

Heli Havisuo

# Selvitys bio-, kierrätyspolttoaineiden ja turpeen jauhamiseen soveltuvista leikkuumylyistä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kemiantekniikka

Insinöörityö

22.8.2014

<p>Tekijä(t) Otsikko</p> <p>Sivumäärä Aika</p>	<p>Heli Havisuo Selvitys bio- ja kierrätyspolttoaineiden ja turpeen jauhamiseen soveltuvista leikkuumyllyistä</p> <p>31 sivua + 1 liitettä 22.8.2014</p>
<p>Tutkinto</p>	<p>insinööri (AMK)</p>
<p>Koulutusohjelma</p>	<p>kemiantekniikka</p>
<p>Ohjaaja(t)</p>	<p>tutkimusinsinööri Minna Rantanen yliopettaja Jukka Toivonen</p>
<p>Insinööriyön tarkoituksena oli selvittää kahden tunnetun laboratoriomyllyjen valmistajan tehokkaimpien leikkuumyllyjen soveltuvuutta bio- ja kierrätyspolttoaineiden ja turpeen jauhamiseen.</p> <p>Bio- ja kierrätyspolttoaineen ja turpeen käytön lisääntyessä energian tuotannossa laboratorion esikäsittelyyn saapuvien näytteiden määrä tulee kasvamaan. Leikkuumyllyistä haluttiin selvittää, toisivatko ne lisää nopeutta ja tehokkuutta polttoainenäytteiden jauhamiseen. Selvityksen tekemiseen käytettiin saatavilla olevia esitteitä, laitteiden käyttöohjeita sekä valmistajien internet sivuja. Myös laitteiden edustajia konsultoitiin sekä myllyjä testattiin käytännössä.</p> <p>Testauksen ja selvityksen tuloksena voidaan todeta, että ainoastaan Fritschin yhdistelmämylly Pulverisette 19/25 toisi todellista etua Ramboll Finland Oy:n TEVO laboratorion polttoainenäytteiden esikäsittelyyn ja jauhamiseen.</p>	
<p>Avainsanat</p>	<p>leikkuumylly, biopolttoaine, esikäsittely</p>

Author(s) Title	Heli Havisuo Suitability of cutting mills for grinding biofuels, recycling fuels and peat.
Number of Pages Date	31 pages + 1 appendices 22 August 2014
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Chemical Engineerig
Instructor(s)	Minna Rantanen, Research Engineer Jukka Toivonen, Principal Lecturer
<p>The purpose of this Bachelor's thesis was to determine the suitability of the most efficient cutting mills of two well-known manufacturers of laboratory mills for the grinding of biofuels, recycling fuels and peat.</p> <p>When the use of biofuel, recycling fuel and peat increase in the production of energy, the number of the samples which arrive at the preprocessing of the laboratory will increase. Therefore, this thesis studied whether cutting mills would bring more speed and effectiveness to the grinding of fuel samples. Available brochures, instructions of devices and the manufacturers' Internet pages were used as information sources for the thesis. Also, the representatives of the devices were consulted, and the mills were tested in practice.</p> <p>The results of the thesis show, that only Fritschn cutting mill combination Pulverisette 19/25, would bring real advantage to the preprocessing and grinding of the fuel samples of the Ramboll Finland Oy TEVO laboratory.</p>	
Keywords	cutting mill, biofuel, pretreatment

## Sisällys

1	Johdanto	1
2	Biopolttoaineet, turve ja kierrätyspolttoaineet Suomessa	1
2.1	Biopolttoaineet	2
2.2	Turve	2
2.3	Kierrätyspolttoaineet	3
3	Biopolttoaineiden, turpeen ja kierrätyspolttoaineiden laatuluokitukset	3
3.1	Puupolttoaineet	3
3.2	Turve	5
3.3	Kierrätyspolttoaineet	6
4	Puupolttoaineen, turpeen ja kierrätyspolttoaineen näytteenotto	7
5	Kokoomanäytteen esikäsittely laboratoriossa	10
5.1	Näytteen massan ja partikkelikoon pienentämisen yleiset periaatteet	10
5.1.1	Massan pienentäminen	10
5.1.2	Laboratorionäytteen palakoon pienentäminen analyysikokoon	14
5.2	Näytteen esikäsittely Ramboll Finland Oy:n TEVO-laboratoriossa	15
6	Leikkuumyllyt	16
6.1	Fritsch pulverisette 19/25	17
6.1.1	Pulverisette 25	18
6.1.2	Näytteenjakaja	19
6.1.3	Pulverisette 19	19
6.1.4	Fritsch Cyclone separator	20
6.2	Retsch SM300	20
7	Myllyjen testaus käytännössä	22
7.1	Fritsch Pulverisette 19	22
7.2	Retsch SM300	23
8	Myllyjen käytettävyys ja hinnat	25
8.1	Fritsch Pulverisette 19 ja sykloni	25

8.2	Retsch SM300 ja sykloni	26
8.3	Fritsch Pulverisette 19/25 ja sykloni	27
9	Yhteenveto	28
	Lähteet	30
	Liitteet	
	Liite 1. Kuvasarja näytteenjakajan poistamisesta käytöstä	

## 1 Johdanto

Ramboll Finland Oy:n teollisuus- ja voimalaitoskemian laboratorio (TEVO) on FINASin akkreditoima, prosessiteollisuudelle ja voimalaitokselle analyysipalveluita tarjoava laboratorio. Laboratoriossa analysoidaan prosessivesiä, teollisuuden sivutuotteita sekä polttoaineita.

Bio- ja kierrätyspolttoaineita sekä turvetta käytetään Suomessa energian tuotantoon laajasti. Kotimaisten polttoaineiden käyttö edistää energiatuotannon omavaraisuutta ja tuo työpaikkoja, lisäksi biopolttoaineiden käyttö on ympäristöystävällistä ja puhdasta energiaa.[1 ]

Polttoaineiden laatu on tärkeää polttoainekaupan sekä polttoaineen käytön kannalta. Turpeen ja kierrätyspolttoaineen poltossa vapautuvat hiilidioksidipäästöt kuuluvat päästökaupan piiriin. Päästökaupan ja polttoaineen laadun vuoksi otetaan jokaisesta toimituserästä näyte, joka toimitetaan laboratorioon analysoitavaksi. Edustava näytteenotto ja näytteen valmistus on tärkeää, jotta varmistettaisiin siitä, että näyte vastaa koko polttoaineen toimituserää. Jokainen vaihe suoritetaan sovitusti standardien mukaan ja dokumentoidaan huolellisesti.

Näytteen saavuttua laboratorioon näytteen massaa ja palakokoä täytyy pienentää, jotta tarvittavat analyysit voidaan suorittaa. Polttoainenäytteiden palakoon pienentämiseen käytetään pääasiallisesti leikkuumyllyä. Tämän insinööriyön tarkoitus on selvittää kahden tunnetuimman laboratoriomyllyjen valmistajan, Fritschin ja Retschn, tehokkaimpien leikkuumyllyjen soveltuvuutta TEVO- laboratorion bio- ja kierrätyspolttoaineiden sekä turpeen esikäsittelyyn.

## 2 Biopolttoaineet, turve ja kierrätyspolttoaineet Suomessa

Suomen energian tuotannosta noin 12 % tulee biomassasta ja 4 % turpeesta [2]. Kierrätyspolttoaineita on käytetty lähinnä turpeen ja puun rinnakkaispoltossa [3]. Bio- ja kierrätyspolttoaineiden käyttöä ollaan lisäämässä, turpeen osuus energian tuotannossa tulee pysymään vakaana [2].

## 2.1 Biopolttoaineet

Suurin osa Suomessa tuotettavasta bioenergiasta tuotetaan puuperäisillä polttoaineilla. Suomi on edelläkävijä puun keräyksen ja polttoteknologian kehittämisessä. [2]

Metsäenergiaa saadaan metsäteollisuuden puunkäytön ja tuotannon yhteydessä. Merkittävimmät energijakeet ovat metsähake, puun kuori ja sahanpuru. [2]

Hake on kokopuusta, rangoista, metsätähteestä tai muusta puuaineksesta hakkurilla valmistettua polttoainetta. Hakkuutähdehake valmistetaan latvoista, oksista ja raivauspuusta. Kokopuuhake valmistetaan karsimattomasta puusta ja rankahake karsituista puusta. Haketta käytetään lämpö- ja voimalaitoksilla ja rakennusten lämmityskattiloissa. [4, s. 48.] Suomen tavoitteet on lisätä metsähakkeen käyttöä energiantuotannossa vuoteen 2020 mennessä 25 TWh [2].

Puun kuori koostuu ulkokuoresta eli kaarnasta ja sisäkuoresta eli nilasta. Kuoren osuus puusta on noin 10–20 %. Kuorta käytetään metsäteollisuuslaitosten ja lämpölaitosten kattiloissa. [4, s. 65] Polttoaineena käytettävää sahanpurua ja kutterilastua saadaan sahauksen ja konehöyläyksen sivutuotteena. Purua ja kutterilastua käytetään metsäteollisuuslaitosten ja lämpökeskusten kattiloissa muiden polttoaineiden lisänä. [4, s.69] Teollisuuden sivutuotteena syntyvä kuori ja puru hyödynnetään jo nykyään täysimääräisesti. [2]

## 2.2 Turve

Turve luokitellaan Suomessa hitaasti uusiutuvaksi polttoaineeksi eli sitä kohdellaan samoin kuin fossiilisia polttoaineita. Turpeen polton katsotaan lisäävän ilman hiilidioksidipitoisuutta. [2]

Turve on muodostunut kuolleista kasvin osista maatumalla kosteissa olosuhteissa. Kasvien jäänteet eivät hajoa kunnolla hapen puutteen ja runsaan veden takia, joten syntyy jatkuvasti kasvava turvekerrostuma. Turpeen koostumus vaihtelee turpeen kasvilajikoostumuksen ja maatumisasteen mukaan. [4, s. 87]

Turve luokitellaan jysinturpeeseen ja palaturpeeseen, niiden eri tuotantotavan perusteella. Jysinturve on tuotettu jysimällä turvetta suon pinnalta ja kuivattamalla se, palaturve on nostettu suon pinnalta ja mekaanisesti muokattu paloiksi. [4, s. 86] Turvetta käytetään sähkön- ja lämmöntuotannossa sekä teollisuusvoimalaitoksissa. [2]

### 2.3 Kierrätyspolttoaineet

Kierrätyspolttoaineet voivat olla teollisuuden tai kotitalouksien lajiteltuja ja polttokelpoisia materiaaleja. Kierrätyspolttoaineiden raaka-aineet ovat peräisin eri lähteistä, joten niiden laatu vaihtelee. [4, s. 109] Suomessa kierrätyspolttoaineet ovat vakiinnuttaneet asemansa rinnakkaispoltoissa muiden polttoaineiden kanssa ja niitä voidaan käyttää myös pääpolttoaineena, silloin kun laitos on suunniteltu kyseisille polttoaineille [4, s. 111].

