

Lappeenrannan teknillinen yliopisto

School of Energy Systems

Energiatekniikan koulutusohjelma

BH10A0202 Energiatekniikan kandidaatintyö

Metsähakkeen mittausmenetelmät voimalaitoksissa

Wood chip measuring methods in power plants

Työn tarkastaja: Tapio Ranta

Työn ohjaaja: Tapio Ranta

Lappeenranta 01.05.2015

Tommi Virkki

TIIVISTELMÄ

Opiskelijan nimi: Tommi Virkki

School of Energy Systems

Energiatekniikan koulutusohjelma

Opinnäytetyön ohjaaja: Tapio Ranta

Kandidaatintyö 2018

29 sivua, 9 kuvaa, 4 taulukkoa

Hakusanat: metsähake, kosteus, mittaussmenetelmät, NIR, mikroaalto, röntgen, tilavuuspaino

Tämän kandidaatintyön tavoitteena on selvittää, millaisia kosteuden mittaussmenetelmiä metsähakkeelle on käytettävissä suoraan materiaalivirrasta. Lisäksi tavoitteena on arvioida Teknosavon selluhakkeen mittausslaitteiston soveltuvuutta voimalaitosten tarpeisiin. Työssä selvitetään myös hakkeen laatuvaatimukset kosteuden, tuhkapitoisuuden sekä palakoon osalta ja kuinka ne vaikuttavat voimalaitosten toimintaan.

Kosteus on hakkeen tärkein laatutekijä, sen vaikuttaessa suoraan hakkeen teholliseen lämpöarvoon ja siten hakkeesta maksettavaan hintaan. Erilaisia jatkuvaan mittaukseen soveltuvia mittaussmenetelmiä ovat:

NIR-menetelmä, joka perustuu lyhytaaltoisen infrapunaa voimakkaaseen absorptioon veden vaikutuksesta,

Mikroaaltomenetelmä, joka perustuu puun ja veden dielektriivisyysvakioiden mittaamiseen, joiden vaikutukset voidaan erottaa toisistaan,

Radiometriset eli läpivalaisevat menetelmät, jotka perustuvat säteilyn vaimenemiseen mitattavassa aineessa. Säteily voi olla esimerkiksi röntgen- tai gammasäteilyä.

Tilavuuspainoon perustuva menetelmä, joka perustuu mitattujen massan ja tilavuuden avulla määritetyn tuoretilavuuspainon vertailusta materiaalin kuivatuoretilavuuspainoon

SISÄLLYS

Tiivistelmä

Sisällysluettelo

1 Johdanto	4
2 Metsähakkeen laatuluokittelu	6
3 Metsähakkeen laadun vaikutukset voimalaitoksissa	8
3.1 Kosteuden vaikutukset	8
3.2 Palakoon vaikutukset.....	11
3.3 Tuhkapitoisuuden vaikutukset.....	11
4 Näytteenottomenetelmät	13
4.1 Manuaalinen näytteenotto	13
4.2 Koneellinen näytteenotto.....	14
4.3 Jatkuva mittaus materiaalivirrasta	15
5 Metsähakkeen kosteuden mittausmenetelmät	16
5.1 Optiset menetelmät.....	16
5.2 Mikroaaltomenetelmä.....	19
5.3 Radiometriset menetelmät	20
5.4 Tilavuuspainoon perustuvat menetelmät.....	21
5.5 Yhteenveto eri mittausmenetelmistä	24
6 Teknosavon Chipsmart 3D – hakemittarin soveltuvuus voimalaitoksiin	25
6.1 Laitteiston esittely	25
6.2 Soveltuvuus voimalaitoksiin ja kehityskohteet	26
7 Yhteenveto	28
Lähdeluettelo	30

1 JOHDANTO

Suomen tavoitteena on lisätä uusiutuvan energiantuotanto 50 %:iin kokonaistuotannosta vuoteen 2020 mennessä. Tavoitteen saavuttamiseksi on tarkoitus lisätä puupohjaisten polttoaineiden käyttöä energiantuotannossa, mikä on suunniteltu toteutettavaksi erityisesti metsähakkeen käyttöä lisäämällä. Vuonna 2030 metsähakkeen käytön sähkön ja lämmöntuotannossa arvioidaan olevan 29 TWh. (Työ ja elinkeinoministeriö, 2017, s. 31, 81.)

Metsähakkeella tarkoitetaan pieniksi paloiksi haketettua biomassaa. Hakepalat ovat suorakaiteen muotoisia, pituudeltaan tyypillisesti 5...50 mm (SFS-EN 17225-4, 2014, s. 12). Hake voidaan valmistaa kokopuusta, rangoista tai metsätähteestä. Hake on monipuolinen polttoaine ja sitä voidaan polttaa rakennusten lämmityskattiloissa, lämpölaitoksilla sekä teollisuuden lämpö- ja voimalaitoksilla. Hakkeen laadulla on suuri merkitys voimalaitoksen häiriöttömään toimintaan. Laatuun vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa hakkeen kosteus, palakoko sekä tuhkapitoisuus. (Alakangas et al. 2016, s. 67.)

Kosteus on suurin yksittäinen hakkeen laatuun vaikuttava tekijä. Kosteuspitoisuus vaikuttaa muun muassa suoraan hakkeen teholliseen lämpöarvoon, eli hakkeen energiasisältöön kilogrammaa kohden. Ongelmana kosteuspitoisuuden määrittämisessä on ollut nopea ja tarkka kosteuden mittaaminen luotettavasti suoraan kattilaan menevästä materiaa-
livirrasta puulajien ja haketyyppien vaihdellessa. Eurooppalaisen ISO-standardin mukainen uunikuivausmenetelmä on tarkka, mutta vie paljon aikaa ja perustuu yleensä käsin otettuihin näyte-eriin, joten sen käyttäminen voimalaitoksen toiminnan optimointiin ei ole riittävää. Tarkka tieto polttoaineen sisällöstä ennen kattilaan syöttämistä auttaa optimoimaan polttoa tehontarpeen mukaan. Lisäksi mikäli hakkeen laatu voidaan määrittää reaaliaikaisesti, niin toimitusten ajoitus voidaan optimoida sekä hakkeen laatua parantaa (Sikanen et al. 2016, s. 31). Metsähakkeen hinnoittelu perustuu Suomessa pääasiassa hakkeen energiasisältöön. Näin ollen jatkuvilla mittausmenetelmillä voidaan vaikuttaa polttoainetoimittajien toimintaan polttoaineen laadun suhteen, sillä parempilaatuisesta hakeesta hyötyvät hakkeen käyttäjä sekä toimittaja. Hakkeen käyttäjä hyötyy hakkeen paremman käytettävyyden vuoksi ja toimittaja hakeesta saatavan korkeamman hinnan vuoksi, mikä johtuu hakkeen suuremmasta energiasisällöstä (Raitila et al. 2014, s. 18).

Materiaalivirrasta tapahtuvaan mittaukseen perustuvia mittausmenetelmiä on kehitelty useita, mutta niissä on jokaisessa omat puutteensa.

Tämä kandidaatintyö on tehty yhteistyössä Teknosavo oy:n kanssa, joka on puunkäsittelyteollisuuden prosessien optimointiin ja on-line mittausjärjestelmiin erikoistunut savonlinnalainen yritys. Kyseisen yrityksen mittauslaitteistot ovat kehitetty pääasiassa selluteollisuuden tarpeisiin. Kandidaatintyön tavoitteena on selvittää, mitä erilaisia menetelmiä metsähakkeen kosteuden määrittämiseen suoraan materiaalivirrasta on käytettävissä. Lisäksi tavoitteena on selvittää Teknosavon selluhakkeen mittauslaitteiston soveltuvuus voimalaitoksien tarpeisiin. Tässä työssä selvitetään myös hakkeen vaatimukset palakoon ja tuhkapitoisuuden osalta, mutta näiden mittaustapoihin ei syvennyttä.

Ensimmäiseksi selvitetään, millaisia laatuluokittelua metsähakkeelle käytetään kosteuden, palakoon sekä tuhkapitoisuuden osalta. Seuraavaksi tarkastellaan, kuinka edellä mainitut ominaisuudet vaikuttavat voimalaitoksen toimintaan. Tämän jälkeen käydään läpi ja vertaillaan eri näytteenottomenetelmiä. Työn seuraavassa osuudessa vertaillaan erilaisia kosteudenmittaustapoja. Erilaisia mittausmenetelmiä ovat muun muassa optiset menetelmät, mikroaaltomenetelmä, radiometriset menetelmät ja tilavuuspainoon perustuvat menetelmät. Työn viimeisenä vaiheena tehdään selvitys Teknosavon mittalaitteen soveltuvuudesta voimalaitoksien vaatimuksiin. Lisäksi annetaan kehityskohteita, jotta kyseisen laitteiston käyttö voimalaitoksissa olisi mahdollista.

