretiheyden arviointiin Ilmatieteen laitoksen säähavaintoihin perustuvat kuivumismallit. [4]

Metsäntutkimuslaitoksessa käynnistettiin vuonna 2005 Energiapuun mittaustoimikunnan, maa- ja metsätalousministeriön ja puunhankkijoiden tuella tutkimukset metsäenergiapuun mittauksesta hankkeena Energiapuun mittauksen kehittäminen. Hanke päättyi vuonna 2012, mutta tutkimuksia jatketaan toistaiseksi Metsäntutkimuslaitoksen omana työnä. Tutkimukset ovat tähänneet ensisijaisesti mittauskäytäntöjen yhtenäistämiseen ja yhteisten suositusten laadintaan sekä mittauksen tarkkuuden parantamiseen. Työn pohjalta on laadittu mm. Energiapuun mittausopas ja kehitetty tuoretiheys- ja säämalleja energiapuun määrän mittaukseen ja laadittu energiakuutupuulle ja -rangalle, pienkokopuulle ja latvusmassalle tuoretiheystaulukot ja -mallit, joka on edelleen kehitetty EPPU-energiapuulaskuriksi [5]. Työhön on kuulunut myös mittaus- ja näytteenottolaitteiden kehitystyötä. [6][4]

Energiapuun laadun parantamista tutkittiin vuosina 2007–2012 Kanta-Hämeen metsänhoitoyhdistyksen johtamassa ”*Metsäenergiaa kannattavasti - Metka*” -hankkeessa [7]. Hankkeessa tutkittiin energiapuun kosteuden ennustamista metsävarastoissa mallinnusmenetelmillä sekä kantopuun laadunhallintaa, erityisesti epäpuhtauksien määrää. Lisäksi tarkasteltiin metsähakkeen varastoinnin ja kuljetuksen toteutusmalleja sekä suunniteltiin Once-tietojärjestelmä, jonka pääominaisuuksiin kuului reaaliaikainen tiedonhallinta, energiapuun varastoinnissa ja koko toimitusketjussa.

”*Puupolttoaineiden laadunhallinta osana hankinnan ohjauksen ja varastojen hallinnan tietojärjestelmiä*” LAAVA -hankkeessa [8] tutkitaan varastoinnin vaikutuksia metsäenergiapuun laatuun, erityisesti kosteuteen. Tutkimuksessa seurataan eri energiapuutaveralajien koekasojen kosteuden muutoksia jatkuvaan painon mittaukseen perustuvalla menetelmällä ottaen huomioon alkuperä-, sää- ja korjuu- ja varastointitekijöitä. Tulosten perusteella kehitetään ennustemalleja energiapuun kosteudelle. Mallinnuksessa käytetään hyväksi Ilmatieteen laitoksen läheisellä sääasemalla mitattavaa säähavaintoaineistoa. Hanketta koordinoi Itä-Suomen yliopisto ja muut tutkimusosapuolet ovat Metsäntutkimuslaitos, Ilmatieteen laitos ja Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu. Hanke on ollut käynnissä vuodesta 2011 toukokuuhun 2013.

”*Metsähakkeen tuotannon laadunhallinta*” (LAATU) -hankkeessa [9] tutkitaan bioenergian raaka-aineen laadun vaikutuksia voimalan tai energialaitoksen kustannuksiin ja mahdollisuuksia vaikuttaa laatuun toimitusketjujen eri vaiheissa. Hankkeen tavoitteena on tuottaa laatukäsikirja,

jota alan toimijat voivat hyödyntää oman toimintansa suunnittelussa ja valvonnassa. Tutkimuksen toteuttaa Metsäntutkimuslaitos vuosina 2012–2014.

Metsäpolttoaineiden käytettävyyden parantamista tutkitaan *Biovarma*-hankkeessa [10]. Tutkimuksen tavoitteena on parantaa metsäpolttoaineiden laatua, laadunhallintaa ja toimituslogistiikkaa. Hankkeessa tutkitaan turvallisten polttoaineseosten sisältöjä, haitallisten aineiden sekä suojaavien aineiden määrää sekä niihin vaikuttavia tekijöitä [11]. Tutkimuksen toteuttavat Metsäntutkimuslaitos ja VTT vuosina 2013–2014.

Puutavaran laadun mittaukseen ja hallintaan liittyviä kysymyksiä on pohdittu erityisen paljon Metsäteho Oy:n koordinoimassa, vuosina 2003–2005 toteutetussa ”*Puun laadun mittaus ja lajittelu*” (PUULA) -hankkeessa [12]. Hankkeen toteuttivat Metsäteho Oy, Metsäntutkimuslaitos, Tampereen teknillinen yliopisto ja Teknillinen korkeakoulu (nykyisin Aalto-yliopiston osana) ja hankkeeseen osallistuivat myös Helsingin yliopisto ja Oulun yliopiston MILA-laboratorio (nyk. CEMIS-Oulun osana). Hankkeen tuloksia on esitelty useissa raporteissa ja sen pohjalta on syntynyt useita uusia tutkimus- ja kehittämishankkeita.

PUULA-raportissa ”*Puuta koskemattoman mittauksen mahdollisuudet ja menetelmiä raakapuun laadun määrittämiseen*” [13] esitellään aluksi tärkeimmät laatutekijät puuta koskettamattomien mittausmenetelmien soveltamisen kannalta sahoilla ja vaneri- ja puumassatehtailla tehdyin täsmähaastatteluin, sekä niiden lopputuotekohtaisen merkityksen että käytännön mitattavuuden ja realistisen mittaustarkkuuden näkökulmista. Aistivaraisen laadutuksen automatisointia tutkittiin sumean logiikan pohjalta suomalaisilta sahoilta ja sellutehtailta kerätyllä aineistolla. Sahan laadutusprosessin tarkentamiseen kehitettiin laskentamalli, johon kuuluu sahausolosuhteiden ja tukkien laatupiirteiden mukainen, tällä sovelluksella melko työläs opetusjakso. Laboratoriotutkimuksissa kehitettiin laserdiffraktioon perustuva, optisen mikroskopoinnin tarkkuuden täyttävä, mutta sitä nopeampi menetelmä kuusen kuitujen dimensioiden mittaamiseen. Teollisuusympäristössä laitteistolta vaaditaan kompaktin pakkaamisen ja luotettavan näytteenottomekanismin kehittämistä. Kuusen tyvilahoalueen muodon ja koon ennustamiseen kehitettiin laskentamenetelmä ja ohjelmisto fotoluminesenssimittauksiin perustuvan aineiston pohjalta. Käytännön soveltaminen edellyttää lahon värinmuutosta eri nousukorkeuksilla kuvaavan eksponenttifunktion generointia ja lisätutkimuksia lahon nousukorkeuden ennustamisesta. Mikroaaltojen todettiin soveltuvan tukin katkaisupäiden kosteusjakaumien mittaamiseen; erotuskyky tukin pinnasta oli emissiomittauksissa 2 prosenttiyksikköä ja absorptiomittauksissa 5 prosenttiyksikköä. Jatkokehitystyössä tulisi panostaa erotuskykyyn tavoitteena puuaineen tiheyserojen mittaaminen. Ulko-oksien poikkileikkauspinta-alan mittaustarkkuus tukeista oli mikroaalloilla alle 0,5 cm².

Ultraäänimittauksella pystyttiin tukin poikkileikkauksesta erottamaan kuorettomat ja kuorelliset alueet, mutta kuoren paksuudesta ei saatu vakuuttavaa tulosta. Jatkokehitystyö on perusteltua menetelmän edullisuuden ja kenttäkelpoisuuden johdosta, tavoitteena kartoittaa ultraäänitaajuuksien vasteiden voimakkuus erilaisista puun kuorikerroksista ja määrittää mittauksiin optimaaliset taajuus ja tehokaistat.

PUULA-raportissa ”*Puun laatutiedon mittaaminen kuvasta*” [14] esitellään tulokset tutkimuksista puun ominaisuuksien, kuten kuoren paksuuden ja lahon määrittämisestä rungon katkaisupinnasta otetuista kuvista. Sahauksen kannalta kuoreton läpimitta ja kuoren paksuus ovat tärkeitä puutavaran ominaisuustietoja. Hyvä tavoite olisi pystyä määrittämään rungon kuoreton profiili jo hakkuukoneella, jolloin katkontaa tukeiksi voitaisiin tarkentaa sahauksen ja sorvauksen arvosaannon parantamiseksi ja ns. katkontaikkunaa pystyttäisiin kaventamaan. Katkaisupinnasta otettuja kuvia voitaisiin hyödyntää myös ns. lustokartan määrittämiseen ja lahon tunnistamiseen puutavarapölkkyjen päistä, tarkoituksena puutavaran lajittelun ja hylkypölkkyjen tunnistamisen tehostaminen joko puutavaranipuista tai yksittäisistä pölkkyistä (tukeista).

Hakkuukonemittaukseen on haettu uusia menetelmiä Teknillisen korkeakoulun vetämissä Forestrix, Metrix, Metrix Pro -hankkeissa. Forestrix -hankkeessa (2005 – 2008) tutkittiin metsäkoneiden aistinvaraista keinotekoista ohjausta pääsääntöisesti laserkeilausta ja konenäön sovelluksia käyttäen. Tavoitteena oli luoda operatiivisessa toiminnassa päivittyvä puukartta, jota voidaan käyttää kuljettajan ohjaamiseen. Metla osallistui hankkeen toteutukseen toisena tutkimusosapuolena. [15] [16] [17]

Metrix -hankkeessa tarkasteltiin puuta koskemattomien menetelmien toimivuutta hakkuukoneen harvesteripäähän liitetyn kamerajärjestelmän ja lasermittaustekniikan avulla. Järjestelmän avulla pyrittiin parantamaan puun dimensioiden mittausta sekä laatuparametrien kuten oksaisuuden, lenkouden ja lahon havainnointia. Hankkeessa tutkittiin myös puun puutavaran jäljitettävyyttä RFID- ja muiden etäluettavien muistitekniikoiden avulla. Hankkeen muita toteuttajia olivat Tampereen teknillinen yliopisto ja VTT. Hankkeen jatkoksi käynnistettiin Metrix Pro -hanke, jonka tavoitteena on kehittää reaaliaikainen konenäköjärjestelmä ja ohjelmisto rungon läpimittojen ja pituuden määrittämistä varten.

Puutavaran jäljitettävyys on ollut merkittävässä roolissa myös muutamissa muissa tutkimushankkeissa. Yksi näistä oli Indisputable Key [18], jossa tutkittiin puutavaran jäljitettävyyttä metsästä aina loppukäyttäjälle saakka. Hankkeen tavoitteena oli kasvattaa

raakamateriaalin arvoa ja kilpailukykyä. Hanke oli laaja ja siihen osallistui tutkijoita Suomen lisäksi Ruotsista ja Norjasta.

Vuosina 2010–2012 toteutetussa TimTekno-hankkeessa [19] tutkittiin mittausmenetelmien ja mittausinformaation kehittämistä puutavaran jalostusprosessin tehokkuuden parantamiseksi sahateollisuudessa. Hankkeessa hyödynnettiin perinteistä kolmivärikuvantamista (RGB), spektrikuvantamista, mikroaaltomittausta ja laser-kolmiomittausta tukkien ja sahatavaran laadun mittaukseen. Hankkeen toteuttajina olivat Oulun yliopisto, Itä-Suomen yliopisto ja Tampereen teknillinen yliopisto.

Puuaineen laatua sahatavarassa on tutkittu myös PUNOS-hankkeessa [20]. Hankkeessa tutkittiin sahatavaran laatua laservalon läpäisymittausten avulla. Hankkeessa havaittiin, että sopivalla aallonpituusalueella pystytään mittaamaan sahatavaran lujuusominaisuuksia selittäviä muuttujia valaistuksen ollessa riittävän tehokas ja tarkastelussa käytetyn kameran tarpeeksi herkkä. Hankkeen tutkimusosapuolena oli Oulun yliopiston MILA-laboratorio ja yritysosapuolena tehokkaita lasereita valmistava Cavitar Oy.

