



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

AUTOMAATTISEN NÄYT- TEENOTTIMEN TOIMINNAN TODENTAMINEN METSÄ- HAKKEILLE

TEKIJÄ: Teemu Rissanen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Ympäristötekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä(t) Teemu Rissanen			
Työn nimi Automaattisen näytteenottimen toiminnan todentaminen metsähakkeille			
Päiväys	22.5.2019	Sivumäärä/Liitteet	48/6
Ohjaaja(t) Yliopettaja Merja Tolvanen ja Lehtori Mikko Laasanen			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Prometec Tools Oy			
Tiivistelmä			
<p>Puupohjaisten polttoaineiden käyttö energiantuotannossa on lisääntynyt viime vuosina. Fossiilisten polttoaineiden käytön vähentyessä eteenkin erilaisten metsähakkeiden, kuten kokopuu- ja rankahakkeiden sekä metsätähdehakkeiden käyttö on voimakkaasti kasvanut. Metsähakkeiden laadunmäärityksen tärkeys kasvaa käytön myötä. Uusien entistä tarkempien voimalaitosprosessien optimoimiseksi on tärkeää määrittää poltettavan polttoaineen tarkka laatu ja sen sisältämä todellinen energia. Yleisesti latuun vaikuttavat polttoaineen kosteus, tehollinen lämpöarvo ja palakoko. Laadunmääritys tehdään toimitetuista polttoainekuormista manuaalisesti tai automaattisesti tehtävän näytteen perusteella. Näytteenoton merkitys on suuri, sillä se edustaa kokonaisuudessaan toimitettua polttoaine-erää.</p> <p>Tässä työssä tutustuttiin kirjallisuuden osalta metsähakkeiden laatuun vaikuttaviin tekijöihin sekä käytiin läpi näytteenoton nykykäytäntöä. Kirjallisuusosion lisäksi työssä suoritettiin koejakso Kajaanissa Renforsin Rannan yritysalueella Prometecin uudella automaattisella näytteenottimella. Automaattinen näytteenotin Q-robot on suunniteltu ottamaan standardin vaatimusten mukaisesti näytteitä kiinteistä biopolttoaineista suoraan polttoainekuormasta. Koejakson tarkoituksena oli todentaa Q-robotin toiminta eri metsähakkeille. Työssä kerättiin kaikkiaan 24 näyteparia näytteitä Kainuun Voimalle toimitetuista polttoainekuormista. Tutkittavia materiaaleja olivat kokopuu- ja rankahake, kantomurske ja metsätähdehake. Näytteenotot tehtiin ensin automaattisesti Q-robotilla ja sen jälkeen manuaalisesti purkupaikalla. Molemmat näytteenottotavat suoritettiin standardien mukaisesti. Näytepareista tehtiin Prometecin laboratoriossa kosteus- ja palakokovertailut.</p> <p>Kaikille kerätyille näytepareille tehtiin kosteusvertailut. Kosteusvaihtelua esiintyi kaikilla materiaaleilla molemmin puolin keskiarvoa, välillä automaattinen näyte oli hieman kosteampi ja välillä manuaalisesti otettu näyte oli kosteampi. Keskiarvillisesti kosteudet olivat hyvin lähellä toisiaan. Kokopuu- ja rankahakkeilla 11 näyteparin ero oli 0,6 %-yksikköä, kantomurskeilla 11 näyteparin ero -0,3 %-yksikköä ja metsätähdehakkeilla kahden näyteparin ero 0,05 -yksikköä. Palakokojakaumat seurasivat kosteuksia. Eroja ei juurikaan ilmennyt ja jakaumat olivat näyteparien kesken hyvin samanlaisia. Koejakson tuloksena voidaan todeta, että Q-robot toimii hyvin automaattisena näytteenottimena alueella toimiville yrityksille. Q-robotin avulla polttoainekuormista saadaan luotettavasti ja työturvallisesti näytteet ilman inhimillistä virhettä.</p>			
Avainsanat automaattinen näytteenotto, kokopuu- ja rankahake, metsähake, metsätähdehake, kosteusprosentti, palakoko manuaalinen näytteenotto, tehollinen lämpöarvo, energiavirhe, Q-robot, kantomurske, puupolttoaine			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Environmental Technology			
Author(s) Teemu Rissanen			
Title of Thesis Authentication of Automatic Sampler Operation for Forest Chips			
Date	22 May 2019	Pages/Appendices	48/6
Supervisor(s) Mrs Merja Tolvanen, Principal Lecturer and Mr Mikko Laasanen, Lecturer			
Client Organisation /Partners Prometec Tools Ltd			
<p>Abstract</p> <p>The use of wood-based fuels in energy production has increased in recent years. As the use of fossil fuels decreases, the use of various types of forest chips, such as whole wood chips and stem chips as well as forest residue, has increased dramatically. Generally, the fuel quality is affected by the humidity, the effective calorific value and the particle size of the fuel. The quality determination is done of a sample, taken either manually or automatically from the fuel load. The importance of sampling is high as it represents the whole batch of fuel delivered.</p> <p>Prometec Tools Ltd has designed an automatic sampler called Q robot to take automatically samples from wood-based fuels delivered by trucks. The purpose of the thesis was to study the factors influencing the quality of wood chips in literature and go through the current sampling practice in field. Thesis also included a practical research in Kajaani with Q robot. The purpose of the practical research was to verify the operation of the Q robot for different forest chips. In the practical research a total of 24 sample pairs of delivered fuel loads to Kainuun Voima powerplant were collected. The studied materials were whole wood chips and stem chips, stump wood chips and forest residue. Sampling was first done automatically by the Q robot and then manually in the unloading area. Both sampling methods were performed according to the standards. The sample pairs were subjected to moisture and particle size comparisons at Prometec's laboratory.</p> <p>Moisture content variation occurred on all materials on both sides of the average, sometimes the automatic sample was slightly more moist and sometimes the manually taken sample was more moist. On average, the moisture contents were really close to each other. For the whole wood chips and stem chips, the difference between 11 sample pairs was 0.6 %, for the stump wood chips, the difference between 11 sample pairs was -0.3 % and between two sample pairs of forest residue difference was 0.05 % in moisture. Particle size distribution differences were similar with the moisture contents. There were little differences and the distribution was very similar among the sample pairs.</p> <p>As a result of the whole practical research, the Q robot automated sampler can be verified working well for businesses in the area. Q robot collects samples reliably, safely and automatically from the fuel loads without human error.</p>			
<p>Keywords automatic sampling, manual sampling, whole wood chip, stem chip, forest residue, particle size</p>			
moisture content, effective calorific value, wood-based fuel, error in energy			

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	5
2	PUUPOLTTOAINE ENERGIANTUOTANNOSSA	6
2.1	Kohdelaitos Kainuun Voiman yhteistuotantolaitos.....	7
2.2	Polttoaineiden tyypillinen laadunvalvonta prosessi.....	8
3	METSÄHAKKEEN LAATUUN VAIKUTTAVIA TEKIJÖITÄ.....	9
3.1	Metsähake polttoaineena	9
3.2	Metsähakkeen laatutekijät	11
3.3	Polttoaineen manuaalinen näytteenotto ja näytteenkäsittely	11
3.3.1	Manuaalisen näytteenoton käytäntö	11
3.3.2	Purkupaikat ja työturvallisuus	12
3.4	Palakoko ja sen määrittäminen	14
3.5	Kosteuspitoisuus ja sen määrittäminen.....	16
3.6	Lämpöarvo ja sen määrittäminen.....	16
3.7	Irtotiheys ja sen määrittäminen	19
3.8	Vuotuiset sääolosuhteet	22
4	POLTTOAINEEN AUTOMAATTINEN NÄYTTEENOTIN Q-ROBOT	24
4.1	Tausta.....	24
4.2	Toimintaperiaate.....	25
4.3	Tutkimus ja kehitys	26
5	KOEJAKSO	28
5.1	Näytteenoton suoritus	28
5.2	Näytteiden kosteus ja palakokoanalyysit.....	30
6	KOEJAKSON TULOKSET	33
6.1	Kosteus	33
6.2	Palakoko	36
7	TULOSTEN ANALYSOINTI JA JOHTOPÄÄTÖKSET.....	39
8	YHTEENVETO.....	40
	LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT	41
	LIITE 1 KOSTEUS VERTAILUTULOKSET	43
	LIITE 2 PALAKOKO VERTAILUTULOKSET	44

1 JOHDANTO

Biopolttoaineita kuten puupolttoaineita käytetään yhä enemmän Suomen energiantuotannossa. Fossiilisten polttoaineiden käytön vähentyessä puupolttoaineiden kysyntä kasvaa. Puupolttoaineista eteenkin metsähakkeen käyttö on lisääntynyt viime vuosina. Suurimpia metsähake lajikkeita ovat metsätähdehake sekä kokopuu- ja rankahake. Metsähakkeet sisältävät paljon laatuvariaatiota käytettävän raaka-aineen mukaan. Energiantuotannossa voimalaitosten prosessien optimoimiseksi ostettavien puupolttoaineiden laadunmääritys on yhä tärkeämmässä roolissa. Tarkalla laadunmäärityksellä polttoaineen ostaja tietää mitä saa ja polttoaineen toimittaja pystyy paremmin vastaamaan asiakkaan tarpeisiin tietäen polttoaineensa laadun. Ongelmana usein on, että nykyisten laadunmäärityskeinojen avulla ei päästä tarkasti todelliseen energiasisältöön eli ostetun ja tuotetun energian välillä esiintyy virhettä. Tämä johtuu pääasiallisesti epäedustavasta näytteenotosta.

Tämän opinnäytetyön tilaajana toimii Prometec Tools Oy Kajaanista. Prometec Tools Oy toimittaa Kajaanin Renforsin Rannan yritysalueelle kevään 2019 aikana automaattisen näytteenottorobotin alueen yritysten käyttöön. Yritysalueella Kainuun Voimalle toimitetaan polttoainetta, St1:lle raakaainetta ja Vapo kuljettaa omaan terminaaliin polttoainetta. Q-Robot on automaattinen näytteenotin, joka ottaa näytteitä Renforsin Rannan alueelle tulevista kiinteistä biopolttoainekuormista. Kuormat toimitetaan alueelle rekkakuormina. Tämän opinnäytetyön tehtävänä on suorittaa vertailututkimus standardin mukaisen manuaalisen näytteenoton ja robotilla tehtävän automaattisen näytteenoton välille. Tavoitteena on osoittaa Q-robotin toimivuus ja soveltuvuus metsähakkeille, eteenkin metsätähdehakkeille. Metsätähdehakkeet ovat yleisesti laadultaan epähomogeenisiä ja sisältävät paljon kosteus- ja palakokovaihtelua.

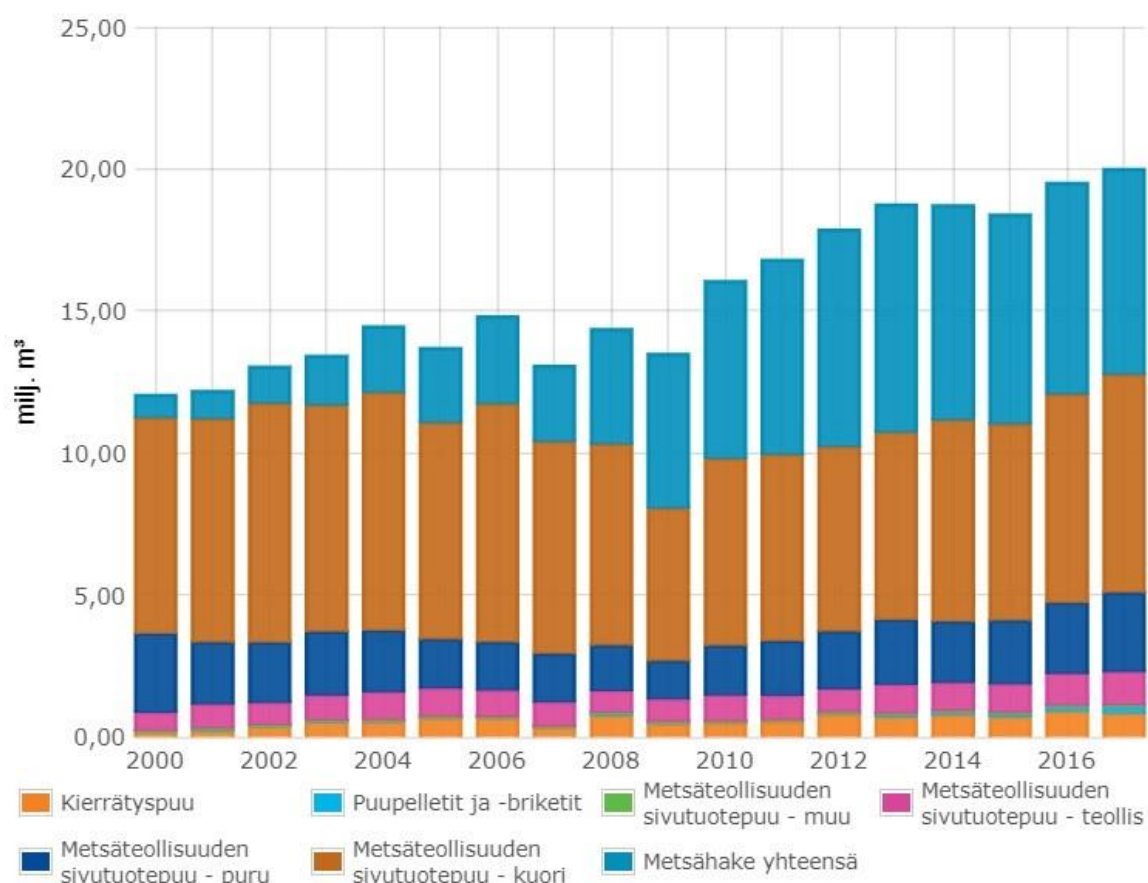
Teoriaosassa tutustutaan puupolttoaineista metsähakkeisiin. Metsähakkeista selvitetään niiden laatuun vaikuttavia tekijöitä sekä käydään läpi Kainuun Voiman nykyistä manuaalista näytteenottokeijua. Vertailututkimus suoritetaan Kainuun Voimalle saapuvista metsähakekuormista, joissa vertailaan Q-robotin automaattista ja standardin mukaista manuaalista näytettä. Kuormakohtaisista näytteistä selvitetään kosteuspitoisuudet ja palakokojakaumat.

2 PUUPOLTTOAINE ENERGIANTUOTANNOSSA

Lämpö- ja voimalaitoksissa käytettiin vuonna 2017 ennätysmäärä kiinteitä puupolttoaineita. Puupolttoaineita poltettiin 20 miljoonaa kiintokuutiometriä (38,5 terawattituntia, TWh). Kasvua tapahtui 2 prosenttia verrattuna edellisvuoteen metsäteollisuuden tuottamien sivutuotepuiden, kuten kuoren, purun ja puutähdehakkeiden polton lisääntyessä. Myös puupellettien ja brikettien käyttö lisääntyi vuonna 2017 (LUKE 2018.)

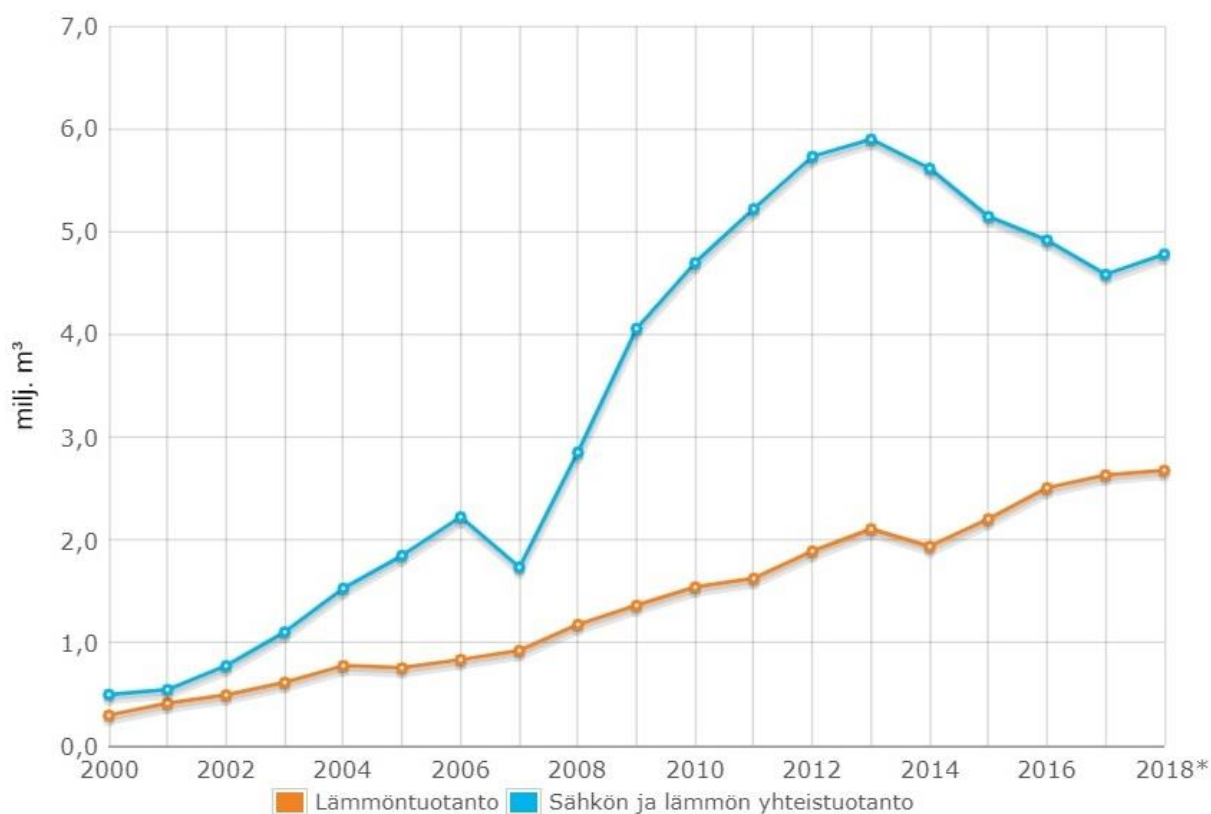
Kuori on yhdessä metsähakkeen kanssa puupolttoaineiden käytetyin energianlähde. Vuoden 2017 puupolttoaineiden kokonaiskäytöstä kolmeneljäsosaa oli kuorta ja metsähaketta (kuva 1). Kuorta käytettiin kaikkiaan 7,7 miljoonaa ja metsähaketta 7,2 miljoonaa kiintokuutiometriä (LUKE 2018.)

Puupolttoaineiden käyttö oli suurinta Etelä-Karjalan ja Keski-Suomen maakuntien alueilla. Etelä-Karjalassa poltettiin eniten metsäteollisuuden sivutuotteita ja metsähaketta Uudellamaalla (LUKE 2018.)



Kuva 1 Kiinteiden puupolttoaineiden käyttö lämpö- ja voimalaitoksissa 2017 (LUKE 2018.)

Vuoden 2018 ennakkotietojen mukaan metsähakkeen kulutus on kasvanut kolme prosenttia edellisvuodesta jo 7,5 miljoonaan kiintokuutiometriin. Kasvua on tapahtunut sekä sähkön ja lämmön yhteistuotannossa että lämmöntuotannossa (kuva 2). Metsähakkeen raaka-aineena käytettiin pienpuuta edellisvuotta kolme prosenttia vähemmän, kun taas hakkutähteiden käyttö lisääntyi viidenneksellä edellisvuodesta (LUKE 2019.)



