

Pro gradu -tutkielma

**Biovoimalaitoksen automaattisen näytteenoton
käyttöönotto**

Jussi Orava



Jyväskylän yliopisto

Bio- ja ympäristötieteiden laitos

Ympäristötiede ja -teknologia
Uusiutuvan energian maisteriohjelma

30.1.2013

JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO, Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta
Bio- ja ympäristötieteiden laitos
Ympäristötiede ja -teknologia

Orava Jussi: Biovoimalaitoksen automaattisen näytteenoton käyttöönotto
Pro gradu -tutkielma: 54 s., 6 liitettä (10 s.)
Työn ohjaaja: Professori Margareta Wihersaari
Tarkastajat: Professori Margareta Wihersaari, erikoistutkija Timo Järvinen
Tammikuu 2013

Hakusanat: Näytteenotto, biopolttoaineet, hajonta, analyysi, kosteus, vertailu

TIIVISTELMÄ

Kiinteää bioperäistä polttoainetta käyttäviä voimalaitoksia on Suomessa useiden terawattituntien edestä. Polttoaineiden tuottajien, myyjien, toimittajien ja käyttäjien välillä tehdään kauppaa miljoonilla euroilla. Usein maksuperuste määräytyy toimitetun polttoaineen lämpöarvon mukaan. Lämpöarvon määrittämiseksi on toimitetusta polttoaineesta otettava näytteitä, jotta voidaan kokeellisesti selvittää toimitetun polttoaineen laatu. Puuperäisten polttoaineiden lämpöarvoon eniten vaikuttava ominaisuus on kosteus.

Työssä selvitettiin Jyväskylän Keljonlahden voimalaitoksen polttoaineen vastaanottolaitteiston soveltuvuutta automaattiseen näytteenottoon. Tutkimus suoritettiin vuoden 2012 keväällä ja syksyllä, laitoksen normaalin tuotannon aikana. Testeissä otettiin standardin mukaisia käsinäytteitä ja automaattisen laitteiston määriteltyjen sekvenssien mukaisesti otettavia näytteitä yhteensä 35 kappaletta. Käsi- ja automaattinäytteitä verrattiin SPSS analyysiohjelmiston avulla parittaisella t-testillä ja selvitettiin eroavatko ne tilastollisesti merkitsevästi toisistaan.

Varsinainen laitteisto oli tutkimusta aloitettaessa jo suunniteltu ja osittain asennettu, joten itse rakenteisiin ja laitemitoituksiin ei voitu juuri puuttua. Vertailutestien lisäksi käyttöönotossa kiinnitettiin huomiota toimintosekvensseihin ja laitteiston päivittäiseen käyttöön. Koska polttoainekuljettajien oikeanlainen toiminta purkuvaiheessa vaikuttaa sekä automaattisen- että käsinäytteen onnistumiseen, oli myös henkilöstön koulutukseen panostettava.

Testijakso kesti kaiken kaikkiaan 6 kuukautta, jonka aikana vikoja korjattiin ja laitteiston toimintaa muokattiin voimalaitosoperaattoreiden toivomaan suuntaan. Laboratorioanalyysien tuloksena kuormista otetut käsi- ja automaattinäytteet erosivat keskimäärin -0,22 mittayksikköä. Parivertailun erotusten merkitsevyystaso eli p-arvo oli 0,70, joka ylitti raja-arvon 0,05 selkeästi. Vertailutestien perusteella laitteiston ottamat näytteet eivät eroa tilastollisesti merkitsevästi käsinäytteistä. Tutkimuksen perusteella vastaanottolaitteisto on toimitusarvojen mukainen ja analyysien perusteella automaattisen laitteiston ottamia näytteitä voidaan käyttää tuotannolliseen käyttöön käsinäytteenoton sijaan.

UNIVERSITY OF JYVÄSKYLÄ, Faculty of Science
Department of Biological and Environmental Science
Environmental Science and Technology

Orava Jussi: Automatic sampling methods in biofuel power plant.
Master thesis: 54 p., 6 appendices (10 p.)
Supervisor: Professor Margareta Wihersaari
Inspectors: Professor Margareta Wihersaari,
senior special scientist Timo Järvinen

January 2013

Keywords: Sampling, biofuel, variance, analysis, moisture content, comparison

ABSTRACT

Solid biofuel is very important fuel in Finnish electricity and district heating production. Sellers, buyers, producers, users and transporters trade millions of Euros through wood fuel industry. The cost is usually based on the calorific value of the wood. Several samples have to be taken to measure the calorific value of the received wood fuel. Moisture content is the most weighted value in the calorific value of the wood based fuels.

Study consists of an evaluation of automatic sampling system in commercial use of fuel sampling in Keljonlahti power plant in Jyväskylä. Testing and commissioning were made during the standard production in 2012 spring and autumn. Testing and sampling performed from the delivered loads and altogether 35 approved paired samples were taken with both procedures, automatic and manual. Automatic and manual samples were compared with paired samples t-test with the help of SPSS analysis program. The goal was to statistically investigate if the two methods differ each other statistically significantly.

The automatic sampling devices were designed and almost fully assembled when the test planning started so modifications of equipment and layout was difficult. Beside of the sample testing commissioning had an important role in running through the system testing to gain daily operation function. Even though the system is called automatic it needs some interfaces with operators, and those are truck drivers. There are some important points to be done and training of the drivers is the foundation of the working system.

Trial took overall 6 months and several faults were fixed and instrumentation and control system was modified according to the operator's wishes. As a result of the laboratory analysis the difference between manually and automatically taken samples was -0,22 units. Significance level of the paired samples t-test did exceed the limit value of 0,05 and was 0,70. According to the paired samples test the sampling procedures do not differ each other statistically significantly. The whole fuel reception station and also the automatic sampling system works as ordered so there is no disincentive to commercial usage of the equipment.

Sisällysluettelo

1 JOHDANTO	1
2 TAUSTA	3
2.1 Jyväskylän Energia Oy.....	3
2.2 Keljonlahden voimalaitos	3
2.3 Biopolttoaine.....	5
2.4 Polttoaineiden merkitsevät ominaisuudet	6
2.5 Hyötysuhde	9
2.6 Laboratoriotestit	9
2.7 Eurooppalainen standardisointiprosessi	11
2.8 Sertifiointi	12
2.9 SFS-EN 14778 standardi.....	12
2.10 Vastaavat laitteet ja vertailutestit	13
3 NÄYTTEENOTTO	14
3.1 Näytteenoton periaatteet	14
3.2 Kuormien purku ja käsinäyte	16
Linja 5, peräpurku ja sivukippi.....	16
Linjat 6 ja 7, murskain	18
3.3 Automaattinen näytteenottojärjestelmä.....	20
3.4 Näytteenottoon liittyvät laitteet ja kuljettimet	21
3.5 Todennäköisyyslaskenta	26
Näytteenoton tarkkuus	27
Otoskoon laskeminen	29
Satunnaistaminen.....	30
Systemaattinen virhe.....	30
3.6 FAT testit	30
3.7 Laitteiston käyttöönottotestit.....	31
4 AINEISTO JA MENETELMÄT	33
5 TULOKSET	35
5.1 Mittausdata.....	35
5.2 Analyysitulokset.....	35
6 TULOSTEN TARKASTELO	37
6.1 Vertailuanalyysi	37
6.2 Tuotannollinen käyttö	38
7 JOHTOPÄÄTÖKSET	41
JÄLKISANAT JA KIITOKSET	42
LÄHDELUETTELO	43
LIITTEET	45

Käytetyt lyhenteet

CEN	Euroopan Standardisointikomitea, the Committee for European Standardization
DCS	Laitoksella käytettävä prosessinhallintaohjelma
E	Energiatiheys [MJ/m^3 tai MWh/m^3]
Metso DNA	Laitosautomaation käyttöjärjestelmä
PAT	Polttoainetietojärjestelmä
Q	Lämpöarvo [MJ/kg]
SFS	Suomen Standardisointiliitto SFS ry
VTT	Teknologian Tutkimuskeskus, VTT

1 JOHDANTO

Biopolttoaineet ovat Suomessa merkittävä uusiutuva energianlähde. Tilastokeskuksen (2010) mukaan vuonna 2010 sähkön- ja lämmöntuotannossa käytettiin 243 000 terajoulea (TJ) uusiutuvia energianlähteitä. Näistä noin 100 000 TJ oli puupolttoaineita kuten pelletti, hake ja halko. Kiinteiden biopolttoaineiden käyttöön ja tuotantoon liittyy laatuohjeita sekä standardeja, jotka Suomessa ovat Euroopan Standardisointikomitean (the Committee for European Standardization, CEN) määrittämiä ja Suomen Standardisoimisliiton SFS suomentamia ja hyväksymiä.

Polttoaineen tietyt ominaisuudet on tiedettävä, jotta polttoprosessia voidaan tehokkaasti ohjata ja polttoaineelle voidaan määritellä kaupallinen arvo. Määriteltäessä polttoaineelta vaadittavia ominaisuuksia on huolehdittava että jokainen osapuoli ymmärtää vaatimusten taustat ja seuraamukset. Raja-arvot ja niiden ylityksien seuraukset on perusteltava ja sanktiot sovittava ennen uuden käytännön käyttöönottoa. Eri osapuolia kiinnostavat myös eri ominaisuudet ja tästä syystä näiden mittaaminen ja tavoitearvot on sovittava jotta tulokset hyödyttävät kaikkia osapuolia. Näytteenotossa suurimpia uhkia on mahdollinen systemaattinen virhe. Väärin valittu näytteenottopaikka tai tapa on riskinä sekä käsin että automaattisesti suoritettavassa näytteenotossa. Yksittäisnäytteet otetaan esimerkiksi lajittuneesta polttoainevirrasta, jolloin näytteiden kosteudet voivat olla systemaattisesti joko liian kuivia tai kosteita edustamaan mitattavaa erää.

Sähköä ja kaukolämpöä tuottavan laitoksen hyötysuhde lasketaan karkeasti tulevan polttoaineen energiasisällön ja sen poltolla tuotettavien tuotteiden suhteesta. Laboratoriotutkimukset tulevasta polttoaineesta tehdään näytteenoton perusteella, joka on toistaiseksi suoritettu käsin. Käsinsuoritettava näytteenotto on tällä hetkellä polttoainetoimittajien ja -ostajien yhdessä hyväksymä polttoaineen määrittämiseen käytettävä tapa, joka perustuu Puupolttoaineiden laatuohjeeseen (Finnbio 1998). Automaattisen näytteenoton myötä ihmillisiä tekijöitä voidaan vähentää ja näin ainakin teoriassa saada näytteenoton edustavuus tasalaatuisemmaksi. Jotta tuotannollisessa käytössä voidaan siirtyä automaattiseen näytteenottoon, on toimintatavat ja prosessit yhteisesti hyväksyttävä ja luotettavasti testattava polttoainetoimittajan ja käyttäjän toimesta.

Automaattisia näytteenottolaitteistoja on asennettu noin kymmeneen eri kokoluokan kiinteän polttoaineen laitokseen Suomessa, joista toimittajan (Salonen 2013) mukaan kolme on

tutkimusta vastaavaa rakenne- ja kokoluokkaa. Muualla Euroopassa on vähän kokemusta (mm. Ruotsi, Puola) vastaavanlaisista näytteenottimista. Myös nopeiden on-line mittareiden eteen on tehty aktiivista kehitystyötä, mutta toistaiseksi käytössä on perinteinen näytteiden kuivatusmenetelmä.

Kyseiset laitteet on tutkimusta aloitettaessa toimitettu ja niille on suunniteltu alustavat ajo-parametrit ja sekvenssit. Työssä tutkitaan sekä tieteellisesti laskemalla että vertailemalla parhaita mahdollisia näytteenottotapoja, joilla polttoainekuormista saadaan niitä parhaiten edustavia näytteitä. Tutkimuskysymyksenä selvitetään voidaanko automaattista näytteenottolaitteistoa käyttää tuotannolliseen käyttöön käsinäytteiden sijaan. Laitteiston toimivuuden varmistuttua automaatin ottamia näytteitä verrataan käsin otettuihin ja tutkitaan onko niiden välillä merkitsevää eroa.

Tutkimuksen ohjenuorana käytetään SFS-EN 14778:2011 standardia, joka määrittelee kiinteiden biopolttoaineiden näytteenoton. Standardi on pääosin tarkoitettu käsin tehtävälle näytteenotolle, mutta sen sisältöä voi suoraan soveltaa myös koneellisesti tehtävään näytteenottoon. Tutkimuksen kohteena olevassa laitoksessa on ollut käytössä Finnbion (1998) Puupolttoaineiden laatuohje. Laatuohje on tehty nimenomaan puupolttoaineille Suomen oloihin. Uuden SFS-EN – standardin suositusarvot on valmiiksi taulukoitu muun muassa kuorelliselle puuhakkeelle ja havupuiden hakkuutähteelle. Standardin tilastomatematiikka pohjautuu vanhoihin hiilistandardeihin, joten siinä ei ole kovin hyvin huomioitu kansallisia erityispiirteitä, laajaa polttoainekirjoa ja tekniikkaa sekä oloja, jotka vaihtelevat jopa Euroopan sisäisesti. Teknologian tutkimuskeskuksen (VTT) tutkijat Järvinen & Impola ovatkin yhdessä Energiateollisuuden ympäristöpoolin, metsäteollisuuden, Etelä-Savon Energian, Kotkan Energian, Rovaniemen Energian, Raumasterin ja Vapo Oy:n kanssa tehneet CEN- sovellus -hankkeen, jonka pohjalta on koostettu uuden näytteenottostandardin soveltamisohje metsäpolttoaineille Suomessa (2012). VTT:n tutkimuksen perusteella on tarkennettu EN –standardin viitearvoja. Sovellusohje on tarkoitettu käytettäväksi standardin rinnalla. Maailmanlaajuinen ISO -standardi on tulossa vuonna 2013 korvaamaan EN -standardia.

2 TAUSTA

2.1 Jyväskylän Energia Oy

Jyväskylän kaupungin kaukolämmön tuotannosta ja jakelusta vastaa Jyväskylän Energia Oy, joka on JE - konsernin emoyhtiö. Yhtiön toimiala on sähkön ja lämmön tuotanto, hankinta ja siirto ja niihin liittyvä kauppa, muu energiatoiminta sekä niihin liittyvä tuotteiden valmistus ja kauppa, asennus ja muu liike- ja palvelutoiminta sekä vesilaitosliiketoiminta ja siihen liittyvä muu liike- ja palvelutoiminta (Jyväskylän Energia 2012a). Kaukolämmön- ja sähköntuotantoon osallistuu kolme kiinteää polttoainetta käyttävää tuotantolaitosta sekä useita öljykattiloita. Tutkimuksen kohteena oleva Keljonlahden voimalaitos on Jyväskylän Energia Oy:n tytäryhtiön Jyväskylän Voima Oy:n hallinnoima.

2.2 Keljonlahden voimalaitos

Keljonlahden voimalaitos tuottaa yhteistuotantona sähköä ja lämpöä sekä erillistuotantona lauhdesähköä. Kaukolämmöntuotannossa syntyvällä höyryllä tuotetaan sähköä valtakunnan verkkoon kotitalouksien ja liike-elämän käytettäväksi.

Voimalaitoksen kiertopetikattilan polttoaineteho on noin 510 MW, jonka tuottamasta höyrystä saadaan kaukolämpöä Jyväskylän kaupungille 220 MW ja sähköä lauhdekäytössä 160 MW. Keljonlahdessa energiantuotantoon käytettävästä polttoaineesta – puusta ja turpeesta – voidaan hyödyntää lähes 90 %. Kiertopetikattila on suunniteltu rakenteen, mitoituksen ja materiaaliensa puolesta nimenomaan puun ja turpeen yhteispolttoon. Saarnon (2012) mukaan puuperäisiä polttoaineita poltetaan vuositasolla noin 760 000 MWh ja turvetta noin 1 760 000 MWh. Massoina luvut ovat noin 490 000 tonnia ja noin 625 000 tonnia.

Polttoaineena käytettävä keskisuomalainen puu ja turve toimitetaan laitokselle kuorma-autoilla, jotka puretaan vastaanottoasemilla, seulotaan ja siirretään hihnakuljettimilla suljettuihin varastosiiloihin. Päätös uuden biovastaanottoaseman rakentamisesta, puunpolton kapasiteetin nostamiseksi ja vastaanoton kehittämiseksi, tehtiin vuonna 2010. Samassa yhteydessä laitokselle voitiin rakentaa oma murskain, jolla välivarastoinnin ja siirrettävän murskaimen kuormitusta voitiin vähentää. Uusi bioasema käsittää vastaanottohallin, murskaimen ja seulomon, sekä kuljettimet näiden ja varastosiilon välillä. Uudelle vastaanottoasemalle tilattiin ja suunniteltiin automaattinen laitteisto polttoaineen näytteenottoa varten. Päälaitetoimittajana toimi Raumaster, joka vastasi myös laiteasennuksista ja käyttöönotosta yhdessä laitoksen henkilökunnan kanssa.