Lappeenrannan teknillisen yliopiston [21], Itä-Suomen yliopiston [22] ja Kajaanin mittalaitelaboratorion [23] PulpVision-hankkeessa (2010 – 2013) [24] tutkitaan kuvantavilla menetelmillä paperin valmistuksessa käytettävän sellun ja sen raaka-aineen laatua. Hankkeen tavoitteena on kehittää uusia mittausmenetelmiä materiaalivirtojen reaaliaikaiseen mittaukseen ja analyysiin. Tutkimushankkeessa on mukana lukuisia mittausteknologian, logistiikan ja kemiallisen prosessianalyysin yrityksiä kuten Teknosavo Oy, Cavitar Oy, Andritz Oy, Wetend Oy ja lukuisia muita.

Yhtenä merkittävimmistä uusista hankkeista voidaan pitää toukokuussa 2013 käynnistettyä FIBIC Oy:n (Finnish Bioeconomy Cluster) ja CLEEN Oy:n (Cluster for Energy and Environment) yhteistyössä suunnittelemaa ”Sustainable Bioenergy Solutions for Tomorrow”, Best –hanketta [25], jossa tutkitaan metsäbiomassan terminaalikonseptin kehittämistä ja siihen liittyviä mittaustarpeita.

5 Puutavaran mittauksen aktiiviset toimijat Itä-Suomen alueella

5.1 Tutkimus ja –kehittämisorganisaatiot

Metsäntutkimuslaitos on nimensä mukaisesti merkittävässä roolissa metsäsektorin tutkimuksessa. Puutavaran mittauksen ja laadun tutkimus on sijoitettu Itä-Suomen alueyksikköön Joensuun toimipaikkaan. Metsäntutkimuslaitos on toteuttanut puutavaran mittausten menetelmien aihealueella lukuisia tutkimus- ja kehittämishankkeita yhteishankkeina viimeisen 10 vuoden aikana, eniten energiapuun mittauksesta ja laadunhallinnasta (luku 1.3). Vuoden 2013 alussa on käynnistetty ”Puutavaran määrän ja laadun mittauksen uudet sovellukset ja asiakasratkaisut” -hanke, jonka päätavoitteena on selvittää uusien mittausten menetelmien soveltuvuutta puutavaran määrän ja varsinkin laadun mittaukseen. Oleellisina osina hankkeessa ovat ainetta rikkomattomien menetelmien soveltaminen, mittaustietojen hallinta ja analysointi ja energiapuun mittauksen edelleen kehittäminen. Metla on mukana toukokuussa 2013 käynnistetyn Best-hankkeen useissa eri työpaketeissa, mukaan lukien uusia mittausten menetelmiä puubiomassan laadun mittaamiseen kartoittavassa osiossa.

Itä-Suomen yliopiston metsätieteiden osasto [33] on yksi keskeisimmistä Itä-Suomen alueella toimivista metsäsektorin tutkimusyksiköistä. Metsätieteiden osasto on mukana useissa alueellisissa tutkimushankkeissa, kuten LAAVA ja LAATU (luku 1.3). Tämän lisäksi fysiikan laitokset Joensuusta ja Kuopiosta ovat aktiivisia puutuote- ja biojalostamoalaa koskevissa mittaustutkimuksissa erilaisten ainetta rikkomattomien menetelmien asiantuntemuksella (esim. TimTekno-hanke). Yliopistossa on alkamassa syksyllä 2013 Wood Material Science Master Programme –maisterikoulutusohjelma [34], joka vahvistaa omalta osaltaan puun mittaus- ja laadututkimuksen osaamista ja kansainvälistymistä Joensuussa.

Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulun [35] painoalalla ”Uusiutuva energia” on tavoitteena kehittää uusiutuvan energian käyttöön ja tuotantoon liittyviä uusia menetelmiä ja teknologioita. Ammattikorkeakoulun erityisosaaminen on bioraaka-aineiden jalostusarvon nostamisessa, polttoaineen hankinnassa, logistiikan ja laadunhallinnan kehityksessä. Ammattikorkeakoulu on mukana mm. Itä-Suomen yliopiston kanssa toteutettavassa Hajautetut biojalostamot – hankkeessa [36].

CEMIS on Kajaanissa toimiva Oulun yliopiston, MIKESin, Jyväskylän yliopiston ja VTT:n yhteinen tutkimus- ja koulutuskeskus. Mittaustekniikan asioista vastaa CEMIS-Oulu

tutkimusyksikkö [37] (entinen MILA-laboratorio), jonka päätoimenkuva on mittausteknologioiden tutkimus ja kehitys teollisuuden sovelluksiin kuten puuraaka-aineiden mittaukseen. Yksikkö on ollut aktiivisesti mukana metsäsektorin tutkimushankkeissa (TimTekno, PulpVision, Punapuu, PUNOS) niin sahateollisuuden kuin kuiduttavan teollisuuden parissa.

Lappeenrannan teknillisen yliopiston (LUT Savo Sustainable Technologies) Mikkelin, Savonlinnan ja Varkauden yksiköt tutkivat ympäristö-, energia- ja materiaalitekniikoita. Mikkelin yksikössä tutkitaan metsäbiomassan ja biopolttoaineiden tuotantoketjun hallintaan liittyviä kysymyksiä ympäristöllisistä näkökulmista. Savonlinnan yksikössä tutkitaan uusia paperin ja sellun sovelluskohteita. Varkauden yksikössä tutkitaan mittausteknologioita biomassan polttokattiloiden hyötyjen kasvattamiseksi langattomia ja optisia menetelmiä käyttäen. [38]

Mikkelin ammattikorkeakoulun Metsätalouden laitos tekee laaja-alaista tutkimustyötä metsäntutkimuksen parissa aina metsien hoidosta jatkojalostukseen saakka. Ammattikorkeakoululla on myös metsätalousinsinööriä tuottava Metsätalouden liiketoiminta - koulutusohjelma. Mikkelin Ammattikorkeakoulun Savonlinnan tutkimuskeskuksessa kehitetään kuitu- ja prosessiteknologian teknologioita ja tietoa metsäbiomassan teolliseksi hyödyntämiseksi. Keskuksen toiminta-alueita ovat paperikemikaalien syöttö, sekoitusprosessien ja mittausten menetelmien kehittäminen sellun valmistuksessa ja metsäbiomateriaalien jalostus. [40]

Joensuun Tiedepuisto Oy kehittää maakunnan elinkeinoelämää korkeatasoisten toimitilojen ja liiketoiminnan kehittämispalveluiden kautta. Joensuun Tiedepuisto vastaa Pohjois-Karjalan osaamiskeskusohjelmasta ja sen klusteriohjelmien hallinnoinnista, joita ovat Nanoteknologia, Energiateknologia, Uusiutuva metsäteollisuus ja Asuminen, tuotteistuva rakentaminen. Uusiutuva metsäteollisuus -ohjelmassa toimitaan metsäbiomassan tuotannon, hankinnan ja puurakentamisen aihealueilla. Toiminnalla pyritään parantamaan metsäbiomassan hankintaan liittyvien teknologioiden ja osaamisen siirtoa sekä alan pk-yritysten liiketoimintaedellytyksiä. Joensuun Tiedepuisto tekee tiivistä yhteistyötä muiden yrityskehityspalveluita tuottavien keskusten kanssa. [41]

Miktech Oy on Mikkelissä sijaitseva yrityskehityspalveluita tarjoava innovaatio- ja teknologiakeskus. Keskuksen tavoitteena on tukea maakunnan teknologiayritysten innovaatiotoimintaa, kasvua ja kansainvälistymistä. Keskus on myös mukana aikaisemmin

mainitussa Eastwood 2014 -kehitysohjelmassa. Miktech Oy tekee myös aktiivista yhteistyötä Pohjois-Karjalan kehittämissyhtiöiden kuten Joensuun Tiedepuiston kanssa. [42]

Kainuun Etu Oy on Kainuun kuntien omistama maakunnallinen elinkeinotoiminnan kehittämissyhtiö. Yhtiön tehtävänä on tukea alueen elinkeinoelämää ja auttaa avaintoimialojen yritysten kilpailukykyä, kansainvälistymisen ja yhteistyön kehityksessä. Yksi näistä toimialoista on metsä- ja puutuoteala. Kehitteillä olevat hankkeet liittyvät puurakentamiseen, bioenergialiiketoiminnan kehittämiseen, puukuljetusten terminaaliverkoston kehittämiseen ja uusien toimintamallien kehittämiseen metsäkoneiden siirtokuljetuksiin. [43]

5.2 Puutavaran käyttäjät ja ensiasteen jalostajat

Itä-Suomessa toimivaista globaaleista yrityksistä voidaan mainita *Stora Enso Oyj*, *UPM-Kymmene Oyj* ja *Metsä Group*, joilla kaikilla on merkittävää tutkimus- ja kehittämisspanostusta metsäteollisuuden eri sektoreilla. Stora Enso Oyj:llä on suuri sellutehdas ja kaksi suursahaa Pohjois-Karjalassa, paperia ja kartonkia valmistava tehdas Varkaudessa, Imatralla sijaitsee paperi ja sahalaitokset sekä tutkimusyksikkö. UPM:llä on vaneritehtaat Joensuussa, Savonlinnassa ja Ristiinassa sekä paperitehdas Lappeenrannassa. Metsä Groupilla on vaneri- ja kertopuutehdas Punkaharjulla. UPM on myös aktiivisesti mukana uusiutuvien energiamuotojen tuotannossa Lappeenrantaan rakennettavan mäntyöljypohjaisen biodiesellaitoksen muodossa. Joutsenossa sijaitsee Metsä Fibre Oy:n pääsääntöisesti havusellua tuottava sellutehdas. Simpeleellä sijaitsee Metsä Board -konsernin paperitehdas, joka tuottaa sekä kartonkia että erikoispapereita.

Puu- ja turvepohjaisen bioenergian sektorilla toimivat myös *Vapo Oy*, *Fortum Power and Heat Oy*, *Green Fuel Nordic Oy*, *STI* ja *Neste Oil*. Lisäksi on suuri joukko kunnallisia energiayhtiöitä ja osuuskuntia lämpölaitoksineen, jotka käyttävät puubiomassaa energian lähteenä. Fortum Power and Heat Oy on mukana useissa tutkimus- ja kehityshankkeissa kuten LAAVA ja LAATU. Fortumin energialaitoksella Joensuussa tuotetaan sähköä ja kaukolämpöä ja yhtiö on rakentamassa uutta biomassasta pyrolyysiöljyä tuottavaa laitosta Joensuuhun. Tämän seurauksena käytettävän puubiomassan hankinnan kokonaisuohjaus, laadun parantaminen ja hallinta on entistä tarpeellisempaa. Fortum kehittää bioöljyn tuotantoa yhdessä Metso Oyj:n, UPM:n, VTT:n ja Itä-Suomen yliopiston kanssa.

Kartonkiteollisuudessa toimii kolme keskisuurta yritystä Itä-Suomessa, *Powerflute Savon Sellu Oy* Kuopiossa ja *Pankaboard Oy* Lieksassa. Nämä saavat puuraaka-aineensa erillisen

puunhankintayrityksen kautta tai toisten metsäyhtiöiden toimittamana. Puutavaran mittauksen tutkimus- ja kehittämistyö rajoittuu niillä tehdasvastaanottoon.

Itä-Suomen puutuoteteollisuuden piirissä toimii joukko perheomisteisia tai muuten itsenäisiä eli konsernien ulkopuolisia yrityksiä, joilla on merkittävää omaa kehityspanosta mittausteknologian soveltamisessa puunhankinnassa ja tuotannon suunnittelussa. Näistä suurimpia ovat *Keitele Group*, *Iisveden Metsä Oy*, *Vapo Timber Oy*, *OR Group*, *Anaika Wood Oy*, *Kaivospuu Oy*, *Sahakuutio Oy* ja *Misawa Homes of Finland Oy*. Viisi viimeksi mainittua yritystä käyttävät pelkästään toisten metsäyhtiöiden tai erillisen puunhankintayrityksen (*Harvestia Oy*) toimittamaa sahapuuta. Kainuussa toimivat merkittävät sahayritykset *Kuhmo Oy* ja *Pölkky Oy*, joilla on oma puunhankinta.