Kuva 2 Metsähakkeen käyttö lämpö- ja voimalaitoksissa laitostyypeittäin (LUKE 2018.)

2.1 Kohdelaitos Kainuun Voiman yhteistuotantolaitos

Kainuun Voiman voimalaitos on Kajaanissa toimiva lämmön- ja sähkön yhteistuotantolaitos (kuva 3). Voimalaitoksen bruttosähköteho on 88 MW ja siellä tuotetaan kaukolämpöä Kajaanin kaupungin asukkaille 100 MW:n tehoon asti. Lisäksi voimalaitos tuottaa prosessihöyryä Renforsin rannan alueella toimiville yrityksille maksimissaan 75 MW. Voimalaitoksen pääkattila on kiertopetikattila. Vara- ja huippukattilana toimii raskasöljykattila, jota käytetään pääkattilan huollon ja huippukuormituksen aikana. Täydellä teholla ajettaessa voimalaitokselle poltetaan polttoainetta noin 470 m³/h. Polttoaineet ovat 95 – 97 prosenttisesti kotimaista polttoaineita (Kainuun Voima 2019.)

Kainuun Voimalle kiinteät polttoaineet kuten metsätähdehake tai kokopuu- ja rankahake hankitaan pääsääntöisesti suomalaisilta toimijoilta, joilla on kestävä, ympäristöarvoja kunnioittava ja hyvämaineinen liiketoiminta. Toimittajille tehdään tarjouspyyntö, joka sisältää laatuvelvoitteet toimitettavalle polttoaineelle. Puupuolen laatuvelvoitteissa käytetään puupolttoaineiden laatuohjetta VTT-M-07608-13. Turpeen laatuvelvoitteissa käytetään energiaturpeen laatuohjetta VTT-M-05993-17. Velvoitteita ovat mm. palakoko, kosteuspitoisuus ja tuhkapitoisuus. Toimituksen laadusta riippuen polttoainetoimittajien tarjous sisältää myös tarkennuksena joitain tarpeen vaatimia kriteerejä. Tarjousten perusteella tehdään arviot kenen tuote täyttää vaatimukset ja miten ne sopivat vuosisuunnitelmaan. (Keinänen 2019.)



Kuva 3 Kainuun Voiman lämmön- ja sähkön yhteistuotantolaitos (Teemu Rissanen, 20.04.2019)

2.2 Polttoaineiden tyypillinen laadunvalvonta prosessi

Kiinteät polttoaineet toimitetaan voimalaitokselle rekkakuormina. Saapuva polttoainekuorma punnitaan vaaka-aseamalla ennen voimalaitokselle tuontia. Kainuun Voimalla on kaksi purkumonttua, johon polttoainekuormat puretaan joko peräpurkuna tai sivukippinä. Purkumontuilta polttoaine menee kuljettimia pitkin ensin polttoainesiiloon ja sieltä edelleen kattilalle polttoon.

Polttoainekuormien energiasisällön selvittämiseksi jokaisesta kuormasta otetaan näyte. Näytteen ottaa kuljettaja purun yhteydessä tai jälkeen. Näytteenoton valvonta on yleensä voimalaitoksen henkilökunnalla ja sitä valvotaan kameroiden avulla. Näytteen merkitys on suuri, sillä se edustaa koko toimitettavaa kuormaa. Näyte analysoidaan laboratoriossa, jossa siitä määritetään kosteuspitoisuus. Yleisesti kuivempi näyte sisältää enemmän energiaa. Kosteuden lisäksi saman toimittajan samoista aineista määritetään kuukausittain lämpöarvo. Kuorman purkamisen ja näytteenoton jälkeen rekka punnitaan tyhjänä, jolloin toimitetulle kuormalle saadaan nettopaino. Näytteen kosteuspitoisuuden, nettopainon ja lämpöarvon avulla saadaan kuormalle laskettua sen sisältämä energia, joka toimii maksuperusteena kuorman toimittajalle.

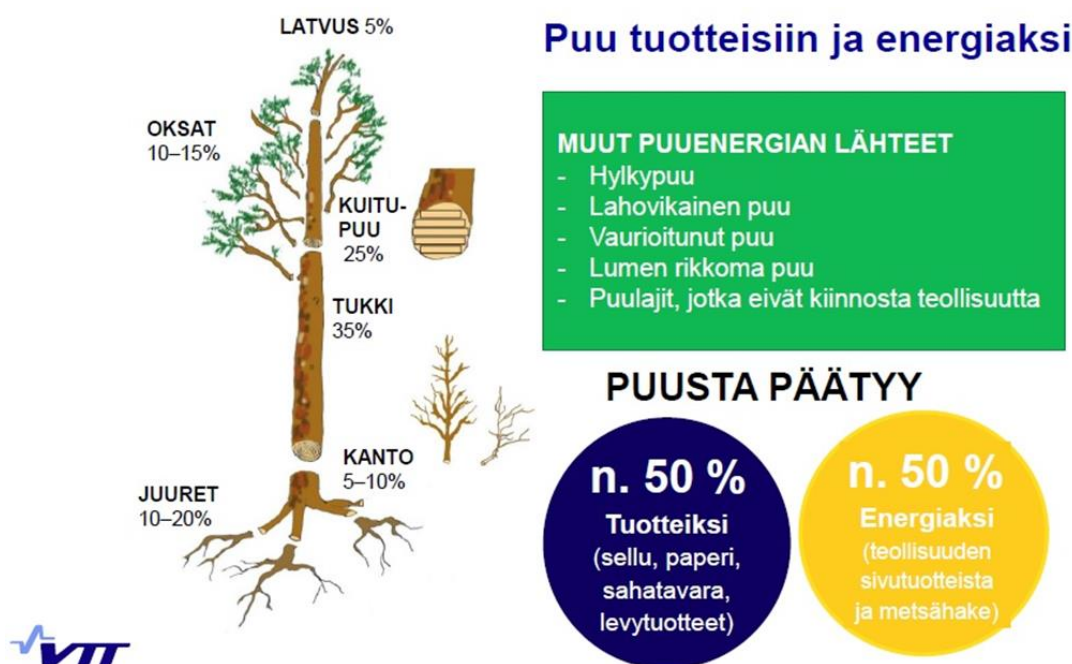
3 METSÄHAKKEEN LAATUUN VAIKUTTAVIA TEKIJÖITÄ

3.1 Metsähake polttoaineena

Metsähake on yleisnimitys hakkeelle, joka valmistetaan metsästä saatavista puista joko suoraan hakkuualueilla tai kuljetettuna erillisille haketuspaikoille. Hake luokitellaan sen valmistukseen käytettävän raaka-aineen mukaan. Rankahake tehdään puun karsitusta runko-osasta, jolloin se on laadultaan tasalaatuisinta. Kokopuuhake sisältää niin runkopuuta kuin latvuksia ja oksia. Kokopuuhake on yleisesti myös tasalaatuista mutta siinä esiintyy rankahaketta enemmän laatuvariaatiota. Yleensä polttoainetoimituksissa rankahake ja kokopuuhake käsitellään yhtenä aineena eli siitä käytetään nimitystä kokopuu- ja rankahake. Metsätähdehake puolestaan on laadultaan hyvinkin vaihtelevaa, sillä se valmistetaan hakkuutähteistä eli puun oksista ja latvuksista (Putula ja Hilli 2017, 1.)

Haketyypit jaetaan myös käyttökohteen mukaan joko polttohakkeeksi tai selluhakkeeksi. Polttohake on poltettavaksi tehtyä haketta kuten metsätähdehake ja kokopuu- ja rankahake. Sitä käytetään laajasti energian tuotannossa ja sen laatu voi vaihdella selluhaketta enemmän. Polttohakkeen raaka-aineena käytetään yleensä puun eri osia, jotka eivät ole hyödynnettävissä tuotteiksi. Selluteollisuudessa käytetään pelkästään puhdasta puuhaketta kuten kokopuu- ja/tai rankahaketta. Selluteollisuuden raaka-aineen tulee olla puhdasta eikä saa sisältää kuorta, vihreää massaa tai muita epäpuhtauksia (Putula ja Hilli 2017, 1.)

Puun eri osat hyödynnetään tehokkaasti teollisuudessa (kuva 4). Puun tasalaatuisin runko-osa eli tukki ja kuitupuusa käytetään yleensä tuotteistettavaksi, esimerkiksi sellun tai sahatavaran tuottamiseen. Loput puun osat haketetaan energiaksi polttokäyttöön.



Kuva 4 Puun eri osien hyödyntäminen tuotteiksi ja energiaksi (Alakangas 2018, 3.)

Kuvassa 5 on esitetty tyypillistä polttokäyttöön tuotettua metsätähdehaketta ja kuvassa 6 puolestaan polttokäyttöön tuotettua kokopuu- ja rankahaketta. Kuvissa näkyy selkeästi käytetyn raaka-aineen laatu. Metsätähdehake sisältää paljon oksia ja risuja, jopa hieman vihreitä havujakin. Kokopuu- ja rankahake on selvästi raaka-aineeltaan tasalaatuisempaa mutta sisältää metsätähdehakkeen lailla palakokovaihtelua.



Kuva 5 Polttokäyttöön ohjattua metsätähdehaketta (Teemu Rissanen, 18.03.2019)



Kuva 6 Polttokäyttöön ohjattua kokopuu- ja rankahaketta (Teemu Rissanen, 18.03.2019)

3.2 Metsähakkeen laatutekijät

Polttokäyttöön tuotettavan metsähakkeen tärkeimpiä laatuvaatimuksia ovat hakkeen palakoko, kosteuspitoisuus, irtotiheys ja tehollinen lämpöarvo (Putula ja Hilli 2017, 1.) Hakkeen tuhkapitoisuudella on myös huomioitavaa merkitystä hakkeen laaduntamisessa. Palamattomien aineiden sallittu määrä ja hakkeen laatuvaatimukset vaihtelevat käytettävien polttoprosessien ja kokoluokkien mukaan. Suuremmilla laitoksilla laatuvahtelua sallitaan pieniä laitoksia enemmän. Polttihakkeen laatuvaatimukset asetetaan yleensä ostajan toimesta jo tarjous vaiheessa. Tarjousten perusteella kilpailutetaan ostettavien hakkeiden toimittajia ja laatua (Keinänen 2019.)

3.3 Polttoaineen manuaalinen näytteenotto ja näytteenkäsittely

Manuaalisesti eli käsin tehtävä näytteenotto tulee suorittaa näytteenottostandardin SFS-EN ISO 18135:2017 mukaisesti. Näytettä kerätään erillisellä näytteenottokauhalla, jonka tilavuus on 3 litraa. Näytepisteiden eli yksittäisnäytteiden vähimmäismäärä riippuu toimitettavan polttoainekuorman suuruudesta. Nyrkkisääntönä on vähintään 2 yksittäisnäytettä/50 irtom³ polttoainetta. Tyypillisesti rekakuormien yksittäisnäytteiden määrä on (Puupolttoaineen laatuohje 2014, 33-34):

- | | |
|---|---|
| • kuorma-auto (nuppi) | vähintään 2 yksittäisnäytettä |
| • puoliperävaunu (<100 m ³) | vähintään 4 yksittäisnäytettä |
| • yhdistelmä (100-160 m ³) | vähintään 6 yksittäisnäytettä (2 nuppi + 4 perävaunu) |
| • konttiyhdistelmät | vähintään 2 yksittäisnäytettä/kontti |

Näytteitä kerätään purun aikana putoavasta virrasta tai purun jälkeen suoraan kasasta. Peräpurku mahdollistaa näytteenoton suoraan putoavasta virrasta, jossa tärkeää on ottaa yksittäisnäytteet tasaisinvälein koko kuorman matkalta. Sivukippinä kuorma puretaan kerralla purkumonttuun tai kentälle, jolloin näyte otetaan purun jälkeen. Kasasta yksittäisnäytteet otetaan tasaisin välein koko kasan matkalta. Yksittäisnäytteet kerätään niille varattuun astiaan kuten saaviin.

Kerätyn näytteen käsittely suoritetaan näytteenkäsittelystandardin SFS-EN 14780:2017 mukaisesti. Koko näytemäärä pienennetään tarvittavan tai halutun kokoiseksi laboratorionäytteeksi, jonka lopullinen tilavuus kiinteillä polttoaineilla on vähintään kaksi litraa. Yleensä näyte pienennetään neliöimällä. Näyte kaadetaan neliöintipöydälle, jossa se jaetaan neljään yhtä suureen osaan. Yhdestä osasta muodostuu analyysiin menevä laboratorionäyte. Neliöimisessä tärkeää on, että jokainen lohko edustaa mahdollisimman hyvin alkuperäisen näytettä. Laboratorioanalyysiin menevä näyte säilötään esimerkiksi pussittamalla ja siihen merkitään kuormantiedot. (Puupolttoaineiden laatuohje 2014, 36-38)

3.3.1 Manuaalisen näytteenoton käytäntö

Arkipäivässä näytteenottoon liittyy useita tekijöitä, jotka vaikuttavat näytteen edustavuuteen. Kainuun Voimalla polttoainetoimittajia ja kuormien kuljettajia on ohjeistettu standardin mukaiseen näyt-

teenottoon. Ohjeistusta on kerrattu vuosittain, yleensä syksyisin ennen lumikauden eli lämmityskauden alkua. Pääasiallisesti näytteenotto ja neliöinti ketju toimii hyvin, mutta se vaatii jatkuvaa valvontaa. Tavallisesti polttoainekuorman kuljettaja ei koe näytteenottoa tärkeäksi vaan hänelle riittää, että se on sinnepäin. Tapahtuu niin sanotusti leipiintyminen. Yleisesti on tiedossa, että kentällä on useita eri käytäntöjä ottaa näyte. Suurimpana huomiona on, että näyte kerätään heti kuorman alusta, jolloin se ei edusta koko kuormaa.

Kuljettajilla on monesti kiire hoitaa pakollinen näyte pussiin ja mennä puhdistamaan ajoneuvoa. Näytteitä saatetaan kauhoa lapiolla tai jopa käsin kasan pinnasta, jolloin näytteeseen päätyy kuorman suurimmat palakoko partikkelit ja hyvin vähän hienoainesta. Metsätähdehakeilla on aikaisemmissa tutkimuksissa havaittu hienoaineksen olevan kosteampaa kuin suurempi palakoko. Kasasta näytettä otettaessa, ei näytekuhalla ole aina mahdollista päästä kasan sisälle, jolloin suurin osa hienoaineksesta jää näytteestä pois. Neliöidessä näytettä on tärkeää vetää varsinaiseen laboratorionäytteeseen päätyvä näyteosa lastalla pöydän pintaa myöden, jotta pienimmätkin näytteen palakoot ovat edustettuina lopullisessa näytepussissa.

Näytteenoton merkitys tiedetään yleisesti, koska sen perusteella polttoaineen toimittaja saa maksun. Ajan kanssa kuljettajat tai muut näytteenottajat oppivat tunnistamaan kuormien laatuvariaatioita. Yleensä kuormien pinnat ja reunat ovat kuivempia kohtia. Tahallista näytteen manipulointia ei tänä päivänä enää juuri tavata, mutta se on ollut ennen vanhaan paikoin yleistäkin. Rajuimpia tapauksia on selkeät huijaukset, joissa yhdessä tapauksessa kuormassa oli toimitettu pilaantunutta maaainesta ja jätetty kuiva hakenäyte vastaamaan kuormaa. Purkupaikoilla kuljettajilta voi kuulla vitsejä, kuinka näytteistä saadaan halutunlaisia, riippuen miten ison perjantaipullon työnantaja on ostanut. Lisääntynyt valvonta on ehkäissyt tätä lieveilmiötä mutta edelleen näytteenotossa tapahtuu virhettä, osittain tahattomasti, osittain tahallisesti.

3.3.2 Purkupaikat ja työturvallisuus

Purkupaikat voivat olla rakenteellisesti haastavia näytteenoton kannalta. Purkupaikat ovat yleensä monta metriä syviä taskuja, joiden ympärillä voi olla isoja rutilöitä (kuva 7). Esimerkiksi kuvan 7 purkupaikalla montun oikealla puolella olevan rutilän välistä mahtuu jalka läpi. Ahtaat paikat tai pimeät kulmat purettaessa kuormaa voivat estää työturvallisen standardin mukaisen näytteenoton. Tällöin näytteet kerätään purun jälkeen kasasta, jolloin yksittäisnäytteet jäävät monesti pintanäytteiksi.



Kuva 7 Kainuun Voiman purkutasku (Teemu Rissanen, 19.03.2019)

Talvisin kuormat voivat olla jäässä ja niihin voi muodostua kameja. Kamit voivat painaa tonneja, jolloin niistä on mahdotonta ottaa näytettä. Jos näytteenotossa näytekauhaan tipahtaa jääkumi, jääkumi ampaisee näytekauhan pään mukanaan, jolloin näytekauhan varsiosa voi osua esimerkiksi näytteenottajan leukaperään.

Polttoainekuormat voivat olla paikoin myös pöliseviä. Kuivat kuormat pölähtävät purettaessa (kuva 8), jolloin työturvallisesti edustava näytteenotto on epämiellyttävää tai mahdotonta. Tällaisia kuormia ovat esimerkiksi kuivat turve- tai hakekuormat. Turpeen laatumäärityksissä toimituksen alin kosteusarvo on 38 p-%. Puulle ei alinta kosteusarvoa ole määritetty, mutta kuiva pöly, riittävällä pitoisuudella altistaa erittäin suurelle räjähdysvaaralle. (Keinänen 2019.) Kuvassa 7 puretaan kuivaa hakekuormaa kentälle peräpurkuna. Pölisevän kuorman takia kuormasta ei saatu näytettä putoavasta virrasta vaan otettiin purun jälkeen kasasta.



