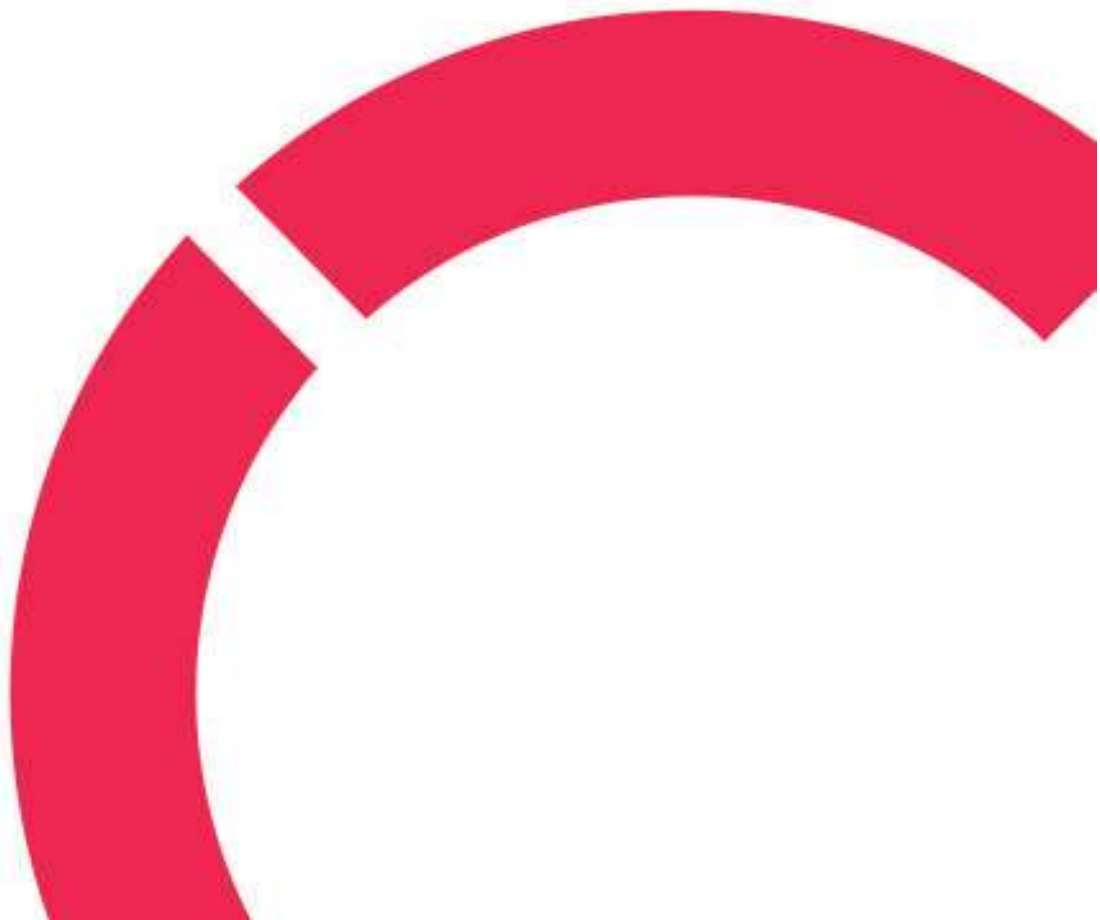


Merja Penttilä

**HIEKKAPAPERIJÄTTEEN POLTOSTA KERÄTYN TUHKAN
KARAKTERISOINTI JA MINERAALIJAKEEN EROTUS**

**Opinnäytetyö
CENTRIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Kemiantekniikan koulutus
Heinäkuu 2022**



TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Centria-ammattikorkeakoulu	Aika Heinäkuu 2022	Tekijä/tekijät Merja Penttilä
Koulutus Kemiantekniikka	<input checked="" type="checkbox"/> AMK <input type="checkbox"/> YAMK	
Työn nimi HIEKKAPAPERIJÄTTEEN POLTOSTA KERÄTYN TUHKAN KARAKTERISOINTI JA MINERAALIJAKEEN EROTUS.		
Työn ohjaaja Mikko Kuusisto	Sivumäärä 54	
Työelämäohjaaja Peter Finnäs		
<p>Opinnäytetyö on tehty Mirka Oy:n tehtaalle Jepualle, joka valmistaa hiomatuotteita.</p> <p>Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan ja analysoidaan hiekkapaperin poltosta syntyneitä tuhkaa ja pyritään etsimään keinoja, joilla tuhkan seassa olevia hiekanjyviä saataisiin mahdollisimman hyvin erotettua tuhkan joukosta. Jos riittävän puhdasta mineraalihiekkaa saataisiin erotettua tuhkasta, voitaisiin sitä käyttää uuden hiekkapaperin valmistuksessa. Täten hiekan kiertokulku olisi mahdollista.</p> <p>Työssä on käytetty erilaisia mekaanisia prosesseja mineraalijakeiden erottamiseksi. Näitä ovat olleet mm. seulonta, kuulamylyljauhatus, vesipesu ja ultraäänipesu. Saatuja tuloksia on analysoitu mikroskoopilla, TGA-analyysillä ja SEM-EDSanalyysillä.</p> <p>Työn alussa kuviteltiin, että agglomeraatit tuhkassa olisivat orgaanisia jäämiä liimoista, joita käytetään hiekkapaperin valmistuksessa, mutta analyysien edetessä näin ei kuitenkaan käynyt.</p> <p>Agglomeraatit sisälsivät epäorgaanista ainesta. Tämä kävi ilmi SEM-EDSkuvantamisen avulla. Tulevaisuudessa pyritään löytämään keinoja epäorgaanisen aineksen poistamiseksi. Tätä vaikeuttaa se, että agglomeraatit ovat kovin sintrautuneita, ja niissä on paljon epäorgaanista ainesta kiinnittyneinä toisiinsa.</p>		
Asiasanat Analysointi, hiekkapaperi, karakterisointi, kierrätys, mekaaniset erotusprosessit, mineraalijae, tuhka		

ABSTRACT

Centria University of Applied Sciences	Date July 2022	Author Merja Penttilä
Degree programme Chemical Engineering		
Name of thesis THE CHARACTERIZATION OF THE ASH COLLECTED FROM BURNING THE SANDPAPER WASTE AND THE SEPARATION OF MINERAL FRACTION		
Centria supervisor Mikko Kuusisto	Pages 54	
Instructor representing commissioning institution or company Peter Finnäs		
<p>This thesis has been completed in collaboration with the company Mirka Oy in Jepua.</p> <p>The aim of the thesis was to characterize and analyze the ash from burning the sandpaper waste and to discover ways how to separate the mineral fractions and to determine what the ash consisted of. The goal was to remove the mineral grain of sand as clearly as possible. If the mineral fractions would be so pure that it could have been used when making new sandpaper, this thesis would have been considered a success. Recycling would happen if the actual problem would have been solved.</p> <p>Many different mechanical separation processes have been used in this thesis to separate the mineral fraction such as sieving, mill separation, water washing and ultrasonic cleaner. The fractions obtained have been analyzed with microscope, SEM and EDS analytical tools and TGA analysis.</p> <p>In the beginning of this thesis, the assumption was that the ash would consist of different kind of glue fractions which Mirka uses when manufacturing the sandpaper. After many analyses, the truth was different than what had been assumed.</p> <p>Agglomerates included a lot of inorganic materials. This was discovered after the SEM-EDS analysis. In the future the plan is to determine how inorganic matter could be separated from the ash. The separation is hampered by the agglomerates that are sintered, and because the different inorganic particles are tightly bonded to each other.</p>		

<p>Key words Analysis, ash, characterization, coated abrasive, mechanical separation processes, mineral fraction, recycling</p>
--

KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY

AGGLOMERAATTI

Pallomainen hiukkanen, jossa useita pienempiä hiukkasia sulautunut yhteen.

ABRASIIVI

Hiontaan viittaava käsite.

EDS

Energy Dispersive Spectrometer. Energiadisersiivinen alkuaineanalysointilaitte.

SEM

Scanning Electron Microscopy. Pyyhkäiselektronimikroskoopi.

TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY
SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
2 MIRKA OY	2
2.1 Visio, missio ja arvot	2
2.2 Kestävä kehitys	3
2.3 Clean production	3
2.4 Käytössä olevat standardit ja sertifikaatit	4
3 HIEKKAPAPERITUOTANNOSTA SYNTYNYT JÄTE JA SEN KÄSITTELY	5
3.1 Hiekkapaperin rakenne	6
3.2 Käytössä olevat hiomajyvät	7
3.2.1 Alumiinioksidi	7
3.2.2 Piikarbidi	8
3.3 Leikkuujäte	9
3.4 Polttojäte	9
3.5 Adven Oy Jepua	10
3.6 Jepuan biokaasulaitos	12
4 MEKAANISET EROTUSPROSESSIT JA ANALYYSILAITTEISTO	14
4.1 Leukamurskain	15
4.2 Kuulamylly	16
4.3 Seulonta	17
4.4 Ultraäänipesu ja kuivaus	18
4.5 Linkous	18
4.6 Sykloni	19
4.7 DSC-TGA-analysointi	20
4.7.1 Analysointilaitteiston toimintaperiaate	21
4.8 Morfologiset analyysit	22
4.8.1 SEM	22
5 AIKAISEMMAT TESTAUKSET JA NIIDEN TULOKSET	23
5.1 Koepoltto Adven Oy Ylistaro	23
5.2 Koepoltot Uponor Vaasa	24
5.3 Koepoltto Tšekeissä	24
6 KOKEELLINEN OSIO JA ANALYSOINTI	26
6.1 Aloitusseulonta ja REF-näytteet arinan alta ja pesästä	27
6.1.1 Seulonta ja mikroskooppianalyysi arinan alta otetusta tuhkasta	27
6.1.2 Seulonta ja mikroskooppianalyysi pesästä otetusta tuhkasta	32
6.2 Kuulamyllyjauhatus teräskuulilla	33
6.2.1 Kuulamyllyjauhatusen jälkeinen seulonta ja mikroskooppianalyysi	34
6.3 Ultraäänipesu, vesipesu ja kuivaus	36
6.3.1 Seulonta ja mikroskooppianalyysi	37
6.4 Mixed-test	38
6.5 Karkeampien jakeiden tutkiminen	43

6.6 DSC-TGA-analysoinnin suorittaminen	44
6.7 SEM-EDS analysoinnit	51
6.7.1 EDS	51
7 YHTEENVETO	53
8 JATKOTOIMENPITEET	54
LÄHTEET	55
LIITTEET	
KUVIOT	
KUVIO 1. Jätteiden määrät ja käsittely	5
KUVIO 2. Mekaanisten prosessien jaottelu.....	14
KUVIO 3. Seulottujen jakeiden jakautuminen	35
KUVIO 4. Seulonnan tulokset ensimmäisen ultraäänipesun jälkeen	40
KUVIO 5. Toisen ultraäänipesun jälkeiset seulonnan tulokset	41
KUVIO 6. Analyysissä olleet näytteet yhtenä kaaviona.....	46
KUVIO 7. 106 µm jakeet eri erotusmenetelmien jälkeen.....	47
KUVIO 8. 300 µm jakeet eri erotusmenetelmien jälkeen.....	48
KUVIO 9. Pan-jakeiden orgaanisen aineksen väheneminen	49
KUVIO 10. Ylitevaahdosta kerätty näyte	50
KUVAT	
KUVA 1. Hiekkapaperin rakenne	6
KUVA 2. Alumiinioksidi BFRPL P50 havainnekuva	8
KUVA 3. Piikarbidi P40 havainnekuva	9
KUVA 4. Advenin hyötyvoimalaitoksen toimintaperiaate.....	11
KUVA 5. Advenin hyötyvoimalaitoksen kattilan toimintaperiaate.....	12
KUVA 6. Leukamurskaimen osat	15
KUVA 7. Kuulamyllyn toimintaperiaate	16
KUVA 8. Vastavirtasyklonin toimintaperiaate	20
KUVA 9. Havainnekuva analyysilaitteesta	21
KUVA 10. Tuhkasanko arinan alta otetusta näytteestä	27
KUVA 11. Tyhjä näytepurkki arinan alta otetulle tuhkalle	28
KUVA 12. Opinnäytetyössä käytetty seulasarja.....	29
KUVA 13. Mikroskooppikuva 6 x suurennetusta jakeesta 53 µm	31
KUVA 14. 6 x suurennos jakeesta 106 µm.....	32
KUVA 15. Kuulamyllyjauhatuksen jälkeinen kuva jakeesta 106 µm	36
KUVA 16. Ultraäänipesun jälkeinen kuva jakeesta 106 µm	36
KUVA 17. 53 µm x 6, 100 % amplitudi	41
KUVA 18. 53 µm x 6, 75 % amplitudi	41
KUVA 19. 53 µm x 8, 100 % amplitudi	42
KUVA 20. 53 µm x 8, 75 % amplitudi	42
KUVA 21. 106 µm x 4, 100 % amplitudi	42
KUVA 22. 106 µm x 4, 75 % amplitudi	42
KUVA 23. 106 µm x 6, 100 % amplitudi	42
KUVA 24. 106 µm x 6, 75 % amplitudi	42
KUVA 25. 212 µm x 6, 100 % amplitudi	42

KUVA 26. 212 μm x 6, 75 % amplitudi	42
KUVA 27. 300 μm x 4, 100 % amplitudi	43
KUVA 28. 300 μm x 4, 75 % amplitudi	43
KUVA 29. 500 μm x 2, 100 % amplitudi	43
KUVA 30. 500 μm x 2, 75 % amplitudi	43
KUVA 31. SEM-kuvat jakeesta 106 μm ; vasemmalta referenssinäyte, kuulamylyjauhituksen jälkeinen näyte ja mixed-testin jälkeinen näyte	51
KUVA 32. SEM-kuvat jakeesta 300 μm ; vasemmalta referenssinäyte, kuulamylyjauhituksen jälkeinen näyte ja mixed-testin jälkeinen näyte	51
KUVA 33. Mixed-testin jälkeinen alkuaineanalyysi	52

TAULUKOT

TAULUKKO 1. Työssä käytetty seulasarja	30
TAULUKKO 2. Arinan alta otetun tuhkan seulonnan tulokset.....	30
TAULUKKO 3. Pesästä otetun tuhkan seulonnan tulokset.....	33
TAULUKKO 4. Seulonnan tulokset 20 mm teräskuulilla	34
TAULUKKO 5. Seulonnan tulokset 10 mm teräskuulilla.....	35
TAULUKKO 6. Ultraäänen, vesipesun ja kuivauksen jälkeisen seulonnan tulokset.....	37
TAULUKKO 7. Mixed-testin alkuseulonnan tulokset	38
TAULUKKO 8. Kuulamylyjauhituksen jälkeinen seula-analyysi.....	39
TAULUKKO 9. Ensimmäisen ultraäänipesun jälkeinen seula-analyysi	39
TAULUKKO 10. Ultraäänipesun amplitudien pienentäminen 75 %:iin.....	40
TAULUKKO 11. Yhden kilon tuhkaerästä seulottujen jakeiden yhteismäärä.....	43

1 JOHDANTO

Mirka Oy Jepuan tehdas on tehnyt tilaajan roolissa sopimuksen kanssani suorittaa kokeellisia testauksia ja analyyskejä hiekkapaperin poltosta syntyneen tuhkan karakterisoimiseksi ja mineraalijakeen erottamiseksi. Työssä suoritetaan erilaisia mekaanisia prosesseja ja analyyskejä Mirka Oy:n Jepuan tehtaalla. Kokeellinen osuus on yli 50 % tämän opinnäytetyöstä.

Tämän työn tavoitteena on karakterisoida hiekkapaperin poltosta syntynyttä tuhkaa ja pyrkiä etsimään tapoja, joilla käyttökelpoisen mineraalihiekkajakeen saisi erotetuksi tuhkasta ja täten uudelleen käytettäväksi. Mikäli mahdollisimman puhdasta mineraalijaetta saadaan eri menetelmin erotettua tuhkasta, on sillä suuri merkitys myös jatkossa. Silloin voitaisiin yksinomaan polttaa hiekkapaperin valmistuksesta syntynyttä leikkuujätettä, jos se voitaisiin osoittaa kaikilta osin kannattavaksi. Myös tuhkan analysoiminen on yksi tämän työn tavoitteista, koska on tärkeää tietää, mitä erilaisia aineksia tuhkan osat sisältävät ja miten agglomeraatteja voidaan hajottaa omiksi partikkeleikseen. Työssä otetaan huomioon ratkaisuja, joita Mirka harjoittaa kestäväen kehityksen ja hiilineutraalisuuden saavuttamiseksi ja parantamiseksi.

Opinnäytetyön aihe syntyi joulukuussa 2021 lähetettyäni kyselyn Mirka Oy:lle mahdollisista opinnäytetyöaiheista. Heillä oli mielessä kaksikin eri vaihtoehtoa, mutta päädyimme yhdessä tähän kyseiseen tutkimukseen. Ensimmäinen varsinainen opinnäytetyöpalaveri pidettiin tammikuussa 2022 yhdessä Mirkan edustajien ja työntilaaajien teknologiamanageri Markus Kassin ja tuotekehitysinsinööri / laboratoriopäällikkö Peter Finnäsin sekä Centria-ammattikorkeakoulun ohjaavan opettajan Mikko Kuusiston kanssa.

Tässä työssä suoritettiin kokeellisia testauksia ja analysointeja Jepualla Mirkan tehtaalla polttokokeesta kerätystä tuhkasta. Työn tilaajan vastuullisen opinnäytetyönohjaaja Peter Finnäsin kanssa suoritettiin erilaisia mekaanisia prosesseja tuhkan karakterisoimiseksi ja analysoitiin saadut jakeet eri menetelmiä hyödyntäen. Varsinaiseen laboratoriotyöskentelyyn eli kokeelliseen osuuteen varattiin runsaasti aikaa, koska testauksia ja analyyskejä oli merkittävästi.

2 MIRKA OY

Mirkan on perustanut vuonna 1943 Onni Aulo Helsinkiin. Varsinainen tuotanto käynnistyi vuonna 1946. Lukuisien tehtaan paikanvaihtojen jälkeen Mirkan tehdas Jepualla aloitti toimintansa vuonna 1962. Mirka Oy on osa perheomisteista Mirka KWH-yhtymä Oy:tä, joka sijaitsee Jepualla Uudessakaarlepyyssä. Mirkalla on muitakin toimipisteitä Oravaisissa, Karjaalla ja Pietarsaareissa. Mirka valmistaa hiomatuotteita niin pintakäsittelyyn kuin tarkkuushiontaan sekä sähkötyökaluja, jotka ovat tarkoitettuja erilaisiin pintakäsittelyvaihtoehtoihin, ja kiillotusaineita. Mirkan tuotteista n. 97 % menee vientiin ulkomaille, ja sen tuotteita myydään yli 100 maassa. Kansainvälisellä tasolla Mirkalla on 18 tytäryhtiötä aina Euroopasta Lähi-itään sekä Aasiaan ja Amerikkaan. Pääasialliset asiakkaat koostuvat puuteollisuuden, autoteollisuuden, rakennus- ja korjausteollisuuden sekä komposiittiteollisuuden yrityksistä. Jepuan tehtaalla henkilökuntaa on noin 600 eri työtehtävissä, aina tuotannosta hallintoon, johtoon ja kehityspuolelle. Suomessa Mirka työllistää n. 900 henkilöä eri tehtaillansa. Mirka on innovatiivinen ja hiomatuotteiden edelläkävijä Suomessa. Liikeideana Mirkalla on tuottaa erilaisia ratkaisuja asiakkaiden tarpeiden mukaan. (Mirka Oy 2022.)

2.1 Visio, missio ja arvot

Mirkan visiona on saavuttaa markkina-asema, jossa asiakkaat ja sidosryhmät näkevät Mirkan markkinajohtajana ja vastuullisimpana yrityksenä, joka edistää innovointia liiketoimintansa ydinalueilla. Mirka on satsannut mittavasti kehitystyöhön ja ollut myös keksimässä uudenlaista teknologiaa sekä merkittäviä ratkaisuja. Tällaiset kehitysharppaukset ja satsaamiset uudenlaisiin toimintamalleihin takaavat merkittäviä säästöjä tuotantoenergiassa. Missiona Mirka Oy korostaa ”Haluumme antaa ihmisille mahdollisuuden suoriutua paremmin” (Mirka Oy). Mirka painottaa energiatehokasta toimintaa ja tuotteita, joista on poistettu esimerkiksi vaarallisia kemikaaleja. Tämän lisäksi Mirka on panostanut sähkötyökalujensa ergonomisiin ominaisuuksiin. (Mirka Oy 2022.)

