

Mikko Mustonen

# Automaattisen biomassanäytteenottimen laadullinen tutkimus



Insinööri AMK

Kone- ja tuotanto-  
tekniikka

Kevät 2017



KAJAANIN  
AMMATTIKORKEAKOULU  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## TIIVISTELMÄ

**Tekijä:** Mikko Mustonen

**Työn nimi:** Automaattisen biomassanäytteenottimen laadullinen tutkimus

**Tutkintonimike:** Insinööri (AMK), kone- ja tuotantotekniikka

**Asiasanat:** bioenergia, kiinteät biopolttoaineet, biopolttoaineiden laadunvalvonta

Kiinteillä biopolttoaineilla katetaan merkittävä osa Suomen energiakulutuksesta. Biopolttoaineiden laadunhallinta on haasteellista, johtuen suuresta määrästä eri toimijoista, toimittajista ja polttoainelajeista. Biopolttoaineiden ominaisuuksista taloudellisesti tärkeimpänä pidetään kosteuspiitoisuutta, mikä on suoraan verrannollinen polttoaineen lämpöarvoon. Kosteuspitoisuuden määrittäksen suurimmat virheet tapahtuvat biopolttoaineiden näytteenotossa.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia kiinteiden biopolttoaineiden näytteenottoon tarkoitettua näytteenottorobotin tuomia hyötyjä voimalaitoksille. Tutkimuksessa vertaillaan eri menetelmillä otettujen näytteiden ominaisuuksia sekä analysoidaan mahdollisia virheiden syitä.

Tutkimustuloksista saadaan selville, että näytteenottorobotilla otetut näytteet edustavat todellisuutta paremmin kuin normaalikäytännöllä otetut näytteet. Näytteenottorobotin näytteet olivat selkeästi kosteampia kuin normaalikäytännöllä otettujen näytteiden kosteudet. Näytteenottorobotin taloudellinen hyöty tulee osoitettua hyvin tutkimuksessa.

## ABSTRACT

**Author:** Mustonen Mikko

**Title of the Publication:** Qualitative Research of Automatic Sampler for Biofuel

**Degree Title:** Bachelor of Engineering (AMK)

**Keywords:** Bio-energy, solid biofuels, quality control of biofuels

A significant part of the energy consumption of Finland is covered by solid biofuels. Managing the quality of biofuel is demanding due to the large amount of different types of fuels, manufacturers and suppliers. The most economically desired feature of biofuel is the moisture, which is directly proportional to the heat value of the fuel. The major errors concerning the determination of moisture concentration occur when sampling the fuel.

The aim of this thesis was to study the profits gained by the power plants while the automatic sampling robots were used. In this study samples taken by variable methods are being compared and the reasons for possible lapses are being analyzed as well.

The results of the study indicated that the samples taken by the automatic robot represent the reality better than the ones taken using normal practices. The moisture in samples taken by the robot was much higher than the moisture of samples taken using normal procedures. The economic benefits of the automatic sampler were well indicated in the study.

## SISÄLLYS

1 JOHDANTO.....	1
2 KIIINTEÄT BIOPOLTTOAINEET .....	2
2.1 Puupolttoaineet .....	2
2.1.1 Kokopuu- ja rankahake .....	2
2.1.2 Metsätähdehake.....	3
2.1.3 Puru.....	3
2.1.4 Kuori.....	4
2.2 Turve .....	5
3 NÄYTTEENOTTO JA KÄSITTELY.....	6
3.1 Yleistä .....	6
3.2 Näytteenottosuunnitelma.....	7
3.3 Näytteenottopaikka.....	7
3.4 Näytteenottotapa .....	7
3.4.1 Manuaalinen näytteenotto .....	8
3.4.2 Koneellinen näytteenotto.....	8
3.4.3 Näytteenotto Q-Robot-näytteenottimella .....	9
3.5 Näytteiden lukumäärä ja koko .....	10
3.6 Näytteen muodostaminen ja käsittely.....	11
4 NÄYTTEEN LAADUN MÄÄRITTELY .....	13
4.1 Kosteus .....	13
4.2 Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa.....	14
4.3 Energiatiheys saapumistilassa .....	15
4.4 Toimitettu energia.....	15
4.5 Irtotiheys.....	16
4.6 Palakokojakauma .....	16
5 MITTAUSJÄRJESTELY .....	17
5.1 Näytteenotto Q-Robot-näytteenottorobotilla .....	17
5.2 Kuljettajan ottama näyte .....	19
5.3 Standardin mukainen käsinäytteenotto .....	20
5.4 Näytteen esikäsittely ja visuaalinen tarkastelu .....	21

5.5 Kosteuden määrittäminen uunikuivatusmenetelmällä .....	22
5.6 Palakokojakauman tutkiminen.....	24
6 TULOKSET JA TULOSTEN ANALYSOINTI.....	26
6.1 Q-Robot vs. kuljettajan ottama näyte .....	26
6.1.1 Kosteusvertailu.....	26
6.1.2 Irtotiheyden kosteuskorrelointi.....	30
6.1.3 Visuaalinen tarkastelu .....	31
6.2 Q-Robot vs. standardin mukainen näyte .....	32
6.2.1 Kosteusvertailu.....	33
6.2.2 Irtotiheyden kosteuskorrelaatio .....	34
6.2.3 Palakoko .....	35
7 Q-ROBOTIN HYÖDYT .....	37
8 LOPPUYHTEENVETO JA POHDINTA .....	38
LÄHTEET .....	40
LIITTEET	

## 1 JOHDANTO

Bioenergia on biopolttoaineista saatua energiaa. Suomessa bioenergiaa saadaan metsissä, soilla ja pelloilla kasvavista biomassoista sekä energiantuotantoon soveltuvista orgaanisista jätteistä. Bioenergia muodostaa 80 prosenttia uusiutuvasta energiasta Suomessa ja se kattaa kokonaisenergian kulutuksesta yli neljänneksen. (1)

Biopolttoaineiden tärkeimpiä ominaisuuksia ovat kosteus, lämpöarvo ja kemiallinen koostumus sekä erilaiset käsiteltävyyteen vaikuttavat mekaaniset ominaisuudet. Näistä ominaisuuksia taloudellisesti tärkeimpänä voidaan pitää kosteuspitoisuutta. Jo yhden prosentin virhe kosteuspitoisuudessa aiheuttaa noin kahden prosentin virheen energiasisällön määrään. Polttoaineen hinta määräytyy yleisimmin juuri energiasisällön mukaan, joten jo pienestä kosteusvirheestä aiheutuu merkittävä kustannustekijä voimalaitoksille. Kosteuspitoisuuden määrittämissä suurimpana ongelmana voidaan pitää näytteenottoa. Tutkimusten mukaan 80 % virheellisyydestä johtuu näytteenotosta, 15 % näytteenkäsittelystä ja 5 % itse analyysistä. (2)

Prometec on kajaanilainen vuonna 2012 perustettu yritys, joka tuottaa kokonaisvaltaista polttoaineiden laaduntarkkailu- ja mittauspalvelua voimalaitoksille. Yritys on kehittänyt uudenlaisen näytteenottorobotin biopolttoaineiden näytteenottoon. Näytteenottorobotti ottaa näytteet suoraan kuormasta poistaen ihmisen aiheuttaman virheen näytteenotosta sekä parantaa merkittävästi työturvallisuutta.

Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää automatisoidun näytteenoton tuomat hyödyt polttoaineiden laadun todentamisessa. Tutkimuksessa verrataan robotin ottamia kuormakohtaisia näytteitä kuljettajien ottamiin kuormakohtaisiin näytteisiin, sekä ammattitaitoisesti otettuihin standardin mukaisiin näytteisiin. Tutkimuksessa vertaillaan erityisesti kosteuspitoisuuksia, visuaalisia eroja, palakokoa sekä polttoaineen sisältämän energiasisällön eroja.

## 2 KIIINTEÄT BIOPOLTTOAINEET

### 2.1 Puupolttoaineet

Suomessa kulutetusta energiasta noin neljännes tuotetaan puupolttoaineilla. Suurin osa puupolttoaineista syntyy joko metsäteollisuuden sivutuotteina tai hakkuiden yhteydessä. Metsäteollisuuden sivutuotteina syntyviä puupolttoaineita ovat puun kuori, puru sekä selluntuotannon sivutuotteena syntyvä mustalipeä. Hakkuiden yhteydessä syntyviä polttoaineita kutsutaan yleisnimellä metsähake.

Puupolttoaineet voidaan jaotella esimerkiksi kauppanimikkeen ja ominaisuuksien mukaan. Tässä tutkimuksessa puupolttoaineita luokitellaan laadun mukaan sekä esitetään vain tälle tutkimukselle merkitykselliset laadut. (2)

#### 2.1.1 Kokopuu- ja rankahake

Kokopuuhake (kuva 1) valmistetaan kaadetuista, karsimattomista rangoista ja haketetaan hakkurilla. Rankahake valmistetaan karsitusta runkopuusta hakettamalla. Koska rankahake ei sisällä oksia, kantoja ja latvuksia, on hakkeen laatu tasaista ja hyvää. Myös viheraineiden sekä kuoren määrä rankahakkeessa ovat vähäiset. Edellä olevista syistä johtuen rankahake on selvästi suurin pienpuuhakkeen lähde. (2)



Kuva 1. Kokopuuhaketta. (3)

### 2.1.2 Metsätähdehake

Metsätähteet (kuva 2) muodostavat merkittävän raaka-ainelähteen polttoaineiden tuotannossa. Metsätähteiden koostumus vaihtelee suuresti hakkuukohteittain. Yleisimmin metsätähteet sisältävät latvuksia, neulasia, oksia ja tyvilahoja runkoja. Hakkuutähteen korjuumenetelmänä käytetään yleisimmin tienvarsihaketusta. Siinä hakkuutähteet kerätään, kuljetetaan tienvarteen ja haketetaan suoraan hakeajoneuvoon. (2)



Kuva 2. Metsätähdehaketta. (3)

### 2.1.3 Puru

Sahanpurua saadaan puutavaran sahauksen sivutuotteena (kuva 3). Niin sanottun kutterin puru syntyy puolestaan konehöyläyksen sivutuotteena. Sahanpuru on yleensä märkää polttoainetta, koska puut sahataan yleisimmin tuoreena. Kutterinpuru puolestaan on yleensä erittäin kuivaa, koska puut puolestaan höylätään kuivauksen jälkeen. Kutterinpuru on monesti niin kuivaa, ettei sitä voida polttaa sellaisenaan vaan se sekoitetaan märempiin ja raskaampiin polttoaineisiin. Sahanpurun tyypillinen kosteus on 50–55 % ja kutterinpurun kosteus on 5–15 %. (2)





Kuva 3. Puru.

#### 2.1.4 Kuori

Puun kuori (kuva 4) muodostuu ulkokuoresta ja sisäkuoresta eli nilasta. Kuoren osuus runkokuoresta on 10–20 %, mutta pienissä oksissa kuoren osuus on jopa 60 %. Kuoren lämpöarvo on yleisesti korkea, koska kuoressa on huomattava määrä ligniiniä. Lämpöarvot vaihtelevat kuitenkin paljon eri puulajien suhteen siten, että lehtipuilla lämpöarvot selvästi korkeampia kuin havupuilla. Kuoren korkeat kosteus- ja tuhkapitoisuudet aiheuttavat kuitenkin sen, että kuoren polttamisessa on usein kysymys kuorijätteen hävittämisessä kuin energian tuotannosta. Lisäksi kuoren ongelma on sen käsiteltävyys. Ominaisuuksien parantamiseksi kuori sekoitetaan usein jonkin muun polttoaineen kanssa seokseksi. (2)



Kuva 4. Kuori. (4)

## 2.2 Turve

Turve on bioperäistä materiaalia, joka on muodostunut kuolleista kasvin osista maatumalla erittäin kosteissa olosuhteissa. Hapenpuutteen ja runsaan kosteuden (veden) takia kasvien jäänteet eivät hajoa kunnolla, ja näin syntyy jatkuvasti kasvava turvekerrostuma.

Turpeen koostumus vaihtelee suuresti kasvilajikoostumuksen ja maatumisasteen mukaan. Turve koostuu pääasiassa hiilestä (53–56 %). Suuren hiilipitoisuuden takia turve palaa hitaammin kuin puu. Turpeessa on myös vähemmän haihtuvia aineita kuin puussa. Näistä syistä johtuen turpeen tehollinen lämpöarvo on suurempi kuin puulla.