Iivari Mononen Oy [44], jonka päätoimisto sijaitsee Joensuussa, valmistaa kyllästettyä puutavaraa Joensuussa sekä puupylväitä Nurmeksen lisäksi Norjassa ja Ruotsissa. Päätuotanto on sorvattuja ja kyllästettyjä puupylväitä, joita käytetään voima- ja puhelinlinjoja rakentaessa. Yrityksen päätuotteet ovat 8 - 14 metriset kyllästetyt pylväät ja valikoimista löytyy pylväitä jopa 24 metriin saakka. Suurin osa tuotannosta menee vientiin. Yritys tutkii ja kehittää omatoimisesti muun muassa puupylväiden lajittelua ja laadunhallintaa.

5.3 Mittalaiteteknologioiden kehittäjät ja toimittajat

Teknosavo Oy [45] on Savonlinnassa toimiva yritys, joka kehittää ja toimittaa monipuolisia mittausrakenteita ja niiden järjestelmiä kuiduttavan teollisuuden tarpeisiin. Yrityksen tuotteet pohjautuvat optiseen konenäkömittaukseen. Mittausjärjestelmiä käytetään kuitupuun kuorintaprosessin optimoinnissa yhtäältä kuorinnan laadun ja toisaalta saannon maksimoimiseksi. Järjestelmä liitetään tehtaan järjestelmiin, jolloin prosessin ohjaus voidaan hoitaa automaattisesti. Yrityksellä on myös kehitteillä virtuaalinen upotusallas, jonka soveltuvuutta otantanippujen tilavuuden määrittämisessä selvitetään. Yritys on osallistunut TimTekno ja PulpVision tutkimus- ja kehityshankkeisiin.

LIMAB Oy [46] on Helsingissä ja Mikkelissä toimiva mittausjärjestelmiä kehittävä yritys. Yritys tuottaa mittausjärjestelmiä niin saha-, levy- ja terästeollisuuteen. Mittausjärjestelmien avulla voidaan hyödyntää käytössä oleva raaka-aine optimaalisesti ja parantaa lopputuotteiden teknistä laatua. Sahateollisuudelle yritys tarjoaa mittalaitteita tukin mittaukseen, lautalajitteluun, kosteuden mittaukseen, höylätuotteiden mittaukseen sekä puutavaran lujuuslajitteluun.

Inray Oy [47] on Mikkelissä toimiva mittausteknologia-alan yritys, jonka mittalaittekonseptit perustuvat röntgenkuvantamiseen. Yritys tarjoaa röntgenmittalaitteita niin tukin läpivalaisuun kuin biopolttoaineiden laadun ja kosteuden mittaukseen. Mittalaitteella saadaan monipuolista tietoa tukin sisäisistä ominaisuuksista, kuten sydänpuun paksuus, kuoreton läpimitta ja oksaisuus, ja laitetta voidaan käyttää myös vierasaineiden havainnointiin. Yritys on kehittänyt mittaussäätöjärjestelmän biopolttoaineiden laadun mittaukseen, jolla voidaan määrittää polttoaineen kosteus ja siinä olevat vierasesineet. Yrityksen perustajan tausta on *Mikropuu Oy*:ssä, joka on ollut aktiivisesti mukana esim. LAATU-hankkeessa.

Savled Oy [48] on Savonlinnassa toimiva erilaisia valoja tuottava yritys. Heidän päätuotteensa ovat tehokkaat ja energiaa säästävät LED-valaisimet teollisiin sovelluksiin. Optisissa mittaussovelluksissa valaistuksen rooli on merkittävässä asemassa. Valon intensiteetin tasaisuus ja valonlähteen pitkä huoltoväli mahdollistavat entistä tarkempia mittaussovelluksia. Yritys on ollut mukana paperin raaka-aineen laadun mittauksen kehittämisessä PulpVision -hankkeessa.

Ponsse Oy [49] on Vieremällä sijaitseva metsäkoneita valmistava yritys, jonka tuotevalikoimiin kuuluvat harvesterit, kuormatraktorit, yhdistelmäkoneet, harvesteripäät, nosturit ja kuormaimet. Ponssen metsäkoneet käyttävät heidän kehittämänsä Opti-ohjausjärjestelmää, joka mahdollistaa keskitetyn toiminnan niin metsäkoneen kuin koko puunhankintaketjun ohjaamiseen.

Kareliatech Oy [50] on Kontiolahdella sijaitseva metsäkoneiden lisälaitteita valmistava yritys. Pääasialliset laitteet ovat bioenergiaksi menevien kantojen nosto ja siirtolaitteet. Heidän ydintuotteensa on Sakari Monosen kehittämä yksiotekantoharvesteri. Sakari Mononen on ollut myös kehittämässä uutta näytteenottopäätä energiapuun kosteuden mittaukseen.

Kitsell Oy [51] on Kiteellä sijaitseva sahakoneita ja kuljetusjärjestelmiä valmistava yritys. Yrityksen tuotantoon kuuluvat miltei kaikki sahalinjastolle tarvittavat laitteet ja järjestelmät, joten heidän kauttaan voi hankkia koko tuotannon kattavia ratkaisuja.

5.4 ICT-sektorin toimijat

Arbonaut Oy [52] kehittää Joensussa GIS-sovelluksia (geographic information systems) metsäninventointiin ja luonnonvarojen hallintaan. Yritys käyttää järjestelmissään satelliiteilla kuvattuja ilmakuvia sekä laserkeilauksella saatua maaston ja puuston muotoinformaatiota. Kehitetyn järjestelmän avulla voidaan arvioida puuston ja latvusmassan määrää ja sitä voidaan hyödyntää ojien ja teiden suunnittelun ratkaisuisa.

MHG-Systems Oy [53] on Mikkelissä toimiva ohjelmistotalo, joka kehittää toiminnanohjausjärjestelmiä ja niiden kokonaisuuksia bioenergia-alalle (Bioenergy ERP). Yritys tuottaa IT- ja karttapalveluratkaisuja asiakkaan liiketoiminnan kehittämiseksi. Toiminnanohjausjärjestelmän avulla voidaan seurata mittaus- ja paikannusinformaatiota niin mobiililaitteilla kuin internet-pohjaisilla sovelluksilla. Lisäksi tuotettujen palveluiden avulla voidaan todentaa biomassojen alkuperää, energiasisältöä ja hiilidioksidipäästöjä.

Protacon Oy [54] toimittaa kokonaisvaltaisia mittaus- ja informaatiojärjestelmiä asiakkaan tarpeen mukaan eli asiakaslähtöisiä ohjelmistoratkaisuja sekä yrityksille että julkishallinnon toimijoille. Yrityksen vahvuusalueisiin kuuluvat selainpohjaiset sovellukset ja tietokantojen hyödyntäminen reaaliaikaisissa sovelluksissa.

Suomen Laatuenergia Oy on joensuulainen palveluyritys, jonka toiminta kohdistuu biomassojen laadunhallintaan. Yrityksen tavoitteena on tuottaa palvelukonsepti, jonka perusteella puubiomassan laatua voidaan ennustaa, mitata ja hallita kaukokuljetuksen ja varastointien aikana. Palvelun pohjana toimivan tietojärjestelmän syötteeksi käsiteltävästä biomassasta kerätään mittausinformaatiota kuormauksen ja kuljetuksen aikana. Tarkasteltavia laatuureita ovat toimituserän kosteus, kuorman tiivistyminen kuljetuksen aikana, hakkeen tai murskeen palakoko ja siinä olevat vierasaineet. Yritys on ollut osallisena LAAVA- hankkeessa.

Savcor Forest Oy [55] on osaksi Mikkelissä toimiva mittaus-, logistiikka- ja ohjelmistojärjestelmiä metsäteollisuudelle tuottava yritys. Yritys tuottaa mittaus- ja logistiikkajärjestelmiä laaja-alaisesti metsäteollisuuden tarpeisiin niin metsänkorjuusta aina paperin valmistuksessa tarvittaviin menetelmiin saakka.

6 Tulevaisuuden mittaustarpeet metsäbiotaloudessa

6.1 Puubiomassan käyttö muuttuu ja kehittyy

Puubiomassan uudet käyttötarkoitukset tulevat lisäämään puubiomassan kokonaiskäyttöä. Puubiomassan tämänhetkiset käyttötarkoitukset tulevat säilymään, mutta käytön jakautuminen eri tarkoituksiin tulee muuttumaan. Uusille puusta valmistettaville tuotteille syntyy kansainvälistä kysyntää.

Perinteisistä tuotannonaloista paino- ja kirjoituspaperin valmistus nähdään yksimielisesti laskevana toimialana. Sellun tuotannon arvellaan muutaman vuoden laskun jälkeen asettuvan

vakaalle tasolle, joka säilyy 10 – 15 vuoden tarkasteluajanjakson ajan. Asiantuntijoiden mukaan loppukäytön edellyttämällä sellun ominaisuuksilla tulee olemaan entistä suurempi merkitys sellun valmistukseen ja sitä kautta raaka-aineen laatuvaatimuksiin, mittaukseen, lajitteluun ja käyttöön ohjaukseen. Uudet käyttötarkoitukset voivat olla tekstiilituotteissa, luonnonkomposiittituotteissa, biomuoveissa, bioaktiivisissa aineissa jne. Sellun valmistuksen kehittämiseksi syntyy painetta myös puubiomassan kasvavasta tarpeesta bioenergiana, mikä lisää kilpailua kuitupuusta.

Puuta käyttävän kartonki- ja pakkausteollisuuden arvellaan voimistuvan ja lisäävän puunkäyttöä, koska pakkaus- ja varastointimateriaalien tarve kasvaa. Erityisesti tarvitaan pakkausmateriaaleja joihin on yhdistetty erilaisia älyominaisuuksia ja funktionaalisuutta. Täten kartonkialan viimeisen kymmenen vuoden positiivinen kehitystrendi mitä ilmeisimmin säilyy tai jopa vahvistuu.

Puun käytön nähdään lisääntyvän puutuoteteollisuudessa, erityisesti rakentamisessa ja sahateollisuudessa. Puunkäytön kokonaisvolyymi kasvaa, koska rakentamisessa panostetaan entistä enemmän puurakentamiseen. Kestopuun vaihtoehdoksi syntyy eri tavoin käsiteltyä puuta sekä täysin uusia materiaaleja. Puutuoteteollisuuden sivutuotteiden kuten purun, pölyn, tasauspätkien ja muiden vastaavien käytön arvellaan muuttuvan. Tulevaisuudessa bioenergia ei ole välttämättä taloudellisin vaihtoehto, vaan sivutuotteita jalostetaan uusilla biokemiallisilla ja -teknologisilla tavoilla. Uudet jalostusmuodot tuovat mittaamiselle uusia tarpeita, mutta se mitä nämä tarpeet tulevat olemaan on vielä suurelta osin arvailujen varassa.

Uusista käyttömuodoista arvioitiin puubiomassan käyttöä lisäävän eniten bioenergia ja liikennepolttoaineiden tuotanto. Biojalostuksen kehityssuunta on kuitenkin vielä epävarma, mutta vaihtoehtoja on monia: hitaaseen pyrolyysiin perustuva biohiilen ja pyrolyysiöljyn tuotanto, nopea pyrolyysi nestemäisiksi biopolttoaineiksi ja sen jalosteiksi, bioetanolin tuotanto, puun kaasutus. Uudet toimialat hakevat vielä siinä määrin käytäntöjään, että ne eivät itsekään varmuudella pysty kertomaan toimialansa mittauksen tulevaisuuden haasteista. Mittauksen kehittämistarpeiden arvellaan kuitenkin painottuvan bioenergian ja biojalostuksen ympärille. Kehitystä tulee vauhdittamaan metsien hoitohakkuiden mahdollinen lisääntyminen, joka tuo raaka-ainemarkkinoille paljon uutta pienpuuta. Bioenergian tulevaisuuteen tulee kuitenkin eniten vaikuttamaan valtion noudattama elinkeino-, energia- ja tukipolitiikka. Tähän saakka poliittiset päätökset ovat suosineet pitkälti fossiilisten polttoaineiden käyttöä.

Biojalostus muuttaa myös puun käyttöä. Puubiomassan uusilla käyttökohteilla ja sitä myöten biomassan hankkijoilla niiden tarpeisiin tulee olemaan uudenlaisia ostokriteerejä, jotka

vaikuttavat myös mittaamiseen. Puubiomassan käyttö saattaa eriytyä entisestään, mutta kuitupuulle ja sitä pieniläpimittaisemmalle puulle syntyy uutta kysyntää. Toisaalta käytettävän puubiomassan puhtaus- ja laatuvaatimukset tarkentuvat joissakin uusissa käyttömuodoissa. Jos edes osa tällä hetkellä suunnitteilla olevista biojalostamoista toteutuu, vaikuttaa se merkittävästi puun käyttöä lisäävästi. Uudet tuotteet ja tuotantotekniikat merkitsevät myös uudenlaisia sivutuotteita, jotka tuovat omat haasteensa mittaamiselle.

