

**Eetu Kuorikoski**

**TAAJUUDEN MUUTTAMINEN MURSKAUKSESSA**

**Kartiomurskain**

**Opinnäytetyö**

**CENTRIA-AMMATTIKORKEAKOULU**

**Kemiantekniikan koulutusohjelma**

**Huhtikuu 2015**

**TIIVISTELMÄ**

<b>Yksikkö</b> Tekniikka ja liiketalous, Kokkola	<b>Aika</b> Huhtikuu 2015	<b>Tekijä/tekijät</b> Eetu Kuorikoski
<b>Koulutusohjelma</b> Kemiantekniikka		
<b>Työn nimi</b> TAAJUUDEN MUUTTAMINEN MURSKAUKSESSA kartiomurskain		
<b>Työn ohjaaja</b> Laura Rahikka	<b>Sivumäärä</b> 52	
<b>Työelämäohjaaja</b> Olle Sirén		
<p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia murskauksen taajuuden muuttamista ja seurata kuinka muutos vaikuttaa raekokoihin. Työssä selvitettiin kartiomurskaimen avulla, miten raekoko muuttuu kun taajuutta pienennetään. Työn tavoite oli tutkia, millä taajuudella syntyy vähiten alle 600 µm materiaalia ja samalla tutkia, miten muut raekoot syntyvät eri taajuuksilla. Seulonnassa seulapinnat vaihtelivat aina pohjasta 6300 µm asti. Haluttu raekoko on välillä 600–6300 µm. Murskaus suoritettiin Oulun yliopistolla ja seulonnat Centria-ammattikorkeakoulun prosessilaboratoriossa Kokkolassa.</p> <p>Toimeksiantajana toimi Keliber Oy, joka toimii Keski-Pohjanmaan alueella kartoittaen litiumspodumeenivarantoja. Keliber Oy:n oma kaivos hanke sijoittuu Ullavan Länttään, jonne kaivos tulevaisuudessa nousee. Yrityksen tavoitteena on tuottaa 99,99 prosenttista litiumkarbonaattia teollisuuden jatkokäyttöön. Materiaali, jota työssä käytettiin, saatiin Länttästä, joka oli esimurskattua noin 20 mm raekokoon.</p> <p>Tämä opinnäytetyö tehtiin Centria-ammattikorkeakoululle ja opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Keliber Oy. Opinnäytetyö toteutettiin kevään 2015 aikana.</p>		

<b>Asiasanat</b> Kartiomurskain, seula-analyysi, spodumeeni, taajuus
---

**TIIVISTELMÄ**

<b>Unit</b> Centria university of applied sciences, Kokkola	<b>Date</b> April 2015	<b>Author</b> Eetu Kuorikoski
<b>Degree programme</b> Chemical Engineering		
<b>Name of thesis</b> CHANGING THE FREQUENCY IN CRUSHING cone crusher		
<b>Instructor</b> Laura Rahikka		<b>Pages</b> 52
<b>Supervisor</b> Olle Sirén		
<p>Purpose of this work was changing the frequency of crushing, using frequency converter and cone crusher. In this work followed the change in particle size with different frequencies. The particle size below 600 µm was one of the main things to look at this project. This study also followed the difference between frequency and particle size in other sieves which were from bottom to the 6300 µm. Wanted particle size was between 600 µm and 6300 µm. Crushing was made in Oulu University and the sieve analysis in Centria University of Applied Sciences process laboratory in Kokkola.</p> <p>The company who ordered this work is called Keliber Oy. Its work is to research lithium spodumen reserves in Central Ostrobothnia. Keliber Oy's own mining project is at Ullava and the place is called Länttä. Company's main product will be 99.99 % pure lithium carbonite. The material which is used in this work is from Länttä, and it was pre-crushed to particle size of 20 mm.</p> <p>This study was done to Centria University of Applied Sciences and the client was Keliber Oy. Study was conducted during the spring of 2015.</p>		

<b>Key words</b> Cone crusher, frequency, sieve analysis, spodumen
---

**TIIVISTELMÄ  
ABSTRACT  
SISÄLLYS**

<b>1 JOHDANTO</b>	<b>1</b>
<b>2 LITIUM</b>	<b>2</b>
2.1 Käyttökohteet	2
2.2 Litiummalmi	3
2.3 Spodumeeni	4
2.4 Litiumesiintymät	5
<b>3 MURSKAUTUVUUS</b>	<b>6</b>
<b>4 MURSKAIMET</b>	<b>11</b>
4.1 Kartio- ja karamurskain	11
4.2 Leukamurskain	13
4.3 Valssimurskain	14
4.4 Iskumurskain	14
<b>5 KELIBER OY</b>	<b>16</b>
5.1 Historia	16
5.2 Nykytilanne	18
5.3 Tulevaisuus	19
<b>6 SEULONTA</b>	<b>20</b>
6.1 Seulonnan kapasiteetti	21
6.2 Erilaiset seulalaitteet ja -menetelmät	21
6.3 Seula-analyysi	22
<b>7 KOKEELLINEN OSUUS</b>	<b>23</b>
7.1 Työn tarkoitus	23
7.2 Lähtökohdat	23
7.3 Laitteisto	23
7.4 Työn suoritus	24
7.5 Tulokset	25
7.5.1 Seula-analyysit ja integraalikuvaajat	25
7.5.2 Pylväsdiagrammit	42
7.6 Tulosten tarkastelu	48
7.7 Virheiden arviointi	49
<b>LÄHTEET</b>	<b>55</b>
<b>KUVIOT</b>	
KUVIO 1. Litiumin käyttökohteet.	7
KUVIO 2. Längän avolouhos	8
KUVIO 3. Hi-tech metallien esiintyminen suomessa.	9