Mirkan arvot on lausuttu seuraavanlaisesti:

Vastuuntuntoinen - Kaikkia tuloksia ja resursseja kohtaan. Eettinen liiketapa. Järjestelmällinen ja hyvin organisoitu. Kustannustietoinen. Sitoutunut - Pidämme lupauksemme. Lähellä asiakasta. Omistautunut tehokkuuteen. Innostuneet työntekijät. Innovatiivinen - Avoin uusille ideoille. Pyrkii jatkuvasti parempaan. Luomme ratkaisuja, jotka ovat hyväksi meille, asiakkaillemme ja koko yhteiskunnalle. Arvostava - Jokainen

yksilö on arvokas ja voi antaa oman panoksensa. Avoin työilmapiiri. Lämmin ja aito. Reilu. (Mirka Oy 2022.)

Mirka laatii vuosittain liiketoimintasuunnitelman yhdessä johtoryhmän ja hallituksen kanssa. Tähän suunnitelmaan osallistuvat kaikki sen tehtaansa yksiköt aina Oravaisista, Karjaalta, Pietarsaaresta ja Jepualta. Osastokohtaiset tavoitteet tehdään olemassa olevan liiketoimintasuunnitelman perusteella. (Mirka Oy 2022.)

Mirkan liiketoimintasuunnitelma perustuu asiakkaiden tarpeisiin ja asiantuntemukseen. Lisäksi se korostavaa työssään vastuullisuutta, mikä on pohjana heidän ratkaisuilleen. Mirkan liiketoiminnan strategia käsittää, että kaikessa työssä on omat erikoisvaatimuksensa, ja sen tähden se haluaa panostaa yhteistyöhön asiakkaidensa kanssa, jotta näiden tarpeita vastaava ratkaisu toteutuisi mahdollisimman hyvällä tavalla. (Mirka Oy 2022.)

2.2 Kestävä kehitys

Mirkalla on selkeä päämäärä siinä, ettei tuhjata taloudellisia ja aineellisia resursseja sen enempää kuin on tarve. Sen tavoitteena on tarjota asiakkaille parhaat hiomatuotteet ja laitteet ja kokonaisratkaisut työstettävän pinnan käsittelyyn ja hiontaan. Mirka pitää itsestään selvänä vastuullisuuden niin asiakkaiden kuin omien ratkaisujensa kanssa. Se haluaa niin sidosryhmiensä kuin asiakkaidensa kanssa olla markkinoiden johtava ja vastuullinen yritys. Se on tehnyt tutkimuksia ja päässyt niissä pitkälle, mutta ajan kuluessa on työtä tehtävä jatkuvasti lisää ja kehittää omaa toimintaa aina alan trendien mukaisesti. Mirka pyrkii mahdollisimman paljon hankkimaan raaka-aineita paikallisilta toimittajilta lyhyiden kuljetusten ja pienimmän hiilijalanjäljen mukaisesti. Tämä lisää toimitusvarmuutta ja parantaa myös laatua. (Mirka Oy 2022.)

2.3 Clean production

Mirkalla on käytössä Clean production ohjelma. Tämä tarkoittaa, että yrityksessä on useampi vuosi kehitelty jo aivan uudenlaista tuotantomenetelmää. Menetelmässä korostuu energiatehokkuus. Mirka on myös panostanut tuotekehitykseen ja tutkimukseen. Yksi sen kuuluisimmista innovaatioista on pölytön hionta. (Mirka Oy 2022.)

Tehdassuunnittelussa on mm. satsattu uusiin tuotantolaitteisiin. Vanhat koneet olivat isoja ja kömpelöitä, jopa satojen metrien pituisia, kun taas nykyisin käytettävä laitteisto on huomattavasti pienempää ja sirompaa. Vanhat isot laitteet kuluttivat paljon energiaa, mutta nyt käytössä oleva uusi tuotantomenetelmä säästää energiaa jopa 95 % verrattuna vanhaan (Mirka Oy 2022.)

2.4 Käytössä olevat standardit ja sertifikaatit

Trendinä jo 1990-luvulla oli, että yritykset pääsisivät mukaan ISO-sertifiointiin. Mirka täytti ensimmäisen laatujärjestelmän vaatimukset ja sai ISO 9002:n sertifikaatin vuonna 1996. Ympäristöjärjestelmä ISO 14001 sertifikaatin Mirka sai kaksi vuotta myöhemmin. Laadunhallintajärjestelmästä tuli uusi versio ISO 9001, ja siihen Mirka ylsi vuonna 1999. Tavoiteltavissa oli vielä työterveyden ja -turvallisuuden johtamisjärjestelmä OHSAS 18001, jonka niin ikään Mirka on saavuttanut 1990-luvun lopussa. (Wester 2013, 97–98.) Nytkin OHSAS 18001 on muuttunut ISO standardi 45001:ksi (Mirka Oy 2022).

Euroopassa toimii hiomatuotteiden valmistajien liitto FEPA (Federation of European Producers of Abrasives), jonka jäsen Mirka on. FEPA:lla on oma standardi, Standard 43–1:2006, joka ohjaa päällystettyjen hiomatuotteiden valmistusta. Siinä on lausuttu hiekan jyvien raekokojakauman määrittämisestä aina niiden nimeämiseen saakka. Standardi on astunut voimaan vuonna 2006. FEPA:lla on käytössään SEAM-ohjelma (Sustainable European Abrasives Manufacturers), joka on laadittu vuonna 2020. Tämän ohjelman tarkoituksena on edistää vastuullisuutta ja kestävä kehitystä sekä tukea eurooppalaisia hiomatuotteiden valmistajia. Ohjelma asettaa standardeja, joihin kytkeytyvät olennaisesti työturvallisuus sekä tuotannon ja ympäristön tehokkuudet. Näiden standardien avulla päästään kohti parempaa kestävä kehitystä. (Mirka Oy 2022.)

3 HIEKKAPAPERITUOTANNOSTA SYNTYNYT JÄTE JA SEN KÄSITTELY

Vuonna 2020 Mirka aloitti kampanjan, jonka tarkoituksena oli vähentää tuotannossa syntyvää jätettä. Osaksi kampanjaa kuului myös tuottavuuden ja laadun parantaminen. Kampanjalle oli asetettu myös tavoite, joka saavutettiin ja näin ollen säästöjä saatiin aikaiseksi. Tavoitteeseen päästiin yksinkertaisin menetelmin. Työntekijät otettiin mukaan pohtimaan eri työvaiheita ja sitä, mitä niissä voitaisiin parantaa, jotta Mirkan tulos paranisi. Heille annettiin mahdollisuus miettiä omien työtapojensa merkitystä koko yrityksen tulokseen. Työntekijöille annettiin vinkiksi, että eritoten jätteiden synnyn vähentäminen olisi yksi hyvä keino parantaa yrityksen tulosta, koska esimerkiksi tuotantoprosessin alku- ja loppuvaiheissa jätettä syntyy eniten. (Mirka Oy 2022.)

Kuviossa 1 on esitelty, miten maailmanlaajuisesti jätteitä on Mirkalla käsitelty vuonna 2020. Jätteiden määrät on ilmoitettu tonneissa.



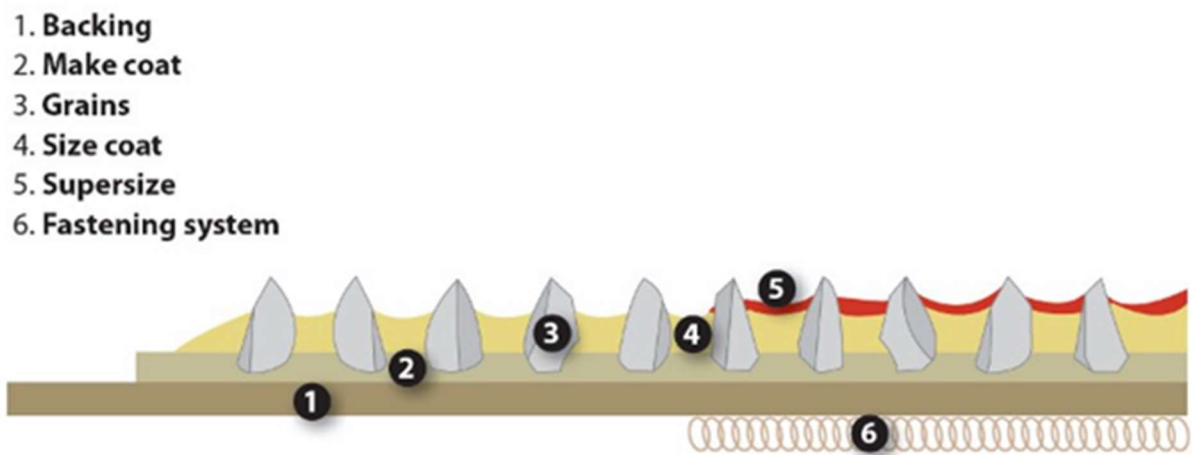
KUVIO 1. Jätteiden määrät ja käsittely (Mirka Oy 2022)

Säästötoimia jatkettiin myös vuonna 2021, jolloin edellisten muutosten lisäksi haluttiin tutkia, miten voitaisiin leikata myös hiekka- ja liimajättekustannuksia. Yrityksen mielestä on tärkeää, että

henkilökuntaa koulutetaan jatkuvasti ja uudet toimintatavat jokainen työntekijä ottaa rutiiniksi jokapäiväisessä työssään. (Mirka Oy 2022.)

3.1 Hiekkapaperin rakenne

Hiekkapaperi (hiomapaperi) näyttää peruskuluttajan silmään sangen yksinkertaiselta. Totuus on kuitenkin toinen, sillä hiekkapaperin rakenne on nykyään hyvin monimuotoinen. Hiekkapaperissa saattaa olla jopa 10 eri kerrosta. Yksi kerros vastaa aina yhtä vaihetta tuotantoprosessissa. (Mirka Oy 2022.) Kuvassa 1 esitellään tarkemmin hiekkapaperin koostumusta.



KUVA 1. Hiekkapaperin rakenne (Mirka Oy 2022)

Hiekkapaperin alimmainen osa on pohjakerros (1. Backing). Pohjakerroksen päälle ruiskutetaan pohjaliima (2. Make coat). Liiman päälle tulee hiomajyvät (3. Grains). Jotta jyvät saadaan pysymään oikeilla paikoillaan, niiden päälle laitetaan vielä toinen liimakerros (4. Size coat). Päällimmäiseksi tulee pintaliimakerros (5. Super size), mutta sitä ei käytetä kaikissa hiekkapaperilaaduissa. Alimmaiseksi tulee tarrakangas, joka toimii varsinaisena kiinnityssysteminä hiekkapaperin muodostumiselle. (6. Fastening system).

3.2 Käytössä olevat hiomajyvät

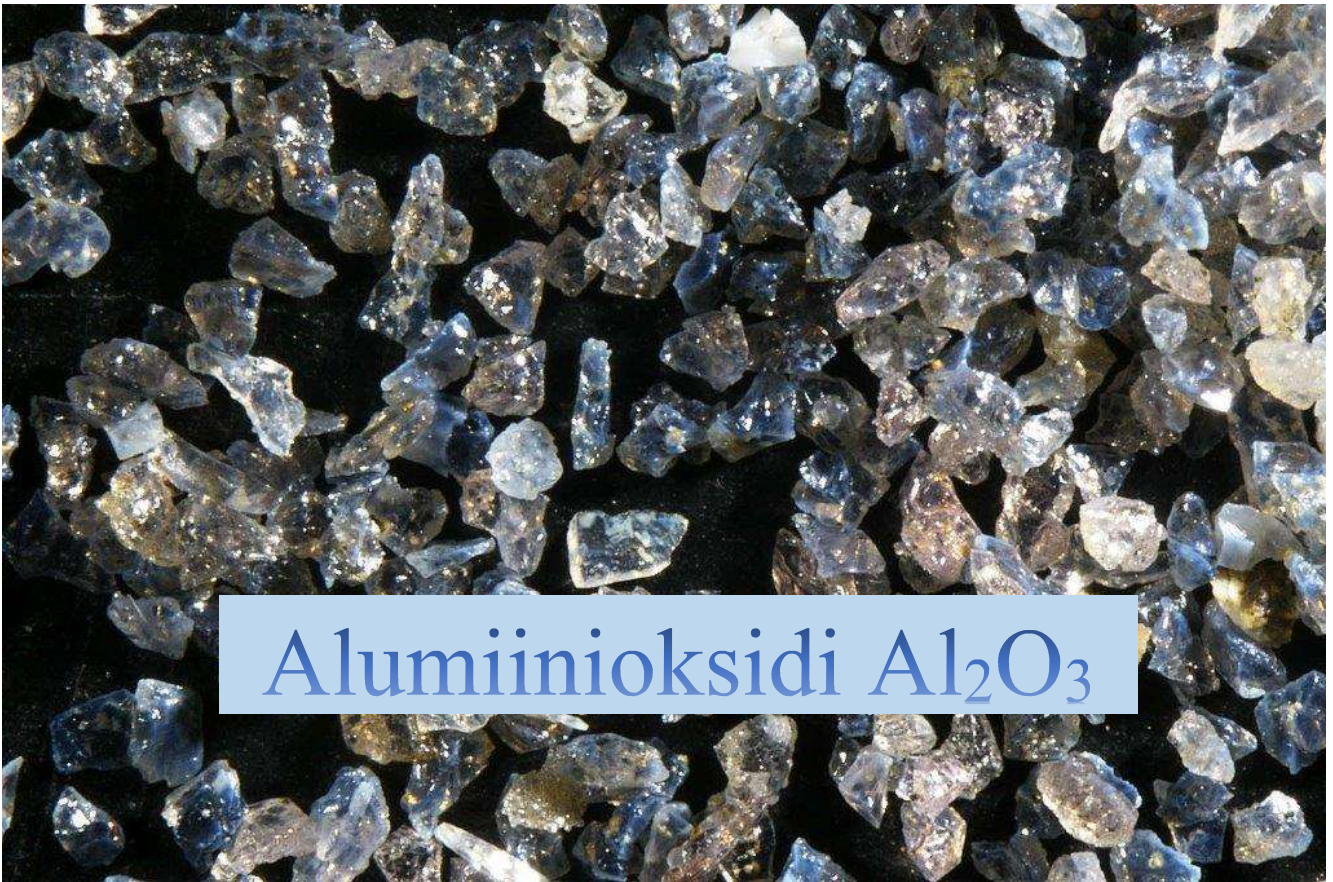
Aikaisemmin hiekkapaperissa käytettiin hiomajyvinä nimensä mukaisesti hiekan jyviä. Nykyään käytössä ovat pääsääntöisesti synteettiset jyvät. Jyvät sirotellaan hiekkapaperissa pohjaliiman päälle. Sirottelun jälkeen jyvien päälle tulee pintaliimakerros. Hiekkapaperin luokitukselle on olemassa oma FEPA-standardi. FEPA-standardin mukaan hiomapaperit jaotellaan karheuden mukaan. Ne ilmoitetaan MESH-lukuna. MESH-luku kertoo rakeiden sirotteluun liittyvään verkon ja verkon silmien koon. Mitä suurempi luku on, sen hienompaa on hiekkapaperi. Etuliite ”P” kertoo hiekkapaperin luokituksen keskimääräiselle raekoolle mikrometreissä. Karheat hiekkapaperit ovat välillä 12–80, keskikarheat 100–280, hienot 320–600 ja erittäin hienot 800–2500. (Ziemann 2016.)

Elektrostaattisesti varauksiltaan erimerkkiset jyvät latautuvat ja kiinnittyvät vastakkaisesti varautuneeseen pintaan hiekkapaperissa. Jyvät tarrautuvat paperin pintaan niin, että jyvän terävä muoto suuntautuu ulospäin. (Ziemann 2016.)

Erityisen kovien metallien hiomiseen käytetään hiekanjyviä, jotka pääsääntöisesti koostuvat piikarbidista. Alumiinioksidit ovat puolestaan käytössä automaaleissa. Nykyään suurin osa kaikista hiomajyvistä valmistetaan teollisesti. (Ziemann 2016.)

3.2.1 Alumiinioksidi

Alumiinioksidi (Al_2O_3) on metallinen oksidi, jonka muodostaa hapen ja metallin välinen reaktio. Kaupallisessa mittakaavassa alumiinioksidi on valkoista jauhetta, joka on hajutonta ja myrkytöntä. Korundi on ainoa luontainen alumiinioksidi, joka esiintyy luonnossa. Alumiinioksidi tunnetaan kovuudestaan (MOHS 9), joten se soveltuu erinomaisen hyvin hiomateollisuuteen. Muita erittäin kovia keraameja ovat piikarbidi (SiC) ja kuutioboorinitridi (CBN). Alumiinioksidilla sähkön- ja lämmönjohtokyky ovat myös hyvät. Alumiinioksidia tavataan monissa eri väreissä, kuten punainen, violetti, vihreä, harmaa tai väritön (KUVA 2). Alumiinioksidin tiheys on $3,96 \text{ g/cm}^3$ ja sen moolimassa on $101,96 \text{ g/mol}$. Alumiinioksidit eivät liukene veteen. Alumiinioksidit ovat laajasti käytössä monilla teollisuuden aloilla esimerkiksi katalyyttinä, lämmöneristeenä, hapettimena, hammaslääketieteessä, lentokoneiden valmistuksessa ym. (Thpanorama 2022.)



KUVA 2. Alumiinioksidi BFRPL P50 havainnekuva (mukaiillen Mirka Oy 2022).

3.2.2 Piikarbidi

Piikarbidi (SiC) muodostuu piistä ja hiilestä. Sen kovuus on Mohsin asteikolla 9–10. (Thpanorama 2022.)

Piikarbidin moolimassa on 40,11 g/mol, ja sen tiheys on 3,16 g/cm³. Piikarbidilla on korkea sulamispiste, 2 830 °C. Se kestää hyvin happoja ja emäksiä ja on kemiallisesti inertti, eli se ei ole osallinen reaktioyhtälöissä eikä täten muodosta kemiallisia yhdisteitä (KUVA 3). Piikarbidi johtaa hyvin lämpöä ja kestää korkeita lämpötiloja. (Thpanorama 2022.)

Mekaanisilta ominaisuuksiltaan piikarbidi kestää hyvin korroosiota, kulutusta ja puristusta. Piikarbideja käytetään puolijohteina korkean lämmönkeston ja jännitteen kestävyksiensä vuoksi. (Thpanorama 2022.)



KUVA 3. Piikarbidi P40 havainnekuva (mukaillen Mirka Oy 2022).

3.3 Leikkujäte

Leikkujätettä syntyy, kun suorakaiteen muotoisesta hiekkapaperirullasta leikotaan automatiikan avulla erikokoisia pyöröjä. Täten pyöröjen väliin jää hyvälaatuista hiekkapaperia, jonka hiontajyviä haluttaisiin hyödyntää uudelleen hiekkapaperituotannossa. Vaikka menetelmiä parannetaan jatkuvasti, leikkujätteen syntyä ei voida täysin poistaa. Leikkujätettä syntyy noin 20 % koko hiekkapaperin tuotannosta. (Finnäs 2022.)

3.4 Polttojäte

Polttojätteeseen luokitellaan leikkujätteen lisäksi kaikki muu sekajäte, esimerkiksi tekstiili-, paperi- ja muovijäte, joita tuotantoprosessissa syntyy. Nämä jätteet kuljetetaan välivarastoon, joka sijaitsee tuotantolaitoksen vieressä. Mirka on sopinut jätteiden poltosta paikallisen Adven Oy Jepuan kanssa. (Finnäs 2022.) Mirkan ja hyötyvoimalaitoksen yhteistyö on alkanut 2000-luvun alkupuolella, kun Mirka

alkoi ostaa Advenilta energiaa. Tähän ratkaisuun päästiin, kun Mirka halusi luopua omasta energiatuotannosta. (Adven Oy 2020.)

