



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

JÄTTEENPOLTON ARINAKUONASTA JALOSTETUN UUDEN PETIHIEKAN TUTKIMINEN LEIJUPETISOVELLUTUKSESSA

TEKIJÄ: Sallamari Piispanen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Energiatekniikan tutkinto-ohjelma			
Työn tekijä Sallamari Piispanen			
Työn nimi Jätteenpolton arinakuonasta jalostetun uuden petihiekan tutkiminen leijupetisovellutuksessa			
Päiväys	13.5.2020	Sivumäärä/Liitteet	44/3
Ohjaaja(t) Jukka Huttunen, Ari Mikkonen			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani Fortum Waste Solutions Oy			
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tässä työssä tutkittiin jätteenpolton arinakuonasta jalostettua petihiekkaa ja sen käyttäytymistä leijupedissä. Opinnäytetyö tehtiin Fortum Waste Solutions Oy:lle yhteistyössä Savonia-ammattikorkeakoulun kanssa. Tavoitteena oli tutkia uuden petihiekan soveltuvuus leijupetikattilaan. Tutkimukset ja koeajot tehtiin Savonia-ammattikorkeakoulun energiatutkimuskeskuksella ja laboratoriossa.</p> <p>Tutkimukseen kuuluivat uuden petihiekan koeajo, kylmäkokeet ja alkuaineanalyysit. Kylmäkokeisiin eli kattilan ulkopuolella tehtäviin kokeisiin kuuluivat kuumarasituskoe ja kulutuskoe. Kuumarasituskokeessa vertailukohteena olivat luonnonhiekkä, ilmajähdytetty- ja vesijähdytetty granuli. Kulutuskokeessa vertailukohteena oli luonnonhiekkä.</p> <p>Ensimmäinen erä petihiekkaa oli raekooltaan liian suurta. Hiekka ei lähtenyt kunnolla leijumaan energiatutkimuskeskuksen koeajokattilassa ja kattilaa ei saatu ajettua ylös. Toinen erä, oikeaan raekokoon seulottu hiekka, oli leijuominaisuuksiltaan yhtä hyvä kuin luonnonhiekkä, mutta lämmönkestävyys oli heikko ja peti sintraantui koeajossa heti automaattisen polttoaineen syötön käynnistyksen jälkeen.</p> <p>Alkuaineanalyysissä selvisi, että pohjakuonan pääalkuaineet olivat pii (Si), rauta (Fe), kalsium (Ca), magnesium (Mg), alumiini (Al), natrium (Na) ja kalium (K). Lisäksi selvisi, että petihiekka alkaa sintraantumaan jo matalassa, 580°C:n lämpötilassa.</p> <p>Alkuainepitoisuuksiin voitaisiin vaikuttaa mm. kattilaan syötetyllä polttoainesuhteilla. Jatkossa voitaisiin myös tutkia, onko kattilaan tai hiekan sekaan syötetyllä kalkilla vaikutusta sintraantumislämpötilaan. Itä-Suomen yliopisto pystyisi selvittämään termodynaamisilla tasapainolaskuilla alkuainepitoisuuden, jolla sintraantuminen vähentyisi.</p>			
Avainsanat			
jätteenpolton arinakuona, granuli, luonnonhiekkä, leijupeti, leijupetikattila			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Energy Engineering			
Author Sallamari Piispanen			
Title of Thesis Studying the New Bed Sand Refined from Furnace Slop in a Fluidized Bed Application			
Date	13 May 2020	Pages/Appendices	44/3
Supervisor(s) Jukka Huttunen, Ari Mikkonen			
Client Organisation /Partner Fortum Waste Solutions Oy			
<p>Abstract</p> <p>The purpose of the thesis was to investigate the new bed sand refined from the slag of waste combustion and its behavior in a fluidized bed. The thesis was made for Fortum Waste Solutions Oy in collaboration with Savonia University of Applied Sciences. The aim was to study the compatibility of the new sand for a fluidized bed boiler. The studies and tests were conducted at the Energy Research Centre and Laboratory of Savonia in Varkaus.</p> <p>The study included burn tests of the new bed sand, cold tests and elemental analyses. Cold tests or tests carried out outside the boiler, included a hot-grading test and a consumption test. In the hot-grading tests natural sand, air- and water cooled granulated blast furnace slag were the benchmark. In the consumption tests, natural sand was the benchmark.</p> <p>The first batch of new bed sand was too large in grain size. The sand did not properly fluidize in the boiler. Therefore the boiler could not be driven up. The second batch of new bed sand was well fluidized but sand did not resist heat and the bed agglomerated after the automatic fuel supply was started.</p> <p>In the elemental analysis it was found that the primary elements of the slag of waste combustion were silicon (Si), iron (Fe), calcium (Ca), magnesium (Mg), aluminium (Al), sodium (Na) and potassium (K).</p> <p>Elemental concentrations could be affected by the fuel ratio fed to the boiler. In the future it could also be examined whether the lime fed into the boiler or the sand-lime mix has an effect on the agglomeration temperature. At the University of Eastern Finland the elemental concentration can be ascertained by thermodynamic equilibrium calculations in order to decrease agglomeration.</p>			
Keywords			
slag of waste combustion, bed material, natural sand, blast furnace slag, fluidized bed, fluidized bed boiler, agglomeration			

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	6
1.1	Fortum Waste Solutions Oy	6
1.2	Savonia-ammattikorkeakoulu energiatutkimuskeskus	6
1.3	Rajaukset	7
1.4	Tavoitteet.....	7
2	JÄTTEENPOLTON ARINAKUONA	8
2.1	Kuonan ominaisuudet.....	8
2.2	Taustatiedot hiekasta	9
3	LEIJUKERROSPOLTTO.....	10
3.1	Leijupetikattila	11
3.1.1	Leijupeti	12
3.2	Kiertopetikattila	13
3.2.1	Kiertopeti.....	14
4	KYLMÄKOEET	15
4.1	Kuumarasituskoe	15
4.2	Kulutuskoe	25
5	KOEAJOT	28
5.1	Koeajo 1.....	28
5.2	Koeajo 2.....	29
6	ALKUAINEANALYYSIT	31
6.1	Agglomeraatio	34
7	MARKKINAT	35
8	LAINSÄÄDÄNTÖ	36
9	JOHTOPÄÄTÖKSET	39
	LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT	40
	LIITE 1. ENERGIATUTKIMUSKESKUKSEN PROSESSIKAAVIO.....	42
	LIITE 2: VOIMALAITOSREKISTERI	43
	LIITE 3: KOSTEUSPITOISUUS.....	44

Lyhenteet ja termit:

agglomeraatio	= hiukkasten yhteen liimautuminen
CHP	= sähkön- ja kaukolämmön yhteistuotanto
ekonomaiseri	= syöttöveden esilämmitin
EoW	= end of waste
granuli	= granuloitu masuunikuona
LUVO	= palamisilman esilämmitin
YVA	= ympäristövaikutusten arviointi
NaAlO_2	= natriumalumiinioksidi
NO_x	= typenoksidi
SiO_2	= silikaattioksidi/piioksidi
Al	= alumiini
Ca	= kalsium
Fe	= rauta
K	= kalium
Mg	= magnesium
Na	= natrium
Si	= pii
%	= prosentti
Nm^3/h	= normaali kuutio tunnissa
cm	= senttimetri
g	= gramma
kg	= kilogramma
kW	= kilowatti
m	= metri
m-%	= massaprosentti
m/s	= metri sekunnissa
mm	= millimetri
MW	= megawatti

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö tehtiin Fortum Waste Solutions Oy:lle yhteistyössä Savonia-ammattikorkeakoulun kanssa. Työn tarkoituksena oli tutkia jätteenpolton arinakuonasta jalostetun petihiekan soveltuvuutta leijupetikattiloihin. Tutkimuksen koeajot ja osa muista kokeista tehtiin Savonia-ammattikorkeakoulun energiatutkimuskeskuksella. Hiekasta tehdyt alkuaineanalyysit teki Itä-Suomen yliopisto.

1.1 Fortum Waste Solutions Oy

Fortum tarjoaa ja kehittää ratkaisuja sähköön, lämpöön, jäähdytykseen ja resurssitehokkuuteen. Lisäksi yhtiö tarjoaa myös asiantuntijapalveluita, joihin kuuluvat palvelut voimalaitoksille ja älykkäät energiaratkaisut. Vuonna 2019 liikevaihto oli 5447 miljoonaa euroa, liikevoitto 110 miljoonaa euroa ja vertailukelpoinen liikevoitto 1191 miljoonaa euroa. (Fortum, 2020a.) Fortum Waste Solutions Oy on Fortumin kierrätys- ja jätepalveluliiketoimintaa, joka tarjoaa asiakkailleen ratkaisuja ympäristöasioiden hallintaan, vaarallisten jätteiden käsittelyyn ja erilaisten jättemateriaalien kierrätykseen maailmanlaajuisesti (Fortum 2020-1-31).

1.2 Savonia-ammattikorkeakoulu energiatutkimuskeskus

Savonia-ammattikorkeakoulun energiatutkimuskeskus tarjoaa tuotekehitys-, testaus ja koulutuspalveluja usealla energiaan liittyvillä osa-alueilla. Mittaus- ja testauspalveluita ovat mm. polttoainetestaus, korroosio- ja materiaalitestaus, bioöljyn poltin- ja polttotestaukset sekä starttikokeet, polttokokeet ja tulipesäkäyttäytyminen erilaisilla polttoaineilla ja katalyyteilla, savukaasupäästöjen mittaus ja puhdistuslaitemittaus sekä maalämpöjärjestelmä- ja vaihdintestaus. Tutkimuksia tehdään leijupeti-, arinakattila- ja pyrolyysipolttotestausympäristössä. Ns. kylmätestauksia voidaan myös suorittaa energiatekniikan laboratoriossa. Asiakkaina ovat teknologia-alan yritykset ja yhteisöt. (Energiatutkimuskeskus, 2020.)

Leijupetikattilaympäristössä on neljä eri segmenttiä ja takaveto. Leijupetikattila on teholtaan 300 kW, korkeudeltaan 8 metriä, halkaisijaltaan 494 mm ja savukaasumäärältään 600 Nm³/h. Hiekkapedin korkeus on noin 500 mm. Kattilassa on useita mittauspisteitä, joista nähdään polton aikana tapahtuva lämpötilakäyttäytyminen tutkittavalla polttoaineella ja hiekalla (ks. liite 1). (Energiatutkimuskeskus, 2020.)

1.3 Rajaukset

Opinnäytetyö on rajattu hiekan perustutkimiseen. Tutkimus perustuu yhteistyössä Savonia-ammattikorkeakoulun kanssa tehtyihin koeajoihin ja kylmäkokeisiin. Tutkimuksessa selvitetään oikea raekoko hiekalle, kuumansieto ja alkuaineanalyysit. Vertauskohteena kokeissa on luonnonhiekkä, ilma- ja vesijäähdytetty granuli. Jättemateriaalien leijupetihiekkaan liittyviä markkinoita ja lainsäädäntöä tutkitaan yleisellä tasolla.

1.4 Tavoitteet

Tavoitteena oli saada uusi jätteenpolton pohjakuonasta jalostettu petihiekka leijumaan energiatutkimuskeskuksen kattilassa, sekä selvittää minkälaiset mahdolliset markkinat uudella tuotteella on, ja minkälaisia lainsäädännön asioita kannattaa ottaa huomioon tulevaisuudessa. Tutkimuksella oli tarkoitus saada alustava tietopaketti hiekan soveltuvuudesta leijupetikattilaan ja mahdollisista jatkotoimenpiteistä toimeksiantajalle.

2 JÄTTEENPOLTON ARINAKUONA

Jätettä voidaan käsitellä termisesti kolmella eri tavalla: poltolla, kaasutuksella ja pyrolyysillä. Poltto-tekniikoita ovat mm. arinatekniikka, leijupetitekniikka sekä täydellinen hapettava palaminen. Termisessä käsittelyssä syntyy useita kiinteitä jätteitä, joita ovat pohjakuona, kattilatuhka, lentotuhka ja kaasujen puhdistusjäte (APC-jäte). Näiden muodostumiseen ja laatuun vaikuttavat mm. poltettava jäte ja sen koostumus, tulipesä ja sen toiminta, sekä savukaasujen käsittelyprosessi. Pohjakuonaa muodostuu noin 20-30 % poltettavan jätteen painosta. (Laine-Ylijoki ym. 2005, 15, 23.) Yhdyskuntajätettä hyödynnettiin energiana vuonna 2018, 1 732 451 tonnia (Tilastokeskus, 2020). Näin ollen laskettu pohjakuonan määrä on vuosittain n. 346 490 – 519 735 tonnia. Pohjakuona eli arinakuona on palamatonta materiaalia, joka on peräisin arinakattilan pohjalta.

2.1 Kuonan ominaisuudet

Pohjakuona koostuu palamattomasta materiaalista, joita ovat lasi, maamineraalit esim. kvartsi, metalli ja orgaaniset aineet sekä sulamistuotteista, joita ovat lasi, silikaattimineraalit ja oksidimineraalit esim. rauta ja kalkki. Kokonaismäärästä palamattomia materiaaleja on noin 15-45 % ja sulamismateriaaleja noin 55-85 %. (Laine-Ylijoki ym. 2005, 24.)