KUVIO 4. Ilmiöt, johon hienonnus perustuu.	10
KUVIO 5. Rakeen särkymiseen vaikuttavat tekijät.	11
KUVIO 6. Jännitystilat a) vetojännitys b) leikkausjännitys.	13
KUVIO 7. Kartiomurskaimen poikkileikkaus.	16
KUVIO 8. Kartiomurskain vasemmalla ja karamurskain oikealla.	16
KUVIO 9. Leukamurskain.	17
KUVIO 10. Valssimurskain.	18
KUVIO 11. Iskumurskain	19
KUVIO 12. Valtauksien sijainti.	22
KUVIO 13. Materiaalin seuloutuminen seulapinnalla	25
KUVIO 14. Integraalikuvaaja 50 Hz ensimmäinen ajo.	30
KUVIO 15. Integraalikuvaaja 45 Hz ensimmäinen ajo.	31
KUVIO 16. Integraalikuvaaja 40 Hz ensimmäinen ajo.	32
KUVIO 17. Integraalikuvaaja 35 Hz ensimmäinen ajo.	33
KUVIO 18. Integraalikuvaaja 30 Hz ensimmäinen ajo.	34
KUVIO 19. Integraalikuvaaja 25 Hz ensimmäinen ajo.	35
KUVIO 20. Integraalikuvaaja 20 Hz ensimmäinen ajo.	36
KUVIO 21. Integraalikuvaaja 15 Hz ensimmäinen ajo.	37
KUVIO 22. Integraalikuvaaja 50 Hz toinen ajo	38
KUVIO 23. Integraalikuvaaja 45 Hz toinen ajo	39
KUVIO 24. Integraalikuvaaja 40 Hz toinen ajo	40
KUVIO 25. Integraalikuvaaja 35 Hz toinen ajo	41
KUVIO 26. Integraalikuvaaja 30 Hz toinen ajo	42
KUVIO 27. Integraalikuvaaja 25 Hz toinen ajo	43
KUVIO 28. Integraalikuvaaja 20 Hz toinen ajo	44
KUVIO 29. Integraalikuvaaja 15 Hz toinen ajo	45
KUVIO 30. Seulalle jääneen, alle 600 µm, materiaalin määrä prosentteina ensimmäinen ajo.	46
KUVIO 31. Seulalle jääneen, alle 600 µm, materiaalin määrä prosentteina toinen ajo.	47
KUVIO 32. Seulalle jääneen, alle 600 µm, materiaalin määrä prosentteina molemmista ajoista.	47
KUVIO 33. Seulalle jääneen, 600-3350 µm, materiaalin määrä prosentteina ensimmäinen ajo.	48
KUVIO 34. Seulalle jääneen, 600-3350 µm, materiaalin määrä prosentteina toinen ajo.	48
KUVIO 35. Seulalle jääneen, 600-3350 µm, materiaalin määrä prosentteina molemmista ajoista.	49
KUVIO 36. Seulalle jääneen, 3350-5600 µm, materiaalin määrä prosentteina ensimmäinen ajo.	49
KUVIO 37. Seulalle jääneen, 3350-5600 µm, materiaalin määrä prosentteina toinen ajo.	50
KUVIO 38. Seulalle jääneen, 3350-5600 µm, materiaalin määrä prosentteina molemmista ajoista.	50
KUVIO 39. Seulalle jääneen, yli 5600 µm, materiaalin määrä prosentteina ensimmäinen ajo.	51
KUVIO 40. Seulalle jääneen, yli 5600 µm, materiaalin määrä prosentteina toinen ajo.	51
KUVIO 41. Seulalle jääneen, yli 5600 µm, materiaalin määrä prosentteina molemmista ajoista.	52

## TAULUKOT

TAULUKKO 1. Seula-analyysin 50 Hz ensimmäinen ajo.	30
TAULUKKO 2. Seula-analyysin 45 Hz ensimmäinen ajo.	31
TAULUKKO 3. Seula-analyysin 40 Hz ensimmäinen ajo.	32
TAULUKKO 4. Seula-analyysin 35 Hz ensimmäinen ajo.	33
TAULUKKO 5. Seula-analyysin 30 Hz ensimmäinen ajo.	34
TAULUKKO 6. Seula-analyysin 25 Hz ensimmäinen ajo.	35

TAULUKKO 7. Seula-analyysin 20 Hz ensimmäinen ajo.	36
TAULUKKO 8. Seula-analyysin 15 Hz ensimmäinen ajo.	37
TAULUKKO 9. Seula-analyysi 50 Hz toinen ajo	38
TAULUKKO 10. Seula-analyysi 50 Hz toinen ajo	39
TAULUKKO 11. Seula-analyysi 50 Hz toinen ajo	40
TAULUKKO 12. Seula-analyysi 50 Hz toinen ajo	41
TAULUKKO 13. Seula-analyysi 50 Hz toinen ajo	42
TAULUKKO 14. Seula-analyysi 50 Hz toinen ajo	43
TAULUKKO 15. Seula-analyysi 50 Hz toinen ajo	44
TAULUKKO 16. Seula-analyysi 50 Hz toinen ajo	45

## 1 JOHDANTO

Litiumin käyttö maailmalla on ollut kasvussa jo 2000-luvun alusta lähtien. Akut, joita puhelimissa ja autoissa käytetään, perustuvat nykyään suurimmalta osin litiumkäyttöiseen teknologiaan. Ennestään litiumia on käytetty keramiikassa, lasiteollisuudessa, lääketeollisuudessa ja voiteluaineissa. Litiumia saadaan nykyään kaivoksilta ja suolajärviltä. Suolajärvistä saadaan yli 50 prosenttia tuotetusta litiumista, ja kaivoksista yksi neljäsosa.

Suomessa spodumeenia, eli litiumia sisältävä mineraalia, on tavattu Keski-Pohjanmaalla Kaustisella ja Länsi-Suomessa Tammelassa. Keliber Oy toimii Keski-Pohjanmaalla etsien spodumeenijuovia. Yrityksen tavoite on saada kaivos Ullavan Längössä sijaitsevalle spodumeenijuovalle ja tuotantolaitos Kaustiselle. Keliber Oy:n tavoitteena on nousta Euroopan suurimmaksi litiumtuottajaksi.

Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia taajuuden muuttamisen merkitystä kartiomurskaimessa. Teoriassa on aikaisemmin todistettu, että taajuuden muuttamisella on vaikutusta murskauksessa. Keliber Oy halusi tutkia spodumeenimineraalin murskautuvuutta, kun taajuutta muunnellaan taajuusmuuntajan avulla. Taajuuksia muuttamalla haluttiin, että hienoainesta, tässä tapauksessa alle 600  $\mu\text{m}$ :n, tulisi mahdollisimman vähän. Murskaus suoritettiin Oulun yliopistolla kartiomurskaimella ja seulonnat Kokkolassa ammattikorkeakoulun prosessilaboratoriossa.

## 2 LITIUM

Litiumin löysi vuonna 1817 ruotsalainen kemisti Johan August Arfwedson. Litiumia tuotettiin ensimmäisen kerran metallina vuonna 1855. 1920-luvulla litiumia aloitettiin valmistaa teollisessa mittakaavassa. (Keliber Oy 2013.)

Alkuaineena litium kuuluu alkalimetalleihin ja kuten muut alkalimetallit, litium kuuluu jaksollisessa järjestelmässä ensimmäiseen pääryhmään. Litiumin järjestysluku on 3 ja sen lyhenne Li. Metalleista litium on kevyin ja se jopa kelluu veden päällä. Keveyden takia litiumia käytetään paljon esimerkiksi lentokoneteollisuudessa. (Data113kemia 2014.) Litium on ulkomuodoltaan pehmeä hopeanvalkoinen metalli, jolla on taipumus hapettua herkästi. Vedessä ja kosteassa ilmassa, se reagoi voimakkaasti tuottaen vetyä ja litiumhydroksidia. Litiumin kiehumispiste on 1347 °C, sulamispiste 180,5 °C ja atomimassa 6,941. (Keliber Oy 2013.)