Polttoaineena käytettävät turpeet voidaan luokitella sen keräystavan mukaan. Yleisimmin käytetään nimityksiä jyrshinturve (kuva 5) ja palaturve (kuva 6). Jyrshinturpeen osuus turpeella tuotetusta energiasta on yli 90 %. (2)



Kuva 5. Jyrshinturve. (3)



Kuva 6. Palaturvetta. (3)

### 3 NÄYTTEENOTTO JA KÄSITTELY

#### 3.1 Yleistä

Näytteenotolla tarkoitetaan tietyn analysoitavaksi soveltuvan erän irrottamista ja erottamista suuremmasta kokonaisuudesta, siten että näyte ja alkuperäinen materiaalierä ovat ominaisuuksiltaan samanlaisia. Näytteenotto on systemaattisen ja satunaisen virheen minimoimista. Sama periaate koskee koko näytteenkäsittelyketjua. Näytteenottotapahtuma on suurin analyysitulosten virheisiin johtava tapahtuma. On arvioitu, että 80 % analyysitulosten virheistä on peräisin näytteenotosta, 15 % näytteenkäsittelystä ja 5 % näytteen analyysistä. (2)

Onnistuneen näytteenoton tärkeimpiä asioita on, että näytteenotto tapahtuu edustavasti koko polttoaine-erästä. Jokaisella polttoaine-erän partikkelilla tulisi olla mahdollisuus päätyä näytteeseen. Näytteen edustavuuteen vaikuttaa näytteenottopaikka, näytteenottomenetelmä sekä yksittäisnäytteiden lukumäärä ja tilavuus. (5)

Näytteenkäsittelyn tarkoituksena on pienentää tai muokata näyte muulla tavalla haluttuun muotoon. Näytteenkäsittelyn aikana huomioitavaa on, etteivät tutkittavat ominaisuudet saa muuttua minkään käsittelyvaiheen aikana.

### 3.2 Näytteenottosuunnitelma

Voimalaitoksille on hyvä laatia näytteenottosuunnitelma, jonka hyväksyvät sekä polttoaineiden toimittaja että tilaaja. Myös päästökauppa edellyttää laitoskohtaista näytteenottosuunnitelmaa. Suunnitelmasta tulee selvitä ainakin

- näytteenottopaikka ja – menetelmä
- käytettävät näytteenottovälineet
- yksittäisnäytteiden lukumäärät ja tilavuudet
- näytteiden, käsittely, säilytys ja merkintä sekä näytteenoton dokumentointi
- poikkeustilanteet

Lisäksi laaditaan tiivistetty ja yksinkertainen näytteenotto-ohje. (5)

### 3.3 Näytteenottopaikka

Voimalaitosten polttoainetoimituksissa näytteenottopaikka on yleensä vastaanottoasema. Purkaustapahtuman yhteydessä on mahdollista ottaa näyte putoavasta polttoainevirrasta tai vastaanottotaskusta. On myös mahdollista ottaa näyte vastaanottotaskun jälkeisiltä kuljettimilta. Koneellinen näytteenotto voidaan suorittaa myös suoraan kuormasta kuorman läpi kairaavilla laitteilla. Tällöin näytteenottopaikkana voi olla erillinen näytteenottoon rakennettu halli. Näytteenottopaikaksi tulee valita paikka, missä varmimmin ja kohtuukustannuksin saadaan mahdollisimman edustava näyte polttoaineesta. (6)

### 3.4 Näytteenottotapa

Näytteenotto aiheuttaa eniten epätarkkuutta polttoaineen laadun määrittämiseen. Polttoaineiden epähomogeenisuudesta johtuen näytteenotto on erittäin haastavaa siksi, että usein polttoaineet lajittuvat partikkelikoon mukaan. Lajittumista ta-

pahtuu esim. varastokasoissa, hakettaessa kuormaa, kuljetuksen aikana ja vastaanottotaskussa. Hyvän näytteenoton periaatteella on mahdollistettava, että erän jokaisella osalla on yhdenvertaiset mahdollisuudet päätyä näytteeseen. (6)

#### 3.4.1 Manuaalinen näytteenotto

Useilla laitoksilla polttoaineen laatu ja hinnoittelu määritellään käsin tapahtuvan näytteenoton perusteella. Yleisimmin käsinäytteenotto tapahtuu kuormanpurkamisen yhteydessä putoavasta polttoainevirrasta tai näytteenottotaskusta. Näyte otetaan käyttämällä pitkävirtista kauhaa. Kauhan suuaukon koko on oltava vähintään 2,5 kertaa nimellisesti suurin palakoko. Näytteenottoväli määräytyy siten, että riittävä määrä yksittäisnäytteitä saadaan kuorman eri osista. Näytteenotossa vältetään ottamasta näytettä aivan kuorman alusta ja viimeisistä rippeistä.

Aina ei ole mahdollista ottaa yksittäisnäytettä putoavasta virrasta, vaan näyte joudutaan ottamaan kuorman purkamisen jälkeen vastaanottotaskusta tai kentällä sijaitsevasta kasasta. Otettaessa näytettä taskusta tai kasasta, näytteet kauhotaan pitkävirtisella kauhalla kaikilta puolilta mahdollisimman tasaisesti. Tällöin on jo kuitenkin lähes poikkeuksetta tapahtunut lajittumista, jolloin karkeimmat partikkelit ovat valuneet kasan reunoille ja hieno materiaali on jäänyt kasan keskelle sekä yläosaan. Tästä syystä johtuen näytteet tulisikin ottaa myös korkeussuunnassa eri korkeuksilta ja pintaa syvemmmältä. (6)

#### 3.4.2 Koneellinen näytteenotto

Yleisimmin nykyisin käytetty tapa koneellisen näytteenoton toteuttamiseksi on ottaa näyte joko suoraan kuljetinhihnalta leikkaamalla näytteeseen osa koko polttoainevirrasta tai kuljettimen päästä putoavasta polttoainevirrasta. Koneellinen näytteenotto voidaan suorittaa myös kola- ja ruuvikuljettimilta. Lisäksi kuorma-kohtainen yksittäisnäyte on mahdollista ottaa ruuvinäytteenottimilla suoraan kuormasta putoavasta polttoainevirrasta.

Käytettäessä koneellista näytteenottoa, on luotettavuus todennettava systemaattisen virheen välttämiseksi. Jos näytteenotto ja sen tulokset ovat perusta polttoaineen hinnoittelulle, on eri osapuolten hyväksyttävä käytettävä toimintatapa. (6)

### 3.4.3 Näytteenotto Q-Robot-näytteenottimella

Q-Robot näytteenottimella näytteet otetaan suoraan ajoneuvosta. Näytteenotin käynnistetään ajoneuvon paikoituksen jälkeen, jonka jälkeen näytteenotto tapahtuu automaattisesti. Ajoneuvon paikoituksen ja myös näytteenoton aikana kuorma skannataan konenäköjärjestelmällä. Skannaustuloksesta selvitetään sekä kuormassa olevat mahdolliset esteet näytteenotolle että polttoainekuorman las kennallinen tilavuus.

Ajoneuvosta otetaan 2–6 osanäytettä ajoneuvon kuormatilavuuden mukaan. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että nuppikuormasta otetaan 2 osanäytettä, puoliperävaunusta 4 osanäytettä ja täysperävaunusta 6 osanäytettä.

Osanäytteet otetaan kuormasta vaihtelevista x-, y-, z-koordinaateista. Näitä koordinaatteja ei käyttäjä pääse tarkastelemaan eikä muuttamaan.

Näytteenotto kuormasta tapahtuu kairaamalla. Jokaisen osanäytteen kairauksesta jää kairan lehdelle näyte, joka nostetaan niin sanottuun näytteenkeräimeen. Kun kaikki osanäytteet on otettu, näytteenkeräin tyhjennetään tilanteesta riippuen joko suoraan pussiin kuormakohtaiseksi näytteeksi tai kerätään toisaalle kokoomanäytteeksi.

### 3.5 Näytteiden lukumäärä ja koko

Näytteenoton tapahtuessa polttoainekuormittain otetaan yksittäisnäytteitä vähintään 2 näytettä / 50 irtto-m<sup>3</sup> polttoainetta.

Erikokoisten kuormatilojen yksittäisnäytteiden vähimmäismäärät ovat puulle ja turpeelle seuraavat:

- kuorma-auto (nuppi) vähintään 2 näytettä
- puoliperävaunu (< 100 m<sup>3</sup>) vähintään 4 näytettä
- yhdistelmä (100–160 m<sup>3</sup>) vähintään 6 näytettä (2 nupista + 4 perävaunusta)
- konttilyhdistelmät vähintään 2 näytettä/kontti

Näillä näytemäärillä on mahdollista saavuttaa 3–5 kuorman toimituksessa noin ± 3 prosenttiyksikön tarkkuusvaatimus ja yli kuuden kuorman toimituksissa tarkkuus paranee n. 2 prosenttiyksikköön.

Polttoaineiden yksittäisnäytteiden tilavuus perustuu kyseisen polttoaineen palakokoon näytteenottostandardin mukaan. Yksittäisnäytteen vähimmäistilavuus lasketaan kaavan 1 mukaisesti:

$$\text{Vol}_{\text{incr}} = 0,5, \text{ kun } d_{95} < 10$$

Kaava 1

$$\text{Vol}_{\text{incr}} = 0,05 * d_{95}, \text{ kun } d_{95} \geq 10$$

jossa

$\text{Vol}_{\text{incr}}$  yksittäisnäytteen vähimmäistilavuus, litraa

$d_{95}$  nimellisesti suurin palakoko, mm (sen pyöreäaukkoisen seulan aukkojen läpimitta, jonka vähintään 95 % polttoaineen massasta läpäisee)

(6)

Esimerkkilavuuksia yksittäisnäytteistä:

- sahanpuru 0,5 litraa
- metsähake 3 litraa
- murske 5 litraa
- kuori 5 litraa

(5)

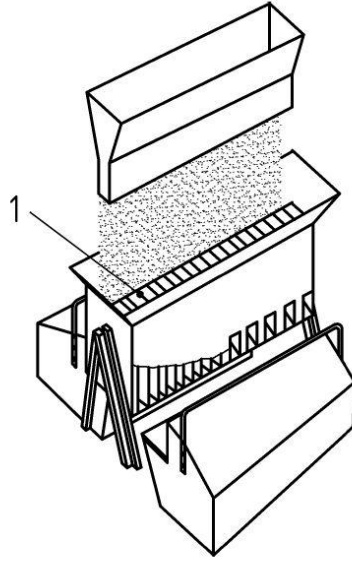
### 3.6 Näytteen muodostaminen ja käsittely

Polttoaineista otetut näytteet eivät usein kelpaa sellaisenaan laboratorionäytteeksi tai analyysinäytteeksi. Näytteille joudutaan tekemään monesti useita eri käsittelyvaiheita ennen kuin näyte on soveltuva käyttötarkoitukseensa. Kaikissa näytteenkäsittelyn vaiheissa on kuitenkin erittäin tärkeää, että näytteen koostumus ei saa muuttua alkuperäisestä.

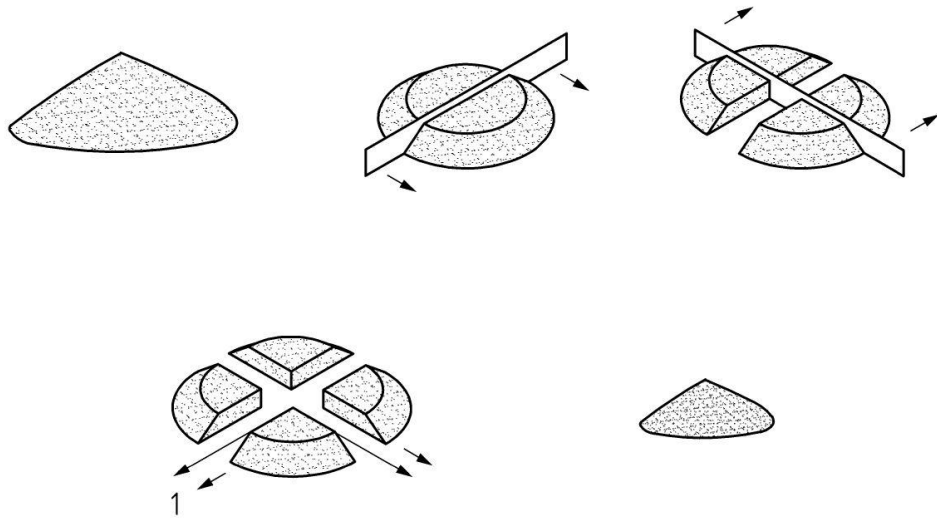
Yleisimmin näytteenkäsittelyssä tapahtuvia vaiheita ovat näytteen pienentäminen ja näytteen palakoon pienentäminen. Näytteen pienentämiseen on olemassa erilaisia laatikko- ja lokerojakajia (kuva 7). Näytteet voidaan myös pienentää käsin jakamalla ne osiin niin sanotulla neliöintimenetelmällä. Neliöintimenetelmässä (kuva 8) näyte jaetaan ensin neljään osaan joista aina vastakkaiset osat hylätään. Tätä jatketaan, kunnes on saavutettu tarvittava näytemäärä.