Kun puusta lähdetään valmistamaan täysin uusia lopputuotteita, sillä saattaa olla vaikutusta myös korjuumenetelmiin. Asiantuntijoiden mukaan on täysin mahdollista, että kokorunkokauppa lisääntyy ja puubiomassa viedään karsittuina runkoina tai nippuina terminaaleihin odottamaan jatkokäsittelyä. Esimerkiksi mahdollisimman myöhäisessä vaiheessa tapahtuvalla haketuksella pyritään säilyttämään puun sisältämiä haihtuvia yhdisteitä. Järeiden hyvälaatuisten runkojen käsittelyyn tarkoitetut terminaalit tai lajittelulaitokset saattavat jossakin määrin tulla mukaan tukkipuun hankintaan mahdollistamaan sahoille erikois- ja asiakastuotteiden nopeita toimituksia. Korjuun sivujakeiden käytön lisääntyminen tuo lisää mittausta, joka perustuu niiden painomittaukseen kuormainvaaoilla ja/tai biomassan määrän pinta-alaperusteiseen arviointiin. Osa asiantuntijoista näkee painomittauksen ja siihen perustuvien loppumittaussuureiden tulevaisuuden tärkeimpänä kehitystrendinä. Yhtä moni arvioi tilavuusmittauksen säilyttävän asemansa siten, että kuutiometrit muutetaan halutuiksi yksiköiksi kerran määritetyillä muuntokertoimilla.

Suhtautuminen laadun mittauksen kehitykseen on kahtalainen. Yhtäältä erityisesti saha- ja vaneriteollisuuden piirissä arvellaan viljelymetsien yleistymisen ja voimaperäisen metsänhoidon johtavan puumateriaalin laadulliseen heikkenemiseen. Tämä johtaa tarpeeseen ottaa käyttöön uusia laatuksiteerejä ja -vaatimuksia ja mahdollisesti raaka-aineen laadun ja jalostusarvon selvästi nykyistä tehokkaammin huomioon ottavaa hinnoittelua ja sen pohjaksi soveltuvia mittausta- tai arviointimenetelmiä. Toisaalta paperinvalmistuksen puun käytön vähentymisen arvellaan merkitsevän entistä laadukkaampaa raaka-ainetta bioenergiaan ja muuhun biojalostukseen. Tästä mahdollisesti seuraava kantojen ja latvusmassan vähenevä käyttötarve nähdään ympäristön ja osaksi myös metsänhoidon kannalta positiivisena asiana. Samalla mittaushaasteena runkokuuta haasteellisemmän materiaalin vähenevä merkitys mahdollistaa mittauksen ja laadun tutkimus- ja kehittämisresurssien kohdentamista periaatteessa helpompiin aiheisiin ja kenties mahdollistaa tarpeellisten mittausmenetelmien kehityskaaren nopeuttamisen.

Raaka-aineen laadun merkityksen arvellaan kasvavan siten, että tulevaisuudessa laadusta ollaan myös valmiita maksamaan. Vaatimukset puun alkuperän todentamiseksi ja alkuperätiedon säilyttämiseksi lisääntyvät koko ajan. Tämä tuo osaltaan uusia haasteita etenkin tuontipuun

hankinnalle ja käytölle ja yleensäkin alkuperä- ja mittaustiedon hallinnan kehittämiseksi. Tuontipuun käytön arvellaan yleisesti ottaen kasvavan nykyiseltä melko matalalta tasolta, mutta kasvun ajoittumista ja varsinkin sen kestämistä ei pystytä ennakoimaan.

Tämänhetkisen näkemyksen mukaan puubiomassan käsittely erilaisissa terminaaleissa tulee lisääntymään. Terminaalit voivat olla joko itsenäisiä varastointi- ja käsittely- tai esijalostuslaitoksia tai suureen tai keskisuureen tuotantolaitokseen integroituja alkutuotantolaitoksia. Jos terminaalit yleistyvät ennakoidulla tavalla, se vaikuttaa myös mittaustarpeisiin. Kaukokuljetusmatkat metsästä terminaaliin saattavat olla lyhyempiä kuin nykyisin metsästä tehtaille, mutta samalla syntyy puutavaran tai esijalostettujen raaka-aineiden jakelukuljetusten tarve. Kokonaiskuljetusmatkan muutokset riippuvat tuotantolaitosten tiheydestä ja sijainnista suhteessa terminaaleihin. Mittaukset siirtyisivät metsästä entistä enemmän terminaaleihin, ainakin pois tienvarresta. Terminaaleissa voitaisiin ottaa todennäköisesti käyttöön entistä enemmän automaattisia mittausasemia ja moderneja mittausten menetelmiä ja -laitteita, nopeuttaa mittausta ja parantaa mittaustarkkuutta ja saattaa laadun mittaus nykyistä lähemmäs metsää. Mittaustoiminta muuttuisi samalla nykyistä laajemmassa määrin ympärivuotiseksi ja ympärivuorokautiseksi. Mittauksessa oleelliset suureet ja yksiköt tulisivat ilmeisesti muuttumaan ja jopa monipuolistumaan, koska yhdellä suureella on merkitystä puun vastaanotossa ja toisella sen luovutuksessa eteenpäin.

Asiantuntijat näkevät puubiomassan kotimaiset markkinat osana laajempaa kokonaisuutta. Kaikkien luonnonvarojen hinta todennäköisesti nousee ennemmin tai myöhemmin. Päästösopimukset muuttavat monien raaka-aineiden käyttöä. Eurooppaa uhkaa näillä näkymin puupula bioenergiakäytön kasvaessa. Kilpailu raaka-aineesta kasvaa, ja jossain vaiheessa myös puun hinta kääntyy nousuun. Kohdataan kysymys, mitä puusta tulevaisuudessa on järkevintä valmistaa. Sitä eivät asiantuntijat lähde vielä arvioimaan, mutta muutos tulee joka tapauksessa vaikuttamaan myös mittaukseen.

6.2 Puubiomassan käyttäjät muuttuvat

Asiantuntijat uskovat varsin yksimielisesti, että metsäklusterin kehitys ei johda Puu-Nokian syntyyn. Kehitykseen tulevat vaikuttamaan ennen kaikkea EU-tason ohjaus ja yleinen ekologisuuden korostuminen. Puubiomassan käytön levittäminen uusien loppukäyttäjien piiriin tulee olemaan haasteellista, sillä uudet toimijat tulevat metsäsektorin ulkopuolelta.

Tässä selvityksessä syntyi mielikuva että puubiomassaa potentiaalisesti käyttävien uusien toimialojen toimijoilla on paljon opittavaa olemassa olevan metsäsektorin toiminnasta.

Asiantuntijoiden arvioiden mukaan syntyy erilaisia ja erikokoisia uusia toimijoita. Näistä esimerkkeinä mainittiin Metsä Group yhteistyössä Gasum Oy:n, Fortum Power and Heat Oy:n ja Green Fuels Nordic Oy:n kanssa. Olemassa olevat metsäteollisuuden konsernit tulevat arvioiden mukaan olemaan kehityksessä mukana ottamalla haltuunsa tavalla tai toisella uusia toimintoja. Konsernit etsivät myös aktiivisesti uutta käyttöä perinteisestä kuiduttavasta puunjalostuksesta vapautuvalle puulle. Osa asiantuntijoista arvelee myös puunjalostuksen lisääntyvän ja uutta jatkojalostusta syntyvän.

Varsin yleinen on näkemys, että biojalostukseen tulee toimijoita niin nykyiseltä metsäsektorilta kuin sen ulkopuoleltakin. Etenkin uusien toimijoiden arveltiin tuovan hajautetun tuotannon puunjalostukseen entistä vahvemmin. Tämä vahvistaa todennäköisyyttä puubiomassaa hankkivien ja välittävien yritysten runsastumiseen, monipuolistumiseen ja uusien tehtävien haltuun ottamiseen arvoketjussa (puutavaran lajittelu, laadun parantaminen, jakeluteiden lisääminen). Nykyisin puunvälitystä hoitavat yksi puunhankintaan erikoistunut suurehko yritys, monet metsänhoitoyhdistykset, Metsähallitus sekä muutamat puutavara- ja energiapuutoimistot ja puutavaraa vientiin hankkivat yrittäjät.

Hajautetun biojalostamotoiminnan kannalta sahojen yhteyteen sijoittumista pidettiin todennäköisenä. Sahat tarjoavat uusille yrityksille paljon valmista toimintaympäristöä, joka muutoin täytyisi rakentaa alusta lähtien. Itä-Suomea ja Kainuuta pidettiin maantieteellisesti otollisimpina alueina uuden teollisuuden kehittymiselle. Hajautetun toiminnan lisääntymistä tukee sekin kehityspiirre, että kaikki uudet biojalostamot eivät enää tarvitse kaukolämpöverkon tai vastaavan kaltaista lämpökuorman hyödyntäjää kumppanikseen. Esimerkkinä tällaisesta uudenlaisesta tuotantokonseptista on Green Fuel Nordic Oy. Myös terminaalien yhteyteen arvioitiin syntyvän erilaisia biojalostusyrityksiä kuten puun kaasutusta, pyrolyysiöljyn ja biohiilen tuotantoa, jne. Liikennepolttoaineiden tuotantoa arvioidaan syntyvän eri tekniikoilla toteutettuna.

Biojalostamojen yleistymisen nähdään luovan myös uusia arvoketjuja siten, että puusta alkunsa saavia biojalosteita ryhdytään jatkojalostamaan. Jatkojalosteet voivat olla esimerkiksi kemianteollisuuden tuotteita (tekniset kemikaalit, bioaktiiviset aineet) tai elintarviketeollisuuden tuotteita (funktionaaliset elintarvikkeet, terveysvaikutteiset lisä- tai tehoaineet, maku- tai aromiaineet). Vielä toistaiseksi asiantuntijat eivät osaa arvioida, kuinka näiden uusien jatkojalosteiden vaatimukset tulevat vaikuttamaan lähtöaineen eli puubiomassan mittaukseen.

Kaikkienensa hajautetun tuotannon lisääntyminen muuttaa puukauppaa. Ostomäärät tuotantolaitosta kohti pienenevät ja kaupankäynti muuttuu entistä enemmän paikalliseksi tai

alueelliseksi. Puukauppa siirtyy myös osittain itsenäisten, yhdestä asiakkaasta riippumattomien puunhankintayritysten hoidettavaksi, kuten edellä todettiin.

Uusien teknologioiden hyödyntäminen nähdään myös suunnaksi, jolla tullaan näkemään voimakasta kehitystä. Maamme kaivannaisteollisuuden kehittymisen arveltiin tuovan myös puubiomassan jalostukselle suuria mahdollisuuksia. Jos biohiili onnistutaan lanseeraamaan kotimaiselle kaivos- ja metallurgiateollisuudelle, syntyy tilaus usealle suurelle puuhiiltämölle. Kaivosteollisuuden käyttämät biohiilimäärät ovat todella suuria, se käyttää esimerkiksi Brasiliassa huomattavasti sikäläisestä viljelypuusta valmistettua puuhiiltä. Vaatimukset entistä ekologisemmista tuotantomenetelmistä voivat ohjata kaivosteollisuutta käyttämään puuhiiltä.

Puun energiakäytön arvioidaan lisääntyvän voimakkaasti. Yhtäältä syntyy muuhun tuotantoon integroituneita energialaitoksia kuten tähänkin saakka, toisaalta suoralinjaiset polttolaitokset yleistyvät ja pelkän puun polttoon keskittyviä laitoksia ilmaantuu. Tämä luo polttokattiloita valmistavalle teollisuudelle haasteen kehittää näihin sopivia laitteistoja. Puuenergiaan perustuvat energiasektorin muutokset eivät välttämättä ole suuria kokonaisuuden kannalta. Metsäsektorin kannalta muutos on kuitenkin mielenkiintoinen ja tärkeä siksi, että energiasektorin pienetkin muutokset ovat absoluuttiselta vaikutukseltaan suuria puubiomassan kokonaiskäytölle.