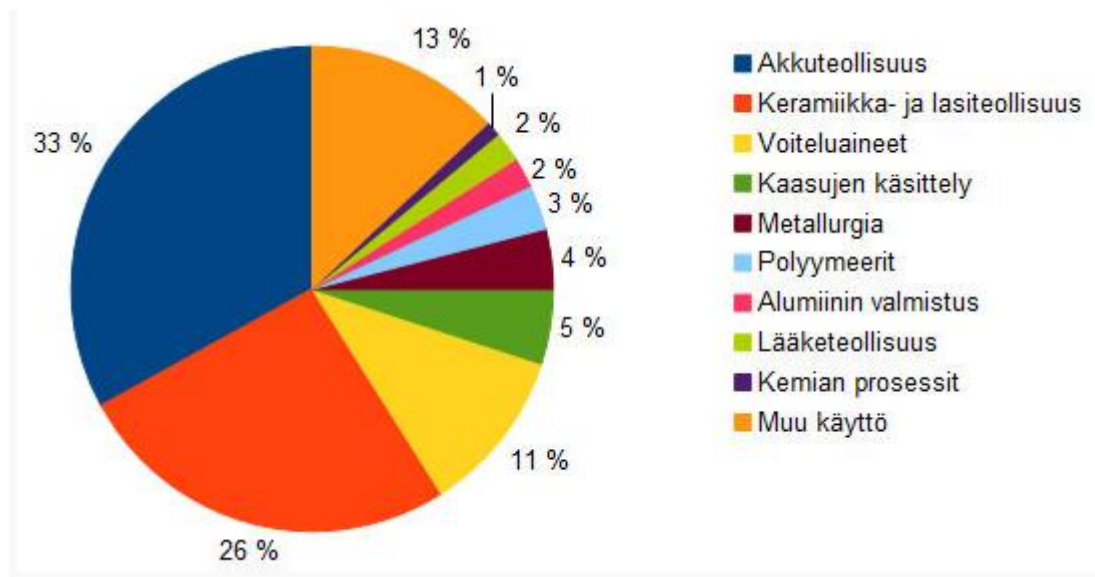


KUVA 1. Litium (Data113kemia, 2014)



## 2.1 Käyttökohteet

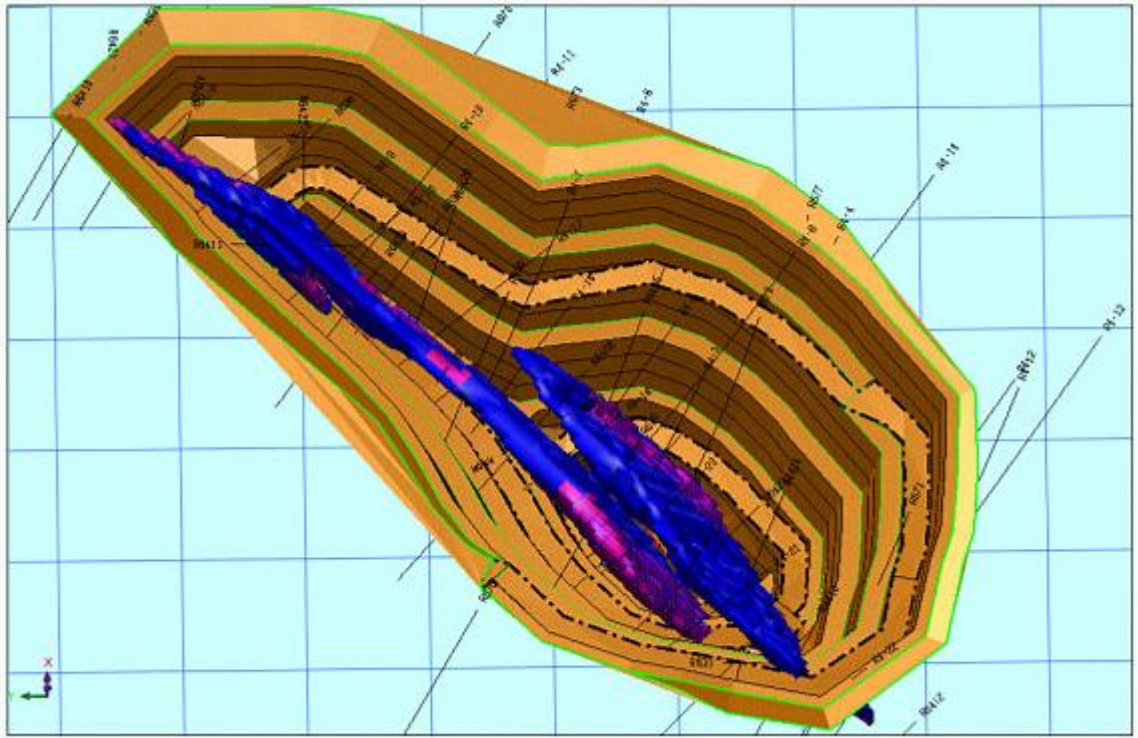
Litiumin käyttö on kasvanut vuosina 2000–2011 5,6 prosenttia ja sen epäillään kasvavan voimakkaasti jopa 9,6 prosentin vauhdilla vuosina 2011–2020. Suurin syy kasvuun on litiumakkujen yleistynyt käyttö 2000-luvun alusta lähtien. Pelkästään litiumakkuteollisuuden kasvu vuosina 2000–2011 oli 19 prosenttia. (Keliber Oy 2013.)



KUVIO 1. Litiumin käyttökohteet. (Keliber Oy 2013.)

## 2.2 Litiummalmi

Litiumia saadaan maasta kahdella tavalla: suolajärvistä ja kallioperästä. Suolajärvistä litium saadaan auringon avulla kahtena eri aineena, litiumkarbonaattina ja litiumhydroksidina. Kallioperästä louhittavia litiumrikkaita malmeja on neljä, spodumeeni, petaliitti, lepidoliitti ja amblygoniitti. Näitä neljää malmiä hyödynnetään teollisuudessa. (Kieppi, Sirén 2015.)



KUVIO 2. Läntän avolouhos (Länttä, Keliber Oy 2013.)