Palakoon pienentäminen on usein tarpeen luotettavien tulosten aikaansaamiseksi. Palakoon pienentäminen tapahtuu yleensä murskaimella tai jauhimella. Suositeltavaa on käyttää hitaasti pyöriviä ja lämpöä tuottamattomia laitteita, etteivät tutkittavat ominaisuudet muuttuisi. (7)





Kuva 7. Lokerojakaja. (7)



Kuva 8. Neliöntimenetelmä. (7)

## 4 NÄYTTEEN LAADUN MÄÄRITTELY

### 4.1 Kosteus

Yleisin menetelmä kiinteiden biopolttoaineiden kosteuden määrittämiseen on uuni-kuivausmenetelmä. Tätä menetelmää käytetään myös muiden menetelmien vertailumenetelmänä. Uunikuivaus perustuu näytteen kuivaamiseen, niin että näytteen massa ei enää muutu.

Uunikuivausmenetelmässä näytteenotto tehdään näytteenottostandardin mukaan. Näyte pienennetään näytteenkäsittelystandardin mukaan niin, että näytteen koostumus ei muutu alkuperäisen näytteestä. Näytteen koko on oltava vähintään 300 g puuhakkeelle ja murskeelle. Näytteen palakoko tulisi olla enintään 30 mm ja näyte murskataan tarvittaessa.

Määrittäminen tapahtuu punnitsemalla tyhjä vuoka ( $=m_1$ ) vaa'alla, jonka tarkkuus on vähintään 0,1 g. Seuraavaksi punnitaan näytettä vuokaan tarvittava määrä ( $=m_2$ ). Näytettä kuivataan uunissa, jonka lämpötila on  $105^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ . Näytettä kuivataan, kunnes näytteen massa ei muutu, mutta ei kuitenkaan yli 24 h. Kuivauksen jälkeen näyte punnitaan välittömästi ( $m_3$ ).

Kosteus ( $M_{ar}$ ) lasketaan seuraavasti:

$$M_{ar} = \frac{(m_2 - m_3)}{(m_2 - m_1)} * 100 \quad \text{Kaava 2}$$

jossa

$M_{ar}$  Kosteus saapumistilassa, p- %

$m_1$  tyhjän kuivausastian paino

$m_2$  kuivausastian ja näytteen yhteispaino ennen kuivausta

$m_3$  kuivausastian ja näytteen yhteispaino kuivauksen jälkeen

Tulos määritetään 0,1 prosenttiyksikön tarkkuudella. (5)

## 4.2 Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa

Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa voidaan laskea, kun tiedetään tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa ja kosteus saapumistilassa. Tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa voidaan määrittää standardin SFS-EN 14918 mukaisesti tai käyttää tyypillistä tehollista lämpöarvoa eri polttoaineille.

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

jossa

$q_{p,net,ar}$       tehollinen lämpöarvo saapumistilassa, MJ/kg

$q_{p,net,d}$       tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa, MJ/kg

$M_{ar}$             kosteus saapumistilassa, p-%

0,02443 on höyrystymisen entalpian korjauskerroin vedelle 25°C lämpötilassa, MJ/kg per 1 p-% kosteutta

(2)

### 4.3 Energiatiheys saapumistilassa

Polttoaineen toimituserän energiatiheys saapumistilassa lasketaan saapumistilaisen lämpöarvon ja irtotiheyden perusteella kaavalla:

$$E_{ar} = \frac{1}{3600} * q_{p,net,ar} * BD_{ar} \quad \text{Kaava 4}$$

jossa

$E_{ar}$  biopolttoaineen energiatiheys saapumistilassa, MWh/irto- $m^3$

$q_{p,net,ar}$  tehollinen lämpöarvo saapumistilassa, MJ/kg

$BD_{ar}$  irtotiheys eli biopolttoaineen tilavuuspaino saapumistilassa, kg/irto- $m^3$

1/3600 muuntokerroin energiayksiköille MJ:sta MWh:iin

(2)

### 4.4 Toimitettu energia

Toimitettu energiamäärä  $W$  (MWh) lasketaan kaavan mukaisesti:

$$W = \frac{Q}{3,6} * m \quad \text{Kaava 5}$$

jossa

$Q/3,6$  saapumistilainen tehollinen lämpöarvo (MJ/kg) muunto yksiköihin (MWh/t)

$m$  toimitetun polttoaineen massa, tonnia

(2)

#### 4.5 Irtotiheys

Irtotiheys (BD, kg/m<sup>3</sup>) saadaan, kun jaetaan kuorman nettopaino sen tilavuudella. Tilavuuden mittaus ja punnitus tehdään osapuolten sopimalla tavalla. Suurin virhe tapahtuu tilavuusmittauksessa.

Polttoaineiden irtotiheys voidaan määrittää myös erikseen hakkeille ja murskeille. Määrittämisessä käytetään 50 litran kokoista astiaa, joka punnitaan ensin tyhjänä. Punnitsemisen jälkeen astia täytetään huolellisesti täyteen ja tiivistetään pudottamalla se 3 kertaa 15 cm korkeudesta. Uudelleentäytön jälkeen astia punnitaan uudelleen, jolloin saadaan määritettyä polttoaineen irtotiheys. (5)

#### 4.6 Palakokojakauma

Näytteenotto seula-analyysiä varten tehdään kiinteiden biopolttoaineiden näytteenottostandardin mukaisesti. Vaadittava näytemäärä on 8 litraa ja näytteen seulontakosteus tulee olla < 20 %. Seulonta tapahtuu täryseulalla, missä on pyöreillä rei'illä varustetut seulakoot. Käytettävät seulakoot ovat 3,15 mm, 8 mm, 16 mm, 31,5 mm, 45 mm, 62 mm standardin SFS-EN ISO 17827-1:2015 mukaan.

## 5 MITTAUSJÄRJESTELY

Tutkimustyö suoritettiin syksyllä 2016 loka-marraskuun aikana. Automaattinen biomassanäytteenotin, kauppanimeltään Q-Robot, oli tuolloin käyttöönottoaiheessa, joten näytteenottoon päätyneet ajoneuvot valikoituivat tilanteen mukaan. Lämpimästä syksystä johtuen myös voimalaitoksella saapuvien kuormien määrä oli pieni. Siksi päiväkohtaiset ajoneuvomäärät asettuivat 3–8 ajoneuvon kohdalle ja otanta jäi suunniteltua pienemmäksi. Suunniteltua kokoomanäytteiden ottoa ja analysointia ei voitu tehdä ollenkaan.

Vertailututkimukset suoritettiin kahdessa vaiheessa. Ensimmäisenä vertailtiin Q-Robotin ja kuljettajan ottaman näytteen eroja keskenään. Toisessa vaiheessa vertailtiin Q-Robotin ja standardin mukaisen näytteenoton eroja toisiinsa.

### 5.1 Näytteenotto Q-Robot-näytteenottorobotilla

Automaattisella näytteenottorobotilla otettiin kairaamalla saapuvasta polttoainekuormasta 4 tai 6 yksittäisnäytettä, riippuen ajoneuvon tyypistä ja koosta (kuva 9). Näytteenotin koostaa yksittäisnäytteistä yhden kuormanäytteen. Kuormanäyte tyhjennettiin suoraan pussiin, joka suljettiin ilmatiiviiksi ja merkittiin yksilöivästi (kuva 10). Kokonaisnäytteenottotilavuus 6 näytepisteen ajoneuvosta oli n. 3 litraa ja 4 näytepisteen ajoneuvosta n. 2 litraa. Näytteenottosyvyydet ja paikat vaihtelivat satunnaisesti, mutta kuitenkin niin, että kuormasta otetut näytteet edustivat mahdollisimman hyvin todellista kuormaa.



Kuva 9. Näytteenottokaira nousee ylös tyhjennykseen.



Kuva 10. Näytteen tyhjennys kuormakohtaisen näytesuppilon kautta pussiin.

## 5.2 Kuljettajan ottama näyte

Kuljettaja otti näytteen kuormasta itsenäisesti ilman valvontaa voimalaitoksen käytäntöjen mukaisesti. Näytteenottoaika oli polttoaineen luovutuspaikka eli vastaanottoasema, missä kuormakohtainen näyte kerätään purkaustapahtuman yhteydessä (kuva 11). Tarkoituksenmukaisesti kuljettajan näytteenottoon ja käsittelyyn ei tässä tutkimuksessa puututtu, vaikka joitakin epäkohtia havaittiin. Kuljettaja toimitti yksilöidyt näytteet varattuun paikkaan, jonka jälkeen näyte neliöitiin ja jaettiin uudelleen näytteen esikäsittelystandardin (7) mukaan. Näytteen kosteusanalyysiä varten otettiin noin 3 litraa näytettä.



Kuva 11. Polttoaineen vastaanottoasema, peräpurku.



### 5.3 Standardin mukainen käsinäytteenotto

Näytteenotto suoritettiin standardin ISO-EN 14778 mukaan (6). Standardin mukaisessa näytteenotossa näyte otettiin käyttämällä pitkävärtistä näytteenottokauhaa (kuva 12). Näytteenottopaikkana oli polttoaineen vastaanottoasema ja näyte otettiin purkaustapahtuman yhteydessä. Näyte otettiin suoraan putoavasta polttoainevirrasta (kuva 13) ja näytteenottoväli määräytyi samoin kuin automaattisella biomassanäytteenottimella, eli ajoneuvon koosta riippuen otettiin 4-6 näytettä. Näytteenotossa huomioitiin myös, ettei näytettä oteta aivan ensimmäisistä osista kuorman purun alkaessa, eikä myöskään viimeisistä rippeistä.

Näytettä kertyi yhteen kauhalliseen n. 3 litraa, joten esimerkkinä täysperävaunun rekan 6 näytettä muodosti tilavuudeltaan 18 litran kuormanäytteen. 18 litran näyte pienennettiin näytteenkäsittelystandardin mukaan tilavuudeltaan 9 litran näytteeksi.



Kuva 12. Näytteenottokauha.



Kuva 13. Näytteenotto putoavasta virrasta.

#### 5.4 Näytteen esikäsittely ja visuaalinen tarkastelu

Automaattisen biomassanäytteenottimen ja kuljettajan näytteet toimitettiin erilliseen laboratoriotilaan, jossa tehtiin näytteen visuaalinen tarkastelu kuvaten jokainen näyte valkoista taustaa vasten (kuva 14). Visuaalisen tarkastelun jälkeen näyte valmisteltiin kosteusanalyysiä varten jakamalla näyte neliöimällä noin 300 g erään.



Kuva 14. Näytteiden visuaalinen tarkastelu ja dokumentointi.

### 5.5 Kosteuden määrittäminen uunikuivatusmenetelmällä

Näytteestä pienennettiin näytteenkäsittelystandardin mukaan noin 30–400g painoinen erä kosteusmäärittämistä varten. Näyte punnittiin vaa’alla, jonka mittaustarkkuus oli 0,01 g (kuva 15). Tätä ennen oli tietysti myös tyhjä astia punnittu. Näytteet toimitettiin lämpökaappiin heti punnituksen jälkeen, ja kuivattiin  $105^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  vähintään 20 tuntia (kuva 16). Aika ei kuitenkaan ylittänyt 24 tuntia. Kuivauksen jälkeen näyte punnittiin heti ja laskettiin näytteen kosteus ( $M_{ar}$ ). Tulokset dokumentoitiin erilliseen Excel-taulukkoon (liite 1).



Kuva 15. Vaaka.



Kuva 16. Lämpökaappi.

## 5.6 Palakokojakauman tutkiminen

Palakokojakauman seulonnat tehtiin Kajaanin ammattikorkeakoulun tiloissa sijaitsevalla Retsch AS450 -täryseulalla (kuva 17). Seulonnassa käytettävät seulat olivat reikäkooltaan 4 mm, 8 mm, 16 mm, 31,5 mm, 45 mm ja 63 mm. Seulonta toteutettiin standardin SFS-EN ISO 17827-1 mukaan sillä poikkeuksella, että käytetyt seulat eivät olleet varustettuja pyöreillä rei'illä. Myöskään standardin mukaista 3,15 mm seulaa ei ollut saatavilla, joten se korvattiin 4 mm seulalla. Tutkimuksessa haettiin nimenomaan tietoa siitä, onko eri menetelmällä otettujen näytteiden palakoossa eroja toisiinsa, eikä niinkään varsinaista palakokojakaumaa. Tällöin ei standardin mukaisesta seulonnasta olisi saatu lisähyötyä.