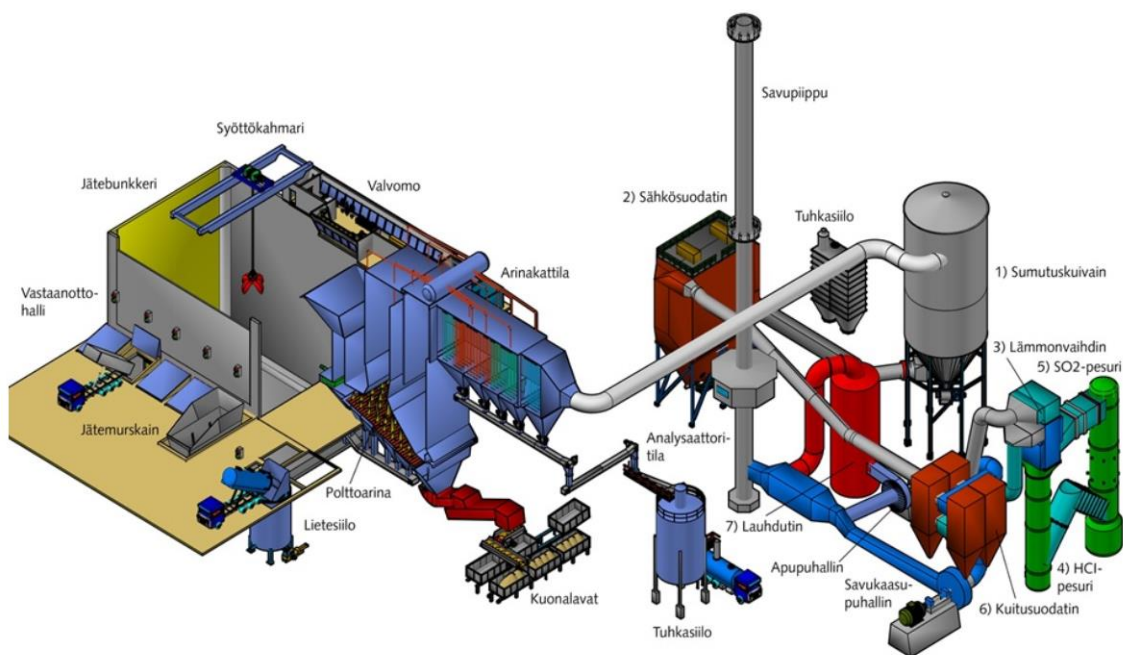
Pohjakuonasta pystytään määrittämään mineraaleista vain osa. Näitä ovat mm. amorfinen lasi, kvartsi, kalsiitti, maasälvät, hematiitti, magnetiitti, diopsidi, wollastoniitti, dolomiitti ja savimineraalit. Tuoreessa pohjakuonassa on kalkkia ja portlandiittia. Pohjakuona voidaan luokitella materiaaliltaan suhteistuneeksi eli sen rakeisuuskäyrät ovat loivan S-kirjaimen muotoisia. Hienojakoinen jae kuonasta on materiaaliltaan huokoista ja muodoltaan epäsäännöllistä. Useat maat seulovat kuonaa hyötykäyttöön, seulana käytetään 50 mm:n seula ja, sen lävitse päässyt kuona vastaa raekokokäyrltään hiekkaista soraa. Kuonaa seulotaan metallien erottamiseksi, tämän lisäksi käytetään mm. pyörrevirtaerottimia ja magneetteja. (Kaartinen ym. 2011, 24,28.) Taulukossa 1 on esitetty luonnonmaan ja pohjatuhkan alkuaineita. Useiden alkuaineiden määrä voi olla tuhkassa suurempi kuin luonnonmaassa.

TAULUKKO 1. Alkuaineet luonnonmaassa ja pohjatuhkassa (Laine-Ylijoki ym. 2005, 25.)

Alkuaine	Normaali vaihteluväli luonnonmaassa (mg/kg)	Vaihteluväli pohjatuhkassa (mg/kg)
Alumiini, Al	10 000–300 000	21 900–72 800
Antimoni, Sb	-	10–432
Arseeni, As	1–50	0,12–189
Barium, Ba	100–3 000	400–3 000
Elohopea, Hg	0,01–0,3	0,02–7,75
Kadmium, Cd	0,01–0,70	0,3–70,5
Kalsium, Ca	7 000–500 000	370–123 000
Kloori, Cl	20–900	800–4 190
Kromi, Cr	1–1 000	23–3 170
Kupari, Cu	2–100	190–8 240
Lyijy, Pb	2–200	98–13 700
Magnesium, Mg	600–6 000	400–26 000
Molybdeeni, Mo	0,2–5	2,5–276
Nikkeli, Ni	5–500	7–4 280
Rauta, Fe	7 000–550 000	4 120–150 000
Sinkki, Zn	10–300	613–7 770

2.2 Taustatiedot hiekasta

Tutkimuksessa käytetty hiekka on peräisin Fortum Waste Solutions Oy:n Riihimäen Voimala 1:n pohjakuonasta (ks. kuva 1). Voimalassa poltetaan kyllästettyä puuta, rakennus- ja purkujätettä, vaarallista jätettä, korkeanlämpöarvon jätettä, kaupan- ja teollisuuden jätettä, matalan lämpöarvon jätettä, yhdyskuntajätettä, muita jätteitä sekä luokittelemattomia jätteitä (Sormunen 2020-2-13).



Numerot 1–7, savukaasujen puhdistuksen vaiheet

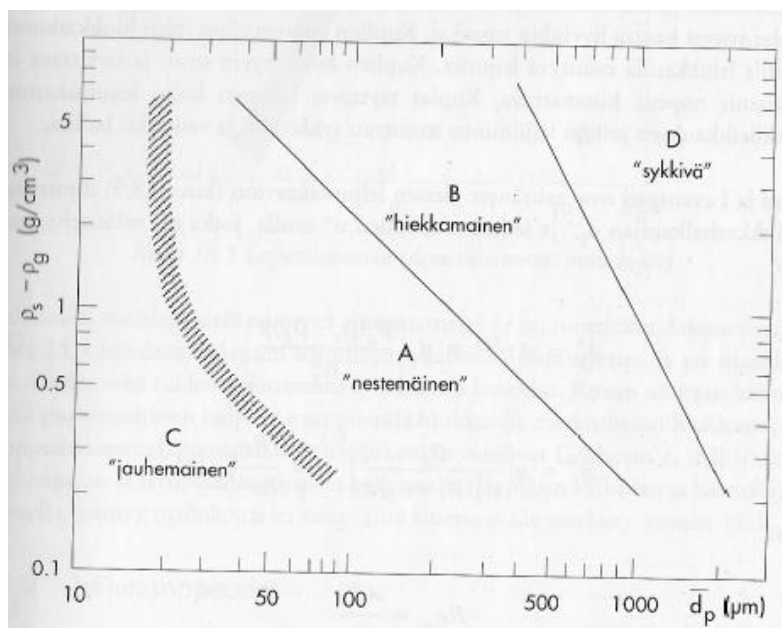
KUVA 1. Riihimäen voimala 1 prosessikaavio (Fortum, 2020b.)

3 LEIJUKERROSPOLTTO

Leijukerros polttoa sovelletaan kahden tyyppisissä kattiloissa, leijupetikattiloissa ja kiertoleijukattiloissa. Leijukerros poltto mahdollistaa erilaisten polttoaineiden polton kattilassa hyvällä hyötysuhteella. On olemassa kahta erilaista leijukerrosta, leijupeti ja kiertoleiju. Ero näissä on hiekan raekoko ja ilmavirta hiekkapedin läpi. Kuplivaa leijukerrosta eli leijupetiä käytetään leijupetikattiloissa ja kiertoleijua käytetään kiertoleijukattiloissa tai toiselta nimitykseltään kiertopetikattiloissa. Leijukerrokseen syötetään ilmaa pedin alapuolelta, ilmavirran kasvaessa painehäviö kasvaa ja tietyn nopeuden saavuttaessa se on kasvanut hiekkakerroksen hydrostaattisen paineen suuruiseksi. Tällöin hiekanjyvään on ilmavirtauksesta kohdistunut voima, joka on yhtä suuri kuin maan vetovoima ja hiekkakerros alkaa leijua. Kun leijutusnopeutta lisätään, alkaa peti laajentua. (Huhtinen ym. 2000, 153-155.)

”Laajenemista kuvataan leijukerroksen tyhjän tilan osuudella (ϵ), jolla tarkoitetaan hiukkasten väliin jäävän leijutusväliaineen täyttämän tilavuuden suhdetta koko leijukerroksen tilavuuteen.” (Huhtinen ym. 2000, 155).

Leijutusnopeutta, jolla saadaan hiekka leijumaan, kutsutaan minimileijutusnopeudeksi. Maksimileijutusnopeus tarkoittaa partikkelien vapaata putoamisnopeutta eli terminaalinopeutta. Hiukkaset eivät ole pallomaisia vaan epäsymmetrisiä. Geldartin leijutiladiagrammin (ks. kuva 2), avulla voidaan likimääräisesti arvioida materiaalin soveltuvuus leijutukseen. Leijukerroksessa lämpötila on yleensä 750-900 °C. Maksimipolttolämpötilan on oltava polttoaineen tuhkan pehmenemislämpötilan alapuolella. (Raiko ym. 2002, 490-493.) Tämän vuoksi petihiekan lämpötilan sieto on oltava korkeampi kuin polttoaineen tuhkan pehmenemislämpötilan. Tällä estetään pedin sintraantumisen.

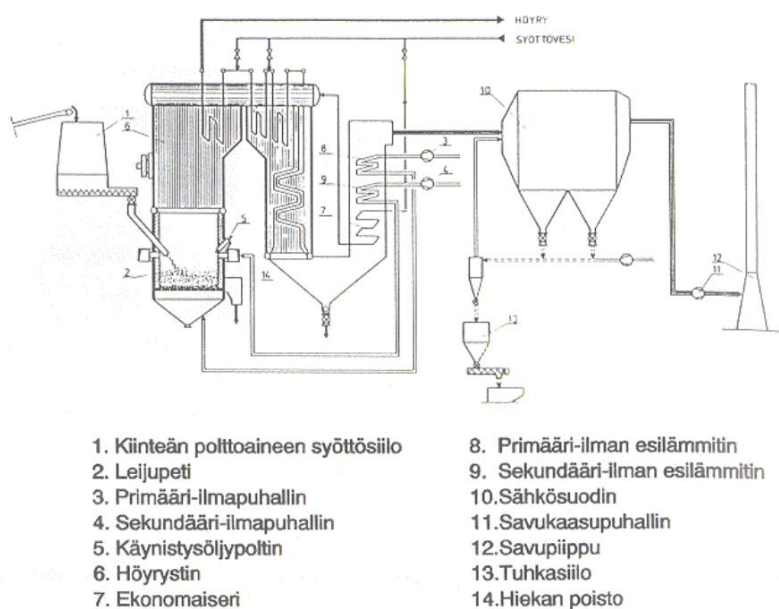


KUVA 2. Geldartin leijutiladiagrammi (Raiko ym. 2002, 493.)

3.1 Leijupetikattila

Kuvassa 3 nähdään leijupetikattilan toimintaperiaate. Kattilan polttoaineen syöttö on mekaaninen. Mekaaninen syöttöjärjestelmä sallii laajemman kokojakauman ja polttoainetta ei tarvitse esikäsitellä niin paljoa verrattuna pneumaattiseen järjestelmään. Polttoaine syötetään suoraan pedin päälle kuljettimien, sulkusyöttöimien ja pudotusputkien avulla. Pudotusputkia on kattilassa useita, jotta polttoaine jakautuu tasaisesti pedin päälle. Pedillä on suuri lämpökapasiteetti, jonka vuoksi kattila käy myös kosteiden polttoaineiden polttoon. Kuumaan petiin sekoittuva polttoaine kuivuu ja lämpenee syttymislämpötilaan nopeasti. Kattilaan syötetään ilmaa primääri- ja sekundääri-ilmanpuhaltimilla. Ilma on esilämmitetty LUVO:ssa. Kun kattila ajetaan ylös, on peti esilämmitettävä 500-600 °C:n. Esilämmitys toteutetaan käynnistyspolttimilla, jotka ovat yleensä öjy- tai kaasulämmitteisiä. (Huhtinen ym. 2000, 157-158.)

Syöttöveden esilämmittimestä eli ekonomaiserista tullut syöttövesi syötetään lieriöön ja lieriön laskuputkien kautta höyrystinpinnoille, jossa osa vedestä höyrystyy. Päähöyrystin on tulipesän ympärillä mutta osa höyrystimestä voidaan sijoittaa tulistimien jälkeen kakkosvetoon. (Huhtinen ym. 2016, 38.) Kattilassa on kaksi savukaasupuhallinta ja yksi savukaasun kierrättämiseen tarkoitettu puhallin. Savupiipun tehtävä on vedon synnyttäminen kattilaan ja savukaasuemission ohjaaminen laajalle alueelle. Savukaasujen puhdistusmenetelmiä on olemassa useita mm. sähkösuodatin, dynaamiset erottimet, letkusuodattimet ja savukaasupesurit. Leijupedissä oleva tuhka poistetaan päästämällä hiekkaa pois arinan aukosta. Hiekka seulotaan ja puhdistettu hiekka voidaan palauttaa takaisin kattilaan. (Huhtinen ym. 2000, 158-251.)