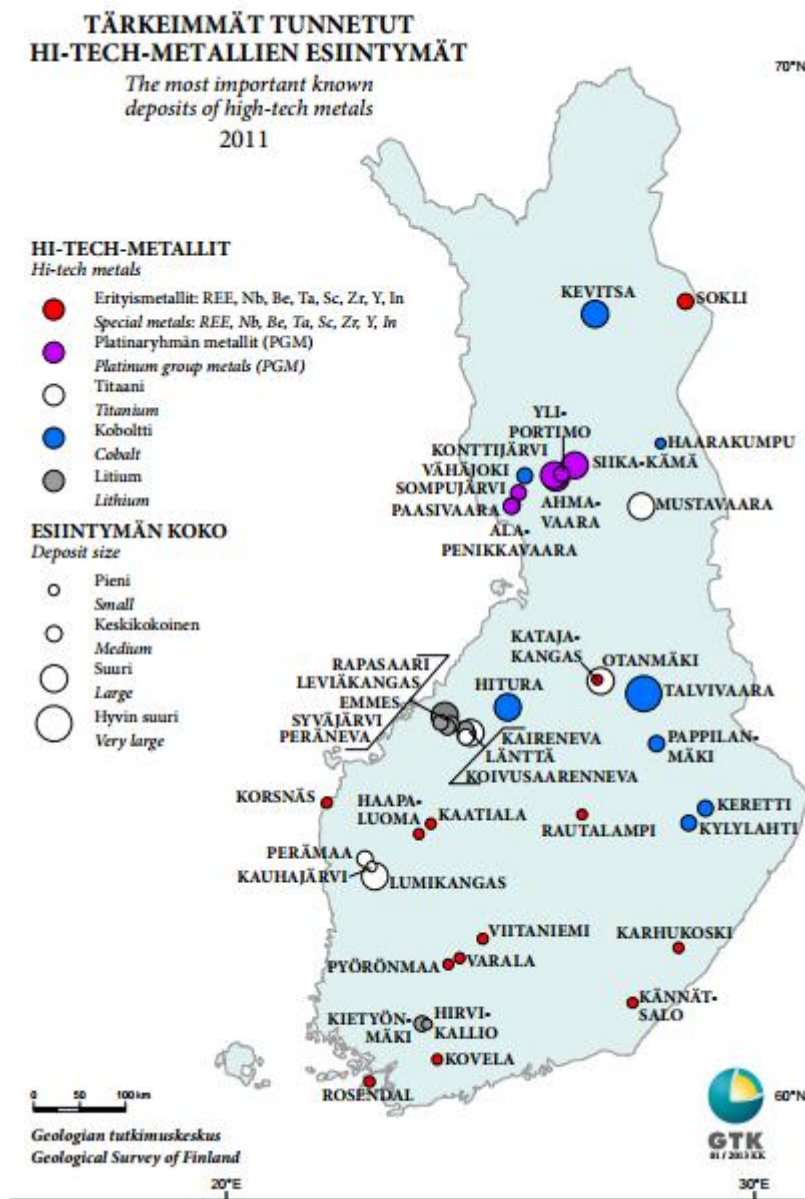
### 2.3 Spodumeeni

Spodumeeni esiintyy litteinä prismoina, ja se kuuluu pyrokseeniryhmän mineraaleihin. Spodumeeni on usein pituussuunnassa viirukkeinen. Spodumeenimineraalin väri vaihtelee harmaanvalkeasta kellertävään, vihertävään ja punertavaan. Spodumeenilla on yksi täydellinen ja kaksi heikkoa lohkosuuntaa. Tällä mineraalilla ominaispaino on noin 3,1 ja mineraalin kovuus on 6,5–7,5 ja kiilto on lasikiilto. (Grönholm, Alviola, Kinnunen, Kojonen, Kärkkäinen & Mäkitie 2009, 30.)

Spodumeeni esiintyy graniittipegmatiiteissa senttimetrien pituisina, mutta joskus myös jopa metrien pituisina kiteinä. Spodumeenipitoisia juonia tunnetaan Suomessa 30, ja ne ovat levittäytyneet ympäri maata. Tärkeimmät esiintymät ovat Kruunupyö-Ullava akselilla Keski-Pohjanmaalla. Spodumeenimineraalia käytetään keramiikka- sekä lasiteollisuudessa ja siitä voidaan valmistaa litiumsuoloja. Spodumeenimineraalin vihreitä ja violetteja läpinäkyviä muunnoksia käytetään jalokivinä. (Grönholm ym. 2009, 30.)

## 2.4 Litiumesiintymät

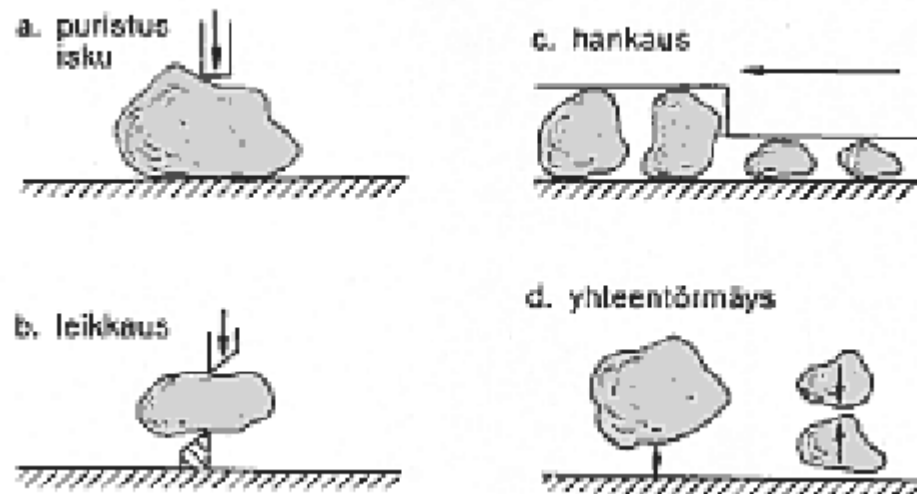
Suomessa esiintymiä etsii Keliber Oy yhteistyössä Geologisen tutkimuslaitoksen kanssa. Ne ovat pääsääntöisesti keskittyneet Keski-Pohjanmaalle, Kaustisen alueelle. Eri puolilla Kaustista on löydetty spodumeeni juovia. Ullavassa Längän alueelle on syntymässä avo-louhos, josta litiumpitoista spodumeenimineraalia louhitaan.



KUVIO 3. Hi-tech metallien esiintyminen Suomessa. (Geologian tutkimuskeskus 2011.)

### 3 MURSKAUTUVUUS

Murskauksella tarkoitetaan partikkelien hienontamista pienempään kokoon. Murskaus eli hienontaminen perustuu iskuun, puristukseen, hankaukseen, leikkaukseen ja yhteentörmäykseen. (Rahikka 2011, 11.)

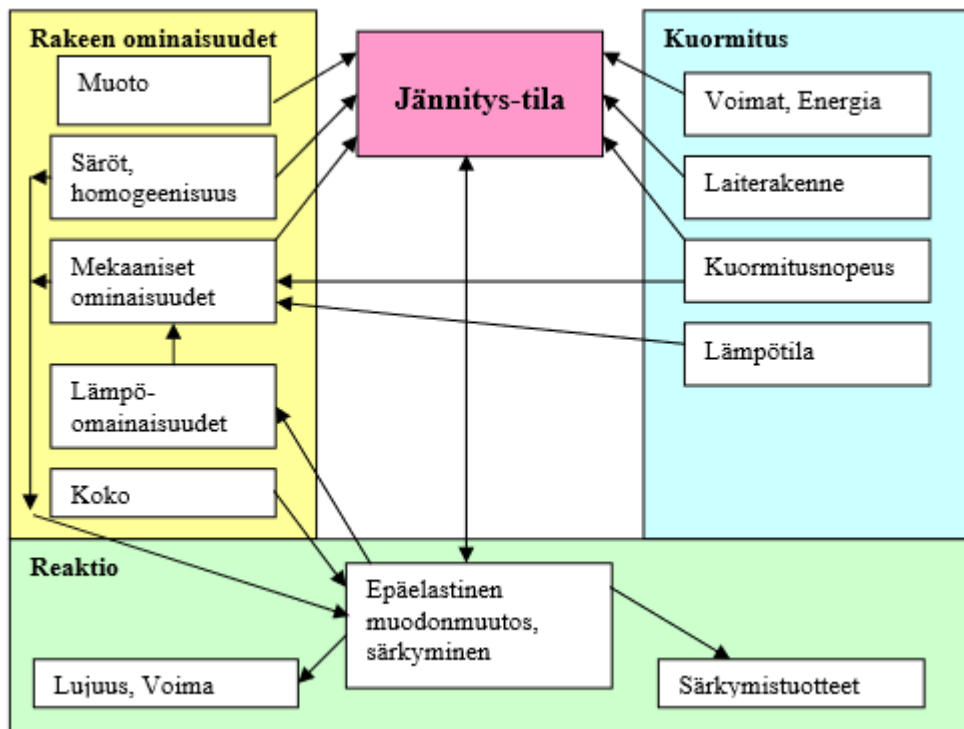


KUVIO 4. Ilmiöt, johon hienonnus perustuu (Pihkala 2003, 8.)