Palakokojakauman tutkimista varten tarvittiin näytettä noin 9 litraa. Näytteet esikäsiteltiin kuivattamalla niitä lämpökaapissa 40°C lämpötilassa noin viikon ajan. Tämän jälkeen näytteet toimitettiin laboratoriotilaan, jonne näytteet leviteltiin, jotta näytteiden kosteuspitoisuus tasaantuisi vallitsevien laboratorio-olosuhteiden ilmankosteuteen. Seulontakosteus oli kaikilla näytteillä alle 20 %.

Näytteiden seulonta alkoi punnitsemalla näyte 0,1 g tarkkuudella ennen täryseulaan laittoa. Näytettä seulottiin vaakasuorasti täryttävien seulojen läpi 10 minuutin ajan. Kaikille seuloille ja pohja-astiaan jääneet ainekset punnittiin erikseen 0,1g tarkkuudella. Saatujen fraktioiden massoista (kuva 18) muodostettiin kullekin näytteelle palakokojakauma, joita vertailtiin keskenään.



Kuva 17. Palakokoanalyysiin käytetty täryseula.



Kuva 18. Eri fraktioita seualta, pohja-astia, 4 mm, 8 mm ja 16 mm.

## 6 TULOKSET JA TULOSTEN ANALYSOINTI

### 6.1 Q-Robot vs. kuljettajan ottama näyte

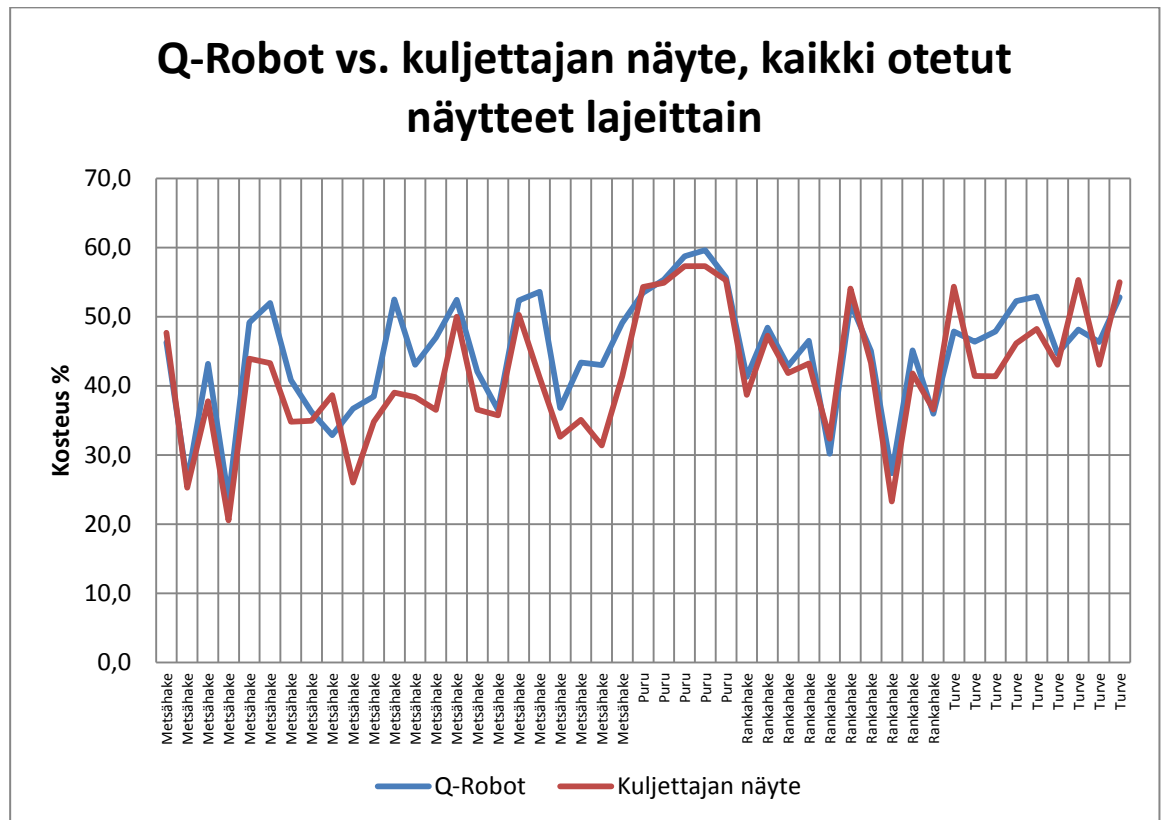
Näytteenoton vertailututkimus tehtiin marraskuun 2016 aikana. Vertailututkimus tehtiin kuljettajan ottaman kuormanäytteen ja Q-Robotin ottaman kuormanäytteen välillä. Vertailussa keskityttiin kosteuserojen tutkimiseen sekä visuaaliseen tarkasteluun palakoon osalta. Vertailututkimus tehtiin kaikilla saapuvilla polttoainelajeilla, jotka olivat tässä tapauksessa metsätähdehake, rankahake, turve ja puru. Vertailututkimuksen koko oli 47 polttoainekuormaa, joka jakautui eri polttoainelajeille: 23 kuormaa metsätähdehaketta, 10 kuormaa rankahaketta, 9 kuormaa turvetta ja 5 kuormaa purua.

#### 6.1.1 Kosteusvertailu

Kosteuden määrittäminen suoritettiin uunikuivatusmenetelmällä standardin mukaisesti. Kuten taulukosta 1 havaitaan, kaikilla toimitetuilla polttoainelaaduilla kuljettajan ottamat näytteet ovat keskiarvoltaan kuivempia kuin Q-Robot näytteenottimen näytteet. Kun katsotaan kosteuseroja lajeittain (kuva 19), havaitaan että kosteuksien keskiarvot kohtaavat parhaiten rankahakkeella, purulla ja turpeella. Metsähakkeen osalta tilanne on kaikkein huonoin, kosteuden erotuksien keskiarvo on 5,3 % ja keskihajonta on 4,6 %. Turpeen osalta huomioitavaa on suuri hajonta. Tämä selittyy osaltaan pienellä otannalla.

Taulukko 1. Tulosten koontitaulukko.

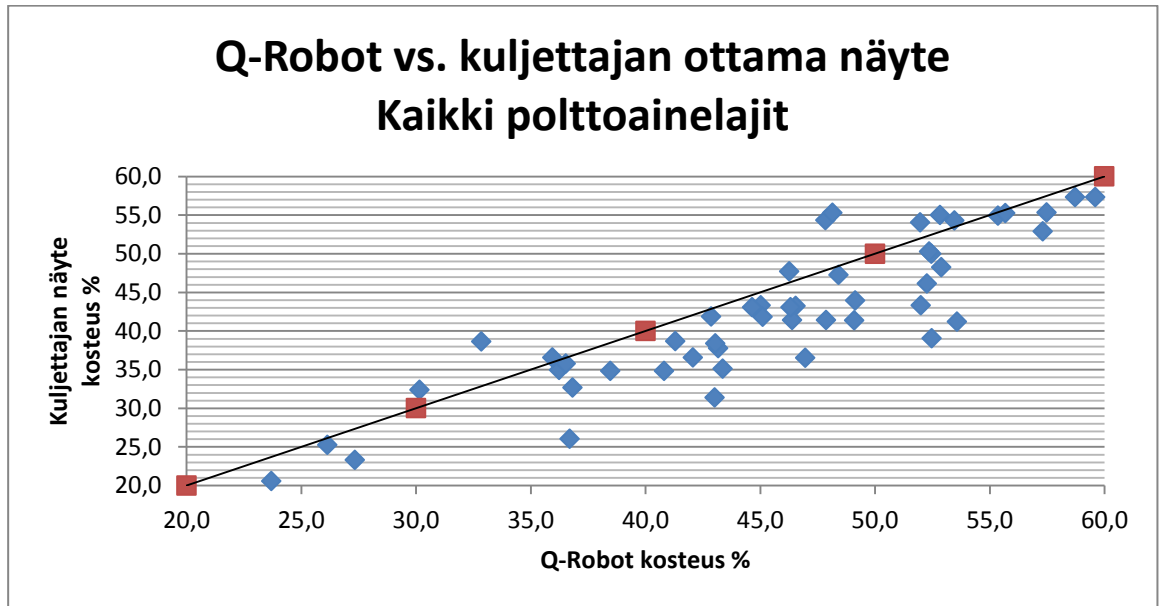
	Q-Robot Kosteus keskiarvo %	Kuljettajan näyte Kos- teus kes- kiarvo %	Kosteuksien erotuksen keskiarvo %-yks	Kosteuksien erotuksen keskihajonta	Toimitettu energia erotus %- yks
Kaikki lajit	45,0	41,8	3,2	4,5	6,9
Puru	56,6	55,8	0,7	1,0	2,5
Turve	48,8	47,5	1,3	5,0	2,4
Metsätähdehake	42,5	37,2	5,3	4,6	11,7
Rankahake	41,5	40,2	1,2	2,1	2,5



Kuva 19. Q-Robot vs. kuljettajan näyte, kaikki otetut näytteet lajeittain.

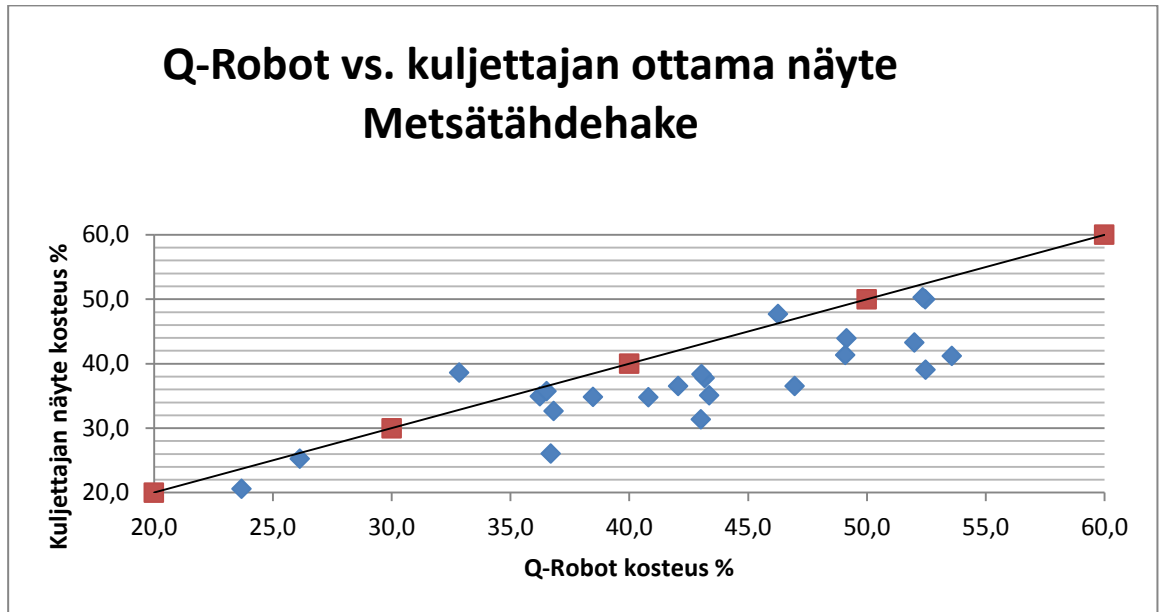
Kun tarkastellaan kuljettajan ja Q-Robotin näytteiden kosteuksien lineaarisesta riippuvuudesta toisiinsa, huomataan, että lineaarista korrelaatiota löytyy, mutta alemmalla tasolla (kuva 20). Kuvasta huomataan, että suurin osa analysoiduista näytepareista sijaitsee optimiviivan alapuolella, eli kuljettajien ottamat näytteet ovat kuivempia kuin Q-Robotin ottamat näytteet.