Varsin yksimielisen näkemyksen mukaan terminaalit toimivat ensiasteen jalostuspisteinä, jotka tulevat palvelemaan pieniä ja keskisuuria puunjalostajia. Terminaalien yhteyteen saattaa syntyä uutta yritystoimintaa. Tällaisia yrityksiä voivat olla terminaaleissa työskentelevät aliurakoitsijat, mutta myös biomassan kuivaukseen ja muuhun puubiomassan käsittelyyn erikoistuneiden yritysten syntyyn uskotaan.

6.3 Puunjalostuksen arvoketjujen tulevat tietotarpeet

Asiantuntijat arvelevat puubiomassan jalostuksen arvoketjujen osallisten mittaustarpeisiin tulevan tulevaisuudessa mitä todennäköisimmin muutoksia, niitä kuitenkin tarkemmin yksilöimättä. Arvoketjuja koskevat kehitysarviot sen sijaan jakaantuvat jossain määrin. Osa asiantuntijoista arvioi ketjujen pitenevän uusien toimijoiden tulon myötä, osa taas näkee ketjujen lyhenevän mutta samalla erikoistuvan asiakaskunnan ja käsiteltävän biomassatyyppin mukaan.

Paikallisen ja alueellisen tuotannon lisääntyminen vaikuttaa myös arvoketjujen kehitykseen. Uusien nykyistä pienempien biomassan käyttäjien intresseissä ei ole omien

puunhankintaorganisaatioiden rakentaminen. Kun samaan aikaan metsänomistajakunta vanhenee ja kaupungistuu nykyisestään, paikallisille ja alueellisille puun välittäjille syntyy toimintaedellytyksiä. Tätä arviota tukee se, että myös suuret metsäkonsernit ovat ryhtyneet osittain käyttämään yrityksen ulkopuolisia hankintayrityksiä omien hankintaorganisaatioidensa rinnalla.

Puunhankinnan nykyiset rakenteet ovat kuitenkin niin vahvat, että uudet välittäjäyritykset joutuvat mitä todennäköisimmin toimimaan jossain määrin yhteistyössä näiden konsernien puunhankintaorganisaatioiden kanssa. Mitä isommasta toimijasta on kyse, sen tärkeämpänä yhteistyötä pidetään. Asiantuntijat arvioivat kuitenkin Metsä Groupin, Stora Enson, UPM:n ja Tornator Oy:n kaltaisten toimijoiden roolin lopulta vahvistuvan. Pienten välittäjäyritysten tehtäviksi arveltiin jäävän uusien hajautetun tuotannon yritysten puuhuollon turvaamisen lisäksi kuntasektorin lämpölaitosten ja muiden paikallisten puunkäyttäjien palvelemisen. Uuden puunvälittäjäyrittäjyyden syntyminen saattaa lisätä mittauspalveluiden kysyntää.

Metsänomistajakunta näyttäisi tulevaisuudessakin pysyvän hajanaisena ja yhteismetsien suosio pysyy hyvänä tai kasvaa. Ainakaan toistaiseksi ei vaikuta siltä, että ulkomaisia metsänomistukseen tähtäviä yrityksiä ilmaantuisi suuria määriä maahamme. Näin ollen metsänomistussuhteissa ei tulisi tapahtumaan suuria muutoksia. Ulkomaisten yritysten tulossa nähdään positiivisena piirteenä se, että hakiessaan tasaista tuottoa sijoittamalleen pääomalle ne kenties lisääisivät tasaista puun tarjontaa teollisuudelle.

Energiapuun mittausta pidetään edelleen ongelmallisena. Menetelmiä pidetään epätarkkoina, kosteuden mittausta kehittymättömänä ja käytäntöjä epäyhtenäisinä. Jos puuta raaka-aineenaan käyttävä bioenergiatalous lisääntyy jatkossa, kuten nyt arvioidaan, syntyy energiapuun ja bioenergian mittaukseen uusia toimijoita. Jos energialaitos tai biojalostamo sijaitsee sahan välittömässä läheisyydessä, voidaan purua ja haketta siirtää yksinkertaisimmillaan kauhakuormaajilla. Tässä massan mittaaminen voitaisiin tehdä vaivattomasti sorakaupasta tutulla kauhavaa'alla. Nykyisillä mittausmenetelmillä tieto kuorman kosteudesta saadaan vasta vuorokauden kuluttua näytteen otosta. Kosteuden nopea mittaus parantaisi energiapuun toimitusten hallintaa merkittävästi ja mittauksen suorittaminen jo rekan kuormatilasta ja kuormaajan kauhasta oli toivottavaa. Kuljetushihnalla kosteutta ja kenties myös palakokoa mittaaville ja vierasaineita tunnistaville menetelmille olisi myös kysyntää. Inray Oy onkin kehittänyt kuljetushihnalla ohi kulkevasta biomassasta kosteutta mittaavan ja vierasaineet tunnistavan järjestelmän, joka ei kuitenkaan ole vielä ehtinyt saavuttamaan jalansijaa markkinoilla. Asiantuntijat olivat jokseenkin yksimielisiä siitä, että kosteutta mittaavien ja vierasaineita tunnistavien, ainetta koskemattomien menetelmien kehittäminen kuljetusrekkoihin

ja terminaaleihin olisi toivottavaa. Tämänkaltaisia menetelmiä juuri ennen prosessiin syöttöä puoltaisi se, että mitattava ominaisuus ei näin enää ehtisi muuttumaan ennen prosessia. Korkea laitekustannus on tähän saakka ollut rajoittavana tekijänä.

Puubiomassan käytön lisääntyminen johtanee myös metsien hyödyntämistason kasvuun. Mitä suurempi on metsien hyödyntämistaso, sen herkempiä tulevat markkinat olemaan myös tarjonnan häiriöille. Tämä tulee lisäämään myös entistä tarkemman ja ajantasaisemman raaka-aineen potentiaalitiedon tarvetta. Osa asiantuntijoista näkee tarpeellisenä jopa nykyistä tiheämmän, uusia teknisiä mahdollisuuksia hyödyntävän valtakunnan metsävarojen inventoinnin.

Kun mittaus- ja informaatioketjun osallisten ja toimijoiden määrä todennäköisesti lisääntyy ja tietoa kerätään entistä useammassa kohdassa arvoketjua, syntyy tarvetta myös uudelleenläpi ketjun soveltuvalle tiedon hallinnalle. Voi syntyä jopa uusia tietoa yhdistäviä ja jalostavia yrityksiä. Samaan aikaan kun puukauppaa hallitsevat suuret toimijat, vaikuttaa puunmyyjien myyntihalukkuuteen ostajakunnan monipuolistuminen. Myyjän vaihtoehdot kasvavat, ja tämä vaikuttaa varmasti osto- ja myyntineuvotteluihin ja samalla hintakeskusteluihin. Terminaalien yleistymisen eräänä sivuvaikutuksena nähdään ainakin jossain määrin, että puut viedään runkoina tai rankoina käsiteltäväksi terminaaleissa. Tämä saattaa muuttaa myös arvoketjun toimintaa kaupanteosta korjuuseen ja kuljetukseen. Toisaalta ainespuun ja varsinkin kuitupuun asema mielletään puumarkkinoilla niin vahvaksi, että uusien lopputuotteiden täytyy olla hyvin arvokkaita jotta ne pystyisivät muuttamaan merkittävästi arvoketjujen perusrakenteita.

Asiantuntijoiden mielestä eniten tutkittavaa ja kehitettävää on lähivuosina puutavaran mittauksessa niissä arvoketjuissa, joissa hankitaan energiapuuta. Tutkimustarpeet lähtevät nykyistä tehokkaampien korjuumenetelmien etsimisestä, ja mittauksen kytkemisestä varastointiin ja laadun hallintaan. Mittauksen kannalta keskeisiä kysymyksiä ovat yhteisten standardien kehittäminen ja niiden käyttöön saattaminen sekä puutavaran ja puubiomassan kosteuden mittauksen parantaminen metsäpäässä. Energian ja energiapuun hinnan jatkuvasti noustessa on tutkimustakin suunnattava kuitupuun ja sitä pienempiläpimittaisen puun tutkimukseen.

6.4 Mittauksen menettelytapojen kehittyminen

Asiantuntijat näkevät teollisuuden ainespuun mittauksen osana puuarvoketjua olevan jo nyt niin hyvällä teknisellä tasolla, että sen kehittäminen nykyistä olennaisesti tarkemmaksi ei olisi kustannustehokasta. Laserkeilauksen käytössä myynnin, oston ja korjuun suunnittelun

apuvälineenä nähtiin sen sijaan olevan paljon käyttämättömiä mahdollisuuksia. Laserkeilauksen käytön kehittämisellä voitaisiin vähentää perinteistä suunnittelumittausta. Lennokkien käytön ja laserkeilauksen uskotaan kehittyvän ainakin metsää omistavien yritysten omiin tarpeisiinsa tekemien mittausten välineenä. Metsästä saatavan puun laatua ja puutavarajakaumaa voidaan kenties ennustaa yhdistämällä laserkeilaustietoa hakkuukoneelta saataviin runkojen toteutuneisiin katkontatietoihin.

Puukarttojen hyödyntämistä puunhankinnan suunnittelun apuvälineenä pidetään myös yhtenä tulevaisuuden mahdollisuutena parantaa loppukäyttölähtöistä raaka-aineen ohjausta. Leimikon puuston ja rungon eri osien tuotantoon ohjaus ja siitä päättäminen tulee joka tapauksessa tapahtumaan jatkossa nykyistä aikaisemmin ja puulajien merkitys eri käyttötarkoituksissa tulee korostumaan. Nämä tekijät tulevat vaikuttamaan myös laaduttavaan mittaukseen.

Energiahakkeen ja -murskeen mittauksessa voidaan olettaa tapahtuvan vääjäämättä jonkinlainen teknologiahyppy ja askel mittausorganisaation kehittämisessä. Hakkeen kosteuden nykyistä otantaa ei pidetä edustavana ja lisäksi autonkuljettajan vaikutusmahdollisuutta tulokseen pidetään liian suurena. Eräänä vaihtoehtona tuodaan esille hakkeen tai murskeen mittaus kuljetuksen aikana tarpeellisin anturein varustetussa rekan kuormatilassa. Metsähakkeen mittauksen arvioidaan voivan kuitenkin tapahtua vain vastaanottopäässä.

Puubiomassaan perustuvien tuotteiden markkinat kehittyvät siten, että asiakkaat vaativat koko ajan enemmän ja tarkempaa tietoa alkuperästä. Kehitykseen on vaikuttanut ja tulee vaikuttamaan ympäristöjärjestöjen luoma paine. Tulevaisuudessa on pystyttävä osoittamaan katkeamaton tietoketju metsästä loppukäyttäjälle. Saattomuistien käytön arvellaan tavalla tai toisella yleistyvän tiedon säilyttämisen katkeamattomuuden mahdollistamiseksi, ja mikrosiru tai viivakoodi voisi toimia myös ohjaavan ennakkotiedon kantajana. Tukkipuun kohdalla tämä saattaa tarkoittaa jopa puu- ja tukkikohtaista seurantaa, joskin leimikkotasolla olevan erätiedon arvellaan riittävän yleisellä tasolla. Tukkipuun kohdallakin epävarmuustekijäksi mielletään seurannan todellinen hyöty. Tiedon odotetaan olevan hyödynnettävissä siten, että se tuottaa tavalla tai toisella lisäarvoa puuraaka-aineelle ja arvoketjulle; tosin tällainen lisäarvo saattaa olla minimissään esimerkiksi asiakasreklamaatioiden vähentyminen. Puun alkuperän identifointiin keskittyviä tiedonkeruun ja hallinnan ohjelmia on asiantuntijoiden mukaan jo nyt tulossa markkinoille.

Puubiomassan alkuperän jäljitettävyydellä hankitaan uskottavuutta koko arvoketjulle, erityisesti käytettäessä tuontipuuta. Vaikka raaka-aineen alkuperän todentaminen onkin nykyisin jo EU:n lainsäädännön säätelemää ja usein tuotteiden markkinoille pääsyn ehtona, voitaisiin

alkuperätietoa hyödyntää muutenkin. Mahdollisuuksia ovat esimerkiksi prosessien haitta-aineiden tunnistaminen ja ravinteiden talteenoton tehostaminen biomassan alkuperätietojen perusteella.