Mirkan tehtaalla toimiva tekninen päällikkö Jari Lemberg (Adven Oy 2020) kehuu Advenin tekemässä artikkelissa: ”Adven tuottaa Mirkalle energiaa tuotannon sivuvirroista” yhteistyöstä tulleen erittäin antoisaa, sillä Mirka, höyryn ja energian palvelun ostajana, on saanut Advenilta kehittymiseen neuvoja ja sillä on hyötyvoimalaitoksen kanssa oma vastuuasentaja, jonka kanssa ollaan päivittäin tekemissä. Mirka on alkanut kierrättää vettä ja lämpöä entistä paremmin vuoteen 2020 mennessä ja öljynkäyttö on pienentynyt selvästi. (Adven Oy 2020.)

3.5 Adven Oy Jepua

Jepuan hyötyvoimalaitos sijaitsee Mirkan tehtaan välittömässä läheisyydessä. Hyötyvoimalaitoksen polttoaineita ovat biopolttoaineet ja energiajätteet. Mirkan tuotantoprosessista syntyvät jätteet muodostavat jäteperäisen polttoaineen, ja biopolttoaineena toimii puu. (Etelä-Pohjanmaan ELY-keskus 2020.)

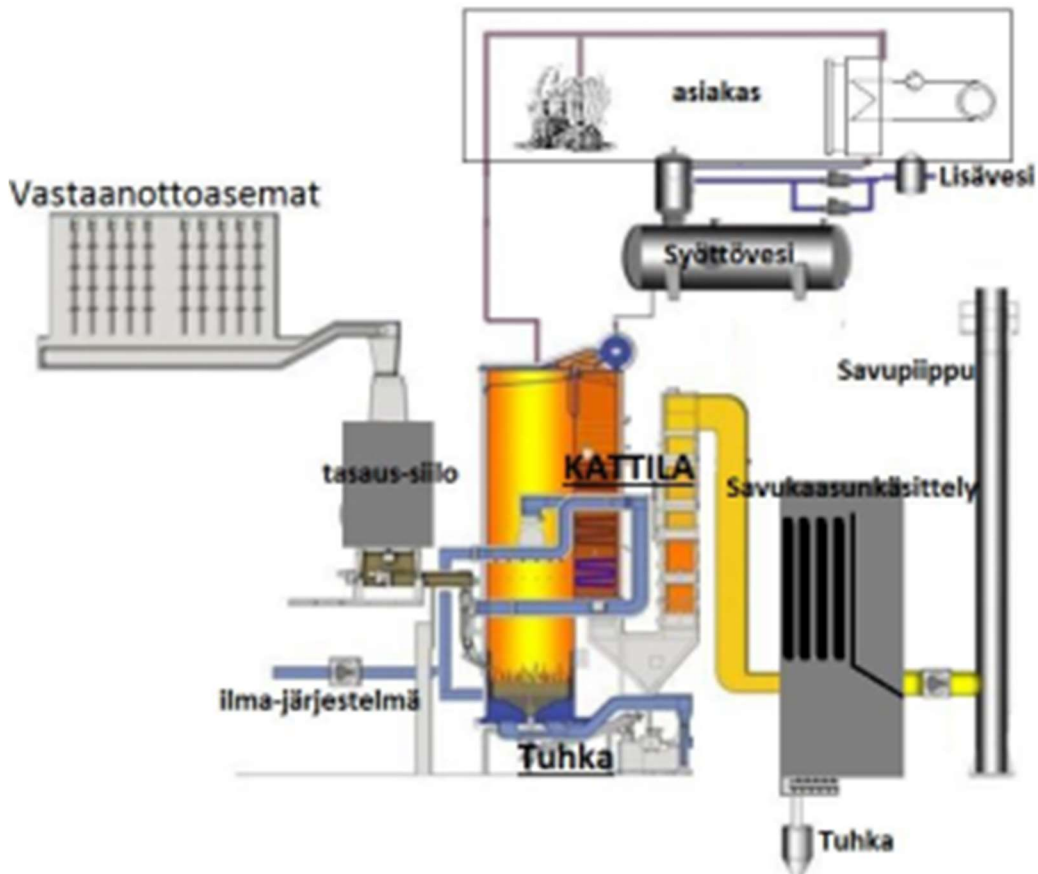
Hyötyvoimalaitoksessa on eri osastoja, joita ovat polttoaineen vastaanotto ja varastointi, kattilalaitos ja savukaasujen puhdistusosasto. Polttoaineen vastaanottoon rekat kuljettavat suljetuissa konteissa. Kolakuljettimet kuljettavat saapunutta polttoainetta varastosta tasaussiiloon magneetin avulla. Polttoainetta syötetään syöttöruuveilla tasaussiiloista kattilassa olevaan tulipesään. Polttoaineen syöttöä ohjaavat Mirkan vastaanottama energian määrä ja käyttöpaine. Kattilan on niin sanottu leijupetikattila. Hiekkapetiin (800 °C) syötetään polttoainetta, joka sitten myöhemmin sytyttää pesän palamaan. Varsinaista polttotapahtumaa hallitaan primääri-ilmalla. Ohjaus tapahtuu alhaalta päin hiekkapedin lävitse. Optimointiin tarvitaan sekundääri- ja tertiääri-ilmaa. Nämä tois- ja kolmassijaiset ilmat suitsutetaan huomattavasti korkeammalta pesän seiniltä. (Etelä-Pohjanmaan ELY-keskus 2020.)



KUVA 4. Advenin hyötyvoimalaitoksen toimintaperiaate (Etelä-Pohjanmaan ELY-keskus 2020)

Kattilassa on kaksi poltinta: starttipoltin ja kuormapoltin. Aluksi starttipolttimella lämmitetään hiekkapeti 800 °C:een. Tämä aiheuttaa palamisen alkamisen. Viipymälämmöstä vastaa automaattinen kuormapoltin, jonka tehtävänä on pitää huoli siitä, että jätteenpolton vaatima viipymälämpö toteutuu. Polttoasetuksen mukainen viipymälämpötila tulee olla yli 850 °C. (Etelä-Pohjanmaan ELY-keskus 2020.)

Kattila on tyypiltään vesiputkikattila. Sen osat ovat lieriö, tulipesä, tyhjä veto, konvektio-osa ja höyrykattilakomponentti. Savukaasut, jotka tulevat kattilasta johdetaan virtaavaan veteen, jolloin vesi pääsee höyrystymään ja kylläinen höyry erotetaan kattilassa olevassa lieriössä. Erotettu höyry lähtee palvelun ostajalle (KUVA 4) (Etelä-Pohjanmaan ELY-keskus 2020.)



KUVA 5. Advenin hyötyvoimalaitoksen kattilan toimintaperiaate (Etelä-Pohjanmaan ELY-keskus 2020)

Savukaasut puhdistetaan letkusuodattimien avulla. Puhdistukseen käytetään apuaineina aktiivihiiltä ja sammutettua kalkkia. Savukaasujen puhdistuksessa poistetaan poltossa syntyneet mahdolliset haitalliset yhdisteet ja myrkyt. Typen oksidipäästöjä hallitaan ammoniakkivedellä, jota sumutetaan tulipesään. Näin ollen ammoniakkivesi saa aikaan reaktion, jossa typen oksidit muuttuvat typeksi ja vedeksi. (Etelä-Pohjanmaan ELY-keskus 2020.)

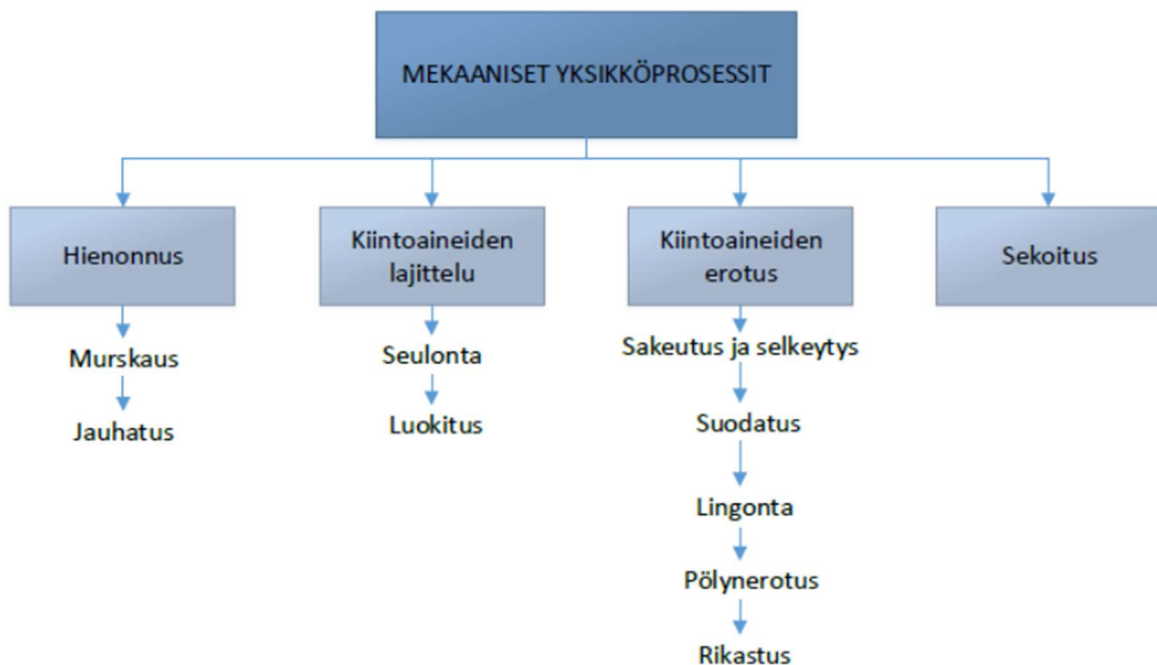
3.6 Jepuan biokaasulaitos

Mirka ilmoitti 31.8.2016 tiedotteessaan saavuttaneensa tärkeän virstanpylvään. Se on tästä hetkestä lähtien täysin riippumaton fossiilista polttoaineista. Mirkan jätteiden polttaja Advenin hyötykäyttölaitos otti käyttöön biokaasun polttoöljyn sijaan. Biokaasun Advenille toimittaa paikallinen Jepuan Biokaasu Oy. Tästä johtuen myös Mirkan hiilidioksidipäästöt ovat merkittävästi pienentyneet, ja se on saanut hiilijalanjälkeä huomattavasti pienennettyä. (Mirka Oy 2022.)

Biokaasu muodostuu hiilidioksidin ja metaanin seoksesta. Orgaanista ainetta hajoaa, kun mikrobit sitä hajottavat hapettomissa olosuhteissa. Tämä tapahtuu pääsääntöisesti mädätyssäiliöissä. Jepuan Biokaasulaitos valmistaa biokaasua jätteistä. Jätteitä ovat mm. ruoantuotannosta jäävät perkuujätteet, lietteet ja lanta. Prosesissa hiilidioksidi sitoutuu vesipisaroihin, jolloin metaanipitoisuus nousee 98 %:iin. Mädätyssäiliössä oleva kompressori paineistetaan, jolloin kaasun paine nostetaan 250 bariin. Tämän jälkeen kaasu voidaan siirtää sille tarkoitetulle kaasuasemalle tai suoraan teollisuuskäyttöön. Hiilidioksidimäärät eivät ilmakehässä lisäänty, koska saman verran kasvihuonekaasuja on sitoutunut raaka-aineeseen kuin sitä palamisessa vapautuu. (Jepuan Biokaasulaitos Oy 2022.)

4 MEKAANISET EROTUSPROSESSIT JA ANALYYSILAITTEISTO

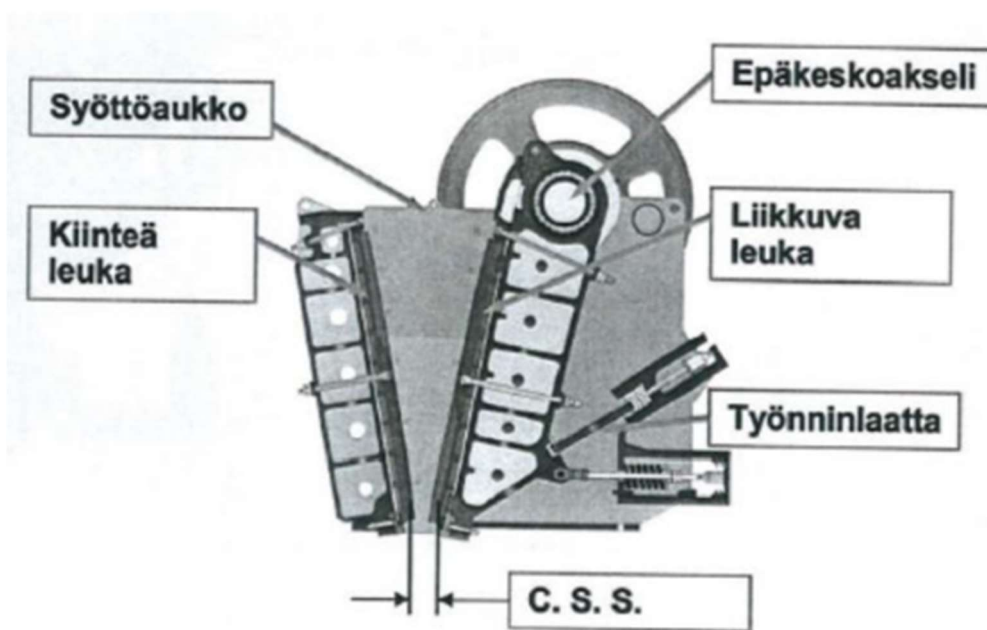
Mekaanisia prosesseja käytetään teollisuuden monella eri alalla, mm. kaivos- ja mineraaliteollisuudessa, massan ja paperinvalmistuksessa ja elintarviketeollisuudessa. Mekaanisten prosessien (KUVIO 2) tarkoituksena on erottaa haluttu arvo- ja sivutuotteesta erilaisin mekaanisin keinoin. (Ämmälä 2022.) Tässä työssä tutkittiin erilaisia mekaanisia prosesseja hiontajyvien erottamiseksi tuhkasta. Materiaalin hienonnus on yleensä ensimmäinen vaihe materiaalin jalostuksessa, varsinkin silloin, jos partikkelit ovat isoja. Hienonnusvaiheen jälkeen siirrytään hienonnettujen partikkelien käsittelemiseen ja erottamiseen toisistaan. (Ämmälä 2022.) Tässä opinnäytetyössä hiekkapaperin poltosta syntyneestä jätteestä ei jyvää tarvitse kuitenkaan hienontaa, koska ne ovat jo valmiiksi hyvin pieninä partikkeleina. Hienonnus tulee kyseeseen, jos polton yhteydessä on syntynyt agglomeraatteja tai muita suurempia kappaleita. Laboratoriomittakaavassa haluttiin tutkia lähinnä kuivaprosesseja, jolloin alkuperäiseksi valinnaksi tulivat jauhatus ja seulonta. Kun riittävän hyviä tuloksia ei kuivaprosesseilla kuitenkaan saatu, kokeiltiin myös vesipesua ja ultraäänipesua sekä kaikkien näiden edellä mainittujen erotusmenetelmien sekoitusta.



KUVIO 2. Mekaanisten prosessien jaottelu (Kaiva 2014)

4.1 Leukamurskain

Leukamurskaimet ovat pääsääntöisesti käytettyjä aineksen esimurskaukseen. Leukamurskainten tarkoituksena on saattaa materiaali niin pieneksi, että sitä on mahdollista työstää seuraavassa mekaanisessa prosessissa. Murskettava aines pilkkoutuu kiinteän ja liikkuvan leuan välissä perustuen puristukseen. Kiinteä leuka pysyy paikallaan, kun taas liikkuva leuka on asennettu heiluriin, joka liikkuu edestakaisin. Kun murskettava aines kulkee kahden leuan välissä, leuat puristavat aineksen pienemmiksi partikkeleiksi. (Metso Outotec 2022.) Kuvassa 6 esitellään leukamurskaimen toimintaperiaate.

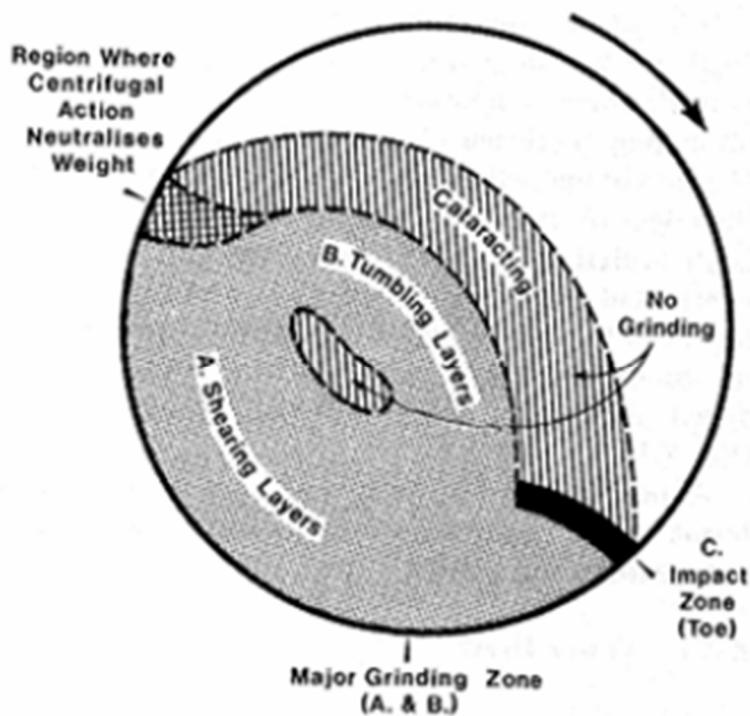


KUVA 6. Leukamurskaimen osat (Kaiva 2022)

Leukamurskaimen kita-aukko määrittelee sen, kuinka suuria kappaleita voidaan murskaimen syöttää, että se on murskattavissa. C.S.S on asetusarvo, ja se ilmoittaa pienimmän etäisyyden murskaimessa, joka on kiinteän ja liikkuvan leuan välissä murskaimen alaosassa. Kun asetusarvo on määritetty, voidaan aloittaa aineksen hienonnus. Arvo määrittelee murskattavan jakeen hienouden. Murskaussuhde leukamurskaimella on 3–7. (Kaiva 2022.)

4.2 Kuulamyly

Kuulamylyssä on vaakasuora akseli, jonka ympärillä pyörii rumpu (Pihkala 2005, 17). Aiemmalta nimeltään kuulamylyt olivat rumpumylyjä, ja nykyisellään niillä on edelleen sama perusrakenne kuin rumpumylyissä. Kuulamylyissä jauhinkappaleet voivat olla ruostumattomasta teräksestä tai keraamista valmistettuja kuulia tai sylinterimäisiä kappaleita. Kuulien halkaisijat vaihtelevat 12 mm:stä 125 mm:iin. Kuulia tarvitaan noin 30–50 % myllyn tilavuudesta. Myllyn pyörimisnopeuteen vaikuttaa kriittinen pyörimisnopeus, joka tarkoittaa sitä nopeutta, jolla kuulat jäävät myllyn kehälle keskipakovoiman ansiosta. Kuulamylyjen tyypillinen nopeus on noin 65–82 % kriittisestä nopeudesta. Jos nopeutta suurennetaan, se voi aiheuttaa sen, että myllyn vuoraus kuluu nopeammin. Jauhautumiseen vaikuttavat myös aineksen syöttönopeus, määrä, aineksen materiaali sekä jauhinkuulien ominaisuudet, kuten paino ja halkaisija. (Kuivala 2014.)



KUVA 7. Kuulamylyyn toimintaperiaate (Oja 2006)

Itse jauhatus tapahtuma perustuu iskuihin ja hiertojauhaukseen. Myllyn pyöriessä keskipakovoimaisesti, kuulat iskeytyvät myllyn seinämiin samalla murskaten syötettyä materiaalia, tai hiertojauhaukseen, jolloin kuulat hiertävät syötettyä materiaalia murskaten tätä. (Oja 2006.)

Kuulamyllyt on tärkeää vuorata. Vuoraus parantaa kuulamyllyn kestävyyttä ja mahdollistaa kitkan syntyä kuulamyllyn seinämille, jotta kuulat eivät vain liukuisi seinämiä pitkin. Vuorauksia täytyy vaihtaa aika ajoin, sillä ne kuluvat. (Oja 2006.)