2 METSÄHAKKEEN LAATULUOKITTELU

Metsähakkeen laatuluokittelu on esitetty standardissa ISO-EN 17225-4. Standardin mukaan metsähake voidaan luokitella neljään laatuluokkaan. Luokat ovat A1, A2, B1 sekä B2. Hakkeen laadun luokittelu perustuu pääasiassa raaka-aineen alkuperän ja kosteus- ja tuhkapitoisuuden määrittämiseen. Lisäksi ISO-EN 17225-4 standardissa esitetään vaatimuksia luokitellulle hakkeelle tehollisen lämpöarvon, irtotiheyden sekä haitallisten alkuainepitoisuuksien, kuten esimerkiksi rikki, kloori, lyijy ja elohopea, osalta. Lisäksi hakkeen palakoolle on käytössä oma luokittelu, joka ilmoitetaan erikseen. (ISO-EN 17225-4, 2014, s. 14.) Luokat A1, A2, B1 ja B2 raaka-aineen alkuperän, kosteuspitoisuuden ja tuhkapitoisuuden osalta ovat esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Metsähakkeen laatuluokittelu (ISO-EN 17225-4, 2014, s. 14).

Luokka	A1	A2	B1	B2
Raaka- aineen alkuperä	Luonnonpuusta sekä kemiallisesti käsittelemättömästä puuraaka-aineesta valmistetut hakkeet.		Lyhytkiertoviljelypuu, puu puutarhoista ja istutuksista sekä kemiallisesti käsittelemätön teollisuuden sivutuote tai puutähde	Kemiallisesti käsitellyt teollisuuden sivutuotteet ja -tähteet.
Kosteus- pitoisuus	< 25 %	< 35 %	Suurin arvo ilmoitetaan	
Tuhka- pitoisuus	< 1 %	< 1,5 %	< 3 %	

Taulukossa 1 näkyvään laatuluokan B2 raaka-aineen alkuperän luokitteluun hakkeisiin kuuluvat lisäksi, että ne eivät saa sisältää käsittelyn tai pinnoituksen johdosta raskasmetalleja tai halogeenisia orgaanisia yhdisteitä. Mikäli kemiallista käsittelyä on tehty ennen biomassan korjuuta, ei sitä tarvitse erikseen ilmoittaa. Mutta mikäli epäillään missään toimitusketjun vaiheessa maaperän saastumista tai muuta mahdollista toimintaa, jossa raskasmetallien tai halogeenisten orgaanisten yhdisteiden päätyminen biomassaan on mahdollista, tulisi hake analysoida edellä mainittujen pitoisuuksien selvittämiseksi. Esi-merkkinä tällaisesta toiminnasta olisi, mikäli metsää on lannoitettu käyttämällä jätevesilietettä jätevedenpuhdistamolta, (ISO-EN 17225-4, 2014, s. 14.)

Hakkeen palakoon luokitteluun käytetään kolmea ryhmää. Luokittelu määräytyy luokittelussa käytettyjen seulojen pyöreisiin reikiin, jonka 60 % hakkeen partikkeleista läpäisee. Tästä käytetään nimitystä P-arvo, joka ilmoitetaan hakkeen laatua ilmoitettaessa. Lisäksi käytetään raja-arvoja hakkeen hienoainepitoisuudelle (partikkelin koko alle 3,15mm), karkea-ainepitoisuudelle, partikkelin suurimmalle pituudelle sekä karkean aineksen suurimmalle poikkipinta-alalle. Hakkeen palakoon luokittelu on esitetty taulukossa 2. (ISO-EN 17725-4, 2014, s. 16.)

Taulukko 2. Metsähakkeen palakoon luokittelu (ISO-EN 17725-4, 2014, s.16).

	Pääfraktio (vähintään 60 %) [mm]	Hienoaines (pituus \leq 3,15mm)	Karkea aines (pituus, mm)	Partikkelin suurin pituus [mm]	Suurin poikkileikkauksen pinta-ala karkealle ainekselle
P16S	$3,15 < P \leq 16$	$\leq 15 \%$	$\leq 6 \%$ ($>31,5$)	≤ 45	$\leq 2 \text{ cm}^2$
P31S	$3,15 < P \leq 31,5$	$\leq 10 \%$	$\leq 6 \%$ (>45)	≤ 150	$\leq 4 \text{ cm}^2$
P45S	$3,15 < P \leq 45$	$\leq 10 \%$	$\leq 10\%$ (>63)	≤ 150	$\leq 6 \text{ cm}^2$

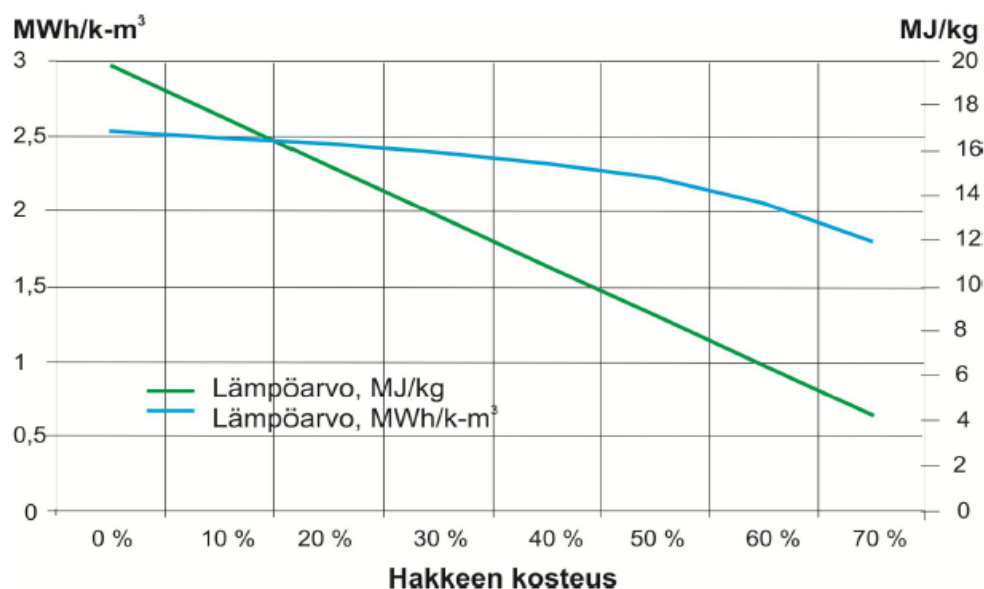
3 METSÄHAKKEEN LAADUN VAIKUTUKSET VOIMALAITOKSISSA

Merkittävimmät metsähakkeen laatutekijät voimalaitoksen toimintaan ovat kosteus, palakoko sekä tuhkapitoisuus. Näitä tekijöitä tarkastellaan erikseen myöhemmin omissa kappaleissaan. Muita huomioitavia laatutekijöitä ovat puun sisältämät epäpuhtaudet kuten kloori ja erilaiset alkalit, käytännössä kalium. Lisäksi hyvälaatuinen hake ei saa sisältää sammalta, humusainetta, kiviä, metallia, pitkiä tikkuja tai oksakeppejä. (Alakangas et al. 2016, s. 68, 200.)

Eri laatutekijöillä ovat erilaiset vaikutukset voimalaitoksen toimintaan ja ne täytyy ottaa huomioon eri tavoin riippuen voimalaitoksen koosta. Pienemmät lämpö- ja voimalaitokset vaativat parempaa hakkeen laatua erityisesti kosteuden ja palakoon osalta, kun taas suuremmissa voivat palakoko olla suurempaa ja vaihtelevampaa sekä kosteuspitoisuus suurempi. Suuremmissa laitoksissa alkaleilla ja kloorilla on suurempi merkitys kattilan kuumakorroosion ja likaantumisen vuoksi. (Alakangas et al. 2016, s. 204.)

3.1 Kosteuden vaikutukset

Kosteus on merkittävin yksittäinen tekijä hakkeen laadussa. Tuoreen vastakaadetun puun kosteuspitoisuus on 50...60 %. Käytännössä hakkeen kosteuspitoisuus on 25...65 %. Kosteuteen vaikuttavat muun muassa vuodenaika ja varastointi ja esimerkiksi talvisin hakkeen kosteus voi olla yli 65 %, koska hakkeen joukkoon päätyy lisäksi lunta ja jäätä. (Alakangas et al. 2016, s. 67, 73.) Hakkeen kosteuspitoisuus vaikuttaa suoraan hakkeen teholliseen lämpöarvoon saapumistilassa, eli hakkeen energiasisältöön suhteessa hakkeen massaansa. Tämä johtuu siitä, että hakkeen sisältämän veden massasta ei voida tuottaa energiaa. Lisäksi veden lämpötilan nostaminen höyrystymislämpötilaan sekä höyrystämiseen kuluu energiaa. Kuvassa 1 on esitetty kosteuden vaikutus hakkeen teholliseen lämpöarvoon.