## 3 Biopolttoaineiden, turpeen ja kierrätyspolttoaineiden laatuluokitukset

Polttoainekaupassa tarvitaan yksiselitteistä polttoaineen laadun määrittämistä. Sitä varten on laadittu laatuohjeet. Laatuohjeet määrittelevät menettelyn, jota käyttäen polttoaineiden laatu ja energiamäärä voidaan todeta tarkoituksen mukaisesti ja yksikäsitteisesti sekä varmistaa, että polttoaine on haluttua laitoskohtaista tuotetta. [4, s. 49]

### 3.1 Puupolttoaineet

Puupolttoaineiden laatuohjetta käytetään puuperäisille polttoaineille. Sitä voidaan käyttää polttoainekaupan lisäksi laitevalmistajat, viranomaisten lupamenettelyssä ja raportoinnissa. [5, s. 5]

Puupolttoaineet luokitellaan alkuperän ja raaka-ainelähteen, sekä kauppanimikkeen ja ominaisuuksien mukaan. Kauppanimikkeen luokittelussa on ensin määriteltävä polttoaineen nimi, tyypillinen palakoko ja puupolttoaineen valmistustapa. Kun kauppanimike on määriteltävä, luokitellaan puupolttoaine ominaisuuksien mukaan. [5, s. 16]

Puupolttoaineiden ominaisuuksille on määritetty raja-arvot, jonka mukaan laatuluokka määräytyy. Ominaisuuksien määrittäminen jaetaan velvoittaviin ja opastaviin ominai-



suuksiin. Velvoittavat ominaisuuden määritykset on määritettävä aina. Näitä ominaisuuksia on puumurskeella ja -hakkeella ovat polttoaineen raaka-aine, palakoko, kosteus- ja tuhkapitoisuus. Teollisuuden sivutuotteilla, purulla, kutterilastuilla ja kuorella, on lisänä myös tehollinen lämpöarvo. Velvoittavat ominaisuuksien määritykset, jotka ovat pakollisia vain kemiallisesti käsitellyille polttoaineille, ovat typpi- ja klooripitoisuus. Opastaviin ominaisuuksiin, jotka ovat vapaaehtoisia, mutta suositeltavia, kuuluu puumurskeella ja hakkeella tehollinen lämpöarvo, irtotiheys ja tuhkan sulamiskäyttäytyminen, teollisuuden sivutuotteilla vain irtotiheys ja sulamiskäyttäytyminen. [5, s.18, 21]

Taulukossa 1 on tuoteseloste-esimerkki hakkuutähdehakkeelle. Esimerkki hakkutähdehake on havupuupolttoaine, joka on tuotettu katkaisemalla runkopuusta latvukset ja oksat sekä hakkuualueelle jäävästä pienikokoisesta puusta. Se kuuluu palakooltaan luokkaan P 31, jolloin pääfraktio (60 %) on 3,15–31,5 mm, maksimipituus ylisuurille kappaleille on 200 mm ja hienoainekseltaan se kuuluu luokkaan F10, jossa hienoaineksen määrä (<3,15 mm) on pienempi kuin 10 %. Kosteuden puolesta se kuuluu luokkaan M55, joka tarkoittaa, että sen kosteuspitoisuus on pienempi kuin 55 p- %, mutta suurempi kuin 50 p- %. Tuhkapitoisuus on pienempi kuin 5 p- %, mutta suurempi kuin 3 p- %, joten kyseinen polttoaine kuuluu A 5,0 laatuluokkaan. Irtotiheys ylittää luokan BD 400 kg/m<sup>3</sup> ja suluissa merkitty arvo on vähimmäisarvo. Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa on vähintään 7,0 MJ/kg. [5, s.18, 21]

Taulukko 1. Tuoteseloste hakkuutähdehakkeelle [Puupolttoaineiden laatuohje]

Tuoteseloste perustuen standardiin SFS-EN 14961-1/EN ISO 17225-1			
Velvoittavat	Ominaisuus	Yksikkö	Laatuluokat
	Raaka-aine	-	1.1.4.2 Tuore/vihreä, hakkuutähde, havupuu
	Sijainti		Forssa
	Mitat, P	mm	P 31, F 25
	Kosteus, M	p-%	M 55
	Tuhka, A	p-% kuiva-aineesta	A 5.0
Opastavat	Irtotiheys, BD	kg/m <sup>3</sup>	BD 400+ (408)
	Tehollinen lämpöarvo, saapumistilassa, Q	MJ/kg	Q 7.0

### 3.2 Turve

Energiaturpeen laatuohjetta käytetään turvepolttoaineille. Laatuohjeessa on menettelyt, joilla määritellään kaupankäynnin kohteena olevan energiaturpeen laatu ja luokitus. [6, s. 7]

Turpeet luokitellaan kauppanimikkeen ja ominaisuuksien mukaan. Kauppanimikkeen määrittelyssä on polttoaineen nimi, tyypillinen koko ja muoto ja tavanomainen valmistustapa. Energiaturpeen tärkeimmät kauppanimikkeet ovat brikitit, pelletit, palaturve ja jyrsinturve. Taulukossa 2. on esitetty energiaturpeen tärkeimmät kauppanimikkeet. [6, s. 7]

Taulukko 2. Energiaturpeen tärkeimmät kauppanimikkeet [Energiaturpeen laatuohje]

<b>Poltto- aine</b>	<b>Tyypillinen koko ja muoto</b>	<b>Tavanomainen valmistustapa</b>
Brikitit	Halkaisija tai pienin mitta > 25 mm	Mekaaninen puristus
Pelletit	Ø < 25 mm	Mekaaninen puristus
Palaturve	Ø < 80 mm sylinteri-, kuutio- tai lainepala	Nostaminen, muokkaus, puristaminen paloiksi, kääntäminen, karheaminen, kerääminen ja aumaaminen
Jyrsinturve	Ø < 25 mm	Jyrsiminen, kääntäminen, karheaminen, kerääminen ja aumaaminen

Energiaturpeella jokaiselle ominaisuudelle on oma laatuluokka. Ominaisuuksien määrittäminen jaetaan velvoittaviin ja opastaviin. Palaturpeelle velvoittaviin ominaisuuden määrittämiin kuuluu kappaleen mitat ja muoto, ylisuuret kappaleet, kosteus- ja tuhkapitoisuus, tehollinen lämpöarvo tai energiatiheys saapumistilassa, hienoaineksen määrä ja rikki. Jyrsinturpeella kappaleen mitat ja muoto eivät kuulu velvoitettavien ominaisuuksien määrittämiseen, mutta tuhkan sulamiskäyttäytyminen kuuluu. Palaturpeen osalla opastaviin määrittämiin kuuluu typpi- ja klooripitoisuus, irtotiheys ja tuhkan sulamiskäyttäytyminen, jyrsinturpeella typpi- ja klooripitoisuus sekä irtotiheys. [6, s.10, 11]

### 3.3 Kierrätyspolttoaineet

Kierrätyspolttoaineiden luokitus- ja spesifikaatioperiaatteet esitetään SFS-EN 15359 standardissa. Standardin tarkoituksena on edistää kierrätyspolttoaineen hyväksymistä polttoainemarkkinoilla, lisätä kansalaisten luottamusta niihin ja mahdollistaa kaupankäynti kierrätyspolttoaineilla. [7, s. 6]

Kiinteiden kierrätyspolttoaineiden luokitus perustuu kolmen ominaisuuden raja-arvoihin. Ominaisuudet ovat tehollinen lämpöarvo, kloori- ja elohopeapitoisuus ja jokainen ominaisuus on jaettu viiteen luokkaan. Taulukossa 3. on esitetty kierrätyspolttoaineen laatuluokat. [7, s.16]

Taulukko 3. Kierrätyspolttoaineen laatuluokat [SFS-EN 15359]

Luokitusominaisuus	Tilastollinen mitta	Yksikkö	Luokat				
			1	2	3	4	5
Tehollinen lämpöarvo (NCV)	Keskiarvo	MJ/kg (ar)	≥ 25	≥ 20	≥ 15	≥ 10	≥ 3
Luokitusominaisuus	Tilastollinen mitta	Yksikkö	Luokat				
Klooripitoisuus (Cl)	Keskiarvo	% (d)	≤ 0,2	≤ 0,6	≤ 1,0	≤ 1,5	≤ 3
Luokitusominaisuus	Tilastollinen mitta	Yksikkö	Luokat				
Elohopeapitoisuus (Hg)	Mediaani 80. prosenttipiste	mg/MJ (ar) mg/MJ (ar)	≤ 0,02 ≤ 0,04	≤ 0,03 ≤ 0,06	≤ 0,08 ≤ 0,16	≤ 0,15 ≤ 0,30	≤ 0,50 ≤ 1,00

Luokittelun lisäksi kierrätyspolttoaineen pakolliset määriteltävät ominaisuudet ovat polttoaineen alkuperä, partikkelimuoto, partikkelikoko, tuhkapitoisuus, kosteuspitoisuus ja raskasmetallipitoisuus. Vapaaehtoisesti määriteltäviä ominaisuuksia ovat biomassaosuus, irtotiheys, haihtuvien aineiden osuus, tuhkan sulamiskäyttäytyminen sekä pää-alkuaineet, hivenaineet ja koostumus. Kierrätyspolttoaineen koostumuksella tarkoitetaan polttoaineen pääjakeiden, kuten puun, paperin ja muovin painoprosenttiosuuksia [7, s. 22]

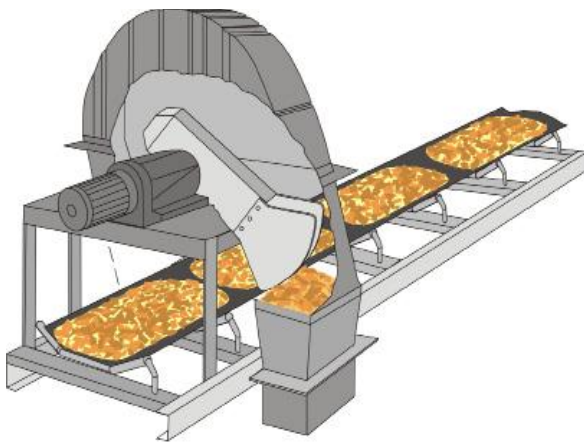
#### 4 Puupolttoaineen, turpeen ja kierrätyspolttoaineen näytteenotto

Näytteenottomenettely on tärkeä, jotta polttoainenäytteestä saadaan edustava ja ominaisuudet voidaan määrittää luotettavasti. Alkuperäisen materiaalierän ja analysoitavan näytteen tulee olla ominaisuuksiltaan samanlaisia. [5, s. 28]

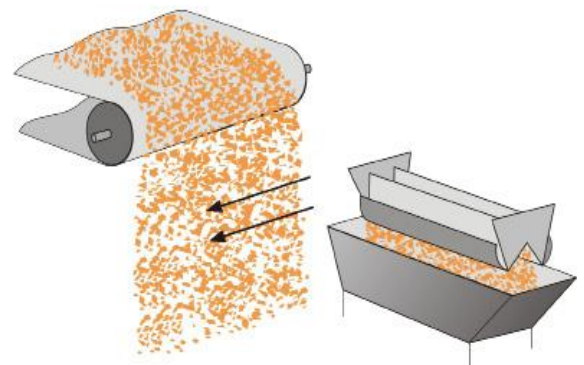
Näytteenoton lähtökohtana on hyvä suunnitelma, joka laaditaan yhdessä polttoaineen toimittajan ja ostajan kanssa. Suunnitelmassa sovitaan näytteenottopaikka ja menetelmä, käytettävät välineet ja yksittäisnäytteiden lukumäärä ja tilavuudet, sekä näytteiden säilytys ja merkinnät. [5, s. 28]