Hienontaminen usein perustuu monen tekijän yhteisvaikutukseen. Rae särkyä silloin, kun siihen vaikuttava jännityksen energia on suurempi kuin aukeavan mikroraon pintaenergia, tätä kutsutaan Griffithin murtumisteoriaksi. Hienontamiseen vaikuttaa olennaisesti partikkelin kovuus, ja se luokitellaan Moshin asteikolla, jossa 10 on kovin eli timantti ja 1 on haurain eli talkki. (Rahikka 2011, 9.)

Murskauksessa jäykkyys kuvaa materiaalin muodonmuutosvastusta. Kovuudella taas kuvataan materiaalin pinnan muutosvastusta, ja sitkeydellä kuvataan materiaalin murtumisvastusta. Kovuuden ja sitkeyden suhteeksi kutsutaan haurautta. Lujudella kuvataan kappaleen suurinta jännityksen kestoja ennen kuin kappale murtuu. (Mäkinen 2013; Heiskanen 2010.)

Yksittäinen rae rikkoutuu, kun sen energiatasapainoon tulee muutos. Rakeen rikkoutuminen voidaan jakaa osiin, joita ovat rakeen kuormitus, muodonmuutos, sisäisen jännitystilän muodostuminen ja jännitystilän purkautuminen, jolloin havaitaan, särkyykö rae vai ei. Kuvassa nähdään, mitkä kaikki asiat vaikuttavat rakeen särkymiseen (KUVIO 5). (Oja 2006, 32–33.)



KUVIO 5. Rakeen särkymiseen vaikuttavat tekijät. (Oja 2006, 33.)

Materiaalin mekaaniset käyttäytymiset jaetaan kolmeen eri luokkaan. Elastisessa käyttäytymisessä materiaali muuttaa muotoaan hetkeksi, mutta kun kuorma siirretään pois materiaalilta, se palautuu takaisin alkuperäiseen muotoon. Elastinen käyttäytyminen on

ajasta riippumaton, eli silloin nopealla iskulla ja hitaalla puristuksella on samanlainen vaikutus materiaaliin. (Oja 2006, 32–33.)

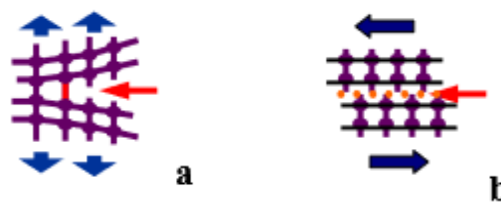
Kimmomoduli on materiaalin ominaisuus, jolla kuvataan materiaalin kykyä vastustaa elastista muodonmuutosta. Mitatut kimmomoduliarvot ovat lähes samanlaisia, vaikka muodonmuutosta olisi suoritettu vetämällä taikka puristamalla. (Oja 2006, 33.)

Plastisessa käyttäytymisessä voima muuttaa materiaalia pysyvästi, ja tämänlainenkin käyttäytyminen on ajasta riippumatonta. Teoreettisesti aika kuitenkin vaikuttaa, mutta sen oletetaan olevan niin pientä, että aikaa ei tarvitse ottaa huomioon. Plastinen muodonmuutos synnyttää materiaaliin sisäisiä jännitystiloja ja samalla haurautta. Plastisesti käyttäytyviä materiaaleja täytyy kuormittaa toistuvasti, että ne hajoavat. Vähäisen kuormitusnopeuden takia kuormitustavalla ei ole suurta väliä. (Oja 2006, 33.)

Viskoosisessa käyttäytymisessä ajalla ja lämpötilalla on iso merkitys, ja materiaalin jännitystila syntyy jo alhaisilla kuormituksilla. Joissakin tapauksissa jännitystila syntyy, kun kuormitusta poistetaan. Tämänkaltaisilla materiaaleilla kuormitusnopeudella on suuri merkitys. Kun viskositeettistä materiaalia halutaan särkeä, ovat nopeat iskut paljon edullisempia kuin hidas materiaalin puristaminen. Erilaiset muovit käyttäytyvät viskoosisesti. Materiaalin viskoosista käyttäytymistä voidaan pienentää jäädyttämällä materiaali ja tällöin myös hienontaminen tehostuu. Jos materiaali on erittäin viskoosista, on hyödyllisempää käyttää leikkaavaa terää kuin toistuvia iskuja. (Oja 2006, 33–34.)

Todelliset materiaalit eivät noudata juuri mitään edellä mainituista käyttäytymisistä. Niiden muodonmuutosta voidaan seurata erilaisten kuormitus- ja muodonmuutoskäyrien avulla. Käyrien avulla voidaan selvittää myös materiaalin muita ominaisuuksia, kuten lujuutta, kestävyyttä, haurautta ja taipuisuutta. (Oja 2006, 34.)

Rakeen rikkoutuminen riippuu sen energiatasapainosta. Rakeelle uuden pinnan tuottamiseen tarvitaan energiaa. Tämä energia saadaan termisenä energiana ja rakeen sisäisestä jännitystilasta. Plastiseen muodonmuutokseen kuluu myös energiaa. Rae voi särkyä, kun saavutetaan murtumisen ylittävä energiamäärä. Alla olevassa kuvassa (KUVIO 6) on esillä kaksi mahdollista jännitystilaa, jossa särkyminen voi tapahtua. (Oja 2006, 35.)



KUVIO 6. Jännitystilat a) vetojännitys b) leikkausjännitys. (Oja 2006, 35.)

Puristusvoimia on helpoin tutkia pallon avulla. Kun elastinen pallo painuu kasaan, kosketuspinnan alapuolelle syntyy puristus- ja leikkausvoimakentät. Suurin puristuspainetta syntyy pallon ja pinnan keskikohtaan, mutta suurin vetojännitys syntyy pallon reunoille ja suurin leikkausjännitys keskustan alapuolelle, joka on noin neljännes pallon säteestä. (Oja 2006, 36.)

Hauraat materiaalit käyttäytyvät aluksi samalla tavalla kuin elastiset materiaalit, mutta lopulta ne särkyvät. Murtuminen tapahtuu, kun kuormituksen määrä on tarpeeksi suuri. Se alkaa kontaktipinnan reunalta, johon syntyy suurin vetojännitys. Kun haurasta materiaalia puristetaan, siihen alkaa syntyä säröjä molemmista kontaktipinnoista keskipistettä kohden, mutta iskussa säröt etenevät ns. torvimaisesti. (Oja 2006, 36.)

Plastiseen palloon syntyy sisäisiä jännitystiloja. Jännitystilat tulevat pallon sisään kartiomaisesti ja tämän kaltainen voima saa pallon näyttämään siltä, että siitä olisi lohkottu

palasia, kuten sitrushedelmästä. Leikkausvoimat eivät varsinaisesti vaikuta murtumiseen, koska kartion tunkeutuminen palloon määrää jännitystilaa, mutta kaikissa rakeissa on pieniä rakennevirheitä, joten särkyminen on tapauskohtaista. Osa samasta materiaalista särkyy helposti, kun taas erikokoinen materiaali särkyy vaikeammin. Murtumisessa energiaa kuluu epäelastiseen muodonmuutokseen, kuten kemiallisten sidosvoimien murtamiseen ja uusien pintojen luomiseen. (Oja 2006, 37.)