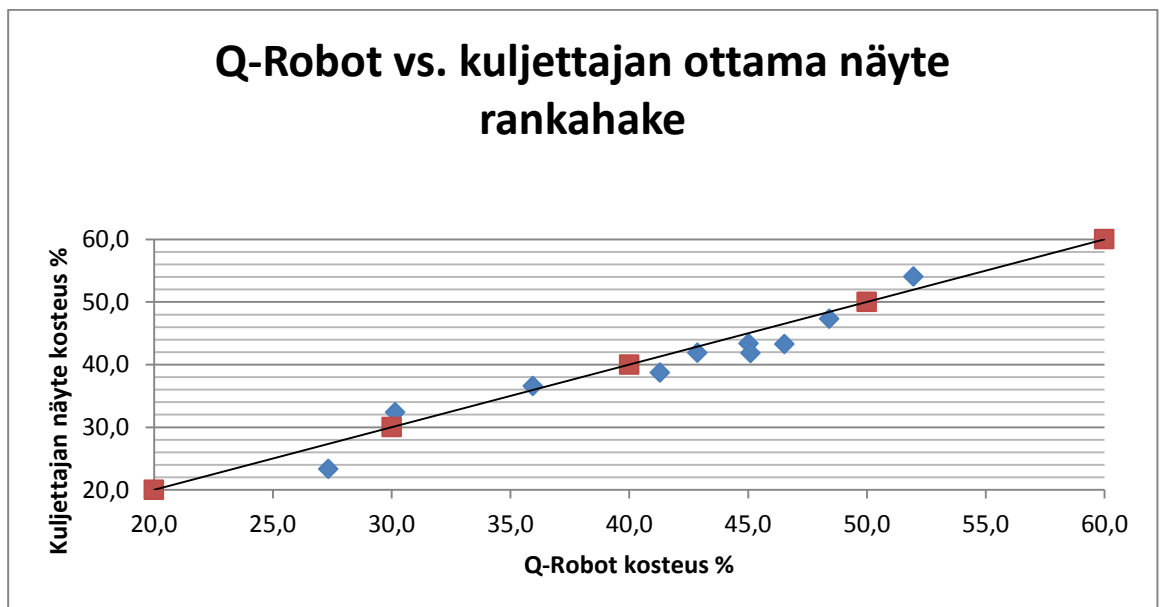
Kuva 20. Kuljettajan ottamien näytteiden lineaarinen riippuvuus Q-Robotin ottamien näytteiden kosteuspitoisuudesta kaikilla polttoainelajeilla.

Metsähakkeella keskiarvokosteudet kuljettajan ja Q-Robotin näytteissä poikkesivat eniten toisistaan. Kuvasta 21 havaitaan, että kuljettajan näytteet ovat systemaattisesti kuivempia kuin Q-Robotin näytteet. Myös kosteuksien erotuksien hajonta oli suurta. Metsähakkeen systemaattinen virhe selittää paljon koko vertailun tulosta, sillä metsätähdehaketta oli kaikista analysoiduista kuormista selkeästi eniten (49 %).



Kuva 21. Kuljettajan ottamien näytteiden lineaarinen riippuvuus Q-Robotin ottamien näytteiden kosteuspitoisuudesta metsähakkeella.

Rankahakkeella keskiarvokosteudet ja hajonnat olivat kuljettajan ja Q-Robotin näytteissä lähimpänä toisiaan. Kuvasta 22 nähdään, että kosteuksille löytyy selkeä lineaarinen korrelaatio.

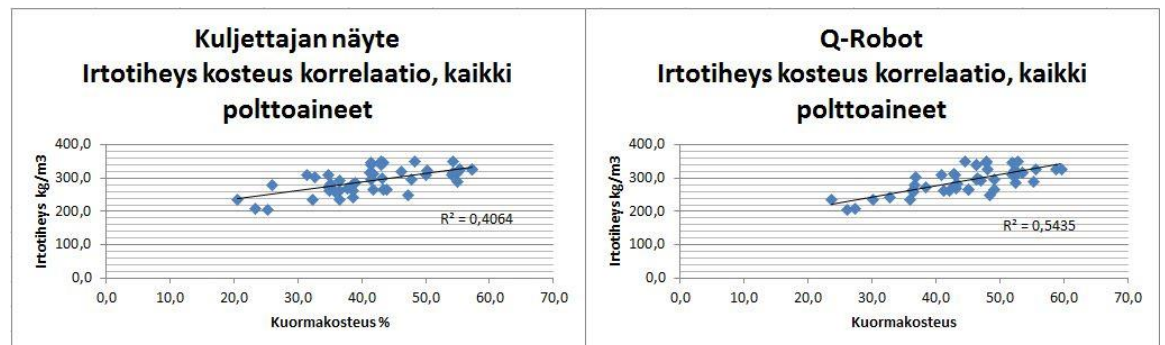


Kuva 22. Kuljettajan ottamien näytteiden lineaarinen riippuvuus Q-Robotin ottamien näytteiden kosteuspitoisuudesta rankahakkeella.

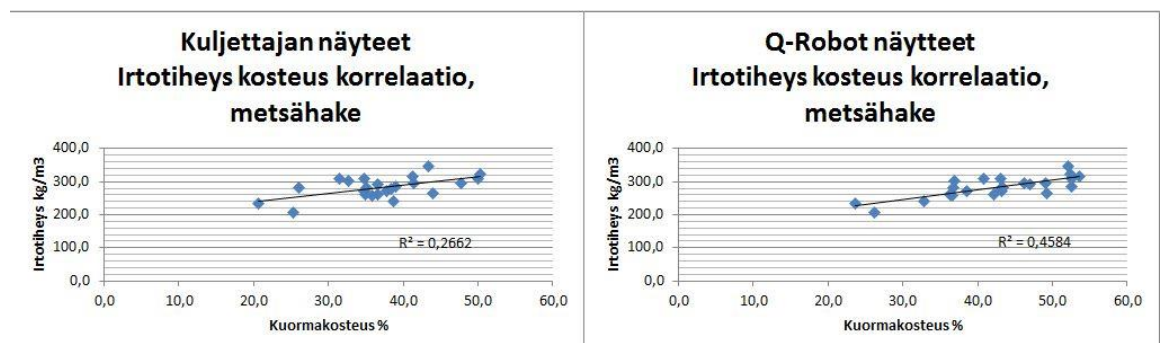
Havaitut tulokset ovat yhtenevät VTT:n tekemään tutkimukseen (liite 2). VTT havaitsi myös omissa tutkimuksissaan, että erityisesti metsähakkeella löytyy systemaattinen virhe kosteuksien vertailussa. Kuljettajien näytteet olivat lähes poikkeuksetta kuivempia kuin VTT:n ottamat näytteet. Tämä systemaattinen virhe selittää pitkälti koko näytteenoton virhettä. (8)

### 6.1.2 Irtotiheyden kosteuskorrelointi

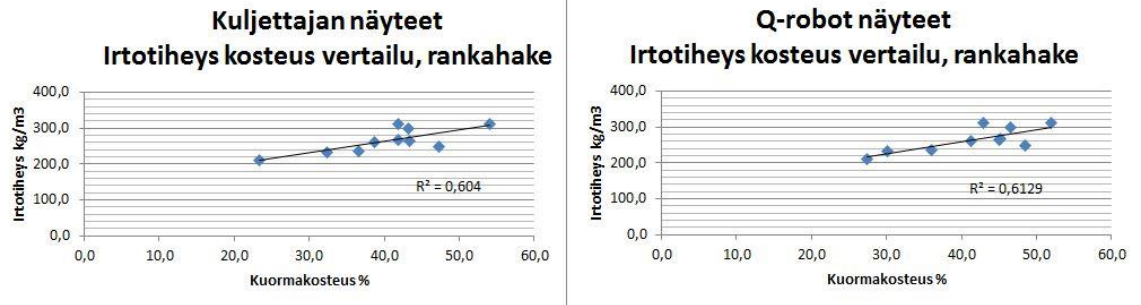
Q-robotin ottamien näytteiden kosteus korreloi irtotiheyden kanssa huomattavasti paremmin kuin kuljettajien ottamien näytteiden kosteus. Tämä havaitaan kaikilla analysoiduilla polttoaineilla (kuvat 23–25). Tästä voidaan päätellä Q-Robotin edustavan todellista kuormaa paremmin. Tuloksia analysoitaessa täytyy muistaa, että kuorman tilavuus perustuu kuljettajan ilmoitukseen ja jonka paikkansapitävyttä on mahdoton todistaa.



Kuva 23. Irtotiheyden kosteuskorrelointi, kaikki analysoidut polttoaineet.



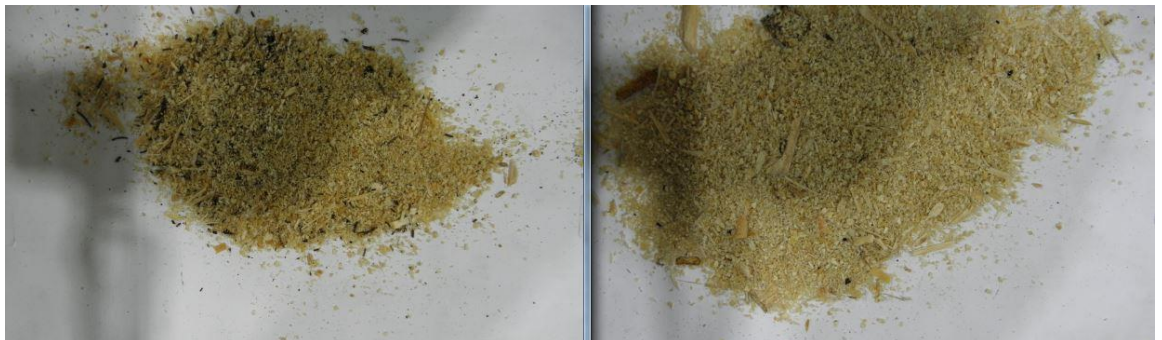
Kuva 24. Irtotiheyden kosteuskorrelointi, metsätähdehake.



Kuva 25. Irtotiheyden kosteuskorrelointi, rankahake.

### 6.1.3 Visuaalinen tarkastelu

Kaikki tutkimuksen aikana analysoidut näytteet kuvattiin. Purun ja turpeen homogeenisuus on niin suurta, ettei eroja voi nähdä silmällä. Kuten kuvasta 26 voidaan havaita, näytteet näyttävät visuaalisesti lähes samoilta.



Kuva 26. Saman polttoaineen kaksi näytettä. Oikealla on kuljettajan näyte ja vasemmalla Q-Robotin näyte.

Visuaalisessa tarkastelussa havaittiin myös selkeitä eroja. Kuvassa 27 näkyvien näytteiden koostumus näyttää visuaalisesti poikkeavan toisistaan paljon. Kosteudet näillä näytteillä olivat: kuljettajan näyte 32,7 % ja Q-Robotin näyte 36,8 %. Kosteusero on yli 4 prosenttiyksikköä, ja on selkeästi havaittavissa kuljettajan näytteen sisältävän karkeampaa tavaraa enemmän.



Kuva 27. Saman polttoainekuorman kaksi näytettä. Vasemmalla Q-Robotin otama näyte ja oikealla kuljettajan ottama näyte.

## 6.2 Q-Robot vs. standardin mukainen näyte

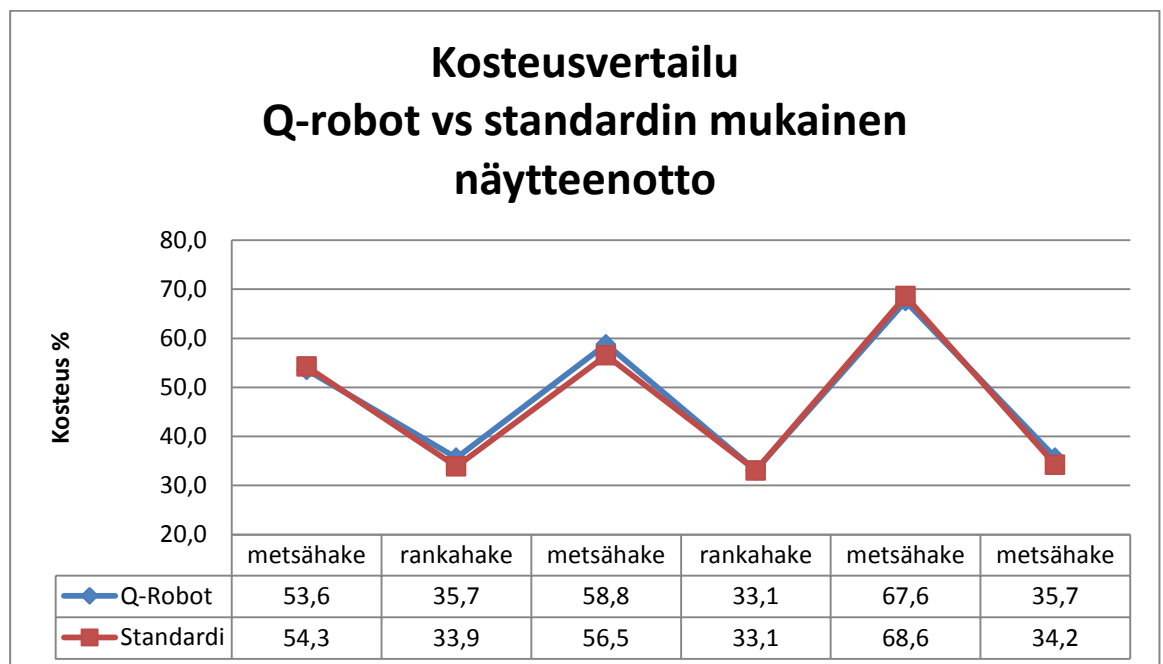
Q-Robot-näytteenottorobotilla otettiin kairaamalla saapuvasta polttoainekuormasta 4 tai 6 osanäytettä, riippuen ajoneuvon tyypistä ja koosta. Näytteenotussyvyudet ja paikat vaihtelivat satunnaisesti. Näytteenotin tyhjennettiin suoraan pussiin. Tämä sekvenssi toistettiin ajoneuvosta riippuen riittävän monta kertaa jotta saatiin kokonaisnäytemääräksi 8–10 litraa. Pussi suljettiin ilmatiiviiksi ja merkittiin yksilöivästi. Näytteenottotilavuus 6 näytepisteen ajoneuvosta oli n. 3x3 litraa ja 4 näytepisteen ajoneuvosta n. 4x2 litraa.