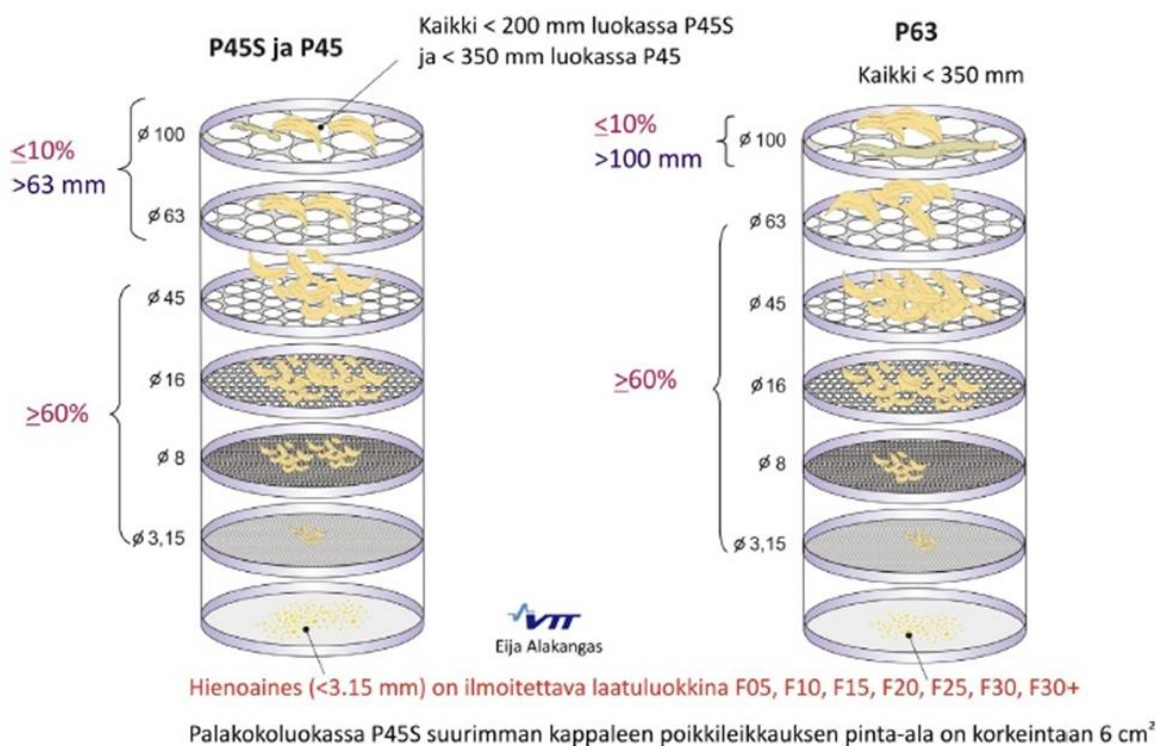
Kuva 8 Pölyävä kuorma purkamassa (Teemu Rissanen, 18.05.2016)

3.4 Palakoko ja sen määrittäminen

Polttoprosessin toimivuuden kannalta tasaisella hakelaadulla ja palakoolla on suuri merkitys. Ne takaavat polttolaitoksen luotettavan ja häiriöttömän toimivuuden. Hakkeen optimaalinen palakoko riippuu polttolaitoksen kokoluokasta ja prosessista. Pienimmät polttolaitokset vaativat palakokojakaumaltaan tasaisempaa laatua kuin isommat (Putula ja Hilli 2017, 1-2.) Kainuun Voiman kiertoleijukattilassa polttoaineen viipymäaika on 4 – 5 sekuntia. Tämän johdosta hyvin pienen palakoon ja kosteudenomaava polttoaine ”karkaa” tulipesästä liian nopeasti, jolloin polttoaineen energiaa ei voida maksimaalisesti hyödyntää. Parhaaseen lopputulokseen päästään n. 20 – 21 MJ/kg lämpöarvolla, 38 – 45 % keskikosteudella, 40 – 65 mm palakoolla olevalla vähärikkisellä ja vähätyppisellä polttoaineella, joiden tuhkan sulamispiste on yli 1100 °C ja tuhkamäärä alle 1 p% (Keinänen 2019.)

Palakoko vaihtelee suuresti varsinkin metsätähdehakeella. Palakokoon vaikuttaa olennaisesti käytettävä hakkurityyppi ja sen terien kunto, seulakoko ja raaka-aine. Mitä enemmän runkopuuta haketettava raaka-aine sisältää, sitä tasaisempi palakokojakauma on. Raaka-aineen tulisi levätä hyvän aikaa ennen haketusta. Raaka-ainetta haketetaan joskus liiankin tuoreeltaan, jolloin neulaset eivät vielä ole maatuneet ja karisseet latvuksista pois. Tämä lisää hienoaineksen osuutta metsätähdehakeessa. Aikaisemmin yleisesti tunnettujen tutkimusten mukaan hienoainekseen ja hyvin pieneen palakokoon sitoutuu paljon kosteutta. Myös tuore puu on kosteampaa kuin kuivanut puuaines, jolloin se vaikuttaa hakkeen laatuun alentavasti.

Palakokoluokan määrittämiseksi standardin ISO 17827-1 mukaan. Standardi on tarkoitettu kiinteille polttoaineille ja se toteutetaan täryseula menetelmänä. Täryseulassa käytetään pyöreitä seulakokoja ja joiden koot ovat 3,15 mm, 8 mm, 16 mm, 31,5 mm, 45 mm, 63 mm ja 100 mm. Kuvassa 9 on havainnollistettu täryseula. Näyte seulotaan vaakasuoraan täryttävien seulojen läpi kappaleiden asettuessa seulle miltä se ei enää varise alemmalle tasolle. Seulakoot pienenevät ylhäältä alaspäin. Seulonta-aika on 15 minuuttia, jossa seulontasuuntaa vaihdetaan välillä. Näytteen tulee olla alle 20 % kosteudessa eli tarvittaessa seulottava näyte kuivataan uunikuivausmenetelmällä SFS-EN ISO 18134. Jokaiselle seulle ja pohja-astiaan jäänyt aines punnitaan 0,1 g:n tarkkuudella. Yli 100 mm:n palat poimitaan käsin. Kuvassa 9 palakokoluokan perässä oleva S kirjain tarkoittaa sanaa Small, jota käytetään pienempien laitosten palakokoluokan määrittämisessä (Puupolttoaineen laatuohje 2014, 46-47.)



Kuva 9 Palakoon määrittäminen ja laatuluokat P45S, P45 ja P63 (Puupolttoaineen laatuohje 2014, 46.)

Laatuluokittelu standardin SFS-EN ISO 17225 osissa 1 ja 4 palakokoluokkien nimet määritetään pääfraktion mukaan. Palakokoluokka nimetään sen mukaan mille seuloille asetuvat 60 p-% kaikista seuloille jäävistä paloista. Esimerkiksi kuvassa 9 vasemman puolen täryseulalla on jäänyt 45 mm seulle ja siitä pienemmille yli 60 p-% kaikista kappaleiden painoista, joten palakokoluokka on P45. Yli 63 mm suuria kappaleita saa näytteessä olla enintään 10 p-%. Kuvan 9 oikean puoleisella seullella on havainnollistettu P63 palakokoluokka, jossa 63 mm:n seullella on jäänyt yli 60 p-% kaikista kappaleiden painoista. P45S palakokoluokka on pienillä laitoksilla kuten paikallisilla lämpölaitoksilla käytetty palakokoluokka, jossa palakoko määritetään samalla tavalla mutta rajoitetaan niin, että suurimman yksittäisen kappaleen poikkileikkauksen pinta-ala saa olla korkeintaan 6 cm^2 (Puupolttoaineen laatuohje 2014, 46-47.)

3.5 Kosteuspitoisuus ja sen määrittäminen

Metsähakkeiden kosteuspitoisuus ilmoitetaan yleensä painoprosentteina saapumistilassa (M_{ar}) eli veden massaosuus prosentteina polttoaineen kokonaismassasta. Kosteusprosenttiin vaikuttaa olennaisesti metsähakkeen tuoreus, varastointi ja vuotuiset sääolot (Dannbom 2009, 13.) Tuore puuaines sisältää noin 50 % vettä ja loput kuiva-ainetta. Kuiva-aineesta 48 – 52 % on hiiltä, 6,0 – 6,5 % vetyä ja 38 – 42 % happea. Loput 0,5 – 5,0 % kuiva-aineesta ovat tuhkaa, tyyppiä ja muita ravinteita. Hiili ja vety ovat puuaineksen keskeiset energianlähteet. Männyn ja kuusen tuorekaadetun pienpuun kosteus on 50 – 60 p-% ja raudus- ja hieskoivun noin 40 – 50 p-% (Lauhanen, Ahokas, Esala, Hakonen, Sippola, Viirimäki, Koskiniemi, Laurila ja Makkonen 2014, 16-17.)

Kiinteiden biopolttoaineiden kuten metsätähdehakkeen kosteuserityksessä käytetään yksinkertaistettua uunikuivausmenetelmää standardin SFS-EN ISO 18134-2 mukaisesti. Kosteuserityksiin voidaan käyttää myös pikakosteusmittareita, jos niiden vastaavuus standardiin voidaan varmentaa. Näytteet esikäsitellään näytteenkäsittelystandardin SFS-EN 14780:2017 mukaisesti. Uunikuivausmenetelmä on ensisijainen kosteuden määrittäminen. Uunikuivausmenetelmässä punnitaan vähintään 300 g näytettä 0,1 g:n tarkkuudella. Näyte uunitetaan (105 ± 2) °C uunissa 16 – 24 tuntia, jolla varmistetaan, että näytteen massa ei enää muutu. Kun näytteen vakioaino on saavutettu, punnitaan näytteen kuivapaino. Näytteen kosteuspitoisuus saapumistilassa lasketaan kaavan 1 mukaisesti:

$$M_{ar} = \left(\frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \right) * 100 \quad (\text{kaava 1})$$

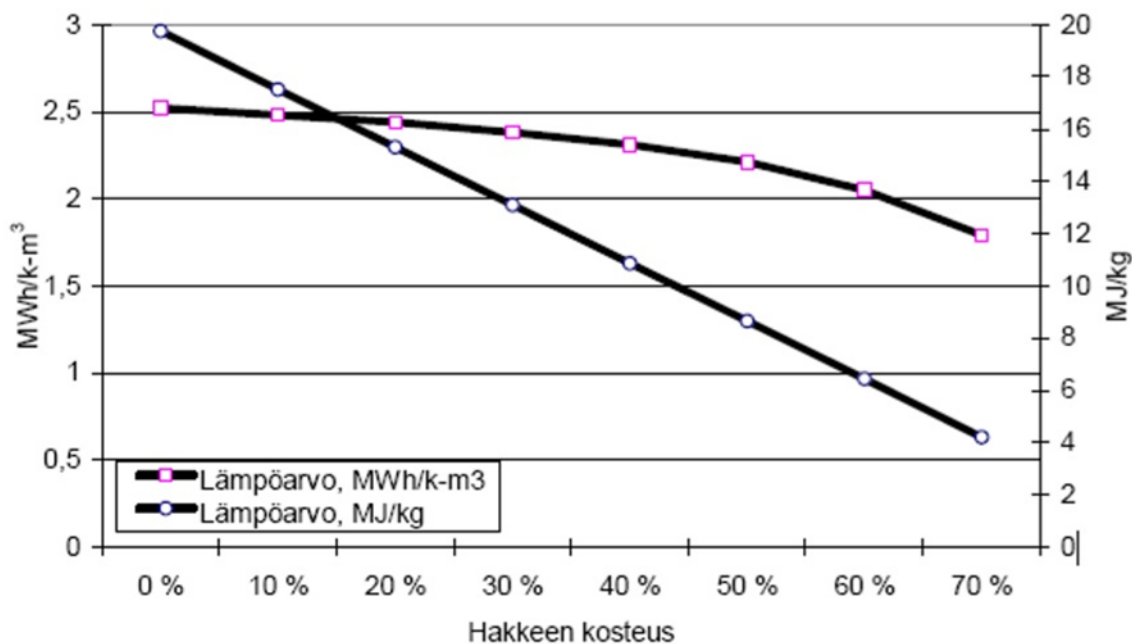
jossa

M_{ar}	kosteus saapumistilassa, p-%
m_1	tyhjän kuivausastian paino, g
m_2	kuivausastian ja näytteen yhteispaino ennen uunitusta, g
m_3	kuivausastian ja näytteen yhteispaino uunituksen jälkeen, g

Tulos ilmoitetaan 0,1 %-yksikön tarkkuudella (Alakangas, Hurskainen, Laatikainen-Luntama ja Korhonen 2016, 24-26.)

3.6 Lämpöarvo ja sen määrittäminen

Tehollinen lämpöarvo on metsähakkeen laadun mittari. Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa tarkoittaa polttoaineen palamisessa syntyvää energiamäärää, kun huomioidaan polttoaineen kosteus ja sen haihduttamiseen kuluva energiamäärä. Kuvassa 10 on esitetty metsätähdehakkeen kosteuspitoisuuden vaikutus sen lämpöarvoon massayksikkönä (MJ/kg) ja kiintokuutiotilavuutena (MWh/k-m³). Kuvasta huomataan, että kosteuspitoisuudella on massayksikkönä suurempi vaikutus lämpöarvoon kuin kiintotilavuutena. Tämä johtuu siitä, että metsätähdehakkeen tilavuuden muutos kosteuden suhteen on pieni (Dannbom 2009, 13.)



Kuva 10 Metsätähdehakkeen kosteuspiitoisuuden vaikutus sen lämpöarvoon (Putula ja Hilli 2017, 2.)

Kosteuden lisäksi teholliseen lämpöarvoon vaikuttaa polttoaineen kemiallinen koostumus ja tiheys, tuhkapitoisuus sekä neulaisuus. Puun tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa on noin 18,5 – 20 MJ/kg. Puun tehollinen lämpöarvo saapumistilassa tosin vaihtelee huomattavasti, kuten kuvasta 10 voidaan todeta. Tärkein tekijä on kosteus, jonka haihduttamiseen energiaa kuluu noin 0,7 kWh/kg vettä. Mitä kuivempaa poltettava polttoaine on, sitä suurempi sen tehollinen lämpöarvo saapumistilassa on. Metsätähdehakkeen lämpöarvo kasvaa noin 5 % ja kokopuuhakkeen noin 3,5 %, kun hakkeen kosteus pienenee 10 %-yksikköä (Putula ja Hilli 2017, 2.)

Kalorimetrinen eli ns. ylempi lämpöarvo on se lämpöenergian määrä poltettavan aineen massayksikköä kohti, joka vapautuu, kun aine palaa täydellisesti ja palamistuotteet jäähtyvät 25 °C:een lämpötilaan. Kalorimetrisessä lämpöarvossa sekä aineen sisältämän vedyn palamistuotteena syntyvä vesi, että aineen sisältämä vesi (eli kosteus) oletetaan palamisen jälkeen nesteeksi. Suomessa lämpöarvo ilmoitetaan yleensä kuitenkin tehollisena lämpöarvona eli ns. alempi lämpöarvo. Kiinteiden biopolttoaineiden kuten metsätähdehakkeen kuiva-aineen tehollinen lämpöarvo määritetään standardin SFS-EN ISO 18125 mukaisesti. Tehollisen lämpöarvon määrittämisessä huomioidaan palamisen yhteydessä höyrystyvän veden höyrystymisenergia. Tehollinen lämpöarvo saadaan muunnoskaavan 2 avulla kalorimetrisestä lämpöarvosta. Kolmas käytetty lämpöarvon esittämismuoto on tehollinen lämpöarvo toimituskosteudessa eli saapumistilassa. Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa kuvaa parhaiten toimitettavien polttoainekuormien sisältämää todellista energiaa ja sitä käytetään maksuperusteena energialaskelmissa. Tämä lämpöarvo on muotoaan alin ja siinä huomioidaan polttoaineen luontainen ja palamisessa syntyvän veden höyrystymiseen tarvittava energiamäärä. Lämpöarvo ilmoitetaan yleensä megajouleina painokiloa kohti eli MJ/kg (1 MJ = 0,2778 kWh).

Tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa saadaan laskettua kaavan 2 mukaisesti, kun kalorimetrinen lämpöarvo on tiedossa:

$$q_{p,net,d} = q_{V,gr,d} - 212,2 * w(H)_d - 0,8 * [w(O)_d + w(N)_d] \quad (\text{kaava 2})$$

jossa

$q_{p,net,d}$	kuiva-aineen tehollinen lämpöarvo vakiopaineessa, J/g tai kJ/kg
$q_{V,gr,d}$	kuiva-aineen kalorimetrinen lämpöarvo vakiotilavuudessa, J/g tai kJ/kg
$w(H)_d$	vetypitoisuus kuivassa biopolttoaineessa, p-%
$w(O)_d$	happipitoisuus kuivassa polttoaineessa, p-%
$w(N)_d$	typpipitoisuus kuivassa polttoaineessa, p-%

Huomioitavaa [$w(O)_d + w(N)_d$] voidaan laskea vähentämällä 100 p-%:sta polttoaineen tuhka-, hiili-, vety- ja rikki-pitoisuus kuiva-aineessa (p-%).

Kaavan 2 mukaan laskettu tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa ilmoitetaan yleensä yksikössä MJ/kg, joka saadaan jakamalla tulos tuhannella.

Laskennassa voidaan käyttää myös vakioarvoja vety-, typpi-, hiili- tai rikki-pitoisuuksille. Vakioarvot määräytyvät standardin SFS-EN ISO 18125:2017 mukaan, jossa tyypillisesti vakioarvot vedylle $w(H)_d$ on kokopuulla 6,2 % ja metsätähdehakeelle 6,0 %. Summan $w(O)_d + w(N)_d$ vakioarvot kokopuulle ja metsätähdehakeelle ovat 41 %.

Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa voidaan laskea tehollisen lämpöarvon kuiva-aineessa tuloksen avulla kaavan 3 mukaisesti:

$$q_{p,net,ar} = q_{p,net,d} * \left(100 - \frac{M_{ar}}{100}\right) - 0,02443 * M_{ar} \quad (\text{kaava 3})$$

jossa

$q_{p,net,ar}$	tehollinen lämpöarvo (vakiopaineessa) saapumistilassa, MJ/kg
$q_{p,net,d}$	tehollinen lämpöarvo (vakiopaineessa) kuiva-aineessa, MJ/kg
M_{ar}	kosteus saapumistilassa, p-%
0,02443	höyrytymisen entalpien korjauskertoimen (vakiopaineessa) vedelle (kosteus) 25 °C lämpötilassa, MJ/kg per 1 p-% kosteutta.

Teholliselle lämpöarvolle saapumistilassa käytetään yleensä symbolia Q (Alakangas ym. 2016, 28-30.)

3.7 Irtotiheys ja sen määrittäminen

Irtotiheydellä mitataan toimitettavien polttoainekuormien massan suhdetta tilavuuteen eli kuorman tiiveyttä. Mitä isompi irtotiheys kuormalla on sitä enemmän kuorma sisältää toimitettavaa polttoainetta energiantuotantoon. Irtotiheyteen vaikuttaa toimitettavan polttoaineen palakoko ja hienoaineksen määrä. Erityisesti metsätähdehakeilla irtotiheys vaihtelee suuresti, koska sen palakoko vaihtelee purumaisesta hienoaineksesta aina isoihin kapuloihin. Pienemmät palakoot täyttävät isompien palasten aiheuttamia tyhjiä koloja, jolloin kuormista tulee tiiviimpiä. Myös metsätähdehakeiden kuivatusajalla ja kuljetuksen aikana tapahtuvalla painaumalla on vaikutusta toimitettavan kuorman irtotiheyteen. Tuoreen metsätähdehakeen mahdollinen viheraine pienentää kuorman irtotiheyttä (Alakangas ym. 2016, 33-34.)

Irtotiheyden mittaaminen hakeille ja murskeille tehdään määrittämissä SFS-EN ISO 17828:2015 mukaisesti 50 litran säiliöllä. Menetelmää voidaan soveltaa polttoaineille, joiden suurin nimellinen palakoko on 100 mm. Käytettävän 50 litran säiliön korkeuden ja halkaisijan välisen suhteen on oltava 1,25 – 1,50 välillä. Aluksi punnitaan tyhjä säiliö ja määrittämissä käytettävä näyte n.70 litraa sekoitetaan huolella. Tämän jälkeen näytettä kaadetaan astiaan 20-30 cm korkeudelta niin kauan, että astia on täynnä ja siihen on muodostunut suurin mahdollinen keko (kuva 11). Tämän jälkeen säiliö tiputetaan 15 cm korkeudelta kolme kertaa puualustalle tasaisesti (kuva 12), jolloin näyte tiivistyy astiaan. Syntynyt tyhjä tila täytetään näytteellä ja tasataan huolella (kuva 13). Lopuksi täytetty säiliö punnitaan (kuva 14). Käytetty näyte sekoitetaan käyttämättömään näytteeseen ja menetely toistetaan ainakin kerran (Alakangas ym. 2016, 33-34.)