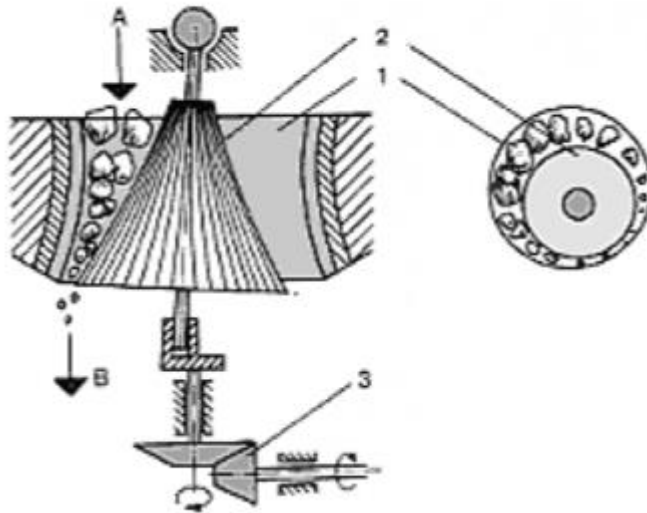


## 4 MURSKAIMET

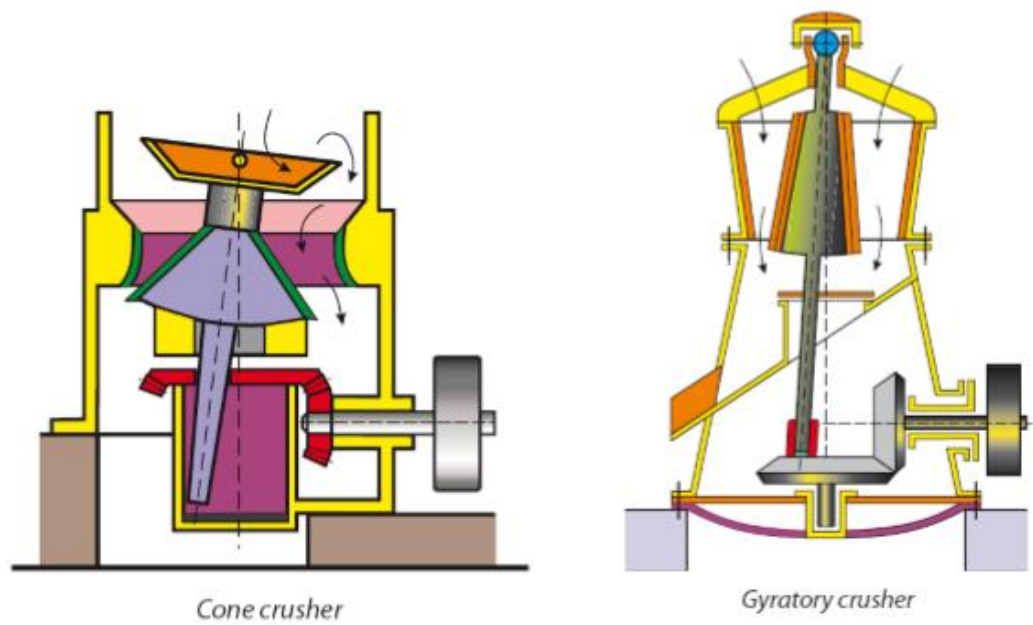
### 4.1 Kartio- ja karamurskain

Sekä kartio- että karamurskaimessa on värähtelevä akseli, joka pyörii moottorin avulla, saa materiaalin puristukseen ja näin ollen murskautumaan. Kartiomurskain koostuu seuraavista osista: murskausmaljasta, murskauskartiosta ja murskauskartiota pyörittävästä koneistosta (KUVIO 7). Murskauskartio on kiinnitetty pystysuoraan akseliin, joka riippuu yläpäässä kannatuselimen varassa. Tämän akselin alapää on kiinnitetty epäkeskeisesti akselia pyörittävään koneistoon. Murskettava materiaali syötetään kartiomurskaimen yläpäästä kartion ja murskausmaljan väliseen tilaan, jossa kartio pyörii, ja näin ollen materiaali hankautuu hienommaksi. Kartion pinnalla on vaippa, joka lisää materiaalin kulumista, ja kun toissijainen murskautuminen tapahtuu partikkelien välillä, tämän ansiosta vaipan kulumisen on hidasta. Kartiomurskaimen tuote tulee pohjasta. Kartiomurskaimen toimintaperiaate perustuu puristukseen ja iskuun. Kartiomurskainta käytetään, kun materiaalin määrä on suuri. Samalla toimintaperiaatteella toimii karamurskain, mutta se eroaa kartiomurskaimesta siten, että se on laakeroitu ylä- sekä alapäästä. Kartio- tai karamurskainta käytetään, kun murskattavan materiaalin määrä on suuri, koska murskaintyyppi toimii parhaiten silloin, sen sisällä on paljon materiaalia. (Metso Minerals 2008, 3-1; Rahikka 2011, 13.)

Murskaussuhde määritetään erilaisille murskaimille seuraavasti. Leuka- ja kartiomurskaimen murskaussuhde määritellään kita-aukon ja avoimen asetusarvon suhteen. Valssimurskaimella murskaussuhde määritetään syötteen suurimman raekoon suhde asetusarvoon. Iskumurskaimella se taas määrätty suurimman raekoon suhde tuotteen raekokoon  $x_{80}$  %. Kartiomurskaimen murskaussuhde on 3-10. (Rahikka 2011, 12.)



KUVIO 7. Kartiomurskaimen poikkileikkaus. A=syötettävä materiaali, B=tuote, 1=murskausmalja, 2=Murskauskartio ja 3=Kartion pyöritys-/epäkeskometelmä (Pihkala 2003, 10.)

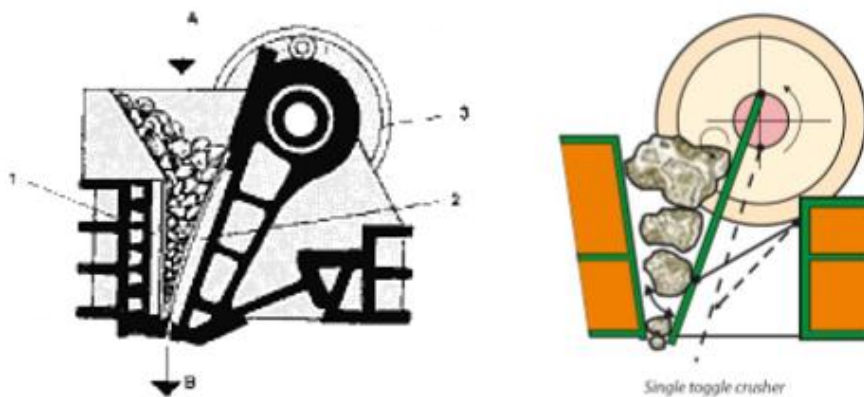


KUVIO 8. Kartiomurskain vasemmalla ja karamurskain oikealla. (Metso Minerals 2008, 3-2.)

## 4.2 Leukamurskain

Leukamurskaimessa (KUVIO 9) on liikkuva leuka, joka painaa materiaalin kiinteää leukaa vasten. Liike leukaan tuotetaan vauhtipyörän ja epäkeskomenetelmän avulla. Murskattava materiaali syötetään leukojen väliin, jolloin liikkuva leuka painaa materiaalin kiinteää leukaa vasten ja materiaali murskaantuu, jolloin haluttu tuote tulee pois kita-aukon alareunasta. Molemmat leuat päällystetään leukalevyillä, jotka ovat yleensä valmistettu kovamanganiteräksestä. (Rahikka 2011, 12.)