Näytemäärän tilavuutta kasvatettiin, jotta saatiin tehtyä näytteestä muiden määrittysten lisäksi myös luotettava palakokoanalyysi. Tutkimuksen laajuus oli 6 polttoainekuormaa, jossa 4 kuormaa metsätähdehaketta ja 2 kuormaa rankahaketta.

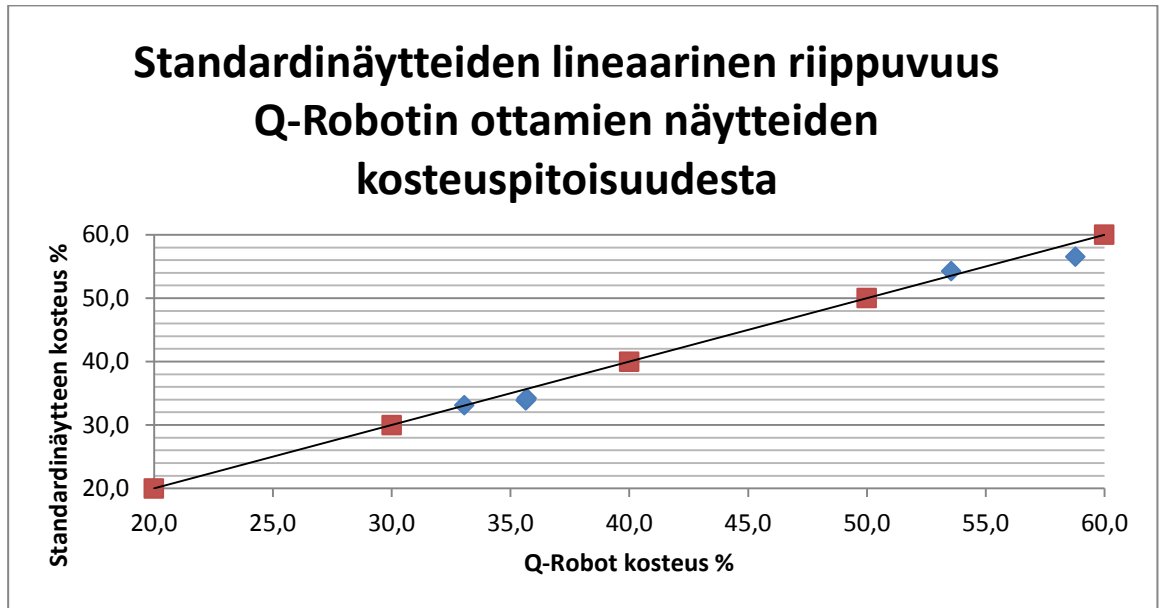
Standardinmukaisessa näytteenotossa keskityttiin näytteen oikeaoppiseen ottoon. Näytteet otettiin putoavasta virrasta mahdollisimman edustavasti koko kuormasta. Näytettä otettiin noin 18 litraa, joka pienennettiin palakokomäärityksen vaatimaan n.8–10 litraan.

### 6.2.1 Kosteusvertailu

Kosteusvertailussa havaitaan, että analysoitujen näytteiden kosteudet ovat erittäin lähellä toisiaan (kuva 28). Erojen keskiarvo on vain 0,6 % - yksikköä. Lineaarinen korrelaatio on hyvä ja hajonta pieni (kuva 29). Tutkimuksesta havaitaan, että kun käsinäytteenotto ja näytteenkäsittely suoritetaan huolellisesti, päädytään samaan tulokseen automaattisen näytteenoton kanssa.



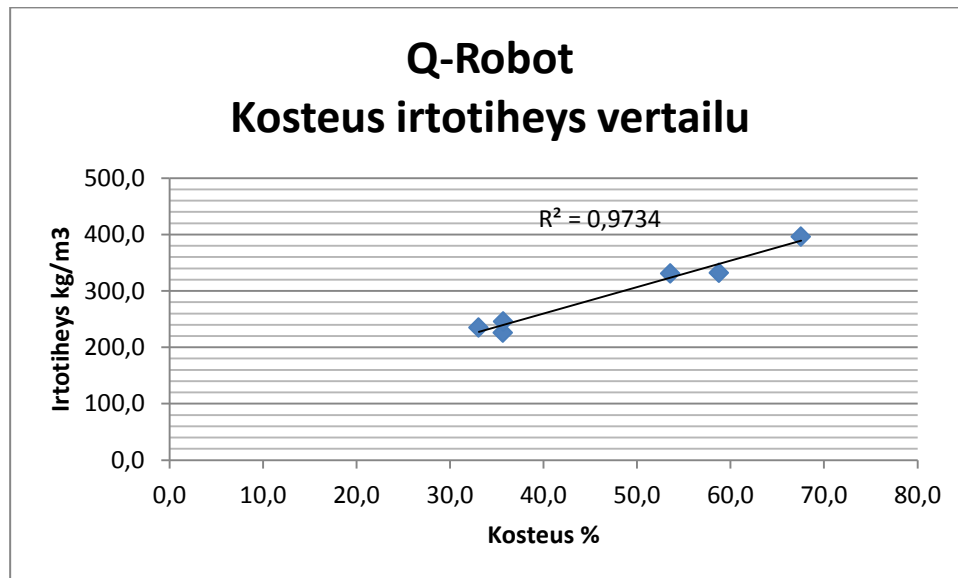
Kuva 28. Q-Robot vs. standardinäyte.



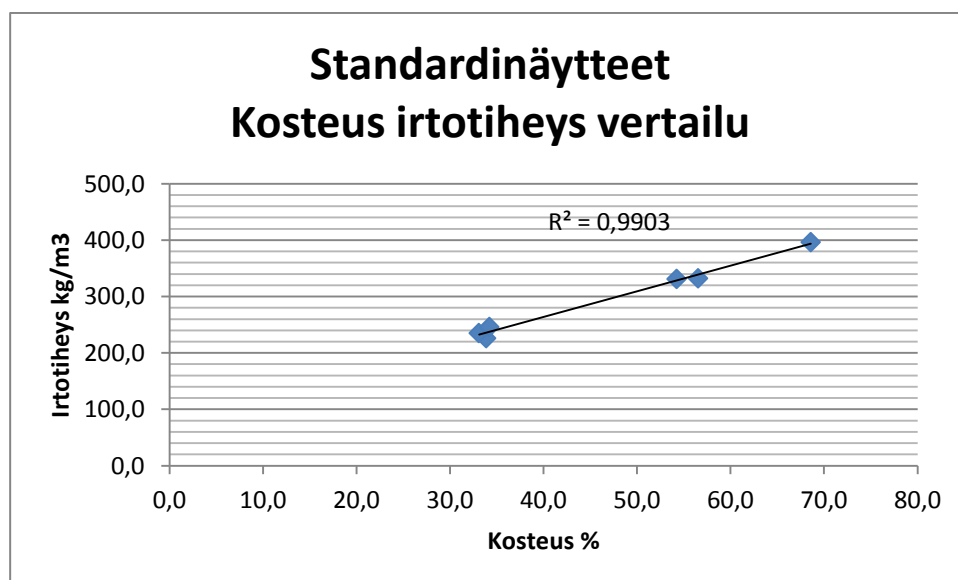
Kuva 29. Standardinäytteiden lineaarinen riippuvuus Q-Robotin ottamien näytteiden kosteuspitoisuudesta.

#### 6.2.2 Irtotiheyden kosteuskorrelaatio

Irtotiheys ja kosteus korreloivat toisiaan lähes täydellisesti sekä Q-Robotin että standardin mukaisissa näytteissä (kuvat 30 ja 31). Hyvää korrelaatiokerrointa selittää myös se, että analysoidut polttoainekuormat edustavat laajaa kosteuskalaa.



Kuva 30. Q-Robot, irtotiheyden kosteuskorrelointi.



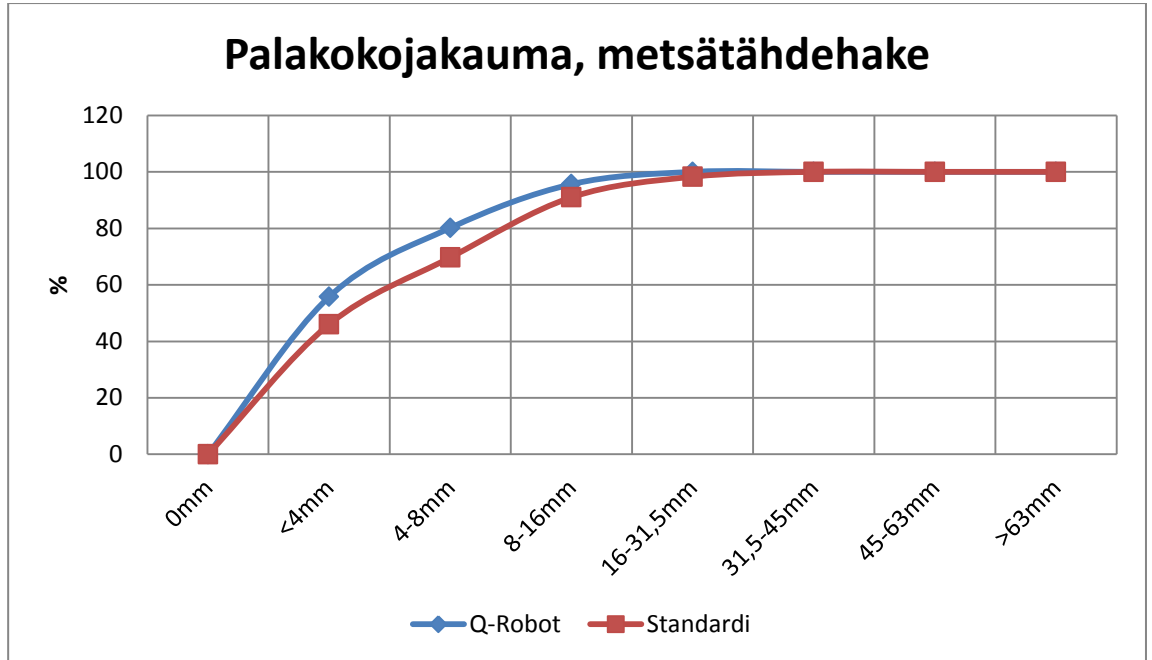
Kuva 31. Standardinäytteet, irtotiheyden kosteuskorrelointi.