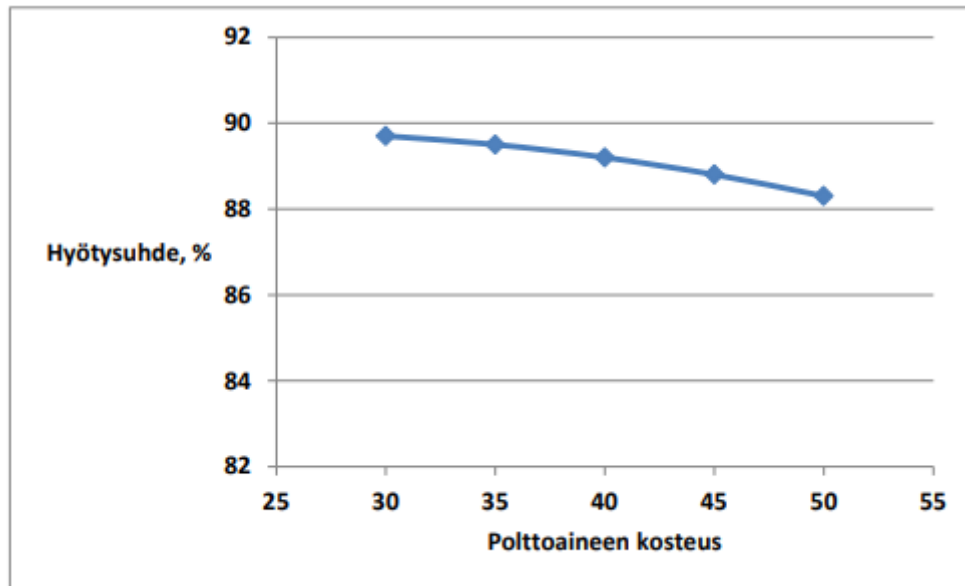


Kuva 1. Kosteuspitoisuuden vaikutus hakkeen teholliseen lämpöarvoon (Alakangas et al. 2014, s. 71).

Veden höyrystymislämpöä ei normaalisti hyödynnetä, jolloin vesihöyry poistuu savukaasujen mukana. Veden höyrystymislämpö kuitenkin voidaan ottaa talteen esimerkiksi savukaasupesurin avulla, jossa savukaasujen sisältämä vesihöyry lauhdutetaan nesteeksi. Talteen saatu energia voidaan käyttää kaukolämpöveden tai turbiinilta tulevan lauhteen lämmittämiseen. (Rissanen, 2016, s. 26.)

Metsähakkeen hinnoittelu perustuu voimalaitoksissa yleensä hakkeen energiasisältöön, joten lämpöarvon ja näin ollen kosteuden selvittäminen on voimalaitoksille tärkeää (Bioenergianeuvoja, 2018). Suunnitteluarvoa suurempi kosteuspitoisuus alentaa myös voimalaitoksen kattilan tehoa ja hyötysuhdetta, kun suurempi osa hakkeesta saatavasta energiasta kuluu veden höyrystämiseen (Flyktman et al. 2012, s. 14, 36). Kuvassa 2 on esitetty esimerkki kosteuden vaikutuksesta kattilan hyötysuhteeseen. Kuvassa 2 on vain huomioitu kosteuden vaikutus saatavaan energiamäärään. Mahdollisia vaikutuksia polton hyötyden heikkenemisestä ei ole huomioitu. Kosteus vaikuttaa voimalaitoksen toimintaan muutenkin kuin vain polton osalta. Talvisin kostean hakkeen jäätyminen voi aiheuttaa ongelmia kuljettimilla ja silloissa (Flyktman et al. 2012, s. 14). Ongelmaksi muodostuu

toisiinsa kiinni jäätyneiden hakepalojen holvaantumisen kuljettimille ja siilojen aukkoihin.



Kuva 2. Esimerkki polttoaineen kosteuden vaikutuksesta kattilan hyötysuhteeseen (Flyktman et al. 2012, s. 35).

Sallittu kosteuspitoisuus hakkeessa riippuu voimalaitoksen koosta ja tyypistä. Pienemmissä laitoksissa, kuten kaukolämpölaitoksissa ja pienissä CHP-laitoksissa (teho < 5 MW) kosteuspitoisuuden hakkeen osalta tulisi olla alle 40 %. Suurempitehoisissa lämpö- ja CHP-laitoksissa (teho 10...50 MW) kosteuspitoisuuden tulisi olla 40...60 %. Yli 50 MW:n voimalaitoksissa sallittu kosteuspitoisuus hieman laskee ja sen tulisi olla alle 50 %. (Alakangas et al. 2016, s. 204.) Pienet laitokset suunnitellaan yleensä käyttämään vain yhtä polttoainetta, joten vaatimukset kosteuspitoisuudelle ovat tiukemmat, kun taas suuremmat laitokset suunnitellaan polttoaineen osalta monipuolisemmaksi, jolloin niissä voidaan käyttää myös kosteampaa polttoainetta, joko sellaisenaan tai sekoitettuna johonkin toiseen polttoaineeseen.

3.2 Palakoon vaikutukset

Hyvälaatuisen hakkeen tavoiteltu palakoko on 30...40 mm. Hakkeen palakokojakauma kuitenkin voi vaihdella purumaisesta aineksesta puukapuloihin ja pitkiin oksanpätkiin. Haketettava raaka-aine, hakkuri ja sen terien kunto, sekä käytettävän seulan reikäkoko ovat merkittävimmät palakokoon vaikuttavat tekijät. (Alakangas et al. 2016, s. 66, 72.)

Hakkeen palakoon vaikutukset näkyvät pääasiassa voimalaitoksien käsittelylaitteistoissa. Voimalaitoksien polttoaineen vastaanotto-, kuljetin- sekä polttolaitteet poikkeavat toisistaan eri voimalaitoksien välillä. Näin ollen hakkeen palakoon jakauman tulisi olla laitteiden suunnittelun mukainen. Esimerkiksi hakkeen sisältämät pitkät tikut, tai muut normaalisti poikkeavat partikkelit, voivat aiheuttaa käsittelylaitteistossa holvaantumista tai tukkeutumista, mikäli niitä ei ole otettu käsittelylaitteistossa riittäväällä tavalla huomioon. (Alakangas et al. 2016, s. 73.) Yleisesti ottaen pienemmät lämpö- ja voimalaitokset ovat tarkempia palakoosta, kun taas suuremmissa laitoksissa myös suurempien partikkelien käsittely onnistuu ongelmitta, johtuen muun muassa käsittelylaitteistojen suuremmasta koosta.

3.3 Tuhkapitoisuuden vaikutukset

Tuhkapitoisuudella tarkoitetaan sitä epäorgaanista osuutta polttoaineesta, joka jää jäljelle poltettaessa polttoainenäyte täydellisesti hapettavassa ilmakehässä. Tuhkapitoisuus alentaa hakkeen tehollista lämpöarvoa samoin kuin kosteus, mutta vaikutus on huomattavasti pienempi, koska tuhkapitoisuus on vain murto-osa verrattuna hakkeen kosteuspitoisuuteen. Esimerkiksi kuusen tuhkapitoisuus rungon ja oksien puuaineessa on 0,30...0,63 %, kuorta sisältävän oksamassan 1,9 % ja kuoren 3,0 % (Alakangas et al. 2016, s. 74). Näin ollen kuoren osuus hakkeessa vaikuttaa hakkeen tuhkapitoisuuteen selvästi.

Muut tuhkan vaikutukset laitoksien toimintaan liittyvät useimmiten kattilan likaantumiseen, jota aiheuttaa muun muassa tuhkan sulamiskäyttäytyminen. Tuhkan sulamiskäyttäytymisellä tarkoitetaan tuhkan muodonmuutoksia lämpötilaa nostettaessa. Tuhkan sulamiskäyttäytymiseen vaikuttavat tuhkan koostumus, polttolaitteet ja poltto-olot. Tuhkan

sulaminen voi estää palamisilman kulkeutumista tai aiheuttaa sintraantumista, eli tuhka-hiukkasten yhteen tarttumista, mikä voi aiheuttaa tukkeumia kattilassa. (Alakangas et al. 2016, s. 75.)

4 NÄYTTEENOTTOMENETELMÄT

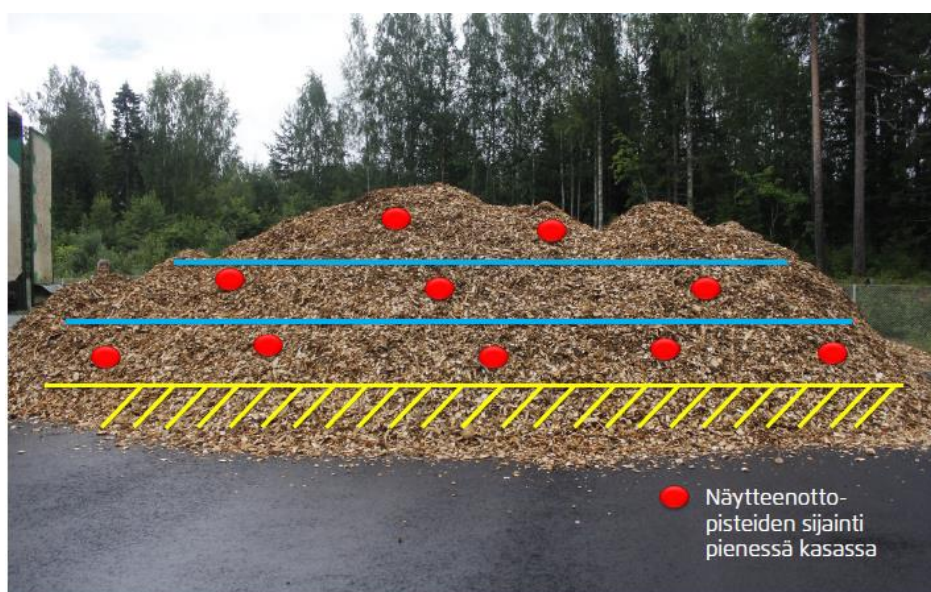
Näytteenotolla on tarkoitus saada polttoaine-erästä edustava näyte, millä tarkoitetaan, että näytteen tulisi olla halutuilta ominaisuuksiltaan samanlainen verrattuna erään josta näyte otetaan. Edustavalla näytteenotolla pyritään pienentämään sekä systemaattista, että satunnaista virhettä (Alakangas & Impola, 2013, s. 28). Edustavan näytteen saaminen on tärkeää, sillä mittauslaitteiston koko yleensä määrittää suurimman mahdollisen näyte-erän, joka on yleensä tilavuudeltaan hyvin pieni (litroja) verrattuna kuorman tilavuuteen (ajoneuvoyhdistelmä jopa 160 m³). Ensisijainen näytteenottopaikka on polttoaineen luovutuspaikka, eli käytännössä vastaanottoasema. Liikkuva, putoava polttoainevirta on luotettavin paikka edustavan näytteen saamiseen (Alakangas & Impola, 2013, s. 29). Näytteenotto voi perustua manuaaliseen tai koneelliseen näytteenottoon. Lisäksi voidaan käyttää jatkuvaa mittausta suoraan materiaalivirrasta, jolloin näyte-erästä aiheutuvat ongelmat saadaan poistettua.