Uudessa vastaanottohallissa on ketjumainen lattiakuljetin polttoaineen peräpurulle (kuva 1), johon kuorma puretaan kuorma-auton perästä. Useimmiten purku tapahtuu auton omalla ketjukuljettimella tai palkkikuljettimella. Hallin lattialla oleva kolakuljetin siirtää kuorman vastaanottotaskuun, johon voidaan purkaa kuorma myös hyödyntämällä kuorma-auton sivukippiminaisuuksia (kuva 2). Laitteisto on suunniteltu sekä turpeen että biopolttoaineen vastaanottoa varten. Voimalaitokselle toimitetaan haketettua metsätähdehaketta ja -murskettä, kokopuu- tai rankahaketta sekä teollisuuden puutähdettä, eli sahanpurua ja kuorta. Uuden murskaimen myötä myös kokopuu, karsittu ranka ja hakkuutähde voidaan murskata suoraan laitoksella. Murskaimen työelimenä on vaihdettavilla teräspaloilla toteutettu repivä telapari, joka murskaa materiaalin vastaterien avulla.



Kuva 1. Auton peräpurku käynnissä (Valokuva: Orava J.).



Kuva 2. Auton purku sivukipillä (Valokuva: Orava J.).

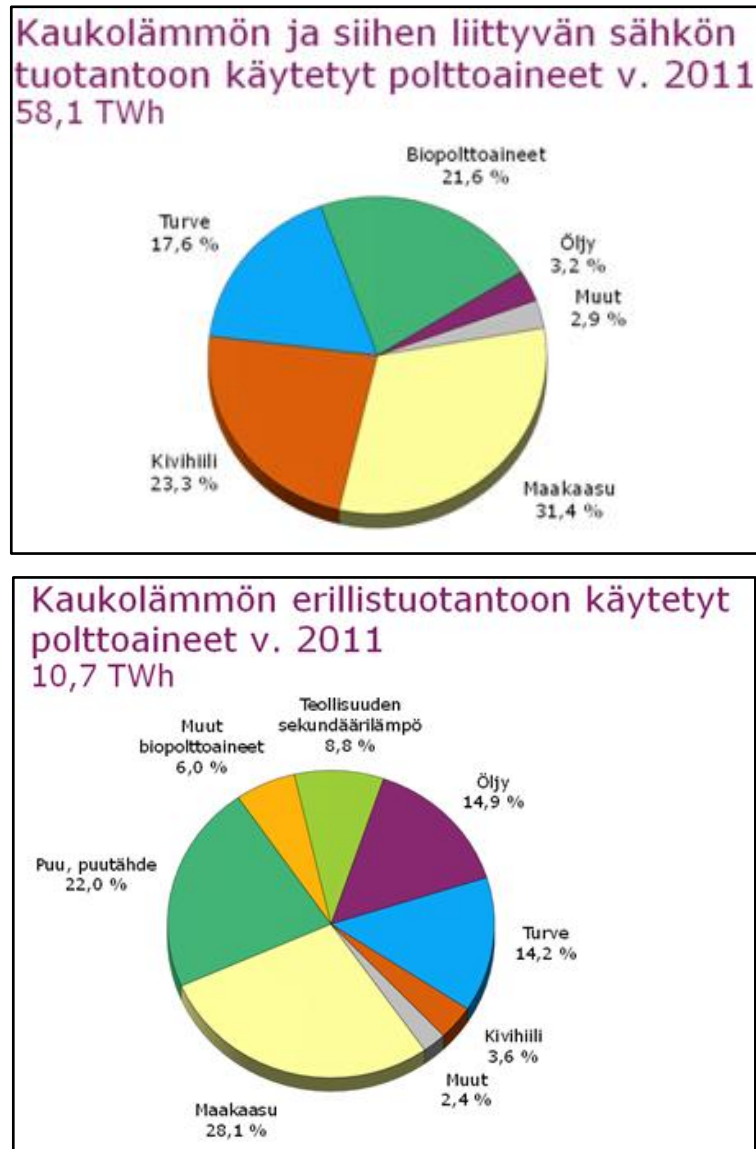
Polttoaineentoimittajille on ilmoitettu voimalaitokselle toimitettavan polttoaineen tavoitearvot (Jyväskylän Energia 2010), joista muun muassa kosteuden tavoitearvo on 50 %. Kokonaiskosteus voi vaihdella eräkohtaisesti enemmänkin, kunhan koko toimituserän keskiarvo on välillä 40 - 55 %. Jos toimituserien määritysrajat ylittyvät, sovitaan ostajan ja myyjän välillä hintakompensatioista.

Jyväskylän Energian (2011) polttoaineiden tavoitearvojen mukaan palakoon on oltava pienempi kuin 50 mm * 50 mm * 80 mm. Enintään 80 % polttoaineesta saa olla pienempää kuin 20 mm * 20 mm * 50 mm. Suurien kappaleiden sallittu sivunpituus on 300 mm, joita saa olla 1 % kuormasta. Määritykset koskevat kaikkea valmiiksi hakettua puuperäistä ainesta. Murskaan tarkoitetut kuormat voivat olla kappalekooltaan suurempia mutta esimerkiksi kantoja ei murskata, mukana mahdollisesti olevan maa-aineksen vuoksi. Toimitettavan bioperäisen polttoaineen on oltava kuivaa ja ns. vihreää (eli tuoretta havua tai lehtipuiden lehtiä) ei saa olla kuormassa lainkaan.

2.3 Biopolttoaine

Metsäntutkimuslaitos (2012) on tilastoissaan jakanut metsäperäiset polttoaineet nestemäisiin, kiinteisiin ja muihin puupolttoaineisiin. Nestemäisellä puupolttoaineella tarkoitetaan selluteollisuuden tuottamia jäteliemiä kuten mustalipeää. Kiinteät puupolttoaineet ovat usein teollisuuden prosessitähteitä, joita käytetään energiantuotantoon lämpö- ja voimalaitoksissa. Haketta, mursketta, kuorta, sahanpurua ja lastua syntyy lähinnä saha- ja selluteollisuudesta, mutta myös suoraan metsistä leikkaamalla tai murskaamalla joko kokopuuta tai hakkuun yhteydessä syntyvää puutähdettä. Myös puun pienkäyttö eli polttopuut luetaan kiinteisiin polttoaineisiin. Puun pienkäyttö kattaa sekä pientalot että liike-, kauppa- ja toimistorakennuksissa poltetun puun. Energiantuotantoon käytetään lisäksi vähäisiä määriä muita metsäteollisuuden sivu- ja jätetuotteita. Nämä voivat olla joko nestemäisiä tai kiinteitä (mm. kierrätyspaperi, mänty- ja koivuöljy, bioliete ja metanoli).

Energiateollisuuden (2011) tilastojen mukaan puupolttoaineet ovat Suomen merkittävin uusiutuva energialähde (kuva 3). Uusiutuvien energialähteiden kokonaiskulutuksesta puun osuus on lähes 80 prosenttia. Energian kokonaiskulutuksesta puun osuus on noin viidesnes, kaukolämmöntuotannossa hieman suurempi.



Kuva 3. Energiantuotannon jako polttoainetyyppeihin (Energiateollisuus 2011).

2.4 Polttoaineiden merkitsevät ominaisuudet

Koska biopolttoaineet ovat luonnontuotteita, niiden ominaisuudet voivat vaihdella paljon. Kiertopetikattilassa ja sen apulaitteissa merkitsevimmät polttoaineen ominaisuudet ovat kosteus, alkuainekoostumus, tuhkan sulamiskäyttäytyminen ja palakoko. Nykyisten säästösten mukaan metsähakkeella tuotettuun sähkөөn voi saada tukea (ns. syöttötariffi). Tuen määrään vaikuttavat suoraan biopolttoaineella tuotetut megawattitunnit (MWh), eli mitattava arvo on polttoaineen lämpöarvo saapumistilassa, jonka suurin muuttuja on kosteus. Polttoaine-erien homogeenisuus on tavoiteltavaa, jotta ajoparametrien käynninaikainen säätö voidaan minimoida. Tuottavuuden suhteen tärkein mitattava suure on kuitenkin polttoaineen kosteus.

Polttoainetoimittajien ja tilaajan välisen sopimuksen mukaan polttoaineesta maksettava hinta perustuu puupolttoaineen energiamäärään, joka ilmoitetaan yksikössä MWh. Energiämäärää laskettaessa muuttuvat arvot ovat kalorimetrinen lämpöarvo, kosteus ja massa.

Täydellisessä palamisessa polttoaineen massasta kehittyneen lämmön määrä ilmaistaan lämpöarvona Q , jonka yksikkö on megajoulea kilogrammaa kohti (MJ/kg). Energiatiheys E (MJ/m³ tai MWh/m³) kertoo lämpöarvon tilavuutta kohti. Teknisesti sanottuna (Alakangas 2000) kalorimetrinen lämpöarvo eli ylempi lämpöarvo tarkoittaa lämpömäärää, joka vapautuu, kun tietty massa polttoainetta poltetaan täydellisesti ja polttoaineen veden sekä palamisessa syntyvän veden höyrystymiseen käytetty höyrystymisenergia vapautuu nesteiden jäähtyttyä takaisin peruslämpötilaan (+25°C). Lämpöarvoa selvitettäessä suurin muuttuja on puupolttoaineen kosteus, jolla tarkoitetaan puussa olevan veden massan ja kuivan puumassan suhdetta. Yksinkertaisin tapa määrittää kosteus on punnitus-kuivatus-punnitus menetelmä.

Kalorimetrinen, eli ylempään, lämpöarvon määrittämiseen käytetään pommikalorimetriä, jossa poltetaan punnittu määrä mitattavaa polttoainetta ylipaineisessa happi-ilmakehässä, veden ympäröimässä tilassa. Kuokkanen ym. (2011) mukaan pommikalorimetrissä paloreaktio tapahtuu suljetussa tilassa, joten kaikki poltossa vapautuva energia siirtyy lämpönä ympäröivään veteen. Lämpöenergian siirtyminen veteen nostaa veden lämpötilaa, jonka muutosta laite mittaa. Kun tiedetään poltettu massa, kalorimetrin lämpökapasiteetti ja lämpenevän veden määrä, voidaan lämpötilan muutoksen avulla laskea veteen siirtynyt, eli poltossa vapautuva lämpömäärä. Tietokoneohjatut pommikalorimetrit tekevät laskutoimitukset automaattisesti, jolloin tuloksena saadaan suoraan lämpöarvo MJ/kg.

Alakankaan (2000) mukaan tehollinen eli alempi lämpöarvo ei sisällä höyrystyneen veden vapautunutta höyrystymisenergiaa. Polton yhteydessä poltettavasta massasta höyrystynyttä vettä ei jäädytetä höyrystä takaisin vedeksi. Tällöin tehollinen lämpöarvo on höyrystymislämmön verran matalampi kuin ylempi lämpöarvo. Tehollinen lämpömäärä on todellisempi kuin kalorimetrinen, koska normaalissa palamisprosessissa vesihöyry poistuu savukaasuisa ja vie siten lämpöenergiaa mukanaan.

Kalorimetrinen ja tehollinen lämpöarvo ilmoitetaan yleensä kuiva-ainetta kohti. Kun ilmoitetaan tehollinen lämpöarvo siinä kosteudessa kuin polttoaine laitokselle saapuu, on käytännössä (Alakangas 2000) kyse toimituskostean polttoaineen lämpöarvosta, ts. kostean

polttoaineen lämpöarvosta. Tämä on luonnollisesti matalin lämpöarvo, koska siinä vähennetään tehollisesta lämpöarvosta polttoainemassan kokonaiskosteuden höyrystämiseen käytettävä energiamäärä.

Polttoaineen kalorimetrinen lämpöarvo Q_{cal} lasketaan lausekkeella

$$Q_{cal} = 0,3382 * C + 1,4428 * \left(H - \frac{O}{8}\right) + 0,0942 * S \quad (1)$$

jossa C, H, O ja S ovat kunkin alkuaineen kuiva-ainepitoisuuksia painoprosenteina polttoaineesta. Lämpöarvon yksikkö on MJ/kg. C, H, O ja S pitoisuudet vaihtelevat puulaadun, kasvupaikan, maaperän ja ilmaston mukaan. Tehollisen lämpöarvon Q_{eff} laskennassa kalorimetrisestä lämpöarvosta vähennetään vety H, joka höyrystyy vesimolekyylissä pois oheisen kaavan mukaan

$$Q_{eff} = Q_{cal} - 0,2196 * H \quad (2)$$

jossa H on polttoaineen vedyn painoprosentti kuiva-aineesta. Kostean polttoaineen tehollinen lämpöarvo Q_{rec} huomioi saapuneen polttoaineen kosteusprosentin oheisen kaavan mukaan

$$Q_{rec} = Q_{eff} * \left(\frac{100-w}{100}\right) - 0,0244 * w \quad (3)$$

jossa w on polttoaineen kosteus painoprosenteina. Alkuaineiden painoprosentit ja veden määrä mitataan laboratoriossa ja polttoaineiden massa saadaan lähtö- ja tulopunnitusten erotuksesta vastaanottoaseman vaa'alta. Lämpöarvojen tarkastelusta voi havaita veden suuren vaikutuksen poltossa saatavaan energiamäärään. Yleensä puun alkuainekoostumus ei kovin paljon vaihtele ja tuhkan osuus on pieni. Tämä tarkoittaa, että pääpaino mittauksissa kohdistetaan kosteuden määrittämiseen.

Suomalaisen puun kuiva-aineen lämpöarvo vaihtelee 18 – 23 MJ/kg välillä (taulukko 1). Lämpöarvot ilmoitetaan usein kuiva-aineessa, mutta laitokselle vastaanotettava polttoaine ei ole kuivaa. Puu on laitokselle saapuessaan ollut kaadettuna puolesta vuodesta jopa kahteen vuoteen, jolloin siinä on vielä kosteutta. Toimituskostean puuhakkeen ja rankapuun lämpöarvo on Jyväskylän Energian laboratorioraporttien (2012b) mukaan vaihdellut jopa 5 – 17 MJ/kg välillä, riippuen toimitettavasta tuotteesta ja sen kosteudesta.

Taulukko 1. Suomessa kasvavien puiden tehollisia lämpöarvoja kuiva-aineessa (MJ/kg) puulajeittain (Nurmi 1993, 2000).

Puulaji	Rungon puuaine	Rungon kuori	Koko runko	Latvus	Lehdet/ neulaset	Kokopuu	Kannot
Mänty (<i>Pinus sylvestris</i>)	19,31	19,53	19,33	20,23	21,00	19,53	22,36
Kuusi (<i>Picea abies</i>)	19,05	18,80	19,02	19,77	19,22	19,29	19,18
Hieskoivu (<i>Betula pubescens</i>)	18,62	22,75	19,19	19,94	19,77	19,30	18,61
Rauduskoivu (<i>Betula pendula</i>)	18,61	22,53	19,15	19,53	19,72	19,21	18,50
Harmaaleppä (<i>Alnus incana</i>)	18,67	21,57	19,00	20,03	20,57	19,18	19,27
Tervaleppä (<i>Alnus incana</i>)	18,89	21,44	19,31	19,37	20,08	19,31	18,91
Haapa (<i>Populus tremula</i>)	18,67	18,57	18,65	18,61	19,18	18,65	18,32

2.5 Hyötysuhde

Kun tiedetään laitokselle tulleen polttoaineen energiasisältö eli kostean polttoaineen tehollinen lämpöarvo ja polttoaineen määrä, voidaan laitoksen hyötysuhde η laskea laitokselta lähtevän energian suhteen

$$\eta = \frac{Q_e + Q_h}{m_f \cdot Q_{eff}} \quad (5)$$

jossa Q_e on sähköteho, Q_h kaukolämmön lämpöteho ja m_f polttoaineen massa. Polttoaineen lämpöarvoon Q_{eff} vaikuttaa suoraan mitattu kosteusprosentti.

Hyötysuhde on tärkeä mittari tarkkailtaessa laitoksen tuottavuutta, joka koostuu myytävien tuotteiden (kaukolämpö, vastapainesähkö ja lauhdesähkö) kannattavista hinnoista. Polttoaineentoimittajien sekä kuljetusyrittäjien ja metsänomistajien kannattavuuteen vaikuttaa eniten puupolttoaineesta maksettava hinta, joka määräytyy polttoaineen energiasisällön eli pääosin kosteuden ja puulaadun perusteella.