Kuva 11 50 litran säiliön täyttö
(Teemu Rissanen, 29.03.2019)



Kuva 12 50 litran säiliön tiputus 15 cm korkeudelta (Teemu Rissanen, 29.03.2019)



Kuva 12 50 litran säiliön tasoitus (Teemu Rissanen, 29.03.2019)



Kuva 13 50 litran säiliö valmis punnittavaksi (Teemu Rissanen, 29.03.2019)

Irtotiheys (BD) lasketaan kaavalla 5 ja siihen voidaan yhdistää myös näytteen kosteuspitoisuus saapumistilassa %, jolloin voidaan laskea myös kuiva-aineen irtotiheys kg/m³

$$BD_{ar} = \frac{m_2 - m_1}{V} \quad (\text{kaava 4})$$

$$BD_d = BD_{ar} * \frac{100 - M_{ar}}{100} \quad (\text{kaava 5})$$

jossa

BD_{ar}	irtotiheys saapumistilassa, kg/m ³
BD_d	kuiva-aineen irtotiheys, kg/m ³
m_1	tyhjän säiliön paino, kg
m_2	täytetyn säiliön paino, kg
V	mittaussäiliön nettotilavuus, m ³
M_{ar}	kosteus saapumistilassa (märkäpainosta), p-%

(Alakangas ym. 2016, 33-34.)

3.8 Vuotuiset sääolosuhteet

Vuotuiset sääolot vaikuttavat polttoaineen kosteuteen merkittävästi. Eteenkin talvisin laatuvaihtelua esiintyy paljon. Metsähakkeiden kokonaiskosteus voi vaihdella kesän 28 p-% jopa talven yli 60 p-% kosteuksiin. Talvisin avonaisilla haketuspaikoilla haketettavat puut ja sen osat voivat sisältää paljon lunta ja jäätä, jolloin lumi kulkeutuu herkästi hakkurin kautta rekkakuormaan. Rekkakuormassa lumi lisää kuorman painoa ja hankaloittaa jo ennestään vaikeassa maastossa liikkumista. Kuvassa 15 on havainnollistettu kuinka kuorma voi lajittua ajon aikana. Maaston aiheuttama täry lajittelee kuormassa olevaa materiaalia kerroksiin. Kuvasta 15 nähdään myös lumen lajittuminen ja kuinka kostea hienoaines jäätyy omiin kerroksiin kuorman sisällä.

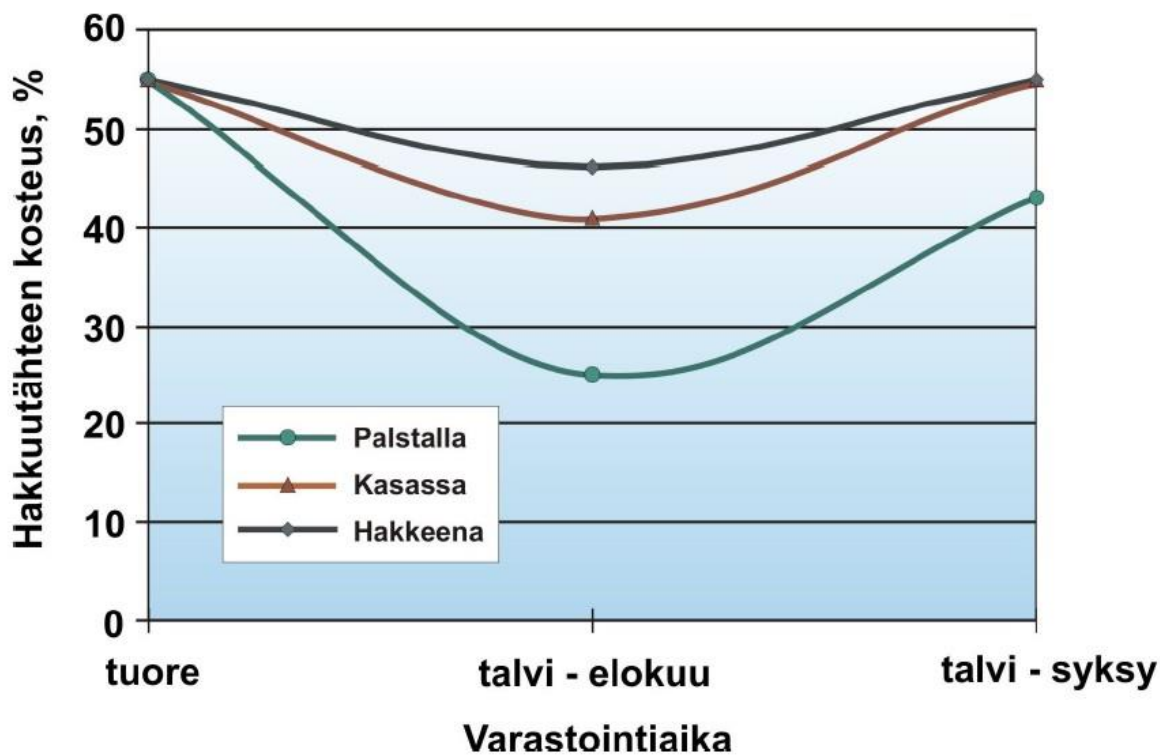


Kuva 15 Luminen ja lajittunut metsätähdehakekuorma (Risto Karvinen, 15.1.2019)

Sulan vuodenajan aikana metsähakkeiden laatuvaihtelut ovat pienempiä. Kesäisin tehtävien haketusten aikana metsähakkeiden laatu pysyy yleensä raaka-aineen ominaisella tasolla. Kesäisin hakekasat pääsevät kuivumaan, jolloin polttolaitoksille toimitettavien hakekuormien lämpöarvot ovat selvästi talvisia korkeampia.

Puunaineksen hyvällä suojaamisella ja varastoinnilla voidaan ehkäistä talven aiheuttamia ongelmia. Puuta suojataan hakkuualueilla usein peitteillä, joilla pyritään erottamaan satanut lumi puukasasta. Puuta voidaan myös varastoida terminaaleihin eli metsämassoille erikseen suunniteltuihin varastoalueisiin. Kesäisin puut pääsevät kuivumaan paikoitellen todella paljon, jolloin niistä haketettavan metsähakkeen kosteus on alhainen. Kuvassa 16 on esitetty hakkuutähteiden suuntaa antava kosteus

palstalla, kasassa ja hakkeena vuodenaikojen mukaan. Tuoreena hakkuutähteen alkukosteus on sama. Kevään ja kesän aikana hakkuutähteen kuivuminen palstalle jätettynä on voimakkainta. Tällöin hakkuutähteet pääsevät kuivumaan ilmvammassa tilassa kuin haketettuna tai pinottuna kasoihin. Liian tiiviissä kasoissa hakkuutähteen kosteus ei pääse haihtumaan niin hyvin. Syksyllä talvea kohti mentäessä sateet yleistyvät ja hakkuutähteet alkavat sitoa ilman kosteutta itseensä.



Kuva 15 Hakkuutähteen kosteus palstalla, kasassa ja hakkeena vuodenaikojen mukaan (Alakangas ym. 2016, 74.)

4 POLTTOAINEEN AUTOMAATTINEN NÄYTTEENOTIN Q-ROBOT

4.1 Tausta

Prometec Solutions perustettiin vuonna 2012 tarjoamaan voima- ja lämpölaitoksille räätälöityjä asiantuntijapalveluita kiinteiden biopolttoaineiden laadunvalvontaan. On huomattu, että ostetun polttoaineen ja tuotetun energian välillä on häviötä. Tämä johtuu pääasiallisesti ostettavien polttoainekuormien laaduntarkkailuun liittyvistä ongelmista. Polttoainekuormista otetut näytteet eivät täysin edusta toimitettavaa polttoainekuormaa, jolloin kuorman energiasisällön määrittäminen on virheellistä. Prometec Solutions tarjoaa opastusta, valvontaa, näytteenkäsittelyä ja mittauspalveluita uusimpien standardien mukaisesti. Palvelun avulla parannetaan polttoaineen näytteenoton, näytteenkäsittelyn ja -mittausten luotettavuutta pienentämällä nykyisen laaduntarkkailuketjun toimintatapojen aiheuttamaa virhettä polttoaineen kosteusmittauksessa.

Prometec Solutions aloitti liiketoimintansa Kainuun Voimalla Q-link palvelukonseptilla. Q-link palvelukonsepti sisältää asiakkaalle luotettavan mittauspalvelun kuormakohtaisella kosteustiedolla ja opastetun ja valvotun näytteenottopalvelun. Kuvassa 17 on esitetty Kainuun Voiman purkupaikalla sijaitseva mobiili mittauslaboratorio, jossa kuormakohtaisia kosteusmittauksia on tehty yli neljä vuotta. Kainuun Voimalla huomattiin palvelun tulokset heti ensimmäisien kuukausien energiatase laskelmissa. Virhe ostetun ja tuotetun energian välillä pieneni ja voimalaitos sai entistä tarkempaa tietoa ostettavien polttoaineiden laadusta. Pian tämän jälkeen Q-link palvelu otettiin käyttöön myös Kuopion energialla. Q-linkin avulla energiavirheeseen päästiin kiinni ja huomattiin, että vaikka kuinka tarkasti näytteenottoa valvotaan ja opastetaan, esiintyy energiataseessa edelleen virhettä. Asiaa tutkimalla havaittiin näytteenotossa olevan inhimillistä virhettä. Tämän ratkaisuksi suunniteltiin automaattinen näytteenotin Q-robot, jonka ympärille perustettiin uusi osakeyhtiö Prometec Tools.



Kuva 16 Prometec Q-link mobiili laboratorio (Teemu Rissanen, 29.04.2019)

4.2 Toimintaperiaate

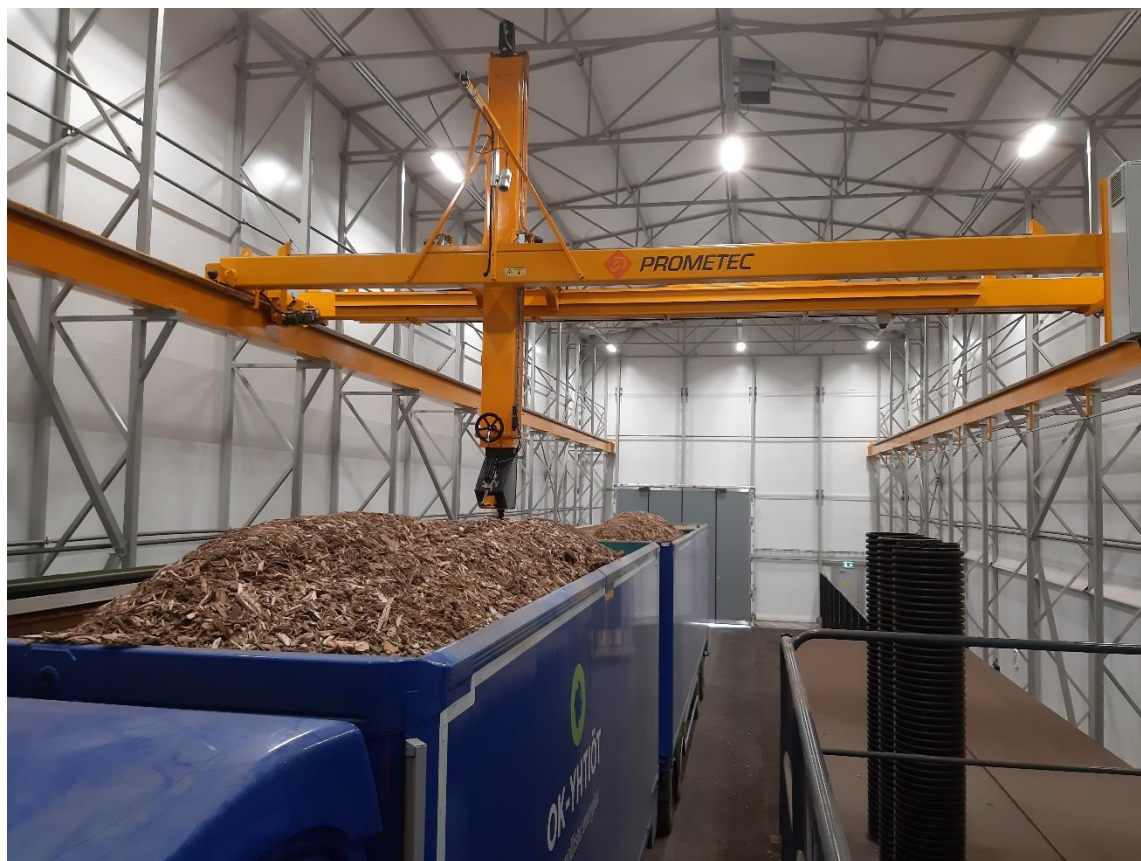
Prometec Tools Oy:n Q-Robot on näytteenottorobotti, joka ottaa saapuvasta polttoainekuormasta kaksi, neljä tai kuusi yksittäiskairausta saapuvan kuorman tilavuuden mukaan ja muodostaa niistä kuormakohtaisen näytteen. Q-robot on suunniteltu yleisimmille kiinteille biopolttoaineille, joita energiantuotannossa käytetään. Kajaaniin huhtikuussa 2019 valmistunut Q-robot on neljäs automaattinen näytteenotin, jonka Prometec on valmistanut. Q-robot on asennettu Kajaanissa Renforsin Rannan tehdasalueelle vaaka-aseman läheisyyteen. Kuvassa 18 on esitetty näytteenottorobottia varten rakennettu näytteenottohalli, jonka sisällä näytteenotto tapahtuu.



Kuva 17 Näytteenottohalli Renforsin yritysalueella Kajaanissa (Teemu Rissanen, 27.04.2019)

Ennen näytteenottoa ajoneuvot skannataan tyhjänä järjestelmään. Skannauksen avulla näytteenottorobotti tunnistaa ajoneuville sopivat ja turvalliset näytteenottoalueet. Konenäköjärjestelmä muodostaa turvallisille alueille näytteenottopistettä, joista näytteitä kairataan. Ajoneuvon paikoitus näytteenottohallissa on aina sama. Ajoneuvon kuljettaja käynnistää näytteenoton kuljettajanpaneelilta, joka on sijoitettu erilliseen operointitilaan. Näytteenotto tapahtuu ajoneuvon yläpuolella kulkevan kairan avulla (kuva 19). Kairauksia tehdään ajoneuvon mitoituksen mukaan joko kaksi, neljä tai

kuusi kappaletta. Kairauksien jälkeen näyte tiputetaan pudotusputkeen kuljettajan operointitilaan, jossa kuljettaja pussittaa ja merkitsee otetun näytteen. Näytteenotto sekvenssin kesto on noin 10 minuuttia, jonka jälkeen kuljettaja poistuu näytteenottohallista kohti purkupaikkaa.



Kuva 18 Q-robot näytteenotossa (Teemu Rissanen, 27.04.2019)

4.3 Tutkimus ja kehitys

VTT on tutkinut, että 80 % polttoainekuormien energiavirheestä johtuu epäedustavasta näytteenotosta. (Järvinen, 2012) Tavallisesti näytteen ottaa kuorman kuljettaja. Näytteenoton laatuun vaikuttaa oleellisesti näytteenoton opastus ja valvonta. Kuormien kuljettajilla on usein mielenkiintona vain kuljetustyö, eivätkä he välttämättä jaksu keskittyä näytteenottoon vaan yleensä riittää, että näytettä on. Purkupaikkojen haastavuus ja käytössä olevien välineiden puutteellisuus ovat myös tekijöitä, jolloin laadukkaaseen näytteenottoon ei välttämättä ole mahdollisuutta.

Automaattinen Q-robot on puolueeton ja tunnoton näytteenottolaite. Näytteenottimen toimintaperiaate perustuu satunnaisuuteen eli se arpoo jokaiselle kuormalle uudet näytepisteet pituus, leveys ja syvyys suunnassa. Satunnaisesti otettu näyte kuvaa parhaiten tutkittavaa polttoainekuormaa. Se jättää pois inhimillisen virheen ja pystyy ottamaan näytteen sieltä mihin normaalisti purkutilanteissa ei turvallisesti päästä eli kuorman sisältä. Automaattisen näytteenoton myötä kuljettajan ei tarvitse ottaa manuaalista näytettä, jolloin työturvallisuuteen liittyvät riskit purkupaikoilla pienenevät. Kehittyneet automatiikka lisää työturvallisuutta ja näytteenoton edustavuutta.

Prometec Q-link palvelukonsepti kehittyy jatkuvasti. Kajaanissa otettiin käyttöön uusimpana ajoneuvojen punnituspalvelut, jolla Prometec tarjoaa entistä kokonaisvaltaisempaa palvelua asiakkailleen. Tällä hetkellä Kajaanissa asiakkaille tarjotaan punnituspalvelut, automaattinen näytteenotto ja näytteen analysointi. Asiakas saa tiedon tarvittaessa reaaliaikaisesti. Kajaanin Q-robot on suunniteltu täyttämään P100 palakokoluokan näytteenottimelle näytteenottostandardin asettamat vaatimukset, kun aikaisemmat on suunniteltu palakokoluokalle P63. Uudella näytteenottorobotilla voidaan ottaa näytteitä epähomogeenisimmista materiaaleista entistä tarkemmin.

Uusimpana on kehitetty konenäköjärjestelmä, joka tyhjäsannausten lisäksi laskee näytteenoton yhteydessä kuormien tilavuustietoja. Tilavuus ja- painotietojen avulla on mahdollista laskea kuormakohtainen laskennallinen kosteustieto. Menetelmä mahdollistaa kuormakohtaisen laskennallisen kosteustiedon automaattisesti ilman erillistä pikakosteusmittausta.

5 KOEJAKSO

Koejaksossa suoritettiin vertailututkimus Kajaanissa Renforsin Rannan yritysalueella, Kainuun Voimalle saapuville polttoainekuormille. Kuormat ajettiin rekkakuormina 4.4.2019 – 29.4.2019 välisenä aikana. Rekkakuormat punnittiin aluksi vaaka-asemalla, jossa kirjattiin tulopaino Kainuun Voiman polttoainejärjestelmään. Punnituksen jälkeen kuormat ajoivat suoraan Q-robotille automaattiseen näytteenottoon. Q-robot kairasi jokaisesta tutkittavasta kuormasta kuormakohtaisen automaattisen näytteen, jonka kuorman kuljettaja pussitti näytteenoton jälkeen. Tämän jälkeen kuljettaja ajoi kuorman Kainuun Voiman purkupaikalle, jossa suoritettiin manuaalinen standardin SFS-EN ISO 18135:2017 mukainen näytteenotto. Standardin mukaisen manuaalinäytteen suoritti jokaiselle kuormalle Teemu Rissanen. Näytteenottojen ja kuorman purun jälkeen kuljettaja poistui alueelta vaakan kautta, josta kuormalle kirjattiin lähtöpaino.

Vertailututkimuksen avulla pyrittiin todentamaan Q-robotin toimivuus erilaisille metsähakkeille, joiden laadulliset ominaisuudet vaihtelevat kuormittain. Tutkimuksessa vertailtiin Q-robotin ottamaa näytettä standardin mukaiseen manuaalinäytteeseen. Vertailua tehtiin näytteiden kosteuden ja palakoon välillä Prometecin laboratorioissa. Tutkittavia materiaaleja olivat erilaiset metsähakelajikkeet. Tutkimukseen saatiin kerättyä kahdelta eri polttoainetoimittajalta kokopuu- ja rankahaketta, yhdeltä toimittajalta metsätähdehaketta ja yhdeltä toimittajalta kantomursketta. Kaikkiaan näytepareja saatiin kerättyä 24 kappaletta. Näytepareista 11 kappaletta oli kokopuu- ja rankahaketta, 11 kappaletta kantomursketta ja kaksi kappaletta metsätähdehaketta. Kantomursketta kerättiin, kun metsätähdehakkeen saatavuus tähän vuodenaikaan oli rajoitettu. Kantomurske sisältää metsätähdehakkeen lailla paljon hienoaainesta ja isoa palakokovaihtelua, jonka vuoksi se sopi hyvin vertailumateriaaliksi. Kainuun Voimalle toimitettiin huhtikuun 2019 hyvin niukasti polttoainetta lämpimän ajanjakson takia.