### 6.2.3 Palakoko

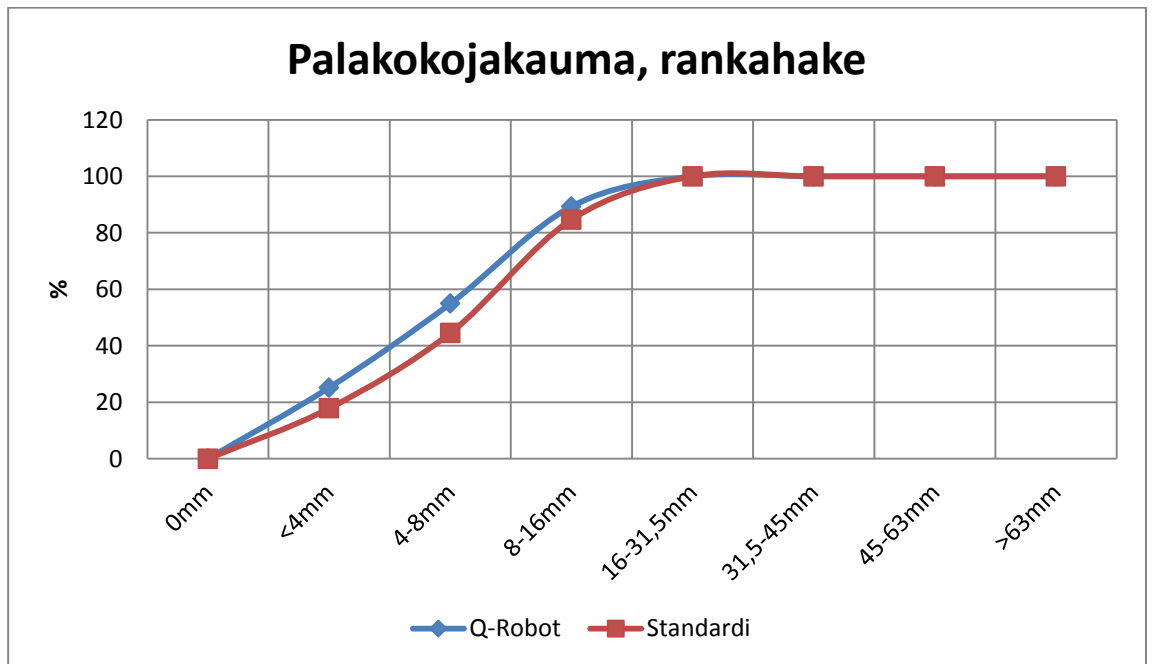
Palakokojakaumat määritettiin kuudelle näyteparille (liite 3). Palakokojakauman tutkimisessa keskityttiin vertailuparien väliseen erojen tutkimiseen (kuvat 32 ja 33). Palakokojakaumista huomioitavaa on, että Q-Robotin ottamat näytteen olivat partikkelikooltaan pienempiä. Kosteusarvoihin tällä ei ole ollut kuitenkaan



vaikutusta. Tässä tutkimuksessa ei selvinnyt syitä, miksi partikkelikoossa on eroja.



Kuva 32. Metsähakkeen kumulatiivinen palakokojakauma.



Kuva 33. Rankahakkeen kumulatiivinen palakokojakauma.

## 7 Q-ROBOTIN HYÖDYT

Voimalaitokset maksavat polttoainetoimittajille polttoaineen sisältämän energian perusteella. Polttoaineeseen sitoutunut kosteus alentaa lämpöarvoa erittäin paljon. Polttoaineesta ja kosteuspitoisuudesta riippuen voi kosteusvirhe kaksin- tai jopa kolminkertaistaa polttoaineen sisältämän energian virheen. Q-Robot näytteenottimen hyödyt ovat nimenomaan ihmisestä aiheutuvien virheiden poistaminen.

### Esimerkkilaskelma

Voimalaitos käyttää energiaa vuodessa 1000 GWh. Oletetaan, että jakauma eri polttoaineiden välillä olisi sama kuin tehdyssä tutkimuksessa eli noin 50 % polttoaineesta olisi metsätähdehaketta, 20 % rankahaketta, 20 % turvetta ja 10 % purua. Tutkimuksessa saatujen tulosten perusteella on prosentuaalinen erotus kosteudessa 3,2 % ja toimitetussa energiassa 6,9 %. Käytetään energian hintana 20 000 € / GWh

### Vanha polttoainekustannus

$$1000GWh * \frac{20\,000\text{€}}{GWh} = 20\,000\,000\text{€}$$

### Uusi polttoainekustannus

$$93,1\% * \frac{1000GWh}{100} \% = 931GWh$$

$$931GWh * \frac{20\,000\text{€}}{GWh} = 18\,620\,000\text{€}$$

### Vuotuinen säästös

$$20\,000\,000\text{€} - 18\,620\,000\text{€} = \mathbf{1\,380\,000\text{€}}$$

## 8 LOPPUYHTEENVETO JA POHDINTA

Kiinteiden biopolttoaineiden edustava näytteenotto erittäin haastava tehtävä polttolaitoksilla, minne tulee päivittäin useita erilaisia polttoaineita. Myös toimittajien ja toimijoiden määrä on suuri. Nämä haasteet ovat todellisia, otettiin näytteet koneellisesti tai käsin.

Tutkimuksen perusteella voidaan todeta, ettei käsinäytteenotto toimi voimalaitoksilla luotettavasti. Tähän vaikuttavat mm. voimalaitoksen käytännöt, näytteenoton ohjeistus ja kuljettajien käyttäytyminen. Erityisesti kuljettajan näytteenotto ja näytteen käsittely näyttäisi vaikuttavan tutkimuksessa havaittuun kosteuksien systemaattiseen virheeseen eniten. Tarkkoja syitä, miksi kuljettajien näytteet poikkeavat muista näytteistä, on tämän tutkimuksen perusteella mahdoton sanoa. Näytteiden partikkelikoon erot voivat johtua muun muassa siitä, että polttoainekuormassa suuremmat kappaleet lajittuvat helposti sivuille ja joista näyte on helpointa ottaa. Lajittumista tapahtuu haketettaessa polttoaine suoraan kuormatilaan tai kuljetuksen aikana. Myös virheellinen toiminta näytteenkäsittelyssä vaikuttaa näytteen ominaisuuksiin merkittävästi, oli se sitten tahatonta tai tahallista.

Tutkimuksessa oletetaan, että oikein hoidettu, standardin mukainen käsinäytteenotto ja näytteenkäsittely antavat luotettavat ja oikeat tulokset polttoaineiden laaduntarkkailuun. Kaikkea tutkimuksen dataa verrataan standardien mukaiseen toimintaan.

Q-Robot näytteenottimella otetut näytteet edustavat todellisia kuormia paremmin kuin kuljettajien ottamat näytteet. Myös vertailut standardin mukaiseen näytteenottoon todistavat tämän. Q-Robotin näytteiden irtotiheyden hyvä korrelaatio kosteuteen antaa luotettavuutta näytteenoton edustavuudelle. Irtotiheyden korrelaatio kosteuteen ei kuitenkaan anna aivan todellista kuvaa, sillä irtotiheyden laskenta perustuu kuljettajan ilmoittamaan nettotilavuuteen. Tutkimuksen kannalta olikin harmittavaa, ettei Q-Robotin konenäköjärjestelmään perustuvaa tilavuuslaskentaa ollut vielä käytettävissä.

Q-Robot-näytteiden erottuminen palakoon osalta standardinäytteisiin verrattuna, ei aiheuttanut eroja kosteuspitoisuuksiin. Syitä, miksi palakokojakaumat poikkesivat toisistaan, ei tämän tutkimuksen puitteissa saatu varmennettua. Tämä asia vaatii lisää testausta ja tutkimusta.

Q-Robot-näytteenotin toimii kaikille tutkimuksessa olleille polttoaineille hyvin. Näytteenottimen hyödyt tulevat esille parhaiten metsähakkeen tyylisillä, voimakkaasti lajittuneilla ja palakooltaan sekalaisen polttoaineen näytteenotossa. Taloudellinen hyöty saavutetaan hyvin pienellä kosteuspitoisuuden virheenkorjauksella.

## LÄHTEET

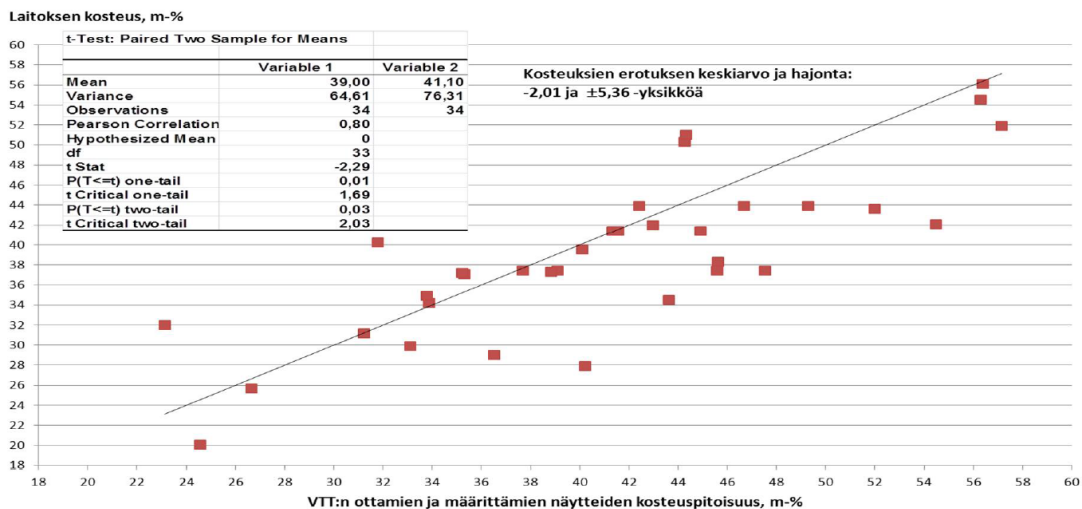
- (1) Tilastokeskus - Energian hankinta ja kulutus 2015. Tilastokeskus. Helsinki 2016 7.12.
- (2) Alakangas E, Hurskainen M, Laatikainen- Luntama J, Korhonen J. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT Technology 258 2016:229 s.+ liitteitä 35 s.
- (3) Vapo. Aineistopankki. 2017; Available at: <https://www.vapo.fi/aineistopankki/vapopankki/index.php?area=gallery&view=main>.
- (4) Koskitukki. Tiedostopankki. 2017; Available at: <http://www.koskitukki.fi/tiedostopankki/>.
- (5) Alakangas E, Impola R. Puupolttoaineiden laatuohje. VTT; Bioenergia ry; Energiateollisuus ry; Metsäteollisuus ry 2013:41 s. + liitteet.
- (6) SFS-EN 14778. Kiinteät biopolttoaineet. Näytteenotto. Suomen Standardisoimisliitto. Helsinki 2011.
- (7) SFS-EN 14780. Kiinteät biopolttoaineet. Näytteen esikäsittely. Suomen Standardisoimisliitto. Helsinki 2011.
- (8) VTT-R-01322-12, Timo Järvinen. Kiinteiden biopolttoaineiden CEN- näytteenottostandardin soveltaminen Suomen oloihin. VTT 2012:55.