Näytteenottopaikka on tavallisesti vastaanottoasema, jossa kuormanpurun yhteydessä putoavasta polttoainevirrasta kerätään yksittäisnäyte. Näytteenottopaikaksi on hyvä valita paikka, jossa varmimmin saadaan edustavin näyte kustannustehokkaasti. [5, s. 29]

Koneellisessa näytteenotossa periaatteena on, että jokainen yksittäisnäyte edustaa poikkileikkausta polttoainevirrasta. Kuvassa 1 on kuvattu helpoimmat tavat ottaa näyte koneellisesti, leikkaamalla osa koko polttoainevirrasta näytteeseen tai kuljetinhihnan päästä. [5, s. 30]



Esimerkki kuljettimen yli tapahtuvasta näytteenotosta

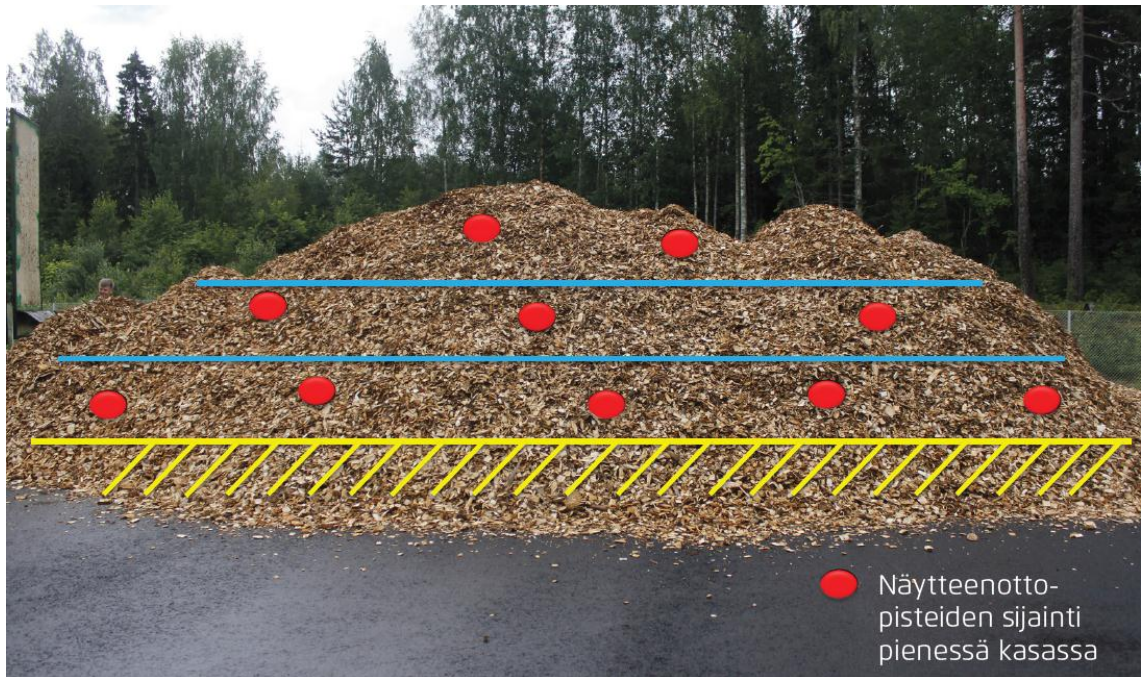


Esimerkki putoavasta virrasta tapahtuvasta näytteenotosta

Kuva 1. Koneelliset näytteenottomenetelmät [Puupolttoaineiden laatuohje]

Manuaalisessa näytteenotossa yleensä yksittäisnäyte otetaan putoavasta polttoainevirrasta kuorman purun yhteydessä tai heti purun jälkeen polttoainekasasta. Putoavasta

polttoainevirrasta on pyrittävä ottamaan näyte kuorman eri osista myös leveyssuunnassa. Lisäksi on vältettävä ottamasta näytettä aivan ensimmäisistä tai viimeisistä osista. Jos näyte joudutaan ottamaan polttoainekentältä kuormakohtaisesta kasasta, on näytteet kerättävä kasan osista mahdollisimman tasaisesti, jotta koko kuorma on edustettuna. Kuvassa 2 on esimerkki siitä, mistä kohdista kasasta näyte voidaan ottaa, jotta se on mahdollisimman edustava. [5, s. 31]

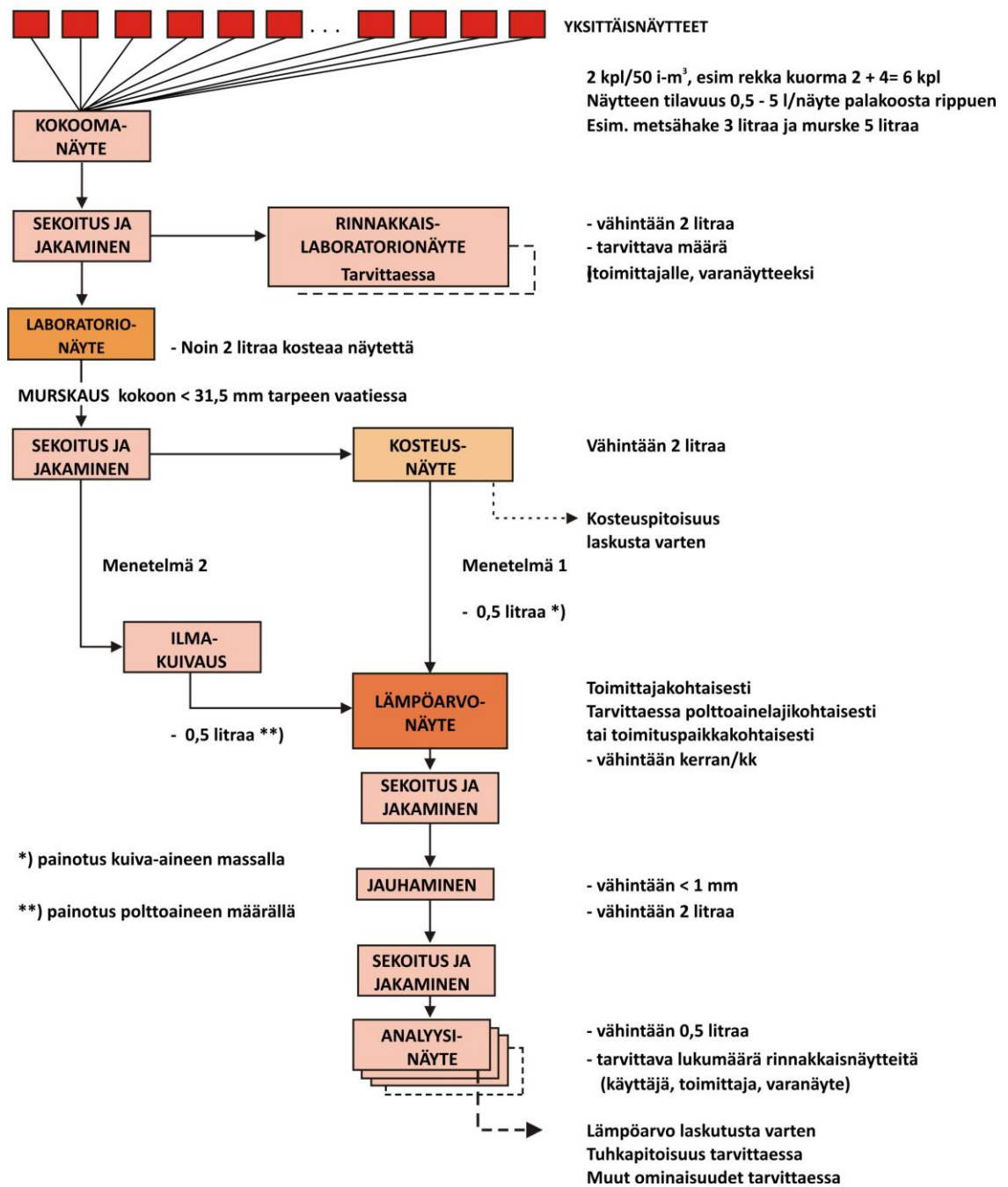


Kuva 2. Näytteenotokohdat kasalta [Puupolttoaineiden laatuohje]

Yksittäisnäytteitä otetaan jatkuvassa polttoainetoimituksessa 2 näytettä/50 m<sup>3</sup> polttoainetta kohden. Erikokoisissa kuormissa yksittäisnäytteiden vähimmäismäärät ovat kuorma-auto vähintään 2 näytettä, puoliperävaunu vähintään 4 näytettä, yhdistelmä vähintään 6 näytettä ja konttiyhdistelmissä vähintään 2 näytettä per kontti. Yksittäisnäytteen tilavuus perustuu palakokoon. [5, s. 34]

Yksittäisnäytteistä muodostetaan kokoomanäyte, joka toimitetaan laboratorioon analysoitavaksi. Kokoomanäytteet tehdään toimittaja-, polttoainelaji- ja tapauskohtaisesti sekä tietyltä ajanjaksolta. Kuvassa 3 on esitetty esimerkki puupolttoaineen koko käsittelyketjusta. [5, s. 35, 54]

## ESIMERKKI PUUPOLTTOAINEIDEN NÄYTTEENOTTO- JA KÄSITTELYKETJUSTA



Kuva 3. Puupolttoaineen näytteenotto- ja käsittelyketju. Puupolttoaineiden laatuohje. [5, s.55.]

## 5 Kokoomanäytteen esikäsittely laboratoriossa

Bio- ja kierrätyspolttoaineiden esikäsittelylle laboratoriossa on omat standardit. Biopolttoaineille käytetään SFS-EN 14780 standardia [8]. Turpeen esikäsittelylle käytetään energiaturpeen laatuohjetta vuodelta 2006. Energiaturpeen laatuohje viittaa biopolttoaineiden CEN/TS 14780 standardiin, joten näytteen esikäsittelyohje on sama biopolttoaineiden kanssa. SFS-EN 14780 standardi on uudempi päivitys CEN/TS 14780 standardista. [6, s. 2] Kierrätyspolttoaineille käytetään SFS-EN 15443 standardia [7].

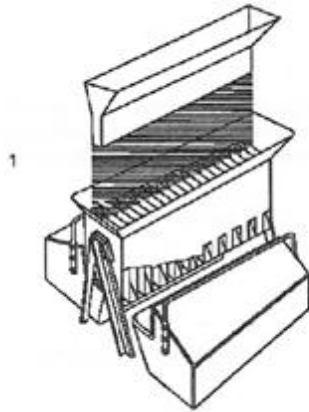
Näytekoon pienentämisen periaatteet ovat samat kaikissa standardeissa. Pää tavoitteena on näytteen pienentäminen yhteen tai useampaan osaan ja näytteen koostumus ei saa muuttua esikäsittelyn aikana. Varsinkin polttoainenäytteiden ollessa kyseessä, näytteessä oleva kosteus ei saa poistua esikäsittelyn aikana. Näytteen esikäsittelyyn liittyvän palakoon pienentämiseen, liittyy oleellisesti myös näytteen jakaminen. Periaate on, että jokaisen osanäytteen tulee edustaa alkuperäistä näytettä.