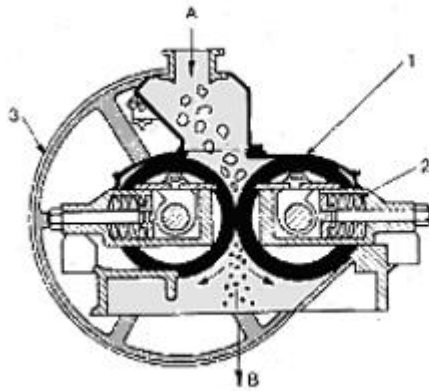
Kita-aukko leukamurskaimessa ilmaisee sen, kuinka suuria lohkareita voidaan sinne syöttää ja murskata. Kita-aukko ilmaistaan tulona  $A \times B$ , jossa A tarkoittaa kita-aukon pituutta akselin suunnassa ja B kiinteän leuan etäisyyttä liikkuvasta leuasta katsoen kita-aukon yläreunasta. Asetusarvon avulla ilmoitetaan liikkuvan ja kiinteän leuan etäisyyttä kita-aukon alareunassa ja sen avulla määritetään halutun tuotteen hienous. Leukamurskaimen murskaussuhde on 3-7. (Rahikka 2011, 12.)



KUVIO 9. Leukamurskain. A on Syöte, B on Tuote, 1 on kiinteäleuka, 2 on liikkuvaleuka ja 3 on epäkeskomenetelmä ja vauhtipyörä. (Pihkala 2003, Metso Minerals 2008, 3-1.)

### 4.3 Valssimurskain

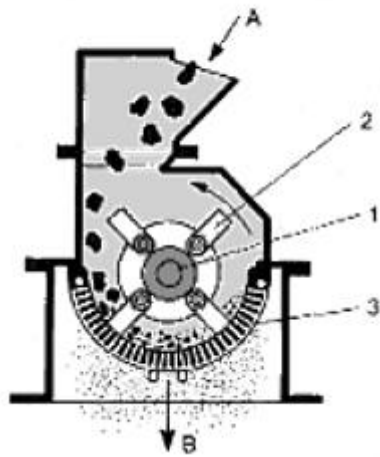
Valssimurskaimessa (KUVIO 10) murskaus tapahtuu kahden vaakasuorien akselien olevien sylinterien välissä. Sylinterit pyörivät vastakkaisiin suuntiin, ja yleensä ne on päällystetty mangaaniteräksellä. Toinen akseli on laakeroitu kiinteästi kiinni ja toinen nojaa tukevasti jousien varassa. Sylinterien väli voidaan säätää halutun kokoiseksi ja sen avulla määritetään murskatun tuotteen raekoko. Valssimurskaimella murskaussuhde on pieni ja tämän takia sitä kutsutaan hienomurskaimeksi. (Rahikka 2011, 14.)



KUVIO 10. Valssimurskain. A on syöte, B on tuote, 1 on sylinterit/valsit, 2 on jousi ja 3 on vauhtipyörä ja käyttömekanismi. (Pihkala 2003, 11.)

### 4.4 Iskumurskain

Iskumurskainta (KUVIO 11) voidaan käyttää silloin, kun hienonnettava aines on pehmeää tai mineraalipinnoiltaan helposti lohkeavaa. Iskumurskaimessa voima perustuu iskuun eikä puristukseen niin kuin yleensä murskauksessa. Murskain sisältää roottorin, joka pyörittää siinä kiinni olevia vasaroita. Jatkuva ja nopea liike pakottaa materiaalin seula-pinnalle, josta vain haluttu koko pääsee läpi. Iskumurskaimella on suuri hienonnussuhde. Hienonnusaste riippuu materiaalista, pyörimisnopeudesta ja iskurien ja vuorauslevyjen välisestä asetuksesta. (Rahikka 2011, 15.)



KUVIO 11. Iskumurskain A on syöte, B on haluttu tuote, 1 on roottori, 2 on iskuri/vasara ja 3 on seulapinta. (Pihkala 2003.)

## 5 KELIBER OY

### 5.1 Historia

Keliber Oy:n historia ulottuu aina vuoteen 1956, jolloin Kaustisen alueelta löydettiin ensimmäiset beryyllipitoiset lohkareet, joista taas tunnistettiin trifylliitti-nimistä litiumfosfaattimineraalia. Vuonna 1959 loppukesästä kaustislainen malminetsijä Arvo Puumala esitteli Suomen Mineraali Oy:llä silloin kesätyöntekijänä olleelle Ilmari Haapalalle löytämiään tuntemattomia mineraaleja, jotka löydettiin Nikulan kylältä Kaustiselta. Mineraali tunnistettiin harvinaiseksi spodumeeni- eli litiummineraaliksi, jota oli Suomessa ennen tavattu vain Somerolla ja Eräjärvellä. (Keliber Oy 2013.)

Suomen Mineraali Oy käynnisti löydetyn spodumeenin vuoksi laajat maaperänselvitykset Kaustisella ja sen lähikunnissa geologi Klaus Säynäjärven johdolla. Suomen Mineraali Oy:n osti Paraisten Kalkkivuori Oy, joka jatkoi tutkimuksia. Ne johtivat Alavetelin Emmesiin ja Jänislammelle sekä Ullavan Länttään, joista kaikista löydettiin litiumesiintymiä. 1960-luvulla Läntän ja Emmesin löydökset kairattiin valmiiksi mahdollisen kaivostöiminnan aloittamiseksi. Kälviän Ruohojärveltä sekä Kaustisen Vintturilta löydettiin myös spodumeenijuoni, mutta niitä ei tarkemmin tutkittu. (Keliber Oy 2013.)

Partek Oy, entinen Paraisten Kalkkivuori Oy, teki tarkemmat tutkimukset litiumvarojen hyödyntämisen aloittamiseksi vuosina 1976–1982. Tutkimukset sisälsivät rikastustutkimuksen spodumeenimalmille ja siitä tulevien sivutuotteiden kuten kvartsi-, maasälpä- ja kiillerikasteille. Tutkittiin myös mahdollisuus spodumeenin jalostamisesta litiumkarbonaatiksi, joka on litiumin yleisin kauppamateriaali. 1980-luvun alussa kaivos- ja rikastustoimintaan sekä litiumkarbonaatin tuotantoa ei aloitettu, koska senhetkisen maailmantilanteen mukaan litiumin tarve oli vähäinen, ja se olisi ollut suuri markkinariski. (Keliber Oy 2013.)

Partek Oy:llä oli valtaukset voimassa Längössä ja Emmesissä vuosina 1967–1972 ja kaivosluvat vuosina 1972–1992. Sillä oli myös voimassa valtaukset Jänislammelle vuosina 1967–1992 ja kaivosluvat vuosina 1972–1987, mutta yhtiö antoi näiden kaikkien lupien vanhentua, koska litiumin markkinatilanne ei kehittynyt odotuksien mukaisesti. (Keliber Oy 2013.)

Keväällä 1999 syntyi työryhmä nimeltä Keliber, ja silloin tehtiin varaukset viiteen eri litiumesiintymään. Keliber laati projektisuunnitelman ja alkoi hakea rahoitusta sille suunnitelmalle syksyllä 1999. EU-rahoitusta myönsi Etelä-Pohjanmaan TE-keskuksen maa-seutuosasto ja alustava tutkimusprojekti käynnistyi vuoden 2000 alussa ja jatkui aina 2001 syksyyn asti. Alustavien tutkimuksien tulokset olivat lupaavia, joten perustettiin tutkimus- ja kehitysyritys Keliber Resources Ltd. (Keliber Oy 2013.)