## LIITTEET

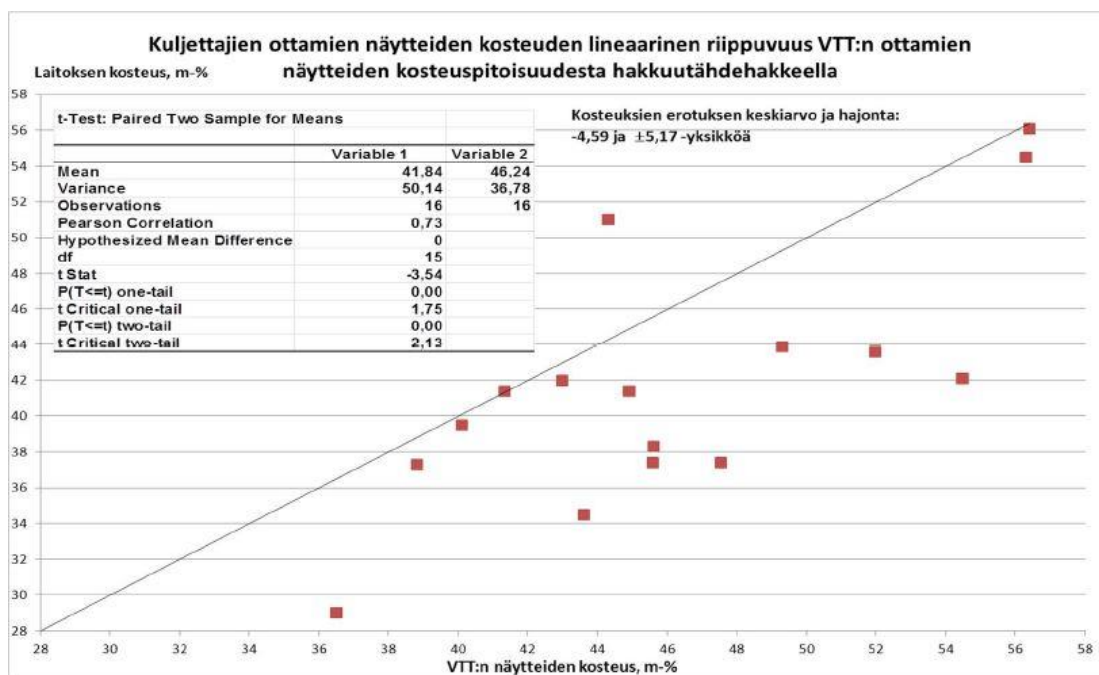
päivämäärä	klo	laji	V 1 (m <sup>3</sup> )	nettopaino	q,p,net,d	Q-robot kosteus % [M,ar	Kuljettajan ottama näyte kosteus %	Kosteuse ro %-yks	Irtotiheys
18.10.2016	10:44	Metsähake	118,0	35,0	19,5	46,3	47,7	-1,4	296,6
18.10.2016	11:08	Metsähake	118,0	24,3	19,2	26,1	25,3	0,9	205,9
18.10.2016	13:32	Metsähake	118,0	31,9	19,2	43,2	37,8	5,4	270,3
19.10.2016	9:24	Metsähake	118,0	27,8	19,2	23,7	20,6	3,1	235,2
19.10.2016	10:50	Metsähake	120,0	31,9	19,2	49,1	43,9	5,2	265,4
20.10.2016	8:33	Metsähake	88,0	30,5	19,5	52,0	43,3	8,7	346,6
24.10.2016	10:17	Metsähake	112,0	34,7	19,2	40,8	34,8	6,0	309,8
24.10.2016	11:22	Metsähake	110,0	28,9	19,3	36,2	34,9	1,3	262,7
25.10.2016	9:38	Metsähake	117,0	28,3	19,2	32,8	38,6	-5,8	241,5
25.10.2016	8:55	Metsähake	90,0	25,3	19,3	36,7	26,0	10,7	280,6
25.10.2016	10:11	Metsähake	86,0	23,5	19,3	38,5	34,8	3,6	272,7
26.10.2016	9:22	Metsähake	138,0	39,6	19,2	52,5	39,0	13,4	286,6
26.10.2016	10:09	Metsähake	110,0	30,8	19,2	43,1	38,4	4,7	279,5
26.10.2016	10:46	Metsähake	88,0	25,8	19,3	47,0	36,5	10,4	293,2
31.10.2016	11:02	Metsähake	140,0	43,3	19,5	52,5	50,0	2,5	308,9
31.10.2016	10:18	Metsähake	120,0	31,6	19,2	42,1	36,6	5,5	262,9
31.10.2016	14:50	Metsähake	118,0	30,6	19,2	36,5	35,8	0,8	259,3
31.10.2016	9:40	Metsähake	88,0	28,6	19,3	52,4	50,3	2,1	324,4
31.10.2016	14:08	Metsähake	88,0	27,9	19,3	53,6	41,2	12,4	316,5
1.11.2016	14:42	Metsähake	122,0	36,8	19,2	36,8	32,7	4,2	301,6
1.11.2016	9:30	Metsähake	90,0	25,4	19,3	43,4	35,1	8,3	281,7
2.11.2016	8:06	Metsähake	122,0	37,7	19,2	43,0	31,4	11,6	309,0
2.11.2016	8:15	Metsähake	97,0	28,8	19,0	49,1	41,4	7,7	296,4
18.10.2016	10:17	Puru	125,0	39,5	19,0	53,5	54,3	-0,8	315,6
18.10.2016	14:20	Puru	148,0	42,8	18,8	55,4	54,9	0,4	288,9
24.10.2016	12:35	Puru	89,0	29,0	18,8	58,7	57,3	1,4	325,3
25.10.2016	10:52	Puru	157,0	51,4	18,9	59,6	57,3	2,3	327,4
26.10.2016	11:12	Puru	125,0	40,7	19,0	55,7	55,2	0,4	325,2
20.10.2016	7:42	Rankahake	148,0	38,9	18,8	41,3	38,7	2,6	262,8
20.10.2016	7:16	Rankahake	100,0	25,1	18,8	48,4	47,3	1,1	250,5
20.10.2016	8:18	Rankahake	115,0	35,9	18,8	42,9	41,9	1,0	311,7
20.10.2016	9:03	Rankahake	100,0	30,1	18,8	46,5	43,2	3,3	300,5
24.10.2016	11:07	Rankahake	100,0	23,4	18,8	30,2	32,4	-2,2	234,0
25.10.2016	7:54	Rankahake	140,0	43,5	18,8	52,0	54,1	-2,1	310,7
26.10.2016	8:28	Rankahake	115,0	30,5	18,8	45,0	43,3	1,7	264,8
31.10.2016	10:41	Rankahake	115,0	24,1	18,8	27,3	23,3	4,1	209,6
31.10.2016	13:25	Rankahake	100,0	26,8	18,8	45,1	41,8	3,3	267,5
2.11.2016	10:20	Rankahake	90,0	21,3	18,8	35,9	36,5	-0,6	236,1
19.10.2016	11:38	Turve	120,0	42,0	20,8	47,8	54,3	-6,5	350,0
24.10.2016	10:34	Turve	125,0	42,7	20,8	46,4	41,4	5,0	341,2
26.10.2016	8:44	Turve	125,0	43,2	20,8	47,9	41,4	6,5	345,6
26.10.2016	9:55	Turve	60,0	19,3	19,5	52,3	46,1	6,1	321,7
31.10.2016	11:25	Turve	120,0	42,1	21,2	52,9	48,2	4,7	350,8
1.11.2016	14:40	Turve	120,0	42,2	20,8	44,6	43,1	1,6	351,3
2.11.2016	10:04	Turve	125,0	40,7	20,8	48,2	55,3	-7,1	325,2
2.11.2016	10:25	Turve	110,0	37,6	21,2	46,3	43,1	3,3	341,4
2.11.2016	10:10	Turve	120,0	38,2	21,2	52,8	55,0	-2,2	317,9

Liite 1. Q-Robot vs. kuljettajan näyte data

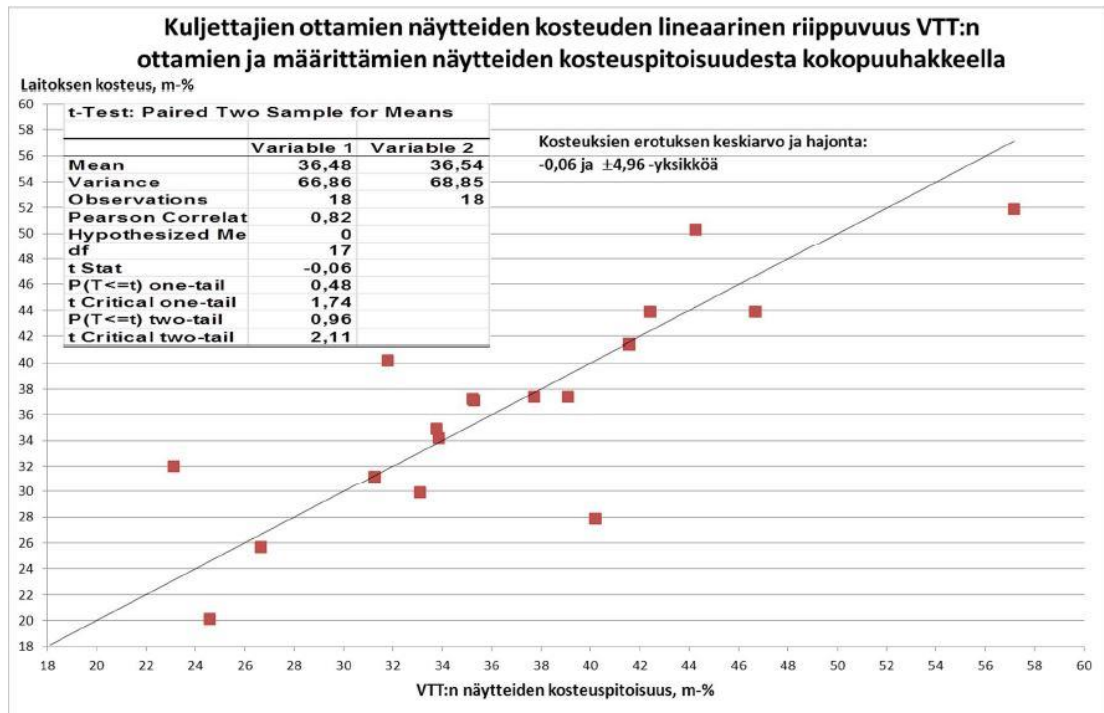
**Kuljettajien ottamien näytteiden kosteuden lineaarinen riippuvuus VTT:n ottamien ja määrittämien näytteiden kosteuspitoisuudesta kaikilla hakelaaduilla**



VTT:n ja laitosnäytteenoton analysointi kaikilla hake- ja mursketyypeillä (8)

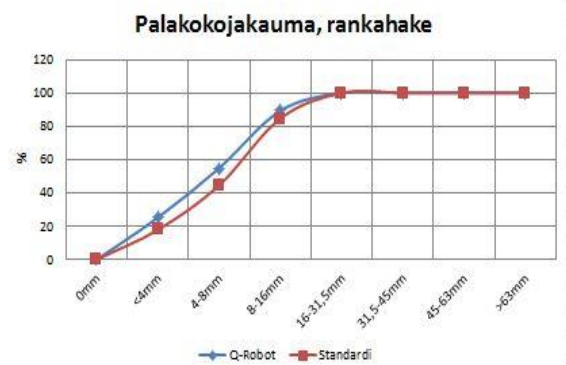
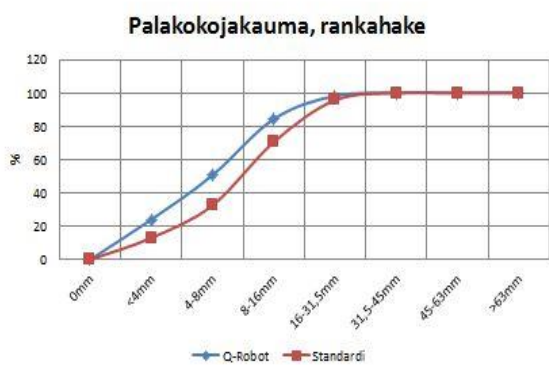
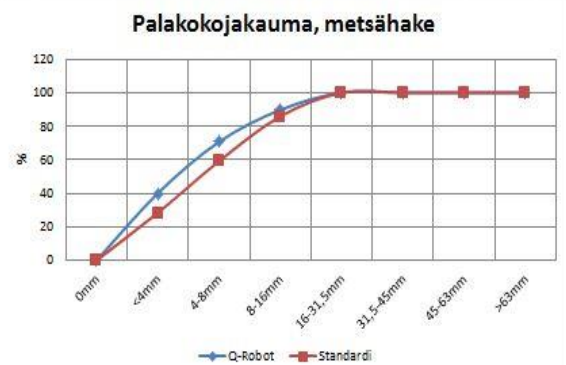
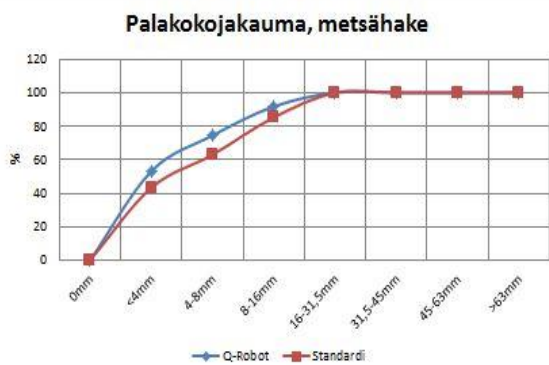
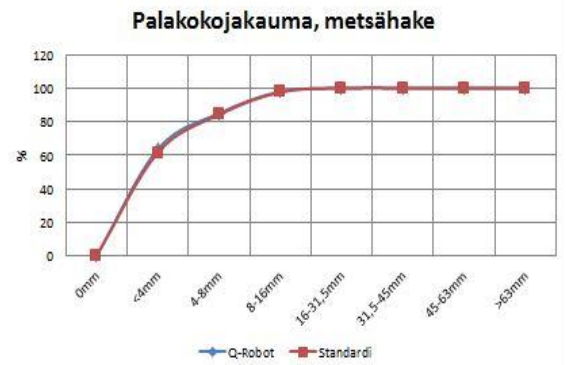
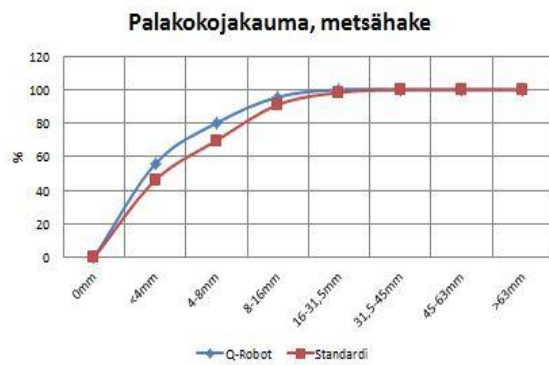


VTT:n ja laitosnäytteenoton analyysiä metsähakeella. (8)



VTT:n ja laitosnäytteenoton analyysiä kokopuuhakkeella. (8)





Palakojakaumat.