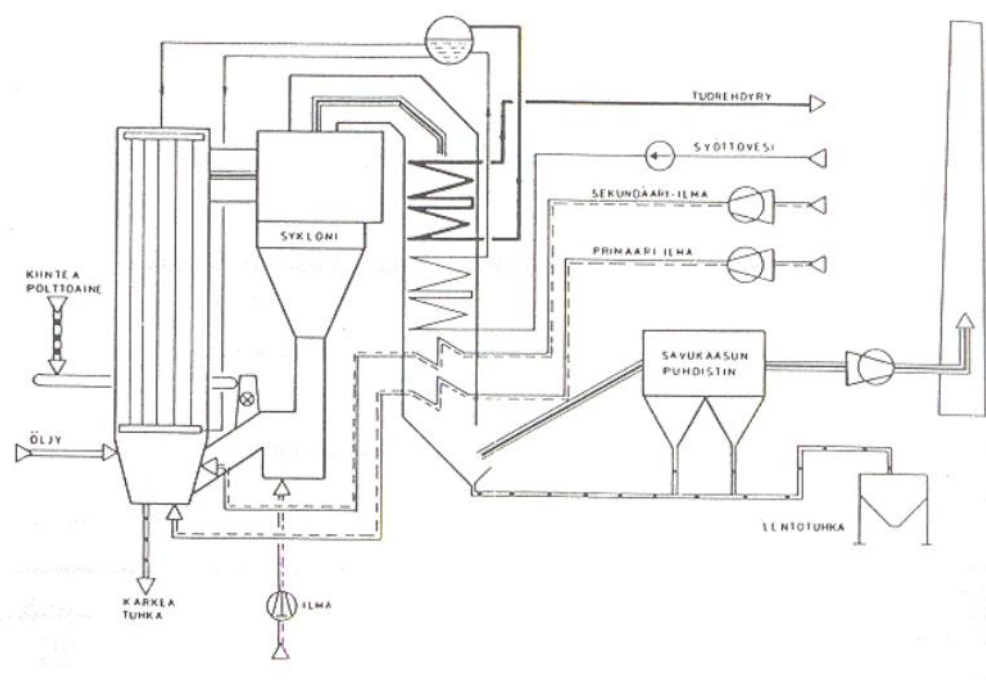
KUVA 3. Leijupetikattilan toimintaperiaate (Huhtinen ym. 2000, 158.)

3.1.1 Leijupeti

Leijupedissä leijutusnopeus on 0,7-2 m/s, hiekkapedin korkeus on 0,4-0,8 m ja käytettävän hiekan keskiraekoko on 1-3 mm (Huhtinen ym. 2000, 157). Kattiloissa käytetään myös hiekkaa raekoolla 0,5-1,6 mm ja 0,5-2 mm (Huttunen 2020-04-11). Leijutus alkaa, kun leijukerroshiukkasten kosketus toisiinsa häviää ja hiukkaset alkavat liikkua. Kun leijutusnopeutta edelleen kasvatetaan, alkaa leijukerroksessa esiintyä kuplia, jotka nousevat ylöspäin. Leijukerroksen pinta on selkeästi vielä havaittavissa. Leijukerroksen polttoilmasta puolet tuodaan leijutusarinan kautta. Loput ilmasta tuodaan yläpuoliseen jälkipalotilaan, ja oikealla ilmanvaiheistuksella voidaan vähentää polton NO_x -päästöjä. (Raiko ym. 2002, 490-492.)

3.2 Kiertopetikattila

Kuvassa 4 nähdään kiertopetikattilan toimintaperiaate. Polttoaine syötetään kattilaan etuseinän kautta tai syklonista palaavan hiekan joukkoon. Palamisilma tulee kattilaan primääri-ilmansuuttimista kattilan pohjasta. Sekundääri-ilma syötetään muutama metri arinan yläpuolelta useasta eri kohdasta. Kattilan ylösajoa varten polttimet ovat samanlaiset kuin leijupetikattilassakin. Ilma ja syöttövesi lämmitetään ekonomaiserissa ja LUVOssa. Kiertopetikattilan erona leijupetikattilaan on sykloni. Syklonissa kaasuvirtauksen mukana tulevat pedin ja polttoaineen hiukkaset erottuvat savukaasusta, jotka palautetaan takaisin tulipesään. Savukaasu virtaa sykloniin n. 20 m/s, jotta erotusaste olisi mahdollisimman hyvä. Syklonin erotuskyky huononee, jos sykloni on liian leveä. Syklonin halkaisija on yleensä alle kahdeksan metriä. Karkea tuhka eli polttoaineen mukana tulevat kivet ja tuhka-agglomeraatit poistetaan arinan läpi kuonakuljettimelle. Poistettu hiekka voidaan palauttaa takaisin kattilaan seulottuna oikeaan raekokoon. Hienojakoinen tuhka poistuu savukaasujen mukana kattilasta ja lentotuhka poistetaan savukaasujen puhdistuksessa. Syklonin jälkeen sijaitsevat osa tulistimista ja ekonomaiserit sekä LUVO. (Huhtinen yms. 2000, 159-162.)



KUVA 4. Kiertopetikattilan toimintaperiaate (Huhtinen yms. 2000, 160.)

3.2.1 Kiertopeti

Kiertopedissä käytettävän hiekan raekoko on 0,1-0,5 mm ja leijutusnopeus on 3-10 m/s (Huhtinen ym. 2000, 159). Leijutusnopeuden kasvaessa lähelle terminaalinopeutta, häviävät leijukerrokselle tyypilliset kuplat ja leijukerroksen selkeä pinta. Kupliva leijupeti muuttuu turbulenttiseksi leijutilaksi. Leijutusnopeuden kasvaessa yli terminaalinopeuden, alkaa hiukkaset kulkeutua ylöspäin kaasun mukana. Syklonin avulla saadaan hiukkaset erotettua kaasusta ja palautettua takaisin kattilaan. (Raiko ym. 2002, 491.)

4 KYLMÄKOKKEET

Kylmäkokeet eli kattilan ulkopuolella tehtävät kuumarasituskokeet ja kulutuskokeet tehtiin Savonia-ammattikorkeakoulun energiatutkimuskeskuksella ja laboratoriossa. Kuumarasituskokeen tarkoituksena oli selvittää petimateriaalin käyttäytymistä eri lämpötiloissa eli sintraantuuko tai tuleeeko hiekkaan muita olomuodon muutoksia. Petimateriaaleilta voidaan vaatia 1000°C:n kestävyyttä, kuumarasituskokeella voidaan tarkastella lämpötilan vaikutuksia ja verrata niitä muihin tunnettuihin petimateriaaleihin (Ylönen, 2020).

Kulutuskokeen tarkoituksena oli tutkia petimateriaalin leijumista sekä selvittää, paljonko hiekka kuluu ja miten raekoko muuttuu paineilmalla puhaltaessa. Paineilman määrää tiputettiin paineenalentimella vastaamaan kattiloissa käytettävää primääri-ilman määrää. Kulutuskoelaitteistolla pystytään myös tarkastelemaan paljonko leijutusilman tarve ja pedin paine on.

Kylmäkoetutkimuksilla pystyttiin toteamaan petimateriaalin soveltuvuus leijupetikäyttöön. Testeillä ei ole standardia, mutta useiden testien perusteella olimme todenneet soveltuvuuden ko. toimintaan. (Ylönen, 2020.)

4.1 Kuumarasituskoe

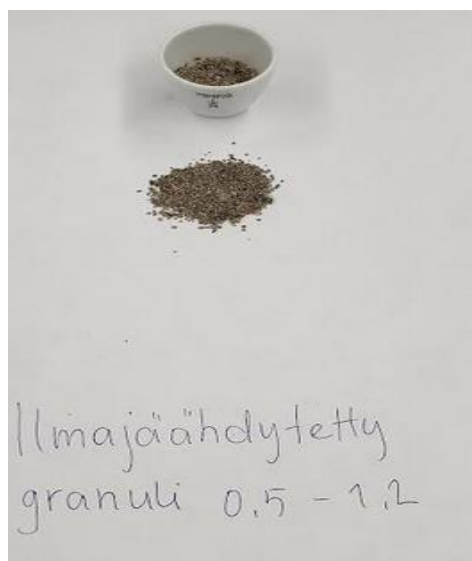
Kuumarasituskoe tehtiin ensimmäiselle toimitetulle hiekalle putkiuunissa (ks. kuva 5). Vertailuhiekaksi otettiin ilmajäähdytetty granuli, raekoko oli 0,5-1,2 mm. Hiekka punnittiin polttoupokkaisiin, joissa näytteen massa oli 5 g. Uunin lämpötila nostettiin 1200 °C:seen. Fortumilta tullut hiekka suli upokkaaseen ja ilmajäähdytetty granuli pysyi irtonaisena, eikä siinä ollut havaittavissa sintraantumista (ks. kuva 6 ja 7).



KUVA 5. Putkiuuni (Piispanen 2019-11-7.)

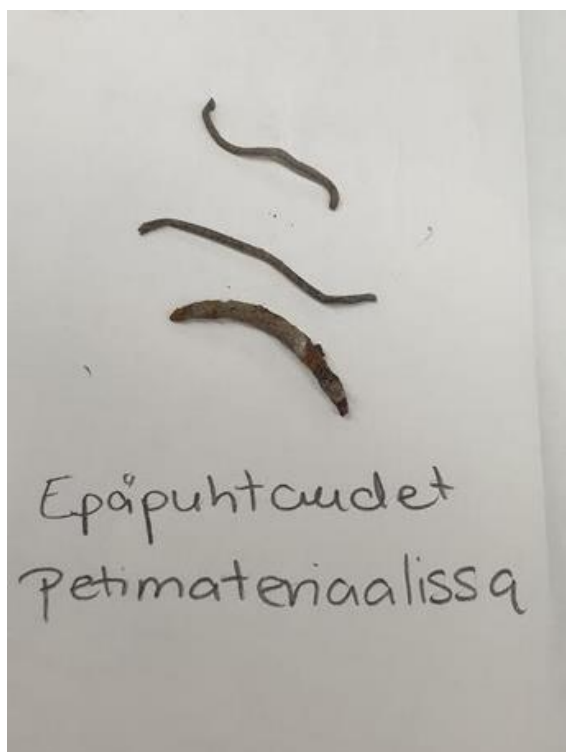


KUVA 6. Fortumin hiekka kuumarsitusko-
keen jälkeen (Piispanen 2019-11-8.)

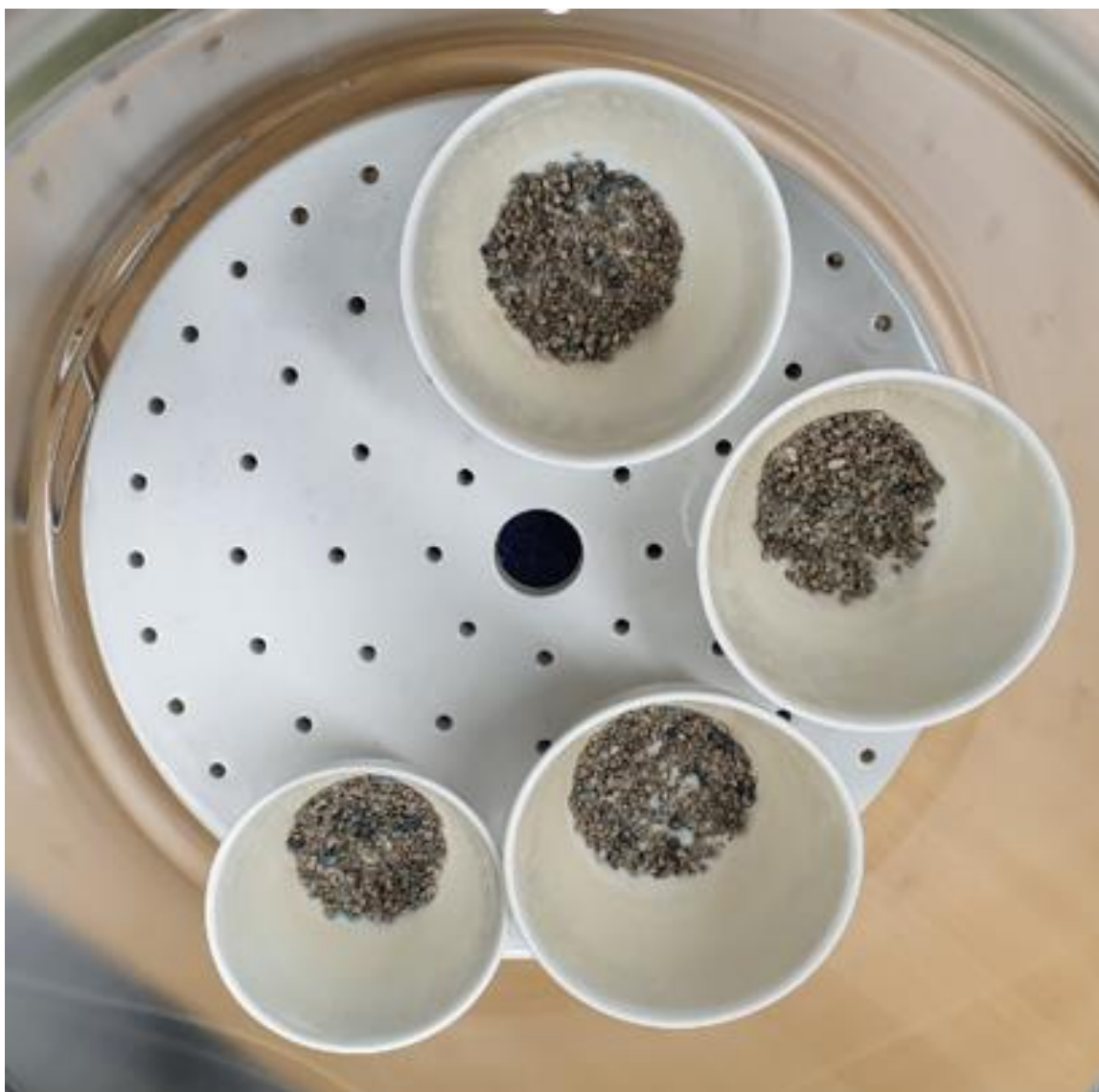


KUVA 7. Ilmajäähdytetty granuli kuumara-
situskokeen jälkeen (Piispanen 2019-11-8.)

ROHDE-uunissa upokkaita kuumennettiin 815°C:ssa ja 950°C:ssa, joista yritettiin seuloa pois epäpuhtaudet (ks. kuva 8). Sintraantumista ei tapahtunut näissä lämpötiloissa. Sinisiä hiekanjyviä ilmes-
tyi hiekkaan 950°C:ssa (ks. kuva 9).