4.1 Manuaalinen näytteenotto

Manuaaliseen eli käsin tapahtuvaan näytteenottoon perustuvat yhä useimpien voimalaitoksien polttoaineen laadunvarmistus sekä hinnoittelu. Yleisemmin näytteet otetaan kuorman purkamisen yhteydessä putoavasta polttoainevirrasta. Näyte voidaan ottaa myös kuormakohtaisesta polttoainekasasta, vastaanottotaskusta tai polttoainekentältä. Suoraan kuljetinjärjestelmistä manuaalinen näytteenotto on jatkuvaan käyttöön liian työläs, sillä näytteenottaminen vaatii aina kuljettimen pysäyttämisen. (Alakangas & Impola, 2013, s. 31.)

Manuaalisessa näytteenotossa, näytteenotto tapahtuu pitkävärtisellä näytteenotokauhalla, jonka suuaukon läpimitta on vähintään 2,5 kertaa nimellisesti suurin palakoko. Manuaalisessa näytteenotossa on tärkeää saada riittävä määrä yksittäisnäytteitä tasaisesti kuorman eri osista. Näytteitä tulee ottaa vähintään kaksi yksittäisnäytettä jokaista 50 irtom³ polttoainetta kohden. Esimerkiksi suoraan kuormasta putoavasta polttoainevirrasta näytettä otettaessa tulee huomioida näytteenotto myös kuorman leveyssuunnassa sekä kuorman ensimmäisistä ja viimeisistä osista tulee näytteenottoa välttää. Otettaessa näytettä polttoainakentältä kuormakohtaisesta kasasta tulee yksittäisnäytteet ottaa tasaisesti

koko kasan alueelta. Myös kasan korkeussuunnassa täytyy näytteiden tasaisuus varmistaa, sillä kasaa purkaessa ovat karkeimmat palat valuneet kasan alareunoille ja hienoin jäänyt kasan päälle. Näytteet tulisi myös ottaa pintakerroksen alta. (Alakangas & Impola, 2013, s. 31...32.) Kuvassa 3 on esitetty esimerkki näytteenottoaikoista pienestä hakekastasta.



Kuva 3. Esimerkki hakkeen näytteenottoaikoista pienestä kasasta (Alakangas & Impola, 2013, s. 33).

4.2 Koneellinen näytteenotto

Koneellisessa näytteenotossa pyritään yksittäisnäyte ottamaan polttoainevirran koko poikkileikkauksesta. Näytteenotto voidaan toteuttaa esimerkiksi leikkaamalla näytteenosa koko polttoainevirran leveydeltä suoraan kuljettimelta tai kuljettimen päästä puotavan polttoainevirran poikki liikkuvan näytteenottolaatikon avulla. Näytteenottimen halkaisijan täytyy olla vähintään 2,5 kertaa hakkeen suurin nimellinen palakoko molemmissa tapauksissa. (Alakangas & Impola, 2013, s. 30).

Koneellisessa näytteenotossa yleensä, suurista yksittäisnäytteiden tilavuuksista johtuen, on näytteenottojärjestelmään suunniteltu näytteiden murskaus-, sekoitus- ja jakolaitteet. Näiden laitteiden avulla voidaan muodostaa suhteellisen pieni kuormakohtainen näyte,

joka voidaan analysoida laboratoriossa. Eri toimittajien ja polttoainelaatujen välissä, täytyy näytteenotin sekä näytteenkäsittelylaitteistot puhdistaa. Lisäksi on varmistettava, että koko kerätty erä siirtyy näytteeseen, mukaan lukien hienoaines ja ylisuuret kappaleet. Käytettäessä koneellista näytteenottoa, täytyy niiden luotettavuus testata lähinnä systeemaattisten virheiden poistamiseksi. Mikäli koneellista näytteenottoa käytetään polttoaineen hinnoittelun perusteena, täytyy eri osapuolten hyväksyä sen käyttöönottoaminen. (Alakangas & Impola, 2013, s. 30...31.)

4.3 Jatkuva mittaus materiaalivirrasta

Jatkuvaa mittausta materiaalivirrasta, eli online -mittausta käytetään lämpö- ja voimalaitoksissa yleensä mittaamaan polttoainevirran ominaisuuksia ennen palotilaan syöttämistä. Näin ollen saadaan tarkka reaaliaikainen tieto polttoaineen ominaisuuksista, jonka avulla polttoprosessia voidaan säätää.

Online-mittaus voidaan suorittaa asettamalla mittalaitteisto suoraan kuljetinhihnan yhteyteen, esimerkiksi hihnan yläpuolelle. Online-mittauksen etu manuaaliseen tai koneelliseen näytteenottoon on koko materiaalivirran mittaaminen, jolloin edellä mainittujen näytteenottotapojen näytteiden edustavuusongelmat jäävät pois. Vaatimuksina online -mittauksella on riittävän nopea ja tarkka mittaus, jotta polttoainevirran muutoksiin voidaan reagoida riittävän nopeasti.

Jatkuvan mittauksen ja koneellisen näytteenoton yhdistelmässä otetaan osa polttoainevirrasta sivuun, joka johdetaan omaa kuljetinta pitkin mittalaitteistolle, jonka jälkeen mitattu sivuvirta palautetaan päävirtaan. Tällaisilla mittausjärjestelyillä täytyy varmistaa mittauksen riittävä nopeus, jotta prosessia voidaan ohjata sen perusteella (Korpilahti & Melkas, 2010, s. 17). Kyseistä järjestelmää mitoitettaessa on huolehdittava riittävän suuresta mitattavasta virrasta, jotta polttoainevirrasta saadaan riittävän edustava osuus mitattavaksi.

5 METSÄHAKKEEN KOSTEUDEN MITTAUSMENETELMÄT

Metsähakkeen energiasisältöön perustuvassa hinnoittelussa, on kosteuden määrittämiseen käytetty SFS-EN ISO 18134-2 -standardin mukaista uunikuivausmenetelmää. Tämä mittaussuunnitelma suurille polttoaine-erille on kuitenkin hyvin työläs ja paljon aikaa vievä. Uunikuivausmenetelmässä näytteitä (näytteen koko 300 g) kuivatetaan 105 °C:ssa uunissa, kunnes näytteen massa ei enää muutu (SFS-EN ISO 18134-2, 2017, s. 7). Useimmiten 16 tunnin kuivausaika on riittävä (Alakangas et al. 2016, s. 26). Näytteet punnitaan ennen ja jälkeen kuivauksen ja näiden mitattujen massojen avulla saadaan määritettyä näytteen kosteuspuhtaus. Ongelmana uunikuivausmenetelmässä on näytteiden mahdolliset ongelmat edustavuudessa sekä mittauksen pitkä kesto, joka riippuu muun muassa näytteen palajakaumasta, mutta voi kestää jopa vuorokauden (Korpilahti & Melkas, 2010, s. 5). Tästä johtuen hakkeen, sekä muiden biopolttoaineiden, kosteuden mittaamista on viime aikoina tutkittu paljon, nopean ja tarkan sekä luotettavan mittausmenetelmän löytämiseksi (Järvinen et al. 2008, s. 4).

Erilaisia mittausmenetelmiä on useita, joilla on omat vahvuudet ja haasteensa. Suurimmat ongelmat ovat eri puulajien sekä puun sisäiset ominaisuuksien vaihtelut, mikä aiheuttaa kalibroinnin tarpeen eri puulajeille ja haketyypeille, sekä mahdollisen jäisen hakkeen aiheuttamat ongelmat. Tässä kandidaatintyössä perehdytään jatkuvaan mittaukseen soveltuviin mittausmenetelmiin.