4.3 Seulonta

Erotusmenetelmänä seulonta on vanha ja hyvin laajasti käytetty menetelmä. Teollisuudessa seulontaa käytetään kiinteän aineen kokoeroteluun. (Laitinen 2014.) Seulonnan tarkoituksena on säännöstellä jo murskatun materiaalin raekokoa. Murskatusta materiaalista otetaan talteen tarpeeksi hieno aines, joka seulotaan, jolloin karkeampi aines on mahdollista murskata tai jauhaa uudelleen pienemmiksi partikkeleiksi. (Kurttio 2012.)

Seulat rakentuvat pinnoista, joissa on aukkoja. Seulojen materiaalina voivat olla teräsverkot ja silkki- ja muovikangaslevyt. Yleisimmin käytössä on kuitenkin ruostumaton teräs. Seulapinnan aukot voivat olla ympyrän tai neliön muotoisia. (Laitinen 2014.) Seulat jaotellaan kahteen alalajiin, dynaamiset ja staattiset seulat, riippuen siitä, ovatko ne liikkuvia vai paikallaan olevia. Dynaamisia seuloja käytetään suhteessa enemmän. (Oja 2006.)

Seulontaa voi tehdä joko kuiva- tai märkäseulontana. Kuivaseulontaa on mahdollista tehdä alle 100 mikrometrin raekoosta lähtien. Seulonnan kapasiteetilla tarkoitetaan syötettävän kuivan aineksen määrää pinta-alayksikköä kohti tai läpäisseen hienon materiaalin määrää samassa yksikössä. (Kurttio 2012.)

Seulonta suoritetaan yleensä seulasarjalla, jossa on useampi erikokoinen seula. Alimmaiseksi jätetään keräilyastia, johon kerääntyy kaikista hienoin jae. Karkein seula asetetaan ylimmäiseksi. Jokaiselle seulatasolle kertynyt materiaali punnitaan, ja täten saadaan laskettua kyseisen seulalle jääneen materiaalin suhteellinen osuus alkuperäisestä kokonaismassasta. (Kurttio 2012.)

Seulonnan jälkeen suoritetaan seula-analyysi, jossa jaotellaan rakeet niiden koon perusteella. Analyysitulokseen voi vaikuttaa seulottavan aineksen kosteus, muoto ja pintavaraus. Pienin luotettava partikkeli on 45 mikrometriä. Tätä hienommat jakeet voivat vääristää analyysitulosta, koska ne saattavat agglomeroitua suuremmiksi jakeiksi. (Kurttio 2012.)

4.4 Ultraäänipesu ja kuivaus

Ultraääni on äänentaajuudeltaan yli 20 kHz, ja se ylittää ihmiskorvan kuulemisalueen. Pietsähköiset kiteet saavat aikaan ultraäänen. Ultraäänipesu on ns. märkäprosessi, jossa olennaisesti käytetään vettä puhdistukseen yhdessä ultraäänen kanssa. Pestävä materiaali sekoitetaan veden kanssa ja ultraäänisauva lasketaan alas nesteeseen. Ultraäänipesua säädellään amplitudeilla ja taajuudella. Näiden lisäksi myös pesuaine, kesto, lämpötila ja pestävän materiaalin ominaisuudet vaikuttavat pesutulokseen. (Weckström 2012.) Kavitaatioefektiin perustuva ultraäänipesu aiheutuu ultraääniaaltojen värähtelystä nesteessä. Pieniä kuplia alkaa muodostua. Kuplat supistuvat entisestään voimakkaasti, mikä aiheuttaa kavitaatiota. Kavitaatio saa aikaan voimakkaan hankausvaikutuksen puhdistettavan materiaalin pintaan. Syntyneet kuplat ovat niin pieniä, että ne mahtuvat tunkeutumaan pieniin väleihin ja halkeamiin. Puhdistus tapahtuu siis niin, että partikkelit esim. noki hiomajyvät irtoavat toisistaan. Tällöin lika on huuhdeltavissa pois. Ultraääni myös rikkoon polttoprosessissa syntyneitä agglomeraatteja. Tämän johdosta puhdistus tapahtuu perusteellisesti. Ultraäänipesu on todettu eritoten loisteliaaksi puhdistustavaksi noelle ja lialle. (Tuontitukku 2022.)

Syntyvien kavitaatiokuplien vaikutus on tasaista suhteessa pestävään materiaaliin. Ultraäänen tuottaman energia läpäisee kauttaaltaan pesussa olevan materiaalin ja puhdistus tapahtuu täten tasaisesti kappaleen joka puolelta. (Weckström 2012.) Teollisuus käyttää laajasti ultraäänipesua, koska se puhdistaa epäpuhtauksia varsin tehokkaasti. Jos kyseessä on materiaali tai esine, joka ylipäätään on puhdistettavissa nesteen avulla, puhdistus hoituu nopeimmin ja perusteellisimmin ultraäänipesun avulla. (Tuontitukku 2022.)

4.5 Linkous

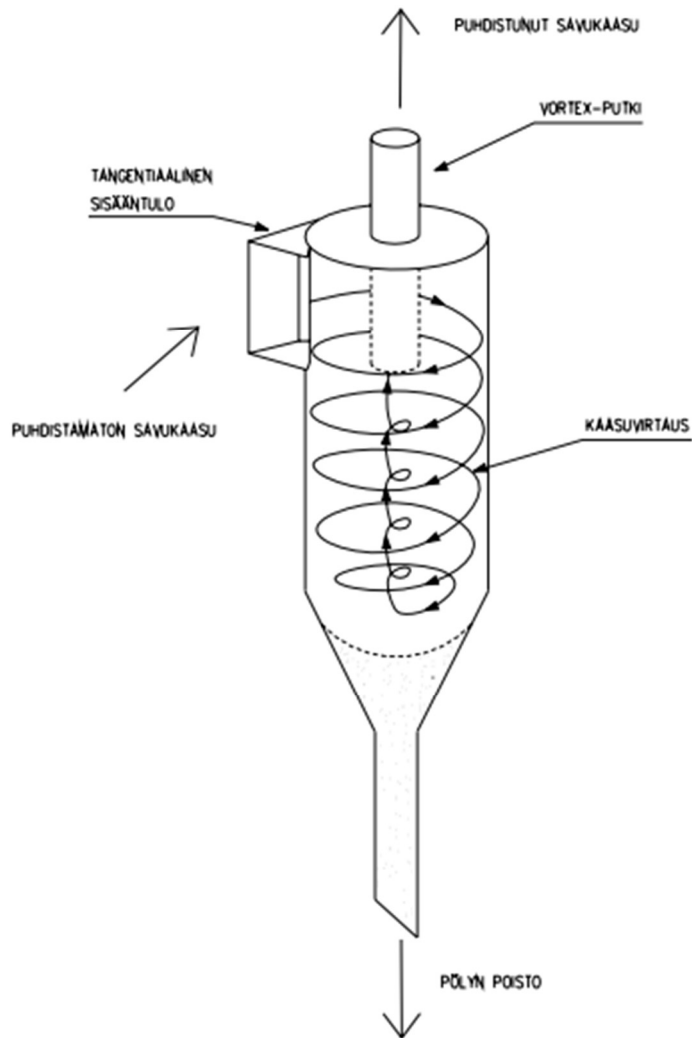
Lingontaa voidaan käyttää partikkelien erottamismenetelmänä, kun kiintoainetta halutaan erottaa nesteestä. Linkoja voivat olla, kori-, lautas- ja lietelingot. Näitä nimitetään yhteisellä nimellä sentrifuugi. Sakeutusperiaatteella toimivassa lingossa on rumpu, joka pyörii kehää joko vaaka- tai pysty akselin suuntaisesti. Rummun pyöriessä neste selkiytyy ja kiintoaines sakeutuu. Tällaisten rumpujen seinämät ovat eheät. Teollisuudessa käytetään useimmiten keskipakoisvoimaan perustuvaa sakeutuslinkoa, koska aines on hyvin hienojakoista eikä sitä saataisi muuten erottumaan painovoimaisesti nesteestä. (Jaakola 2016.)

Suodatusperiaatteella toimivan rummun seinämissä on reikiä, joista aines kulkeutuu suodinkankaalle muodostaen kakun sen pintaan, ja samalla neste pääsee suodinkankaan lävitse (Jaakola 2016). Tämä erotusmenetelmä jäi niin ikään tässä opinnäytetyössä sivuun, koska pyrittiin aluksi selvittämään, kuinka kuivaprosessein saataisiin aluksi erotettua mineraalijaetta pois tuhkasta. Jos haluttuihin tuloksiin ei kuivaprosessein päästä, erilaiset erotusmenetelmät ja toimenpiteet jatkuvat tulevaisuudessa.

4.6 Sykloni

Syklonit ovat dynaamisia erottimia. Niiden toimintaa perustuu massavaikutukseen. Yleisimmin käytetty valmistusmateriaali on ruostumaton teräs, mutta muitakin materiaaleja voidaan käyttää. (Hämäläinen 2007.)

Sykloneita käytetään teollisuuden aloilla, kun halutaan mekaanisesti erottaa pölyä ja muita epäpuhtauksia. Parhaiten syklonit toimivat partikkelikoossa 1–10 mm. Syklonit ovat suhteellisen edullisia laitteita, mutta niiden erotustehokkuus ei ole kovinkaan suuri, joten pääsääntöisesti niitä käytetään esierottimina suuremmissa jakeissa. Erotuskyky heikentyy selkeästi, jos erotettava hiukkanen on pienempi kuin 5 μm . Myös sykloneissa käytetään keskipakovoimaa. Sykloneissa ilma saatetaan pyörivään liikkeeseen, jolloin erotettava aines kerääntyy syklonin ulkoreunoille. Alitteeksi muodostuu siten puhdistettu jae, ja ylimääräinen ilma poistetaan imun avulla syklonin keskeltä yläkautta pois. Sykloneita on mahdollista asentaa useampi peräkkäin, jolloin erotustehokkuus paranee. (VTT Automaatio 2004.) Kuvassa 8 esitellään vastavirtavoimaisesti toimivan syklonin toimintaperiaate.



KUVA 8. Vastavirtasyklonin toimintaperiaate (Hämäläinen 2007)

Työn edetessä laboratorio-olosuhteissa niin ikään syklonin käytöstä luovuttiin, koska sen erotustehokkuus ei ole kovinkaan suuri, ja agglomeraatit eivät tulisi irtautumaan toisistaan ilmapyörteen ja keskipakovoiman avulla.

4.7 DSC-TGA-analysointi

Kaikkien testauksien jälkeen, näytteitä analysoitiin analyysilaboratoriossa käyttäen apuna DSC-TGA analyysilaitteistoa (KUVA 9). Laitteen tekemä analyysi kykenee esittämään, paljonko käsitellyt hiekkänäytteet sisältävät orgaanista ainesta, eli paljonko prosentuaalisesti orgaanista ainesta häviää

polton yhteydessä.



KUVA 9. Havainnekuva analyysilaitteesta (mukaiillen, TA Instruments, 2022.)

4.7.1 Analysointilaitteiston toimintaperiaate

Analyysit suoritetaan TA Instruments yhtiön valmistamalla SDT-650 laitteella (KUVA 9). Termogravimetrinen analyysi (TGA) mittaa materiaalin painon ja määrän muutoksen kontrolloidussa ympäristössä. Mittauksia käytetään ensisijaisesti määrittämään materiaalien koostumuksia ja ennustaa niiden lämpöstabiilisuutensa korkeissakin lämpötiloissa. TGA analyysi muodostuu viivadiagrammiksi tietokoneelle koko polttotapahtumasta. Alussa asetetuista ajoarvoista riippuu, kuinka kauan polttotapahtuma kokonaisuudessaan kestää. Uunin lämpötila voidaan säätää aina 1500 °C:een saakka. Näytettä punnitaan noin 10 mg / näyte. Näytekupit ovat valmistettuja joko platinasta ja kestävät ainoastaan 800 °C:n lämpötilan. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää kertakäyttöisiä keraamisia näytekuppeja, jotka kestävät lämpöä aina 1500 °C:een saakka. Laitteisto on hyvin herkkä, eikä kestä epäpuhtauksia näytekuppien ympärillä, koska sen toiminta on täysin ohjelmoitua ja kalibrointia joudutaan suorittamaan usein.

4.8 Morfologiset analyysit

Sana morfologia viittaa lähinnä muoto-oppiin tai muotoa koskeviin asioihin ja konteksteihin. Morfologinen analyysi voi perustua tekniikkaan tai menetelmään. (Rubin 2022.) Se etsii kaikin lähestymistavoin optimaaliset keinot päämäärän saavuttamiseksi. Hyvä keino on laatia lista eri muuttujista, mitä halutaan saada selville. Muuttujat voidaan täten jokainen erikseen tutkia tai sitten käyttää useamman muuttujan yhdistelmää. (Nayebi & Ruhe 2015.) Tässä työssä käytettiin myös analysointiin optista mikroskooppia, jolla tutkittiin eri kokoisia fraktioita ja tehtiin niistä päätelmiä.

4.8.1 SEM ja EDS

SEM:n avulla tutkitaan erilaisia pintoja, pinnanmuotoja ja -rakenteita. Analysoitavat näytteet tulee olla kuivia ja näytteen pinnan tulee johtaa sähköä. Jos näytteessä ei ole sähköä johtavaa pintaa, se pinnoitetaan sähköä johtavalla materiaalilla. Tällaisia materiaaleja ovat mm. hiili, platina, palladium tai kulta. Sen toiminta perustuu elektronitykillä tuotettuun elektronisuihkuun. Elektronisuihku ohjataan ja kohdistetaan tutkittavaan kappaleeseen linssien avulla, jotka ovat sähkömagneettisia. Suihku pyyhkäisee materiaalin pintaa rasterimaisesti. (Yli-Hukkala 2014.) Kohdatessaan materiaalin pinnan, ne tekevät vuorovaikutusta ja tuottavat erilaisia signaaleja, kun ne poikkeavat alkuperäisestä suunnastaan. EDS-analyysissä vuorovaikutuksen jälkeen elektronidetektorit havaitsee elektronit. Jotkut näistä takaisin kimpoavista elektroneista havaitaan BSE-detektorilla. (takaisinsirontaelektroni). Tällä tavoin voidaan selvittää erilaisten alkuaineiden jakautumisesta näytteessä. Jakautuminen näkyy erilaisina kontrastieroina kuvissa. Myös sekundäärisiä elektroneja (SE) vapautuu näytteestä elektronisuihkun avulla. Vain hyvin lähellä näytteen pintaa olevat sekundäärielektronit voivat irrota ja ne havaitaan SE-detektorilla. (Measurlabs 2022.) SEM muodostaa elektronisen kuvan tietokoneen näytölle, eli oikeaa kuvaa ei synny (Yli-Hukkala 2014).

5 AIKAISEMMAT TESTAUKSET JA NIIDEN TULOKSET

Mirka on tehnyt yhteensä neljä koepolttoa leikkujätteelle: yhden Advenin polttolaitoksella Ylistarossa, kaksi Uponorin polttolaitoksella Vaasassa syyskuussa 2021 ja marraskuussa 2021 sekä yhden Tšekeissä. Ensimmäisen, toisen ja kolmannen Suomessa suoritettuna koepolton uuni oli tyypiltään arinatyypinen. Tšekeissä tehdyssä poltossa käytetty uuni oli pyörivä, jäähdytettävä arinauuni. Ylistarossa Mirkan hiekkapaperijätettä on poltettu muun sekajätteen kanssa. Vaasassa ja Tšekeissä on poltettu pelkästään Mirkan hiekkapaperin leikkujätettä. (Finnäs 2022.)

5.1 Koepoltto Adven Oy Ylistaro

Ylistarossa Advenin polttolaitoksessa poltetusta sekajätteestä Mirka sai tuhkaa poltosta noin 5 kg uunin eri osista kerättyinä, joista alettiin tutkia tuhkaa 3 kg:n edestä. Näytteitä otettiin uunin monesta eri osasta, mutta analyysejä Mirkan laboratorioissa on ainoastaan tehty uunin pesän ja arinan alta olevista tuhkanäytteistä. Sekajätteessä oli hiekkapaperin lisäksi myös nauvoja, ruuveja, lasia, kuonaa ja kiviä. (Stoor 2022.)

Aluksi seulottiin 1,1 mm:n seulalla ylisuuret jakeet pois (ylite). Ylitteen määrä oli 876 g eli 29 % koko tuhkanäytteestä. Alitetta (alle 1,1 mm:n seula) otettiin suojaseulontaan yksi erä raekooltaan 500 µm. Tästä erästä ylite oli 154 g eli 17 %, jolloin näiden ylitteiden yhteenlaskettu määrä vastasi 46 % koko tuhkaerästä. Näin ollen alle 500 µm (alite) kokoista partikkelia tuhkaerässä oli 54 %. (Stoor 2022.)

Alitteesta otettiin 4 kpl 150 g näytettä. Näytteet 1–3 pestiin vedessä yhden minuutin ajan ultraäänipesussa ja huuhdeltiin käyttäen 53 µm:n seulaa. Tämän jälkeen näytteet 1–3 kuivattiin 100 °C:ssa. Näyte 4 pestiin 5-prosenttisessä suolahappoliuoksessa (HCl) 20 minuutin ajan, jonka jälkeen näytteelle tehtiin vesihuuhtelu, yhden minuutin ultraäänipesu ja kuivaus. Kaikkien näytteiden raekoot analysoitiin RoTap-seulontalaitteistolla, jossa seulakoot olivat 500 µm, 300 µm, 212 µm, 106 µm, 53 µm sekä pohja. (Stoor 2022.)

Näytteistä 2 ja 3 erotettiin ferromagneettinen aines magneetilla. Molemmissa näytteissä ferromagneettisia aineksia oli 8 %, koska samassa uunissa oli poltettu tavallista yhdyskuntajätettäkin. Luultavasti tämä osuus on kuitenkin suurempi, koska käytössä oli vain käsimagneetti. (Stoor 2022.)

Analysoinnissa ilmeni, että karkeimmissa jakeissa näkyi vielä mikroskooppitarkastelun jälkeen muutakin materiaalia kuin hiomamineraaleja, ja seulapinnoilla 106 µm ja 53 µm olevissa jakeissa erottui hiomamineraaleja suhteessa enemmän. (Stoor 2022.)

Loppupäätelmänä ensimmäisestä sekakoepoltosta heräsi kysymys; jotta hiomajyviä voitaisiin käyttää uudelleen tästä kontaminoituneesta materiaalista, ne pitäisi erotella muusta jätteestä jotakin sopivaa menetelmää käyttäen. Sekapoltosta johtuen, myös ferromagneettiset partikkelit tulisi poistaa aineksesta ennen uudelleenkäyttöä. Näytteessä 4 käytettiin suolahappoliuosta pesun yhteydessä. Mikroskoopilla tehdyssä tarkastelussa oli huomattavissa, että happoliuos poisti epäpuhtauksia paremmin kuin näytteissä 1–3 tehdyt muut pesut. (Stoor 2022.)

5.2 Koepoltot Uponor Vaasa

Vaasan Uponorin tehtaalla on tehty kaksi koepolttoa jäähdytettävällä arinauunilla. Poltoissa lämpötila uunissa on ollut 650 °C ja uunin teho oli 0,5 MW. Näytteitä otettiin uunin pesästä ja arinan alta. (Stoor 2022.)

Näytteitä jauhettiin kuulamylyllä 5 minuuttia, 10 mm halkaisijaltaan olevilla teräskuulilla ja nopeudella 60 RPM . Tämän jälkeen näytteet pestiin vedellä ja muutamalla pisaralla pesuainetta ultraäänipesussa (80 µm) ajassa 60 sekuntia ja märkäseulottiin seulasarjalla 500 µm, 300 µm, 212 µm, 106 µm, 53 µm ja pohja. Seulonnan jälkeen näytteet kuivattiin 100 °C:ssa uunissa. (Stoor 2022.)

Analyyseissä ilmeni, että jäähdyttävällä arinauunilla saatiin huonompia tuloksia aikaan kuin aiemmissa analyyseissä. Ultraäänipesu pystyi jonkin verran rikkomaan agglomeraatteja, mutta kovia sintrauksia se ei pystynyt rikkomaan. Arinauunissa poltetun hiekkapaperijätteen tulokset eivät ole samalla tasolla kuin pyörivää putkiuunia käytettäessä. (Stoor 2022.)