2.6 Laboratoriotestit

Kuormista kerätyistä näytteistä koostetut laboratorionäytteet toimitetaan minigrip pusseihin suljettuina kuriiripalvelun avulla puolueettomaan sopimuslaboratorioon, jossa ne ana-

lysoidaan vuorokauden kuluessa. Näyte-erän tunnistetiedon ja vaakajärjestelmän kuormanumeron perusteella voidaan kokoomänäytteet jäljittää autoihin ja sitä kautta polttoaineen toimittajaan.

Kosteuspitoisuus määritetään standardin SFS-EN 14774-2:2011 mukaan punnituskuivatus-punnitus menetelmällä uunissa/lämpökaapissa (105 ± 2 °C). Laboratorioon toimitetusta erästä tarkastellaan standardin mukaan näytettä jonka minimikoko on 300 g. Näyte punnitaan kosteana ja kuivataan vakiopainoon. Kuivausaika vaihtelee 16 ja 24 tunnin välillä riippuen palakoosta. Bionäytteiden palakoot ovat Jyväskylän Energian näytteille likimain vakiot, jolloin kuivausaikakin voidaan pitää samana (20 h). Määrätyn ajan kuluttua näyte punnitaan kuivana ja punnitusten erotus on poistuneen veden massa, joka ilmoitetaan painoprosentteina kokonaismassasta. Usein laboratorionäytettä ei voida toimittaa punnitteeksi heti näytteenoton jälkeen, jolloin kosteutta pääsee lämpötilamuutosten vuoksi haihtumaan pussin sisäpinnalle. Pussia ravistelemalla saadaan myös pussin pinnoille kondensoitunut vesi tarttumaan takaisin näytteeseen.

Punnituksen tuloksia tarkasteltaessa on huomioitava, että käsittelemätön biomassassa sisältää Ålanderin (2011) mukaan myös vaihtelevia määriä haihtuvia yhdisteitä, joita aina haihtuu vähäisiä määriä lämpökaappikuivauksessa. Huomioonotettavaa on myös että kuiva polttoaine ei ole vieläkään absoluuttisen kuiva, vaan vettä on hyvin vähäisiä määriä esimerkiksi solujen sisäisinä vesimolekyyleinä, joiden haihduttaminen ei ole järkevää tässä tapauksessa. Näytteen katsotaan olevan kuiva standardin mukaisen kuivatuksen jälkeen.

Laboratoriosta on yhteys laitoksen polttoainetietojärjestelmään (PAT), jossa kosteusprosentit voidaan ilmoittaa suoraan kuormille, joista näyte-erät on otettu. Kuormien energiasisällöt tiedetään vasta kun näytteistä on pommikalorimetrillä määritetty lämpöarvo. Standardin SFS-EN 14918:2010 mukaan määritetty pommikalorimetrin laskema lämpöarvo voidaan myös lisätä suoraan kuormatietoihin. Kun kuormien massat ovat tiedossa, saadaan laskettua niiden energiasisältö.

Polttoaineessa oleva tuhka on palamatonta ja lämpöä tuottamatonta materiaalia. Tuhkapitoisuuden tavoitearvo on matala, jotta kattilan nuohous ja tuhkan muodostuminen voidaan minimoida. Tuhkapitoisuuteen vaikuttavat kasvuolosuhteet, puulaji ja kuoren sekä havunneulasten ja lehtien määrä. Tuhkapitoisuus määritetään biopolttoaineille standardin SFS-

EN 14775:2010 mukaan polttamalla näyte 550 °C uunissa ja punnitsemalla jäljelle jäänyt palamaton materiaali.

Lisäksi samoista kokoomanäytteistä voidaan mitata hiilen, vedyn ja typen kokonaispitoisuudet standardin EN 15104 mukaan, sekä rikki-pitoisuus muunnetun ASTM D 4239 tai SFS-EN 15289 standardin mukaan. Tutkimus keskittyy tässä tapauksessa vain kosteuden mittaamiseen, koska sen muutosten seuraaminen on yksinkertaisinta kyseisessä tapauksessa.

Laboratoriolaitteilla voidaan saada tuloksia useiden desimaalien tarkkuudella ja näytteet voidaan seuloa jakoseuloilla isoistakin näyte-eristä vastaamaan kokoomanäytteen hajontaa. On kuitenkin muistettava että laboratoriotestien tarkat analyysit ovat harhaanjohtavia, jos laitokselta toimitettu alkuperäinen näyte on virheellisesti otettu. Kokoomanäytteestä tehtävät analyysit kuvaavat kokoomanäytteen arvoja, jolloin näytteen on oltava koko kuormaa edustava. Osakuormien näytteenoton onnistuminen peilaa suoraan laboratorionäytteen tuloksien todenmukaisuuteen.

2.7 Eurooppalainen standardisointiprosessi

Standardisointiprosessista voi olla eri käsityksiä ja eri toimintatavoilla myös eri nimityksiä. Standardin tulisi perustua tieteen, teknologian ja kokemusten yhdistettyihin tuloksiin. SolidStandards (2011) projektin raportin mukaan standardi on lyhyesti sanottuna asiakirja, joka on tarkoitettu yleiseen ja toistuvaan käyttöön ja jota voidaan käyttää määritelmänä, ohjeena tai sääntönä. Standardeja luodaan ja kehitetään tietyn materiaalin, prosessin, tuotteen tai palvelun tarpeisiin. Standardin kehittämisessä ovat yhteistyössä niin tuottajat, käyttäjät kuin valvojat, jolloin varmistetaan että standardi on oikein kohdennettu ja siitä on hyötyä aihepiirin parissa toimiville. Standardia luodessaan osapuolet saavat samalla keskustelufoorumin kyseisen aihepiirin ympärille.

Projektiraportin (SolidStandards 2011) mukaan CEN-organisaatio käsittää Euroopassa 27 jäsenmaata, joiden standardisointielimet johtavat teknisiä työryhmiä, jotka laativat standardit osittain yhdessä. CEN-verkosto tavoittaa yli 590 miljoonaa ihmistä, ja siinä on mukana yli 60 000 teknistä asiantuntijaa teollisuudesta, yhdistyksistä, julkishallinnosta, akatemiosta sekä yhteiskunnallisista organisaatioista. Hyvänä esimerkkinä organisaatioiden panoksesta CEN standardien laatimiseen ja koulutukseen on Suomessa VTT, jonka asiantuntijoita on mukana sekä alustavissa työryhmissä että loppuraporttien koostamisessakin.

2.8 Sertifiointi

Sertifiointipalveluyritys Inspectan (2012) mukaan sertifikaatilla voidaan osoittaa, että yrityksen tuotteet, prosessit, johtamisjärjestelmät ja työntekijöiden osaaminen vastaavat kansainvälisesti, kansallisesti tai paikallisesti määriteltyjä vaatimuksia. Sertifikaatti on myös kolmannen osapuolen antama pätevä todiste, joka osoittaa että yritys toimii laadun, turvallisuuden, kestävän kehityksen tai toiminta- ja toimitusvarmuuden puolesta.

Inspectan (2012) mukaan sertifiointiin kuuluu tavallisesti arviointeja kohteessa, standardoitua testausta ja standardin vaatimia tarkastuksia sekä määräaikaisarviointeja sertifikaatin voimassaoloaikana. Prosessi voi sisältää tarvittaessa myös suunnitelmien etukäteisen katselmointivaiheen. Jyväskylän Energian laatujohtamisjärjestelmä on sertifioitu ISO 9001 -standardin mukaisesti (Jyväskylän Energia, 2012a), joten myös kaupalliseen käyttöön liittyvä näytteenotto on sertifioitava standardin mukaisesti. Tutkimus ja analysointitulokset edesauttavat laitteiston sertifiointia.

2.9 SFS-EN 14778 standardi

Eurooppalainen standardi EN 14778:2011 ”Solid biofuels. Sampling” on vahvistettu suomalaisiksi kansalliseksi standardiksi. Standardi on suomennettu ja Metsäteollisuus ry on vahvistanut sen syyskuussa 2011. Standardi kuvaa menetelmiä kiinteiden biopolttoaineiden näytteenottosuunnitelmien ja näytteiden ottamisen toteutuksista. Standardi sisältää sekä käsin että koneellisesti tehtävät näytteenottomenetelmät.

Standardin viitearvot on saatu BioNorm -hankkeissa tehtyjen näytteenottojen ja määrittämissuunnitelmien perusteella. Arvot ja saadut tulokset ovat siis käytännössä testattuja, mutta kohteena ei ole ollut Suomessa kovinkaan laajasti käytössä olleita energiatuotantoon käytettyjä metsäpolttoaineita kuten kokopuuhaketta ja kantomurskettä tai -haketta. Alakangas ym. ovat artikkelissaan (2006) tarkastelleet eri biopolttoaineiden jakeita kuluttajien ja teollisen tuotannon tarpeisiin. Artikkelissa on esitelty eri puuperäisiä jakeita ja niiden eroja CEN standardien taustalla. Koska EN 14778:2011 standardista puuttuu tyypillisten kotimaisten jakeiden empiirisiä arvoja, on standardista tehty CEN-sovellushanke (Järvinen & Impola 2012), joka on tehty Suomessa Suomen oloihin ja paikallisiin polttoainetyyppeihin. Sovellusohje on tarkoitettu käytettäväksi standardin rinnalla. Tämän hankkeen arvoja käyttämällä saadaan laskettua (kaava 6) muun muassa luotettavassa näytteenotossa tarvittavien näytteiden lukumäärä, joka ei suuresti poikkea Puupolttoaineiden laatuohjeesta (Finnbio 1998).

2.10 Vastaavat laitteet ja vertailutestit

Salosen (2013) mukaan Raumaster on toimittanut mm. Porin prosessivoiman biopoltto-ainelaitokselle vastaavanlaisen automaattisen näytteenottolaitteiston. Porissa vertailutestit tehtiin turpeella ja niihin osallistui myös toimittajan eli Vapon edustaja. Laajojen testien tuloksena oli, etteivät näytteidenottotavat vaikuta kosteusanalyysin eroihin merkittävästi. Automaattista näytteenottolaitteistoa on Porin prosessivoiman biolaitoksella käytetty tuotannollisesti jo muutaman vuoden ajan. Salosen (2013) mukaan muiden valmistajien samaan tehtävään tarkoitettuja laitteistoja on Suomessa sähkö- ja lämpölaitoksilla noin viidestä kymmeneen. Euroopassa ja pienemmän kokoluokan laitoksissa Suomessa käytetään vielä käsinäytteenottoa.

Näytteenottotapojen vertailutestejä on suoritettu monilla eri aloilla, mutta suurteollisuuden kappaletestauksesta ei ole virallisia raportteja juuri julkaistu. Hiiliteollisuudessa Gy (1982) on toiminut uranuurtajana todennäköisyyslaskennan kaavojen johtamisessa ja näytteenoton satunnaistamisessa. Lääke- ja kemianteollisuudessa näytteenoton tärkeyden ja lainvoimaisuuden vuoksi on tutkimuksia ja tuloksia runsaasti saatavilla, mutta voimalaitoskokoluokan laitteistojen testitulokset ovat valmistajien liikesalaisuuksia.

3 NÄYTTEENOTTO

3.1 Näytteenoton periaatteet

Lähes poikkeuksetta laitokselle ostettavat polttoaine-erät toimitetaan kokonsa vuoksi useampana kuormana. Koska polttoainetta saapuu useammalta toimittajalta, on kuormien näytteet eroteltava toisistaan. Standardin SFS-EN 14778:2011 ja toimintaohjeiden mukaan näytteessä on oltava vähintään seuraavat tiedot: yksilöllinen näytekohtainen tunnistenumero, näytteenottopäivämäärä ja – kellonaika, polttoaineen toimittajan nimi ja erän tai osaerän tunnistenumero. Automaattisessa näytteenotossa tiedot säilyvät järjestelmässä ja ne yksilöidään kokoomanäytteeseen sitä noutaessa. Käsinäytteen kohdalla oheiset tiedot tulostuvat jokaisen kuorman saapuessa kuormakohtaiseen tarraan, jotka lisätään kuormista tehtyyn laboratorioon toimitettavaan kokoomanäytepussiin.

Yksi kuorma, eli vetoauton tilavuus + perävaunun tilavuus, joka on hakkeen kohdalla noin 120 m³, edustaa osaerää. Kuormasta otettavan näytteen edustavuuteen voidaan vaikuttaa jo autoja lastatessa ja tällä tavoin osaerien näytteet voivat poiketa toisistaan huomattavastikin. Koska varsinaisen erän tuloksena on osaeristä otetuista yksittäisnäytteistä kootut laboratorionäytteiden tulokset, eivät yksittäiset kuormat poikkeuta tulosta merkittävästi. Kaikissa näytteenotto-, näytteenkäsittely- ja analyysimenetelmissä on virheen mahdollisuus. Virhetä voidaan pienentää hyvällä suunnittelulla ja huolellisella toiminnalla. Parhaiten standardin (SFS-EN 14778:2011) mukainen onnistuneen näytteenoton periaate: ”jokaisella partikkelilla on yhtä suuri mahdollisuus päätyä näytteeseen”, toteutuisi jos koko kuorma laskettaisiin jakosiivilän läpi, niin usein että jäljellä olisi laboratorionäytteen kokoinen määrä. Käytännössä tämä ei ole mahdollista, joten näytteet on otettava kuormasta yksitellen.

Huolimattomuus, piittaamattomuus ja henkilöiden toimintatapojen erot vaikuttavat näytteenottoon ja tätä kautta suoraan analyysinäytteiden tuloksiin. Polttoainekuljettajat ottavat laskutusperusteiset näytteet itsenäisesti ilman jatkuvaa valvontaa. Polttoaineen tilaaja eli maksaja haluaa olla varma että näytteet on oikein otettu ja polttoaineesta maksetaan oikea hinta sen laadun mukaan. Automaattisella laitteistolla voidaan varmistaa näytteen tasalaatuisuus.

Kun näytteitä on otettu riittävän suuri määrä toimitetuista kuormista, voidaan todennäköisyyslaskennan avulla laskea, kuinka hyvin näyte edustaa tarkasteltavaa joukkoa, eli ostettua polttoaine-erää. Jotta edellä mainittu näytteenoton periaate toteutuisi, on järkevää

tehdä näytteenottosuunnitelma jossa varmistetaan näytteen kriteereiden toteutuminen. Standardin (SFS-EN 14778:2011) ehdotus näytteenottosuunnitelmaksi on esitetty liitteessä 1. Täytetty näytteenottosuunnitelma toimii näytteenottotodistuksena.

Jokainen laitokselle tuleva kuorma punnitaan autovaa'alla saavuttaessa ja lähtiessä. Vaaka on voimalaitoksen verkossa ja yhteydessä Metso DNA-informaatiojärjestelmään. Tiedot siirtyvät polttoainetietojärjestelmäsovelluksen eli PAT:in kautta vaakajärjestelmään. PAT:ssa ylläpidetään polttoaineiden analyysitietoja, hallitaan näytteenottoa ja muodostetaan raportteja. Kirjaututtaessa sisään vaa'alla vaakajärjestelmä ilmoittaa polttoainekuljettajalle otetaanko kuormasta käsinäyte vai ottaako automaattinen näytteenottojärjestelmä näytteen. Toimittajat, joille on varattu automaattisen näytteenoton sekoitussäiliö, määritellään polttoainehankinnassa etukäteen kuljetustilauksia tehdessä. Sekoitussäiliöitä on vain seitsemän kappaletta yhdellä vastaanottolinjalla, jolloin niitä ei riitä kaikille toimittajille. Säiliöt on alustavasti varattu suurimmille toimittajille, niitä voidaan kuitenkin tarpeen niin vaatiessa vaihtaa toimittajien ja ostajien yhteisellä sopimuksella. Valmiit polttoaineanalyysit syöttää PAT järjestelmään polttoaineanalyysin tekijä (laboratorio), jolla on pääsy laitoksen tietoverkkoon polttoainejärjestelmän osalta. PAT:iin kerääntyy kuormatiedot ja koottu tieto siirtyy erilliseen sovellukseen, jossa tapahtuu varaston hallinta ja laskutus. Lähtöpunnituksen yhteydessä kuljettaja voi tulostaa vaa'alta punnitustositteen. Tulo- ja lähtöpunnituksen erotuksesta järjestelmä laskee nettopainon kuormalle.