KUVA 8. Epäpuhtaudet petimateriaalissa (Piispanen 2019-11-15.)



KUVA 9. Siniset hiekanjyvät (Piispanen 2019-12-13.)

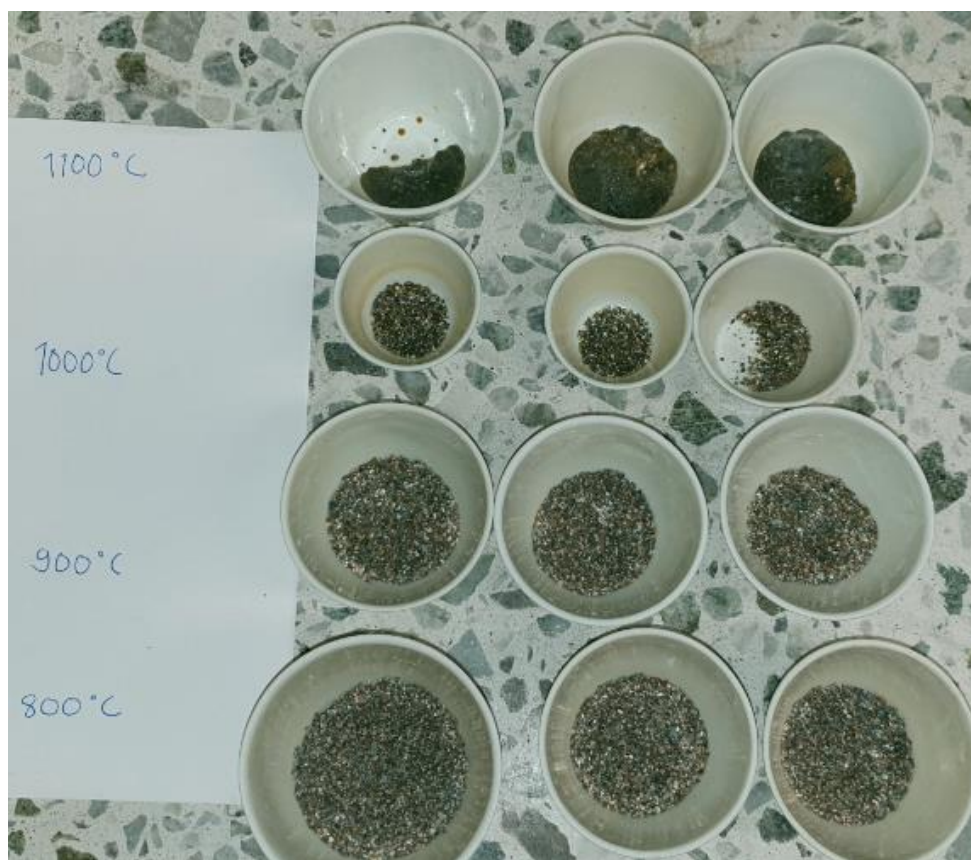
Toinen kuumarasituskoetehtiin seulotulle hiekalle ROHDE-uunissa (ks. kuva 10). Lämpötilat nostettiin 800°C:seen, 900°C:seen, 1000°C:seen ja 1100°C:seen (ks. taulukko 2 ja kuva 11). Näytteet punnittiin polttoupokkaksiin, joita oli neljä kappaletta ja niiden massat olivat n. 4-20 g. Vertailuhiekkanäyte toimi luonnonhiekkana sekä ilmajäähdytetty- ja vesijäähdytetty granuli.

TAULUKKO 2. Kuumarasituskokeiden tulokset

Lämpötila [°C]	Fortum	Luonnonhiekkana	Ilmajäähdytetty granuli	Vesijäähdytetty granuli
800	Sintraantumista tapahtuu, puolet hiekasta irtoaa kokkareina. Seassa sinistä hiekanjyvää (ks. kuva 12).	Ei sintraantumista, hiekkana irtanaista (ks. kuva 14).	Ei sintraantumista, hiekkana irtanaista (ks. kuva 15).	Ei sintraantumista, muutamia pieniä liimaantuneita hiekanjyviä (ks. kuva 16).
900	Hiekka sintraantuu enemmän kuin edellisessä lämpötilassa. Hiekanjyviä irttoa vähän koputtamalla ja loppu osa kivikovaa. Seassa sinistä hiekanjyvää (ks. kuva 12).	Ei sintraantumista, hiekkana irtanaista (ks. kuva 17).	Ei sintraantumista, hiekkana irtanaista (ks. kuva 17).	Ei sintraantumista (ks. kuva 17), muutamia pieniä liimaantuneita hiekanjyviä (ks. kuva 18). Irtoavat kuitenkin toisistaan kokeilemalla.
1000	Hiekka sintraantuu, muutamia hiekanjyviä irttoa koputtamalla. Sinisiä hiekanjyviä ei ollut enää upokkaassa (ks. kuva 12).	Ei sintraantumista (ks. kuva 19).	Ei sintraantumista (ks. kuva 20).	Ei sintraantumista. Väri vaihtui (ks. kuva 20).
1100	Hiekka sulaa (ks. kuva 13).	Ei sintraantumista. Väri vaihtuu (ks. kuva 21).	Ei sintraantumista (ks. kuva 22).	Ei sintraantumista. Väri vaihtui (ks. kuva 22).



KUVA 10. ROHDE-uuni (Piispanen 2020-1-29.)



KUVA 11. Fortumin hiekka, kuumarasituskokeen tulokset (Piispanen 2020-1-11.)



KUVA 12. Fortumin hiekka, kuumennettu vasemmalla 800°C:ssa, keskellä 900°C:sa ja oikealla 1000°C:ssa (Piispanen 2020-1-11.)



KUVA 13. Fortumin hiekka kuumennettu 1100°C:ssa (Piispanen 2020-1-9.)



KUVA 14. Luonnonhiekka kuumennettu 800°C:ssa (Piispanen 2020-2-14.)



KUVA 15. Ilmajäähdytetty granuli kuumennettu 800°C:ssa (Piispanen 2020-2-14.)



KUVA 16. Vesijäähdytetty granuli kuumennettu 800°C:ssa (Piispanen 2020-2-14.)



KUVA 17. Kuumennettu 900°C:ssa, vas. vesijähdytetty granuli, kesk. ilmajähdytetty granuli ja oik. luonnonhiekkä (Piispanen 2020-2-15.)



Kuva 18. Vesijähdytetty granuli kuumennettu 900°C:ssa (Piispanen 2020-2-15.)



KUVA 19. Luonnonhiekkä kuumennettu 1000°C:ssa (Mikkonen 2020-2-16.)



KUVA 20. Kuumennettu 1000°C:ssa, vas. vesijäähdytetty granuli ja oik. ilmajäähdytetty granuli (Mikkonen 2020-2-16.)



KUVA 21. Kuumennettu 1100°C:ssa, vasemmalla keskellä luonnonhiekkia (Mikkonen 2020-2-17.)



KUVA 22. Kuumennettu 1100°C:ssa, vas. vesijähdytetty granuli ja oik. ilmajähdytetty granuli (Mikkonen 2020-2-17.)

4.2 Kulutuskoe

Kuvassa 23 on kulutuskoelaitteisto. Hiekka kaadettiin astiaan tiettyyn pisteeseen asti. Astian pohjassa on ilmasuuttimet, joilla mallinnettiin kattilassa olevia primääri-ilmanpuhaltimen suuttimia. Pohjan ilmasuuttimista puhalletaan hiekkapetiin paineilmaa. Paineilman määrää säädettiin mustasta venttiilistä ja tarkkailtiin laitteistoon kuuluvasta paineilmamittarista.



KUVA 23. Kulutuskoelaitteisto (Piispanen 2019-11-22.)

Kulutuskokeen aikana Fortumin petihiekan paineilman määrä pidettiin n. 0,302 bar:ssa ja luonnonhiekkalla 0,275 bar:ssa. Paineilma säädettiin astiassa sopivan leijutuksen aikaansaamiseksi hiekka kohtaisesti. (Ylönen, 2020.) Puolen tunnin kuluttua hiekasta otetaan ensimmäinen näyte. Tämän jälkeen hiekan kulutusta ilmalla jatkettiin viisi tuntia, jonka jälkeen otettiin uusi näyte. Hiekka punnittiin ennen kokeen alkua ja loppumisen jälkeen. Lopuksi näytteistä tehtiin hiekkaseula seulakoneella, ks. kuva 24. Hiekkaseulat ovat kooltaan 0,125-2,000 mm. Seulat ovat DIN ISO 3310-1 standardin mukaiset, joiden verkot ovat valmistettu punotusta ruostumattomasta teräksestä (Ylönen, 2020).

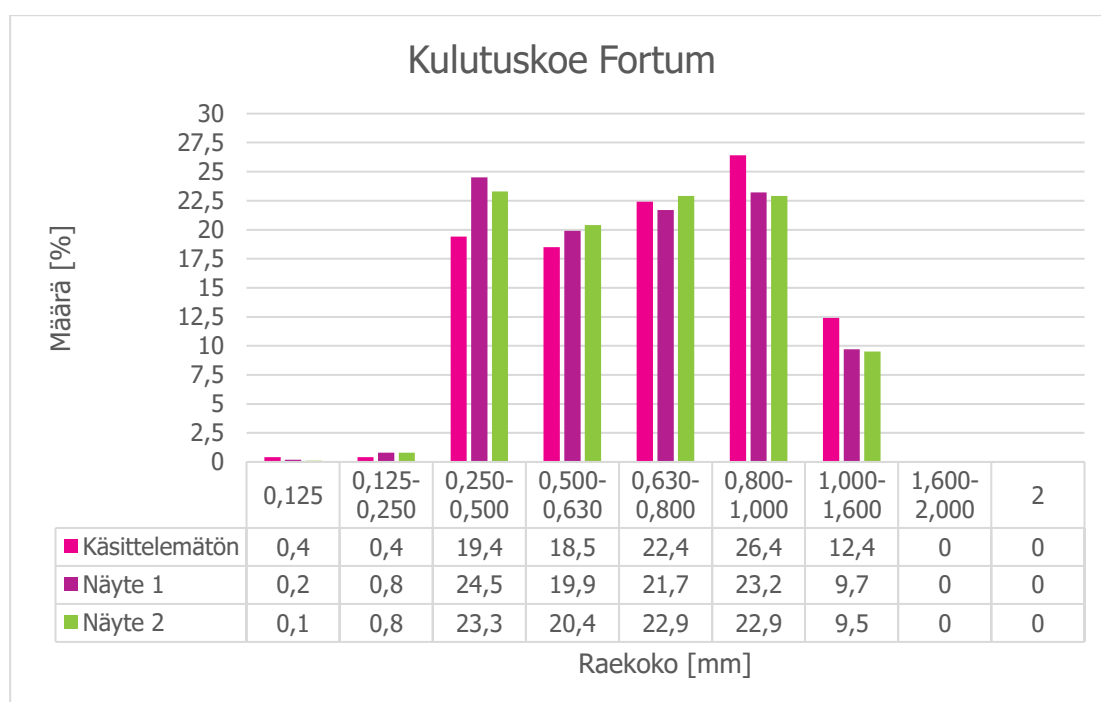
Seulakone AS200 Control Retsch

- Käytetään seosten raekokojakauman määrittämiseen
 - Mikroprosessoriohjattu digitaalisilla ajan ja amplituudin säädöillä
 - Mittausalue 45 μm – 4 mm
 - Fraktioiden määrä joko 9 tai 17
 - Näytemäärä max 3 kg
 - Easysieve Comfort –ohjelmisto
- Seulasarja:
- 200 x 50 mm ISO 33d
 - 45, 63, 125, 250, 500 μm seulat
 - 1, 2, 4 mm seulat



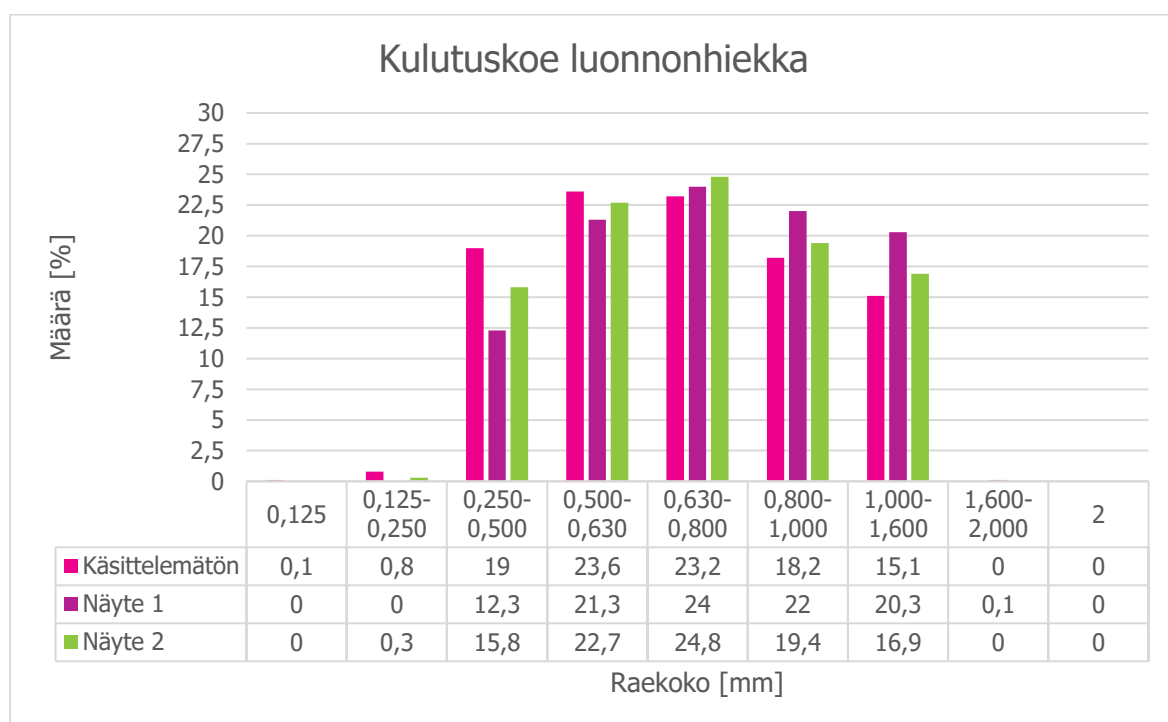
KUVA 24. Seulakone As200 Control Retsch (Ylönen, 2020.)