Puubiomassan käsittelyn kokonaisuutta arvioitaessa ollaan asiantuntijoiden mukaan mittausten organisoinnin, toteutuksen ja alkuperä-, identifiointi- ja muiden taustatietojen sekä menettelyjen osalta jo nykyisin melko hyvässä tilanteessa. EU:n RES-direktiivi määrittelee alkuperätiedon säilyttämisen metsästä loppukäyttäjälle. FLEGT-ohjelma eli EU:n puukauppaa koskeva toimintaohjelma asettaa osaltaan raamit laittoman puutavaran käytölle ja tuonnille. PEFC-sertifioinnin vaatimuksia ollaan uudistamassa, jotta se olisi jatkossa tasavertainen FSC-sertifikaatin kanssa. Kaikki tuotettu tieto tallennetaan tietokantoihin ja sille on jo olemassa hyödyntämisen mahdollisuuksia. Inhimillisten virheiden jäljittämisessä nähdään vielä kehittämisen tarvetta.

6.5 Käytännön mittaus ja vaatimukset tuotettavalle tiedolle

Puutavaran mittauslainsäädännön käynnissä olevan uudistamisen nähdään helpottavan puutavaran mittauksen kehittämistä, koska mittausmenetelmien pakollinen kolmen vuoden koekäyttö poistuu. Toisaalta vaatimukset mittauslaitteiden tarkkuudelle ja toimivuudelle tulevat tiukemmiksi. Tarkkuuden parantumista pidetään tervetulleena, mutta vain jos se tapahtuu kustannustehokkaasti.

Hakkuukonemittauksen arvioidaan säilyvän jatkossakin jokseenkin varmasti puukaupan laskutus- ja luovutusperusteena. Kun puun laatuun perustuva mittaus lisääntyy ja kehittyy, pienentää se myös tukkirunkojen katkontaikkunaa. Koneäön odotetaan kehittyvän siten, että sen perusteella voidaan tehdä laatumittausta jo hakkuukoneilla. Jos röntgentekniikka kehittyy niin paljon, että siitä saadaan sovelluksia hakkuukoneille, se vaikuttaa merkittävästi rungon ja tukkien laatumittauksen kehittämiseen.

Kun mittaustiedon käyttö tehostuu, tämä mahdollistaa entistä täsmällisemmät raaka-aineen toimitukset. Samaan aikaan lisääntyvät sekä raaka-aineen alkuperä- ja mittaustiedon että arvoketjujen toimijoiden ja osallisten määrät. Tämän seurauksena on myös tiedonhallinnan ja -jalostamisen kehityttävä, jotta mitatusta ja kerätystä tiedosta saadaan kaikki hyöty irti. Täysimittainen tiedon hyödyntäminen vaatii eri lähteistä kerätyn tiedon yhdistelyä. Entistä suurempi toimijoiden määrä merkitsee tietojärjestelmien synkronointiongelmia. Tietojärjestelmät ovatkin jo uudistumassa ja mittauksen automatisoitumiseen ja älykkäiden ohjausjärjestelmien tulon uskotaan varsin yleisesti.

Energiapuun osto ja myynti selkiintyvät käytäntöjen ja standardien yhdenmukaistumisen myötä. Erityisesti teollisuus haluaisi päästä puubiomassan energiasisällön mittaamiseen. Tähän ei kuitenkaan puunmyyjien uskota helposti suostuvan, sillä puutavaran määrän suurena energiasisältö on liian vaikeasti mielletävissä ja yhteismitallistettavissa tilavuuden kanssa. Nykyisen käytännön, jossa tilavuutta tai massaa muunnetaan erilaisilla kertoimilla arvioksi energiasisällöstä, uskotaan jatkuvan. Kosteuden mittaukseen odotetaan vihdoinkin jonkinlaista parannusta. Myös puulajisuhteiden mittaamisen tai määrittelyn uskotaan muuttuvan tarkemmaksi. Tuotettavan tiedon standardisointi on jo tiedon siirrettävyyden takia tarpeen. Energialaitoksen kuljetushihnalla kulkevan biomassan rakenteen ja kosteuden on-line mittausta pidetään tarpeellisena, ja siitä on jo ensimmäisiä sovelluksia.

Energiahakkeen ja -murskeen varastoinnin aikaisessa mittauksessa on erityisesti kehitettävää. Tärkeimpinä kehityskohteina nähdään varasto-olosuhteiden optimointi siten, että hake säilyttää ominaisuutensa ja välttää itsesyttymisen. Energiapuuterminaaleissa uskotaan olevan jatkossa eräkohtaisen kosteuden ja muiden laatuominaisuuksien mittausta. Hakkeesta tai murskeesta mitatun tiedon ja lämpö- ja sähköenergian kysyntätilanteen pohjalta rakennetaan oikeanlainen hakesekoitus polttoon.

Jos biojalostamot yleistyvät, haettujen kemiallisten yhdisteiden määrät ja pitoisuudet on pystyttävä määrittämään biomassasta tavalla tai toisella, todennäköisesti alkuperätietojen ja mittausten perusteella. Muutoinkin tulevaisuuden uudet tuotteet tuovat uusia mittaustarpeita. Syntyy myös uusia loppukäyttäjien arvoista ja arvostuksista nousevia ominaisuuksia, joita sitten mittaustiedolla todennetaan. Mittaaminen integroidaan entistä enemmän muuhun operatiiviseen toimintaan. Uudet mittausmenetelmät ja -laitteet auttavat työntekijöitä näiden ydintyössä. Osa mittaamisesta muuttuu langattomasti etäluettavilla mittareilla tehtäväksi työksi.

Kuvantavien mittausmenetelmien kehittämiseen uskotaan yleisesti. Vaikka esimerkiksi hake- tai murskekuorman mittauksessa käytettävän laser- tai muun skannaustekniikan uskotaan kehittyvän, sen ei uskota voivan saavuttaa 10 – 15 vuodessa sellaista käyttövarmuutta ja mittaustarkkuutta, että tuloksia voitaisiin käyttää maksuliikenteen perusteena. Terminaaleihin ja mahdollisesti niissä tapahtuvaan lajitteluun mentäessä myös mittauksen odotetaan kehittyvän tarkempaan suuntaan, erityisesti energiapuun ja metsähakkeen sekä murskeen osalta. Suorien mittausten lisäksi epäsuorat mittaukset ja ennustemallien sovellukset lisääntyvät.

Uudet puun käyttömuodot saattavat johtaa osittain kokopuiden tai -runkojen korjuuseen, joka puolestaan muuttaisi koko hankinta- ja mittausketjun perusteita. Luovutus- ja työmittaus

siirtyisi tällöin kokonaan terminaaleihin ja muiden kuin tukkitavaralajien osalta kokonaisuudessaan painomittaukseksi. Massa- ja paperiteollisuus tulee kuitenkin toimimaan totutuilla järjestelmillä. Tämän teollisuudenalan nykyisin käyttämän puubiomassan muokkaamisen johonkin uuteen tarkoitukseen tulee täten perustua johonkin hyvin arvokkaaseen lopputuotteeseen, jotta se olisi valmis muuttamaan vallitsevia käytäntöjä. Tästä huolimatta terminaalien yhteyteen syntyy hyvin todennäköisesti puunkäyttäjistä ja -myyjästä riippumattomia määrän ja laadun mittaukseen erikoistuneita yrityksiä. Riippumattomuus osapuolista on jopa tarpeellista, koska tiedon tuotannon lisääntyessä myös tulosten tulkitsijoiden määrä lisääntyy ja tulkinnat hajoavat.

Erilaisista tulevaisuuskuvista todennäköisimmältä vaikuttaa asiantuntijoiden haastattelujen valossa ainakin kahden erilaisen puunhankintaketjun syntyminen. Perinteisen tukki-kuitupuun-energiapuu -ketjun rinnalle syntyy korjuuketju, jossa tukkipuun jälkeen jäljelle jäävä osa puusta menee kokonaisuudessaan bioenergiaksi tai biojalostukseen. Vaihtoehtojen toteutumiseen vaikuttaa ennen kaikkea arvoketjujen toimijoiden maksuhalukkuus ja maksukykyisyys.

6.6 Business Cafe -seminaarin satoa

Mittausroadmap-hankkeen vaiheiden 1 ja 2 yhteydessä järjestetyssä seminaarissa nousi esille samoja kehittämistavoitteita kuin oli havaittavissa haastattelujen perusteella:

- 1) Puutavaran mittauksesta ei saisi tulla lisäkustannuksia hankintaketjuun.
- 2) Puutavaran mittauksen osittainen siirtyminen terminaaleihin on todennäköistä ja puuraaka-aineen nykyistä tarkempi ohjaus haluttuihin kohteisiin toivottavaa.
- 3) Mittaustietojen nykyistä monipuolisempi ja tarkempi hyödyntäminen ja olemassa olevan mittaustietojen yhdistäminen ja hyödyntäminen on jatkossa olennaista.

Mittaustietojen hyödyntämisellä nähdään olevan kysyntää jopa metsänhoidon tarpeisiin.

Mittauksen kehittämisessä on tärkeää se, että tiedetään mitä mitataan ja mitä hyötyä mittauksista voidaan saada niin puukaupassa ja puunhankinnassa kuin tehtaiden, energialaitosten ja biojalostamojen tuotannon suunnittelussa ja prosessin ohjauksessa. Olemassa olevan mittaustiedon hyödyntäminen ei tuo merkittäviä lisäkustannuksia varsinaiseen mittaamiseen, vaan suurin osa kustannuksista kohdistuu yhtenäisten tietojärjestelmien kehittämiseen. Tarvitaan entistä parempaa vuoropuhelua ICT- ja mittausteknologian tarjoajien ja käyttäjien kesken.

Puutavaran mittauksessa on tärkeässä roolissa laadun määrittäminen mahdollisimman varhaisessa vaiheessa raaka-aine – hankinta jalostusketjua. Merkittäviä laatutekijöitä ovat esimerkiksi tukin

kuoreton muoto ja oksaisuus, puuaineen tiheys, laho ja kosteus. Mitä aikaisemmin laatu-tieto voidaan tuottaa, sitä tehokkaammin käsiteltävä puutavara on mahdollista ohjata sille soveltuvaan käyttötarkoitukseen. Puutavaraterminaalien tarpeellisuus todettiin tästäkin syystä.

Puubiomassan mittaamiseen tarvitaan uusia mittaus- ja laadutusperusteita, jotta tuloksilla on käyttöarvoa metsäbiotalouden uusien tuotteiden ja valmistusprosessien kannalta. Esimerkkinä voidaan mainita puusta saatavien uuteaineiden määrien ja pitoisuuksien mittaus, johon voisi soveltua spektri-informaation käyttö ultraviolett- sekä infrapuna-aallonpituusalueilla (näkyvän valon lisäksi) ja eri aallonpituusalueilla saatavien tulosten yhdistämiseen perustuva menetelmä tai ultraviolettisäteilyn hyödyntäminen uuteaineiden fluoresoivien ominaisuuksien perusteella.

Eräs esille noussut aihealue käsitteli metsänmittausta. Metsävaratietojen nykyistä tarkempi hankkiminen ilmasta tehtävän laserkeilauksen avulla on ongelmallista korkeiden kustannusten vuoksi. Jos inventoinnilla halutaan entistä tarkempaa puustotietoa, niin laserkeilaus tulisi tehdä nykyistä matalammalta ja tiheämmällä lentolinjojen välillä jolloin kustannukset kohoavat huomattavasti. Ratkaisuna voisi olla matalalla lentävien UAV (Unmanned Aerial Vehicle) – koneiden käyttö. Myös pienten nano-satelliittien käyttö voi olla mahdollista tulevaisuudessa, jos niiden kustannukset eivät ole kohtuuttomat.