Punnituksen tallennukseen tarvittavat tiedot ovat kuljetusmääräyksen numero, eränumero, toimittaja, kuljetusliike, auton rekisterinumero, tuote, suo/varastopaikka ja auma.

PAT:sta ja vaakajärjestelmästä erillään oleva näytteenottojärjestelmä tarvitsee edellä mainituista järjestelmistä seuraavat tiedot: auton tyyppi (peräpurku, sivukippi, peräkippi, murskalle menevä), purkupaikan numero (linja 5 valmiille hakkeelle, linjat 6 ja 7 murskalle) sekä vaihtoehtoisesti automaattinen tai käsinäyte.

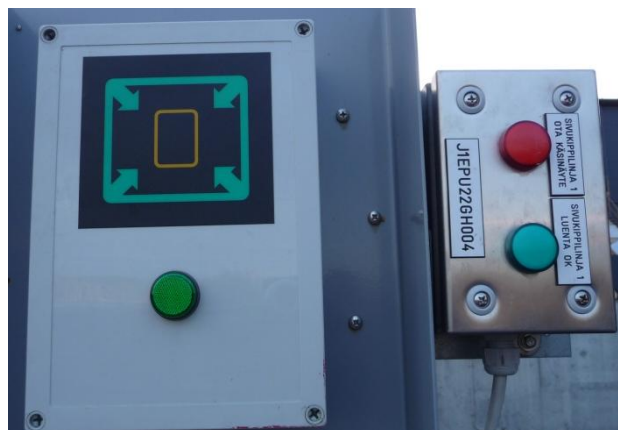
Tiedot täytyy olla syötettynä järjestelmään ennen kuorman saapumista, jotta auton kuitattua sisään vaa'alla, osaa järjestelmä ohjata sen oikealle purkupaikalle. Auton tyyppi vaikuttaa näytteenottoruvien toimintaan, josta lisää jäljempänä. Jos kuormalle on määritetty automaattinen näyte, täytyy toimittajalle ja tämän tuomalle polttoaine-erälle olla varattuna sekoitussäiliö, jotta järjestelmä voi ohjata näytteen oikeaan säiliöön. Jos näytteenottolait-

teistoa huolletaan tai siinä on vika, järjestelmä ohjeistaa kortinlukijan valoilla tulevat kuormat käsinäytteeksi.

3.2 Kuormien purku ja käsinäyte

Linja 5, peräpurku ja sivukippi

Saapuessaan laitosalueelle kuorma-auto ajetaan vaa'alle, jonka viivakoodinlukijaan kuljettaja näyttää auton tunnistekorttia. Kuormasta täytyy olla lähetettynä ennakkotieto järjestelmään, jolloin vaakajärjestelmä esittää kuorman tiedot. Tunnistekortissa on tiedot urakoitsijasta (urakointitilauksen numero), toimituserästä, toimittajasta, tuotteesta (metsähake, teollisuuden sivutuote jne.), auton rekisterinumero ja varastopaikka. Kun kuljettaja on hyväksynyt tiedot tai syöttänyt järjestelmään uudet tiedot, ehdottaa vaaka mille purkupaikalle kuorma puretaan. Kuljettaja voi kuitenkin purkaa kuormansa myös muille kuin ehdotetulle asemalle. Järjestelmä tallentaa tulopunnituksen, jonka jälkeen kuljettaja voi ajaa auton purkupaikalle. Purkupaikan ovella olevaan kortinlukijaan (kuva 4) luettu tunnistekortti ohjaa järjestelmän käynnistyssekvenssiä. Purkuhallin ollessa vapaa, aukeaa nosto-ovi ja kulkemisen salliva liikennevalo muuttuu punaisesta vihreäksi. Jos edellinen purku on kesken, tai automaattisen näytteenoton laboratorionäytteen haku on käynnissä, näyttää oven liikennevalo punaista ja kuljettajan on odotettava vihreää. Kuljettaja voi purkaa kuorman myös muille purkupaikoille, jolloin tunnistekortin luku on tehtävä uudestaan kyseisen purkupaikan ovella. Näytteenotto perustuu viimeisimpään kortinlukuun, jolloin vanhat kortinluvut eivät jää järjestelmän muistiin.



Kuva 4. Kortinlukija vastaanottohallin sisäänajo-ovella. Oikealla olevat valot (vihreä ja punainen) ohjeistavat tarvittaessa käsinäytteenottoon. (Valokuva: Orava J.)

Auto puretaan joko sivukipillä tai peräpurulla vastaanottotaskuun, josta kuljetin siirtää sinne puretun materiaalin eteenpäin. Seulomolla polttoaine-erästä erotetaan metallit ja pala-

kooltaan liian isot kappaleet. Seulasta läpimenemätön polttoaine murskataan jälkimurskalla sopivaan palakokoon ja kuljetetaan seulotun polttoaineen kanssa hihnalla varastosiiloon ja sieltä aikanaan polttoon.

Kuljettajat ottavat purkauksen yhteydessä yksittäiset käsinäytteet näytteenottokauhalla (kuva 5) putoavasta polttoainevirrasta. Käsinäytteenotossa noudatetaan Finnbion (1998) laatuohjetta. Kuljettaja ottaa jokaisesta kuormasta näytteet 1 litran näytekauhalla seuraavasti: jos kuorman koko alle 50 m³ niin otetaan 2 näytettä, kuorman koko 50 – 120 m³- 4 näytettä ja yli 120 m³ kuormista 6 näytettä. Koska autot ovat lähes poikkeuksetta kokonaisia yksiköitä (vetoauto + perävaunu) on kokonaisnäytemäärä noin kuusi kappaletta. Näytteitä otetaan kaksi vetoautosta ja neljä perävaunusta. Kokonaisnäytemääräksi muodostuu noin kuusi litraa. Näytettä ei saa ottaa heti purkauksen alettua eikä aivan kuorman purkauksen loppuvaiheesta. Näytteitä otetaan koko kuorman pituudelta tasavälein, eikä näytettä otettaessa saa suorittaa valikointia.



Kuva 5. Standardin mukainen käsinäytteenottokauha (Valokuva: Orava J.).

Kuormien yksittäisnäytteet kerätään kyseisen toimittajan omaan keräilyastiaan, jonka kansi suljetaan huolellisesti (kuva 6). Purkupaikalla sijaitsevassa valvomossa on tarratulostin johon tulostuu tarra jokaisesta kuormasta, joka tuodaan vaa'an kautta. Kun toimitettavasta erästä on toimitettu kymmenen kuormaa, eli tulostimessa on kymmenen tarraa kyseisestä erästä, tekee polttoainekentän urakoitsija yksittäisnäytteistä kokoomanäytteen. Keräilyastiasta yksittäisnäytteet kaadetaan betonimyllyyn jonka annetaan pyöriä 5 minuuttia sekoituksen varmistamiseksi. Betonimyllystä sekoitettua näytettä kerätään pussiin vähintään 700 g (noin 2 litraa), josta muodostuu kokoomanäyte laboratorioon. Varsinaisessa mittauksessa

näytteen minimikoko on 300 g, jolle täytyy olla varmuuden vuoksi varanäyte. Jokaisesta toimituserästä tehdään vuorokauden vaihtuessa kokoomanäyte, vaikkei kymmentä kuormaa olisi saapunutkaan. Aamulla näytteet toimitetaan laboratorioon.



Kuva 6. Käsinäytteiden keräilyastioita, tilavuus 60 litraa (Valokuva: Orava J.).

Poistuessaan purkauspaikalta kuljettaja kuittaa kuorman purkauksen valmiiksi vetämällä lähtöoven läheisyydessä olevasta narusta, joka aukaisee oven ja ilmoittaa järjestelmälle että kuorma on purettu. Tyhjä auto ajetaan lähtöväälle ja tehdään tunnistus tunnistekortin avulla. Kuljettaja tarkistaa tiedot ja hyväksyy punnituksen, jonka jälkeen kirjataan tai tulostetaan punnitustositte. Vikatilanteissa kuljettaja ottaa yhteyden vastaanoton henkilökuntaan.

Linjat 6 ja 7, murskain

Murskaimelle voidaan tuoda kokopuuta ja risua. Murskausasemalla on kaksi hydraulikalla toimivaa palkkisyöttintä (linja 6 ja linja 7), jotka syöttävät materiaalia murskattavaksi murskan molemmin puolin (kuva 7). Vain toinen palkkisyöttimistä käy vuorollaan, jolloin toiselle palkkisyöttimelle voidaan purkaa seuraavaa kuormaa.



Kuva 7. Murskain ja sitä täyttävät palkkisyöttimet (Valokuva: Orava J.).

Kuljettaja kuittaa murskausaseman kortinlukijaan tuomansa kuorman tiedot ennen purkua. Jos linja on tyhjä, se käynnistyy kortinluvun jälkeen. Jos palkkisyötin on tyhjä, voi kuljettaja purkaa kuorman siihen. Kuorma puretaan palkkisyöttimelle tasaiseksi keoksi. Kuljettajia on ohjeistettu odottamaan kunnes palkki on tyhjä ja toinen palkki on aloittanut syöttöliikkeen. Palkkisyöttimien toimintaa ja murskan täyttöastetta ohjaavat ja säätävät murskaimen sivuilla olevat optiset anturit sekä murskan hydrauliiikan paineanturit. Syöttökaukalon ollessa liian täynnä, syöttöliikettä ei tehdä vaan sekvenssi odottaa pinnan laskua. Jos pinta pysyy alhaisena tietyn aikaa syöttöliikkeestä huolimatta, olettaa järjestelmä että palkkisyötin on tyhjä ja vaihtaa toiselle palkkisyöttimelle, jos sille on purettu kuorma (eli kortti on luettu).

Jos kuormalle on määritetty käsinäyte, kuljettaja tai laitoksen henkilökunta ottaa sen murskan alla olevalla näytteenottoputkella (kuva 8). Putki sijaitsee murskan roottorin alla ja sen tilavuus on n. 10 litraa. Näytteitä otetaan näytteenottoputkella murskauksen aikana useasta kohtaa kuormaa. Kun osanäyte (noin 1 litra) on otettu putkesta, tyhjennetään putki työntämällä se aukosta ja kääntämällä ylösalaisin. 1 litran yksittäisnäytteitä otetaan yhteensä 5 kappaletta eri kohdista kuormaa. Otetun käsinäytteen kanssa toimitaan samoilla tavoin kuin valmiiksi murskattujen kuormien kanssa.



Kuva 8. Murskan alapuolella oleva käsinäyteputki, joka on sisääntyönnettynä suoraan tippuvan polttoainevirran alapuolella (Valokuva: Orava J.).

3.3 Automaattinen näytteenottojärjestelmä

Automaattinen näytteenottojärjestelmä kattaa laitteiston, käyttöjärjestelmän sekä sitä ohjaavat sekvenssit eli automaatiojärjestelmän. Kuvassa 9 on virtauskaavio vastaanottolinjojen 5,6 ja 7 toiminnasta näytteenoton yhteydessä. Luvussa 3.4 on selitetty automaattisen laitteiston toiminta viitaten virtauskaavion numeroituihin laitteisiin. Näytteitä käsittelevien laitteiden lisäksi laitteistoon kuuluvat tyhjennyskuljettimet, joilla ylimääräinen näyte palautetaan polttoaineen sekaan. Virtauskaaviosta on suurempi kuva liitteessä 6.

menevät suoraan sekundäärisekvenssin läpi sekoitussäiliöön, jotta näytteenottolinja vapautuu vastaanottohallin eli linjan 5 mahdollisille näytteille. Purettaessa kuormaa palkkisyöttimelle, on tärkeää että täytetään tyhjänä oleva syötin. Jos kuorma puretaan jo valmiiksi käyvälle syöttimelle, ei palkkisyöttimen vaihtoa pääse tapahtumaan ja näytteetkin menevät tällöin samaan sekoitussäiliöön.

Vastaanottohallin näytteenottoruuvit tyhjentyvät jokaisen kuorman jälkeen, lisäksi ruuvit tyhjentyvät ennen jokaista purkua. Murskaimen alla olevat näytteenottoruuvit pyörivät ulospäin aina murskan käydessä. Tällä tavoin varmistetaan ruuvien puhtaus, jotta näytteeseen ei pääse muita jakeita, tai kuormaan kuulumatonta.

Hihnakuljetin, numerot 7 ja 8



Kuva 10. Päättä suljettu näytehihnakuljetin (Valokuva: Orava J.).

Linjalle 5 on oma hihnakuljettimensa, samoin kuin murskaimelle eli linjoille 6 ja 7. Hihnakuljetin siirtää ruuvinäytteenottimien ottamat primäärinäytteet näytemurskaimeen. Hihna on kumia ja kuljetin on koko matkalta suljettu yläpuolisella vanerilevyllä (kuva 10), ettei näyte-erään pääse kosteutta tai muuta sinne kuulumatonta. Hihnoilla näyte voi jakaantua massan ja partikkelikoon mukaisiin jakeisiin, mutta hihnat pyörivät riittävän pitkään ruuvien jälkeen, jotta kaikki niille siirretty materiaali varmasti päätyy seuraavaan vaiheeseen, jossa ne kuitenkin sekoittuvat.

Näytemurskain, numero 9

Näytemurskain (kuva 11) murskaa näytteet 25 mm palakokoon ja pudottaa näytteet sekoittimeen. Näytemurskain aiheuttaa suurimman poikkeavuuden käsinäytteeseen, koska käsinäytteessä näytettä ei käsitellä mekaanisesti. Murskain ei juuri vaikuta mitattavaan ominaisuuteen, koska sillä pienennetään vain palakokoa. Biopolttoaine voi kuitenkin lämmitä hiukan mekaanisessa käsittelyssä, jonka seurauksena osa siinä olevasta vedestä haihtuu. Käsiteltävä näyte ei jää murskaimeen pyörimään, vaan putoaa suoraan läpi pyörivään sekoitusastiaan. Mahdollisesti haihtunut vesihöyry kondensoituu säilytysastian seinille ja tarttuu takaisin näytteeseen sekoituksen yhteydessä. Varsinaisessa polttoainesiloihin menevässä linjastossa on myös jälkimurskain, joka murskaa liian suuret palakoot haluttuun kokoon.



Kuva 11. Näytemurskain (Valokuva: Orava J.).

Primäärinäytteen sekoitin, numero 10

Näytemurskan alapuolella on sekoitin, jossa näytteet sekoitetaan pyörivillä kumipäisillä lavoilla. Yhden ajoneuvoyhdistelmän näytteet kerätään kerralla sekoittimeen ja sekoitetaan vähintään 60 sekuntia. Peräpurkuautojen kohdalla kuorman näytteet odottavat sekoittimes-
sa sen käydessä, kunnes kuljettaja kuittaa purun valmiiksi. Murskan ja sivukippiautojen kohdalla sekoitin pyörii määritellyn 60 sekuntia, jonka jälkeen pneumaattiset pohjaluukut aukeavat ja sekoittimen sisältö putoaa alle siirtyneeseen näytteenottokauhaan. Ylimääräinen näyte putoaa suoraan alla olevalle tyhjennyskuljettimelle.

Tämä primäärinäytteenottosekvenssi (kuvassa 9 numerot 1-11) on myös mahdollista käynnistää vastaanottorakennuksen operointinäytöltä, mikäli edeltävä sekvenssi on pysähtynyt häiriön tai muun syyn takia. Primäärinäytteenottosekvenssin valmistuminen vapauttaa näytteenottojärjestelmän vastaanottamaan lisää kuormia polttoaineen vastaanoton kautta. Sekundäärinäytteenottosekvenssi käsittää toiminnot sekoittimesta eteenpäin.

Näytteenottokauha, numero 11

Järjestelmä ei avaa sekoittimen pohjaa ennen kuin pneumaattisesti ohjattu tilavuudeltaan 3 litran kokoinen näytteenottokauha on saavuttanut rajakytkimen sekoittimen alla. Ulkona ollessaan näytteenottokauha on suoraan sekoittimesta putoavan materiaalivirran alla jolloin siihen päätyy kyseisen kuorman eli osaerän näyte. Tämän jälkeen näytteenottokauha ohjataan sekoitinsäiliöyksikön yläpuolelle, jolloin noin 3 litran sekundäärinäyte putoaa alla olevaan ennalta valittuun sekoitinsäiliöön. Kauhan tyhjenemisen varmistaa pneumaattinen työnnin, joka tekee edestakaisen työliikkeen kauhan reiässä.