5.1 Näytteenoton suoritus

Q-robotin näytteenotto suoritettiin rekkakuorman yläpuolelta kairaamalla kuorman sisään. Osanäytteitä kerättiin neljä tai kuusi kappaletta standardin SFS-EN ISO 18135:2017 mukaisesti, riippuen kuorman tilavuudesta. Kuvassa 20 on havainnollistettu kuinka kaira porautuu kuormaan. Osanäyte jää lepäämään kairan lehdille, josta kaira tyhjentää näytteen integroituun keräysastiaan pyörittämällä kairaa vastapäivään. Kairauksien jälkeen Q-robot tiputti kerätyn näytteen purkupuutken kautta kuljettajan operointitilaan, jossa kuljettaja pussitti ja merkkasi näytteen.



Kuva 19 Q-robot ottamassa näytettä kokopuu- ja rankahakkeesta (Aleksi Jussila, 21.4.2019)

Manuaalinäytteet kerättiin standardin SFS-EN ISO 18135:2017 mukaisesti. Osanäytteitä otettiin saman verran kuin Q-robotilla neljä tai kuusi kappaletta. Kaikki näytteet kerättiin purun jälkeen joko kentältä kasasta (kuva 21) tai purkumontusta kasasta (kuva 22). Ideaalitalanne on ottaa näyte suoraan putoavasta virrasta purun yhteydessä, mutta tämä ei työturvallisuuden vuoksi ollut mahdollista.



Kuva 20 Kentälle purettu kantomurskekasa (Teemu Rissanen, 16.4.2019)



Kuva 22 Sivukippipurku suoraan monttuun (Teemu Rissanen, 10.4.2019)

Manuaalinäytteet otettiin kuvan 23 näytekauhoilla, joiden tilavuus on 3 litraa. Osaanäytteitä otettiin tasaisin välein saaviin koko kuorman matkalta niin, että näytekauha pyrittiin saamaan niin syvälle kasaa kuin mahdollista. Osaanäytteiden kokonaisuudesta muodostettiin laboratorionäyte neliöntipöydällä, jossa näyte sekoitettiin ja jaettiin neljään yhtä suureen osaan. Yhdestä osasta muodostui vertailuun käytetty kuormanäyte.



Kuva 23 Kainuun Voiman 3 litran näytekauhat (Teemu Rissanen, 6.4.2019)

5.2 Näytteiden kosteus ja palakokoanalyysit

Kaikista 24 näyteparista tehtiin kosteusanalyysit standardin SFS-EN ISO 18134-2 mukaisesti uunikuivaus menetelmänä. Kosteusanalyysit tehtiin reaaliajassa eli sitä mukaa kun näytteitä saatiin kerättyä, jotta saatiin kaikkien kuormien kosteus saapumistilassa. Näytepusseista otettiin haluttu määrä uunitettavaksi ja loput näytteistä säilöttiin myöhempänä tehtävää palakokoanalyysiä varten. Näytteiden punnitus tehtiin AND GF-2000 vaakalla (kuva 24) ja uunikuivaukseen käytettiin Memmertin UF750 lämpökaappia (kuva 25). Sekä vaaka, että lämpökaappi oli kalibroitu huhtikuun 2019 alussa.



Kuva 24 AND GF-2000 vaaka
(Teemu Rissanen, 15.5.2019)



Kuva 25 Memmert UF750 lämpökaappi (Teemu Rissanen, 15.5.2019)

Palakokoanalyysit tehtiin standardin SFS-EN ISO 17827-1 mukaisesti Retsch AS 400 control seulakoneella (kuva 26). Standardin mukaan seulottavan näytemäärän tulee olla 8 litraa ja alle 20 p-% kosteudessa. Q-robotilla saatavien näytteiden ja manuaalisesti otettujen näytteiden tilavuudet vaihtelevat 5,0 – 7,5 litran välillä, joten seulontaa varten muodostettiin näytepareja niin, että kaksi ajallisesti lähintä kuormaa yhdistettiin halutun 8 litran saavuttamiseksi. Kuormien yhdistämisessä huomioitiin materiaalin lähtövarasto eli seulontaan menevä otanta oli saman liikennöitsijän samasta paikasta toimittamaa polttoainetta. Kustakin kuormasta otettiin 4 litraa näytettä, jotka kuivatettiin Memmert UF750 lämpökaapissa haluttuun kosteuteen. Palakokoanalyysijä tehtiin kaikkiaan 10 kappaletta. Kokopuu- ja rankahaketta seulottiin yhteensä 4 paria, kantomursketta 5 paria ja metsätähdehaketta yksi pari.

Seulomisessa käytettiin pyöreitä seula-aukkoja 100 mm, 63 mm, 45 mm, 16 mm, 3,15 mm ja pohja-astia. Seulonta-aika oli 15 minuuttia, jossa seulonnan pyörimissuunta vaihtui kolmen minuutin välein. Seulontanopeus katsottiin sopivaksi 200 rpm/”g”. Seulonnan punnitukseen käytettiin AND GF-2000 vaakaa.

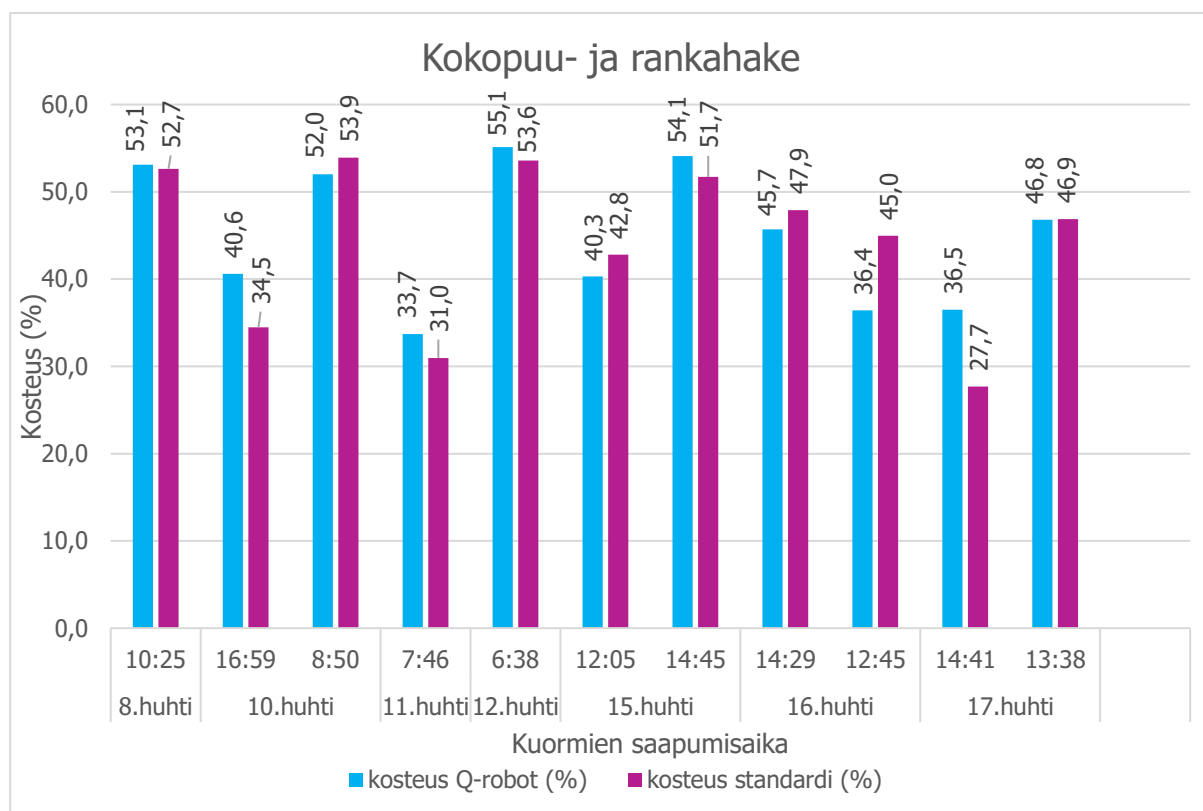


Kuva 26 Seulakone Retsch AS 400 control (Teemu Rissanen, 15.5.2019)

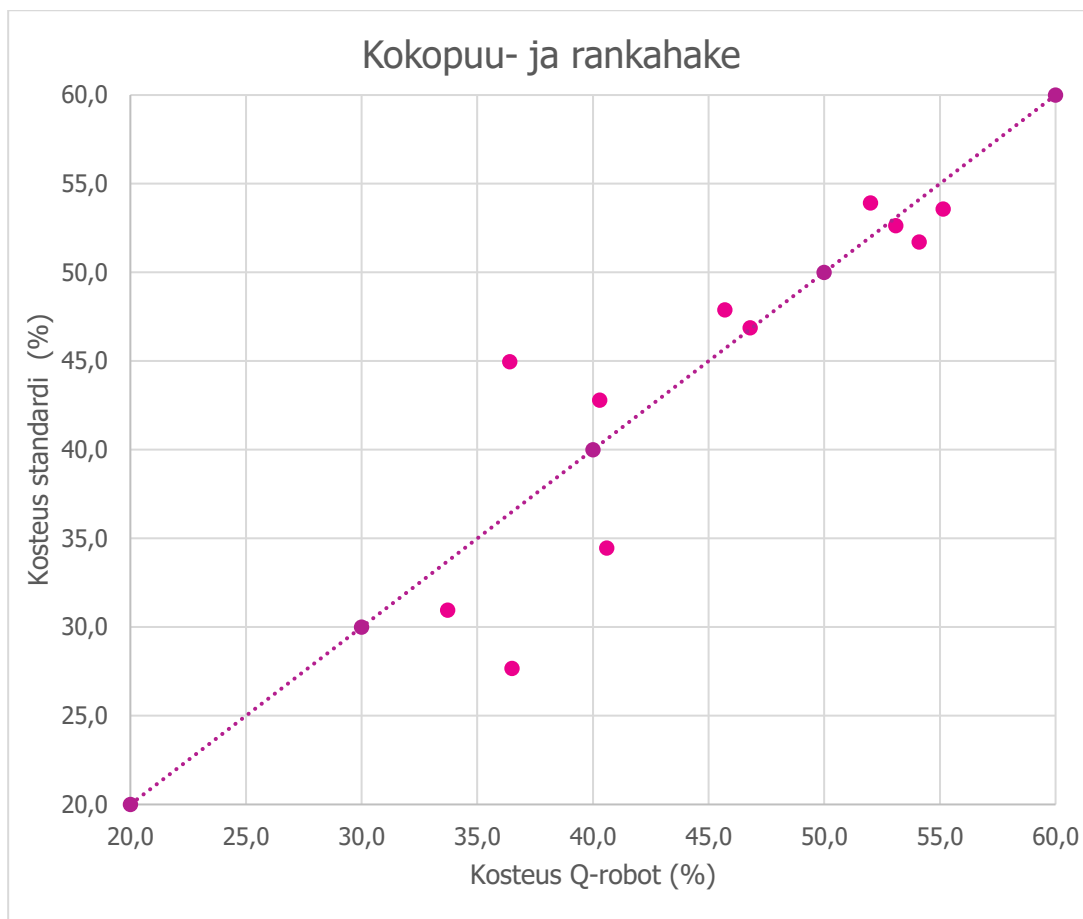
6 KOEJAKSON TULOKSET

6.1 Kosteus

Koejakson aikana tehtiin 24 kappaletta vertailevaa kosteusanalyysiä. Kokopuu- ja rankahaketta oli vertailussa yhteensä 11 kuormaa. Kuvassa 27 on esitetty kuormittain Q-robotin automaattinäytteen ja standardin mukaisten manuaalinäytteiden tulokset. Q-robotin ottamat automaattinäytteet ovat keskiarvoltaan 0,6 p-% kosteampia kuin vertailevat standardin mukaiset manuaalinäytteet. Kuvassa 28 on havainnollistettu miten näyteparien kosteudet sijoittuvat lineaariselle suoralle. Taulukoidut tulokset kaikista kokopuu- ja rankahake kosteuksista löytyy liitteestä 1.

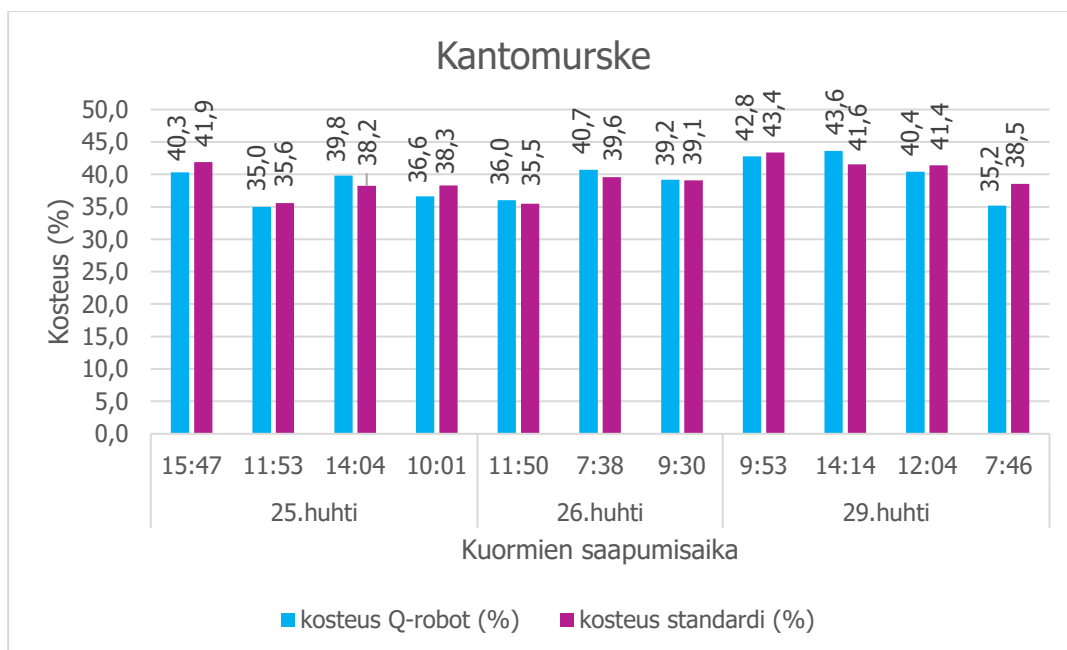


Kuva 27 Kokopuu- ja rankahakkeen vertailukosteudet

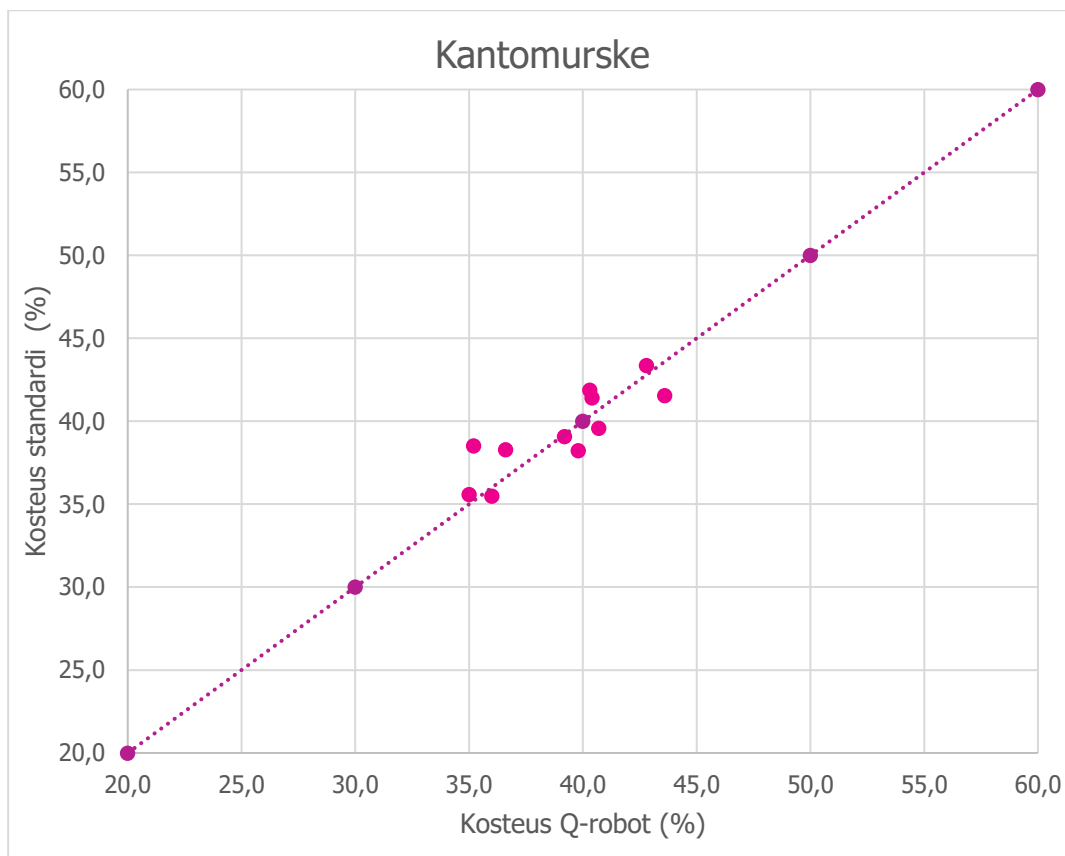


Kuva 28 Kokopuu- ja rankahakkeen kosteuksien suhde lineaarisella suoralla

Kantomurskettä vertailuun kerättiin 11 kappaletta. Kuvassa 29 on esitetty kuormittain Q-robotin automaattinäytteiden ja standardin mukaisten manuaalinäytteiden tulokset. Q-robotin ottamat automaattinäytteet ovat keskiarvoltaan 0,3 p-% kuivempia kuin vertailevat standardin mukaiset manuaalinäytteet. Kuvassa 30 on havainnollistettu miten näyteparien kosteudet sijoittuvat lineaariselle suoralle. Taulukoidut tulokset kaikista kantomurskeiden kosteuksista löytyy liitteestä 1.