### 5.1 Näytteen massan ja partikkelikoon pienentämisen yleiset periaatteet

Näytteiden esikäsittelyssä sovelletaan kahta perusmenetelmää; massan pienentäminen jakamalla ja näytteen palakoon pienentäminen. Jakamiseen käytettäviä menetelmiä on useita.

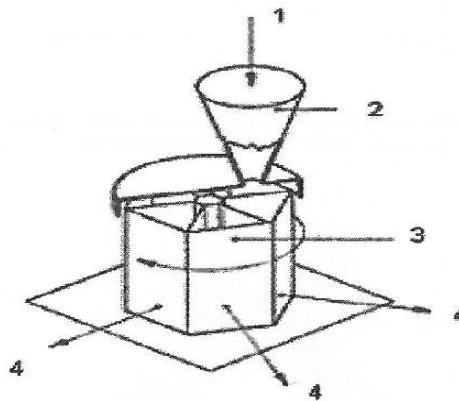
#### 5.1.1 Massan pienentäminen

Rihlajakajassa näyte syötetään yläosasta jakajaan ja näyte jakautuu kahteen eri astiaan. Rihlajakajassa aukkojen leveydet tulee olla vähintään 2,5 kertaa materiaalin suurin palakoko. Kuvassa 4 on esimerkki rihlajakajasta. [8, s. 12] Rihlajakaja sopii materiaaleille, jotka voidaan ohjata rihlan läpi, eivätkä ne holvaannu rihlan päälle. Rihlajakaja ei sovi oljelle, kuorelle tai märille näytteille. [8, s. 22]



Kuva 4. Rihlajakaja. Merkintä 1 rako, jonka leveys on oltava vähintään nimellisesti suurin palakoko. [SFS-EN 14780]

Pyörivissä näytteenjakolaitteissa näyte syötetään suppilon avulla vastaanottosäiliöön ja jaettu näyte jää lohkoihin. Laitteen sisäosan tulee olla 2,5 kertaa isompi kuin näytteen suurin palakoko ja jakajan tulee pyöriä vähintään 20 kertaa. Kuvassa 5 on pyörivä jakolaite. [8, s. 12]



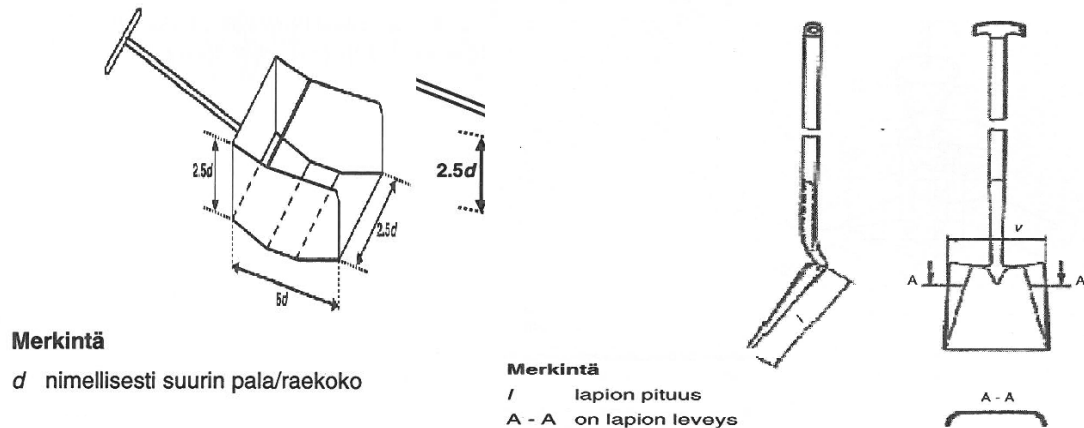
**Merkintä**

- 1 Syötin
- 2 Suppilo
- 3 Pyörivä vastaanottosäiliö
- 4 Jaettu näyte

Kuva 5. Pyörivä jakolaite [SFS-EN 14780]

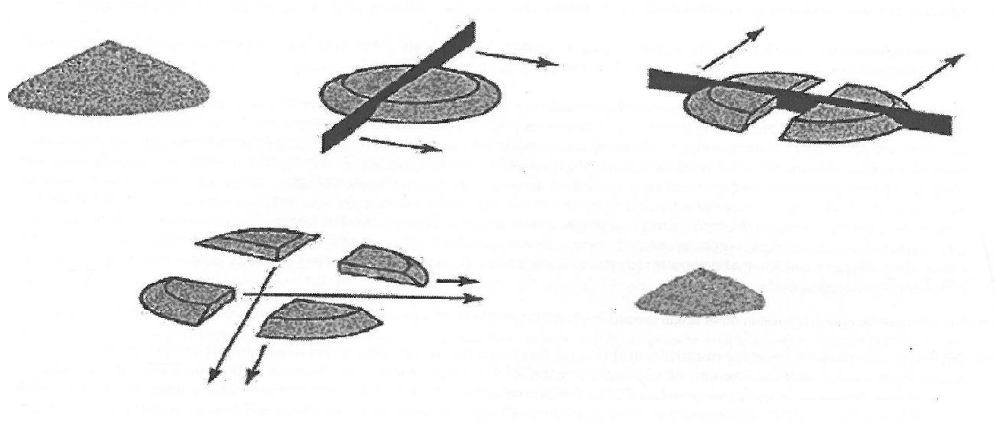


Näytettä voidaan jakaa myös manuaalisesti. Tähän tarkoitukseen voidaan käyttää lapiota ja kauhoja. Kauhan ja lapiion leveyden tulee olla 2,5 kertaa isompi kuin jaettavan näytteen suurin palakoko Kuvassa 6 on esimerkit kauhasta ja lapiosta. [8, s. 15]



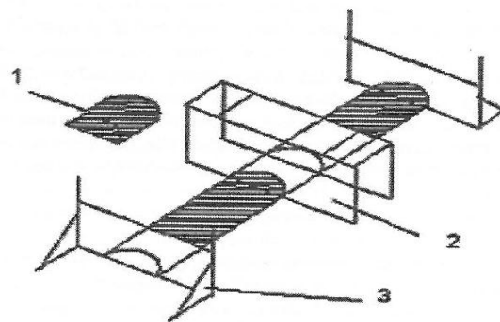
Kuva 6. Kauha ja lapio [SFS-EN 14780]

Neliöinnissä näyte asetetaan kovalle, puhtaalle ja tasaiselle pinnalle kasaksi. Kasan reunalta lapioidaan näytettä kasan päälle niin, että näyte putoaa kartion sivuja pitkin tasaisesti. Tämä toistetaan kolme kertaa ja kartio tasoitetaan litteäksi, kauttaaltaan yhtä paksuksi litteäksi kasaksi. Kasa jaetaan neljään osaan ja toinen vastakkaisista neljäsosasektori paloista poistetaan. Kartiomainen kasa muodostetaan uudelleen ja jakaminen toistetaan kunnes halutun kokoinen osanäyte on saavutettu. Neliöintiä voidaan käyttää näytteille, joihin voi käyttää lapiota, kuten sahanpurulle tai puulastuille. Kuvassa 7 on esitetty neliöinti. [8, s. 22]



Kuva 7. Neliöinti [SFS-EN 14780]

Nauhasekoituksessa näyte asetetaan kovalle ja puhtaalle pinnalle ja näyte homogenisoidaan esimerkiksi lapiolla. Materiaali jaetaan tasaiseksi nauhaksi koko pituudelta ja nauhan pituus–leveys suhde tulee olla 10:1. Laboratorionäyte otetaan tasavälein nauhan pituuden suuntaisesti. Näytteitä otetaan vähintään 20. Yksittäisnäyte otetaan laittamalla kaksi levyä pystyasentoon nauhan poikki ja väliin jäävä näyte otetaan talteen. Levyjen etäisyys toisistaan tulee valita niin, että saadaan vaaditun kokoinen laboratorionäyte ja levyjen etäisyyden toisistaan tulee olla vakio koko näytteen oton ajan. Kuvassa 8 on esitetty nauhasekoitus. [8, s. 22]

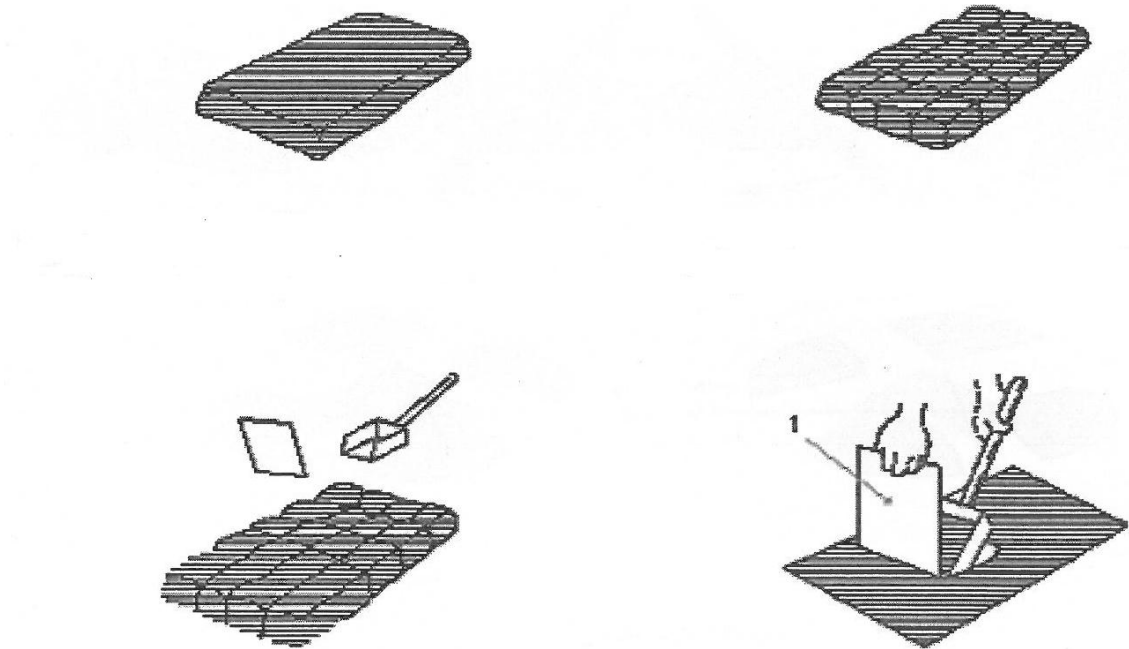


**Merkintä**

- 1 Yksittäisnäyte
- 2 Näytteenottokehys
- 3 Päätylevyt

Kuva 8. Nauhasekoitusmenetelmä [SFS-EN 14780]