5.3 Koepoltto Tšekkeissä

Huhtikuussa 2019 Mirka lähetti 200 kg poltettavaa hiekkapaperijätettä Tšekkeihin Abrasivin tehtaalle. Jätettä poltettiin arviolta 500–600 °C:ssa pyörivässä rumpu-uunissa 100 kg, josta tuhkaa saatiin kerättyä 11,5 kg uunin pesästä. Tuhka lähetettiin takaisin Jepualle ja sitä pestiin vedellä ja käsiteltiin ultraäänellä

(amplitudit 80 μm) noin minuutin ajan. Pesty näyte huuhdeltiin 53 μm :n seulan lävitse ja huuhdeltiin vielä uudelleen, kunnes hiekka näytti puhtaalta. Näyte kuivatettiin uunissa 110 asteessa. Kuivannut hiekka seulottiin samalla seulasarjalla kuin aiempienkin koepolttojen tuhkat. Jakeet analysoitiin mikroskoopilla. (Stoor 2022.)

Käsittelyjen jälkeen huomattiin, että ultraäänien käyttö pesun yhteydessä paransi hiekan puhtautta verrattaessa täysin puhtaisiin, käyttämättömiin hiekanjyviin. Tuhkasta otetut jyvät olivat hieman harmaampia kauttaaltaan, mutta kuitenkin kirkkaita. Osa käsitellystä hiekasta tarttui myös magneettiin, mutta kokonaisuudessaan sen osuus jäi hyvin pieneksi. (Stoor 2022.)

Mineraalijakeen kierrätyksen kannalta Mirka katsoo, että pyörivä putkiuuni on paras vaihtoehto, koska se antaa puhtaamman materiaalin ja se on helposti vesi- ja ultraäänipestävää. On myös otettava huomioon, että on käytettävä melko matalia lämpötiloja poltossa, että se onnistuu täydellisesti. Savukaasut tulee myös polttaa erikseen, jotta ne eivät saastuta ilmakehää enempää. (Stoor 2022.)

6 KOKEELLINEN OSIO JA ANALYSOINTI

Mirkalla on erikseen prosessilaboratorio ja analyysilaboratorio tuotekehityksen osastolla. Prosessilaboratoriossa on erilaisia mekaaniseen erotteluun tarkoitettuja laitteistoja ja analyysilaboratoriossa voidaan tutkia varsinaisia näytteitä analyysivälineistöllä.

Tuhkanäytteitä oli kerätty 8 eri peltisankoon Uponor Vaasassa suoritetusta koepoltosta. Näytteitä oli kerätty pesästä, arinan alta, arinan imurista ja pesäimurista. Tässä työssä tutkittiin jakeet, jotka kiinnostivat Mirkaa eri toteen. Nämä jakeet olivat pesästä ja arinan alta otetusta koepoltosta Vaasassa.

Toteutus suunnitelmassa oli tarkoitus tehdä erilaisia testauksia referenssinäytteistä, jotka olivat peräisin arinan alta ja pesästä otetuista tuhista. Ensimmäisessä testauksessa molemmista sangoista otettiin REF-näytesarjat, joille suoritettiin seulonta Ro-Tap-merkkisellä seulontalaitteistolla. Seulasarjaksi valittiin viisi eri kokoista siiviläpohjaa, 500 µm, 300 µm, 212 µm, 106 µm, 53 µm ja pohja, sillä näitä kokoja oli käytetty jo aiemmissa tutkimuksissa. Tämän jälkeen tehtiin mikroskooppinen tarkastelu jokaiselle seulakoolle.

Toisessa testissä referenssinäytteitä jauhettiin kuulamylyssä sekä 20 mm:n että 10 mm:n halkaisijaltaan olevilla teräskuulilla kestolta 2 minuuttia ja kierrosnopeudella 60 RPM. Seulonta suoritettiin heti jauhatuksen jälkeen. Saadut tulokset analysoitiin optisella mikroskoopilla ja verrattiin alussa tehtyyn seulontaan.

Kolmannessa testissä valittiin pesästä otetun tuhkan referenssinäytettä, joka käytettiin ultraäänipesussa ja pestiin vesipesulla, jotta saataisiin mahdollisimman puhdasta alitetta. Alitetta lämmitettiin uunissa, jotta tuhka oli riittävän kuivaa uudelleenseulottavaksi. Seulonnan jälkeen tarkasteltiin eri kokoisia partikkelijakeita mikroskoopilla.

Neljännessä testauksessa yhdistettiin näitä edellä mainittuja menetelmiä ja verrattiin niitä aiemmin saatuihin tuloksiin.

Leukamurskaimen käytöstä luovuttiin, koska seulotut partikkelit olivat jo valmiiksi pieniä ja aines hienojakoista leukamurskaimelle, eikä sen käyttö enää merkittävästi rikkoisi tuhkan rakennetta. Tämä menetelmä oli kuitenkin mukana suunnitelmissa aina viimeisiin päiviin asti ennen varsinaisia laboratoriotestejä.

6.1 Aloitusseulonta ja REF-näytteet arinan alta ja pesästä

Edustavia näytteitä otettiin tuhkasta, joka oli kerätty talteen uunin pesästä ja arinan alta. Tarkoituksena oli ottaa saman verran molemmista paikoista referenssinäytettä, jota voitaisiin pitää kaiken kokeellisen testauksen perustana. Uunin pesästä kerätyn tuhkan massaksi punnittiin 400 g ja arinan alta kerätty tuhka painoi niin ikään 400 g.

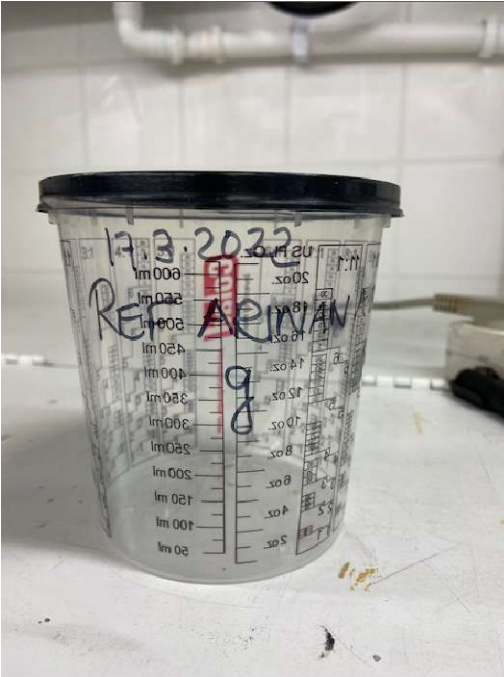
Koska kiinnostavin ja suurin jae tulisi olemaan pesästä otettu tuhka hiekkapaperin poltosta, arinan alta otettu tuhkanäyte jätetään sivuun merkittävistä mekaanisista prosesseista ja analyyseistä, mutta seuraavassa osiossa on kuitenkin otanta siitäkin näytteestä.

6.1.1 Seulonta ja mikroskooppianalyysi arinan alta otetusta tuhkasta

Alussa arinan alta otetusta tuhkasangosta (KUVA 10) punnittiin 400 g:n referenssinäyte muoviseen näytepurkkiin (KUVA 11). Tästä purkista punnittiin erilliseen purkkiin 200 g referenssinäytettä.



KUVA 10. Tuhkasanko arinan alta otetusta näytteestä



KUVA 11. Tyhjä näytepurkki arinan alta otetulle tuhkalle

Seulasarjaksi valittiin 500 μm , 300 μm , 212 μm , 106 μm , 53 μm sekä pohja (KUVA 12). Kaikki seulat punnittiin erikseen analyysivaa`alla. Kokonainen seulasarja painoi 2376,1 g.



KUVA 12. Opinnäytetyössä käytetty seulasarja

TAULUKKO 1. Työssä käytetty seulasarja

Sarja, μm	Seula, g
500	429,6
300	396,1
212	401,5
106	385,5
53	377,9
Pohja	385,5
Yhteensä, g	2376,1

Seulatasot on punnittu analyysivaa'alla 0,1 gramman tarkkuudella. Seulottavaa tuhkaa arinan alta oli punnittu 200 g. Tämä näyte kaadettiin vaa'an päällä olevan seulasarjan ylimmäiselle tasolle. Sarja nostettiin varovasti RoTap-merkkiseen seulontalaitteeseen. Seulonta-ajaksi määriteltiin 5 minuuttia ohjauspaneelista.

Seulonnan jälkeen seulasarja nostettiin jälleen analyysivaa'alle. Seulasarja painoi tuhkan kanssa 2575,8 g. Alkuperäisestä 200 gramman punnitusta tuhkanäytteestä häviön osuudeksi jäi 0,3 g.

TAULUKKO 2. Arinan alta otetun tuhkan seulonnan tulokset

Seulakoko, μm	Jakeen osuus, g	%-osuus
500	63	31,5
300	37,2	18,6
212	23,7	11,9
106	43,6	21,8
53	17	8,5
Pohja	15,2	7,6
Yhteensä	199,7	100

Arinan alta otetun referenssinäytteen seulonnassa suurinta jaetta 500 μm oli 31,5 % ja hienointa pohjalle jäänyttä jaetta ainoastaan 7,6 % koko näytteestä. Taulukosta 2 huomataan, että karkeaa jaetta oli selkeästi enemmän kuin muita jakeita.

Alussa sovittiin, että tässä työssä tutkitaan erityisen tarkemmin jakeet 53 μm ja 106 μm . Näitä alettiin tutkia tarkemmin mikroskoopilla. Kuvassa 13 on mikroskoopilla otettu kuva näytteestä 53 μm suurennettuna kertoimella 60.



KUVA 13. Mikroskooppikuva 60 suurennetusta jakeesta 53 μm

Jakeesta on huomattavissa, että partikkelit sisältävät paljon epäpuhtauksia, jotka näyttävät useimmiten valkoisina, kellertävän ruskeina rosoisina hiekanjyvien ympärillä. Jyvät eivät näyttäydy selkeinä kirkkaina jyvänä, vaan niitä ympäröi muita epäpuhtauksia, jotka eivät ole tervetulleita, jos halutaan erottaa mahdollisimman puhdasta mineraalijaetta. Mitä todennäköisimmin epäpuhtaudet ovat agglomeroituneita hiomajyviä tai hienojakoista täyteainetta.

KUVASSA 14 esitellään mikroskooppinen otos 60 kertaa suurennetusta jakeesta 106 μm .



KUVA 14. 60 kertainen suurennos jakeesta 106 μm

Kuvasta 14 on selkeämmin nähtävissä selkeitä hiekanjyviä, vaikka niissäkin on kiinni epäpuhtauksia. Hiekanjyvät näyttävät kuvassa sinertävinä kantikkaina tai pyöreäreunaisina kappaleina. Kappaleet ovat pääsääntöisesti alumiinioksidia.

6.1.2 Seulonta ja mikroskooppianalyysi pesästä otetusta tuhkasta

Pesästä otetusta tuhkasangosta punnittiin referenssinäytettä 200,1 g näytenpurkkiin. Tuhkamateriaali seulottiin samalla seulasarjalla kuin arinan alta otettu tuhkanäytekin. Seulasarja painoi 2376,1 g. Sarjaan lisättiin 200,1 g referenssinäytteestä otettua tuhkaa, jolloin seulan paino oli tasan 2576 g. 0,2 g:n heitto saattoi johtua hienojakeisen tuhkan pölyämisestä tai analyysivä`an mittausvirheestä. Taulukosta 3 voidaan lukea seulonnan tulokset.

TAULUKKO 3. Pesästä otetun tuhkan seulonnan tulokset

Seulakoko, µm	Jakeen osuus, g	%-osuus
500	27	13,5
300	21,4	10,7
212	18,9	9,5
106	61,4	30,7
53	40,8	20,4
Pohja	30,4	15,2
Yhteensä	199,9	100

6.2 Kuulamylyjauhatus teräskuulilla

Jauhatusta varten pesän tuhkan referenssinäytteestä otettiin volyymiltaan 2 x 400 ml tuhkaa muoviseen näytepurkkiin. Kuulista valittiin kahden kokoiset teräskuulat. Toiset olivat 20 mm halkaisijaltaan, kun taas toiset olivat pienempiä kuulia, 10 mm halkaisijaltaan. Tarkoituksena oli suorittaa siis kaksi eri jauhatusta eri kokoisilla kuulilla. Kuulia otettiin muoviseen mittakannuun noin 1 litran verran kummassakin jauhatuksessa.

Jauhatuslaitteena toimi Retsch-merkkinen kuulamyly (KUVA 14). Kuulamylyn rumpu oli halkaisijaltaan 20 cm. Kuulamylyn ohjauspaneelista valittiin jauhatusaika ja kierrosnopeus. Jauhatusajaksi valittiin 2 min / jauhatus. Rummun kierrosnopeudeksi asetettiin 60 RPM. Lukema saatiin, kun laskettiin aluksi myllyn kriittinen kierrosnopeus. Kriittinen kierrosnopeus laskettiin kaavalla:

$$N_{kr} = 42,3 \div \sqrt{D} \quad (\text{Kaava 1})$$

jossa : N_{kr} = kriittinen kierrosnopeus
 42,2 = vakioarvo
 D = halkaisija (cm) (Kurtio 2012.)

Todellinen kierrosnopeus valitaan yleensä 50–70 % kriittisestä kierrosnopeudesta. Myllyn kierrosnopeudeksi saatiin 60 RPM. Ensimmäinen jauhatusta tehtiin suuremmilla 20 mm halkaisijaltaan olevilla kuulilla. Toisessa jauhatuksessa käytettiin 10 mm kuulia. Muutoin toinen jauhatus oli asetusrvoiltaan ensimmäisen kaltainen. Jauhatuksien jälkeen tuhka oli huomattavan paljon hienompaa ja homogeenisempaa jaetta, kuin alkuperäinen näyte.

6.2.1 Kuulamylyjauhatuksen jälkeinen seulonta ja mikroskooppianalyysi

Ensimmäinen seulonta suoritettiin tuhka-ainekselle, jota oli myllytetty isommilla kuulilla. Seulasarja oli sama kuin edellä oli käytetty (Taulukko 4 & taulukko 5).

Ensimmäisen seulonnan lähtötiedot:

Punnittu tuhka 200 g

Seulasarja tyhjänä 2375,7 g.

Seulasarja tuhkan kanssa 2575,7 g

TAULUKKO 4. Seulonnan tulokset 20 mm teräskuulilla

Seulakoko, µm	Jakeen osuus, g	%-osuus
500	1	0,5
300	4,5	2,3
212	11,6	5,8
106	79,6	40,1
53	58,4	29,4
Pohja	43,5	21,9
Yhteensä	198,6	100

Toisen seulonnan lähtötiedot:

Punnittu tuhka 200 g

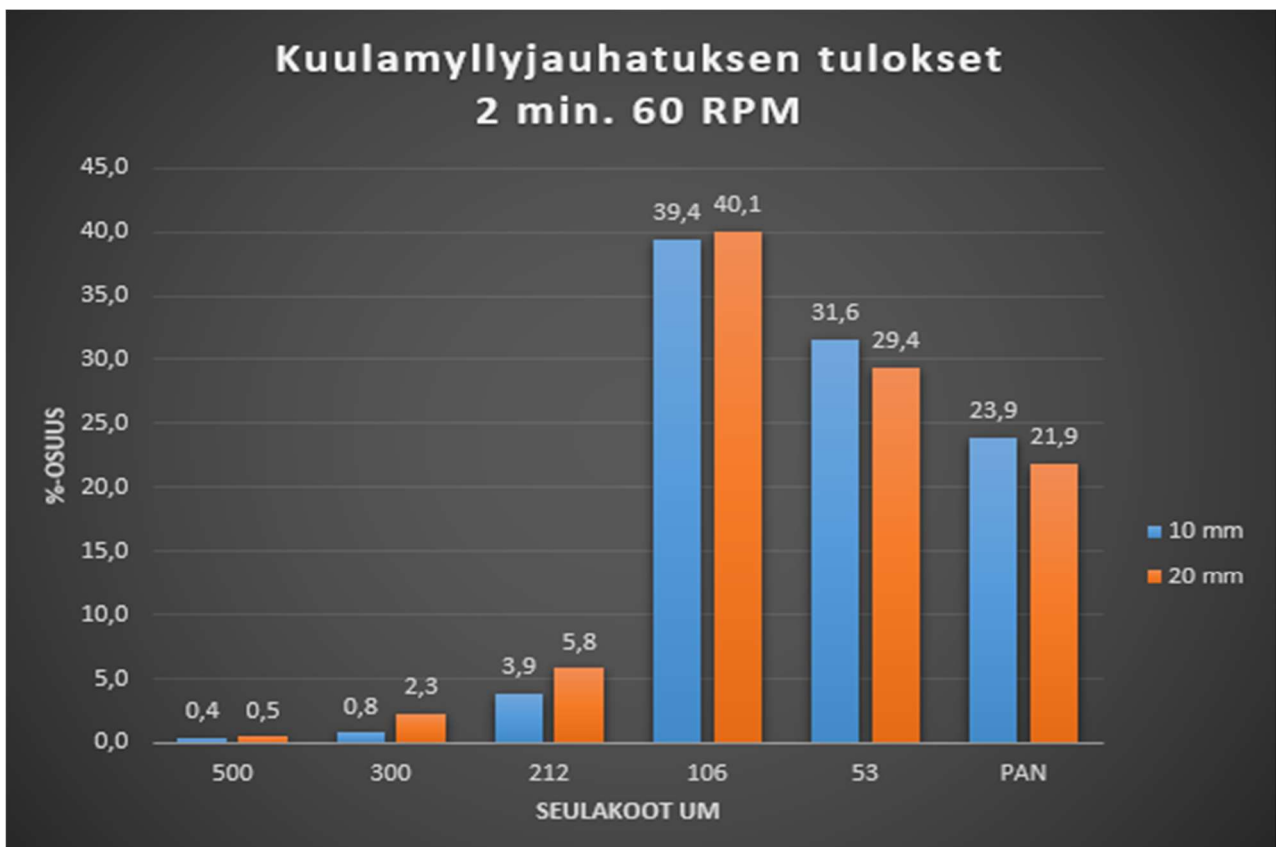
Seulasarja tyhjänä 2375,5 g.

Seulasarja tuhkan kanssa 2575,5 g

TAULUKKO 5. Seulonnan tulokset 10 mm teräskuulilla

Seulakoko, μm	Jakeen osuus, g	%-osuus
500	0,8	0,4
300	1,6	0,8
212	7,8	3,9
106	78,7	39,4
53	63	31,6
Pohja	47,6	23,9
Yhteensä	199,5	100

Kuviossa 3 on vertailtu seulatasoittain eri kuulien käytön merkitykset jokaisella seulakokotasolla.



KUVIO 3. Seulottujen jakeiden jakautuminen

Pylväsdiagrammista voidaan lukea, että jaetta $106 \mu\text{m}$ on molemmissa seulonnoissa jäänyt eniten seulatasolle. Karkeimpien jakeiden osuus on jäänyt varsin pieneksi. Suurin osa suurimmista fraktioista on hävinnyt jauhettaessa kuulamylyllä ja pienimpien jakeiden osuus vastaavasti on kasvanut. Tässä

voidaan miettiä vaihtoehtoa, onko isot agglomeraatit vain pienentyneet vai onko niistä irronnut esim. hiomajyviä. Isommilla kuulilla jauhettaessa suhteessa pienempiin kuuliin, ei näyttäisi olevan tässä tapauksessa kovinkaan suurta eroa eri jakeiden välillä. Koska suurta eroa ei ollut tuloksissa, tarkempaa mikroskooppitasolla tehtyä analyysiä ei suoritettu kuin isommilla kuulilla jauhetulle näytteelle.



KUVAT 15 ja 16. Vasemmanpuoleinen (KUVA 15) kuulamylyljauhatuksen jälkeen ja oikeanpuoleinen (KUVA 16) ultraäänipesun jälkeen samasta jakeesta

Kuvat 15 & 16 ovat jakeesta 106 µm. Kuvaparista voidaan huomata, että pelkkä jauhatus kuulamylyllä ei poista epäpuhtauksia hiekanjyvistä. Ultraäänipesun jälkeinen mikroskooppikuva kertoo, että pesu on auttanut jakeiden puhtauteen ja ne erottuvat selkeästi kirkkaampina ja puhtaampina partikkeleina. (KUVA 16.)