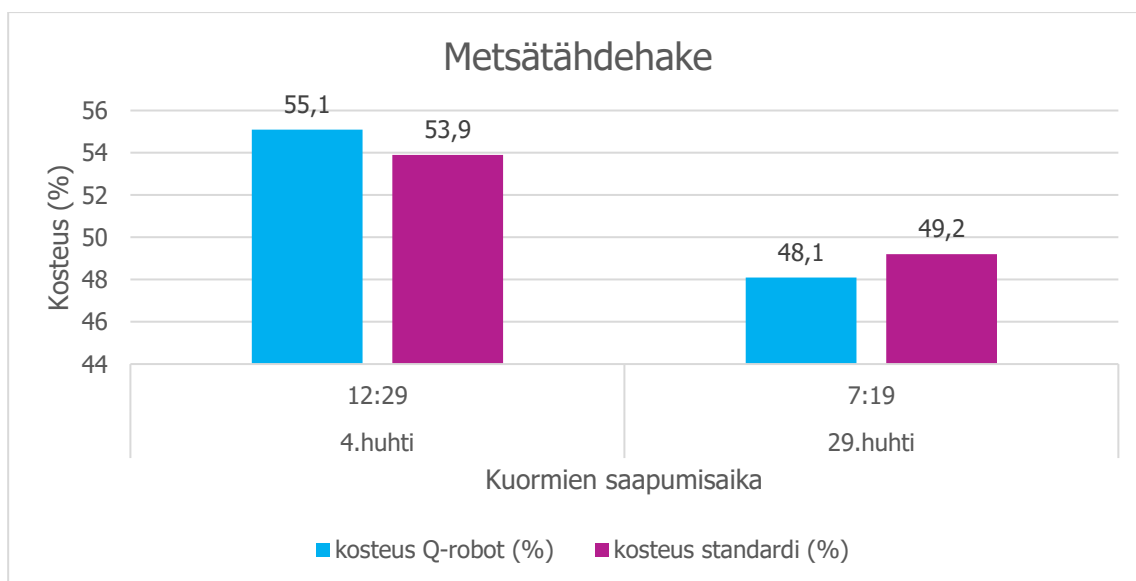


Kuva 29 Kantomurskeen vertailutulokset



Kuva 30 Kantomurskeen kosteuksien suhde lineaarisella suoralla

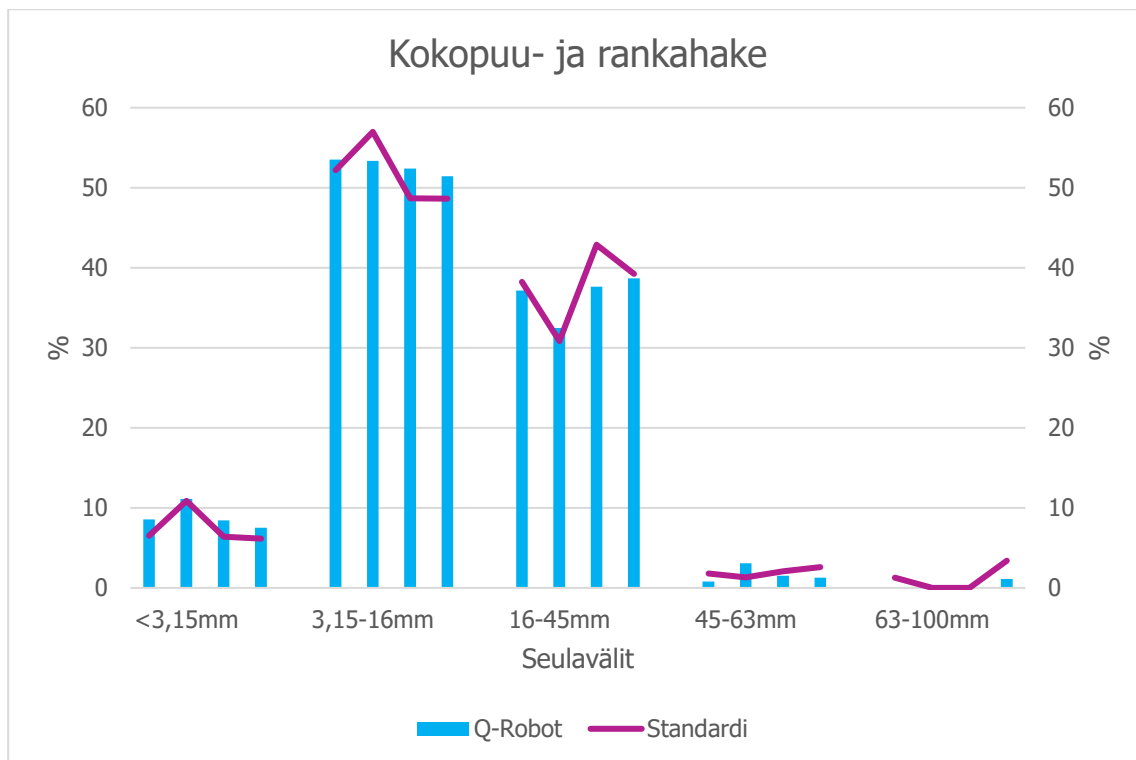
Metsätähdehakeita kosteusvertailussa oli kaksi kappaletta. Kuvassa 31 on esitetty kuormittain Q-robotin automaattinäytteiden ja standardin mukaisten manuaalinäytteiden tulokset. Q-robotin ottamat automaattinäytteet ovat keskiarvoltaan 0,05 p-% kosteampia kuin vertailevat standardin mukaiset manuaalinäytteet. Taulukoidut tulokset kaikista metsätähdehakeiden kosteuksista löytyy liitteestä 1.



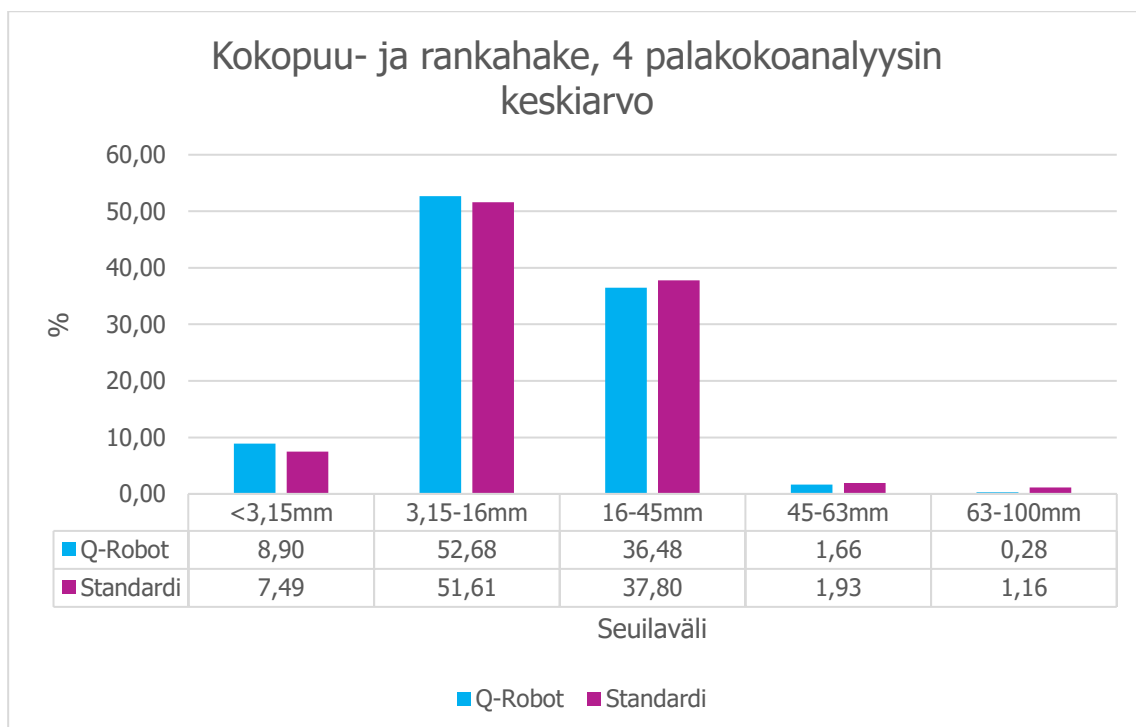
Kuva 31 Metsätähdehakeiden kosteusvertailut

6.2 Palakoko

Kokopuu- ja rankahakkeilla vertailevia palakokoanalyysijä tehtiin neljä kappaletta. Kuvassa 32 on esitetty Q-robotin automaattinäytteiden ja standardin mukaisten manuaalinäytteiden painoprosenttiosuudet seulaväleittäin. Kuvassa 33 on esitetty jokaisen seulavälin keskiarvoinen osuus painoprosentteina. Kaikki palakokotulokset on esitetty liitteessä 2.

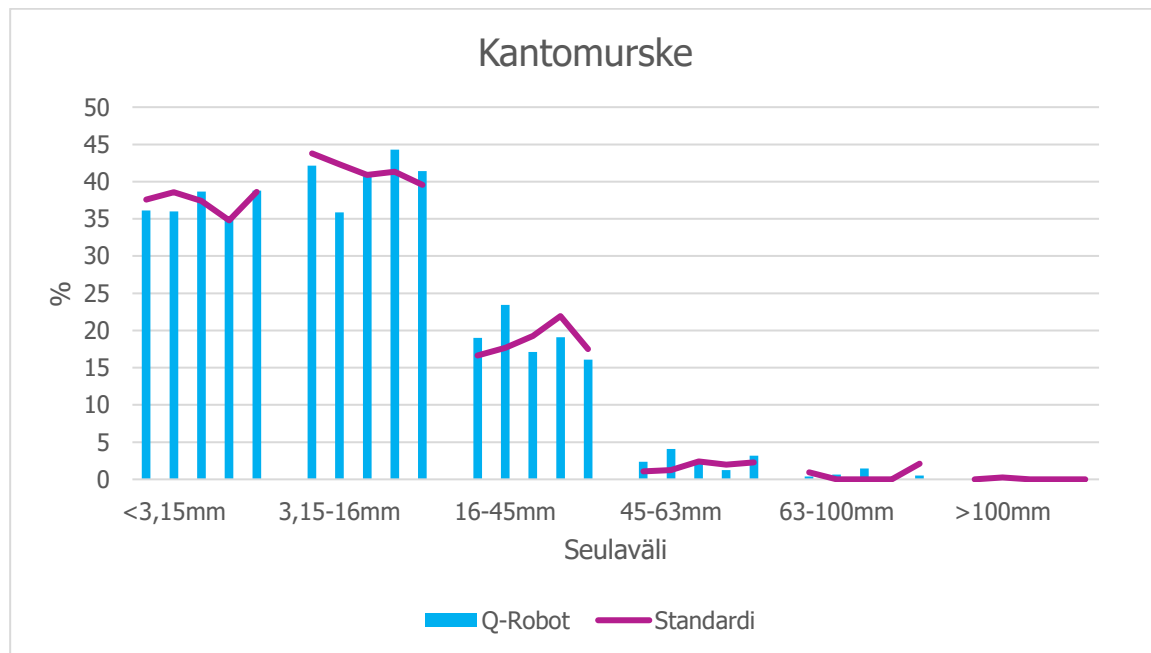


Kuva 32 Kokopuu- ja rankahakkeiden painoprosenttiosuudet seulavälein

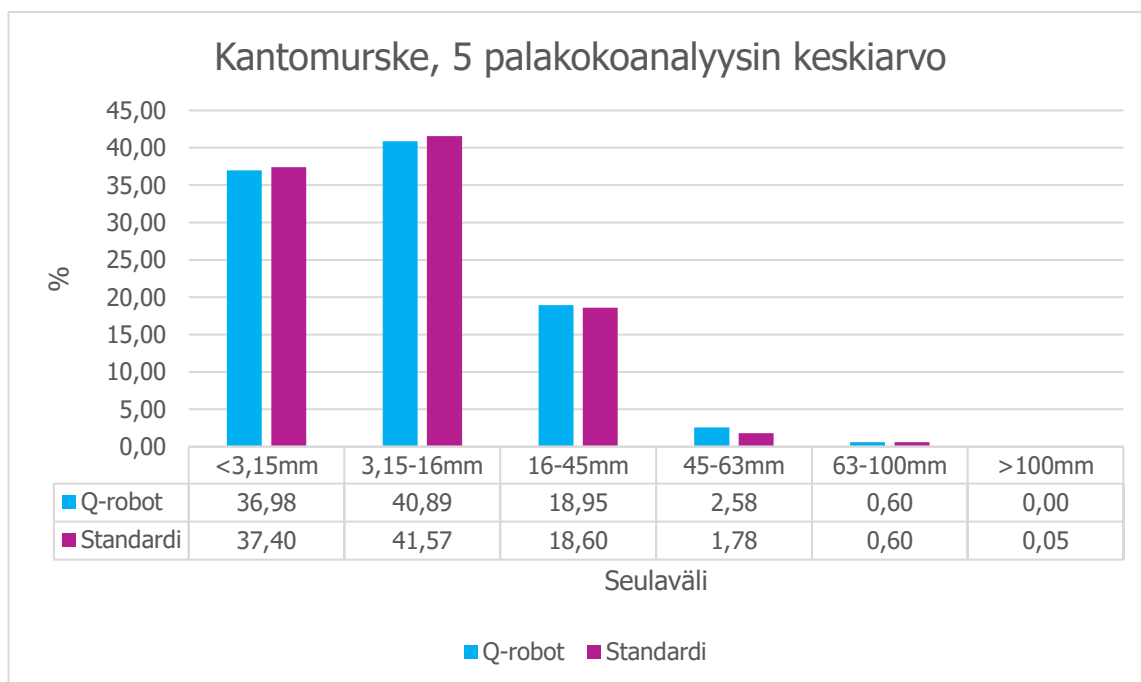


Kuva 33 Kokopuu- ja rankahakkeiden keskiarvoinen prosenttiosuus seulavälein

Kantomurskeilla vertailevia palakokoanalyysijä tehtiin viisi kappaletta. Kuvassa 34 on esitetty Q-robotin automaattinäytteiden ja standardin mukaisten manuaalinäytteiden painoprosenttiosuudet seulaväleittäin. Kuvassa 35 on esitetty jokaisen seulavälin keskiarvoinen osuus painoprosentteina. Kaikki palakokotulokset on esitetty liitteessä 2.

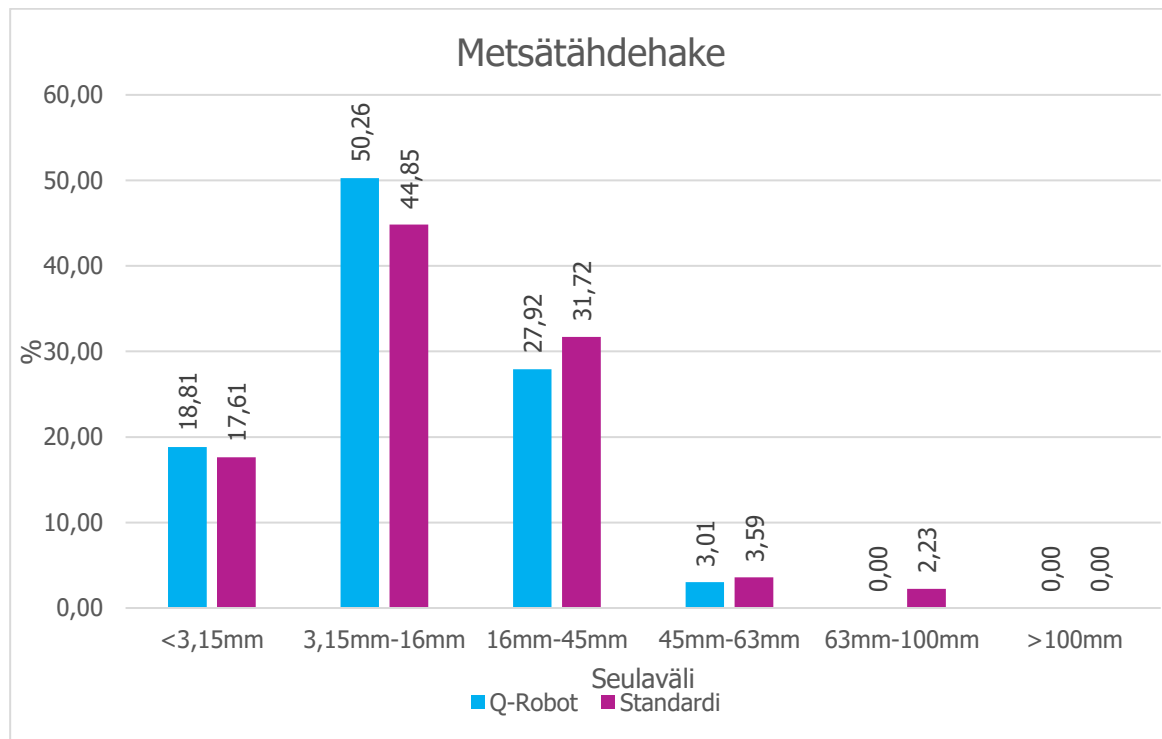


Kuva 34 Kantomurskeiden painoprosenttiosuudet seulaväleihin



Kuva 35 Kantomurskeiden keskiarvoinen prosenttiosuus seulaväleihin

Metsätähdehakeilla tehtiin yksi kappale palakokovertailua. Kuvassa 36 on esitetty Q-robotin automaattinäytteen ja standardin mukaisten manuaalinäytteen painoprosenttiosuus seulaväleittäin. Kaikki palakokotulokset on esitetty liitteessä 2.



Kuva 36 Metsätähdehakeen painoprosenttiosuus seulaväleihin

7 TULOSTEN ANALYSOINTI JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Liitteessä 1 on esitetty kaikkien koejakson aikana otettujen näyteparien kosteusvertailut ja erot. Kokopuu- ja rankahakkeilla kosteuksien ero on 0,6 %-yksikköä niin, että automaattinen näytteenotin Q-robot on ottanut keskiarvallisesti hieman kosteampia näytteitä. Kuvassa 28 on esitetty, miten hajonta osuu lineaariselle suoralle. Kuvaajasta ilmenee, että hajontaa on molemmin puolin eli välillä Q-robotin näyte on kosteampi ja välillä kuivempi. Tämä on normaalia vaihtelua, jota kuorman sisällä esiintyy. On satunnaista mistä kohtaa näyte kulloinkin otetaan, jolloin vaihtelua pitää ollakin. Sama ilmiö toistuu kantomurskeella ja metsätähdehakeella. Kantomurskeen kosteudet ovat hyvin lähellä automaattisen ja standardin mukaisen manuaalisen näytteen välillä, eron ollessa vain 0,3 %-yksikköä siten, että Q-robot on keskiarvallisesti kuivempi. Metsähakkeilla kahden näyteparin perusteella ei teoriassa voida eroa todentaa, mutta keskiarvallisesti Q-robotin ja manuaalisesti otetun näytteen välillä ei ole eroa. Toisessa näyteparissa Q-robot on ollut kosteampi ja toisessa kuivempi.

Liitteessä 2 on esitetty koejakson aikana suoritettut palakokoanalyysit. Palakokojakaumat kaikilla näytepariyhdistelmillä on hyvin lähellä toisiaan. Eroja ei juurikaan esiinny näytteenottotapojen välillä. Kokopuu- ja rankahakkeilla esiintyy pientä eroa kullakin seulavälillä. Kuvasta 33 nähdään, että keskiarvallisesti Q-robotin näytteissä on hieman enemmän hienoaainesta ja pienempiä palakokoja. Standardin mukaisissa manuaalinäytteissä puolestaan esiintyy hieman enemmän isompia palakokoja. Sama ilmiö esiintyy metsätähdehakeilla. Tämä johtuu siitä, että manuaaliset näytteet on otettu purun jälkeen kasasta, jossa yleensä isoimmat palakoot jäävät pinnalle, eikä todelliseen hienoainekseen ole mahdollista näytekauhalla päästä. Kantomurskeilla ilmiö on hieman toisenlainen. Kaikkiaan kantomurskeiden palakokojakaumat menevät käsikädessä, mutta pientä eroa esiintyy. Mielenkiintoista on, että manuaalisesti kasasta otetuissa näytteissä on hieman enemmän hienoainesta ja pienempää palakokoa kuin Q-robotin ottamissa (kuva 35).

Tässä työssä koejakson aikana tehtyjen kosteus- ja palakokoanalyysien perusteella voidaan todeta, että automaattinen näytteenotin Q-robot vastaa huolellisesti suoritettua standardin mukaista manuaalinäytteenottoa. Q-robotia voidaan pitää luotettavana näytteenottovälineenä koejaksossa tutkituille materiaaleille. Tuloksia tarkasteltaessa täytyy huomioida, että manuaalinäytteenotto on suoritettu suurta huolellisuutta pitäen. Koejakso sijoittui kuivaan vuodenaikaan, jolloin toimitetuissa polttoainekuormissa ei ulkopuolisia laatuvariaatioita aiheuttavia tekijöitä ollut mukana. Polttoaineiden ominaiset laatuvariaatiot tulivat työssä kuitenkin esille kosteuksia verratessa. Metsätähdehakeen osalta otanta jäi liian pieneksi, johtuen kuormien vähyydestä. Metsätähdehake sisältää eniten laatuvariaatioita varsinkin lämmityskauden aikana, jolloin jää ja lumi ovat kuormassa läsnä. Metsätähdehakeen osalta vertailututkimusta tulee jatkaa, kun kuormia aletaan taas ajamaan. Paras tutkittava epähomogeeninen materiaali on suoraan haketuspaikalta talviaikaan ajettu metsätähdehake.