Kaikkien uusien mittausmenetelmien mahdollistuminen ja niiden tulosten hyödyntäminen edellyttää uusien tietojärjestelmäsovellusten kehittämistä ja mittaustiedon standardointia. Raaka-aine – hankinta – käyttö ketjun toimijoiden välille voidaan luoda verkostoja, joiden avulla mittaustietoa voidaan välittää eri järjestelmille. Olemassa olevien mittaustietojen yhdistäminen toisi todennäköisesti merkittäviä kustannussäästöjä niin puunhankinnan kuin puunjalostuksen ja bioenergiakäytön kannalta. Oleellisena osana tällaisten järjestelmien kehittämisessä on tiedon jäljitettävyyys. Mittaustietojen tarvittava yhdistäminen on hankalaa, ellei mahdotonta, jos tarkasteltavaa kohdetta ei voida identifioida koko arvoketjun läpi.

7 Puutavaran mittauksen kehitysurat ja keskeiset kehittämistarpeet 10 – 15 vuoden aikajänteellä

Tulevien 10 – 15 vuoden aikana nykyinen puunjalostusteollisuus säilyttää valta-asemansa metsäsektorilla. Puun käyttö kuitenkin siirtyy massa- ja paperiteollisuudesta enemmän bioenergian ja osin biojalostuksen sekä saha- ja vaneriteollisuuden suuntaan. Puubiomassan uudet käyttömuodot kuten pyrolyysiöljyn tai biohiilen valmistus tulevat lisäämään puubiomassan käytön kokonaisvolyymia. Raaka-aineen mittauksen kannalta tulevaisuus on

kahtalainen. Nykyisen puunjalostusteollisuuden arvoketjujen tarpeita tyydyttävä puutavaran mittaaminen on niin korkealla tasolla, että siihen tuskin tulee isoja muutoksia. Uudet puubiomassaa käyttävät tuotantomuodot ovat vielä niin alkuvaiheessa, että toimijat eivät vielä tiedä itsekään niiden mittaustarpeita kaikilta osin. Energiapuun ja hakkeen/murskeen mittaamisessa on puolestaan selvä tilaus teknologiahyppylle ja organisatorisille innovaatioille.

Asiantuntijoiden mielestä eniten tutkittavaa ja kehitettävää puutavaran mittauksessa on lähivuosina niissä arvoketjuissa, joissa hankitaan energiapuuta. Tutkimustarpeet lähtevät nykyistä tehokkaampien korjuumenetelmien etsimisestä, ja mittauksen kytkemisestä varastointiin ja laadun hallintaan. Mittauksen kannalta keskeisiä kysymyksiä ovat yhteisten standardien kehittäminen ja niiden käyttöön saattaminen sekä puutavaran ja puubiomassan kosteuden mittauksen parantaminen metsäpäässä. Kosteutta ja vierasaineita kuljetushihnalta mittaavia järjestelmiä on jo olemassa, ja jos ne saadaan kustannustehokkaiksi, ne tulevat yleistymään. Seuraava vaihe on kuljetuksen aikaisten mittausjärjestelmien kehittäminen. Energian ja energiapuun hinnan jatkuvasti noustessa on tutkimustakin suunnattava kuitupuun ja sitä pienempiläpimittaisen puun tutkimukseen.

Päätökset leimikon ja sen puutavaran käyttötarkoituksesta tehdään tulevaisuudessa nykyistä aikaisemmassa vaiheessa arvoketjua ja lähempänä metsää. Reaaliaikaisen tiedon tarve voimistuu nykyisestä arvoketjun kaikissa osissa. Mittaustoiminnan kannalta arvoketjujen kehitykselle on kaksi vaihtoehtoista tietä. Joko ketjut säilyvät pitkinä ja niihin tulee uusia toimijoita tai ne lyhenevät ja erikoistuvat. Tapahtui kumpi tahansa, puutavaran alkuperätietojen ja mittaustiedon hankinta, hyödyntäminen ja yhdistely lisääntyvät. Määrän mittauksen suureina säilyvät tilavuus ja massa. Hakkuukonemittaukseen saattaa kehittyä uusia konenäköön perustuvia ratkaisuja, joita hyödynnetään erityisesti runkojen ja puutavaran laaduttamisessa. Tarve puun laatutiedon saamisesta entistä aiemmin tehtaalte siirtää mittauksia ja laadutusta lähemmäksi metsää, joka saattaa muuttaa mittaustiedon käsittelyä.

Uudelle puunjalostusteollisuudelle näyttäisi olevan tyypillistä toimiminen hajautetusti pienissä ja keskisuurissa yksiköissä. Tämä tarkoittaa sitä että nykyisten suurten konsernien rinnalle syntyy paikallisia ja maakunnallisia bioenergia-alan yrityksiä ja biojalostamoita. Uusien toimijoiden välittömänä intressinä ei ole omien raaka-aineen hankintaorganisaatioiden rakentaminen. Puunhankintaa hoitamaan syntyy pieniä paikallisia ja alueellisia palveluyrityksiä. Nämä joutuvat jossain määrin toimimaan yhteistyössä suurten puunhankintaorganisaatioiden kanssa. Siitä huolimatta niille syntyy omia mittaustarpeita. Pienillä ja keskisuurilla yrityksillä ei ole samanlaisia taloudellisia resursseja mittauksen investoimiseksi kuin isoilla, ja näin ollen

onkin tarpeen kehittää yksinkertaisia, toimintavarmoja ja edullisia mittauslaitteita ja -järjestelmiä niiden tarpeisiin.

Puun käsittely- ja esijalostustermiinaalit lisääntyvät ja muuttavat puutavaran mittauksen toimintaympäristöä. Mittaaminen siirtyy jossain määrin metsästä terminaaleihin, etenkin siinä tapauksessa että puutavara tuodaan terminaaleihin runkoina tai rankoina. Kokorunkokorjukseen meneminen muuttaisi mittaamista varsin perusteellisesti, mutta tällä hetkellä ei ole nähtävissä sen laajaa yleistymistä.

Terminaaleihin voi syntyä pieniä puunostajasta ja -myyjästä riippumattomia mittaus- ja laadutusyrityksiä. Samoin terminaalilogistiikkaan voi ilmaantua uusia toimijoita, jotka ydintoimintansa ohessa keräävät mittaustietoa. Pienille ja keskisuurille yrityksille on tässäkin tapauksessa kehitettävä heidän tarpeisiinsa soveltuvat laitteistot. Mittaaminen tulee näin lisääntymään toimijoiden lisääntymisen kautta, mutta merkittävin kasvupotentiaali syntyy kuitenkin puubiomassan laadun mittaamisen ja lajittelun tarpeiden kautta.

Arvoketjujen toimijoiden lisääntyessä ja toimintakentän monipuolistuessa tarvitaan myös alkuperä- ja mittaustiedon synkronointia. Kun toimijat lisääntyvät, tietoa kerätään monessa eri kohdassa arvoketjuja ja tiedonhallinnan merkitys korostuu. Tieto pitäisi kuitenkin pystyä siirtämään koko arvoketjun läpi, johon tarpeeseen voi syntyä uusia tietoa yhdistäviä ja jalostavia yrityksiä. RFID-järjestelmien kehittyminen voi avata mahdollisuuksia uusille tiedon prosessoijille ja jakajille. Kun kerättävä tieto monipuolistuu ja monimutkaistuu, voidaan tarvita myös tiedon tulkitsemiseen erikoistuneita asiantuntijoita terveydenhoidosta tuttujen röntgenlääkäreiden tapaan. Toisaalta voi syntyä myös yrityksiä, jotka ennustavat metsästä saatavan puun laatua ja puulajijakaumaa yhdistämällä laserkeilaustietoa hakkuukoneelta saataviin runkojen toteutuneisiin katkontatietoihin.

Myös sellun monipuolistuva käyttö tuo uusia mittaushaasteita. Sellun loppukäytön edellyttämällä ominaisuuksilla tulee olemaan entistä suurempi merkitys sellun valmistuksessa ja käytettävän raaka-aineen laadun mittauksessa. Kasvavia sellun käyttömuotoja voivat olla tekstiilituotteet, luonnonkomposiittituotteet, biomuovit, bioaktiiviset aineet aineissa jne. Sellua käyttävän kartonki- ja pakkausteollisuuden arvellaan myös kasvavan, koska pakkaus- ja varastointimateriaalien tarve kasvaa. Erityisesti älyominaisuuksilla varustetut pakkaukset tulevat yleistymään.

Puuta tullaan käyttämään entistä enemmän puutuoteteollisuudessa, erityisesti rakentamisessa ja sahateollisuudessa. Kyllästetyn puun vaihtoehdoksi ilmaantuu uusia materiaaleja ja eri tavoin

käsiteltyä puuta. Puutuoteteollisuuden sivutuotteiden kuten purun, pölyn ja tasauspätkien käytön arvellaan siirtyvän uusiin biokemiallisiin ja -teknologisiin jalostusmuotoihin. Uudet jalostusmuodot tuovat mittaamiselle uusia tarpeita, mutta se mitä nämä tarpeet tulevat olemaan, eivät ole vielä selvillä.

8 Lähteet

- [1] Pajujoja H. 2012. Kohti tehokkaampaa puuhuoltoa. Metsätehon tiedote 3/2012.
- [2] Melkas T. & Hämäläinen J. 2012. Puutavaran mittauksen visio 2020. Metsätehon tuloskalvosarja 9/2012.
- [3] Korpilahti A. & Melkas T. 2010. Kosteuden online-mittaus metsätähdehakkeesta. Metsätehon raportti 213. 21 s.
- [4] Jahkonen M., Lindblad J., Sirkiä, S. & Laurén A. 2012. Energiapuun kosteuden ennustaminen. Metlan työraportteja 241. 35 s.
- [5] EPPU-energiapuun mittauslaskuri Metsäntutkimuslaitoksen internet-sivut, <http://www.metla.fi/metinfo/tietopakettit/mittaus/mittaus-eppu--energiapuulaskuri.htm>, viitattu 4.6.2013
- [6] Lindblad J., Äijälä O. & Koistinen A. 2010. Energiapuun mittaus. Opas energiapuun yleisistä mittausperiaatteista.
- [7] Sarkki A. 2012. Metsäenergiaa kannattavasti – METKA. Hankkeen loppuraportti 8/2012. 45 s.
- [8] LAAVA-hankkeen kotisivut: <http://mekri.uef.fi/laava/> viitattu 15.5.2013
- [9] ForestEnergy 2020 tutkimusohjelman uutiskirje “Metsähakkeen laadun tutkimukseen panostetaan” <http://www.forestenergy2020.org/fi/uutiskirjeet/uutiskirje-1-12/forest-power-%E2%80%93-dynaamista-pohjoismaista-bioenergiatutkimusta/> viitattu 15.5.2013
- [10] Biovarma –hankkeen kotisivut <http://www.forestenergy2020.org/fi/projektit/biovarma/> viitattu 15.5.2013
- [11] Aho M. 2012. Maximising the safe portion of forest residues in power plants utilising protective properties of peat. Esitelmä Bioenergy from Forest 2012 konferenssissa. www.forestenergy2020.org/openfile/48
- [12] Hämäläinen J., Hujo S. & Korpilahti A. 2006. Puutavaran mittauksen tutkimus- ja kehitysohjelma, Metsätehon raportti 191. 36 s.