6.3 Ultraäänipesu, vesipesu ja kuivaus

Kolmannessa testissä käytettiin liimajäämien erotusmenetelmänä ultraäänipesua, vesipesua ja kuivausta. Referenssinäytettä punnittiin pesän tuhkaa sangosta 200 g muovipurkkiin. Muovipurkki oli vetoisuudeltaan 7 dl. Tuhkan päälle lisättiin kraanavettä hanasta, jolloin se täyttyi melkein yläpintaan asti. Liuosta sekoitettiin muovilusikalla, jotta siitä tulisi homogeenista. Näyte asetettiin ultraäänipesuriin. Ohjauspaneelista määriteltiin amplitudien arvoksi 100 %. Sekuntikellosta otettiin pesuun käytettävä aika 60 sekuntia.

Näyte otettiin pois pesurista ja sekoitettiin jälleen lusikalla. Tuhkasakkaa eli raskaampaa alitetta alkoi hiljalleen valua näytenpurkin pohjalle. Näyte jätettiin pöydälle laskeutumaan tunnin ajaksi. Ylitteeksi

muodostunut selkeä vesifaasi kaadettiin pois erilliseen dekanterilasiin. Hanavettä valutettiin uudelleen alitteen päälle ja sekoitettiin liuosta. Näyte annettiin jälleen laskeutua rauhassa. Koska tutkimuksessa kiinnostivat eritoten partikkelit, jotka ovat suurempia kuin 53 µm, käytettiin silloin kyseistä seulaa, kun seuraavan kerran ylitteeksi muodostunut vesifaasi kaadettiin pois uuteen dekanterilasiin seulan lävitse. Ylitteet otettiin niin ikään talteen, koska niistä haluttiin selvittää, kuinka paljon ne sisältävät liimajätettä ja muita epäpuhtauksia. Mikroskooppianalyysin kuvasta voidaan katsoa, että ylitteessä silmämääräisesti on suuri osa liimajätettä ja orgaanisia epäpuhtauksia, ja vain hyvin vähän pieniä partikkeleita mineraalijaetta. Siiviläpohjalle muodostui alitteesta savimainen kakku. Siivilä tuhkiin asetettiin 100 °C uuniin kuivumaan, jotta se voitiin seuloa uudelleen.

6.3.1 Seulonta ja mikroskooppianalyysi

Kuivunut alite punnittiin. Näyte painoi 115,3 g, kun sitä testin alussa oli punnittu 200 g. Mitä ilmeisimmin vesipesun aikana, kaikista hienoimmat jakeet olivat huuhtoutuneet pois ylitteen joukkoon, ja tästä johtui merkittävä häviö. Kuivunut näyte seulottiin samaa seulasarjaa käyttäen kuin aikaisemmissakin testeissä. Taulukosta 6 voidaan nähdä tulokset.

TAULUKKO 6. Ultraäänen, vesipesun ja kuivauksen jälkeisen seulonnan tulokset

Seulakoko, µm	Jakeen osuus, g	%-osuus
500	2,1	13,5
300	2,9	10,7
212	7,9	9,5
106	61	30,7
53	38,2	20,4
Pohja	1,6	15,2
Yhteensä	113,7	98,6

6.4 Mixed-test

Neljäs testi tässä opinnäytetyössä koostui mineraalijakeen erotusprosessista, joka koostui alkuseulonnasta, joka oli otettu REF-näytteestä pesän alta. Sitä seurasi kuulamylyjauhatus 3 minuuttia ja ultraääni- sekä vesipesu, kuivaus, seulonta ja mikroskooppianalyysi. Ultraäänipesu haluttiin suorittaa vielä kahdella eri amplitudimäärällä, jotta voitiin verrata tuloksia, jos sellaisia amplitudien muuttaminen aiheuttaa.

Alussa punnittiin pesän referenssituhkanäytettä 400 g:aa. Näyte seulottiin samalla seulasarjalla kuin kaikissa aiemmissakin testauksissa. Seulonta suoritettiin Ro-Tap-laitteistolla ja seulonta-aika pidettiin viidessä minuutissa. Taulukossa 7 on tulokset alkuseulonnasta.

TAULUKKO 7. Mixed-testin alkuseulonnan tulokset

Seulakoko, µm	Jakeen osuus, g	%-osuus
500	26,6	6,7
300	33,9	8,5
212	38,1	9,5
106	139,9	35
53	101,5	25,4
Pohja	60	15
Yht.	400	100

Jakeet sekoitettiin alkuseulonnan jälkeen yhteen ja alettiin valmistella kuulamylyjauhatusa 20 mm:n kuulilla kolmen minuutin ajan kierrosnopeudella 60 RPM. Kuulia mitattiin volyymiltaan yksi litra, ja näytettä 4 dl. Näyte painoi jauhatuksen jälkeen 397,6 g.

Kuulamylyjauhatuksen jälkeen aines seulottiin uudelleen samalla seulasarjalla ja katsottiin, kuinka jakeiden osuus oli muuttunut. Taulukosta 8 on luettavissa tulokset toisesta seulonnasta, joka kuului yhtenä osana mixed-testaukseen.

TAULUKKO 8. Kuulamylyjauhatuksen jälkeinen seula-analyysi

Seulakoko, μm	Jakeen osuus, g	%-osuus
500	0,8	0,2
300	5,3	1,3
212	18	4,5
106	156,9	39,5
53	177	44,5
Pohja	39,5	9,9
Yht.	397,5	100

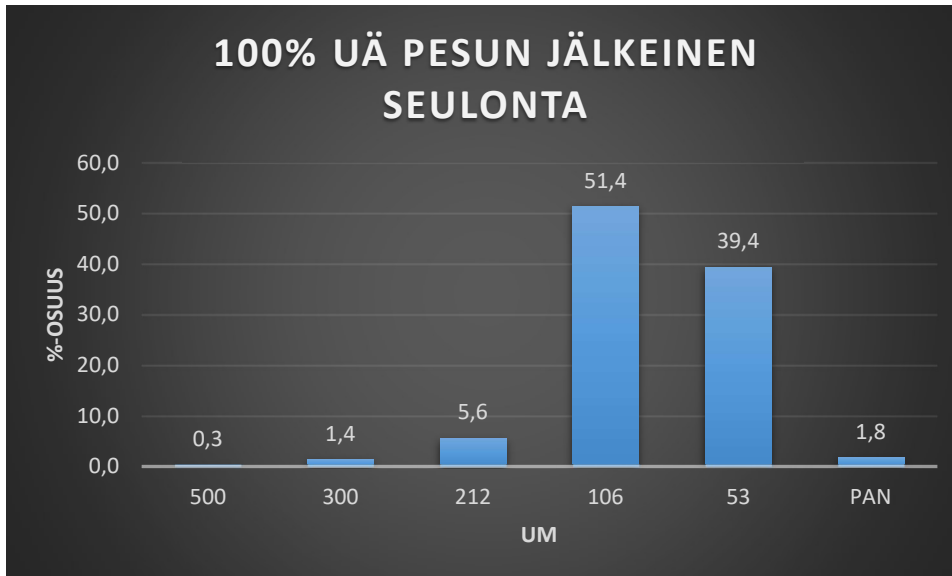
Tästä seulonnasta saatu näyte painoi yhteensä 397,5 g. Näyte jaettiin kahteen osaan, koska oli tarkoitus tehdä kaksi erillistä ultraäänipesua eli amplitudeilla. Ensimmäinen näyte painoi 199,5 g. Tämä näyte lisättiin puhtaaseen muoviseen näytepurkkiin ja täytettiin hanavedellä lähes yläpintaan asti. Lietettä sekoitettiin muovilusikalla, jotta tuhka homogenoituisi veden kanssa hieman ennen näytteen asettamista ultraäänipesuun.

Ultraäänipesuri oli asetettu 100 %:iin, joka tarkoitti 25 Hz tehoa. Pesuajaksi katsottiin sekuntikellosta 60 sekuntia. Pesun jälkeen suspensio kaadettiin 53 μm seulan lävitse käyttäen apuna juoksevaa hanavettä. Seulakoko oli sen verran tiheä, että liete ei tahtonut alkaa juoksemaan seulan lävitse. Hanaveden annettiin juosta vapaasti seulan lävitse useita minutteja. Kun vaahtoa alkoi muodostua lietteen (suspension) pintaan, se kaadettiin varovasti erilliseen dekantterilasiin, jotta sitä voitaisiin analysoida tarkemmin ja katsoa, sisältääkö se orgaanista ainesta. Pesty aines siirrettiin uuniin 100 asteeseen kuivumaan. Kuivauksen jälkeen aines seulottiin ja tulokset esitetään taulukossa 9. Huomattavissa on, että hienompaa ainesta on mennyt vesipesun jälkeen lavuaarista viemäriin.

TAULUKKO 9. Ensimmäisen ultraäänipesun jälkeinen seula-analyysi kuivuneesta näytteestä.

Seulakoko, μm	Jakeen osuus, g	%-osuus
500	0,4	0,3
300	1,7	1,4
212	6,7	5,6
106	61,1	51,4

53	46,8	39,4
Pohja	2,1	1,8
Yht.	118,8	98,2



KUVIO 4. Seulonnan tulokset ensimmäisen ultraäänipesun jälkeen

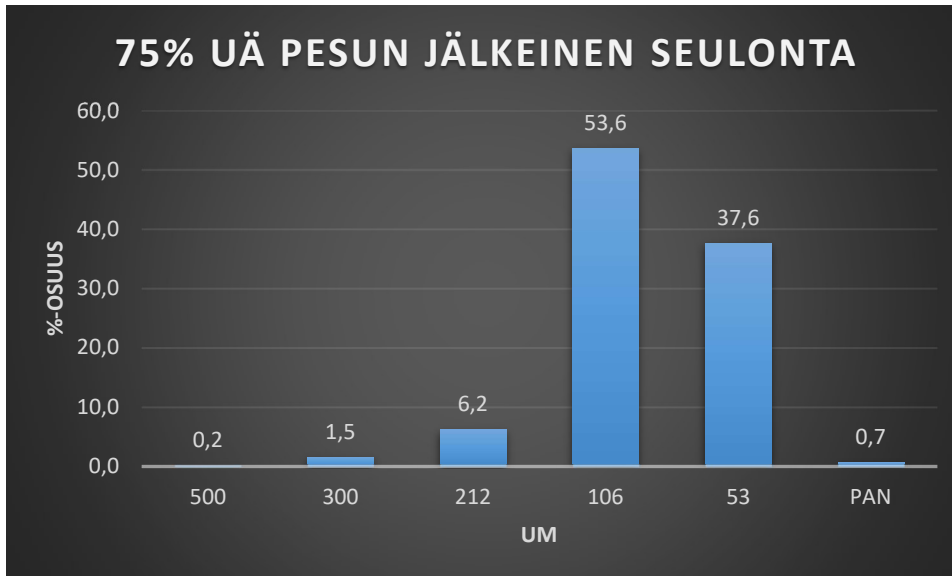
Suurin jae on ollut 106 μm , jota on saatu yli 50 % verrattuna muihin jakeisiin. Huuhtelun jälkeen alkunäytteestä 199,5 g oli huuhtoutunut pois 80,7 g (KUVIO 4.)

Toinen ultraäänipesu suoritettiin toiselle, alussa punnitulle näytteelle, joka painoi 195,8 g. Nyt ultraäänipesuri säädettiin 75 %:iin eli amplitudeja pienennettiin. Mikrometrien osuudeksi tuli 18,75 μm . Pesuaika pidettiin samassa kuin edellisessäkin testissä, eli 60 sekuntia. Taulukosta 10 voidaan lukea toisen ultraäänipesun jälkeisen vesipesun, kuivauksen ja seulonnan tulokset.

TAULUKKO 10. Ultraäänipesun amplitudien pienentäminen 75 %:iin

Seulakoko, μm	Jakeen osuus, g	%-osuus
500	0,2	0,2
300	1,8	1,5
212	7,3	6,5
106	62,8	53,6

53	44,1	37,6
Pohja	0,8	0,7
Yht.	117	99,8



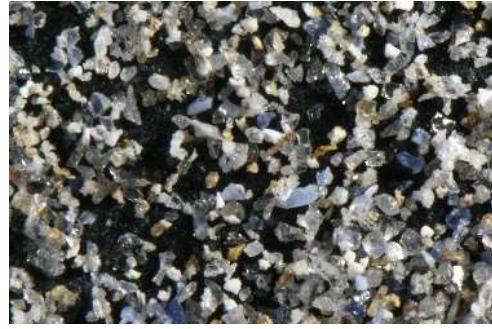
KUVIO 5. Toisen ultraäänipesun jälkeiset seulonnan tulokset

Tässä seulonnassa edelleen suurimpana jakeena tuli ulos 106 μm partikkeli yli 50 %:n osuudellaan. Toisen näytteen alkuperäisestä painosta 195,8 g oli huuhtoutunut vesipesun yhteydessä pois 78,8 g (KUVIO 5.)

Mikroskoopilla tehtiin tarkempaa tarkastelua eri jakeista Mixed-testin jälkeen. Seuraavassa kuvissa on esitelty jakeita (KUVAT 17-30) eri amplitudeilla pestystä tuhkasta. Vasemmanpuoleisessa kuvassa on aina 100 %:lla amplitudilla esitetty ultraäänipesu ja oikeanpuoleisessa kuvassa 75 %:lla suoritettu pesu. Seulakoot ovat pienimmästä suurimpaan kuvat ja seulakoon perässä on aina kerroin, mitä mikroskooppianalyysissä on käytetty.



KUVA 17. 53 μm x 60, 100 % amplitudi



KUVA 18. 53 μm x 60, 75 % amplitudi



KUVA 19. 53 μm x 80, 100 % amplitudi



KUVA 20. 53 μm x 80, 75 % amplitudi



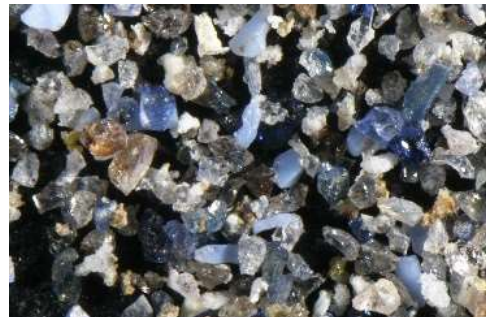
KUVA 21. 106 μm x 40, 100 % amplitudi



KUVA 22. 106 μm x 40, 75 % amplitudi



KUVA 23. 106 μm x 60, 100 % amplitudi



KUVA 24. 106 μm x 60, 75 % amplitudi



KUVA 25. 212 μm x 60, 100 % amplitudi



KUVA 26. 212 μm x 60, 75 % amplitudi



KUVA 27. 300 μm x 40, 100 % amplitudi



KUVA 28. 300 μm x 40, 75 % amplitudi



KUVA 29. 500 μm x 20, 100 % amplitudi



KUVA 30. 500 μm x 20, 75 % amplitudi

6.5 Karkeampien jakeiden tutkiminen

Viidennessä testissä haluttiin vielä tutkia karkeimpien jakeita. Jakeiksi valikoitui 500 μm ja 300 μm kokoiset jakeet. Pesästä otetusta referenssituhkasangosta punnittiin 1000 g tuhkaa. Koska määrä oli yhdellä kerralla seulottavaksi liian suuri, seulonta suoritettiin kahdessa osassa. (TAULUKKO 11.)

TAULUKKO 11. Yhden kilon tuhkaerästä seulottujen jakeiden yhteismäärä

Seulakoko, μm	1. erän seulonta, g	2. erän seulonta, g	Yht. g	Osuus kokonaismäärästä, %
500	36	34	70	7
300	43,4	40,4	83,8	8,4

Molempia jakeita tutkittiin mikroskoopilla ja ne olivat yltä päältä liimajäämien peitossa. Näille jakeille haluttiin suorittaa vielä yksi testi, jossa ne tulitisiin kuumentamaan mufloniunissa 700 °C:ssa. Molempia jakeita punnittiin upokkaaseen 20 g asetettiin ne uuniin. Uunin säädöt olivat asetettu siten, että ensimmäinen tunti uunissa on lämmön nousua ja seuraavat kaksi tuntia ylläpitolämpöä 700 °C:ssa, jonka jälkeen uuni sammui itseksensä.

Näytteet punnittiin jäähtyneinä. Karkeampi 500 μm jae painoi 0,8 g vähemmän kuin alussa, eli 19,2 g. Hienempi 300 μm jae painoi 19,6 g eli 0,4 g vähemmän kuin alussa. Uunissa olon aikana oli siis näytteille jotain tapahtunut, koska näytteet olivat hieman keveämpiä kuin alussa.

Jakeet tutkittiin mikroskoopilla vielä ennen niille tarkoitettua vesipesua. Molemmissa jakeissa oli edelleen nähtävissä selkeitä epäpuhtauksia ja agglomeroituja partikkeleita. Karkeampi jae huuhdeltiin vedellä 75 μm seulan lävitse ja hienempi jae huuhdeltiin 63 μm seulan lävitse vettä apuna käyttäen. Näytteet asetettiin 100 °C:een uuniin kuivumaan. Kuivumisen jälkeen näytteet tutkittiin jälleen mikroskoopilla. Samanlaisia selkeitä liimajäämiä oli kummassakin jakeessa nähtävillä.

6.6 DSC-TGA-analysoinnin suorittaminen

Tässä työssä oltiin kiinnostuneita orgaanisen aineen jäämistä (mahdollisesti liimajäämiä), mitä hiekkapaperin poltosta syntyneestä tuhkasta on vielä jäljellä ja kuinka puhtaaksi hiekkamineraali on saatu käyttäen apuna mekaanisia erotusmenetelmiä.

Laboratoriossa tehdyistä pesän tuhkan testauksista päätettiin ajaa kahden eri jakeen tuottamista tuloksista TGA-analysoinnit. Nämä jakeet olivat seulasarjalta valitut 106 μm ja 300 μm . Kyseiset jakeet valikoitiin, kun haluttiin selvittää hieman erikokoisten jakeiden koostumuksia. Nämä näytteet olivat huomattavasti homogeenisempia kuin suuremmat jakeet, mutta myös helpommin erotettavampia kuin

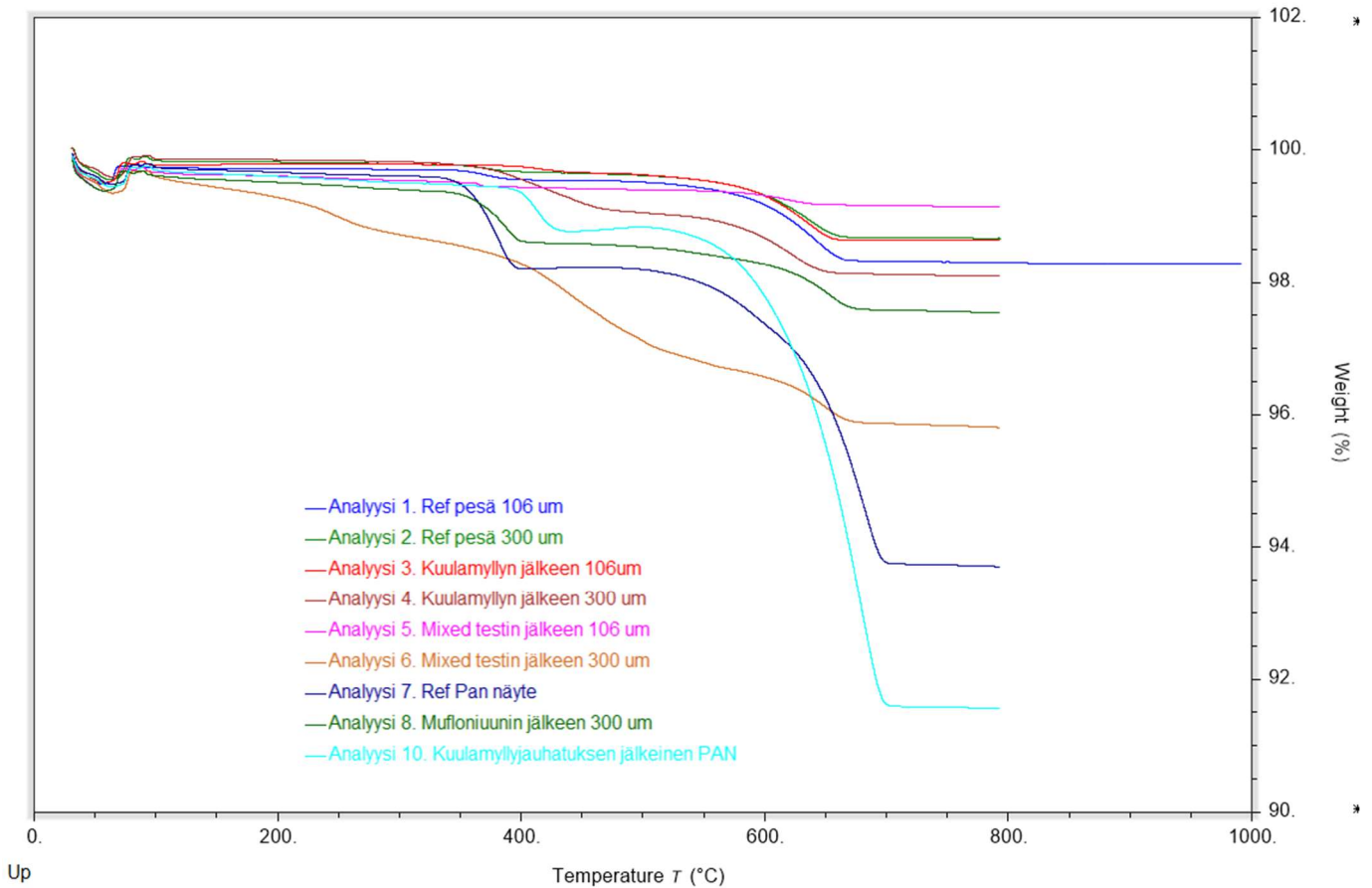
hienommat jakeet, jotka olivat pulverimaisia. Yhteensä analysoitavia näytteitä oli 10 kpl, joista yksi liittyi vesipesun yhteydessä kerättyihin kuivatettuihin ylitteisiin.