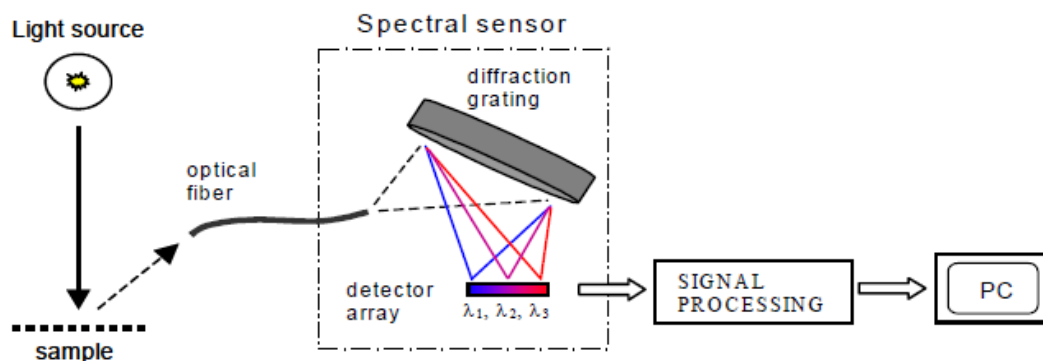
Erilaisia mittausmenetelmiä jatkuvaan mittaamiseen ovat muun muassa optiset menetelmät, mikroaaltomenetelmä sekä radiometriset menetelmät. Lisäksi kosteuden määrittämisessä voidaan käyttää polttoaineen massaan, tilavuuteen sekä kuivapainoon perustuvaa menetelmää. Tästä menetelmästä käytetään myöhemmin nimitystä tilavuuspainoon perustuvat menetelmät.

5.1 Optiset menetelmät

Optisilla menetelmillä tarkoitetaan pääasiassa infrapunaan perustuvia mittausmenetelmiä. Erityisesti lähi-infrapunaan (NIR) perustuvia mittaustekniikoita on kehitetty paljon.

Mittaus perustuu tiettyjen aallonpituuksien voimakkaaseen absorptioon kosteuden vaikutuksesta. (Korpilahti & Melkas, 2010, s. 10.) NIR-alueen aallonpituudet ovat 700...2500 nm. Vedellä on kyseisellä aallonpituusalueella kaksi huomattavaa absorptiokaistaa aallonpituuksilla 1445 nm ja 1950 nm. (Sikanen et al. 2016, s. 36.)

Tyypillisesti NIR -mittaus toteutetaan mittaamalla 2...8 aallonpituutta, jossa yksinkertaisimmillaan yhdellä mitataan veden absorptiokaistaa, minkä lisäksi absorptiokaistan molemmiin puolin mitataan valittuja kaistoja sironnan aiheuttaman häiriön kompensointiin (Järvinen et al. 2007, s. 17). Kyseisellä mittaustavalla voidaan mitata korkeintaan 30...40 %:n kosteuspitoisuuksia (Sikanen et al. 2016, s. 37). Korkeampien kosteuspitoisuuksien mittaamiseksi vaaditaan useampien kaistojen mittaamista sekä kehittyneitä mallinnus- ja kalibrointimenetelmiä (Järvinen et al. 2007, s. 19). Useampien kaistojen samanaikainen mittaaminen on mahdollista rividetektoreiden avulla, joilla voidaan mitata jopa 512 aallonpituutta samanaikaisesti (Korpilahti & Melkas, 2010, s. 10). Rividetektorin toimintaperiaate on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4. Rividetektorin toimintaperiaate (Järvinen et al. 2007, s. 19)

NIR-menetelmän etuina ovat mittaustureiden nopea vasteaika, eli mittaustieto saadaan välitettyä nopeasti, eikä lisämittauksia esimerkiksi tiheydelle tarvita (Sikanen et al. 2016, s. 36). Lisäksi NIR-menetelmällä voidaan jossain määrin mitata myös jäistä materiaalia. Jäisen materiaalin mittaaminen vaatii vähintään erillisen lämpötilamittauksen ja kalibroinnin. (Korpilahti & Melkas, 2010, s. 10, 19.) NIR-menetelmän suurin haaste on mittauksen pieni läpäisevyys (0,1...1 mm), joten kosteustietoa saadaan vain materiaalin pin-

nalta (Sikanen et al. 2016, s. 36). Näin ollen mitattavan materiaalin kosteusjakauman tulisi olla mahdollisimman tasainen, jonka saavuttaminen metsähakkeella ei ole aina käytännössä mahdollista.

Tunkeutumissyvyyttä voidaan kasvattaa jopa 1 cm:n kehittämällä mittarin optiikkaa interaktanssiin perustuen. (Järvinen et al. 2007, s. 78). Interaktanssissa kohteen valaisu ja havainnointi kohdistetaan pintaan pienen etäisyyden päähän toisistaan. Näin mittauksen pintaheijastuksen vaikutus saadaan poistettua ja valaisu- ja havainnointikohtien etäisyyksillä määritetään haluttu tunkeutumissyvyys. Interaktanssimenetelmää on käytetty muun muassa hedelmien sisäisen laadun mittauksissa, mutta käyttö hakkeelle vaatisi kalibrointimallien tekemistä eri puulajeille ja mittalaitteille erikseen. (Järvinen et al. 2007, s. 66...67.)

Esimerkkinä NIR-menetelmästä hakkeen mittaukseen on norjalaisen yrityksen Prediktorin valmistama Spektron Biomass. Laitteisto on esitetty kuvassa 5. Kuvan 5 laitteisto perustuu yksittäisen näytteen analysointiin, mutta valmistajan mukaan laitteisto voidaan asentaa myös kuljetinhihnalle (Prediktor, 2018).



Kuva 5. Prediktorin valmistama Spektron Biomass (Prediktor, 2018).

5.2 Mikroaaltomenetelmä

Mikroaaltomenetelmä perustuu materiaalin dielektriivisiin eli sähköä eristäviin ominaisuuksiin ja siinä mitataan materiaalin dielektriivisyysvakio. Dielektriivisyysvakiolla tarkoitetaan, kuinka suureksi kondensaattorin kapasiteetti kasvaa ilmatäytteiseen kondensaattoriin verrattuna, mikäli sen levyjen väli täytettäisiin tutkittavalla aineella. Dielektriivisyysvakio vedelle on 80 ja kuivan puun 2,5...6,8. Mittauksessa mitataan aaltojen vaihemuutosta, taajuuden tai etenemisnopeuden muutosta tai vaihesiirtoa. Jäisen materiaalin mittaaminen mikroaaltomenetelmällä ei onnistu, sillä jään ja puun dielektriivisyysvakiot ovat liian lähellä toisiaan. (Korpilahti & Melkas, 2010, s. 10...11.)

Mikroaaltomenetelmällä pyritään läpäisymittaukseen. Läpäisyvyvyys riippuu käytetystä taajuudesta, ja se on tuoreelle puulle 5-10 cm. Mittausalue on 20 prosentista ylöspäin. Mikroaaltomenetelmä vaatii kalibroinnin mitattavalle materiaalille ja esimerkiksi suoraan kuljetinhihnalta tapahtuvaan mittaukseen tarvitaan lisäksi mittaus materiaalityön paksuudesta, jotta mittaustuloksia voidaan tulkita oikein. (Korpilahti & Melkas, 2010, s. 11.)

Esimerkkinä mikroaaltomenetelmällä toimivasta kaupallisesta sovelluksesta on saksalaisen yrityksen valmistama Micropolar Moist LB 568 -kosteusmittausjärjestelmä. Kyseinen laitteisto voidaan asentaa suoraan kuljetinhihnalle tai kuilun yhteyteen (Berthold, 2018). Micropolar Moist on esitetty kuvassa 6.



Kuva 6. Bertholdin MicroPolar Moist LB 568 (Berthold, 2018).

5.3 Radiometriset menetelmät

Radiometriset eli läpivalaisevat menetelmät hyödyntävät röntgen- tai gammasäteilyä. Säteilyn avulla mitataan kohteen tiheyttä. Mitattavan aineen tiheys sekä tiheysvaihtelut tulee tuntea, jotta kosteuden ja materiaalin aiheuttaman säteilyn vaimentuminen voidaan erottaa toisistaan. Röntgen- sekä gammasäteily ovat molemmat ionisoivaa sähkömagneettista säteilyä, joten laitteistojen sijoituksissa sekä rakenteissa on otettava huomioon säteilyturvallisuuden varmistaminen. (Korpilahti & Melkas, 2010, s. 12.)

Gammasäteilyyn perustuvilla mittareilla voidaan mitata myös jäistä polttoainetta. Gammamittauksessa tarvitsee lisäksi mitata polttoainepatjan paksuus sekä laitteisto on kalibroitava materiaalilajin ja palakoon mukaan. (Korpilahti & Melkas, 2010, s. 13.) Näin ollen materiaalintunnistus on tehtävä ennen gammamittauksen suorittamista, jotta oikeaa kalibroitimallia voidaan käyttää.