8 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli todentaa Kajaaniin huhtikuussa 2019 rakennetun automaattisen näytteenottimen Q-robotin toiminta eri metsähakelajikkeille. Työssä suoritettiin vertailututkimus, jossa todentaminen tapahtui vertailemalla standardin mukaista manuaalista näytettä automaattiseen Q-robotilla otettuun näytteeseen. Näytteiden laatutekijöistä tutkittiin kosteuspitoisuutta ja palakokoja-kaumaa. Näiden laboratorioanalyysien perusteella saatiin selkeä kuva, kuinka hyvin Q-robotin ottamat automaattinäytteet edustivat standardin mukaisia manuaalisia näytteitä.

Työn aikana kerättiin näytteitä Q-robotilla kaikkiaan 24 kappaletta ja jokaiselle automaattinäytteelle kerättiin manuaalinen vastinpari standardin mukaisesti. Näytteet käsiteltiin Prometecin laboratoriossa, jossa ne analysoitiin sitä mukaa kun näytteitä kirjattiin eli saapumiskosteudessa. Manuaalisessa näytteenotossa ja näytteiden käsittelyssä käytettiin erityistä tarkkuutta, jotta vertailututkimuksen tulokset olivat luotettavat.

Työn alkuperäisenä tavoitteena oli tutkia tarkemmin metsätähdehaketta, joka sisältää paljon laatu- vaihtelua kuormittain. Metsätähdehaketta ei kohdelaitokselle Kainuun Voimalle saatu toimitettua huhtikuun 2019 aikana kuin kaksi kuormaa. Tämän takia vertailuun valittiin toinen paljon laatu- vaihtelua sisältävä puupolttoaine kantomurske. Kantomurskekuormat sisältävät paljon palakokovaihtelua, joten se sopi hyvin tutkittavaksi materiaaliksi. Kokopuu- ja rankahaketta saatiin kerättyä tarvittava määrä.

Vertailututkimuksen tulokset osoittavat, että Prometecin Kajaaniin rakennuttama automaattinen näytteenotin Q-robot toimii hyvin ja luotettavasti eri metsähakelajikkeille. Q-robotin ottamat näytteet olivat hyvin yhtenäisiä manuaalisesti otettujen näytteiden kanssa. Kosteus- ja palakokoanalyysissä erot näytteenottotapojen välillä olivat hyvin pienet. Metsätähdehakkeen osalta tutkimuksia jatketaan myöhemmin syksyllä 2019 kun lämmityskausi taas käynnistyy ja kuormamäärät kasvavat. Nyt tehtyjen tutkimusten perusteella voidaan olettaa tulevien tuloksien olevan vastaavanlaisia myös metsätähdehakkeille. Kaikkiaan työ onnistui erittäin hyvin ja työstä saatiin tärkeää aineistoa automaattisen näytteenottimen toiminnasta.

LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

LUKE 2018. Luonnonvarakeskus, puun energiakäyttö 2017. Tilastotietokanta [verkkajulkaisu] Saatavissa: https://stat.luke.fi/puun-energiak%C3%A4ytt%C3%B6-2017_fi

LUKE 2019. Luonnonvarakeskus, Kiinteiden puupolttoaineiden käyttö ennallaan – metsähakkeen kulutus kasvoi. Uutinen [verkkajulkaisu]. Saatavissa: <https://www.luke.fi/uutiset/kiinteiden-puupolttoaineiden-kaytto-ennallaan-metsahakkeen-kulutus-lisaantyi/>

Kainuun Voima 2019. Yritysesittely [verkkajulkaisu]. Saatavissa: <http://voimaa.kainuunvoima.fi/yritys/>

KEINÄNEN, Kimmo 2019-2-27. Toimitusjohtaja. [Haastattelu] Kajaani: Kainuun Voima

Puupolttoaineen laatuohje 2014. VTT-M-07608-13-päivitys 2014. Eija Alakangas ja Risto Impola.

PUTULA, Joel ja HILLI, Anu 2017. Hakkeen laatuun vaikuttavat tekijät. ePooki30/2017 Oulun ammattikorkeakoulun tutkimus- ja kehitystyön julkaisut [verkkajulkaisu] ISSN 1798-2022.

DANNBOM, Kari 2009. Näytteenottolaitteen kehitys kiinteiden biopolttoaineiden online-kosteusmittaussovellukseen. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Automaatiotekniikan koulutusohjelma. Insinööri-työ.

ALAKANGAS, Eija 2018. Metsäbiomassan energiakäyttö. Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. Tiedetreffit: Biotalous sivuvirrat ja energiaratkaisut. JAMK Biotalousinsituutti.

ALAKANGAS, Eija, HURSKAINEN, Markku, LAATIKAINEN-LUNTAMA, Jaana ja KORHONEN, Jaana 2016. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT [verkkajulkaisu]. Saatavissa: <https://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2016/T258.pdf>

JÄRVINEN, Timo 2012. Kiinteiden biopolttoaineiden CEN-näytteenottostandardin soveltaminen Suomen oloihin. Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. VTT-R-01322-12.

LAUHANEN, R., AHOKAS, J., ESALA, J., HAKONEN, T., SIPPOLA, H., VIIRIMÄKI, J., KOSKINIEMI, E., LAURILA, J. JA MAKKONEN, I. 2014. Metsätoimihenkilön energialaskuoppi. Seinäjoen ammattikorkeakoulun julkaisusarja C. Oppimateriaaleja 6 [verkkajulkaisu] ISSN 1797-5581.

KIIINTEÄT BIOPOLTTOAINEET 2017. Näytteenotto. SFS-EN ISO 18135. Vahvistettu 2017.

KIIINTEÄT BIOPOLTTOAINEET 2017. Näytteen esikäsittely. SFS-EN ISO 14780. Vahvistettu 2017.

KIINTEÄT BIOPOLTTOAINEET 2017. Kosteuspitoisuuden määrittäminen. Uunikuivausmenetelmä. Osa 2: Kokonaiskosteus. Yksinkertaistettu menetelmä. SFS-EN ISO 18134-2 Vahvistettu 2017.

KIINTEÄT BIOPOLTTOAINEET 2014. Polttoaineen laatuvaatimukset ja -luokat. Osa 1: Yleiset vaatimukset. SFS-EN ISO 17225-1. Vahvistettu 2014.

KIINTEÄT BIOPOLTTOAINEET 2014. Polttoaineen laatuvaatimukset ja -luokat. Osa 4: Luokiteltu puuhake. SFS-EN ISO 17225-4. Vahvistettu 2014.

KIINTEÄT BIOPOLTTOAINEET 2017. Lämpöarvon määrittäminen. SFS-EN ISO 18125. Vahvistettu 2017.

KIINTEÄT BIOPOLTTOAINEET 2016. Palakokojakauman määrittäminen tiivistymättömille polttoaineille. Osa 1: Täryseulamenetelmä (oskilloiva) käyttäen 3,15 mm ja sen yli meneviä seulan aukkoja. SFS-EN ISO 17827-1. Vahvistettu 2016.

KIINTEÄT BIOPOLTTOAINEET 2015. Irtotiheyden määrittäminen. SFS-EN ISO 17828. Vahvistettu 2015.

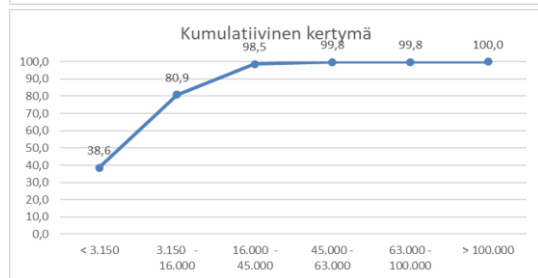
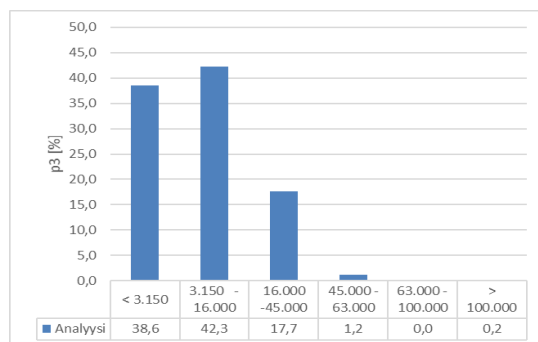
LIITE 1 KOSTEUS VERTAILUTULOKSET

Aine	pvm	klo	kosteuQ-robot (%)	kosteus manuaali standardi (%)	Ero	
kokopuu- ja rankahake	8.huhti	10:25	53,1	52,7	0,5	
	10.huhti	16:59	40,6	34,5	6,1	
	10.huhti	8:50	52,0	53,9	-1,9	
	11.huhti	7:46	33,7	31,0	2,8	
	12.huhti	6:38	55,1	53,6	1,6	
	15.huhti	14:45	54,1	51,7	2,4	
	16.huhti	14:29	45,7	47,9	-2,2	
	16.huhti	12:45	36,4	45,0	-8,6	
	17.huhti	14:41	36,5	27,7	8,8	
	17.huhti	13:38	46,8	46,9	-0,1	
	15.huhti	12:05	40,3	42,8	-2,5	
	metsätähdehake	4.huhti	12:29	55,1	53,9	1,2
		29.huhti	7:19	48,1	49,2	-1,1
	kantomurske	25.huhti	15:47	40,3	41,9	-1,6
25.huhti		11:53	35,0	35,6	-0,6	
25.huhti		14:04	39,8	38,2	1,6	
25.huhti		10:01	36,6	38,3	-1,7	
26.huhti		11:50	36,0	35,5	0,5	
26.huhti		7:38	40,7	39,6	1,1	
26.huhti		9:30	39,2	39,1	0,1	
29.huhti		9:53	42,8	43,4	-0,6	
29.huhti		14:14	43,6	41,6	2,1	
29.huhti		12:04	40,4	41,4	-1,0	
29.huhti	7:46	35,2	38,5	-3,3		

LIITE 2 PALAKOKO VERTAILUTULOKSET

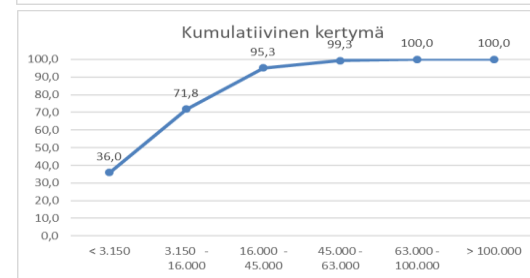
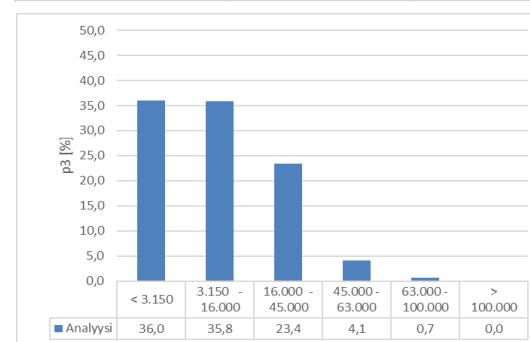
Kantomurske standardi 26.4 klo 14.14 ja 29.4 klo 09.30

Palakoko luokka [mm]	p3 [%]	Q3 [%]	Δm [g]
< 3.150	38,6	38,6	679
3.150 - 16.000	42,3	80,9	744,7
16.000 -45.000	17,7	98,5	311
45.000 - 63.000	1,2	99,8	21,8
63.000 - 100.000	0,0	99,8	0
> 100.000	0,2	100,0	4,2
			1760,7



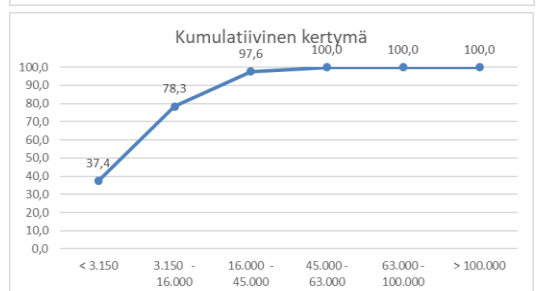
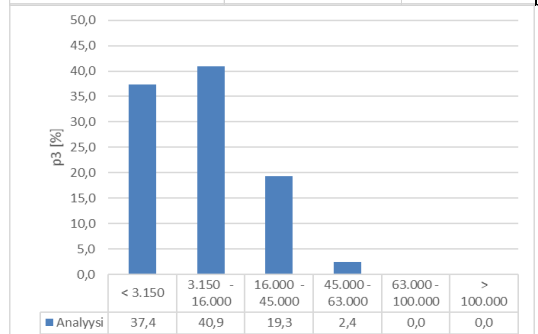
Kantomurske Q-robot 26.4 klo 14.14 ja 29.4 klo 09.30

Palakoko luokka [mm]	p3 [%]	Q3 [%]	Δm [g]
< 3.150	36,0	36,0	681,9
3.150 - 16.000	35,8	71,8	679,5
16.000 -45.000	23,4	95,3	444,2
45.000 - 63.000	4,1	99,3	77,4
63.000 - 100.000	0,7	100,0	12,4
> 100.000	0,0	100,0	0,0
			1895,4



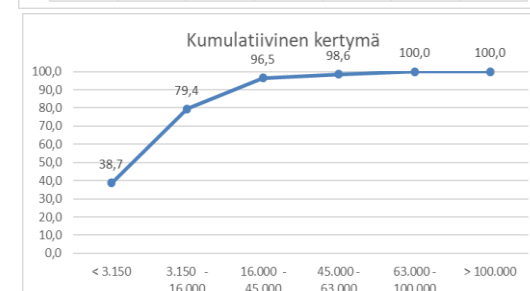
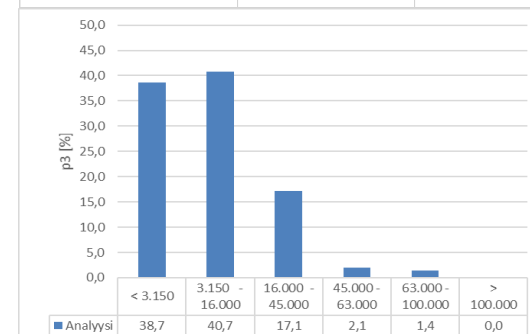
Kantomurske standardi 29.4 klo 12.04 ja 29.4 klo 09.53

Palakoko luokka [mm]	p3 [%]	Q3 [%]	Δm [g]
< 3.150	37,4	37,4	643
3.150 - 16.000	40,9	78,3	702,9
16.000 -45.000	19,3	97,6	330,9
45.000 - 63.000	2,4	100,0	41,3
63.000 - 100.000	0,0	100,0	0
> 100.000	0,0	100,0	0
			1718,1



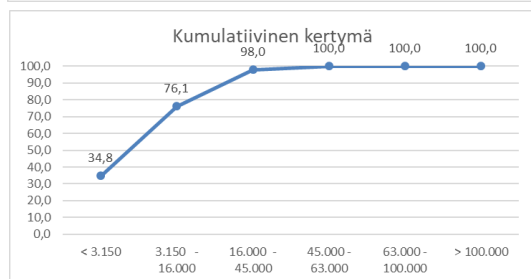
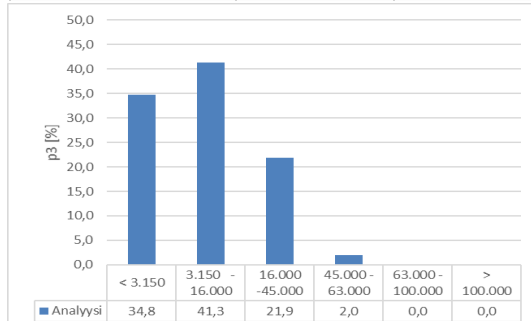
Kantomurske Q-robot 29.4 klo 12.04 ja 29.4 klo 09.53

Palakoko luokka [mm]	p3 [%]	Q3 [%]	Δm [g]
< 3.150	38,7	38,7	705
3.150 - 16.000	40,7	79,4	742,6
16.000 -45.000	17,1	96,5	312,4
45.000 - 63.000	2,1	98,6	37,6
63.000 - 100.000	1,4	100,0	26,3
> 100.000	0,0	100,0	0
			1823,9



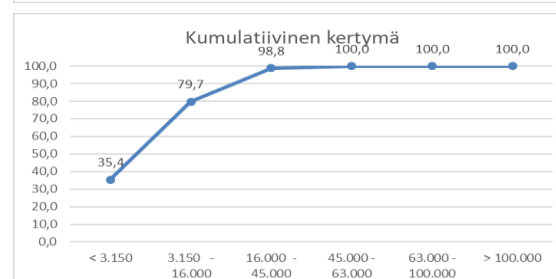
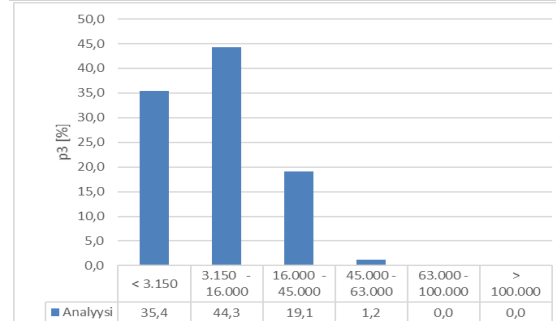
Kantomurske standardi 25.4 klo 11.53 ja klo 15.47

Palakoko luokka [mm]	p3 [%]	Q3 [%]	Δm [g]
< 3.150	34,8	34,8	642,3
3.150 - 16.000	41,3	76,1	762,9
16.000 - 45.000	21,9	98,0	404,7
45.000 - 63.000	2,0	100,0	36,3
63.000 - 100.000	0,0	100,0	0
> 100.000	0,0	100,0	0
			1846,2



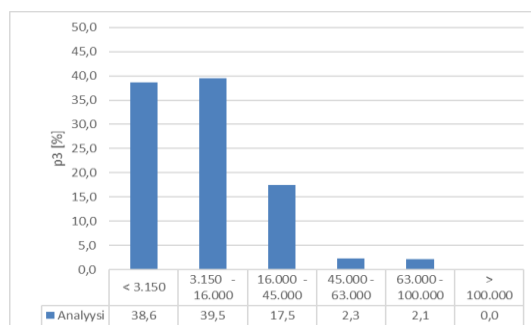
Kantomurske Q-robot 25.4 klo 11.53 ja klo 15.47

Palakoko luokka [mm]	p3 [%]	Q3 [%]	Δm [g]
< 3.150	35,4	35,4	634,2
3.150 - 16.000	44,3	79,7	794,7
16.000 - 45.000	19,1	98,8	342,7
45.000 - 63.000	1,2	100,0	22
63.000 - 100.000	0,0	100,0	0
> 100.000	0,0	100,0	0
			1793,6