Kuviosta 1 voidaan tarkastella Fortumin petihiekan raekoon muuttumista kulutuskokeen aikana. X-akselilla on ilmoitettu raekokojakaumat (mm) ja y-akselilla prosentuaalinen määrä sadasta prosentista. Kuviosta voidaan todeta, että prosentuaalinen määrä kokonaismäärästä pienenee eniten raekoissa 0,800-1,000 mm ja 1,000-1,600 mm, kun taas raekoissa 0,125-0,250 mm, 0,250-0,500 mm ja 0,500-0,630 mm prosentuaalinen määrä kasvaa. Raekoissa 0,630-0,800 mm hiekan prosentuaalinen määrä pysyy lähes samana. Hiekan alkumassa ennen kokeen aloitusta oli 7,3 kg, ja loppumassa oli 7,25 kg. Hiekkaa hävisi kokeen aikana 0,05 kg. Hiekan seassa oleva tomu ja jauhautumisen takia tuleva tomu poistui astiasta ilmvirtauksen mukana (Ylönen, 2020).



KUVIO 1. Kulutuskoe Fortumin petihiekka

Toinen kulutuskoe tehtiin luonnonhiekalle. Kuviosta 2 voidaan tarkastella, että prosentuaalinen määrä kokonaismäärästä pienenee raekoossa 0,250-0,500 mm ja 0,500-0,630 mm. Prosentuaalinen määrä kasvaa hieman raekoossa 0,630-0,800 mm, ja suurempi prosentuaalinen kasvu tapahtuu raekoossa 0,800-1,000 mm ja 1,000-1,600 mm. Kaikista pienin raekoko häviää kulutuskokeen aikana. Isoimman raekoon kasvun epäiltiin johtuvan näytteenotosta. Kulutuskokeen aikana hiekka pääsee kerrostumaan, jolloin näytettä ei saa ottaa suoraan astiasta. Jatkossa näyte voitaisiin ottaa sen jälkeen, kun hiekka on kaadettu erilliseen ämpäriin ja koko hiekka sekoitettu. Hiekan alkumassa ennen kokeen alkua oli 8,6 kg ja loppumassa oli 8,5 kg. Hiekkaa hävisi kokeen aikana 0,1 kg.



KUVIO 2. Kulutuskoe luonnonhiekka

Fortumin petihiekka jauhautuu pienemmäksi selvästi enemmän luonnonhiekkään verrattuna. Kuitenkin luonnonhiekan häviö on suurempi kuin Fortumin hiekassa. Silmämääräisesti havaittuna Fortumin hiekka "kivetty" kokeen aikana. Tämän uskotaan johtuva siitä, että pohjakuona on huokoista ja kevyttä. Koetta voisi tulevaisuudessa testata vielä kauemmin, jolloin nähtäisiin, tasaantuuko kuluminen jossain vaiheessa verrattuna luonnonhiekkään. Uusi, oikeaan raekokoon seulottu petihiekka leijui kokeen aikana yhtä hyvin kuin luonnonhiekkakin. Alkuperäinen petihiekka ei lähtenyt leijumaan kunolla suuremmallakaan paineilmalla.

5 KOEAJOT

Koeajon tarkoituksena oli selvittää petimateriaalin käyttäytyminen leijupetikattilassa. Ensimmäisessä koeajossa käytettiin Fortumin ensimmäistä petihiekkaerää. Toisessa koeajossa materiaalina oli seulottu petihiekka 0,5-1,2 mm.

5.1 Koeajo 1

Ensimmäinen koeajopäivä oli 19.11.2019. Koeajo aloitettiin klo 5.44. Kattilassa oli hiekkaa 40 kg. Kattilan ylöslämmitystä yritettiin useampaan kertaan siinä onnistumatta. Sytykkeenä käytettiin polttoöljyllä kasteltuja sanomalehtitukkoja ja polttoaineena pellettiä käsisyöttönä. Hiekka oli selvästi liian isoa sekä hienoa raekooltaan. Pedissä tapahtui pientä ”leijua” kovalla puhalluksella. Hiekanjyvät lähtivät pomppimaan, mutta ei leijumaan.

Kattilaa purkaessa huomattiin, että hiekka oli osin jo sintraantunut. Tämä herätti epäilyksen lämmityksen aikaisesta polttoaineen soveltumattomuudesta. Pelletti aiheutti petiin pudotessaan ”hotspot-teja”, jotka edesauttavat entisestään leijumattomuutta.



KUVA 25. Sintraantunutta hiekkaa kattilasta (Piispanen 2019-11-19.)



KUVA 26. Kattilan pohja koeajon jälkeen (Piispanen 2019-11-19.)

5.2 Koeajo 2

Toinen koeajopäivä oli 14.1.2020. Polttoaineena käytettiin metsähaketta. Polttoaineen kosteuspitoisuus oli 33,4 m-%, joka on määritetty standardin SFS-EN ISO 18134-2 mukaisesti (ks. liite 3). Energiatutkimuskeskuksen laboratoriossa tehtävät kokeet ja määritykset tekee lehtori Ari Mikkonen.

Petiä lämmitettiin ennen koeajon alkua sähköisillä Leister-lämmittimillä. Hiekkaa kattilassa oli tällöin 16,1 kg. Varsinainen kattilan ylösajo alkoi klo 7.11. Palamisilmapuhaltimet käynnistettiin. Sytykkeenä käytettiin polttoöljyllä kasteltuja sanomalehti tukkoja, jotka tiputettiin kattilaan näkölasilta. Polttoaine syötettiin alkuvaiheessa käsin kattilaan. Hiekkaa pudotettiin siilosta kattilaan tasaisesti, jotta peti saatiin halutun paksuiseksi. Ensimmäinen pohjatuhkanäyte päästiin ottamaan klo 10.07, pedin lämpötilan ollessa n. 400 °C. Polttoaineensyöttö käynnistettiin klo 11.09. Peti sintraantui klo 11.46 ja koeajo keskeytettiin. Isoimmat sintraatuneet hiekan palaset olivat n. 30 x 40 x 10 cm. Kattilasta otettiin hiekkaa pois 35,8 kg.



KUVA 27. Kattilan pohja koeajon jälkeen (Räisänen 2020-1-15.)



KUVA 28. Sintraantunutta hiekkaa kattilasta (Ylönen 2020-3-26.)

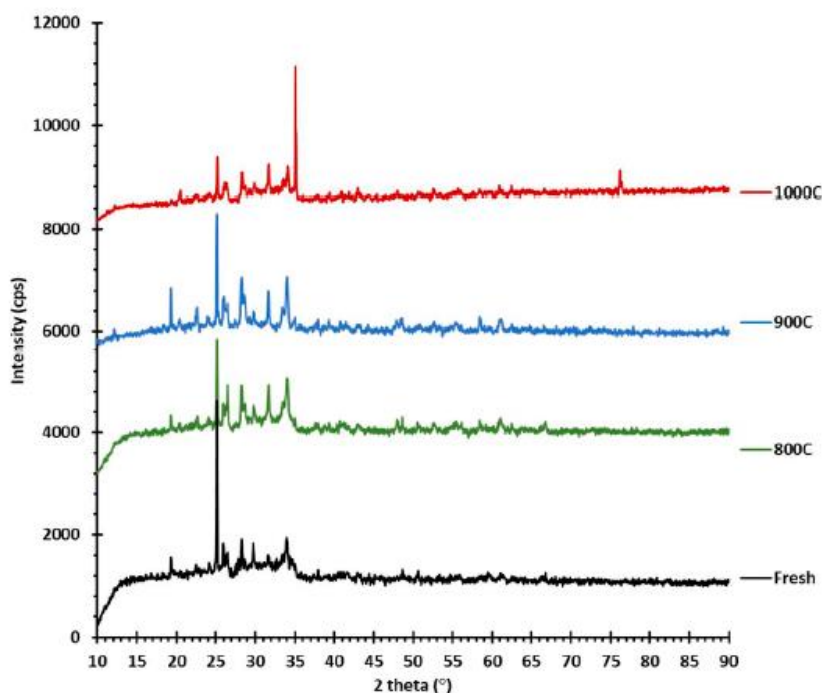
6 ALKUAINESANALYYSIT

Kemiallisen analyysin suoritti Itä-Suomen yliopisto. Näytteinä olivat käyttämätön hiekka sekä kuumarasituskokeessa olleet upokkaat. Alkuaineanalyysissa (ks. taulukko 3) pääkomponentteja olivat pii (Si), rauta (Fe), kalsium (Ca), magnesium (Mg), alumiini (Al), natrium (Na) ja kalium (K). Kalsiumin määrä väheni huomattavasti lämpötilassa 1000 °C. Raportin mukaan kalsium ei kuitenkaan ole höyrystyvä tässä lämpötilassa, joten heräsi epäily näytteen keräämisessä tai digestiossa. (Sippula ym. 2020.) Kriittisesti tarkkailtavia alkuaineita olivat sintraantumista aiheuttavat alkalimetallit natrium ja kalium sekä alkalimetallien puskurointikykyä pedissä nostava kalsium. Natriumpitoisuus nousi 900°C:ssa, mutta laski 1000°C:ssa. Kaliumin pitoisuus nousi selvästi 1000 °C:ssa. Kalsiumin pitoisuus nousi 800°C:ssa ja 900°C:ssa.

TAULUKKO 3. ICP-MS-alkuaineanalyysit (Sippula ym. 2020.)

Sample	FORTUM petimateriaali 0,5-1,2 mm KÄYTTÄMÄTÖN	Fortum petimateriaali upokas 800 °C	Fortum petimateriaali upokas 900 °C	Fortum petimateriaali upokas 1 000 °C
Na 23	26073	26857	27737	20237
Mg 24	14359	13292	13496	11668
Al 27	49555	49330	46072	50366
Si 28	162647	163234	166632	159147
P 31	4042	3697	4231	4556
K 39	11267	10891	11924	15463
Ca 42	71423	83597	74860	34521
Ti 47	12355	12016	13367	11129
Fe 57	119613	130460	122618	105254
Zn 66	4985	4455	4685	2797
V 51	456	481	369	513
Cr 52	1260	1003	1064	1610
Mn 55	2049	1871	1679	2429
Co 59	893	778	564	339
Ni 60	860	1419	564	863
Cu 65	6954	8700	6605	7266
As 75	59	44	51	27
Sr 88	459	451	491	345
Mo 95	158	174	134	148
Ag 107	0.3	1.4	4.2	0.0
Cd 111	5.1	4.5	1.5	2.6
Sn 118	117	116	116	58
Sb 121	146	190	98	80
Ba 138	7405	6680	8861	4823
Tl 205	0.2	0.1	0.0	0.1
Pb 206	525	709	748	487
Bi 209	20	9	28	7

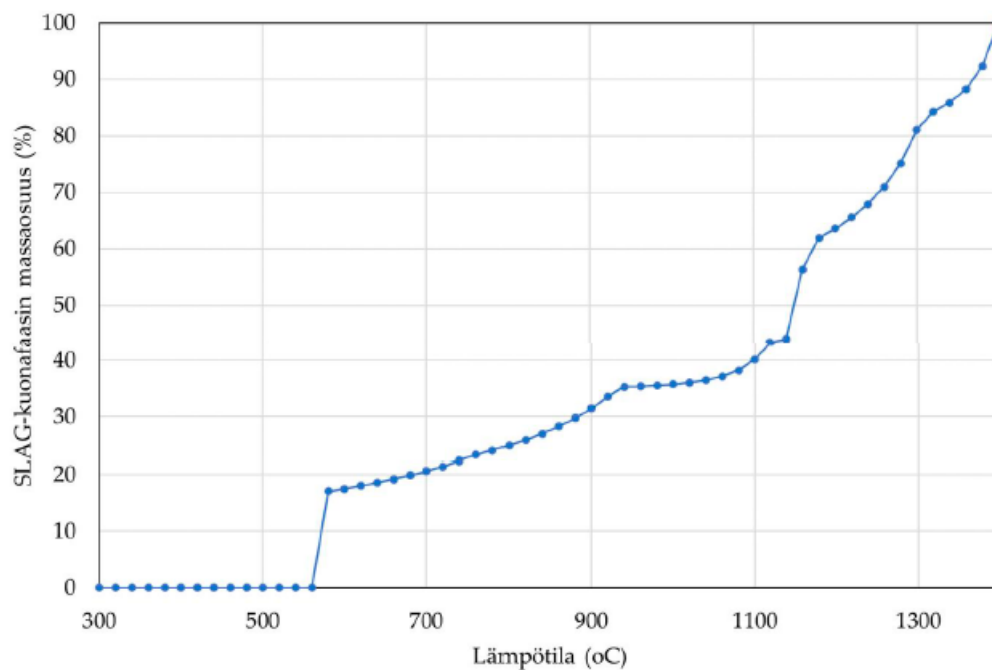
XRD-diffraktiogrammissa näkyvät piikit viittaavat alumiinisilikaattifaaseihin (ks. kuvio 3). Lämpötilassa 900-1000 °C havaittiin muutos kiteisessä faasissa. (Sippula ym. 2020.)