Käsin jakaminen sopii pienipartikkelisille biopoltoaineille ja sahanpurulle, sillä niitä voidaan käsitellä kauhalla. Jakamisessa näyte levitetään puhtaalle ja kovalle pinnalle ja sekoitetaan kauhalla. Materiaali levitetään suorakaiteen muotoiseksi kasaksi, jonka paksuus ei ylitä kolmea kertaa nimellistä enimmäisraekokoa. Suorakaide jaetaan vähintään 20:een osaan ja kauhaa ja vastalevyä käyttäen otetaan yksittäisnäyte kustakin 20 osasta. Yksittäisnäytteet yhdistetään laboratorionäytteeksi. Kuvassa 9 on esitetty näytteen jakaminen käsin. [8, s. 22]

**Merkintä:**

1 Vastalevy

Kuva 9. Yksittäisnäytteen jakaminen käsin [SFS-EN 14780]

## 5.1.2 Laboratorionäytteen palakoon pienentäminen analysikokoon

Ennen palakoon pienentämistä määritetään näytteen alkumassa, jotta voidaan varmistaa, ettei kosteuden tai pölyn häviötä tapahdu käsittelyn aikana. Näyte voidaan esikuivata uunissa 40 °C näytteenkäsittelyssä tapahtuvan kosteuden haihtumisen ja biologisen toiminnan minimoimiseksi. [8 s. 27]

Näytteen palakoon pienentämiseen 10–30 mm:iin, voidaan käyttää karkealeikkuumyllyä tai murskainta. Laitteesta ei saa jauhamisen aikana poistua pölyä eikä kosteutta, eikä laitteesta saa irrota metallia, joka kontaminoi näytteen. Näyte seulotaan ja 30 mm seulan päälle jäänyt fraktio jauhetaan myllyllä ja fraktio yhdistetään seulan alitteeseen ja homogenisoidaan sekoittamalla. [8, s. 28]

Kierrätyspolttoaineiden karkeajauhatuksessa voidaan käyttää myös repijää. Repijä on laite, jossa on terillä varustettu akseli tai rumpu, jotka repivät syötetyn materiaalin. Repijän käyttöä ei suositella, sillä se saattaa aiheuttaa kosteuden ja hienomman jakeen häviötä, mutta monen tyyppiset kierrätyspolttoaineet sisältävät muun muassa metalleja ja muoveja, jotka tekevät repijän käytöstä välttämättömän. [9, s. 24]

Näytteen palakoon pienentämiseen 10–30 mm:stä alle 1 mm tai pienempään, voidaan käyttää leikkuumyllyä. Myös muita myllyjä voidaan käyttää, mutta leikkuumyllyn etu on se, että se tuottaa oikean kokoisia partikkeleita ja samalla homogenisoi näytteen. Jauhaminen suoritetaan vaiheissa, vaihtaen myllyssä käytettävää seulaa aina pienempään aukkokokoon, kunnes päästään haluttuun seulakokoon. Seulakokoa pienennettäessä tulee suorittaa massan vähennys jollain edellä kuvatulla tekniikalla. [8, s. 30]

Kierrätyspolttoaineiden sisältämä muovi saattaa aiheuttaa sen, että näyte täytyy esikäsitellä jäähdyttämällä ennen jauhatusta. Näyte käsitellään joko hiilihappojäällä tai nestemäisellä tyvellä. [9, s. 42]

Näytteen esikäsitelyssä tulee huomioida, että jokaisen massanvähennyksen jälkeen näytettä tulee jäädä riittävä määrä. Standardi määrittelee irtotiheyden perusteella minimimassamäärät, jotta osanäytteet vastaavat alkuperäistä näytettä. Taulukossa 4 on esitetty minimimassamäärät. [8, s. 18]

Taulukko 4. Näytteen pienentämisvaiheen jälkeen jäävien määrien vähimmäismassat [SFS-EN 14780]

Nimellisesti suurin pala/ raekoko, mm	Massa vähintään, g		
	Alkuperäinen irtotiheys < 200 kg/m <sup>3</sup>	Alkuperäinen irtotiheys 200...500 kg/m <sup>3</sup>	Alkuperäinen irtotiheys > 500 kg/m <sup>3</sup>
≥ 100	10 000	15 000	20 000
50	1 000	2 000	3 000
30	300	500	1 000
10	150	250	500
5	50	100	200
≤ 2	20	50	100

## 5.2 Näytteen esikäsitely Ramboll Finland Oy:n TEVO-laboratoriossa

Ramboll Finland Oy:n teollisuus- ja voimalaitoskemian laboratorioon tulee vuodessa yli 1000 jauhattavaa polttoainenäytettä. Näytteen esikäsitely TEVO:ssa tapahtuu SFS-EN 14780 ja SFS-EN 15443 standardin mukaan. Polttoaineiden esikäsitely vaihtelee näytteen massan, materiaalin ja alkuperäisen partikkeli koon mukaan. Myös tehtävät analyysit vaikuttavat näytteen esikäsitelyyn. Tupeet jauhetaan <0,5 mm ja puu- ja kierrätyspolttoaineet <1,0 mm analyysipalakokoon.

Näytteen saapuessa laboratorioon siitä määritetään kokonaiskosteus kuivaamalla lämpökaapissa 105 °C, jos kokonaiskosteutta ei ole määritetty asiakkaan toimesta. Jos näytteestä määritetään raskasmetalleja, osa näytteestä ilmakeivataan 40 °C ja tästä erästä analysoidaan raskasmetallit. Muihin analyysihin käytetään 105 °C:ssa kuivattua näytettä.

Massan pienentämiseen käytetään manuaalista menetelmää, eli massan pienentämistä neliöimällä. Jos materiaalia on paljon, näyte jaetaan neliöimällä ennen jauhatusta alle 10 mm:n palakokoon.

Näytteen jauhatus aloitetaan syöttämällä näytettä pienissä erissä myllyyn, jossa on 10 mm:n pohjaseula. Erät eivät saa olla liian isoja myllyn tukkeutumisen vuoksi. Ensimmäistä erää ei kerätä talteen, vaan mylly huuhdotaan näytteellä. Kun koko näyte on jauhettu 10 mm pohjaseulan läpi, näyte kaadetaan alustalle ja neliöidään. Kun neliöimällä on saavutettu haluttu määrä näytettä, myllyyn vaihdetaan analyysikoon pohjaseula ja näytettä syötetään pienissä erissä. Kun myllystä ei enää tule näytettä ulos, jauhatus lopetetaan. Keräys astiaan tullut näyte otetaan talteen analyysijä varten. Lopuksi mylly ja käytetyt astiat imuroidaan ja pyyhitään etanolilla.

TEVO:ssa on käytössä Retsch SM 2000 leikkuumylly. Myllyn kierrosnopeus on 715 rpm ja roottorina on muunneltava leikkuuterä. Myllyn syöttönopeus on noin 30 l/h näytteestä riippuen.

Mylly on jo iäkäs, se on otettu käyttöön jo vuonna 1998. Yhden polttoaineen jauhaminen vie aikaa puhdistuksen kanssa noin puolituntia. Pölyäminen on myös ongelma, kohdepoiston täytyy olla hyvin lähellä myllyä. Myös myllyn puhdistus näytteiden välissä on työlästä ja aikaavievää. Kierrätyspolttoaineita jauhettaessa ongelmana on muovien sulaminen, sillä jäähdyttävää elementtiä ei ole. Jauhettaessa käytetään hengitysuojainten lisäksi myös vaatteita ja kenkiä suojaavia varusteita.

## **6 Leikkuumyllyt**

Uuden leikkuumyllyn tarkasteluun valittiin kahden tunnetun laboratorioesikäsitteilylaitteiden valmistajan, Fritschin ja Retschnin, järeimmät mallit. Fritschin laitteita Suomessa edustaa Ordior Oy ja Retschnin myllyjä G.W.Berg Oy. Uudelta leikkuumyllyltä haluttiin

näytteiden jauhamiseen lisää nopeutta ja tehokkuutta. Laitteen tulisi olla myös järeä ja jäähdytettävä kierrätyspolttoaineiden takia. Myös mekaaninen jakolaite toisi lisää toistettavuutta näytteiden esikäsittelyyn.

### 6.1 Fritsch pulverisette 19/25

Fritschn pulverisette 19/25 on kahden leikkurimyllyn yhdistelmä jossa välissä on näytteen jakaja. Mylly-yhdistelmän jälkeen näyte kulkeutuu näytteenkeräyssyklonille, joka nopeuttaa näytteen kulkemista myllyjen läpi ja viilentää näytettä. Kuvassa 10 on kuva Fritsch pulverisette 19/25 mylly-yhdistelmästä. [10, s.1]



Kuva 10. Fritsch pulverisette 19/25 [Fritsch]

### 6.1.1 Pulverisette 25

Yhdistelmässä ylimpänä pulverisette 25, joka toimii esijauhimena. Koska myllyssä on suurella vääntövoimalla varustettu moottori, se soveltuu 120x85 mm ja sitä pienempien näytteiden palakoon pienentämiseen sekä monille eri materiaaleille. Myllyn kierrosluku on 300–360 rpm. Teräksisiä seuloja on saatavilla 1-10 mm. Syöttösuppilo on mahdollista saada 10 litraisena, ilman näytteentyöntimiä sekä 3 litraisena, näytteentyöntimellä. [11, s. 9]

Myllyn roottoria on saatavissa v-leikkuukulmalla ja kiinteillä terillä. Roottori on valmistettu työkalu- tai kromivapaasta teräksestä tai kovametalli volframikarbidista. Teriä roottorissa on viisi. V-muotoisilla kiinteillä leikkuuterillä oleva roottori sopii erityisesti hyvin sitkeille materiaaleille voimakkaan jauhatusvaikutuksen takia. Kuvassa 11 on roottori V-muotoisilla leikkuuterillä. [11, s. 6] Toinen vaihtoehto roottoriksi on muunneltava leikkuuterä, jossa terät eivät ole kiinni rungossa ja näin ollen vaihdettavissa yksitellen. Nämä terät ovat valmistettu kovametalli volframikarbidista ja sopivat koville materiaaleille terien helpon vaihdettavuuden takia. Kuvassa 12 on pyöreä leikkuroottori. [11, s. 15] V-leikkuuterä soveltuu parhaiten polttoainenäytteille sen leikkaavan vaikutuksen takia, muunneltavan leikkuuterän vaikutus on enemmän murskaava. Myllyssä on myös laakerit roottorin molemmilla puolilla, jolloin se tekee myllystä kestävämmän. [12]



Kuva 11. V-leikkuuterä [Fritsch]



Kuva 12. Muunneltava leikkuuterä [Fritsch]

Jauhamisnopeus on materiaalista ja syötöstä riippuen 85 l/h. Syöttöön vaikuttaa materiaalin sitkeys ja jauhattavuus. Muun muassa metallit, autonrengaskumi ja PVC muovi vaativat pienemmän syötettävän palakoon, mutta vähemmän sitkeät materiaalit, kuten puu ja paperi, voidaan syöttää yli 50 mm:n paloina. [10, s. 1]

Fritschn leikkurimylly on suunniteltu niin, että roottorin ja leikkaavien terien välissä oleva näyte siirtyy automaattisesti eteenpäin ja leikkuuvoimat varmistavat näytteen hienontumisen. Seulan ja roottorin etäisyys on optimaalinen niin, että niiden väliin jää mahdollisimman vähän tilaa. Tämä mahdollistaa nopean jauhatuksen ja estää tukkeutumisen. Myllyn puhdistaminen onnistuu hyvin sillä mylly aukeaa nopeasti ja kokonaan ilman työkaluja. Kuvassa 13 on mylly avoinna. [11, s. 2]



Kuva 13. Mylly avoinna [Fritsch]

### 6.1.2 Näytteenjakaja

Näytteenjakajan tarkoituksena on vähentää hienompaan jauhatukseen menevän näytteen määrää. Näytteenjakaja pyörii 100 rpm ja jakaa näytteen 1:13, riippuen esijauhatuksesta tulevan näytteen loppukoosta ja näytteen materiaalista. [10, s. 1] Liitteessä 1 on esitetty kuvasarja näytteenjakajasta ja sen poistosta, jos halutaan jauhaa koko näyte molempien myllyjen läpi.