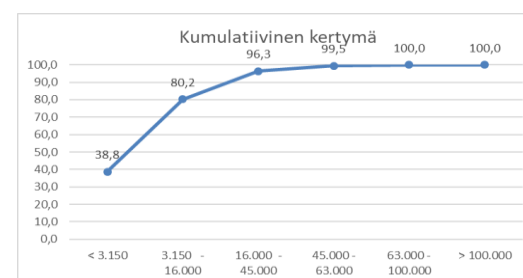
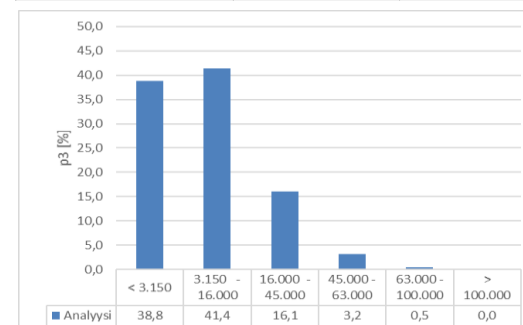
Kantomurske standardi 26.4 klo 07.38 ja klo 11.50

Palakoko luokka [mm]	p3 [%]	Q3 [%]	Δm [g]
< 3.150	38,6	38,6	720,8
3.150 - 16.000	39,5	78,2	737,9
16.000 - 45.000	17,5	95,7	326,3
45.000 - 63.000	2,3	97,9	42,1
63.000 - 100.000	2,1	100,0	38,9
> 100.000	0,0	100,0	0
			1866,0



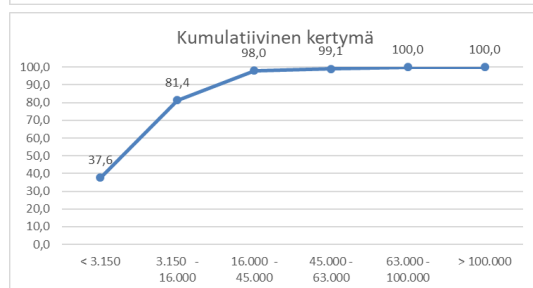
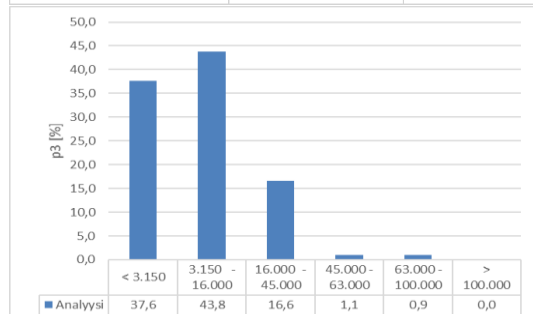
Kantomurske Q-robot 26.4 klo 07.38 ja klo 11.50

Palakoko luokka [mm]	p3 [%]	Q3 [%]	Δm [g]
< 3.150	38,8	38,8	658
3.150 - 16.000	41,4	80,2	702,6
16.000 - 45.000	16,1	96,3	272,6
45.000 - 63.000	3,2	99,5	53,9
63.000 - 100.000	0,5	100,0	8,9
> 100.000	0,0	100,0	0
			1696,0



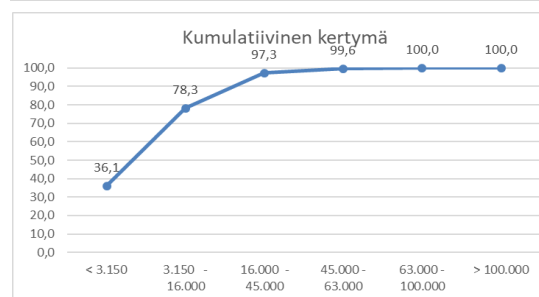
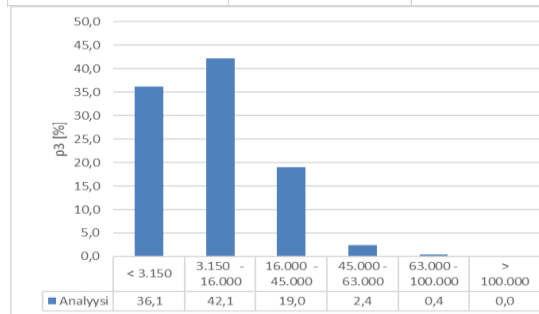
Kantomurske standardi 25.4 klo 10.01 ja klo 14.04

Palakoko luokka [mm]	p3 [%]	Q3 [%]	Δm [g]
< 3.150	37,6	37,6	663,2
3.150 - 16.000	43,8	81,4	772,6
16.000 - 45.000	16,6	98,0	293,7
45.000 - 63.000	1,1	99,1	18,6
63.000 - 100.000	0,9	100,0	16,4
> 100.000	0,0	100,0	0
			1764,5



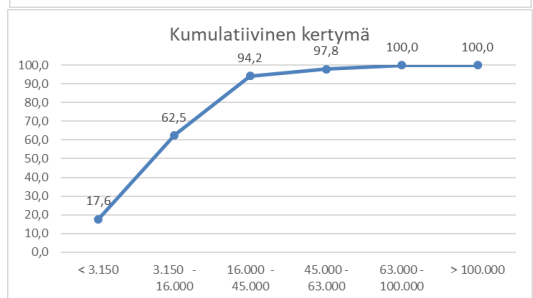
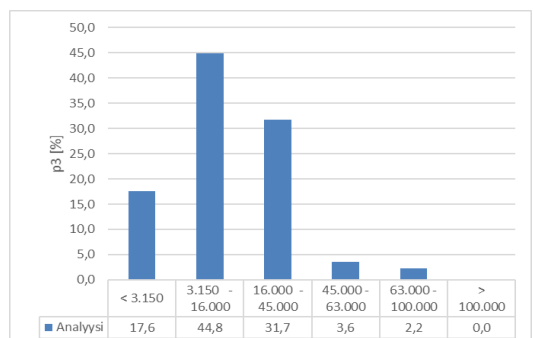
Kantomurske Q-robot 25.4 klo 10.01 ja klo 14.04

Palakoko luokka [mm]	p3 [%]	Q3 [%]	Δm [g]
< 3.150	36,1	36,1	621,4
3.150 - 16.000	42,1	78,3	725,1
16.000 - 45.000	19,0	97,3	326,9
45.000 - 63.000	2,4	99,6	40,8
63.000 - 100.000	0,4	100,0	6,3
> 100.000	0,0	100,0	0
			1720,5



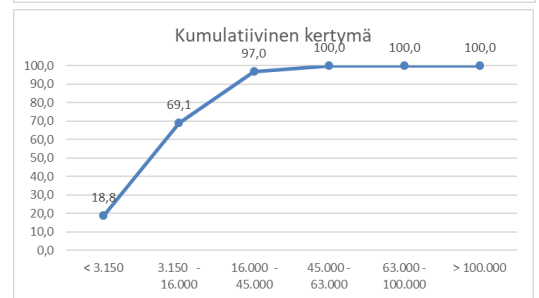
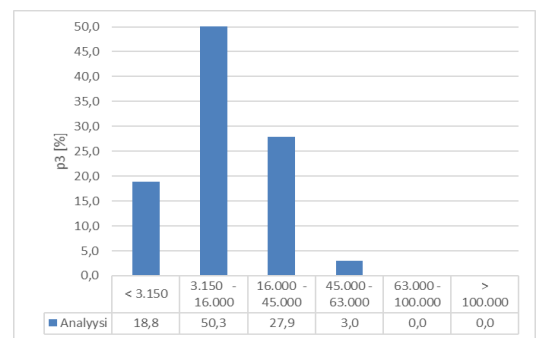
Metsätähdehake standardi 4.4.2019 ja 29.4.2019

Palakoko luokka [mm]	p3 [%]	Q3 [%]	Δm [g]
< 3.150	17,6	17,6	232,7
3.150 - 16.000	44,8	62,5	592,5
16.000 - 45.000	31,7	94,2	419
45.000 - 63.000	3,6	97,8	47,4
63.000 - 100.000	2,2	100,0	29,5
> 100.000	0,0	100,0	0
			1321,1



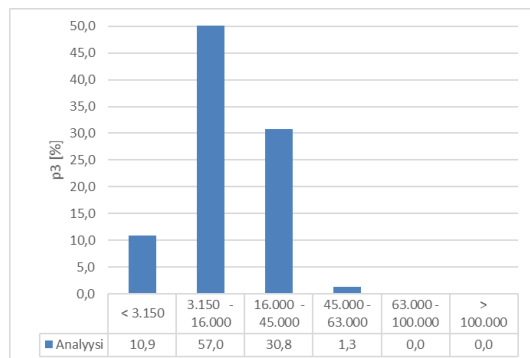
Metsätähdehake Q-robot 4.4.2019 ja 29.4.2019

Palakoko luokka [mm]	p3 [%]	Q3 [%]	Δm [g]
< 3.150	18,8	18,8	254,6
3.150 - 16.000	50,3	69,1	680,1
16.000 - 45.000	27,9	97,0	377,8
45.000 - 63.000	3,0	100,0	40,7
63.000 - 100.000	0,0	100,0	0
> 100.000	0,0	100,0	0
			1353,2



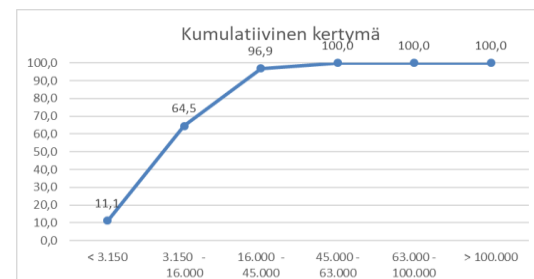
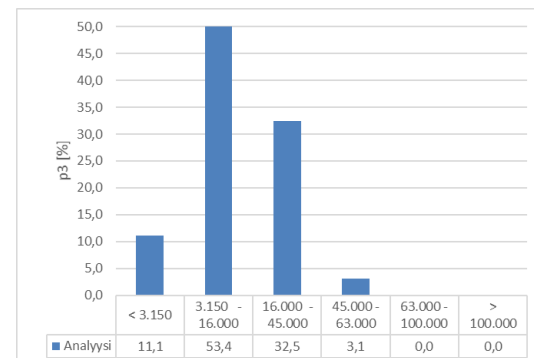
Kokopuu standardi 10.4 klo 16.59 ja 11.4 klo 07.46

Palakoko luokka [mm]	p3 [%]	Q3 [%]	Δm [g]
< 3.150	10,9	10,9	170,9
3.150 - 16.000	57,0	67,9	894,6
16.000 - 45.000	30,8	98,7	484
45.000 - 63.000	1,3	100,0	20,4
63.000 - 100.000	0,0	100,0	0,0
> 100.000	0,0	100,0	0,0
			1569,9



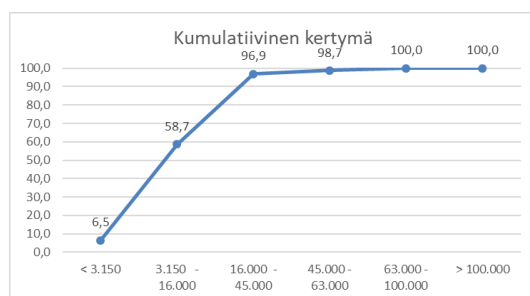
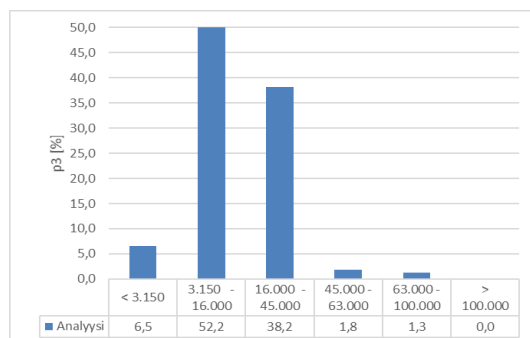
Kokopuu Q-robot 10.4 klo 16.59 ja 11.4 klo 07.46

Palakoko luokka [mm]	p3 [%]	Q3 [%]	Δm [g]
< 3.150	11,1	11,1	175,7
3.150 - 16.000	53,4	64,5	843,8
16.000 - 45.000	32,5	96,9	513,4
45.000 - 63.000	3,1	100,0	48,5
63.000 - 100.000	0,0	100,0	0,0
> 100.000	0,0	100,0	0,0
			1581,4



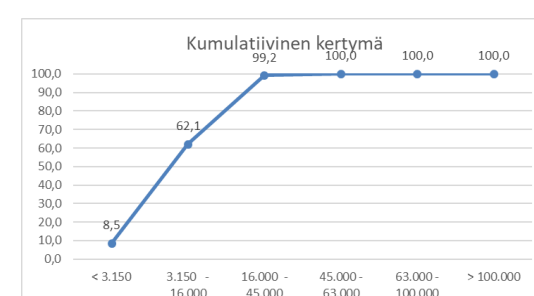
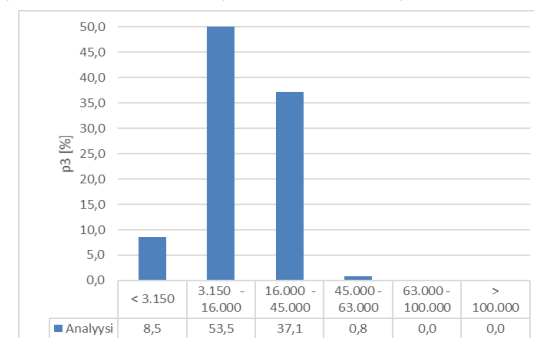
Kokopuu standardi 16.4 klo 14.29 ja 17.4 klo 13.38

Palakoko luokka [mm]	p3 [%]	Q3 [%]	Δm [g]
< 3.150	6,5	6,5	78,8
3.150 - 16.000	52,2	58,7	630,9
16.000 - 45.000	38,2	96,9	462,4
45.000 - 63.000	1,8	98,7	21,5
63.000 - 100.000	1,3	100,0	15,4
> 100.000	0,0	100,0	0,0
			1209,0



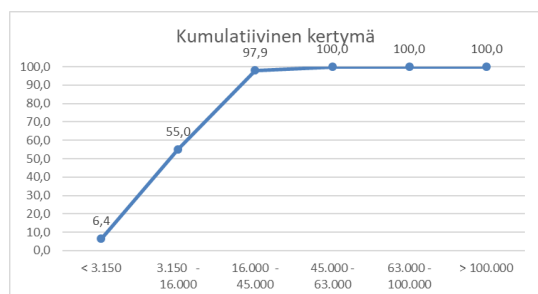
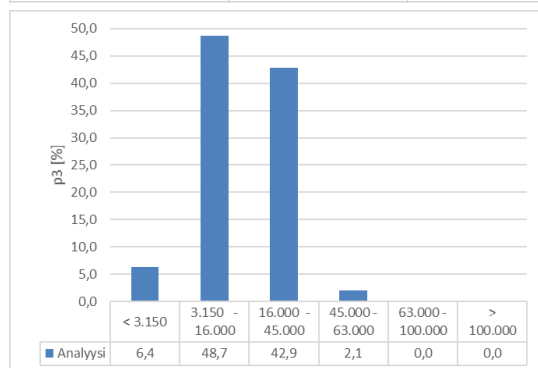
Kokopuu Q-robot 16.4 klo 14.29 ja 17.4 klo 13.38

Palakoko luokka [mm]	p3 [%]	Q3 [%]	Δm [g]
< 3.150	8,5	8,5	108,9
3.150 - 16.000	53,5	62,1	681,6
16.000 - 45.000	37,1	99,2	473,1
45.000 - 63.000	0,8	100,0	10,1
63.000 - 100.000	0,0	100,0	0
> 100.000	0,0	100,0	0,0
			1273,7



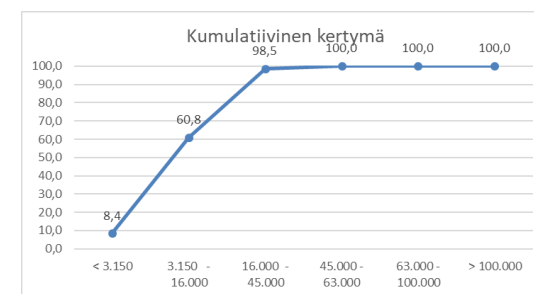
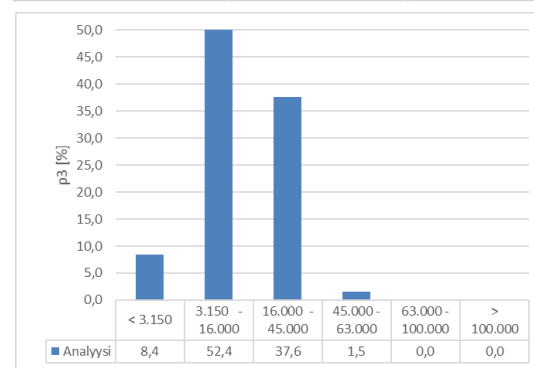
Kokopuu standardi 12.4 klo 06.38 ja 15.4 klo 14.45

Palakoko luokka [mm]	p3 [%]	Q3 [%]	Δm [g]
< 3.150	6,4	6,4	83,9
3.150 - 16.000	48,7	55,0	638,6
16.000 - 45.000	42,9	97,9	562,8
45.000 - 63.000	2,1	100,0	27,2
63.000 - 100.000	0,0	100,0	0
> 100.000	0,0	100,0	0,0
			1312,5



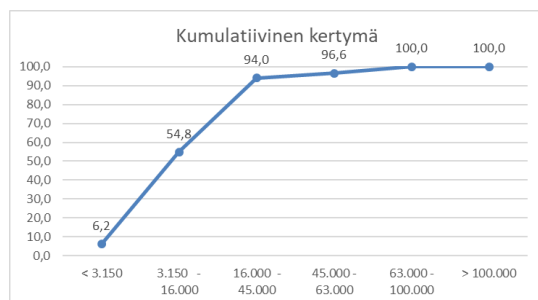
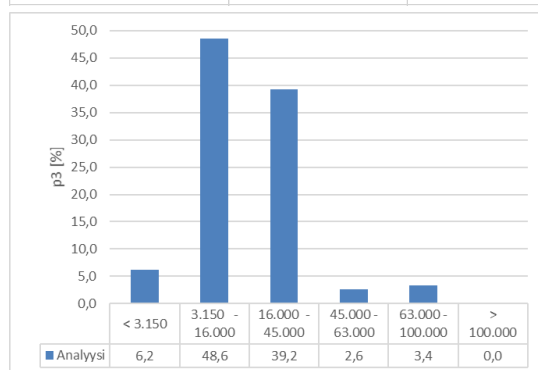
Kokopuu Q-robot 12.4 klo 06.38 ja 15.4 klo 14.45

Palakoko luokka [mm]	p3 [%]	Q3 [%]	Δm [g]
< 3.150	8,4	8,4	114,2
3.150 - 16.000	52,4	60,8	709,3
16.000 - 45.000	37,6	98,5	509,5
45.000 - 63.000	1,5	100,0	20,5
63.000 - 100.000	0,0	100,0	0
> 100.000	0,0	100,0	0,0
			1353,5



Kokopuu standardi 8.4 klo 10.25 ja 10.4 klo 08.50

Palakoko luokka [mm]	p3 [%]	Q3 [%]	Δm [g]
< 3.150	6,2	6,2	81
3.150 - 16.000	48,6	54,8	638,2
16.000 - 45.000	39,2	94,0	514,9
45.000 - 63.000	2,6	96,6	33,9
63.000 - 100.000	3,4	100,0	44,4
> 100.000	0,0	100,0	0,0
			1312,4



Kokopuu Q-robot 8.4 klo 10.25 ja 10.4 klo 08.50

Palakoko luokka [mm]	p3 [%]	Q3 [%]	Δm [g]
< 3.150	7,5	7,5	99,4
3.150 - 16.000	51,5	59,0	680,9
16.000 - 45.000	38,7	97,6	511,7
45.000 - 63.000	1,3	98,9	16,7
63.000 - 100.000	1,1	100,0	14,7
> 100.000	0,0	100,0	0,0
			1323,4