Esimerkkinä röntgensäteilyä käyttävästä polttoaineen laatua mittaavasta laitteesta on mikkililäisen Inray OY Ltd. yrityksen Inray Fuel -laitteisto. Kyseisellä laitteistolla voidaan mitata kaikista kiinteistä biopolttoaineista kosteus- sekä vierasainepitoisuudet sekä energiasisältö suoraan materiaalivirrasta. Kuvassa 7 on näytetty Inray Fuel laitteisto sijoitettuna kuljettimen yläpuolelle.



Kuva 7. Inray Fuel -mittalaitteisto (Inray, 2018).

5.4 Tilavuuspainoon perustuvat menetelmät

Tilavuuspainoon perustuvassa menetelmässä kosteus lasketaan massan ja tilavuuden avulla. Näyte-erästä mitataan massa sekä tilavuus, joiden avulla voidaan määrittää näytteen tuoretilavuuspaino. Lisäksi tarvitaan materiaalin kuivatuoretilavuuspaino eli kuivapaino tai kuivatuoretiheys, johon tuoretilavuuspainoa verrataan. Näin saadaan määritettyä näytteessä oleva veden määrä ja sitä kautta kosteuspitoisuus. Tilavuuspainon mittaus suoraan materiaalivirrasta onnistuu mittaamalla massa hihnavaa'alla ja tilavuus lasermittauksella. (Korpilahti & Melkas, 2010, s. 16...17)

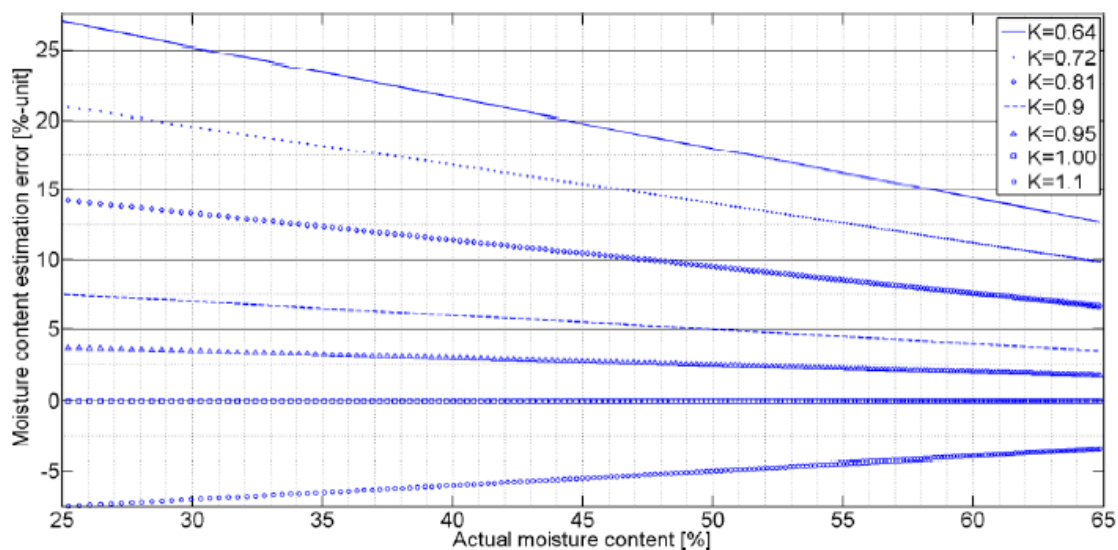
Tilavuuspainoon perustuvan menetelmän haasteena on kattavien kuivapainotietojen puute. Kuivapainot tulisi määrittää puulajeittain sekä puunosittain eli hakelaaduittain, jotta eri hakelaatujen kuivapainojen suuruudet ja vaihtelut saadaan selvitettyä. Kuivapainon arvoina voitaisiin käyttää keskiarvoistettuja kuivapainon arvoja eri materiaaleille. Mitattavan materiaalin tiheysvaihtelu on mukana myös muissakin kosteudenmääritysmenetelmissä, joten tilavuuspainoon perustuva menetelmä ei ole tämän suhteen muita menetelmiä epätarkempi. (Korpilahti & Melkas, 2010, s. 16, 19.)

Puun kuivatuoretiheys vaihtelee puulajeittain sekä puun sisällä voimakkaasti. Puulajien sisäistä vaihtelua tapahtuu sekä puun säteen että puun pituussuunnassa. Lisäksi puun kuivatuoretiheyteen vaikuttavat perintö- sekä ympäristötekijät. (Marjomaa & Uurtamo, 1997, s. 6...8.) Taulukossa 3 on esitetty kuivatuoretiheysvaihtelun suuruuksia männylle, kuuselle ja koivulle. Taulukon 3 keskimääräisten rungon tiheyksien määrittämiseen käytetty aineisto on peräisin vuodelta 1979 ja on liian pieni, havupuilla n. 1500 runkoa ja koivulla vain 130 runkoa, jotta taulukon arvoja voitaisiin käyttää kuivatuoretiheyden arvoina suoraan (Marjomaa & Uurtamo, 1997, s. 8). Taulukosta 3 voidaan kuitenkin huomata merkittävä eroavaisuus etenkin havupuiden osalta rungon ja oksien tiheyksien välillä. Näin ollen materiaali tulisi tunnistaa myös haketyypin mukaan, tilavuuspainoon perustuvan menetelmän tarkkuuden parantamiseksi.

Taulukko 3. Männy, kuusen ja koivun kuivatuoretiheyksien vaihtelu (Marjomaa & Uurtamo, 1997, s. 6...8).

Puulaji	Mänty	Kuusi	Koivu
Keskimääräinen rungon tiheys	403 kg/m ³	391 kg/m ³	484 kg/m ³
Säteen suunnassa	Suurimmillaan 10 % suhteellisella korkeudella, ytimessä tiheys jopa 100 kg/m ³ suurempi pintaan verrattuna.	Epäsäännöllisempi kuin männyllä. Ytimestä pintaan päin mennessä. Tiheys ensin pienenee, mutta lähempänä pintaa kasvaa jälleen	Samansuuntainen kuin männyllä.
Pituussuunnassa	Tiheysero tyvessä jopa 20 % suurempi kuin latvassa.	Tiheys pienenee ensin tyvestä latvaan päin, mutta kasvaa jälleen latvaa lähestyessä.	Samansuuntainen kuin männyllä. Rungon 25 % suhteellisella korkeudella vastaa parhaiten rungon keskitiheyttä.
Kuivatuoretiheyden vaihtelu alkuperän mukaan	> 10 %	> 10 %	> 10 %
Oksapuun kuivatuoretiheys	750 kg/m ³	900 kg/m ³	Ero runkopuuhun pienempi kuin havupuilla
Kuoren/kaarnan kuivatuoretiheys	Keskimäärin 305 kg/m ³	Kaarna: 360 kg/m ³ , kuori: 409 kg/m ³ .	Kuoren tiheys jonkin verran puunneksen tiheyttä suurempi.

Tilavuuspainoon perustuva menetelmä on yksinkertainen kosteudenmittausmenetelmä, jossa mittauksen virhe syntyy pääasiassa kiintotilavuuden mittaamisesta sekä erosta käytetyn ja todellisen kuivapainon välillä. Sikanen et al. ovat tutkimuksessaan tutkineet tilavuuden sekä kuivapainon aiheuttamien virheiden suuruutta kosteuspitoisuuden tarkkuuteen. Tutkimus tehtiin hakekuormien kosteuspitoisuuden arviontiin kuormasta (Sikanen et al. 2016, s. 41...42). Kosteuspitoisuuden tarkkuus tilavuuspainoon perustuvalla menetelmällä on esitetty kuvassa 8.



Kuva 8. Kosteuspitoisuuden arvioinnin virhe tilavuuspainoon perustuvalla menetelmällä. Vaaka-akselilla todellinen kosteuspitoisuus ja pystyakselilla kosteuspitoisuuden arvioinnin virhe. (Sikanen et al. 2016, s. 42.)

Kuvassa 8 kosteuspitoisuuden virhe on esitetty eri K-arvoilla. K-arvot ovat laskettu yhtälöllä:

$$K = \frac{V_{mitattu}}{V_{todellinen}} \cdot \frac{\delta_{käytetty}}{\delta_{todellinen}} \quad (1)$$

jossa $V_{mitattu}$ on mitattu tilavuus, $V_{todellinen}$ on todellinen tilavuus, $\delta_{käytetty}$ on käytetty kuivapainon arvo ja $\delta_{todellinen}$ todellinen kuivapainon arvo (Sikanen et al. 2016, s. 42).

Mikäli materiaalin kiintotilavuus voidaan määrittää tarkasti, mikä näytteestä tai materiaalivirrasta on todennäköisesti helpompaa kuin koko kuormasta, jää yhtälöstä (1) jäljelle vain kuivapainon arvioinnista syntyvä virhe. Näin voidaan arvioida, kuinka tarkkaan materiaalin kuivapaino tarvitsee määrittää, jotta päästään haluttuun kosteuspitoisuuden tarkkuuteen. Esimerkiksi halutessa alle $\pm 5\%$:n virhe kosteuspitoisuuteen koko kosteusalueella, tulisi kuvan 8 mukaan kuivapaino määrittää n. 5% :n tarkkuudella (K-arvo 0,95...1,05). Kuten kuvasta 8 huomataan, pienenee mittauksen virhe suuremmilla todellisilla kosteuspitoisuuksilla. Näin ollen esimerkiksi suuremmilla laitoksilla, jotka voivat käyttää kosteampaakin polttoainetta, ei kuivapainon tarkkuus tarvitse olla yhtä tarkkaan määritetty, päästäessä riittävään mittaustarkkuuteen.