### 6.1.3 Pulverisette 19

Yhdistelmäjauhimessa Pulverisette 19 toimii hienojauhimena. Mylly sopii samoille materiaaleille kuin Pulverisette 25, mutta syöttöpalakoon tulee olla 70x80 mm ja syöttöno-



peus on 60 l/h. Myllyn kierrosluku on 2800–3400 rpm. Teräksinen seulasarja kattaa 0,25-6 mm. Syöttösuppilo on mahdollista saada standardikokoisena, jolloin se on muovinen ja siinä on näytteentyönnin. Standardikokoinen malli sopii pitkille ja kiinteille näytteille. Kuvassa 14 vasemmalla on standardikokoinen syöttösuppilo. Toinen syöttösuppilovaihtoehto on teräksinen ja suojattu. Mallissa on kaksi näytteentyönnintä. Teräksinen malli on kuvassa 14 oikealla. Pulverisette 19 myllyssä on valittavana samat roottorimallit, kuin Pulverisette 25 ja sen aukaisu tapahtuu samalla tekniikalla kuin Pulverisette 25. [11, s. 9]



Kuva 14. Syöttösuppilomallit [Fritsch]

#### 6.1.4 Fritsch Cyclone separator

Syklonin tarkoitus on imeä näyte nopeammin myllyjen läpi, viilentää näytettä ja puhdistaa poistoilma pölystä ja partikkeleista. Imuyksikössä on 1,1 kW puhallin, joka imee ilmaa sykloniin ja vapauttaa ilman suodattimien jälkeen puhdistettuna takaisin huoneilmaan. Näyte kulkeutuu syklonin alaosassa olevaan näytteenkeräys astiaan. [10, s. 2]

#### 6.2 Retsch SM300

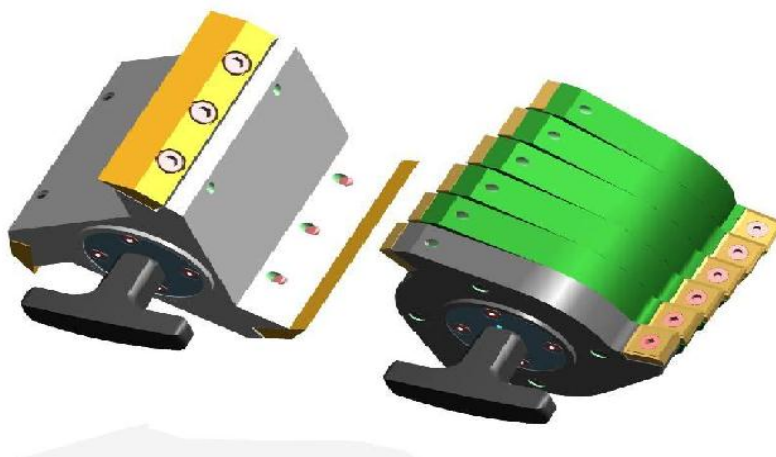
Retsch SM300 on leikkuumylly, joka soveltuu pehmeistä koviin materiaaleihin, elastisille ja kuitumaisille sekä heterogeenisille seoksille. Kuvassa 15 on Retsch SM300 leikkuumylly. [14, s. 5]



Kuva 15. Retsch SM300 [Retsch]

Myllyn syöttökoko 80x60 mm. Myllyssä on 3 kW moottori, isolla vääntövoimalla, joka mahdollistaa näytteen jauhamisen kerralla analyysikokoon. Mylly on varustettu RES-tekniikalla, joka tarkoittaa, että myllyssä on hetkellisesti säästöissä lisävoimaa, jos näytteen jauhaminen sitä vaatii. Mylly lämpiää käytössä vain kohtalaisesti, joten se sopii lämpötilaherkille materiaaleille. Myllyssä on säädettävät kierrokset 700–3000 rpm, joten niitä voi säätää näytteen mukaan. Seulat ovat 0,25–20 mm ja ne on valmistettu ruostumattomasta teräksestä. [14, s. 7]

Myllyyn on saatavilla kahta erilaista roottoria. Toinen on pyöreä kuusi levyinen roottori ja toinen on kolmella kiinteällä terällä, ruostumattomasta teräksestä valmistettu roottori. Kuudesta levyterästä valmistettuun roottoriin on mahdollista vaihtaa terät yksitellen. Kuvassa 16 on vasemmalla kiinteillä terillä oleva roottori ja oikealla levyistä koostuva roottori. [15]



Kuva 16. Retsch-300 roottorit [Retsch]

Myllyyn on saatavilla lisävarusteena imurilla toimiva sykloni, joka viilentää näytettä sekä helpottaa sen pääsyä pois jauhamistilasta. [14, s. 5]

## 7 Myllyjen testaus käytännössä

Testimateriaalina haluttiin käyttää puupolttoainetta, sillä niitä tulee esikäsittelyyn määrällisesti eniten. Myös kierrätyspolttoaineen jauhatusta haluttiin testata, sillä usein ne ovat hankalia jauhattavia. Helsingin Energialla ei kokeiltu kierrätyspolttoainetta, sillä ne saattavat sotkea myllyä. Tupeen jauhatuksessa on harvoin ongelmia ja ne ovat helposti jauhattavia, joten niitä ei otettu testiin mukaan.

### 7.1 Fritsch Pulverisette 19

Helsingin Energialla on käytössään Fritsch Pulverisette 19 ja sykloni. Laitteessa on v- leikkuuterä roottori ja myllyn standardikokoinen suppilo. Laite on ollut käytössä noin vuoden ja sillä jauhetaan päivittäin. Jauhettavana polttoaineena on eri materiaaleista valmistetut pelletit. Myllyllä pystyy jauhamaan pellettejä 200 g/min. Myllyä ei ollut vuoden aikana tarvinnut huoltaa kertaakaan, eikä vikoja ollut ilmennyt. [13]

Myllyä testattiin kahdella näytteellä; metsätähdehahkeella ja kokopuuahakeella. Näyttemäärä oli noin kaksi litraa ja näytteet olivat palakooltaan noin 30–50 mm, metsätähdehahkeen joukossa oli myös isoja käpyjä. Näytteet jauhettiin ensin 6 mm pohjaseulan

läpi ja sitten 1 mm pohjaseulan läpi. Sykloni oli päällä jauhamisen ajan ja keräysastiana käytettiin 2 l lasista keräysastiaa.

Kokopuuhakkeen jauhaminen sujui helposti. Koko näytemäärän jauhautuminen alle 6 mm:n palakokoon vei vain syötön verran aikaa. Kun näyte oli syötetty kokonaisuudessaan, se oli noin minuutin kuluessa keräysastiassa. Koko jauhaminen vei aikaa noin 2 minuuttia. Seulan päälle ei jäänyt yhtään näytettä. Jauhaminen alle 1 mm pohjaseulan läpi kävi yhtä helposti kuin 6 mm seulan läpi. Myöskään 1 mm seulan päälle ei jäänyt näytettä. Kokonaisuudessaan jauhaminen karkeasta puuhakkeesta alle 1 mm palakokoon vei aikaa noin 5 minuuttia. Jauhatuksen tulos oli tasalaatuista.

Metsätähdehakkeen jauhamista vaikeutti standardikokoinen syöttöaukko. Kävyt eivät mahtuneet syöttöaukosta, samoin muutama iso puulastu jouduttiin jättämään jauhatuksesta pois. Kun näyte oli saatu myllyyn, jauhaantumisessa ei ollut ongelmia ja jauhaminen kävi yhtä nopeasti kuin kokopuuhakkeella.

Myllyn puhdistaminen oli todella helppoa. Mylly aukesi näppärästi kokonaan ja myös roottori irtosi ilman työkaluja. Myllyn sisätilan puhdistus kävi helposti rikkaimurilla.

Sykloni nopeutti näytteen kulkua keräysastiaan, näyte ei tuntunut lämpimältä, joten sykloni oli viilentänyt sitä. Syklonin vuoksi myllyn jauhatustila oli melko puhdas, eikä pölyä ollut ilmassa ollenkaan. Negatiivinen asia oli syklonin ja myllyn yhdessä pitämä kova ääni.

## 7.2 Retsch SM300

Retschn sivustolta poimitusta tapausesimerkissä oli jauhettu 1,1 kg puulastuja lämpöarvomääritystä varten. Lastujen syöttökoko oli 1-70 mm ja haluttu palakoko oli < 1mm [15.]

Käytössä oli kiinteä levy roottori, pohjaseulana 1mm. Myllyn pyörimisnopeus oli 2500 rpm. 5 minuutin jälkeen koko näytemäärä oli saatu syötettyä myllyyn ja jauhettua, pieni määrä puuta oli jäänyt jauhamistilaan, joten mylly sopii hyvin kyseiseen tarkoitukseen. [15.]

Huomiona todetaan, että jos puu on hyvin kosteaa, se tukkii seulan reiät ja jauhaminen kestää kauemmin. Jos halutaan pienempää palakokoja, voidaan käyttää pienempää seulaa, mutta vaarana on silloin seulan tukkeutuminen ja jauhannan hidastuminen.[15]

G.W.Bergillä oli Retsch SM300 esittelylaitteena, jota testattiin. Myllyssä oli käytössä universal syöttösuppilo, 5 l:n keräysastia ja 10 mm:n ja 4 mm:n neliöseulat. Roottori oli pyöreä kuusilevyinen. Syklonia ei ollut mahdollista testata.