KUVIO 3. Röntgendiffraktio (XRD) analyysi (Sippula ym. 2020.)

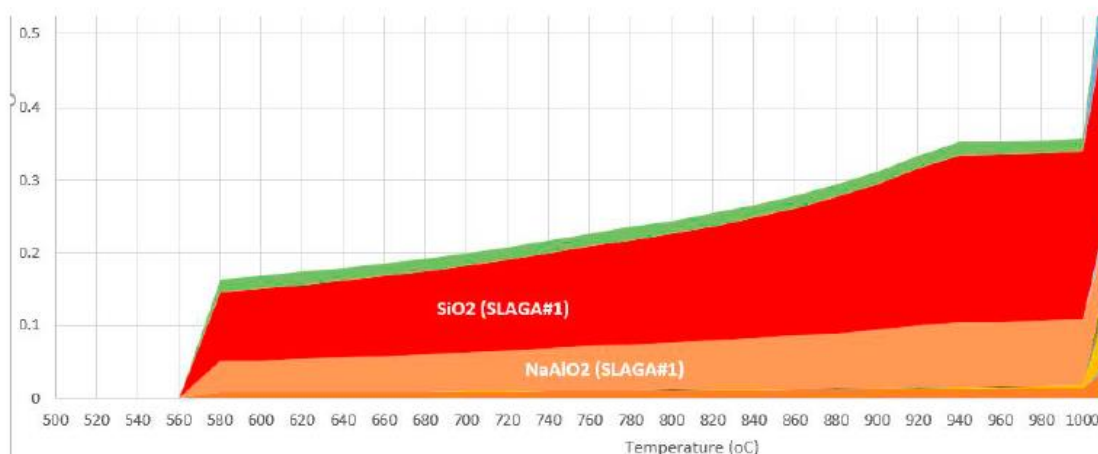
Termodynaamiset tasapainolaskut sulan muodostumisen arvioimiseksi perustuivat multikomponentti-seoksen Gibbsin energian minimin laskemiseen. Laskennassa käytettiin Factsage-laskentaohjelmiston Equilibmoduulia. Tällä menetelmällä voidaan tulkita faasien muodostumista korkealämpöprosesseissa ja tutkia sulan muodostumista epäorgaanisissa seoksissa. Alkuarvoina käytettiin käyttämättömän petihiekan pääalkuaineiden pitoisuuksia, jotka oli muutettu oksideiksi sekä ilmaa (N_2 ja O_2), seossuhde oli 5:1. Alkuaineet olivat pii, rauta, kalsium, magnesium, alumiini, natrium ja kalium. Factsage-ohjelmiston tietokannat olivat stoikiometrisille yhdisteille ja epäideaalille "SLAG-KUONA-FAASI":lle, jolla arvioitiin sulan muodostumista esim. silikaattipitoisilla aineilla. (Sippula ym. 2020.)

Laskennassa oli mukana 157 kiinteän faasin stoikiometristä yhdistettä, 41 kaasufaasin yhdistettä ja SLAG-kuonafaasi. Kiinteässä faasissa oli mukana useita seossilikaatteja, joissa esiintyi alumiini, kalsium, magnesium, rauta, natrium ja kalium. Rauta esiintyi tasapainon mukaisesti Fe_2O_3 pienemässä kuin 1140°C:n lämpötilassa. Huomiona kuitenkin, että yhdisteet eivät kuitenkaan olleet tasapainossa. Kuviosta 4 nähdään, että SLAG-faasiin siirtyi aineita jo 580°C:n lämpötilassa. Tämä indikoi hiekan alhaista sintraantumislämpötilaa. (Sippula ym. 2020.)



KUVIO 4. SLAG-kuonafaasin muodostuminen tietyssä lämpötilassa (Sippula ym. 2020.)

Kuviosta 5 nähdään SLAG-faasin pääkomponentit, jotka olivat alle 1000°C:ssa pii, alumiini ja natrium (Sippula ym. 2020). Natriumalumiinioksidia (NaAlO_2) muodostuisi 900°C:ssa n. 10 % koko hiekkamäärästä ja silikaattioksidia (SiO_2) n. 20% koko hiekkamäärästä. Yhteensä SLAG-faasia oli muodostunut 30 % ns. normaalia hieman korkeammassa ajolämpötilassa. Kaaviosta nähdään myös 1000°C jälkeen korkea nousu ylöspäin, tämä tuli esille myös kuumarasituskokeessa, jolloin näyte sulii upokkaaseen kiinni.



KUVIO 5. SLAG-faasi pääkomponenteilla (Sippula ym. 2020.)

6.1 Agglomeraatio

Alkalireaktiosta aiheutuva agglomeraatio tarkoittaa pienempien hiukkasten liimautumista suuremmiksi rakeiksi (Pitkänen 2018, 10). Agglomeraatiossa leijutusmateriaaliin muodostuu sulaa faasia. Sula voi olla peräisin mm. tuhkasta tai tuhkan ja leijutusmateriaalin seoksesta. Käytettäessä esim. kvartsipitoista luonnonhiekkaa ja polttoaineena biomassaa, alkaa polttoaineen alkaliyhdisteet reagoida kvartsipitoisen luonnonhiekan kanssa, aiheuttaen matalassa lämpötilassa sulavia alkalisilikaatteja. Pahimmassa tapauksessa agglomeraatio aiheuttaa leijupedissä sintraantumisen, jolloin leijuminen häiriintyy ja kattila on ajettava alas. (Raiko ym. 2002, 287.)

Agglomeraatiota tarkastellessa merkittävimmät alkuaineet ovat alkalimetallit kalium (K) ja natrium (Na). Alkalien aiheuttama agglomeraatio leijupedissä voi tapahtua kahdella eri tavalla. Petimateriaalin pintaan muodostuu alkalipitoinen tuhkakerros. Kerroksen paksuuden kasvaessa, reagoi tuhka kvartsin kanssa aiheuttaen nestemäisen eli sulan kerroksen. Toinen vaihtoehto on tuhkan alkali- ja polttoaineen mukana kattilaan kulkeutuvien piioksidien (SiO_2) reagointi, jossa muodostuu nestemäisiä yhdisteitä. Agglomeraatiota voidaan ehkäistä kalsiumilla tai kalsiumpitoisella polttoaineella. Kalsium (Ca) ja kvartsi yhdessä muodostaa kattilassa kalsiumsilikaattia, joka on kiinteää. (Pitkänen 2018, 10,12.)

7 MARKKINAT

Julkinen voimalaitosrekisteri löytyi energiavirasto.fi internet-sivuilta. Julkista voimalaitosrekisteriä, jossa olisi eritelty polttotekniikka, ei löydetty. Markkinatutkimus kohdentui kaukolämpö- ja teollisuuden CHP-voimalaitoksiin, joiden teho on yli 12 MW, ja pääpolttoaineena turve sekä biopolttoaineet. Suodatus perustui siihen, että nykyään arinakattiloita rakennetaan alle 10 MW:n tehoon (Huhtinen ym. 2000, 147).

Leijukerrospolttoa käyttäviä voimalaitoksia löytyi 38 kappaletta (ks. liite 2). Voimalaitosten teknisiä tietoja etsittiin internetistä yhtiöiden julkaisuista. Kattilassa käytettävää petihiekkaa kuluu Suomessa vuosittain useita tuhansia tonneja. Kattilanpedin korkeus on tyypillisesti 0,4-0,8 m (Huhtinen ym. 2000, 159).

8 LAINSÄÄDÄNTÖ

Arinakuona on lähtökohtaisesti jätettä. Arinakuonaa käytettäessä sellaisenaan tai jatkojalostettuna, tarvitaan ympäristölupa. Jätelaissa sivutuotteesta vaadittujen kohtien toteutuessa on uusi petihiekka sivutuote. Jos katsotaan lain mukaan, että arinakuona ei ole jätettä, ympäristölupaa ei vaadita hiekan käyttöön leijukerrosmateriaalina. Arinakuonan jatkojalostaminen on jätteenkäsittelyä, joka vaatii ympäristöluvan. Käsittelylaitoksen ympäristöluvan käsittelyn yhteydessä voidaan ratkaista jätestatuksen päätyminen. Mahdollista myös on, että jatkojalostamisesta täytyy tehdä ympäristövaikutusten arviointi (YVA). Petihiekasta ei ole asetettu lainsäädännöllisiä vaatimuksia. End of waste (EoW) -tarkastelussa voidaan vertailutietoina käyttää yleisesti käytettävien petimateriaalien ominaisuuksia. (Lehikoinen 2020-4-1.)

Arinakuonan lainsäädäntöä tarkasteltaessa on otettava huomioon kokonaisuus. Petihiekan on oltava turvallinen käyttäjille eli ihmisille, jotka jalostavat, seulovat hiekan ja työskentelevät voimalaitoksilla sekä ihmisille ja ympäristölle voimalaitoksen ulkopuolella. Jätteen määritelmä Jätelain 2011/646 §5, mukaisesti on:

” Jätteen määritelmä

Tässä laissa tarkoitetaan jätteellä ainetta tai esinettä, jonka sen haltija on poistanut tai aikoo poistaa käytöstä taikka on velvollinen poistamaan käytöstä.

Aine tai esine ei ole jäte vaan sivutuote, jos se syntyy sellaisessa tuotantoprosessissa, jonka ensisijaisena tarkoituksena ei ole tämän aineen tai esineen valmistaminen, ja:

- 1) aineen tai esineen jatkokäytöstä on varmuus;*
- 2) ainetta tai esinettä voidaan käyttää suoraan sellaisenaan tai sen jälkeen, kun sitä on muunnettu enintään tavanomaisen teollisen käytännön mukaisesti;*
- 3) aine tai esine syntyy tuotantoprosessin olennaisena osana; sekä*
- 4) aine tai esine täyttää sen suunniteltuun käyttöön liittyvät tuotetta sekä ympäristön- ja terveydensuojelua koskevat vaatimukset eikä sen käyttö kokonaisuutena arvioiden aiheuta vaaraa tai haittaa terveydelle tai ympäristölle.*

Valtioneuvoston asetuksella voidaan antaa tarkempia säännöksiä 2 momentissa tarkoitetuista sivutuotteeksi luokittelun edellytyksistä sivutuotteittain eriteltyinä.

Valtioneuvoston asetuksella voidaan antaa tarkempia säännöksiä jätelajeittain siitä, milloin aine tai esine ei ole enää jätettä, jos:

1) se on läpikäynyt hyödyntämistoimen;

2) sillä on käyttötarkoitus, johon sitä käytetään yleisesti;

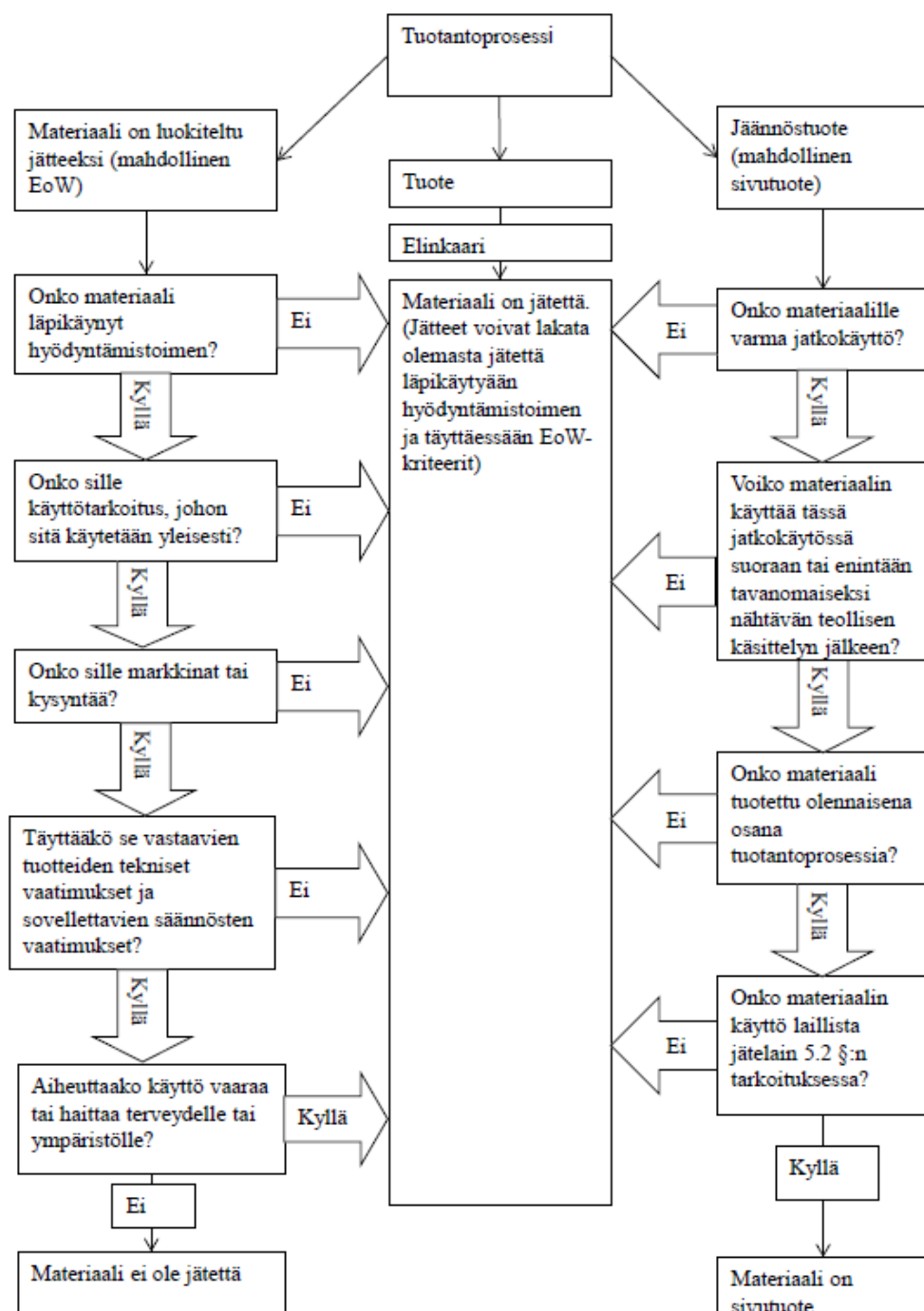
3) sillä on markkinat tai kysyntää;

4) se täyttää käyttötarkoituksensa mukaiset tekniset vaatimukset ja on vastaaviin tuotteisiin sovellettavien säännösten mukainen; ja

5) sen käyttö ei kokonaisuutena arvioiden aiheuta vaaraa tai haittaa terveydelle tai ympäristölle.