Liikkuva sekoitussäiliöyksikkö, numero 12

Sekoitussäiliöyksikkö sisältää seitsemän sekoitinsäiliötä (kuva 12). Jokainen säiliö on varattu tietylle tuotteelle ja usein myös tietylle polttoaineentoimittajalle. Oikea sekoitin siirtyy näytteenottokauhan kohdalle kuorman tunnistetietojen mukaan. Sekoittimeen mahtuu noin 40 kappaletta sekundäärinäytteitä. Sekoitinsäiliöyksikkö siirtyy optisen sijaintitiedon avulla näytteenottokauhan alle, jolloin näyte tippuu avonaisen yläosan läpi haluttuun sekoitinsäiliöön. Tämän jälkeen yksikkö ajetaan takaisin kotiasemaan, jolloin yksikön yläpuolella oleva hihna peittää täyttöaukot (kuva 13) pitäen näytteet suojattuna.



Kuva 12. Sekoitinsäiliöyksikkö, jossa omat sekoitusmoottorit joka säiliölle (Valokuva: Orava J.).



Kuva 13. Sekoitinsäiliöyksikön aukot peittävä hihna raotettuna (Valokuva: Orava J.).

Kun näytesäiliöstä haetaan laboratorioon vietävä näyte, (yleensä puolenyön maissa, jolloin linjalla on vähiten liikennettä/purkuja) syötetään sekoitinsäiliöyksikön ohjauspaneeliin tyhjennettävä säiliö sekä näyteenumeroinen tunnistus. Yksikkö siirtyy omalla moottorillaan oikealle kohdalle, samalla kuin tyhjennettävä sekoitin pyörii varmistaen näytteiden sekoituksen. Käyttäjä asettaa 3 litran astian näyteastialle varattuun pidikkeeseen ja sulkee oven, jonka jälkeen pohjaluukku aukeaa, jolloin näyteastian jää osa näytteestä (kuva 14) ja ylimääräinen osa putoaa alapuolella olevaan tyhjennysruuvikuljettimeen. Jos näytteitä on sekoittimessa vähäinen määrä (<10), voidaan ämpärin sijasta käyttää pidikkeessä laatikkoa (kuva 14), joka kaappaa paremmin putoavan näytteen. Laatikosta kokoomanäyte voidaan kaataa joko pussiin tai astiaan, riippuen siitä kummalla tavalla näyte toimitetaan laboratorioon. Kokoomanäyte voidaan toimittaa laboratorioon joko suoraan muoviasiassa tai samanlaisessa pussissa kuin käsinäyte.



Kuva 14. Kokoomanäyte kerätään joko muoviasiaan tai laatikkoon (oikealla) (Valokuva: Orava J.).

Tyhjennyskuljettimet

Ruuvikuljetin siirtää sekoitussäiliöyksikön sekoittimelta putoavan ylimääräisen materiaalin palautuskolakuljettimelle. Palautuskolakuljetin kerää primääri- ja sekundäri näytteenotosta sekä sekoitussäiliöyksiköstä jäävän ylimääräisen materiaalin viimeiselle ruuvikuljettimelle. Ruuvikuljetin palauttaa kolakuljettimella siirretyn materiaalin takaisin polttoainelinjaan, josta se päätyy kattilan normaaliksi polttoaineeksi.

Mikäli edellä mainittujen laitteiden ohjauksessa ei saavuteta määritettyjä rajoja seuraavien askeleiden suorittamiseksi valvonta-ajan kuluessa, sekvenssi toistaa ohjauksen. Jos liike ei toteudu kolmannellakaan yrityksellä, seuraa häiriö, josta tulee myös hälytys DCS-ohjelmaan. Jos automaattinen näytteenotto ei toimi, voidaan kaikki tulevat toimitukset ohjata käsinäytteenottoon polttoainekentän valvomosta käsin. Tällöin hallin sisäänkirjauslaite (kuva 4) opastaa kuskit käsinäytteenottoon.

3.5 Todennäköisyyslaskenta

Numeeristen arvojen avulla tehtävä päätöksenteko perustuu todennäköisyyslaskentaan. Tiedon käsittelyyn ja virheiden minimoimiseen on useita työkaluja joita käytetään todennäköisyyslaskennassa. Tilastotieteen kannalta erittäin tärkeitä ovat todennäköisyysjakaumat, jotka toimivat empiiristen jakaumien malleina. Maurasen (2012) mukaan todennäköisyyslaskenta perustuu satunnaisilmiöihin ja siihen liittyy aina satunnaisuutta sekä otannan että mittauksen kautta. Satunnaiskoe on koe, jonka tulosta ei etukäteen tiedetä, mutta koetta toistettaessa tulokset käyttäytyvät säännönmukaisesti. Todennäköisyyslaskennan

avulla pyritään hallitsemaan tätä säännönmukaisuutta. Kyse ei ole eksaktin totuuden keromisestä vaan todennäköisten tapahtumien ja lukujen toteamisesta.

Tässä työssä tilastotieteen avulla määritetään koko populaation, eli toimitettavan polttoaine-erän, jakaumaa kuvaavat parametrit. Lisäksi selvitetään ovatko eri otokset, eli laboratorionäytteet, peräisin samanlaisista populaatioista ja verrataan niistä mitattuja jakaumia.

Näytteenoton tarkkuus

Lopulliset näytteenottotarkkuudet on sovittava asianosaisten kesken, mutta parametreja arvioitaessa voidaan oletuksena käyttää standardin SFS-EN 14778 liitteen D arvoja. Puuhakkeen kokonaiskosteuden tarkkuus (P_L) 1,00 p-%, yksittäisnäytteen varianssi (V_I) 12,5 p-%² ja esikäsittelyn ja analysoinnin varianssi (V_{PT}) 0,059 p-%². Oheisilla arvioilla voidaan laskea yksittäisnäytteiden minimilukumäärä n_{min} ,

$$n_{min} = \frac{4V_I}{N_{SL} * P_L^2 - 4V_{PT}} \quad (6)$$

jossa N_{SL} on osaerien määrä, joista yksi kokoomanäyte koostuu. Osaeriä ovat polttoainekuormat, jotka tulevat samalta toimittajalta ja joiden näytteistä tehdään kokoomanäyte laboratorioon. Esimerkin arvoilla ja esimerkiksi yhdeksän osaerän (kuorman) mukaan lasketuna saadaan osaerästä otettavien yksittäisnäytteiden minimilukumääräksi 6 kpl (5,71).

Polttoaineen kosteuden oletetaan noudattavan normaalijakauma, jossa satunnaismuuttujana on X (kosteus- %). Normaalijakauman määräävinä parametreina ovat jakauman odotusarvo μ ja jakauman varianssi σ^2 . Tällöin perusjoukosta otettu satunnaisotos noudattaa normaalijakaumaa $N(\mu, \sigma^2)$. Tutkimuksen kohteena on käsinäytteenoton ja automaattisen näytteenoton kosteusmittausten tulosten yhteneväisyys, jolloin satunnaismuuttuja X on havaintoaineiston eli polttoainekuormien kosteuden otoskeskiarvo \bar{y} . Otoskeskiarvo voidaan laskea oheisen kaavan x mukaan

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \quad (7)$$

jossa ei lasketa koko tutkittavan materiaalin keskiarvoa, vaan otosten, eli yksittäisnäytteiden kosteuden keskimääräinen arvo. Keskiarvo tarkentuu sitä mukaa kun otosten määrä kasvaa, mutta on muistettava että tilastollinen tulos ei ole koskaan ehdottoman varma.

Mittausarvojen vaihtelua eli hajontaa kuvaa otoksen keskihajonta s joka voidaan laskea oheisella kaavalla

$$s = \sqrt{S^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1}} \quad (8)$$

jossa s^2 on otosvarianssi ja \bar{y} on joukon otoskeskiarvo. Tämä laskutapa edellyttää että otosten keskiarvo on tiedossa, johon mitattuja arvoja y_1, y_2, \dots, y_n verrataan. Keskihajonta on nolla, jos tulokset ovat täsmälleen samat, mittaustulosten vaihtelu taas kasvattaa keskihajontaa.

Keskiarvon luotettavuudesta kertoo keskiarvon keskivirhe SE (Standard Error). Jos kuorman koko on merkittävästi suurempi kuin näytteiden koko, voidaan keskiarvon keskivirhe laskea

$$SE = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (9)$$

jossa s on otoksen keskihajonnan estimaatti ja n otosten lukumäärä. Kun tiedetään kuorman koko N , voidaan käyttää korjauskertoimen sisältävää keskiarvon keskivirheen kaavaa,

$$SE = \frac{s}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{N-n}{N}} \quad (10)$$

jolloin virhemarginaali pienenee ja luottamusväli kaventuu. Tätä äärellisen joukon korjausta tulee käyttää kun otoskoko n , on suurehko joukon N (kuorman) kokoon nähden ($n \gg N/100$). Keskiarvon keskivirhe kertoo keskiarvon tarkkuudesta ja huomioi mitatun ilmiön luontaisen vaihtelun sekä suoritettujen tutkimusten otoskoon. Sekä keskiarvon keskivirhe että luottamusväli pienenevät otosten määrää kasvatettaessa.

Keskiarvon luottamusväli (standardissa luottamustaso) CI (confidence interval of the mean) kertoo keskiarvon tarkkuudesta. Normaalijakautuneen y :n tapauksessa keskiarvon luottamusväli lasketaan oheisen kaavan mukaan,

$$\bar{y} \pm t_{\frac{\alpha}{2}}(n-1) * \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (11)$$

jossa α on hyväksytty riskitaso, n mitattujen arvojen lukumäärä ja s keskihajonnan estimaatti. Jos halutaan esimerkiksi 95% luottamusväli on $\alpha = 0,05$, jolloin kerroin $t_{0,025}(n-1) \approx 2$ jos $n > 30$. Kerroin saadaan Studentin t-jakaumasta (liite 2).

Otoskoon laskeminen

Havaintojen eli mittausten lukumäärä on oleellinen kysymys kokeen suunnittelussa. Otoskoon määrittämiseen vaikuttavat haluttu mittaustarkkuus ja käytettävissä oleva työpanos, (eli aika, raha ja henkilöt) sekä tietenkin saatavilla oleva mittaustiedot. Gy:n (1982) mukaan näytekokoon riippuu tutkittavan materiaaliaineen koosta. Gy:n laajasti käytetyt teoriat pohjautuvat lähinnä mineraaliainesten kuten hiilen tutkimiseen, mutta näytteenoton periaatteina ne soveltuvat myös puutavaran hajontojen laskemiseen. Lensu (2010) on listannut otoskoon optimoinnin edellytykset:

- 1) tutkittavan populaation tulee olla jakaumaltaan likimain normaali,
- 2) haluttu merkitsevyystaso, α , on kiinnitettävä ennen optimointia,
- 3) on etukäteen päätettävä, minkä suuruinen ero vertailtavien keskiarvojen välillä halutaan pystyä havaitsemaan, eli minkälaista eroa pidetään tutkimuksen kannalta merkittävänä. Tätä kutsutaan vaikutuseroksi (effect size) δ ,
- 4) lisäksi on määritettävä varmuustaso, jolla testin halutaan havaitsevan vähintään δ :n kokeen poikkeaman. Tämä varmuus esitetään todennäköisyytenä $1 - \beta$,
- 5) populaation keskihajonnan suuruus (s) tulee tuntea (likimain).

Tällöin otoskoko voidaan arvioida kaavan 12 mukaan,

$$n = \left(\frac{s}{\delta}\right)^2 \left(z_{1-\alpha/2} + z_{1-\beta}\right)^2 \quad (12)$$

missä z_p on standardoidun normaalijakauman $N(0,1)$ p -kvantiili. Kvantiilien arviointiin on käytetty normaalijakauman kertymäfunktioita, jonka arvoja on taulukoitu valmiiksi liitteen 2 taulukossa. Lensun listauksen (1-5) ehtoihin on kyseisen tutkimuksen osalta vastaus alla:

- 1) Otos on aiempien kokemusten ja pitkäaikaisen seurannan myötä varmistunut normaalijakautuneeksi.
- 2) Merkitsevyystaso α on 0,05.
- 3) Vaikutusero δ on 2 prosenttiyksikköä, eli lukuarvona 2.
- 4) Testin voimakkuus, eli todennäköisyys havaita vaikutuseron suuruinen ero otoksien välillä, on 98 %.
- 5) Keskihajonta s saadaan aikaisemmista laboratorioskokeiden (Jyväskylän Energia 2012b) tuloksista ja se on likimain 7.

Oheisilla arvoilla $\alpha = 0,05$, $\delta = 2$, $1 - \beta = 0,98$, $s = 7$, $z_{0,975} = 1,95$ ja $z_{0,98} = 2,05$ saadaan kaavasta 12 tulokseksi 28,25. Tällöin haluttujen mittaustarkkuuksien saavuttaminen edellyttää kyseisessä tapauksessa vähintään 29 otoksen testiä.

Satunnaistaminen

Kokeen satunnaistaminen estää Lensun (2010) mukaan systemaattisten virheiden muodostumisen sekä tunnetuista että tuntemattomista vaihtelun lähteistä. Satunnaistamisen keinoja ovat esimerkiksi näytteenottoaikan vaihdot ja kuorman erilaiset lastaustavat. Näytteenotossa satunnaistamisen toteutus on vaikeaa, koska näytteet otetaan putoavasta polttoainevirrasta joka ei ole kovin pitkä hetki. Käytännössä rekkojen purkunopeuden vaihtelu luo näytteenoton sekvensseille vaihtelua, mutta ruuvien fyysistä sijaintia ei voi vaihtaa nykyisellä toteutuksella. Peräpurun näytteenottosekvenssit on ohjelmoitu niin, ettei näytteenottoa aloiteta purkauksen lopussa eikä alussa, vaan näytteet otetaan kuorman keskeltä. Sivukupissa puolestaan koko lasti kaadetaan nimensä mukaisesti kippaamalla vastaanotto-taskuun ja ruuveille jää niille osuva materiaali. Murskan alla olevat ruuvit käyvät murskan mukaan ja niiden otanta on riittävän satunnaista. Murskan palkkisyöttimille lastattu materiaali saattaa olla jaoteltu epätasaisesti ja tätä myötä näytteenottosekvenssit olisi asetettava polttoainelajin mukaan. Sekvenssien sekuntimääreet ovat muunneltavissa, jolloin eri polttoaineille ja linjanopeuksille voi muuttaa eri taukoajat.

Systemaattinen virhe

Lensun (2010) mukaan mittausvirheet voidaan jakaa systemaattiseen osaan eli harhaan (bias) ja satunnaiseen osaan eli hajontaan (variance). Kokeellisessa mittauksessa on oltava referenssimittaustulos johon tarkkailtavia mittaustuloksia verrataan. Tässä tapauksessa referenssimittaustulos on käsinäytteenoton tulos. Vasta riittävän useiden mittausten jälkeen havaittu mahdollinen systemaattinen harha voidaan korjata. Saatuja mittaustuloksia, x , korjataan poistamalla niistä laskettu harha oheisen kaavan mukaan,

$$x' = x - bias \quad (13)$$

jossa x on mitattu tulos, x' korjattu tulos ja $bias$ on laskemalla todettu systemaattinen harha. Mahdollisia systemaattisia virheitä kyseisessä tutkimuksessa ovat mittauksesta johtuvat tai näytteenottotavasta johtuvat virheet.

3.6 FAT testit

Laitetekonaisuuden käyttöönotossa tärkeä rooli on etukäteisellä testauksella. Factory Acceptance Test eli FAT testi suoritetaan suurien järjestelmien käyttöönoton valmistelussa.

Laitetoimittaja ja tilaaja toimittavat laitekuvaukset ja toimintalogiikat ohjelmistosuunnittelijalle, joka tekee alustavan automaatiojärjestelmän käyttöjärjestelmän. FAT testissä tarkistetaan logiikan toiveidenmukaisuus ja tutkitaan mahdollisia ohjelmiston ja toimintakuvauksen kehityskohteita. Usein paikalla on laitoksen käyttöhenkilökuntaa ja prosessinhoitajia, jotka tekevät ehdotuksia käyttöympäristön toimivuuden muokkaamiseksi.

Kyseisessä tapauksessa FAT testeihin mennessä käyttöjärjestelmän näytöt oli rakennettu valmiiksi ja sekvenssejä voitiin testata erillisellä seurantatyökalulla. Koko linjojen toiminta näytteenottoa myöten testattiin ja mahdolliset muutokset ja toiveet kirjattiin ylös. FAT testeihin mennessä laitetoimittaja oli koonnut toimintakuvauksen, jossa järjestelmän toiminta kuvattiin seikkaperäisesti. Jos muokkauksia järjestelmään tulee, ne päivitetään myös toimintakuvaukseen, josta julkaistaan uusi versio.