- [13] Pesonen E., Mäkinen H. & Verkasalo E. 2010. Puuta koskemattoman mittauksen mahdollisuudet ja menetelmiä raakapuun laadun määrittämiseen. Metlan työraportteja 173, 42 s.
- [14] Österberg P. & Ihalainen H. 2006. Puun laatutiedon mittaaminen kuvasta. Metsätehon raportti 197. 21 s.
- [15] Forestrix hankkeen kotisivut, Aalto-yliopiston Automaatio- ja systeemitekniikan laitos, <http://autsys.aalto.fi/Forestrix> viitattu 31.5.2013
- [16] Metrix hankkeen kotisivut, Aalto-yliopiston Automaatio- ja systeemitekniikan laitos, <http://autsys.aalto.fi/Metrix> viitattu 31.5.2013
- [17] Ala-Ilomäki J., Heikkilä J., Pykäläinen J., Jutila J. & Ylisirniö K. 2008. Metsäkoneiden aistinjärjestelmä, puuston kartoittaminen ja puoliautomaattinen ohjaus – FORESTRIX. Metlan työraportteja 102. 51 s.
- [18] Uusijärvi R. 2010. Indisputable key – Intelligent distributed process utilization and blazing environmental key. Hankkeen loppuraportti. 62 s.
- [19] TimTekno hankkeen kotisivut www.uef.fi/siblabs/timtekno viitattu 16.5.2013.
- [20] PUNOS-hankkeen tulosraportti. Measurement of wood internal structure with CAV-ILUX® LP diode laser. Cavitar Oy. <http://www.cavitar.com/newsandgalleries/getfile.php?file=229> viitattu 31.5.2013.
- [21] Lappeenrannan teknillinen yliopisto. School of Industrial Engineering and Management kotisivut <http://www.lut.fi/web/en/school-of-industrial-engineering-and-management> viitattu 16.5.2013.
- [22] Itä-Suomen yliopisto. Väritutkimusryhmän kotisivut <http://www.uef.fi/fi/spectral> viitattu 16.5.2013.
- [23] MILA – mittalaitelaboratorion kotisivut <http://www.mila oulu.fi/> viitattu 16.5.2013.
- [24] PulpVision –projektin kotisivut <http://www2.it.lut.fi/project/pulpvision/> viitattu 15.5.2013.
- [25] FIBIC, ”Bioenergiäliiketoiminta kasvuun uuden tutkimusohjelman kautta”, <http://fibic.fi/fi/uutiset/bioenergiäliiketoiminta-kasvuun-uuden-tutkimusohjelman-kautta-2> viitattu 16.5.2013

- [26] Holopainen M. et al. ”Korkearesoluutioisten E-SAR-tutkakuvien tarkkuus puustotunnusten koealaston estimoinnissa”, Metsätieteen aikakauskirja, 4/2009.
- [27] Korpela I., Orka Ole H., Maltamo M., Tokola T. & Hyyppä J. ”Tree Species Classification Using Airborne LiDAR – Effects of Stand and Tree Parameters, Downsizing of Training Set, Intensity Normalization, and Sensor Type”, *Silva Fennica* 44(2), 2012.
- [28] Maltamo M., Packalén P., Uutera J., Ärölä E. & Heikkilä J. “Laserkeilaustulkinnan hyödyntäminen metsäsuunnitelun tietolähteenä”, *Metsätieteen aikakauskirja* 4/2008.
- [29] Valtakunnan metsien 11. inventointi (VMI11) ”Maastotyöohje”, 2. painos, 2009.
- [30] Kiviniemi M. ”Puukauppa – valmistelu, sopimus ja puutavaran mittaus”, Metsäkustannus Oy, 2006.
- [31] Hakonen T. & Laurila J. ”Metsähakkeen kosteuden vaikutus polton ja kaukokuljetuksen kannattavuuteen”, Seinäjoen ammattikorkeakoulun julkaisusarja, 2011.
- [32] Järvinen T. ”Kiinteiden biopolttoaineiden CEN-näytteenottostandardin soveltaminen Suomen oloihin”, Tutkimusraportti VTT-R-01322-2, 2012.
- [33] Itä-Suomen yliopisto, Metsätieteiden osaston kotisivut <http://www.uef.fi/fi/metsa> viitattu 16.5.2013
- [34] Wood Material Science koulutusohjelman kotisivut, <http://www.uef.fi/fi/metsa/wood-material-science>, viitattu 4.6.2013
- [35] Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu, kotisivut www.karelia.fi viitattu 16.5.2013
- [36] Hajautetut biojalostamot –hankkeen kotisivut http://www.forestenergy.org/pages/service_center/hajautetut_biojalostamot/?PHPSESSID=1b6313a0178a7ac4237553d33d053d52 viitattu 16.5.2013.
- [37] CEMIS-Oulun kotisivut <http://www oulu.fi/kajaaninyliopistokeskus/cemis-oulu> viitattu 16.5.2013
- [38] Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Savo Sustainable Technologies, <http://www.lut.fi/web/en/lut-savo-sustainable-technologies> viitattu 4.6.2013
- [39] Savonia ammattikorkeakoulun kotisivut <http://portal.savonia.fi/amk/> viitattu 4.6.2013

- [40] Mikkelin ammattikorkeakoulun kotisivut <http://www.mamk.fi> viitattu 4.6.2013
- [41] Joensuun Tiedepuisto Oy:n kotisivut <http://www.carelian.fi> viitattu 4.6.2013
- [42] Miktech Oy:n kotisivut <http://miktech.fi> viitattu 4.6.2013
- [43] Kainuun Etu Oy:n kotisivut <http://www.kainuunetu.fi/Default.aspx> viitattu 4.6.2013
- [44] Iivari Mononen Oy, yrityksen kotisivut www.iivarimononen.fi viitattu 16.5.2013
- [45] Teknosavo Oy, yrityksen verkkosivut www.teknosavo.fi viitattu 15.5.2013.
- [46] Limab Oy, yrityksen kotisivut www.limab.fi viitattu 4.6.2013
- [47] Inray Oy, yrityksen kotisivut www.inray.fi viitattu 16.5.2013.
- [48] Savled Oy, yrityksen kotisivut <http://www.savled.com/> viitattu 16.5.2013
- [49] Ponsse Oy, yrityksen kotisivut <http://www.ponsse.com/fi/> viitattu 4.6.2013
- [50] Kareliatech Oy, yrityksen kotisivut <http://www.kareliatech.fi/> viitattu 4.6.2013
- [51] Kit-Sell Oy, yrityksen kotisivut <http://www.kit-sell.fi/fi/etusivu> viitattu 4.6.2013
- [52] Arbonaut Oy, yrityksen verkkosivut www.arbonaut.com viitattu 16.5.2013.
- [53] MHG Systems Oy, yrityksen verkkosivut <http://www.mhgsystems.com/> viitattu 16.5.2013.
- [54] Protacon Oy, yrityksen kotisivut <http://www.protacon.com> viitattu 16.5.2013.
- [55] Savcor Forest Oy, yrityksen kotisivut <http://forest.savcor.com> viitattu 4.6.2013

9 Liite 1. Haastattelulomake

1. Yrityksenne/organisaationne toimiala

- puunhankinta
- puumassa-, paperi- ja/tai kartonkiteollisuus
- puutuoteteollisuus, perusjalostus
- puutuoteteollisuus, jatkojalostus
- bioenergia
- biojalostamo, hajautettu (erillinen laitos, voimalan tai lämpölaitoksen yhteydessä, puutuotetehtaan yhteydessä, muun integroitumattoman jalostuslaitoksen yhteydessä)
- biojalostamo, keskitetty (puumassatehtaan tai öljyjen jalostamon yhteydessä)
- kone- tai laitevalmistus, it-alan ohjelmointi- tms. yritys
- metsä-, energia- tai biotuotealan palveluyritys
- TKI-organisaatio, siirry kohtaan 4

2. Yrityksenne/organisaationne kokoluokka

Henkilöstön mukaan

- suuri henkilöstö > 250
- keskisuuri henkilöstö 50 < 250
- pieni henkilöstö 10-50
- mikro henkilöstö <10

Liikevaihdon mukaan

- 10 – 50 milj. €
- 2-10 milj. €
- < 2 milj. €

3. Yrityksille: asiakkaidenne toimialat (mittaustiedon tarpeiden kannalta)

- puunhankinta
- puumassa-, paperi- ja/tai kartonkiteollisuus
- puutuoteteollisuus, perusjalostus
- puutuoteteollisuus, jatkojalostus

- bioenergia
- biojalostamo, hajautettu (erillinen laitos, voimalan tai lämpölaitoksen yhteydessä, puutuotetehtaan yhteydessä, muun integroitumattoman jalostuslaitoksen yhteydessä)
- biojalostamo, keskitetty (puumassatehtaan tai öljyjen jalostamon yhteydessä)
- kone- tai laitevalmistus, it-alan ohjelmointi- tms. yritys
- metsä-, energia- tai biotuotealan palveluyritys

4. Nykyiset mittaustarpeet ja käytännöt

- *Mitä ja missä muodossa raaka-aineita/materiaaleja mitataan*
- *Mitä suureita eri raaka-aineista/materiaaleista mitataan (määrä, laatu)*
- *Missä osissa arvoketjua nämä mittaukset tehdään*
 - o korjaamaton puusto, metsätalouden suunnittelussa
 - o korjaamaton puusto, oston tai korjuun suunnitteluun liittyen
 - o korjuun aikana (missä vaiheessa, koneellistetusti/manuaalisesti, millä laitteilla,)
 - o kuljetuksen aikana (missä vaiheessa, koneellistetusti/manuaalisesti, millä laitteilla)
 - o välivarastoinnin aikana tai varastointi- tai esikäsittelyterminaalissa
 - o tehtaan tai laitoksen vastaanotossa tai esikäsittelyssä (esim. kuorinta, lajittelu)
- *Mihin tarpeisiin näitä mittauksia tehdään (määrä, laatu)?*
- *Mitä mittaustekniikoita tällä hetkellä käytetään eri raaka-aineiden/materiaalien mittaukseen (määrä, laatu)*
- *Miten ja missä datamuodossa mittaustietoa ja identifiointi- ja alkuperätietoa hankitaan it-järjestelmiin*
- *Miten hankittua mittausta- ja identifiointi- ja alkuperätietoa siirretään eteenpäin informaatioketjussa, varastoidaan, käsitellään ja hyödynnetään arvoketjun myöhemmissä vaiheissa (it-järjestelmissä)*
- *Miten mittaustiedon hankinta ja käsittely on standardisoitu ja normitettu (lainsäädäntö, mittausohjeet) ja miten se vaikuttaa käytännön toimintaan*
- *Mitä hyötyjä ja haittoja mittauksista on koettu (organisointi, toteutus, tekijät, henkilötön käyttö, logistiikka, kustannukset/hyödyt, toiminnan yleinen kehittäminen, ...)*
- *Miten mittausten kustannukset ja hyödyt jakaantuvat*

5. Tulevat mittaustarpeet ja käytännöt (10-15 vuoden tähtämellä)

- *Miten puubiomassan käyttö eri tarkoituksiin muuttuu/kehittyy (määrät, laadut)*
- *Miten puubiomassan käyttäjät muuttuvat/kehittyvät, ml. metsäsektorin rajapintojen ja nykyisin ulkopuoliset toimijat*
- *Miten arvoketjujen osalliset/edunsaajat muuttuvat, onko heidän asemassaan ja tietotarpeissaan näköpiirissä muutoksia*
- *Miten mittausten ja identifiointi-, alkuperä- ja muiden taustatietojen ja menettelyjen tarpeet kehittyvät:*
- *Mitä muutoksia edellisessä kohdassa arvioidut muutokset/kehitys mittaustarpeissa tuovat käytännön mittaukseen ja millaisia vaatimuksia tämä asettaa tuotettavalle tiedolle, mittausteknologioille ja tietojärjestelmille, tiedon hankinnan ja jalostuksen menettelytavoille ja organisoinnille sekä tarvittaville palveluille?*
- *Millaisia tarpeita biomassan mittauksen tutkimus- ja kehittämishankkeille on edellä esille tulleiden näkökulmien pohjalta nähtävissä*

6. Mitä muuta haluatte tuoda esille biomassan mittauskysymysten tiimoilta – varsinkin tulevaisuutta silmällä pitäen

10 Liite 2. Haastatellut asiantuntijat

- | | |
|----------------------|--|
| 1. Antti Asikainen | Metsäntutkimuslaitos |
| 2. Matti Saramäki | Metsänhoitoyhdistys, Enon Energiaosuuskunta |
| 3. Jouni Hämäläinen | Stora Enso Oyj |
| 4. Veikko Jokela | Stora Enso Oyj |
| 5. Timo Partanen | Fortum Power and Heat Oy |
| 6. Lauri Sikanen | Itä-Suomen yliopisto |
| 7. Pauli Rintala | Järvi-Suomen metsänomistajien liitto |
| 8. Kauko Mustonen | Keitele Group |
| 9. Anssi Kainulainen | Maa- ja metsätaloustuottajain Keskusliitto |
| 10. Olof Thesslund | Metsäliitto Osuuskunta |
| 11. Patrick Pitkänen | St1 Biofuels Oy |
| 12. Timo Melkas | Metsäteho Oy |
| 13. Lauri Korkeala | Vapo Oy |
| 14. Asko Saatsi | Nurmeksen kaupunginjohtaja, biohiiliprojekti |
| 15. Jarmo Kemppainen | Iivari Mononen Oy |
| 16. Lasse Pulkkinen | Kaakkois-Suomen OSKE |
| 17. Jouni Törnberg | Measurepolis Development Oy |