Valtioneuvoston asetuksella voidaan antaa tarkempia säännöksiä myös 4 momentissa tarkoitettussa aineessa tai esineessä sallituista haitta-aineiden pitoisuuksista ja liukoisuuksista, aineen tai esineen käyttöä koskevista teknisistä vaatimuksista sekä muista vastaavista seikoista.”(Jätelaki 2011, §5.)

Kuviossa 6 on kaaviona määritelty jätteen luokittelun päättymistä.



KUVIO 6. Jätteen luokittelun päättyminen (Kauppila ym. 2018, 62.)

9 JOHTOPÄÄTÖKSET

Ensimmäisen hiekkaerän tutkimuksien jälkeen huomattiin raekoon olevan liian isoa sekä liian hienoa. Vaikka hiekka itsessään on kevyttä, leijuminen ei onnistunut toivotulla tavalla suurellakaan paineilmalla. Seulottu hiekka leijui hyvin, mutta kuumankestävyys tippui radikaalisti. Seulominen mahdollisesti aiheutti joidenkin sintraantumista aiheuttavien alkuaineiden määrän suurentumisen.

Tutkimustulosten perusteella voidaan sanoa, että petimateriaali ei näillä alkuainepitoisuuksilla ole soveltuva leijukerrospolton petimateriaaliksi. Alkuainepitoisuuksiin voidaan vaikuttaa kattilaan syöte-tyllä polttoainesuhteilla tai alkuaineita voisi yrittää poistaa joillakin prosessointimenetelmillä. Silikaattioksidia on yleisesti kaikissa petimateriaaleissa mutta natriumalumiinioksidia voisi yrittää vähentää esimerkiksi selvittämällä oikeanlaiset polttoainesuhteet. Itä-Suomen yliopiston käyttämällä petihiekan kemiallisen kuumakäyttämisen simulointimenetelmällä voidaan selvittää alkuainepitoisuus, jolla sintraantuminen vähentyisi (Sippula ym. 2020). Alkuaineanalyysin perusteella kalsiumin määrä tippui radikaalisti lämpötilan noston aikana.

Tutkimusta voisi laajentaa kokeilemalla kalkin lisäämistä petihiekan joukkoon ja tehdä kuumarasituskokeet uusiksi. Jatkossa voisi myös yrittää saada talteen erilliseen keräysastiaan kulutuskokeen aikana ilmavirran mukana häviävä petimateriaali ja selvittää tomun koostumus ja määrä. Tutkimisen jatkaminen olisi hyvin tärkeää esimerkiksi kiertotaloutta ajatellen. Jätteenpolton pohjakuonaa muodostuu tuhansia tonneja vuodessa ja olisi tärkeä löytää uusia korkeampiarvoisia käyttökohteita maanrakentamisen rinnalle.

LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

- Energiatutkimuskeskus. [viitattu: 23.1.2020] Saatavissa: <http://energiatutkimus.savonia.fi/fi/>
- Energiavirasto, 2020. Voimalaitosrekisteri, 2019. [viitattu: 12.3.2020] Saatavissa: <https://energiavirasto.fi/toimitusvarmuus>
- Fortum 2020a. Tämä on Fortum. [viitattu 12.2.2020] Saatavissa: <https://www.fortum.fi/tietoa-meista/yhtiomme/toimimme-puhtaamman-maailman-puolesta>
- Fortum 2020b. Riihimäen laitosalue. [viitattu 13.2.2020] Saatavissa: <https://www.fortum.fi/yrityksille-ja-yhteisöille/kierratys-ja-jatepalvelut/fortum-recyclingwaste/riihimaen-laitosalue>
- Fortum. Fortum in brief. Esittelykirje. Annika Sormunen 2020-1-31.
- HUHTINEN, Markku, KETTUNEN, Arto, NURMINEN, Pasi ja PAKKANEN, Heikki 2000. Höyrykattilatekniikka. 5 painos. Helsinki: Oy Edita Ab.
- HUHTINEN, Markku, KORHONEN, Risto, PIMIÄ, Tuomo, URPALAINEN, Samu 2016. Voimalaitostekniikka. 3 painos. Helsinki: Next Print Oy.
- HUTTUNEN, Jukka 2020-04-11. Leijupetikattiloiden hiekan raekoko. [sähköpostiviesti] Vastaanottaja: Sallamari Piispanen
- JÄTELAKI. L 2011/646. Finlex. Lainsäädäntö. [viitattu: 1.4.2020] Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110646#L1P5>
- KAARTINEN, Tommi, LAINE-YLIJOKI, Jutta, KOIVUHUHTA, Auri, KORHONEN, Tero, LUUKKANEN, Saija, MÖRSKY, Pekka, NEITOLA, Raisa, PUNKKINEN, Henna, WAHLSTRÖM, Margareta, 2011. Pohjakuonan jalostus uusiomateriaaliksi. VTT tiedotteita 2567. [viitattu: 31.3.2020] Saatavissa: <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/tiedotteet/2010/T2567.pdf>
- KAUPPILA, Jussi, TURUNEN, Topi, HÄKKINEN, Eevaleena, SALMINEN, Jani, LAZAREVIC, David, 2018. Jätteen luokittelun päättymisen hyödyt ja haitat. Ympäristöministeriön raportteja. [viitattu: 24.3.2020] Saatavissa: http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/160560/YMr_9_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- LAINE-YLIJOKI, Jutta, MROUEH, Ulla-Maija, VAHANNE, Pasi, WAHLSTRÖM, Margareta, VESTOLA, Elina, SALONEN, Sakari, HAVUKAINEN, Jorma 2005. Yhdyskuntajätteen termisen käsittelyn kuonista ja tuhista hyötykäytettäviä ja loppusijoitettavia tuotteita, VTT Kansainvälinen esiselvitys. [viitattu: 8.3.2020] Saatavissa: <https://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2005/T2291.pdf>
- LEHIKONEN, Teemu 2020-4-1. Ympäristöneuvos. Opinnäytetyöhön liittyvä lainsäädäntö. [sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Sallamari Piispanen
- MIKKONEN, Ari 2020-2-16. Kuumennettu 1000°C:ssa, vas. vesijäähdytetty granuli ja oik. ilmajäähdytetty granuli [digikuva]. Sijainti: Varkaus: Tekijän sähköiset kokoelmat.
- MIKKONEN, Ari 2020-2-16. Luonnonhiekkä kuumennettu 1000°C:ssa [digikuva]. Sijainti: Varkaus: Tekijän sähköiset kokoelmat.
- MIKKONEN, Ari 2020-2-17. Kuumennettu 1100°C:ssa, vas. vesijäähdytetty granuli ja oik. ilmajäähdytetty granuli [digikuva]. Sijainti: Varkaus: Tekijän sähköiset kokoelmat.
- MIKKONEN, Ari 2020-2-17. Kuumennettu 1100°C:ssa, vasemmalla keskellä luonnonhiekkä [digikuva]. Sijainti: Varkaus: Tekijän sähköiset kokoelmat.
- PIISPANEN, Sallamari 2019-11-19. Kattilan pohja koeajon jälkeen. [digikuva]. Sijainti: Muurame: Tekijän sähköiset kokoelmat.
- PIISPANEN, Sallamari 2019-11-19. Sintraantunutta hiekkä kattilasta [digikuva]. Sijainti: Muurame: Tekijän sähköiset kokoelmat.

- PIISPANEN, Sallamari 2019-11-22. Kulutuskoe laitteisto [digikuva]. Sijainti: Muurame: Tekijän sähköiset kokoelmat.
- PIISPANEN, Sallamari 2019-11-7. Putkiuuni [digikuva]. Sijainti: Muurame: Tekijän sähköiset kokoelmat.
- PIISPANEN, Sallamari 2019-11-8. Fortumin hiekka kuumarasituskokeen jälkeen [digikuva]. Sijainti: Muurame: Tekijän sähköiset kokoelmat.
- PIISPANEN, Sallamari 2019-11-8. Ilmajäähdytetty granuli kuumarasituskokeen jälkeen [digikuva]. Sijainti: Muurame: Tekijän sähköiset kokoelmat.
- PIISPANEN, Sallamari 2019-12-13. Siniset hiekanjyvät [digikuva]. Sijainti: Muurame: Tekijän sähköiset kokoelmat.
- PIISPANEN, Sallamari 2019-15-11. Epäpuhtaudet petimateriaalissa [digikuva]. Sijainti: Muurame: Tekijän sähköiset kokoelmat.
- PIISPANEN, Sallamari 2020-1-11. Fortumin hiekka, kuumarasituskokeen tulokset. [digikuva]. Sijainti: Muurame: Tekijän sähköiset kokoelmat.
- PIISPANEN, Sallamari 2020-1-11. Fortumin hiekka, kuumennettu vasemmalla 800°C:ssa, keskellä 900°C:ssa ja oikealla 1000°C:ssa [digikuva]. Sijainti: Muurame: Tekijän sähköiset kokoelmat.
- PIISPANEN, Sallamari 2020-1-9. Fortumin hiekka kuumennettu 1100°C:ssa [digikuva]. Sijainti: Muurame: Tekijän sähköiset kokoelmat.
- PIISPANEN, Sallamari 2020-2-14. Ilmajäähdytetty granuli kuumennettu 800°C:ssa [digikuva]. Sijainti: Muurame: Tekijän sähköiset kokoelmat.
- PIISPANEN, Sallamari 2020-2-14. Luonnonhiekkä kuumennettu 800°C:ssa [digikuva]. Sijainti: Muurame: Tekijän sähköiset kokoelmat.
- PIISPANEN, Sallamari 2020-2-15. Kuumennettu 900°C:ssa, vas. vesijäähdytetty granuli, kesk. ilmajäähdytetty granuli ja oik. luonnonhiekkä [digikuva]. Sijainti: Muurame: Tekijän sähköiset kokoelmat.
- PIISPANEN, Sallamari 2020-2-15. Vesijäähdytetty granuli kuumennettu 900°C:ssa [digikuva]. Sijainti: Muurame: Tekijän sähköiset kokoelmat.
- PIISPANEN, Sallamari 2020-29-1. ROHDE-uuni [digikuva]. Sijainti: Muurame: Tekijän sähköiset kokoelmat.
- PITKÄNEN, Tuomo 2018. Alkalikertymä leijupedissä käytettäessä luonnonhiekkää ja granuloitua maasuonikuonaa petimateriaaleina. Savonia-ammattikorkeakoulu. Tekniikan ja liikenteen ala Varkaus, Energiatekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. Sijainti: Varkaus: Savonia-ammattikorkeakoulu.
- RAIKO, Risto, SAASTAMOINEN, Jaakko, HUPA, Mikko ja KURKI-SUONIO, Ilmari 2002. Poltto ja Palaminen. 2 painos. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.
- RÄISÄNEN, Oskari 2020-1-15. Kattilan pohja koeajon jälkeen [digikuva]. Sijainti: Varkaus: Tekijän sähköiset kokoelmat.
- SORMUNEN, Annika 2020-2-13. Jätteenpolttolaitoksen polttoaineet. [Sähköposti keskustelu] Vastanottaja: Sallamari Piispanen
- Tilastokeskus, 2020. Yhdyskuntajätekeräys 2018, tonnia. [viitattu: 9.3.2020] Saatavissa: https://www.stat.fi/til/jate/2018/jate_2018_2020-01-15_tau_001_fi.html
- YLÖNEN, Janne 2020. Tutkimusinsinööri. [Sähköpostikeskustelut]. Vastanottaja: Sallamari Piispanen
- YLÖNEN, Janne 2020-3-26. Sintraantunutta hiekkää kattilasta [digikuva]. Sijainti: Varkaus: Tekijän sähköiset kokoelmat.

Energiatutkimuskeskus

3. TASAUSILTO

Polttoainejakeet sekoituvat tasaussillassa. Silon tilavuus on noin 1,5 m³. Silto on vaaka-anturituuli. Tarkkuusresoluutio on 0,02 %. Tasaussillassa polttoaine syötetään ruuvikuljettimen ja silauslaitteen kautta kattilan putoosiputkeen, jossa on lisäyhönteä palamislämälle. Kiertokasvili ja palamislämälle.

2. KOLAKULJETIN
Polttoaine siirtyy kolakuljettimella pitkin tasaussiltoja, kolakuljettimen leveys on 600 mm ja kapasiteetti 90 tonnia tunnissa.

1. POLTOAINEKONTIT

Kaksi n. 23 kuution polttoainekonttia. Kontit ovat vaaka-anturituulia. Tarkkuusresoluutio on 0,05 % punnitavasta painosta. Niihin mahtuu 3-4 vuorokauden tarve polttoainetta. Toinen kontti on tarkoitettu kiertäviin polttoainelle ja toinen hakkeille, turpeelle tai poltelleille.

7. TUHKANPÖSTÖJÄRJESTELMÄ

Tuhkapöstölaitteistossa kattilan arinan pohjassa olevasta yhteisestä poistoväylystä tuhkaa ja leijutusuhkaa jätetään linalla omien näytteenottoa ja tuhkastaa.