5.5 Yhteenveto eri mittausten menetelmistä

Eri mittausten menetelmillä on omat etunsa ja haasteensa. Lähes kaikille menetelmille vaaditaan materiaalin tunnistusta oikeiden kalibrointimallien käyttämiseksi. Materiaalin tunnistuksen keinoja ovat esimerkiksi: RGB-kuva-analyysi, laserskannaus ja kuvamittaus. Myös jäisen hakkeen mittaaminen vaatii omat kalibroinnit laitteistoille, joten tieto mitattavan hakkeen lämpötilasta on usein tarpeellista. (Korpilahti & Melkas, 2010, s. 17.)

Tässä kandidaatintyössä esitetyt mittausten menetelmät voidaan käyttää jatkuvaan mittaukseen suoraan materiaalivirrasta. Eri mittausten menetelmien vertailu on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Yhteenveto eri mittausten menetelmistä.

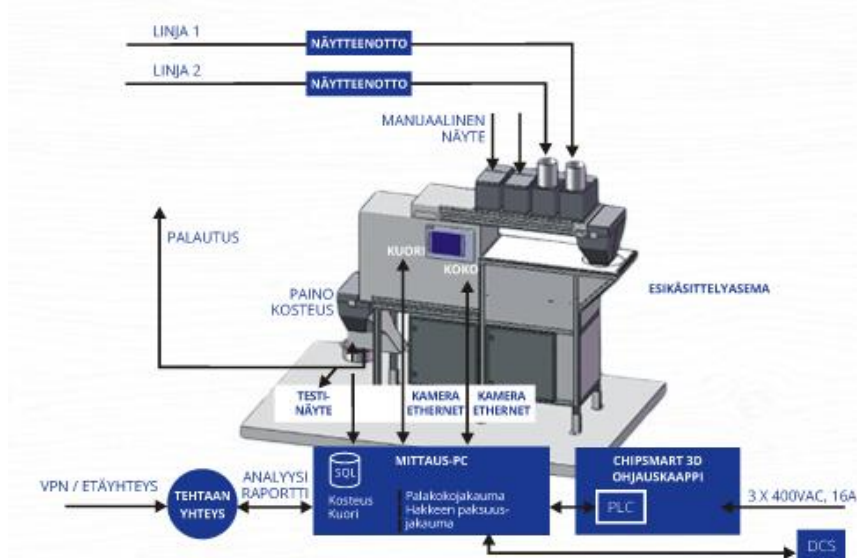
Mittausten menetelmä	Optiset menetelmä	Mikroaalto – menetelmä	Radiometriset menetelmät	Tilavuuspainoon perustuva menetelmä
Mittaus perustuu	Lyhytaaltoisen infrapunaa absorptioon veden vaikutuksesta.	Dielektrii-visiivisyysvakion mittaamiseen	Röntgen- tai gamma- säteily vaimenemiseen mitattavassa materiaalissa	Massan ja tilavuuden avulla saatua tuoretilavuuspainoa verrataan kuivapainoon.
Mittausalue	30...40 %	> 20 %	Koko kosteus-alue.	Koko kosteus-alue.
Läpäisevyys	0,1...1 mm	5...10 cm	Koko patjan paksuudelta	Koko patjan paksuudelta.
Jäisen materiaalin mittaaminen	Kyllä	Ei	Kyllä	Kyllä
Kalibroinnin tarve	Vaaditaan korkeammille kosteuspitoisuuksille	Vaaditaan eri hakelaatujen välille	Vaaditaan eri hakelaatujen välille.	Vaaditaan eri hakelaatujen välille.
Haasteet	Pieni läpäisevyys	Kalibrointi sekä soveltumattomuus jäiselle hakkeelle.	Materiaalin tunnistus ja kalibrointimallin valinta	Kuivapainotietojen puute ja materiaalin tunnistaminen.
Kaupallinen sovellus	Prediktor Spektion Biomass	Berthold Micropolar Moist LB 568	Inray Fuel	

6 TEKNOSAVON CHIPSMART 3D – HAKEMITTARIN SOVELTUVUUS VOIMALAITOKSIIN

6.1 Laitteiston esittely

Teknosavon kehittämä ChipSmart 3D -hakemittaus järjestelmä on pääasiassa tarkoitettu mittaamaan selluhakkeen laatua ja mittoja. ChipSmart 3D:llä voidaan hakkeesta mitata hakkeen palakokojakauma, hienoaineksen määrä, massa sekä kiintotilavuus. Lisäksi voidaan mitata hakkeen kuoripitoisuutta ja pintakosteutta. Hakkeen palakokojakauman mittauksessa jokainen hakepala mitataan erikseen. Jokaisesta hakepalasta mitataan paksuus, pituus sekä leveys. Laitteiston automaattinen näytteenotin ottaa pähakevirrasta näytteen joka voidaan mittauksen jälkeen palauttaa päävirtaan. ChipSmart 3D -laitteiston mittauskapasiteetti on 8 litraa / 5 minuuttia. (Teknosavo, 2018.)

Hakenäytteen saapuessa laitteistoon, ensimmäiseksi näytteestä erotellaan ylipitkät kappaleet, jonka jälkeen tapahtuu hienoaineksen erottelu näytteestä. Hienoaineksen erottelun jälkeen hakepalat levitetään kuljetinhihnalle siten, että mikään hakepala ei häiritse toisen palan mittaamista, jonka jälkeen jokaisen hakepalan paksuus, pituus sekä leveys mitataan erikseen. Samalla voidaan mitata tarvittaessa hakkeen kuoripitoisuus. Lopuksi hakepalat johdetaan näytteen punnitukseen, johon palautetaan myös aiemmin erotellut ylipitkät kappaleet sekä hienoaines. Pintakosteuden mittaus tapahtuu punnitusastiaan tippuvien hakepalojen pintakerroksesta. Kuvassa 9 on esitetty periaatekuva ChipSmart 3D -laitteistosta.



Kuva 9. Periaatekuva ChipSmart 3D -laitteistosta (Teknosavo, 2018).

6.2 Soveltuvuus voimalaitoksiin ja kehityskohteet

ChipSmart 3D -laitteisto soveltuu joltain osin voimalaitoksien tarpeisiin sellaisenaan, kuten palakokojakauman mittauksen sekä tuhkapitoisuuden arvioimiseksi hakkeesta. Tuhkapitoisuutta voidaan arvioida kuoripitoisuuden mittauksen avulla, sillä kuoren tuhkapitoisuus on huomattavasti puuaineksen tuhkapitoisuutta korkeampi. Samoin palakokojakauman mittaus voidaan laitteistolla toteuttaa polttihakkeen laatuluokittelun mukaisesti, joka on esitetty taulukossa 2.

Suurimmat haasteet ChipSmart 3D -laitteistolla voimalaitoskäyttöön on kosteuspitoisuuden mittauksessa. Laitteistoon sisältyvä pintakosteuden mittaus soveltuu jossain määrin voimalaitosprosessin ohjaukseen, etenkin jos hakkeen kosteusjakauma voidaan pitää mahdollisimman tasaisena. Hinnoittelun perusteeksi pelkkä pintakosteuden mittaus ei riitä.

Kosteuspitoisuuden tarkempaan ja luotettavampaan mittaukseen vaatii ChipSmart 3D -laitteisto jatkokehittelyä. Yksittäisen hakepalan mittauksen johdosta, saadaan hakenäytteen kiintotilavuus määritettyä tarkasti. Näin ollen laitteiston kehitys voitaisiin suunnata kohti tilavuuspainoon perustuvaa kosteuden määrittystä. Etuina tilavuuspainoon perustuvassa menetelmässä on, että sen toteuttaminen kyseisellä laitteistolla olisi käytännössä

mahdollista sellaisenaan. Lisäinvestointeja mittalaitteisiin ei tarvittaisi. Haasteena on määrittää riittävän tarkat kuivapainon arvot eri haketyypeille sekä materiaalin tunnistus eri haketyyppien välille. Kuivapainon arvojen selvitykseen tarvittaisiin laajoja koeajoja eri haketyypeille ja samanaikaisesti määrittää näytteiden vertailukosteus esimerkiksi uunikuivausmenetelmällä.

Ratkaisuksi materiaalin tunnistuksen ongelmaan eri haketyypeille, voitaisiin selvittää Teknosavon ProfiSmart -mittalaitteen soveltuvuutta. Kyseinen mittalaitteisto mittaa suoraan materiaalivirrasta puuaineksen määrää kuoren joukosta. Sopivalla kalibroinnilla samaa menetelmää voitaisiin käyttää materiaalin tunnistuksessa eri haketyypeille (Korpilahti & Melkas, 2010, s. 14...15).