Analysoinnit aloitettiin pesän tuhkan referenssinäytteistä, joita oli siis yhtä monta, kuin valittua jaettakin eli kahta eri kokoa. Nämä kaksi ensimmäistä näytettä oli seulottu tämän laboratoriotyön alussa pesän tuhkasta. Tuhka oli peräisin suoraan pesästä heti välittömästi tehdyn koepolton jälkeen. Seuraava analysoitava näytepari oli myös otettu pesän referenssinäytteestä ja jakeista 106 μm ja 300 μm . Näitä kahta eri jaetta oli myös kuulamylyjauhattu 20 mm halkaisijaltaan olevilla teräskuulilla 2 minuuttia. Kolmas analysoitava pari oli peräisin pesän tuhkan referenssinäytteestä, jota oli jauhattu aluksi 20 mm halkaisijaltaan olevilla teräskuulilla 3 minuuttia. Jauhatus on seurannut seulontaa, vesipesu ja minuutin ultraäänipesu 100 %. Näyte on kuivattu uunissa tulevia analysointeja varten. Viimeinen alitenäyte oli 300 μm :n jae, joka oli seulonnan jälkeen poltettu mufloniuunissa. Näiden pesästä otettujen tuhkien lisäksi haluttiin tutkia sekä pesun yhteydessä tullutta ylitevaahtoa, joka oli aluksi kuivatettu huonelämpötilassa, että pesän referenssituhkan hienointa, seulontasarjan pohjimmaisiksi jäänyttä jaetta. Ylitteestä haluttiin selvittää, kuinka suuri liimaosuus niihin oli jäänyt (orgaaninen osuus) verrattuna alitteisiin.

Ennen analysointien aloittamista oli laadittava ajoparometrit analysointiohjelmaan ja luoda metodi koko analysointisarjan suorittamiselle. Tässä työssä ajettava analysointinäytesarja asetettiin 800 °C:n lämpötilaan, koska haluttiin varmistaa, että kaikki liimat olisivat jo tuossa lämpötilassa höyrystyneet pois. Liimojen yleisimmät höyrystymislämpötilat ovat noin 400°C-600°C:n kohdalla (Finnäs 2022.) Edellä mainittuja näytepareja tai -kolmikkoja suoritettiin aina 2–3 näytettä/päivä. Yhden näytteen ajoajaksi muodostui vajaa 4 tuntia kaikkine esivalmisteluineen. Hitautta lisäsi myös se, että uunin oli jäähdyttävä näytteiden välillä 30 °C:een. Jokainen näyteanalyysi piirtyi samanaikaisesti tietokoneruudulle analyysin edetessä. Vaaka-akselilla koordinaatistossa esitettiin lämpötila °C ja vastaavasti pystysuora akseli ilmoitti painoprosentin W-% muuttumisen. Analyysissä oltiin kiinnostuneita lähinnä painoprosentin muuttumisesta lämpötilan kohotessa. Mitä enemmän prosentit vähenivät analyysin edetessä, sen enemmän orgaanista ainesta näytteestä oli höyrystynyt pois.

Kaikkien analyysiajojen jälkeen suoritettiin vertailuanalyysijä eri näytteistä. Tehtiin summatiivinen yhteenveto myös prosentuaalisesta muutoksesta eri näytteiden välillä, sekä käyriä vertailtiin myös niihin piirryneestä viivasta koordinaatistossa. Käyrät muistuttivat luonteeltaan toisiaan. Niissä toistui samassa kohdassa muutoksia näytteestä riippumatta, pois lukien näytteestä, joka oli otettu alle 53 μm :n suuruista partikkeleista eli Pan-jakeesta. Tässä näytteessä käyrä poikkesi muista käyristä. Tulos kertoi

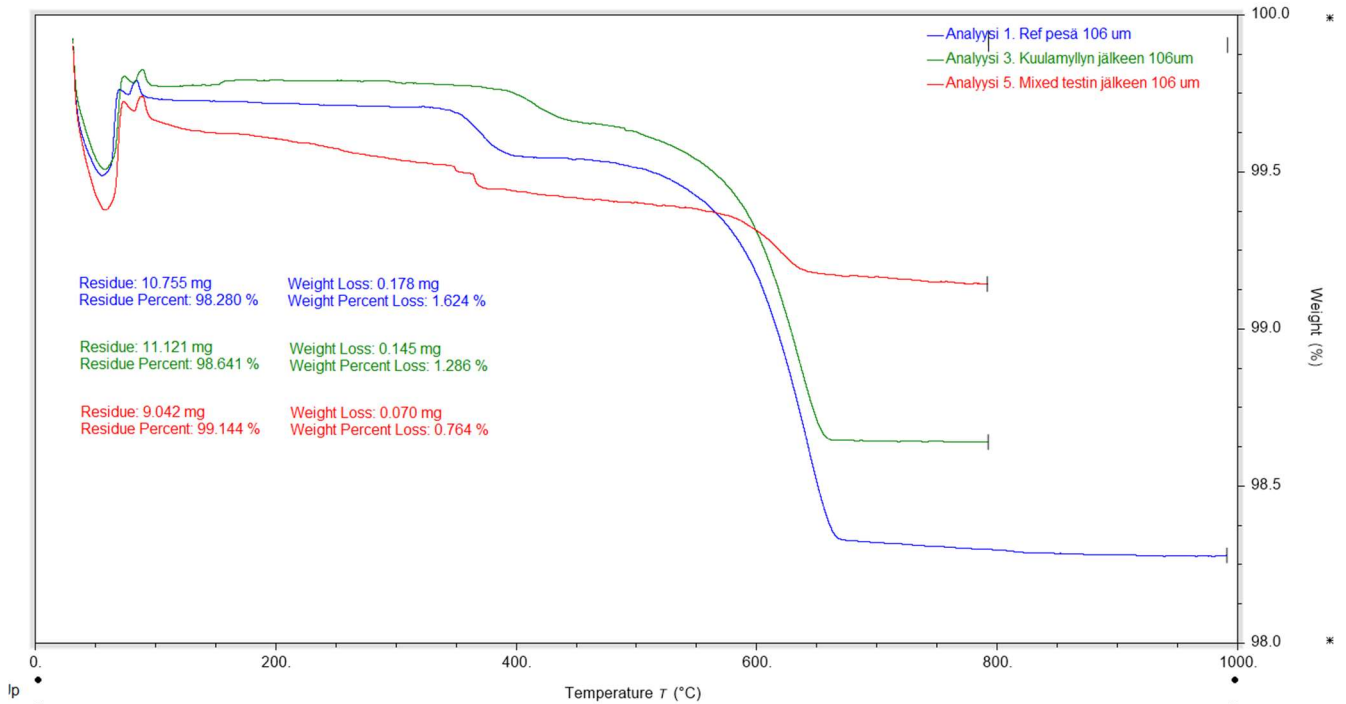
sen, että hienoin jae sisälsi eniten orgaanista ainesta. Myös ultraäänipesun jälkeen kerätty ylitevahto otettiin talteen, ja se tutkittiin kuivauksen jälkeen. Niin ikään tämä jae sisälsi paljon orgaanista ainesta huomattavasti enemmän kuin niin sanotut alitejakeet. Seuraavassa kaaviossa (KUVIO 6) on esitelty kaikki analysoinnissa olleista jakeista havainnekäyrät.



KUVIO 6. Analyysissä olleet näytteet yhtenä kaaviona

Kuviosta voidaan lukea lämpötila x-akselilta ja y-akselilta on luettavissa painon muutos alkuperäiseen massaan verrattuna.

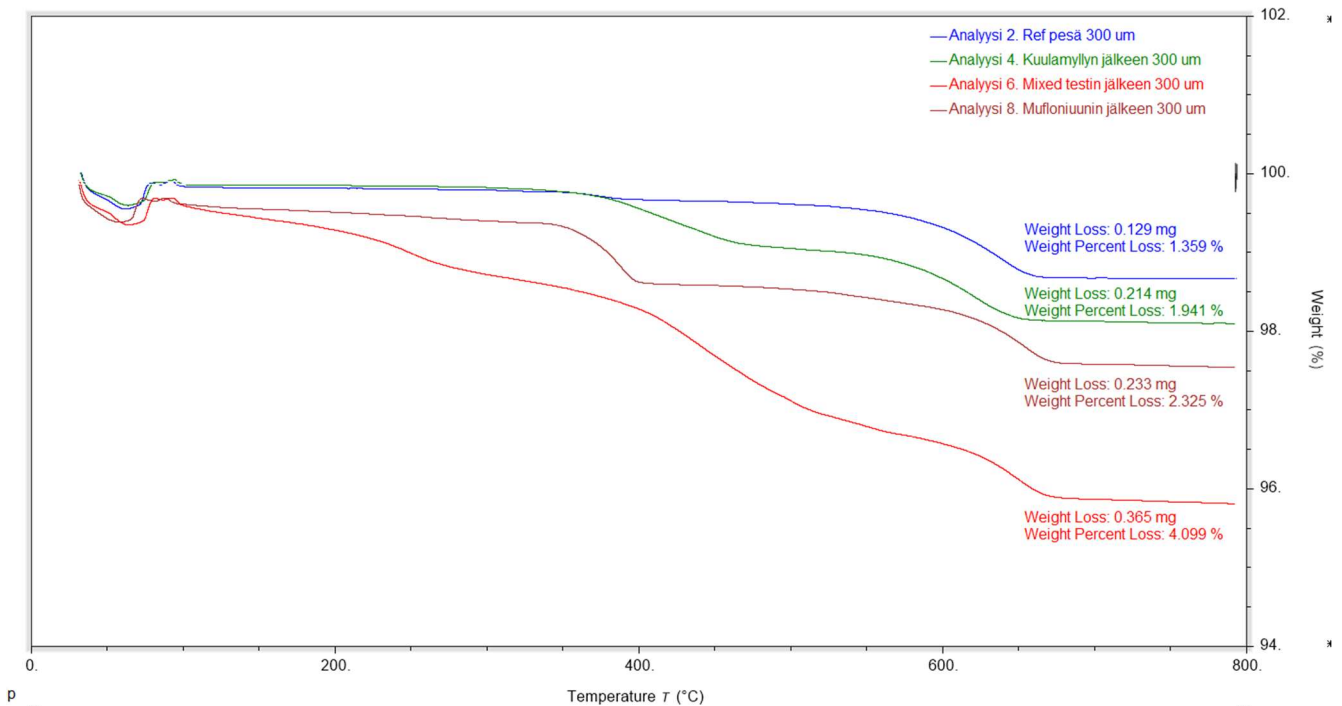
Seuraavassa kaaviossa on tarkasteltuna jakeen 106 μm kaikki käyrät. Ensimmäinen käyrä on alkuperäisestä tuhkanäytteestä peräisin, toinen käyrä on kuulamylyjauhituksen jälkeinen käyrä ja kolmannessa käyrässä näkyy muutokset, kun kaikki tässä työssä käytetyt erotusmenetelmät on jo käytetty ennen TGA-analyysiiä. (KUVIO 7.)



KUVIO 7. 106 µm jakeet eri erotusmenetelmien jälkeen

Tästä kuviosta huomataan, että eniten orgaanista ainesta on lähtenyt referenssinäytteen tuhkasta ja vähiten näytteestä, jota on eniten käsitelty. Painonmuutos referenssinäytteestä on ollut noin 1,6 % ja kaikkien erotusmenetelmien jälkeen vain 0,76 %. Mitä enemmän referenssituhkalle on tehty mekaanisia prosesseja, sen vähemmän näyte sisältää orgaanista ainesta.

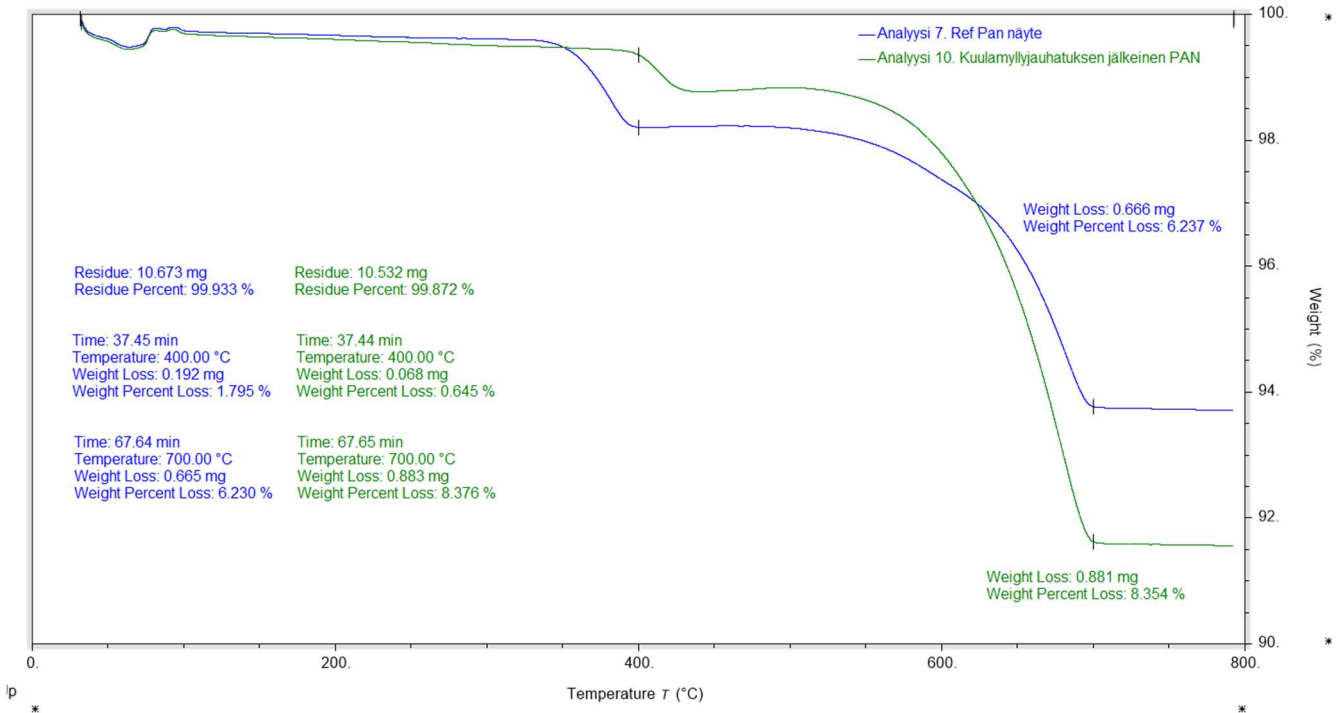
Sama analyysi tehtiin jakeesta 300 μm . Kuviosta 8 nähdään tämän jakeen sijoittuminen koordinaatistoon.



KUVIO 8. 300 μm jakeet eri erotusmenetelmien jälkeen

Jakeen 300 μm kohdalla on jälleen nähtävissä, että mitä vähemmän näytettä on käsitelty, niin sitä enemmän orgaanista ainesta on polttokokeen aikana hävinnyt. Referenssinäytteestä on 1,36 % hävinnyt polton yhteydessä hävinnyt orgaanista ainesta, kun taas monien käsittelyjen jälkeen orgaanisen aineksen osuus on ollut 4,1 %, mikä on kuitenkin yllättävä löydös, kun näytettä on käsitelty useita kertoja. Tästä tuloksesta ei voida päätellä sitä, että sama kaava toistuisi tässä jakeessa kuin 106 μm jakeessa. Johtopäätöksenä saatuun tulokseen voitaisiin todeta, että mitä enemmän jakeita käsitellään, sitä enemmän orgaanista ainesta kerääntyy hienoimpiin jakeisiin. Tämä käy ilmi kuviosta 14, jolloin PAN-jakeessa on hyvinkin paljon enemmän orgaanista ainesta kuin vastaavassa referenssinäytteen PAN-jakeessa.

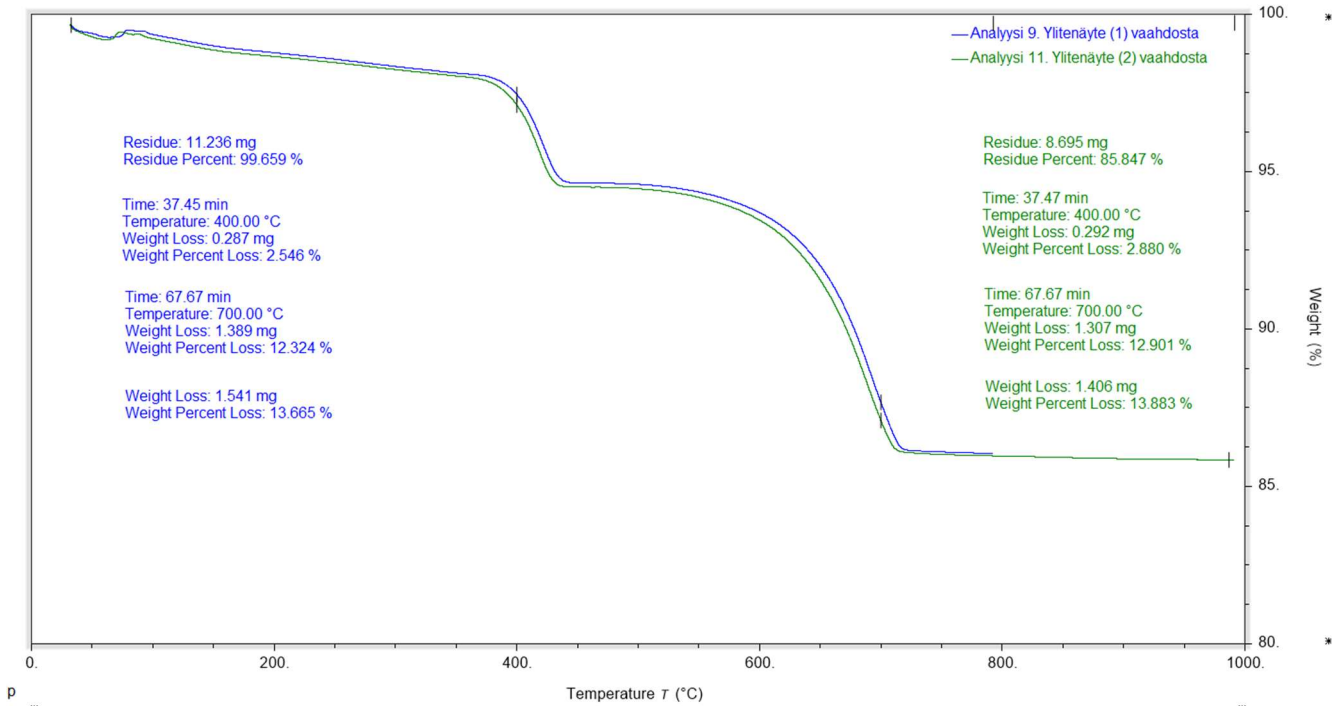
Hienoimman jakeen (KUVIO 9) analyysikäyrä näyttäytyy puolestaan eri tavalla. Siinä orgaanista ainesta on polton yhteydessä hävinnyt huomattavasti enemmän.