5. AMMONIAKINSYÖTTÖJÄRJESTELMÄ
Kootumusseläen korkeintaan 25-prosenttista ammoniakkiä voidaan ruiskuttaa jäähdytyksistä sillosta neljälle eri korkeusasolle leijupöstikartissa. Ammoniakkiin ruiskutus voidaan vaikuttaa syntyvillä typpiästöihin (NOx).

17. AUTOMAATIO
Energiatutkimuskeskuksen toimintaa valvotaan ABB:n ohjaus- ja valvontajärjestelmän avulla. Automaatio kerää ajon aikana mittauksista tiedonkäsittelylle dataa, joka on erillisen analysointivälineen csv- tai xls-muodossa tai automaatiojärjestelmässä selänsä.

4. KALKKI- JA HIEKKASILLOT

Siltojen koot ovat: 0,2 m³ kalkkisiilo, 0,5 m³ hiekkasiilo. Hiekkaa lisätään hiekkasillosta kartille palamislämälle avulla pudostorvasta pitkin. Kuuma hiekka kattilassa kuumaa tehokkaasti määkää polttoainetta ja tehostaa palamista. Kalkin avulla vähennetään rikkidioksidia savukaasussa.

6. LEIJUPETI

Leijupöstikarttia koostuu neljästä eri segmentistä ja takavälvästä. Se on toteutettu korkeintaan 300 kW. Kattilan korkeus on 8 metriä. Tulipösten halkaisija on 494 mm. Savukaasunvirta 600 m³/h. Kattilan hiekkasillosta kartille palamislämälle avulla pudostorvasta pitkin. Kuuma hiekka kattilassa kuumaa tehokkaasti määkää polttoainetta ja tehostaa palamista. Kalkin avulla vähennetään rikkidioksidia savukaasussa.

8. MATERIAALINTESTAUSKAMMIO

Koepaikat voidaan asettaa korroosioolosuhteissa kattilan tulipöseen tai suoraan materiaalinäytteenotuslaitteeseen. Kammiota läpi voidaan ajaa eri lämpötilassa savukaasuja korroosio- ja tilaantuntemuksen testauksiksi. Määsimikro-utripaalle materiaalinäytteenotuslaitteeseen sisällä on: pituus 980 mm, leveys 250 mm ja syvyys 350 mm. Kammiota voidaan käyttää myös katalyyttien syöttö savukaasun sekaan.

11/12. SAVUKAASUJEN PUHDISTUSLAITTEISTOT
Savukaasut kulkevat puhdistuksessa sähkösuodattimien ja letkusuodattimien kautta omien pilppujen ja ukolien läpi. Suodattimien kapasiteetit 600 m³/h.

13. PILPPU

Savukaasut tulevat suodatuksen jälkeen ulos 20 m korkeasta savupilppusta. Pilppussa on kaksi halkaisijaltaan 220 mm kannavaa poistoväylyä savukaasun varien. Molemmista kannavista on 4 kpl päästömittauslaitteita ja putket tuhkalle ja veden poistoa varten.

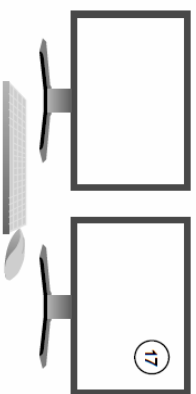
14. MONIKÄYTTÖVARAAILA

Varaaja on kootaan n. 3 m³. Varaajassa on 12 mittayhdyttä, jolla voidaan tutkia lämpötilaa eri varaajan tasolla. Monikäyttövaraaja on yhdytty ammattiltaan ja määkää lämpöjä järjestelmään.

16. RADIAATTORI

Radiaattori yhdyttyä monikäyttövaraajaan saadaan järjestelmään simuloidua lämpöä kuumuutta.

15. MAALÄMPÖKAIVOT
Kaksi 125 m syvä kaivoa, jotka on porattu yhdestä pisteestä kattoon suuntaan.



LIITE 1. ENERGIATUTKIMUSKESKUKSEN PROSESSIKAAVIO (Energiatutkimuskeskus 2020.)

LIITE 2: VOIMALAITOSREKISTERI (Energiavirasto, 2020.)

Energiavirasto, Voimalaitosrekisteri											
Voimalaitosrekisterin tiedot perustuvat voimalaitosten haltijoiden lähettämään ilmoitukseen. Energiavirasto ei erikseen varmennut tietojen oikeellisuutta.											
Voimalaitoksen nimi	Yritys	Lähiosoite	Postinimipaikka	Postinumero	Laitoksen tyyppi	Maksimi, yhteensä, MWh		Pääpolttoaine	Varapolttoaine	Varapolttoaine	
						Yhteensä, MWh	Tunti, yhteensä, MWh			Varapolttoaine	Varapolttoaine
Attalauto 2	Port Energia Oy	Pl 9 (Radanvarsi 2)	PORI	28101	Kaukolämpö CHP	36	34	Turve	Teollisuuden puutähdhe	Teollisuuden puutähdhe	Teollisuuden puutähdhe
Haapaniemi	Kuopion Energia Oy	PL105	Kuopio	Kuopio	Kaukolämpö CHP	118,1	118,1	Turve	Raskas öljy	Teollisuuden puutähdhe	Teollisuuden puutähdhe
Hovinvaari	Kotkan Energia Oy	Kotkanie 2	Kotka	48100	Kaukolämpö CHP	51	51	Turve		Maakaasu	
Iisalmi	Savon Voima Oy	PL 1024	Toivala	70901	Kaukolämpö CHP	15	15	Turve			
Joensuu	Fortum Power and Heat Oy	PL 100	FORTUM	48	Kaukolämpö CHP	68	46	Turve	Teollisuuden puutähdhe	Metäspolttoaine, puu	
Järvenpää	Fortum Power and Heat Oy	PL 100	Fortum	48	Kaukolämpö CHP	23,8	23,8	Metäspolttoaine, puu			
Kellonlahti	Jyväskylän Voima Oy	PL 4	Jyväskylä	40101	Kaukolämpö CHP	190	140	Turve	Metäspolttoaine, puu		
Kerava	Keravan lämpövoima Oy	(c/o Keravan Energia Oy) PL 3 Kerava		4201	Kaukolämpö CHP	19,04	19,04	Turve	Metäspolttoaine, puu	Teollisuuden puutähdhe	
Kokkola	Kokkolan Voima Oy	Voimalantie 17	Kokkola	67900	Kaukolämpö CHP	19,5	18,5	Turve	Metäspolttoaine, puu	Teollisuuden puutähdhe	
Lappeenranta, Kaukaan te	Kaukaan Voima Oy	Kaukaantie 16	Lappeenranta	53200	Kaukolämpö CHP	119	119	Teollisuuden puutähdhe	Maakaasu		
Martinkaeso	Vantaan Energia Oy	Pekolantie 27	Vantaa	1300	Kaukolämpö CHP	199,1	191,1	Teollisuuden puutähdhe	Maakaasu	Keskirasikas öljy	
Nastentalhti 2	Tampereen Sähkölaitos	PL 175	TAMPERE	33101	Kaukolämpö CHP	62,2	62,2	Turve	Metäspolttoaine, puu	Teollisuuden puutähdhe	
Purssala 1	Etelä-Savon Energia Oy	Kanavakatu 2 (PL 166)	MILKELI	50100	Kaukolämpö CHP	27	25	Metäspolttoaine, puu	Teollisuuden puutähdhe	Teollisuuden puutähdhe	
Purssala 2	Etelä-Savon Energia Oy	Kanavakatu 2 (PL166)	MILKELI	50100	Kaukolämpö CHP	22	21	Metäspolttoaine, puu	Teollisuuden puutähdhe	Teollisuuden puutähdhe	
Rauhalahti	Jyväskylän Energiantuotanto Oy	PL 4	Jyväskylä	40101	Kaukolämpö CHP	80	80	Turve	Teollisuuden puutähdhe	Metäspolttoaine, puu	
Salo	Voimavasu Oy	PL 22	Jyväskylä	40101	Kaukolämpö CHP	13,5	13,5	Turve	Teollisuuden puutähdhe	Keskirasikas öljy	
Savonlinna	Järvi-Suomen Voima Oy	Töölönkatu 4	Helsinki	100	Kaukolämpö CHP	17,5	15,5	Teollisuuden puutähdhe	Metäspolttoaine, puu	Turve	
Suola	ROYANIEHEN ENERGIA OY	Koskikatu 27	96101 ROYANIEHEN	96100	Kaukolämpö CHP	30	30	Turve	Teollisuuden puutähdhe	Metäspolttoaine, puu	
Topolia 1	Oulun Energia Oy	Kasarminte 6, PL 116	Oulu	90101	Kaukolämpö CHP	65	65	Turve	Teollisuuden puutähdhe	Teollisuuden puutähdhe	
Topolia 2	Oulun Energia Oy	Kasarminte 6, PL 116	Oulu	90101	Kaukolämpö CHP	98	98	Turve	Teollisuuden puutähdhe	Keskirasikas öljy	
Attalauto 1	Port Energia Oy	PL 9 (Radanvarsi 2)	PORI	28101	Teollisuus CHP	20,8	15,4	Turve	Teollisuuden puutähdhe	Teollisuuden puutähdhe	
Alhoima AK 1	Oy Alhoimens Kraft Ab	PB 250	JAKOBSTAD	68601	Teollisuus CHP	30	20	Turve	Teollisuuden puutähdhe	Keskirasikas öljy	
Alhoima AK 2	Stora Enso Publication Papers Oy Ltd	Anjalan tehta	Inkeroinen	46900	Teollisuus CHP	240	190	Turve	Teollisuuden puutähdhe	Keskirasikas öljy	
Anjalankoski	Stora Enso Oy/ Hienolan Flutingehdas PL 5		Hienola	18101	Teollisuus CHP	160,5	160,5	Teollisuuden puutähdhe	Sekapolttoaineet	Teollisuuden puutähdhe	
Hämeenkyrö lä	Hämeenkyrön voima Oy	Töölönkatu 4	Helsinki	100	Teollisuus CHP	20	20	Teollisuuden puutähdhe	Maakaasu	Teollisuuden puutähdhe	
Jämsänkoski bvt	UPM-Kymmene Oy	PL35	Jämsänkoski	42301	Teollisuus CHP	43	43	Metäspolttoaine, puu	Metäspolttoaine, puu	Teollisuuden puutähdhe	
Kaipola	UPM-Kymmene Oy	Ky-35	Kuusankoski	45700	Teollisuus CHP	25	25	Teollisuuden puutähdhe	Turve	Metäspolttoaine, puu	
Kauttua	Adven Oy	PL 162	Vantaa	1511	Teollisuus CHP	19	13,5	Turve	Teollisuuden puutähdhe	Metäspolttoaine, puu	
Kavo	Kainuun Voima Oy	Tehdeskatu 17	PL 302	87101 Kajaani	Teollisuus CHP	79,2	79,2	Turve	Teollisuuden puutähdhe	Metäspolttoaine, puu	
Kinnassuo	Vapo Oy	PL 22	Jyväskylä	40101	Teollisuus CHP	13,5	13,3	Turve	Teollisuuden puutähdhe	Keskirasikas öljy	
Kokkola	Kokkolan Energia Oy	PL 165	Kokkola	67101	Teollisuus CHP	30	27	Turve	Teollisuuden puutähdhe	Maakaasu	
Kuusankoski bvt	Kyrin Voima Oy	Selluntie 3	Kuusankoski	45700	Teollisuus CHP	76	76	Teollisuuden puutähdhe	Teollisuuden puutähdhe	Keskirasikas öljy	
Mänttä lä	Mäntän Energia Oy	Lampilmanatie 4	Mänttä	33800	Teollisuus CHP	12	12	Turve	Metäspolttoaine, puu	Keskirasikas öljy	
Oulu, Laanlan Voima	Laanlan Voima Oy	PL 191 (Typpite)	Oulu	90101	Teollisuus CHP	28	28	Turve	Teollisuuden puutähdhe	Keskirasikas öljy	
Rauma	Rauman Biovoima Oy	Tikkalantie 1	26101 RAUMA	PL 95	Teollisuus CHP	71,5	65	Teollisuuden puutähdhe	Teollisuuden puutähdhe	Sekapolttoaineet	
Simple	Meisa Board Oy	Revontulentie 6	Espoo	2100	Teollisuus CHP	34,5	34,5	Turve	Teollisuuden puutähdhe	Raskas öljy	
Äänekoski ht	Äänevoima Oy	PL 200	ÄÄNEKOSKI	44101	Teollisuus CHP	35	35	Teollisuuden puutähdhe	Teollisuuden puutähdhe	Metäspolttoaine, puu	Turve

LIITE 3: KOSTEUSPITOISUUS


SAVONIA

Opiskelijankatu 3
78211 Varkaus

Tutkimushalli/Janne Ylönen
Opiskelijankatu 3
78211 Varkaus

Tutkimustodistus


Asiakas vastaa näytteenotosta, säilytyksestä sekä toimituksesta laboratorioon.

Asiakkaan näytetunnus: Metsähake 13.1.2020
 Näyte saapui laboratorioon: 13.1.2020
 Näytteen analysointi pvm 13.1 - 14.1.2020
 Tutkimusnumero: ENE20-Tutkimushalli-1-kosteus
 Näytteen kuvaus: Hake
 Näytteen massa, g: 1406

Määrittäminen	Tulos	Yksikkö
Kokonaiskosteus	33,4	m- %

Määrittäminen	Analysointi pvm	Menetelmä
Kosteuspitoisuus	13.1 - 14.1.2020	SFS-EN ISO 18134-2

Savonia-ammattikorkeakoulu Varkaus

Ari Mikkonen ari.mikkonen@savonia.fi

Matemaattisten aineiden lehtori

Puh. 044 785 6780