Näytteenä oli metsätähdehake, kantomurske sekä muovinen kierrätyspolttoaine. Myllyn sivustolla olevan esimerkin mukaisesti, myllyn pitäisi pystyä jauhaamaan kuivaa puuta suoraan 1 mm seulan läpi. Koska 1mm seulaa ei ollut käytössä, kantomursketta testattiin jauhamalla se suoraan 4 mm seulan läpi. Kantomurskeessa oli noin 10 cm pitkiä ja 2 cm paksuja puumurskeenkappaleita. Kierrosnopeudeksi valittiin 3000 rpm. Näytettä syötettiin kourallinen kerrallaan. Laitteesta kuului selvä ääni, kun RES-teknologialla varustettu moottori otti lisää tehoja, silloin kun paksumpi puukappale tuli myllyyn. Kun puolet näytteestä oli syötetty ja myllyn ovi avattiin, mylly oli täynnä jauhamatonta näytettä. Mylly tyhjennettiin ja syötettiin loput näytteet ja annettiin myllyn pyöriä kauemmin. Työnnettiin näytettä näytteen työntäjillä, jolloin mylly selvisi tehtävästään.

Metsätähdehake jauhettiin myös 4 mm pohjaseulalla, kierrosnopeuden ollessa 3000 rpm ja näytettä syötettiin kourallinen kerrallaan. Kun jauhatus tuntui kestävän ja näytteen työntäjällä painettaessa tuntui että näytettä oli myllyssä yhä, luukku avattiin ja mylly oli täynnä näytettä. Seula oli tukkeutunut eikä näyte siirtynyt keräysastiaan. Mylly puhdistettiin käsin.

Kierrätyspolttoainetta jauhettiin 10 mm:n seulan läpi joitakin kourallisia. Kierrosnopeus laskettiin 1500 rpm. Tästä tehtävästä mylly selvisi ongelmitta, mutta 4 mm seulan läpi ei haluttu edes testata, sillä myllyllä oli hankaluuksia selvittää puunäytteistäkin.

Syöttösuppilon oudon mallin takia näytettä ei voinut kaataa myllyyn, vaan se piti annostella käsin ja myös syöttösuppilon yläosan puhdistus tuntui hankalalta. Myös toinen näytteen työntäjä valui alas itsestään, eikä sitä saanut kunnolla pysymään ylhäällä.

Epäselväksi jäi olisiko myllyn tukkeutumisongelman ehkä ratkaissut sykloni ja imu, koska näitä ei ollut testissa mukana. Puupolttoaineiden jauhaminen suoraan 4 mm pohjaseulan läpi oli jo niin työlästä, että 1 mm pohjaseulan läpi jauhaminen suoraan,

olisi mahdotonta. Myyjä tosin kertoi, että kiinteillä terillä oleva roottori sopisi paremmin puunäytteille, mutta sitä ei ollut mahdollista testata.

## 8 Myllyjen käytettävyys ja hinnat

Myllyn hankintaan vaikuttavat ensisijaisesti käytettävyys ja hinta. Tässä työssä ei ole huomioitu mahdollisten huoltojen hintaa eikä niiden saatavuutta.

### 8.1 Fritsch Pulverisette 19 ja sykloni

Fritsch Pulverisette 19 ja sykloni käyvät vaihtoehdoksi yksinään, jos käytettäisiin jo käytössä olevaa Retschin SM 2000 myllyä esijauhimena. Tällöin näyte jauhettaisiin ensin Retschin myllyllä 10 mm pohjaseulana tai ilman pohjaseulaa ja näyte jaettaisiin neliöimällä. Näyte jauhettaisiin analyysipartikkelikokoon Pulverisette 19 ja syklonin kanssa. Tällöin Pulverisette 19 kannattaisi hankkia suojatulla suppilolla ja näytetyöntimillä sekä keruustiksi 3l astia. Roottorin tulisi olla v-muotoinen kiinteillä terillä ja työkaluteräksestä valmistettuna. Seulasarjan tulisi kattaa 0,5 mm, 1 mm ja 2 mm trapetsiseulat sekä 6 mm neliöperforointi seula. Taulukossa 5 on myllyn, syklonin ja tarvittavien lisäosien yhteishinta. [16]

Taulukko 5. Pulverisette 19, syklonin ja lisälaitteiden yhteishinta [16]

	Pulverisette 19 (€)
Mylly	
Suppilo	
Keruuastia 3 l	
Roottori V-terillä	
0,5 mm trapetsiseula	
1 mm trapetsiseula	
2 mm trapetsiseula	
6 mm neliöperforointi seula	
Näytteenkeruusykloni	
näytteenkeruu astia 2 l	
Adapteri	
Jalusta	
<b>Yhteensä</b>	<b>20000</b>

Tämän vaihtoehdon etu on alhaiset hankintakustannukset. Pulverisette 19 syklonin kanssa, sopii hyvin testauksen perusteella ainakin puuhakkeille ja jauhatus alle 1 mm pohjaseulan läpi oli hyvin nopeaa. Kahdella myllyllä jauhettaessa näytteen esikäsittely nopeutuisi merkittävästi. Myös pölyntyminen vähenisi merkittävästi, sillä suurin osa pölyntymisestä vanhaa myllyä käytettäessä tulee, kun jauhetaan 1 mm pohjaseulalla.

Vaihtoehdon toteutuminen vaatisi kuitenkin Retschn SM 2000 toimintavarmuuden takaamista, kun varaosien saanti jatkossa vaikeutuu myllyn ikääntyessä. Jauhaminen pystyttäisiin hoitamaan myös pelkästään Pulverisette 19 avulla, mutta silloin esikäsittely taas hidastuisi. Myös näytteen jakaminen tapahtuisi käsin neliöimällä kuten ennenkin.

## 8.2 Retsch SM300 ja sykloni

Retsch SM300 odotuksena oli, että sitä voitaisiin käyttää yksinään ja jauhaminen tapahtuisi kerralla haluttuun analyysikokoon. Myllyn varustuksena olisivat universal syötösuppilo, levyroottori, 0,5 mm ja 1 mm trapetsiseulat sekä 2 mm, 6 mm ja 10 mm neliöseulat. Myllyn ja lisälaitteiden yhteishinta on esitetty taulukossa 6. Taulukosta puuttuu keräysastian hinta, jota ei ollut laitettu tarjoukseen. [17,18]

Taulukko 6. Retsch SM300 myllyn, syklonin ja lisälaitteiden yhteishinta [17,18]

	Retsch sm300 (€)
Mylly	
Suppilo	
Levyroottori	
0,5 mm seula	
1 mm seula	
2 mm seula	
6 mm seula	
10 mm seula	
Sykloni	
Imuri	
<b>Yhteensä</b>	<b>21000</b>

Retsch SM300 testaus ei ollut odotusten mukainen. Mylly ei pystynyt lupauksista huolimatta, jauhamaan isosta partikkelikoosta pieneen yhdellä jauhatuksella. Jos mylly olisi tähän pystynyt, se olisi tukenut hankintapäätöstä. Nyt myllyn hankinnalle ei juuri ole perusteita, sillä jauhaminen ja esikäsittely eivät nopeutuisi eivätkä helpottuisi. Syklonia ja imua ei testattu, niillä saattaisi olla jauhamiseen nopeuttava ja helpottava vaikutus.

Nyt testauksen perusteella jauhaminen täytyisi suorittaa kahdessa erässä, ensin 10 mm seulan läpi ja sitten haluttuun analyysipartikkelikokoon.

### 8.3 Fritsch Pulverisette 19/25 ja sykloni

Fritsch Pulverisette 19/25 mylly-yhdistelmällä pystyisi jauhamaan näytteen isosta partikkelikoosta suoraan analyysipartikkelikokoon sekä välissä oleva jakolaite jakaisi näytteen automaattisesti. Tarjoukseen kuuluisivat seuraavat tuotteet

- Pulverisette 19 mylly
- Pulverisette 25 mylly
- näytteenjakaja
- 2 l suppilo
- jalusta
- näytteenkeruusykloni
- kovametalli teräsarja
- seulakasetit valinnan mukaan.

Tämän vaihtoehdon hinta olisi 41000 [16]. Teoriassa Pulverisette 19/25 olisi optimaalinen leikkuumylly polttoaineille. Jos molemmat myllyt toimisivat yhtä hyvin kuin testattu Pulverisette 19 ja jakolaite toimisi ongelmitta, jauhaminen ja jakaminen nopeutuisivat selvästi. Myös näytteiden esikäsittelyyn tulisi lisää toistettavuutta ja automatisointia jakolaitteen ansiosta.

Myllyjen yhdistelmää ei päästy kuitenkaan testaamaan kokonaisuudessaan, joten sen toimivuudesta ei ole varmaa tietoa. Varsinkin kevyiden, muovia sisältävien, kierrätyspolttoaineiden kulkeutuminen koko yhdistelmän läpi voi olla hankalaa.



## 9 Yhteenveto

Bio- ja kierrätyspolttoaineiden sekä turpeen laadunvarmistusketjussa, näytteen esikäsitteilyllä laboratoriossa on näytteenoton lisäksi suuri merkitys. Puuperäisten polttoaineiden ja kierrätyspolttoaineiden käytön lisääntyessä energiantuotannossa, tulee laboratorioon saapuvien esikäsiteltävien näytteiden määrä myös kasvamaan. Näin ollen esikäsitteilyn laatuun ja tehokkuuteen on kiinnitettävä erityistä huomiota.

Tämän insinööriyön tarkoituksena oli selvittää Retschn ja Fritschn järeimpien leikkumyllyjen toimintaa ja niiden soveltuvuutta bio- ja kierrätyspolttoaineiden ja turpeen jauhatukseen. Myllyjä tarkasteltiin saatavilla olevien materiaalien sekä myllyjen edustajien kanssa keskustelemalla. Retschn SM300 sekä Fritschn Pulverisette 19 myös testattiin käytännössä.

Pulverisette 19 osoittautui testissä todella nopeaksi ja se sopi hyvin puupolttaineiden jauhatukseen. Jauhatuksen jälki oli myös hyvin tasalaatuista. Sykloni poisti hyvin pölyn ja näyte pysyi viileänä. Myllyn hankintakustannukset olisivat myös edullisimmat. Kierrätyspolttoaineen jauhatusta ei pystytty testaamaan, joten myllyn soveltuvuus muovia sisältäville näytteille jäi selvittämättä. Myllyn hankinnan ongelmana on se, että se ei toisi polttoaineiden esikäsitteilyyn juuri mitään uutta, näyte täytyisi kuitenkin jauhaa ensin 10 mm pohjaseulan läpi ennen analyysikokoon jauhamista ja näytteen jakaminen pitäisi suorittaa edelleen käsin.

Retsch sm300 oli teoriassa lupauksia herättävä. Näyte pystyttäisiin jauhamaan yhdellä jauhatuksella suoraan analyysikokoon. Testissä mylly ei kuitenkaan vakuuttanut, puupolttaineiden jauhaminen oli työlästä, mylly meni tukkoon ja syöttöaukko oli hankala. Myöskään sykklonia ei voitu testata.

Pulverisette 19/25 yhdistelmämylly ja jakolaite vaikuttavat teoriassa parhaimmalta vaihtoehdolta. Pohdintaa kuitenkin aiheuttaa yhdistelmän korkea hinta sekä se, että myllyyhdistelmää ei kokonaisuudessaan voitu testata.