KUVIO 9. Pan-jakeiden orgaanisen aineksen väheneminen

Referenssinäytteen Pan-jae on vähentynyt alkuperäisestä massasta 6,2 % ja jauhatuksen jälkeinen Pan-jae vähentynyt jopa 8,4 %. Huomattavaa on, että alimmassa ja hienoimmassa jakeessa on orgaanista ainesta huomattavat määrät enemmän kuin jakeissa 106 μm ja 300 μm .

Viimeisimpänä otetaan käsittelyyn ylite, joka muodostui ylitevaahdosta ultraäänipesun jälkeen. Kuvioista 10 nähdään ylitenäytteen orgaanisen aineksen osuus.



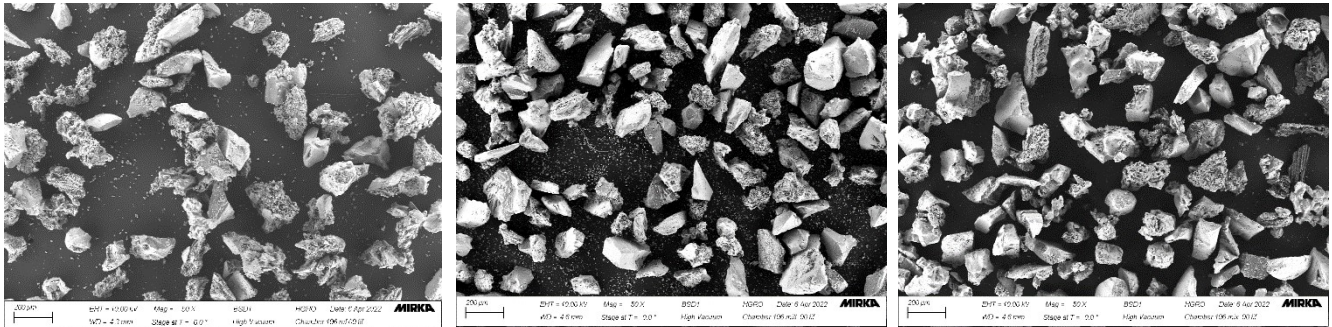
KUVIO 10. Ylitevaahdosta kerätty näyte

Ylimääräisenä testauksena otettiin talteen myös ylitettä, joka muodostui vaahdoksi ultraäänipesun jälkeisestä näytteestä. Tästä voidaan huomata, että ylitteisiin oli kerääntynyt kaikista eniten orgaanista ainesta. Analyysyjä tehtiin 2 kpl. Toisessa orgaanisen aineksen osuus oli jopa 13,7 % ja toisessa 13,9 %.

Tässä kohtaa laboratoriotöitä alettiin miettiä vaihtoehtona vaahdotusta. Vaahdotuslaitteistoja ei kuitenkaan Mirkan tehtaalla tällä hetkellä ollut saatavilla, mutta varmasti ko. laitteisto tultaisiin hankkimaan, jos kaikki tulokset olisivat yllä olevan taulukon mukaisia.

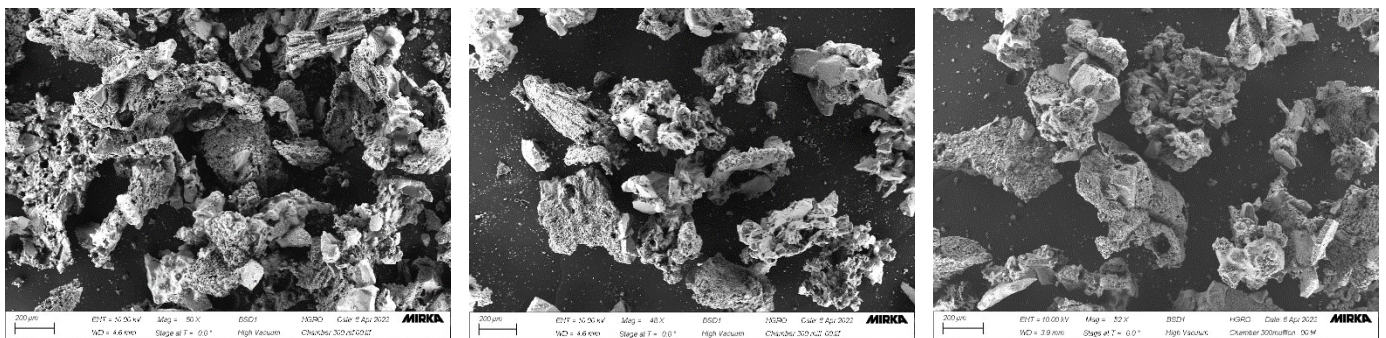
6.7 SEM-EDS analysoinnit

Seuraavassa kuvasarjassa on kuvattu 106 µm:n jakeet; referenssinäyte, kuulamylyljauhatuksen jälkeen ja mixed-testin jälkeen (KUVA 31).



KUVA 31. SEM-kuvat jakeesta 106 µm; vasemmalta referenssinäyte, kuulamylyljauhatuksen jälkeinen näyte ja mixed-testin jälkeinen näyte

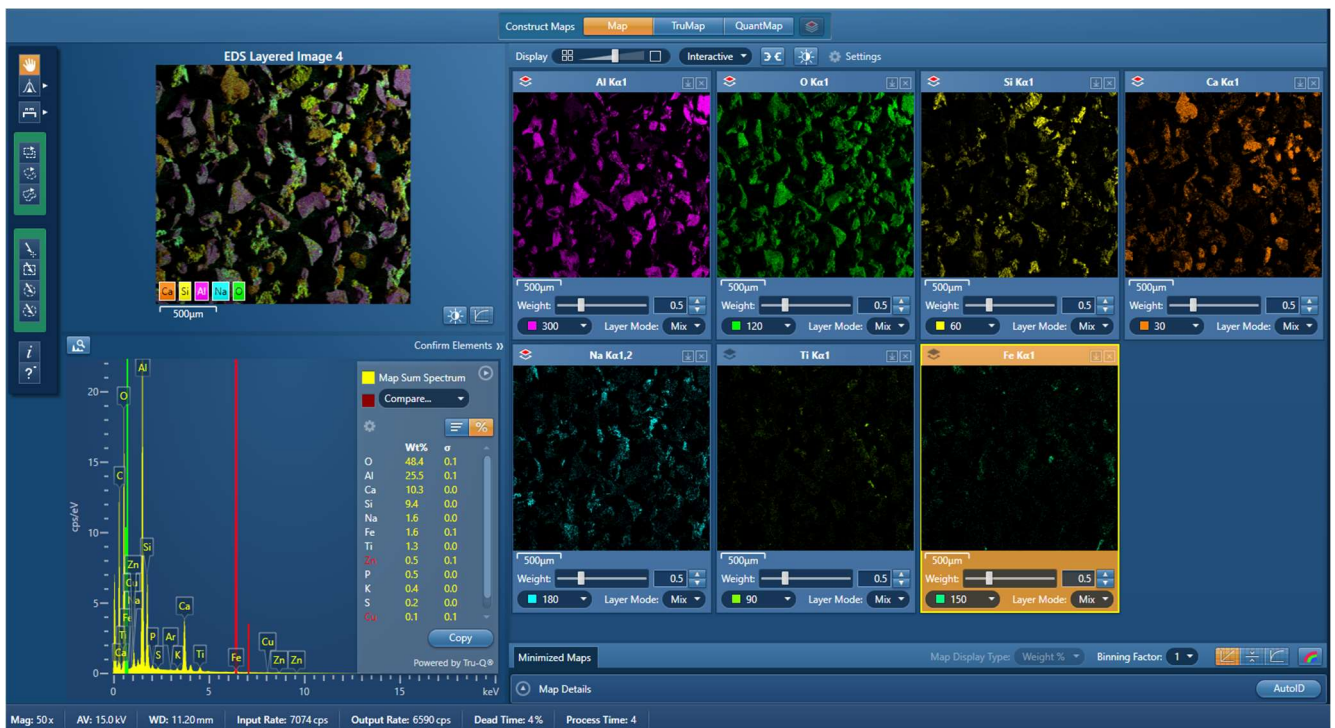
Vastaavasti jakeesta 300 µm otetut SEM-kuvat näyttävät seuraavaa: (KUVA 32).



KUVA 32. SEM-kuvat jakeesta 300 µm; vasemmalta referenssinäyte, kuulamylyljauhatuksen jälkeinen näyte ja mixed-testin jälkeinen näyte

Näytteistä on huomattavissa, että varsinaisia hiekanjyviä ympäröi määrittämätön rosainen pinta. Kuvat on otettu 50- kertaisina mittakaavassa 200 µm.

Näiden tulosten perusteella ajettiin EDS-analyysi, jotta nähtiin, mitä alkuainetta partikkelit sisältävät. Agglomeraattit sisälsivät hyvin paljon kalsiumia (Ca), joten tämä ehkä selittäisi sen, että liimoissa käytettävä kalsiumkarbonaatti (CaCO_3) viittaisi kalsiumin määrän suuruuteen. Hiekanjyvien ympärillä olevan rosaisen pinnan arveltiin olemaan liimajäämää. EDS-analyysi antoi alkuainetulokset. (KUVA 33.)



KUVA 33. Mixed-testin jälkeinen alkuaineanalyysi

EDS-alkuaineanalyysi määrittelee tutkittavan materiaalin koostumuksen. Ainoastaan kevyimpiä alkuaineita, kuten vetyä, heliumia tai litiumia laite ei tunnista. Jokaisella alkuaineella on oma röntgenspektri, jonka saa aikaan elektronien säteily. EDS tunnistaa herkästi kappaleen alkuaineet, jopa 1 % kokonaistarkkuudella. EDS-kuvissa eri alkuaineet näyttäytyvät eri värinä, jolloin saadaan tietoon, mikä alkuaine on kyseessä ja myös sen prosentuaalinen osuus näytteessä. (Yli-Hukkala, 2014.)

Hapen osuus on merkittävä, koska sitä on sitoutunut moneen alkuaineeseen, esimerkiksi alumiiniin ja rautaan. Hiili (C) on poistettu analyysituloksista, koska ennen analyysiä näyte on päällystetty hiilikerroksella (coating). Näytteen analyysi antaisi täten virheellisen tuloksen, jos hiili olisi mukana.

7 YHTEENVETO

Tässä työssä seulottiin näytteitä useasti aina kaikkien mekaanisten erotusmenetelmien välissä. Tuloksista oli nähtävissä, että mitä pidemmälle puhdistuksessa mentiin, sen puhtaammilta hiomajyvät näyttivät. Näillä toteutetuilla mekaanisilla prosesseilla, pois lukien ultraäänipesu ja vesipesu, ei voida näyttää toteen, että tällaiset niin sanotut kuivaprosessit puhdistaisivat riittävän puhtaaksi mineraalijyviä, joita oli tarkoituksena irrottaa tuhkan seasta, jotta niitä voitaisiin käyttää uudelleen uuden hiekkapaperin valmistuksessa. TGA-analyyssissä tutkittiin jakeita 300 µm ja 500 µm, ja näitten fraktioiden tuloksissa orgaanisen aineksen määrä on hyvinkin vähäinen. Pieni orgaanisen aineksen määrä luultavimmin menee kaikista hienoimpiin jakeisiin, eikä sitä ole nähtävissä suuremmissa partikkeleissa.

Tuloksista päätellen ultraäänipesu näyttäisi olevan tehokas puhdistusmenetelmä tässä kokeellisessa laboratoriotyössä. Niin ikään ihan tavallinen vesipesu antoi selkeästi kirkkaamman ja puhtaamman mineraalijakeen ulos.

Alun perin luulemamme liimajäämät osoittautuivat olemattomiksi ja turhiksi havainnoiksi, koska agglomeraatit sisälsivät vähän orgaanisia aineksia. Tästä eteenpäin tullaan keskittymään agglomeraattien purkamiseen. Keinoja on käytettävissä, mutta mikä on se merkittävin keino erottaa niitä toisistaan, että saadaan hiontajyväjakeet selkeästi erotettua, on vielä tässä vaiheessa epäselvää.

Monen eri uunin käyttö saattoi aiheuttaa myös sen, että näyte sintrautui entisestään. Silloin on yhä vaikeampaa erottaa jakeita, koska partikkelit tarrautuvat yhä enemmän toisiinsa kiinni. Sintrautumisen syy saattoi olla liian monen uunin käyttö ja liika lämmitys. Jakeet pakkaantuivat yhä edelleen suurimmiksi agglomeraateiksi, ja tekivät täten analysoinnista hankalamman.

8 JATKOTOIMENPITEET

Tutkimuksia on tarkoitus jatkaa ja kartoittaa erilaisia keinoja, millä saataisiin agglomeraatteja rikotuksi ja puhtaita mineraalijyviä erotetuksi. Niin ikään myös uusia koepolttoja oli tarkoitus suorittaa pelkästään hiekkapaperijätteelle. Jo pelkän veden käyttö näytti puhdistavan jyviä hyvin, mutta riittääkö se saamaan kuitenkin tarpeeksi puhtaslaatuista mineraalia erotetuksi. Vaahdotusta erotusmenetelmänä haluttaisiin tutkia jonkin kokoojakemikaalin avulla. Tämän lisäksi voitaisiin kokeilla myös happo- ja emäspesuja. Tuolloin käytössä olisivat mahdollisesti suolahappo (HCl) ja natriumhydroksidi (NaOH). Johtuen suurista hiekkapaperijäte määristä, on tärkeää, että löydetään juuri sopiva puhdistusmenetelmä. Tulevaisuudessa pitäisi myös pilotoida tutkimuksia tehdasmittakaavassa.

LÄHTEET

Adven Oy. 2022. Saatavissa: [Lämmön talteenottoa ja puhdasta ilmaa Mirkalle | Adven](#). Viitattu 4.3.2022.

Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. (ELY). 2018. Päätös poikkeuksellisesta tilanteesta tehdystä ilmoituksesta. Saatavissa: file:///C:/Users/merja/Downloads/26.9.2018_P%C3%A4%C3%A4t%C3%B6s_Adven%20Oy_Uusikaarlepyy_poikkitilanne.pdf. Viitattu 05.03.2022.

Etelä-Pohjanmaan ELY-keskus; Uudenkaarlepyyn kaupungin ympäristönsuojeluviranomainen. 2021. Selvitys Adven Oy:n Jepuan hyötyvoimalaitoksen toiminnasta 2020. Saatavissa: file:///C:/Users/merja/Downloads/Jepuan%20Vuosisraportti%202020%20pdf_.pdf. Viitattu 5.3.2022.

Finnäs, P. 2022. Henkilökohtainen tiedonanto. Mirka Oy.

Jepuan Biokaasulaitos Oy, 2022. Mitä on biokaasu? Saatavissa: <https://jeppobiogas.fi/yritys/mita-biokaasu-on/>. Viitattu 04.03.2022.

Hämäläinen, T. 2007. Vakiosyklonierottimen toimintaperiaate, mitoitusmenetelmät ja mitoitus. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Energiatekniikan kandidaatin työ ja seminaari. Saatavissa: <https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/36088/nbnfi-fe200801221040.pdf?sequence=6&isAllowed=y>. Viitattu 15.3.2022.

Kaiva.fi, 2014. Hienonnus – kiintoaineiden lajittelu. Saatavissa: https://kaiva.fi/wp-content/uploads/2014/12/Hienonnus_Kaiva-fi.pdf. Viitattu 9.3.2022.

Kurttio, K. 2012. Rikastustekniikan opettamisen kehittäminen. Kemi: Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu. Kunnossapito insinööri (YAMK) Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/40224/Kurttio_Kari.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Viitattu 11.3.2022.

Laitinen, M. 2014. Seulonnan erotustehokkuuden määrittäminen – tarkastelussa Reichertin kartioseula. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Kandidaatintyö. Saatavissa: <https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/95864/Seulonnan%20erotustehokkuuden%20m%c3%a4%c3%a4ritt%c3%a4minen%20-%20tarkastelussa%20Reichertin%20kartioseula.pdf?sequence=2&isAllowed=y>. Viitattu 11.3.2022.

Measurlabs. 2022. Pyyhkäisyelektronimikroskopia. Saatavissa: <https://measurlabs.com/fi/metodit/pyyhkaisyelektronimikroskopia-sem/>. Viitattu 8.4.2022.

Metso Outotec, 2022. Saatavissa: <https://www.mogroup.com/fi/tuotteet-ja-palvelut/laitteet-ja-laitokset/murskaimet/> Viitattu 09.03.2022.

Mirka Oy. 2022. Yrityksen kotisivut. Saatavissa: [Finland - Suomi \(mirka.com\)](https://www.mirka.com/). Viitattu 18.4.2022.

- Nayebi, M. & Ruhe, G. 2015. The Art and Science of Analyzing Software Data. C. Bird (toim.) Saatavissa: <https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/morphological-analysis>. Viitattu 8.4.2022.
- Oja, M. 2006. Mekaanista prosessitekniikkaa materiaalitekniikan opiskelijoille. Saatavissa: <file:///C:/Centria%202021-2022/Opinn%C3%A4ytety%C3%B6/TKK-Marja%20Oja.pdf>. Viitattu 10.3.2022.
- Pihkala, J. 2005. Prosessitekniikan yksikköprosessit. Helsinki: Hakapaino Oy.
- Stoor, M. 2022. Mirka Oy sisäinen raportti. Mirka Oy Jepua.
- TA instruments. 2022. Saatavissa: <https://www.tainstruments.com/sdt-650/>. Viitattu 29.3.2022.
- Thpanorama. 2022. Alumiinioksidi. Kemiallinen rakenne, käyttö ja ominaisuudet. Saatavissa: <https://fi.thpanorama.com/articles/qumica/xido-de-aluminio-al2o3-estructura-qumica-usos-propiedades.html>. Viitattu 17.3.2022.
- Tulevaisuuden tutkimuskeskus, Turun kauppakorkeakoulu, Turun yliopisto. 2022. Topi - Tulevaisuuden oppimateriaali. A. Rubin (toim.) Saatavissa: <https://tulevaisuus.fi/kasitteet/kasitteita-i-r/>. Viitattu 7.4.2022.
- Tuontitukku. 2022. Saatavissa: https://www.tuontitukku.fi/storage/product_files/9/6438168105079-ultraäänipesuri36Lkayttoohje.pdf. Viitattu 11.3.2022.
- VTT Automaatio. 2004. Saatavissa: http://virtual.vtt.fi/virtual/proj3/polyverkko/kpl_6_6.htm. Viitattu 15.3.2022.
- Wecktsröm, O. 2012. Ultraäänipesurin kehittäminen ja pesutuloksen parantaminen. Pori: Satakunnan ammattikorkeakoulu. Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Insinööri (Amk) Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/46863/Weckstrom_Ossi.pdf?sequence=1. Viitattu 2.4.2022.
- Wester, H. 2013. Mirka 70 vuotta. Vaasa: Oy Fram Ab.
- Yli-Hukkala, K. 2014. Pyyhkäisyelektronimikroskoopin käyttö materiaaliympäristössä. Seinäjoki: Seinäjoen ammattikorkeakoulu. Automaatiotekniikan koulutusohjelma. Insinööri (Amk) Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/72892/Yli-Hukkala_Kalle.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Viitattu 7.4.2022.
- Ziemann, M. 2016. Hiekkapaperin keksivät pyramidejään kiillottaneet egyptiläiset – Kohta hiekkapaperia käytetään myös siivoukseen. Yle uutiset. Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-8956544>. Viitattu 16.3.2022.
- Ämmälä, A. 2020. Mekaaniset yksikköprosessit. Oulu: Oulun Yliopisto. Kuitu- ja partikkelitekniikan laboratorio. Prosessitekniikan perusta. Oppimateriaali. Saatavissa: [PowerPoint-esitys \(oulu.fi\)](PowerPoint-esitys (oulu.fi)). Viitattu 4.3.2022.