3.7 Laitteiston käyttöönototestit

Asennuksen ja koepöytätestien jälkeen testataan laitteiden toiminta. Kun prosessinhallinta on varmistettu ja testattu, aloitetaan koekäyttö. Aluksi laitteita käytetään yksitellen ja testataan tärkeitä ominaisuuksia kuten hätä-seis piirit ja pyörimissuunnat. Kun yksittäisten laitteiden toiminnasta on varmistuttu, ohjataan laitteita prosessin mukaan, eli vastaanottolinjat käynnistetään ryhmänä. Näytteenottolaitteiden oikeat sekvenssit testataan ja linjoja ajetaan tyhjänä. Kun linjaston todetaan toimivan kuten toimintakuvauksessa mainitaan, otetaan linjalle polttoainetta ja testataan linja kuorman kanssa. Kun yksittäiset laitteet ja laiteryhmittä toimivat, aloitetaan koeajot, joissa polttoaineen vastaanottoasemaa käytetään normaaliin tuotantoon sovittu aika. Kyseisessä tapauksessa aika oli 28 vuorokautta. Kun laitteet ovat toimineet tietyn aikaa tilaajan toivomalla tavalla ilman ongelmia, voidaan katsoa että laitteet ovat määritysten mukaiset ja tilaus voidaan vastaanottaa. Jos laitteiston toimintoihin täytyy tehdä muutoksia, päivitetään ne myös toimintakuvaukseen, josta käyttäjät voivat varmistaa oikeat sekvenssit ja toimintojen rajaehdot.

Koekäytön yhteydessä speksien mukaisella polttoaineella toimiessa testataan automaattiset näytteenottolaitteet. Kuorman tullessa polttoainelinjan valvoja ottaa kuormasta käsinäytteet ohjeiden mukaan. Samalla automaattinen näytteenotto ottaa näytteet asetettujen sekvenssien mukaan. Näistä osakuormien näytteistä tehdään kokoomanäytteet jotka toimitetaan laboratorioon. Laboratorio analysoi näytteet ja antaa tulokset kustakin näytteestä erikseen, jolloin voidaan verrata käsin ja koneellisesti otettuja näytteitä.

Laitteiston käyttöönoton osalta ongelmia aiheutti näytteenottosäiliöiden vähäinen määrä suhteessa polttoainetoimittajiin. Eri polttoaineentoimittajia ja tätä myötä eri laatuja on noin 20 kappaletta ja säiliöitä vain 7 kappaletta, joten säiliöt on tällä hetkellä jaettu suurimpien erien toimittajille. Niin sanotulla turveasemalla on kaksi vastaanottolinjaa ja molemmissa 7 säiliötä, joten tulevaisuudessa turpeen käytön mahdollisesti vähentyessä, voidaan myös puupolttoaineita purkaa näiden linjojen kautta ja käyttää yhtä lailla automaattista näytteenottolaitteistoa.

4 AINEISTO JA MENETELMÄT

Mitattavat polttoainelajikkeet ovat runkopuuhake, metsätähdehake, murskattava karsittu ranka ja murskattava metsätähde. Runkopuuhake on karsitusta runkopuusta haketettua valmista haketta, joka toimitetaan joko suoraan erilliseltä murskalta tai varastokasasta. Metsätähdehake on puusta karsittujen oksien, latvojen ja kuoriaineksen sekoitus, joka on valmiiksi haketettu. Karsittu ranka on runkopuuta, joka on karsittu ja pätikitty suoraan metsässä. Karsittu ranka on useimmiten mäntyä ja lehtipuuta, mutta seassa on kaikkia Suomen puulajeja. Metsätähde toimitetaan tienvarsien varastokasoista suoraan murskaan ja se sisältää oksia, latvoja ja vaurioitunutta tai vääränkokoista ainespuuta.

Tavoitteena oli suorittaa polttoainekuormista sekvenssien mukainen automaattinen näytteenotto ja tämän rinnalla samoista kuormista käsinäytteenotto. Päivittäin hakekuormia saapui 6-12 autollista, metsätähteitä ja rankakuormia hieman vähemmän. Käsinäytteet otettiin murskan alta ohjeiden mukaisesti ja peräpurku- sekä sivukippiautoista yhtä lailla ohjeiden mukaisesti. Sekvenssin mukaiset automaattinäytteet tyhjennettiin sekoitussäiliöstä samaan aikaan kuin käsinäytteistä tehtiin kokoomanäytteet.

Lähes poikkeuksetta vertailunäytteet kerättiin päiväsaikaan saapuneista kuormista, jotta seuranta voitiin suorittaa normaalin työajan puitteissa. Mitattava näyte on laboratorion (Herranen 2012) vaatimusten mukaan oltava vähintään 300 g. Testaussuunnitelma luotiin yhteistyössä voimalaitoksen polttoainehankinnan kanssa ja se löytyy liitteestä 3.

Aluksi tutkittavat näytteet lähetettiin normaalien kokoomanäytteiden mukana puolueettomaan sopimuslaboratorioon (ENAS Oy) standardin SFS-EN 14774:2011 mukaiseen punnitus-kuivatus-punnitus mittaukseen. Samalla tehtiin vertailutestejä laitoksen omalla standardin mukaisella lämpökaapilla (memmert, ULE 600) (kuva 15) ja tarkkuusvaa'alla (sartorius ED3202S-CW). Kun voitiin varmistua laboratorion ja itse tehtyjen mittausten yhtäläisyydestä, jatkettiin testejä kustannussyistä laitoksen omalla laitteistolla. Tulokset on taulukoitu liitteessä 4.



Kuva 15. Lämpökaappi, jossa näytteet kuivattiin (Valokuva: Orava J.).

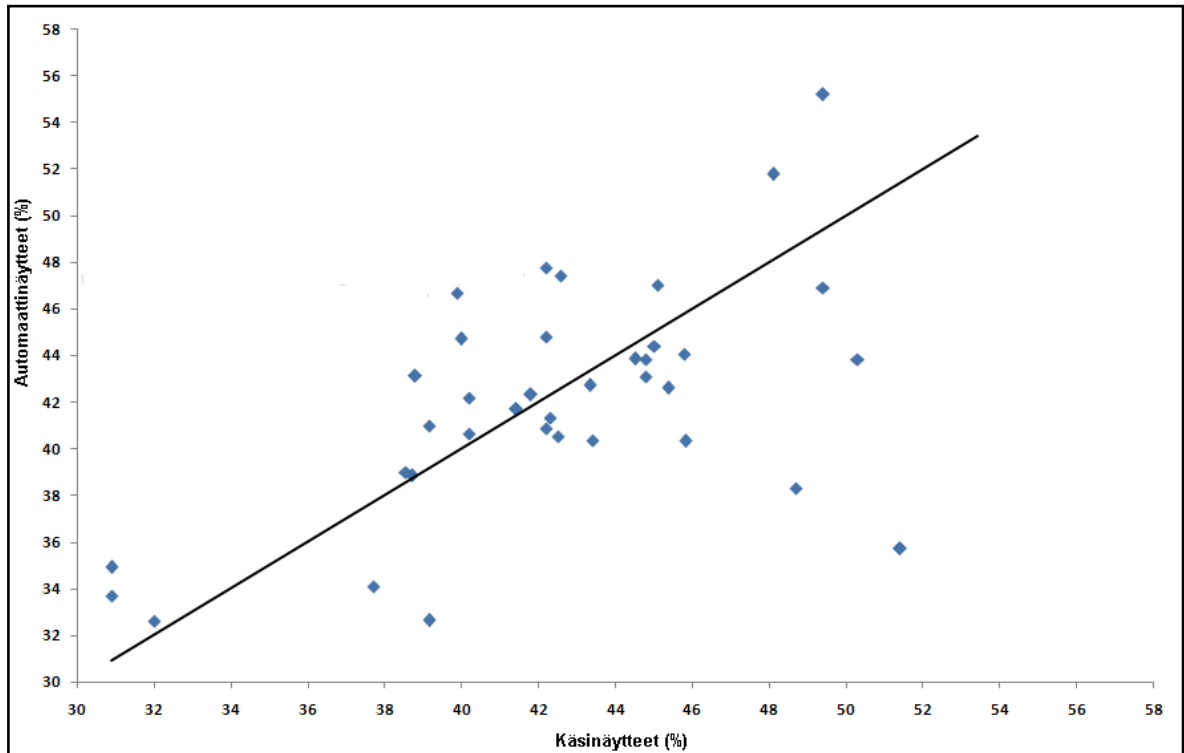
Näytteiden hajontaa ja keskiarvoja verrattiin toisiinsa SPSS ohjelmiston avulla. SPSS on tilastotieteellinen analysointiohjelmisto, jota käytetään apuna numeeristen arvojen laskennassa. Vertailuun käytettiin parittaisten otosten t-testiä, jolla tutkitaan muun muassa käsittelyn vaikutusta koeryhmään. T-testillä tutkitaan merkitsevyystasoa eli p-arvoa, jonka avulla tiedetään onko kahden tutkittavan ryhmän välillä tilastollisesti merkitsevää eroa. Lensun (2010) mukaan rajana käytetään usein arvoa 0,05 jota suurempi p-arvon on oltava, jotta aineistoilla ei ole tilastollisesti merkitsevää eroa. Mitä pienempi p-arvo on sitä todennäköisemmin näytteiden erotusten ero on merkitsevä. Kyseisessä tapauksessa käsinäytteen ero automaattinäytteeseen (liite 4, Erotus prosenttiyksikköä) muodosti ryhmän, jonka otoskeskiarvoa verrattiin nollaan. Luottamusväliksi asetettiin 95 %. Nollahypoteesi on, etteivät näytteet eroa toisistaan tilastollisesti merkitsevästi. Tilastollisesti nollahypoteesi toteutuu jos analysointiohjelmisto antaa suuremman p-arvon kuin 0,05.

Tilastollisen tutkimuksen lisäksi laitteiston käytettävyyttä ja toimintavarmuutta tutkittiin kenttäkokeilla eli laitteen päivittäisellä käytöllä. Laitteiston normaali sujuva käyttö ja luottamus tulosten oikeellisuuteen ovat numeeristen arvojen lisäksi tärkeä osa koko laitteiston käyttöönottoa. Yhteensä näytteitä otettiin testijakson aikaan noin 300 kuormasta.

5 TULOKSET

5.1 Mittausdata

Analyysiin osallistuneita vertailunäytteitä otettiin toukokuussa ja marraskuussa 2012 yhteensä 35 paria (liite 4). Kuvassa 16 on havainnollistettu käsi- ja automaattinäytteiden eroja.



Kuva 16. Automaattinäytteiden kosteuksien lineaarinen riippuvuus käsinäytteiden kosteudesta.

Tutkimukseen kelpaavia näytteitä ei saatu joka päivältä ja joka kuormasta. Käsinäytteitä ei otettu ohjeiden mukaan joka kuormasta, tai ne otettiin väärästä kohdasta, tällöin päivän kokoomanäytteet eivät olleet täysin vertailukelpoisia keskenään. SPSS ohjelma jätti laskelmien ulkopuolelle kaksi mittaustulosta niiden eriäväisyyden vuoksi. Näissä vertailunäytteissä ero oli niin huomattava että niiden katsotaan olevan väärin mitattu tai kyseessä on voinut olla jopa kirjoitusvirhe. Tietenkin pientä hajontaa sekä näytteiden otossa että analysointituloksissa esiintyy, mutta jos tulos selkeästi poikkeaa kokonaishajonnasta, voidaan se jättää pois vertailusta.

5.2 Analyysitulokset

Tilastollisessa analyysissä päiväkohtaisten käsinäytteiden kosteusprosentista vähennettiin samojen kuormien automaattinäytteiden kosteusprosentit. Erotuksia analysoitiin SPSS oh-

jelman avulla ja tulokset on taulukoitu kokonaisuudessaan liitteessä 5. Parivertailussa tulosten erojen korrelaatio oli lähellä yhtä (0,775), joten tulokset eivät poikkea toisistaan merkittävästi. Näytteiden erotusten keskiarvo oli -0,22, eli automaattinäytteet olivat hieman käsinäytteitä kosteampia. Nollahypoteesin kannalta tärkein eli parittaisen t-testin p-arvo oli 0,70. Keskiarvo oli molemmilla joukoilla hieman yli 42 %.

6 TULOSTEN TARKASTELU

6.1 Vertailuanalyysi

Kuvasta 16 voi havaita että kosteusprosentin vaihtelu on paikoin suurta ja korrelaatio näytteen välillä on melko heikko. Yksittäisten käsinäytteiden vastaavuutta samojen automaattinäytteiden kanssa oli vaikea saavuttaa suuren kuormakohtaisen hajonnan vuoksi. Keskiarvo on molemmilla joukoilla hieman yli 42 %, joka vastaa hyvin Jyväskylän Energian (2012b) puuperäisten polttoaineiden vuosittaista keskiarvoa. Parittaisen t-testin p-arvon (0,70) perusteella nollahypoteesia ei hylätä, koska raja-arvo 0,05 ylittyy selkeästi. P-arvon perusteella voidaan sanoa, etteivät automaattisen laitteiston näytteet eroa pitkällä aikavälillä tilastollisesti merkitsevästi käsinäytteistä, jolloin nollahypoteesi toteutuu. Myöskään systemaattisesta virheestä johtuvaa harhaa ei ole kyseisillä näytemäärillä havaittavissa, joten korjauskaavaa (13) ei tarvitse käyttää. Mahdollista eroa aiheuttavat vaiheet näytteiden säilytyksessä tai näytemurskan lämmitysefekti eivät näin ollen vaikuta kosteusprosenttiin merkittävästi.

Lensu (2010) on opetusmateriaalissaan maininnut hyvän kokeen edellytykset, jotka toimivat myös kyseisen tutkimuksen periaatteina. ”*Estimoinnin satunnaisvirhe tulee saattaa pieneksi, mutta koeyksilöiden määrää ei tule kasvattaa liikaa.*” Koeyksilöiden määrä on laskettu kaavan 12 mukaan ja valituilla tarkkuuksilla laskettujen otoskokojen mittausta oli teknisesti toteutettavissa ja määrät jopa ylitettiin. ”*Koeolosuhteiden ei tule systemaattisesti poiketa.*” Koe suoritettiin normaalin päivittäisen toiminnan rinnalla, joten polttoaine-erät ja näytelaitteet eivät poikkea kaupallisesti käytöstä. Polttoainekuljettajien toimintaa seurattiin koko testin ajan ja se ei poikennut normaalista. ”*Johtopäätösten tulisi olla päteviä laajalla käyttöalueella.*” Tuloksista tehdyt johtopäätökset koskevat kyseistä laitteistoa, mutta sen arvosteluun käytettyjä määrittämiä voidaan soveltaa myös vastaavanlaisille laitteille. Polttoainejakeita oli useita ja autojen purkaustapoja sekä -aikoja kuului testiin laajalla skaalalla. Eri jakeilla olisi hyvä tehdä vastaavia testejä samalla konseptilla, joissa näytemääriä lisäämällä otetaan kaikki jakeet huomioon. ”*Kokeen tulisi olla yksinkertainen toteuttaa ja tietojen analysoinnin selkeää.*” Koe toteutettiin pääosin yhden miehen voimin. Ajoittain apuna oli apuri, joka ohjeistettiin toimintaan lyhyesti ennen työvaiheita. Mitattavana suurena oli polttoaineen kosteus, jonka muutokset ja tärkeys on helppo ymmärtää. Tulokset on taulukoitu yksinkertaiseen muotoon ja niiden analysoinnissa kiinnitettiin huomiota muutamiin pääkohtiin. Vaikka tulosten analysointiin käytettiin analysointiohjelmaa, on raportissa esitetty laskukaavat joilla tuloksia voi laskea myös käsin. ”*Kunnon tilastotieteel-*

lisen tutkimuksen tulee mahdollistaa tulosten luotettavuuden arvioinnin.” Runsaat toistot mahdollistavat satunnaisvaihtelun määrän estimoinnin. Toistojen avulla keskiarvo tarkentui ja keskiarvon keskivirhe pieneni. Toistomäärä antaa vahvistusta sille, ettei tulos ole riippuvainen satunnaistekijöistä vaan siinä on selkeä johdonmukaisuus. Ulkopuolisten tekijöiden vaikutus on minimoitu pitkällä testijaksolla, joka ajoittui alkukesään ja alkutalveen. Mitattavia näytteitä otettiin niin lämpimillä, kylmillä, kuivilla kuin kosteillakin ilmoilla. Kaikki näyteparit punnittiin ja kuivattiin keskenään samoilla laitteilla. Mittalaitteet ja menettelytavat on kirjattu ylös tähän raporttiin ja koe voidaan toistaa samoja välineitä käyttäen.