7 YHTEENVETO

Tässä kandidaatintyössä käsiteltiin metsähakkeen mittausten menetelmiä voimalaitoksissa. Työ tehtiin yhteistyössä Teknosavo OY:n kanssa. Työssä käsiteltiin metsähakkeen laatuvaatimuksia palakoon, kosteuspitoisuuden ja tuhkapitoisuuden osalta, sekä käsiteltiin näiden hakkeen laatuominaisuuksien vaikutuksia voimalaitosprosessiin. Mittausmenetelmissä keskityttiin kosteuden mittausten menetelmiin, sillä kosteus on hakkeen tärkein yksittäinen laatutekijä sen vaikuttaessa muun muassa suoraan hakkeesta maksettavaan hintaan. Erilaisia mittausten menetelmistä käsiteltiin optisia menetelmiä, mikroaaltomenetelmää, radiometriä menetelmiä sekä tilavuuspainoon perustuvaa menetelmää. Lisäksi tarkasteltiin Teknosavon selluhakkeelle kehitellyn mittalaitteen soveltuvuutta voimalaitoskäyttöön. Työn tavoitteena oli selvittää mitä erilaisia suoraan materiaalivirrasta käytettäviä kosteuden mittausten menetelmiä on käytettävissä sekä arvioida ja esittää kehityskohteita Teknosavon laitteiston kehittämiseen voimalaitosten tarpeisiin.

Hakkeen kosteuspitoisuus vaikuttaa suoraan hakkeen teholliseen lämpöarvoon eli energiasältöön. Hakkeen hinta määräytyy pääasiassa Suomessa sen energiasisällön mukaan, joten kosteustietoa tarvitaan pääsääntöisesti aina. Lisäksi kosteudella on monia vaikutuksia myös voimalaitosprosessin toimintaan, kuten esimerkiksi kattilasta saatavaan tehoon ja kattilan hyötysuhteeseen. Yleisesti edelleen käytössä oleva standardiin perustuva uunikuivausmenetelmä on tarkka, mutta ongelmana on sen työläs ja paljon aikaa vievä prosessi, jossa tuloksien saamisessa kestää yleensä jopa vuorokausi.

Suoraan materiaalivirrasta tapahtuvia nopeita mittausten menetelmiä on kehitelty viime vuosina useita. Ongelmana useimmissa on niiden tarve kalibroinneille eri puulajien sekä haketyyppien välillä. Lisäksi ongelmia aiheuttaa joissain menetelmissä jäisen hakkeen mittaaminen.

Optiset menetelmät hyödyntävät useimmiten lyhytaaltoista infrapunasäteilyä (NIR). NIR-menetelmän etuina on nopea vasteaika mittauksessa, mutta ongelmana on sen pin-

tamittauksen luonne. Kosteustieto saadaan vain mitattavan kohteen pinnalta. Tunkeutumisvyvyyttä voidaan kasvattaa, mutta se vaatii kehittyneiden kalibrointimallien määrittämistä sekä usean aallonpituuskaistan samanaikaista mittaamista.

Mikroaaltomenetelmässä mitataan mitattavan materiaalin dielektriivisyysvakiota. Puun ja veden dielektriivisyysvakiot ovat kaukana toisistaan, joten niiden osuudet voidaan erotella toisistaan. Jäiselle materiaalille mikroaaltomenetelmä ei sovellu, koska puun jään dielektriivisyysvakiot ovat liian lähellä toisiaan. Mikroaaltomenetelmä tarvitsee kalibroinnin eri haketyyppien välille.

Radiometrisissä eli läpivalaisevissa menetelmissä mitataan säteilyn vaimenemista mitattavan kohteen läpi. Säteily on esimerkiksi gamma- tai röntgensäteilyä. Mitattavan materiaalin sekä kosteuden aiheuttaman säteilyn vaimenemisen erottamiseksi, täytyy mitta-laitteisto kalibroida jokaiselle materiaalilajille erikseen. Lisäksi säteilyturvallisuus on otettava huomioon laitteiston rakenteissa ja sijoittelussa.

Tilavuuspainoon perustuvassa kosteuden mittaamenetelmässä verrataan, massan ja tilavuuden mittauksen avulla saatua, tuoretilavuuspainoa materiaalin kuivatuoretilavuuspainoon. Menetelmä on yksinkertainen, mutta haasteena on riittävien kuivatuoretiheystietojen puute. Puun kuivatuoretiheys vaihtelee pelkästään puun sisällä merkittävästi esimerkiksi rungon ja oksiston välillä.

Teknosavon selluhakkeen mittaajärjestelmä ChipSmart 3D -laitteisto soveltuu voimallaisien tarpeisiin joiltain osin, kuten palakoon sekä tuhkapitoisuuden mittaamiseen. Kosteuden mittaaminen ei ole riittävä, etenkin hakkeen hinnoittelun perusteeksi. Kehityskohteena olisi tilavuuspainoon perustuvan mittaamenetelmän kehittäminen, mikä vaatisi lisätutkimusta puun kuivatuoretiheyksien määrittämiseen sekä koeajoja uunikuivausmenetelmän rinnalla. Lisäksi materiaalintunnistusta tulisi selvittää esimerkiksi ProfiSmart -mittalaitteella.

LÄHDELUETTELO

Alakangas Eija, Impola Risto. 2013. Puupolttoaineiden laatuohje (VTT-M-07608-13). Helsinki.

Alakangas Eija, Hurskainen Markus, Laatikainen-Luntama Jaana, Korhonen Jaana. 2016. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. Espoo. Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT). ISBN 978-951-38-8419-2.

Berthold, 2018, Microwave Moisture Analyzer LB 567 / LB 568, [verkkosivusto]. [viitattu 23.04.2018]. Saatavissa: <https://www.berthold.com/en/pc/moisture-analyzer>

Bioenergianeuvoja, 2018, Puun kosteus. [verkkoartikkeli]. [viitattu 22.03.2018]. Saatavissa: <http://www.bioenergianeuvoja.fi/faktaa/puun-kosteus/>

Fyktman Martti, Impola Risto, Linna Veli. 2012. Kotimaista polttoainetta käyttävien 0,5...30 MW kattilalaitosten tekniset ratkaisut sekä palamisen hallinta. Jyväskylä. Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT).

Huttunen Riku. 2017. Valtioneuvoston selonteko kansallisesta energia- ja ilmastostrategiasta vuoteen 2030. Helsinki. Työ- ja elinkeinoministeriö. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 4/2017. ISBN 978-952-327-190-6. 119 s

Inray OY Ltd. 2018. Inray fuel – polttoaineen laadunmittaus. [verkkosivusto]. [viitattu 16.04.2018]. Saatavissa: <http://www.inray.fi/index-s.php?lang=fi&page=22>

Järvinen Timo, Malinen Jouko, Tiitta Markku, Teppola Pekka. 2007. State of art – selvitys puun kosteusmittauksista (VTT-R-01325-07). Jyväskylä. Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT).

Järvinen Timo, Siikanen Sami, Tiitta Markku, Tomppo Laura. 2008. Yhdistelmämittaus hakkeen kosteuden on-line-määrittämiseen loppuraportti (VTT-R-08121-08). Jyväskylä. Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT).

Korpilahti Antti, Melkas Timo. 2010. Kosteuden online-mittaus metsätähdehakkeesta. Helsinki. Metsäteho OY. Metsätehon raportti 213. ISSN 1796-2374

Marjomaa Jari, Uurtamo Kimmo. 1997. Puutavaran tilavuuspainon määrittäminen. Helsinki. Metsätehon raportti 7.

Prediktor, 2018, Spektron Biomass, [verkkosivusto]. [viitattu 23.04.2018]. Saatavissa: http://www.prediktor.no/instruments/products/instruments/spektron_biomass/

Raitila Jyrki, Virkkunen Matti, Heiskanen Veli-Pekka. 2014. Metsäpolttoaineiden varastoitavuus runkoina ja hakkeena sekä lämmöntuotantoon integroitu metsäpolttoaineen kuivaus (VTT-R-04524-14). Jyväskylä. Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT).

Rissanen Ville-Matti. 2016. Savukaasupesurilauhteen lämmön hyötykäyttö Vanajan voimalaitoksella. Diplomityö. Lappeenranta. Lappeenrannan teknillinen yliopisto.

SFS-EN ISO 17225-4. 2014. Kiinteät biopolttoaineet. Polttoaineen laatuvaatimukset ja -luokat. Osa 4: Luokiteltu puuhake. Helsinki. Suomen standardisoimisliitto. 24 s.

SFS-EN ISO 18134-2. 2017. Kiinteät biopolttoaineet. Kosteuspitoisuuden määrittäminen. Uunikuivausmenetelmä. Osa 2: Kokonaiskosteus. Yksinkertaistettu menetelmä. Helsinki. Suomen standardisoimisliitto. 17 s.

Sikanen Lauri, Korpinen Olli-Jussi, Tornberg Jouni, Saarentaus Timo, Leppänen Kaisa, Jahkonen Miina. 2016. Energy Biomass Supply Chain Concepts Including Terminals. Helsinki. Luonnonvarakeskus (Luke). ISBN 978-952-7205-08-2.

Teknosavo. 2018. Puuhakkeen laadunvalvonta. [verkkosivusto]. [viitattu 24.04.2018]. Saatavissa: <http://teknosavo.fi/puuhakkeen-laadunvalvonta.html>

.