Yhdistelmän alaosassa hienojauhatukseen käytettävä Pulverisette 19 toimi testissä moitteettomasti, joten ei ole syytä epäillä ettei myös yläosan karkeajauhin Pulverisette 25 toimisi hyvin. Myllyt ovat kuitenkin erotettavissa toisistaan ja niitä pystytään käyttä-

mään erillisinä myllyinä, jos ongelmia ilmenee. Jakolaitteen saa myös pois liitteen 1. kuvasarjan mukaisesti, jos halutaan jauhaa koko näyte analyysikokoon.

Tämän selvityksen perusteella voidaan todeta, että Pulverisette 19/25, syklonin ja näytteen jakajan kanssa on ainoa tarkastelluista myllyistä, jolla voitaisiin saada todellista etua tulevaisuudessa polttoainenäytteiden esikäsittelyyn. Muut tarkastellut myllyt tuottaisivat näytteen esikäsittelylle lisäarvoa hyvin vähän.

## Lähteet

- 1 Bioenergian käyttö. Verkkodokumentti. Motiva.  
[http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/bioenergia/bioenergian\\_kaytto](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia/bioenergian_kaytto)  
o. Luettu 7.5.2014
- 2 Energiateollisuus. Verkkodokumentti. <http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/energialahteet>. Luettu 21.3.2014.
- 3 Petri Vesanto, Matti Hiltunen, Antero Moilanen, Tommi Kaartinen, Jutta Laine-Ylijoki, Kai Sipilä & Carl Wilén. 2007. Kierrätyspolttoaineiden ominaisuudet ja käyttö. VTT tiedotteita.
- 4 Eija Alakangas. 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT tiedotteita.
- 5 Eija Alakangas, Matti Impola. 2013. Puupolttoaineiden laatuohje.VTT.
- 6 Energiaturpeen laatuohje 2006:Polttoaineluokitus ja laadunvarmistus, näytteenotto ja ominaisuuksien määrittäminen. 2006. Norden.
- 7 SFS-EN 15359. Kiinteät kierrätyspolttoaineet. Vaatimukset ja luokat. Suomen standardisoimisliitto. 2011.
- 8 Kiinteät biopolttoaineet. Näytteen esikäsittelymenetelmät, SFS-EN 14780:fi, Suomen Standardisoimisliitto. 2005.
- 9 Kiinteät kierrätyspolttoaineet. Laboratorionäytteen esikäsittelymenetelmät. SFS-EN 15443 Suomen Standardisoimisliitto. 2011.
- 10 Supplementary operating manual for cutting mill combination. 2014. Fritsch.
- 11 Cutting mills.2004. Esite. Fritsch,
- 12 Nurmela, Tuomo. 2014. Myyjä, Ordior Oy. Puhelin keskustelu 8.4.2014
- 13 Paasikangas, Hannu, 2014, Esikäsittelijä, Helsingin Energia, Keskustelu, 3.4.2014
- 14 Size reduction with cutting mills. 2006. Esite. Retsch,
- 15 Retsch. Verkkodokumentti. <http://www.retsch.com/products/milling/cutting-mills/sm-300/> . Luettu 20.3.2014.

16 Nurmela, Tuomo. 2014. Myyjä, Ordior Oy .Tarjous 14.1.2014

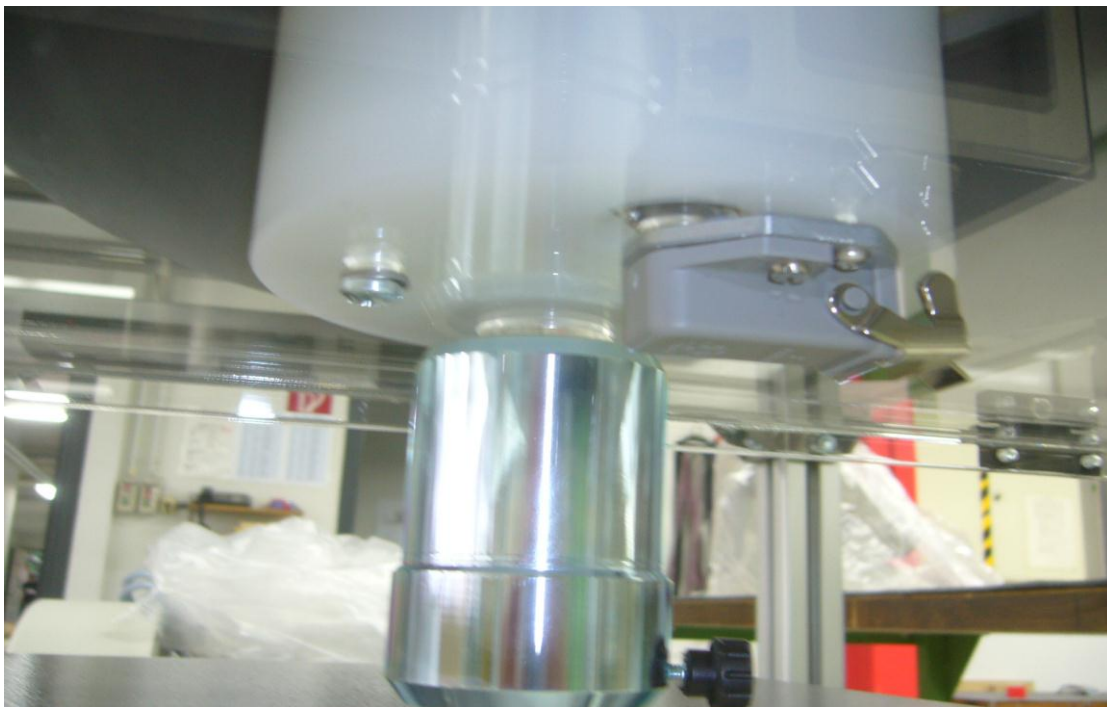
17 Koho, Timo. 2014. Myyjä, G.W.Berg Oy. Tarjous 14.1.2014

18 Koho, Timo. 2014. Myyjä, G.W.Berg Oy. Sähköposti 15.4.2014

### Kuvasarja näytteenjakajan poistamisesta käytöstä



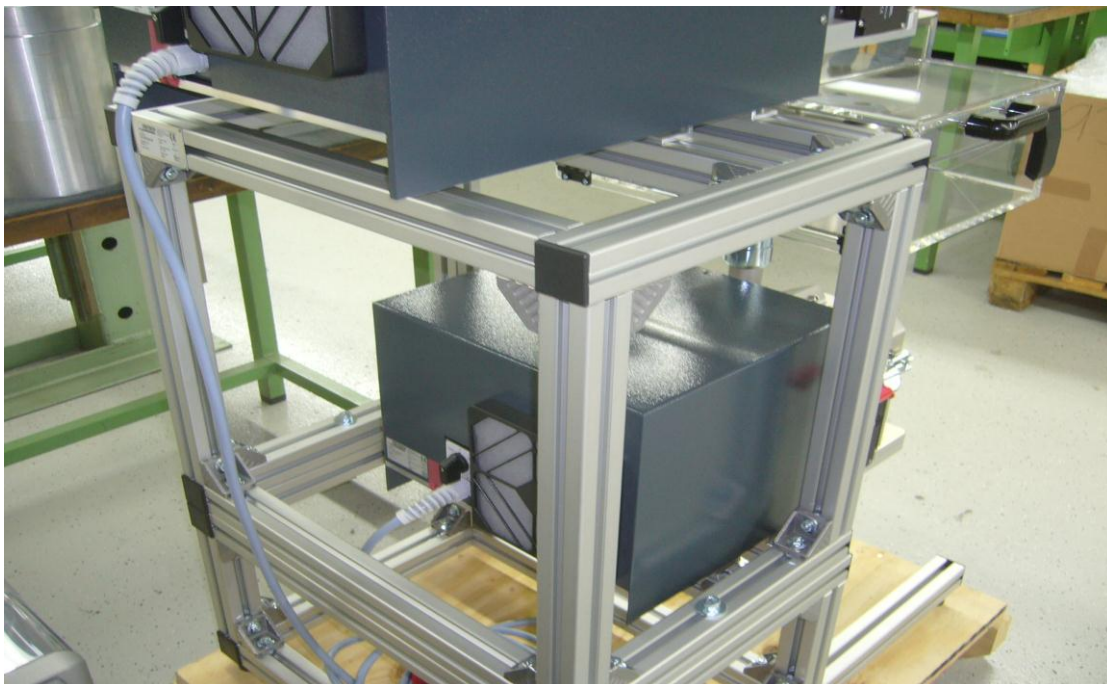
Kuva 17. Näytteenjakaja paikallaan myllyjen välissä. [Fritsch]



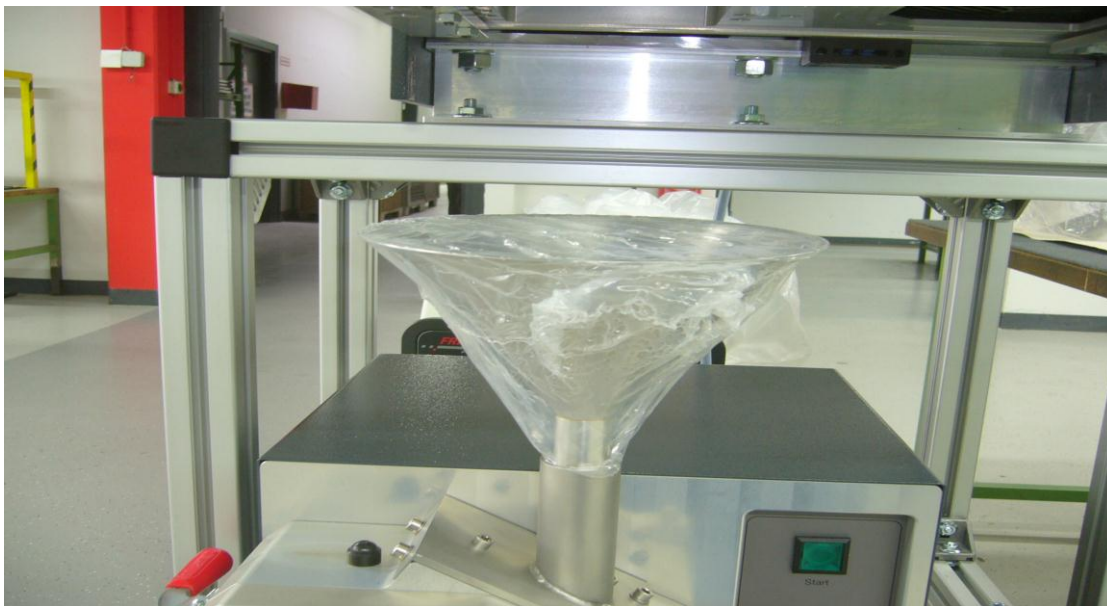
Kuva 18. Näytteenjakajanliitin lähikuvassa alhaaltapäin kuvattuna. [Fritsch]



Kuva 19. Näytteenjakaja ylhäältäpäin kuvattuna. [Fritsch]



Kuva 20. Näytteenjakaja voidaan poistaa irrottamalla se liittimestä ja vetämällä pois. [Fritsch]



Kuva 21. Näytteenjakajan paikalle on laitettu suppilo, jolloin koko näyte siirtyy jakamatta alempaan myllyyn. [Fritsch]



Kuva 22. Näytteenjakaja irrotettuna. [Fritsch]