Aikaisempien teollisuuskokoluokan testituloksien vähyden vuoksi ei kyseiselle tutkimukselle löytynyt ns. lähtöarvoja, johon tuloksia verrata. Testausta tehtiin yhteistyössä laite-toimittajan eli Raumasterin edustajan kanssa ja se noudatti samaa kaavaa kuin Porin prosessivoiman, Raumasterin ja Vapon yhteistyössä tekemä tutkimus vastaavanlaiselle laitteistolle Porin biolaitoksella. Tuloksia ei ole virallisesti julkistettu, mutta testaustapa ja näytteiden vertailutapa ovat yhtäläisiä tämän tutkimuksen kanssa. Myös analyysitulokset, joiden mukaan näytteiden ottotapa ei vaikuta kosteusprosenttiin, ovat yhtäläiset Keljonlahden puupolttoaineilla ja Porin turpeella.

6.2 Tuotannollinen käyttö

Mitä hylättyihin näytteisiin tulee, on kyse ollut polttoainekuljettajien vaillinaisesta opastuksesta tai osaamisesta sekä laitteiden vioista. Vikoja ovat aiheuttaneet mm. näytteenottokauhan sylinterin raja-anturin sekä tyhjennysluukun raja-anturin vikaantumiset sekä automaatiosoftan muutamat virheet. Nämä vikatilanteet on käyttöönoton aikana korjattu ja myöhemmin toimivaksi testattu. Suurinta huolta aiheuttaa kuorman oikea purkaminen palkkisyöttimille. Jos kuljettaja purkaa kuorman käyvälle palkkisyöttimelle, ei palkkisyötin vaihdu kuormien välillä, vaan molemmat kuormat menevät ensimmäisen leimatun kortin mukaan joko käsinäytteeksi tai automaattiseksi riippuen siitä mikä ensimmäisen kuorman kortille on määritelty. Vaikka murskainlinjan automaattinen näytteenottosekvenssi odottaa kaukalon pinnan nousua ensimmäisen näytteen kohdalla, ei se tee samaa tarkastusta seuraavilla 20 minuutin välein otettavilla näytteillä. Tällöin järjestelmä saattaa ottaa näytteen tyhjästä murskasta. Tyhjä tai vajaa näyte tulee usein palkkisyöttimen tyhjennyttyä, ennen kuin palkki on ehtinyt vaihtumaan seuraavaan. Virhe ei ole suuri, koska erittäin todennäköisesti kuormasta on otettu jo ainakin yksi näyte tähän mennessä. Niin sanotut tyhjat näytteet näkyvät kuitenkin kokoomanäytettä hakiessa, koska ne tallentuvat normaalien näytteiden

den sekaan ja nostavat säiliössä olevien näytteiden lukumäärää, vaikka varsinainen näytetilavuus ei kasva. Virhe korostuu varsinkin pienillä osakuormilla ja näiden näytemäärillä. Pintarajojen asettelu näytteenoton ehdoiksi auttaisi tilannetta, mutta optisten antureiden keilat eivät esimerkiksi Suomen talvessa ole aina riittävän luotettavia. Aloitusrajankin poisjättäminen on harkitsemisen arvoista.

Myös murskattavan materiaalin vaihtelu aiheuttaa ongelmia sekvenssien asetteluun. Niin sanottu risukuorma eli metsätähde läpäisee murskan nopeammin kuin kokonaiset rangat ja näille olisi syytä asettaa eripituiset näytteenottovälit. Liian tiheä näytteenottosekvenssi murskaimella hankaloittaa vastaanottohallin kuormien näytteenottoa, koska linja on varattuna murskaimen näytteille. Uudessa vastaanottoasemassa ongelmia on aiheuttanut myös seulomolle nostavan kolakuljettimen ylitäyttö. Jos hakeauto purkaa kuormansa hallissa nopeasti ja samalla murskalla on pehmeää rankaa, saattaa kolakuljetin täyttyä liikaa ja laukaista ylitäyttörajan sammuttaen koko linjan. Koska sekä murskan, että vastaanottotaskun polttoaineet nostetaan samalla kuljettimella, on sen vauhdin säätely hankalaa. Liian suuri nopeus tukkii seulomon ja liian hidaski aiheuttaa tukoksia.

Myös peräpurkukolan nopeutta on jouduttu laskemaan, jotta sen alle ei pääse syntymään kasaa joka tukkii kolan vetopään (kuva 17). Kola kaappaa sen alle muodostuvasta kasasta bioainesta takaisin joka päättyy vetopäähän ja voi tukkia sen kokonaan. Lisäksi kasa muodostuu juuri näytteenottoruuvien kohdalle, jolloin ruuvi ei ole enää putoavan polttoainevirran alla.



Kuva 17. Nopean purkamisen seurauksena muodostunut hakekasa ruuvien päällä (Valokuva:Orava, J).

Kasan keskeltä ruuvi ottaa myös näytettä tarkoitettua enemmän ja jäljessä olevalla sekoittimelle on ylitäytön vaara. Peräpurkukolan pyörimisnopeutta on hidastettu ja polttoainekuljettajia kehoitettu malttamaan purkunopeuden kanssa, jotta kasa ei pääse muodostumaan. Siltikin jotkin kuljettajat purkavat kuorman maksiminopeudella jolloin kasa muodostuu ja nostavalle kuljettimelle tulee ylitäyttö.

Laitteiston käytöstä on annettu koulutus kaikille sen pääkäyttäjille, jotka jakavat tietoa edelleen omalle työvuorolleen. Automaatioasentajat ovat opiskelleet automaatiosekvenssi- en sielunelämää yhdessä käyttöönottajän (allekirjoittanut) kanssa. Ilmentyneet vikatilanteet on selvitetty ja korjaustoimenpiteet suoritettu, joten laitteisto on käyttövalmis. Muokatun toimintakuvauksen päivitystä ei ole vielä julkaistu, joten käyttäjien koulutuksesta ei vielä saada täyttä hyötyä kirjallisen ohjeen puuttuessa.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Työn tilaajana toimivan yrityksen tavoite oli saada näytteenottolaitteisto toimimaan tuotannollisessa käytössä. Tämän lisäksi laitteiston käyttöön oli saatava hyväksyntä polttoaineen toimittajilta, jonka tueksi tämä kirjallinen työ on tehty. Myös laitetoimittaja halusi saada laitteiston toimimaan halutulla tavalla, jotta sitä voidaan käyttää referenssinä jatkossa.

Laboratorioanalyyseistä tehtyjen parittaisten testien perusteella eivät käsin otetut ja laitteiston ottamat näytteet samoista kuormista eroa toisistaan tilastollisesti merkitsevästi pitkällä aikavälillä. Myöskään kokoomanäytteiden välillä ei ole tilavuudellista eroa, jolloin laboratorio ei voi erottaa millä tavalla näyte on otettu ja tällä tavoin tehdä sille tarkoitettuja testejä eri tavalla. Suurimmat toimivuuteen vaikuttavat seikat ovatkin inhimilliset tekijät. Vaikka kyse on automaattisesta näytteenotosta, tarvitsevat sekvenssit käynnistyäkseen muutamia ehtoja. Kuljettajien toiminta saapuessa ja lähtiessä on tärkeää sekä kyseisen kuorman että seuraavan kuorman näytteenoton onnistumisen kannalta. Nämä kehysviitteet huomioon ottaen tutkimuskysymyksenä pohdittavia esteitä automaattisen näytteenottolaitteiston käyttämiseksi käsinäytteenoton sijaan tuotannollisessa käytössä ei ole.

Sekvenssien asettelu polttoainelajien mukaan parantaisi kuljettimien ja myös näytteenottolaitteiston toimintaa. Käsinäytteenotto on vielä käytössä useiden toimittajien kuormissa ja siihen panostaminen ja kuljettajien toiminnan seuraaminen ei saa unohtua. Jotta polttoainetoimittajat voivat luotettavasti siirtyä automaattisen näytteenottolaitteiston ottamien näytteiden kosteuspitoisuuksien mukaiseen laskutukseen, täytyy laitteiden ympärivuorokautista käyttöä testata ja varmistua kuljettajien osaamisesta.

Kustannussäästöä automaattinen laitteisto ei suoraan tuo, koska käsinäytteenoton suorittaminen sisältyy polttoainehankinnan sopimukseen ja se kuuluu polttoainekuljettajien työtehtäviin. Voimalaitoksella kuitenkin uskotaan että laitteistoon sijoitettu pääoma saadaan takaisin näytetulosten oikeellisuuden kautta. Vaikka varsinaisia epäilyjä käsinäytteiden todenmukaisuudesta ei ole, voidaan automaattisella laitteistolla varmistua kuormakohtaisten näytteiden todenperäisyydestä ja paikkansapitävyydestä.

JÄLKISANAT JA KIITOKSET

Työ vei kokonaisuudessaan paljon aikaa jota ei raportissa näy, koska se koostui polttoainekentän toiminnan seuraamisesta ja sen parantamisesta. Polttoainekuljettajien koulutus ja seuranta oli vaikeaa, koska kuljettajat vaihtuivat yhtenäen ja toimivat usein ennalta-arvaamattomasti. Suurimmalle osalle toimitetuista kuormista oli määritetty käsinäyte, joka oli saapuessa vaihdettava automaattiseksi, jotta laitteistoa voitiin testata. Tein tämän tutkimuksen ohella myös muita voimalaitoksen työtehtäviä, jotka osaltaan helpottivat antamalla välillä mietintätaukoa ja osaltaan pitkittivät työn valmistumista. Käyttöönottotestit olivat mielenkiintoiset ja niiden aikana olin yhteyshenkilönä koko vastaanottoaseman tilanteesta, aiemmin sovitun näytteenoton sijaan. Jokaista vikatilannetta ja sekvenssimuutosta ei ole työssä raportoitu, koska ne eivät ole olennaisia lopputuloksen kannalta. Vastaavia testejä tekeviä ohjeistan tutustumaan etukäteen hyvin tarkasti toimintakuvaukseen, koska laitteiston ja sen toiminnan tunteminen auttaa prosessinhoitajien ja -valvojien kysymyksiin vastattaessa ja vikatilanteita selvitettäessä.

Kiitokset ansaitsevat Janne Haukirauma ja Toni Hult jotka työllistivät ja opettivat prosessiteollisuuden lainalaisuuksia. Jyväskylän Energialta myös Reijo Sironen ja Marko Salonen auttoivat ja kannustivat työn käytännön osuudessa. Marko Toivonen ja Markku Hämäläinen jaksoivat auttaa automaatiopuolen ongelmissa joita riitti liiaksikin asti. Protaconin Kalle Elomaa teki suuren työn automaation päivittämisessä ja sekvenssien käytäntöön saattamisessa. Myös polttoainekentän urakoitsija Jokinen tiimeineen avusti mainiosti aina tarvittaessa. Kiitokset saavat myös urheiluseurat Jyväskylän Han Moo Do ja AC Souls, joiden avulla sain ajatukset välillä muualle. Kiitokset myös yliopiston puolelta työtä ohjanneelle Margareta Wihersaarelle joka kannusti pinnistelemaan hyvän lopputuloksen eteen. Suuret kiitokset tietenkin myös vaimolleni Merille, joka avusti ja kannusti alusta loppuun.

LÄHDELUETTELO

- Alakangas, E., Levlin, J-E, Valtanen, J., 2006: CEN Technical Specification for Solid bio-fuels - Fuel Specification and Classes. Biomass and Bioenergy. Vol. 30 (2006) No: 11, p 908-914.
- Alakangas, E., VTT Energia 2000: Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT tiedotteita – Meddelanden - Research Notes 2045. Otamedia Oy, Espoo.
- Energiateollisuus kalvosarjat 2011. Energiateollisuuden kalvosarjat vuoden 2011 energianlähteistä Suomessa. (<http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/energiالاhteet>) Viitattu 6.11.2012.
- Finnbio 1998: Puupolttoaineiden laatuohje. Finnbion julkaisu nro 5. 1998.
- Herranen, M., 2012: Sähköpostikeskustelu laboratorioalan yhtiö ENAS Oy:n toimitusjohtaja Herrasen kanssa huhtikuussa 2012.
- Inspecta 2012: tietoa sertifiointista ja ISO – standardeista. (<http://www.inspecta.com/fi/Palvelut/Sertifiointi/>) Viitattu 26.3.2012.
- Jyväskylän Energia Oy 2010: Polttoaineiden laatuvaatimukset. Laitoskohtaiset vaatimukset toimitettavan polttoaineen spekseistä.
- Jyväskylän Energia Oy 2012a: Jyväskylän Energia Oy yhtiön esittely. (<http://www.jenergia.fi/>) Viitattu 8.8.2012.
- Jyväskylän Energia Oy 2012b: Laboratorioraportit 2012. Laboratoriotulokset Jyväskylän Energian tuotannon raporteista.
- Järvinen, T., & Impola, R., 2012: Näytteenottostandardin soveltamisohje. Näytteenotto- ja -näytekäsitely-standardien (SFS-EN 14778: 2012 ja SFS-EN 14780: 2012) soveltamisohje metsäpolttoaineille Suomessa – Luonnos. TUTKIMUSRAPORTTI VTT-R-03522-12.
- Kuokkanen, M., Kolppanen, R., Kuokkanen, T. 2011: Nesteiden ja kiinteiden aineiden lämpöarvojen määrittäminen. OAMK, Hankkeet, Ekopelletti T&K, Aineistot, Raportit ja julkaisut, pdf, (http://www.oamk.fi/hankkeet/ekopelletti/docs/ekopelletti_info_010911.pdf)
- Lensu, A., 2010. Kurssimateriaali YMPA 238 syyslukukausi 2010.
- Mauranen, K., 2012. Todennäköisyyyslaskentaa. Itä-Suomen yliopiston Tietojenkäsittelytieteen laitoksen kurssimateriaali. (http://www.uku.fi/~mauranen/bis/bis5_doc.htm) Viitattu 15.2.2012.
- Metsätutkimuslaitos Tilastopalvelu MetINFO. Tilastot - Puun käyttö – Puun energiankäyttö (<http://www.metla.fi/metinfo/tilasto/laatu/puupolttoaine.htm>) Viitattu 6.11.2012.
- Nurmi, J., 1993. Pienkokoisten puiden maanpäällisen biomassan lämpöarvo. Acta Forestalia Fennica 236. Helsinki.
- Nurmi, J., 2000. Characteristics and storage of whole-tree biomass for energy. The Finnish Forest Research Institute, Research Papers 758. METLA.
- P. Gy, 1982. Sampling of Particulate Materials, Theory and Practice, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.
- Raumaster 2011. Vastaanottoaseman päälaitetoimittajan toimintakuvaus.

- Saarno, T., 2012: Jyväskylän Energia Oy:n tuotantojohtajan haastattelu 3.5.2012.
- Salonen, T., 2013: Puhelinhaastattelu Raumaster kehitysinsinöörin kanssa 14.1.2013.
- SolidStandards 2011: VTT ja NEN SolidStandards – projektin koulutusmateriaali –Yleistä tietoa 2.1.
- Standardi SFS-EN 14774:2011. Kiinteät biopolttoaineet. Kosteuspitoisuuden määrittäminen.
- Standardi SFS-EN 14775:2010. Kiinteät biopolttoaineet. Tuhkapitoisuuden määrittäminen.
- Standardi SFS-EN 14778:2011. Kiinteät biopolttoaineet. Näytteenotto.
- Standardi SFS-EN 14780 Kiinteät biopolttoaineet. Näytteen esikäsittely
- Standardi SFS-EN 14918:2010. Biopolttoaineet. Lämpöarvon määrittäminen.
- Tilastokeskus, 2010: Sähkön ja lämmön tuotanto, Polttoaineiden käyttö sähkön ja lämmön yhteistuotannossa 2009–2010 [verkkójulkaisu].
(http://www.stat.fi/til/salatuo/2010/salatuo_2010_2011-10-06_kuv_012_fi.html) Viitattu: 17.9.2012.
- Turun yliopisto 2012. Taulukoita. Fysiikan ja tähtitieteen laitos, opetus, tilastolliset menetelmät, tilasto. (<http://www.astro.utu.fi/edu/kurssit/tilasto/taulu.pdf>) viitattu 8.2.2012
- Ålander, T., 2011. YMPS342 Kurssimateriaali kevätlukukausi 2011, puun pienpoltto.

LIITTEET

Liite 1

Standardin SFS-EN 14778 liitteen A esimerkki näytteenottosuunnitelmasta, joka täytettynä toimii näytteenottotodistuksena.

Näytteenottosuunnitelman viitenumero	
Näytekohtainen tunnistenumero	Päivämäärä & aika
Näytteenottajan nimi	GSM numero
Sähköposti	Puhelinnumero
Osoite	Faksi
Asiakkaan nimi	GSM numero
Sähköposti	Puhelinnumero
Osoite	Faksi
Erän tai osanerän tunnistenumero	Laboratorionäytteen pakkaus Ilmatilvis muoviasia Muu:
Tuote	Siimämääräisen tarkastuksen huomautukset:
Kauppanimike	
Biopolttoaineen toimittaja	
Sovittu erän kokonaistarkkuus	
Osaerän massa tai tilavuus	t tai m ³
Likimääräinen nimellisesti suurin pala/raekoko	mm
Laboratorionäytteen ja astian massa	kg
Sääolosuhteet (esim. pilvistä, voimakas tuuli, arviolta 18 °C)	
Erän tyyppi (sillo, astia, kasa, kuorma-auto, proomu jne.)	Sisällä <input type="checkbox"/> Ulkona <input type="checkbox"/> Peittämätön <input type="checkbox"/> Peitetty <input type="checkbox"/>

Näytteenottomenetelmä: (paikallaan/liikkuva, hihnan poikki, kauha jne.)				
Toimittajan nimi ja osoite				
Kuljettajan nimi ja osoite				
Laboratorion nimi ja osoite				
Päivämäärä		Käytetyt näytteenottovälineet		
Näytteenoton tarkoitus				
Ominaisuus	EN standardi	Tarvittava massa [kg]	Näytteenottopisteen kuvaus: (kuvat ovat suositeltavia)	
Kosteus				
Raekokojakauma				
Irtotiheys				
Palatiheys				
Mekaaninen kestävyys				
Tuhka				
Lämpöarvo				
Rikki ja kloori				Erien ja osajien valintamenettely näytteenottoa varten
CHN				
Muut				
Tarvittava kokonaismassa kg		EN 14778 vaatimukset		
Arvioitu Irtotiheys kg/litra		Yksittäisnäytteiden vähimmäislukumäärä (n_{min})		
Määrityksissä tarvittava kokonaistilavuus (V_{req}) litraa		Minimitilavuus, yksi yksittäisnäyte ($Vol_{yksittäisnäyte}$) litraa		
Jos tarvittava kokonaistilavuus (Vol_{tarv}) on suurempi kuin kokoomanäytteelle laskettu tilavuus ($Vol_{kokoomanäyte}$), lisää tällöin yksittäisnäytteiden lukumäärää tai tilavuutta:		Kokoomanäytteen tilavuus ($Vol_{kokoomanäyte}$) litraa		
Yksittäisnäytteiden todellinen lukumäärä (n_{tod}), suurempi kuin $Vol_{tarv}/Vol_{yksittäisnäyte}$		Laboratorionäytteen valmistusmenetelmä kokoomanäytteestä:		
Kokoomanäytteen todellinen tilavuus ($n_{tod} \times Vol_{yksittäisnäyte}$) litraa		Laboratorionäytteen tilavuus (Vol_{lab}) litraa		

Liite 2

Studentin t-jakauman kriittiset arvot eri vapausasteilla f yksisuuntaisessa testauksessa (Turun yliopisto 2012).

f	$p = 0.250$	0.100	0.050	0.010	0.005	0.001
1	1.000	3.078	6.314	31.821	63.657	318.309
2	0.816	1.886	2.920	6.965	9.925	22.327
3	0.765	1.638	2.353	4.541	5.841	10.215
4	0.741	1.533	2.132	3.747	4.604	7.173
5	0.727	1.476	2.015	3.365	4.032	5.893
6	0.718	1.440	1.943	3.143	3.707	5.208
7	0.711	1.415	1.895	2.998	3.499	4.785
8	0.706	1.397	1.860	2.896	3.355	4.501
9	0.703	1.383	1.833	2.821	3.250	4.297
10	0.700	1.372	1.812	2.764	3.169	4.144
20	0.687	1.325	1.725	2.528	2.845	3.552
30	0.683	1.310	1.697	2.457	2.750	3.385
40	0.681	1.303	1.684	2.423	2.704	3.307
50	0.679	1.299	1.676	2.403	2.678	3.261
60	0.679	1.296	1.671	2.390	2.660	3.232
70	0.678	1.294	1.667	2.381	2.648	3.211
80	0.678	1.292	1.664	2.374	2.639	3.195
90	0.677	1.291	1.662	2.368	2.632	3.183
100	0.677	1.290	1.660	2.364	2.626	3.174
∞	0.675	1.282	1.645	2.327	2.576	3.091

Studentin t-jakauman kriittiset arvot eri vapausasteilla f kaksisuuntaisessa testauksessa (Turun yliopisto 2012).

f	$p = 0.250$	0.100	0.050	0.010	0.005	0.001
1	2.414	6.314	12.706	63.657	127.321	636.619
2	1.604	2.920	4.303	9.925	14.089	31.599
3	1.423	2.353	3.182	5.841	7.453	12.924
4	1.344	2.132	2.776	4.604	5.598	8.610
5	1.301	2.015	2.571	4.032	4.773	6.869
6	1.273	1.943	2.447	3.707	4.317	5.959
7	1.254	1.895	2.365	3.499	4.029	5.408
8	1.240	1.860	2.306	3.355	3.832	5.041
9	1.230	1.833	2.262	3.250	3.690	4.781
10	1.221	1.812	2.228	3.169	3.581	4.587
20	1.185	1.725	2.086	2.845	3.153	3.850
30	1.173	1.697	2.042	2.750	3.030	3.646
40	1.167	1.684	2.021	2.704	2.971	3.551
50	1.164	1.676	2.009	2.678	2.937	3.496
60	1.162	1.671	2.000	2.660	2.915	3.460
70	1.160	1.667	1.994	2.648	2.899	3.435
80	1.159	1.664	1.990	2.639	2.887	3.416
90	1.158	1.662	1.987	2.632	2.878	3.402
100	1.157	1.660	1.984	2.626	2.871	3.390
∞	1.150	1.645	1.960	2.576	2.808	3.291

(0,1)-normaalijakauman tiheysfunktio $f(x)$ ja kertymäfunktio $F(x)$ (Turun yliopisto 2012).

x	$f(x)$	$F(x)$	x	$f(x)$	$F(x)$
0.0	0.3989	0.5000	2.0	0.0540	0.9772
0.1	0.3970	0.5398	2.1	0.0440	0.9821
0.2	0.3910	0.5793	2.2	0.0355	0.9861
0.3	0.3814	0.6179	2.3	0.0283	0.9893
0.4	0.3683	0.6554	2.4	0.0224	0.9918
0.5	0.3521	0.6915	2.5	0.0175	0.9938
0.6	0.3332	0.7257	2.6	0.0136	0.9953
0.7	0.3123	0.7580	2.7	0.0104	0.9965
0.8	0.2897	0.7881	2.8	0.0079	0.9974
0.9	0.2661	0.8159	2.9	0.0060	0.9981
1.0	0.2420	0.8414	3.0	0.0044	0.9986
1.1	0.2179	0.8643	3.1	0.0033	0.9990
1.2	0.1942	0.8849	3.2	0.0024	0.9993
1.3	0.1714	0.9032	3.3	0.0017	0.9995
1.4	0.1497	0.9193	3.4	0.0012	0.9997
1.5	0.1295	0.9332	3.5	0.0009	0.9998
1.6	0.1109	0.9452	3.6	0.0006	0.9998
1.7	0.0940	0.9554	3.7	0.0004	0.9999
1.8	0.0790	0.9641	3.8	0.0003	0.9999
1.9	0.0656	0.9713	3.9	0.0002	1.0000

Liite 3

Näytteenottosuunnitelma

Keljonlahden voimalaitos, kiinteän biopolttoaineen vastaanottoasema

1 Tarkoitus

Testien tarkoituksena on varmistaa, että kiinteän polttoaineen automaattinen näytteenottolaitteisto toimii suunnitellulla tavalla. Samalla suoritetaan vertailumittaus käsinäytteenottoon.

2 Ajankohta

Toukokuu 2012.

3 Toteutus

Tavoitteena on tehdä vertailutesti kuormille joita tulee vastaanottohalliin ja murskalle. Kuormia tulee työpäivän aikana noin 20 kappaletta.

3.1 Automaattinen

- Sekoitussäiliöt on tyhjennettävä huolellisesti ennen kokeen aloitusta.
- Peräpurun laitteisto ottaa näytteen sekvenssin mukaan.
- Sekoitussäiliötä tyhjennettäessä on ämpärin tilalle laitettava pienempiä näytteitä varten tehty peltinen alusta, johon säiliöstä tippuva näyte osuu paremmin.
- Näytteet suljetaan laboratoriota varten oleviin minigrip-pusseihin.
- Pusseihin merkitään VERTAILUNÄYTE / AUTOMAATTI sekä näyte-erän tiedot (päivä, kellonaika, purkupaikka, auton rekisterinumero).
- Testijakson päätyttyä pussit toimitetaan laboratorioon normaaliin tapaan.

(3.2 Näytteen toimitustapa)

- Sekoitussäiliöstä otettu näyte jaetaan pussiin ja ämpäriin ja verrataan näistä saatuja tuloksia.
- Tavoitteena selvittää voiko ämpäriä käyttää näytteen kuljetukseen ja väliaikaiseen säilytykseen.

3.3 Käsinäyte

- Peräpurkuautosta otetaan näytteenottokauhalla yksittäisiä näytteitä 4 kappaletta kärrystä ja 2 nupista.
- Näytteet otetaan putoavasta kuormasta, eripuolilta kuormaa. Ei alusta, eikä lopusta vaan tasavälein keskeltä.
- Yksittäiset näytteet kerätään 10 litran muoviämpäriin.
- Yhden kuorman yksittäisnäytteet (4-6 kpl) sekoitetaan tätä varten olevalla betonimyllyllä ja niistä poimitaan käsin yksi n. 2 litran laboratorionäyte minigrip-pussiin.
- Murskalle tulevasta kuormasta otetaan käsinäyte murskan käsinäyte ohjeen mukaan. 5 litran näyte sekoitetaan betonimyllyssä ja siitä poimitaan noin kahden litran laboratorionäyte minigrip-pussiin.

- Pusseihin merkitään VERTAILUNÄYTE / KÄSI sekä näyte-erän tiedot (päivä, kellonaika, purkupaikka, auton rekisterinumero).

4 Laboratorioanalyysit

Kaikista näyepusseista (automaattinen ja käsi) tutkitaan kosteus (punnitus-kuivatus-punnitus) ENAS sopimuslaboratoriossa. Vertailutestin näytteet ovat ylimääräisiä näytteitä, eivätkä ne vaikuta toimittajien laskutukseen, tai muuhunkaan laitoksen käyttöön.

5 Tulosten käsittely

Näytteenottotestien tuloksia tarkastellaan parittaisen t-testin avulla, tavoitteena selvittää onko automaatin ja käsi-näytteenoton välillä havaittavissa systemaattista eroa.

Liite 4

Näytteistä mitatut kosteudet prosentteina.

	Päivämäärä	Polttoainelaji	Kuormien määrä	Automaattinäyte kosteusprosentti	Käsinäyte kosteusprosentti	Erotus prosenttiyksikköä	Analysointipaikka
1	21.5.2012	Karsittu ranka	5	34,10	37,70	3,60	ENAS
2	21.5.2012	Rankahake	6	51,77	48,11	-3,66	ENAS
3	22.5.2012	Karsittu ranka	5	33,70	30,90	-2,80	ENAS
4*	22.5.2012	Karsittu ranka	3	34,92	30,90	-4,02	ENAS
5	22.5.2012	Rankahake	6	44,39	45,02	0,63	ENAS
6*	23.5.2012	Rankahake	2	35,71	51,41	15,70	Voimalaitos
7	24.5.2012	Karsittu ranka	7	32,60	32,00	-0,60	ENAS
8	24.5.2012	Rankahake	4	47,43	42,57	-4,86	ENAS
9	28.5.2012	Karsittu ranka	5	44,79	42,20	-2,59	ENAS
10	28.5.2012	Rankahake	4	43,86	44,52	0,66	ENAS
11	29.5.2012	Karsittu ranka	6	40,36	43,40	3,04	ENAS
12	29.5.2012	Rankahake	5	43,08	44,80	1,72	ENAS
13	30.5.2012	Karsittu ranka	6	40,97	39,16	-1,81	ENAS
14	30.5.2012	Rankahake	5	41,34	42,30	0,96	Voimalaitos
15	31.5.2012	Karsittu ranka	4	42,71	43,35	0,64	ENAS
16	19.11.2012	Karsittu ranka	5	42,60	45,38	2,78	Voimalaitos
17	20.11.2012	Karsittu ranka	5	38,84	38,70	-0,14	Voimalaitos
18*	21.11.2012	Karsittu ranka	6	38,32	48,70	10,38	Voimalaitos
19	22.11.2012	Karsittu ranka	6	38,98	38,56	-0,42	Voimalaitos
20	26.11.2012	Karsittu ranka	7	40,51	42,51	2,00	Voimalaitos
21	26.11.2012	Rankahake	8	43,12	38,80	-4,32	Voimalaitos

22	26.11.2012	Metsätähde	4	47,75	42,20	-5,55	Voimalaitos
23	26.11.2012	Metsätähdehake	5	41,69	41,42	-0,27	Voimalaitos
24	27.11.2012	Karsittu ranka	8	44,05	45,80	1,75	Voimalaitos
25	27.11.2012	Rankahake	7	40,85	42,20	1,35	Voimalaitos
26	27.11.2012	Metsätähde	3	32,64	39,17	6,53	Voimalaitos
27	27.11.2012	Metsätähdehake	6	46,66	39,89	-6,77	Voimalaitos
28	28.11.2012	Karsittu ranka	9	43,84	44,80	0,96	Voimalaitos
29	28.11.2012	Rankahake	9	44,71	40,00	-4,71	Voimalaitos
30	28.11.2012	Metsätähde	4	43,82	50,30	6,48	Voimalaitos
31*	28.11.2012	Metsätähdehake	6	40,33	45,82	5,49	Voimalaitos
32	29.11.2012	Karsittu ranka	9	42,32	41,80	-0,52	Voimalaitos
33	29.11.2012	Rankahake	10	40,65	40,20	-0,45	Voimalaitos
34	29.11.2012	Metsätähdehake	7	55,20	49,40	-5,80	Voimalaitos
35	30.11.2012	Karsittu ranka	8	47,03	45,10	-1,93	Voimalaitos
36*	30.11.2012	Rankahake	12	42,16	40,20	-1,96	Voimalaitos
37	30.11.2012	Metsätähdehake	5	46,90	49,40	2,50	Voimalaitos

Päivämäärä on näytteidenottopäivä, analysointipäivä on kussakin tapauksessa seuraava arkipäivä. Kuormien määrä on kokoomanäytteeseen osallistuvien kuormien määrä, samoista kuormista on otettu molemmat näytteet, ellei toisin mainita. Erotus on laskettu vähentämällä käsinäytteen tuloksesta automaattinäytteen tulos. Analysointipaikka ENAS on Jyväskylän Energian sopimuslaboratorio, jossa analysoidaan myös tuotannolliset näytteet.

Huomiot:

Numerot 3 ja 4, laitteiston testausta varten automaattinäytteet jaettiin kahteen eri säiliöön.

Numero 6, erotus poikkeaa liikaa ja tulos ei osallistunut vertailutestiin. Kyseessä voi olla kirjausvirhe, tai näytteenottoputkeen on joutunut kosteutta esimerkiksi pesujen seurauksena.

Numero 18, erotus poikkeaa liikaa ja tulos ei osallistunut vertailutestiin. Käsinäytteitä oli otettu huomattavan vähäinen määrä ja niiden seassa oli havaittavissa luultavasti lumesta peräisin ollutta vettä.

Numero 31, käsinäytteitä vain neljästä kuormasta.

Numero 36, käsinäytteitä vain kahdeksasta kuormasta. Kuljettaja ei ottanut näytteitä, koska kuormat olivat hänen mukaansa samasta kasasta.

Liite 5

Analyysiohjelmiston laskemat tulokset.

	Keskiarvo	Lukumäärä	Keskihajonta	Keskiarvon keskivirhe
Käsinäytteet	42,27	35	4,91	0,82
Automaattinäytteet	42,48	35	5,08	0,85

	Korrelaatio	Keskiarvo	Keskihajonta	Keskiarvon keskivirhe	Keskiarvon luottamusväli 95%		p-arvo
					alempi	ylempi	
Parivertailu	0,775	-0,22	3,36	0,56	-1,35	0,92	0,70

Liite 6

Vastaanottoaseman virtauskaavio (Raumaster 2011).