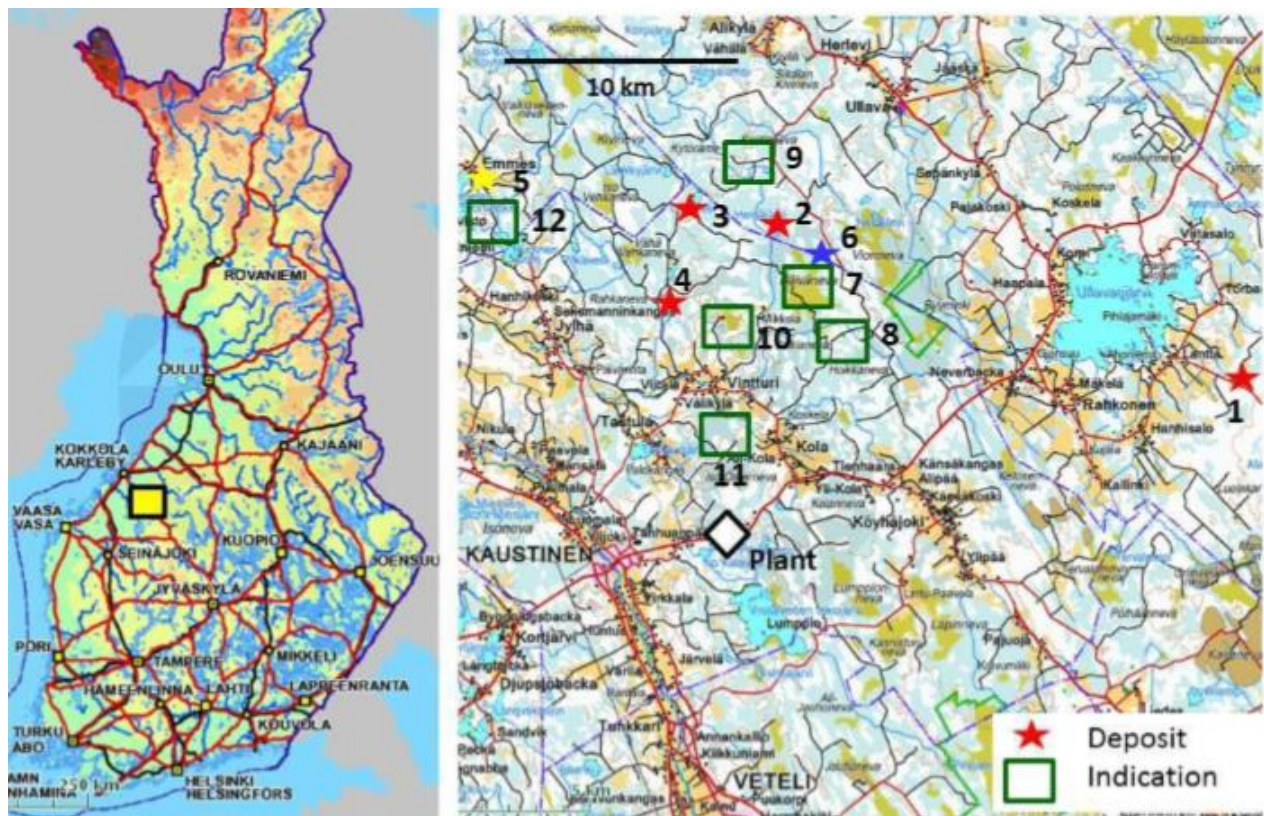
Litiumin kysyntä maailmalla oli kasvussa vuosina 2001–2009, jonka takia Keliber Resources Ltd kairasi Längön esiintymää vuosina 2004–2005 ja samalla valmisteli kaivos-toimintaa alueelle. 2001–2006 aikana yritys kehitti uudenlaista prosessia litiumkarbonaatin valmistukseen, joka oli räätälöity Keski-Pohjanmaan litiumesiintymiä varten. Yhtiö sai ympäristö- ja kaivosluvat Ullavan Längöön vuonna 2006 ja samalla ympäristöluvan tuotantolaitokselle Kaustisen Kalavedelle. Rakennusluvat yhtiöllä oli hallussa jo molemmille paikoille. Vuonna 2006 Keliber Resources Ltd muutettiin kehitysyrityksestä kaivos-yritykseksi ja samalla nimi vaihdettiin Keliber Oy:ksi. (Keliber Oy 2013.)

Keliber Oy:n ja norjalaisen Nordig Mining ASA:n kanssa aloitettiin keskustelut mahdollisesta yhteistyöstä vuoden 2007 aikana ja kesällä 2008 Nordig Mining ASA:sta tuli Keliber Oy:n suurin osakas 68 prosentin osuudella. Keliber Oy on jatkanut malmienetsintää ja tutkimustoimintaa vuosina 2008–2012 ja tänä aikana löydettiin aikaisemmin tuntematon litiumesiintymä Outovedeltä vuonna 2010. (Keliber Oy 2013.)

Vuonna 2012 Keliber Oy:n omistus pohja laajeni entisestään. Tällöin Nordig Mining ASA omisti 38 prosenttia, Suomen Teollisuussijoitus omisti 15,6 prosenttia ja Keskinäinen Eläkevakuutusyhtiö Ilmarinen omisti 13 prosenttia. Loput yrityksestä omisti 12 suomalaista sijoitusyhtiötä ja yksityistä sijoittajaa. (Keliber Oy 2013.)

## 5.2 Nykytilanne

Tällä hetkellä Keliber Oy:llä on useita valtauksia Kaustisen lähiseudulla, osa Alavetelin ja Ullavan puolella. Ullavan Läntässä sijaitsevalla valtauksella on suurin potentiaali nousta kaivokseksi, koska litiumvarannot ovat hyvät, kaivoslupa on olemassa ja aluetta on tutkittu jo 60-luvulta lähtien. Länttä paikkana on hyvä, koska Kaustisen Kalavedelle suunniteltu tehdas sijaitsee lähellä tulevaa kaivosta. Spodumeenihavaintoja ja -kaivantoja on yhteensä 12 ympäri Kaustista. (Isohanni 2014.)





KUVIO 12. Valtauksien sijainti. 1. Länttä 2. Syväjärvi 3. Outovesi 4. Leviäkangas 5. Emmes 6. Rapasaaret 7. Päiväneva 8. Heikinkangas 9. Rytilampi 10. Palojärvi 11. TiimERPakka 12. Jäneslampi ja Buldans (Isohanni 2014.)

Kesällä 2013 Längän alueella toteutettiin koelouhinta, jossa louhittiin malmia yli 300 tonnia ja tällä määrällä tehtiin prosessitutkimuksia. Vuosina 2012–2013 kairattiin yli 10 kilometriä, koska haluttiin selvittää eri paikkojen malmivarannot. 2014–2015 tarkastellaan prosessin optimointia, teknisesti ja taloudellisesti, laitteiden mitoitusta lasketaan, taseet lasketaan sekä asiakasnäytteitä tehdään Keliber Oy:ssä. (Sirén 2015.)

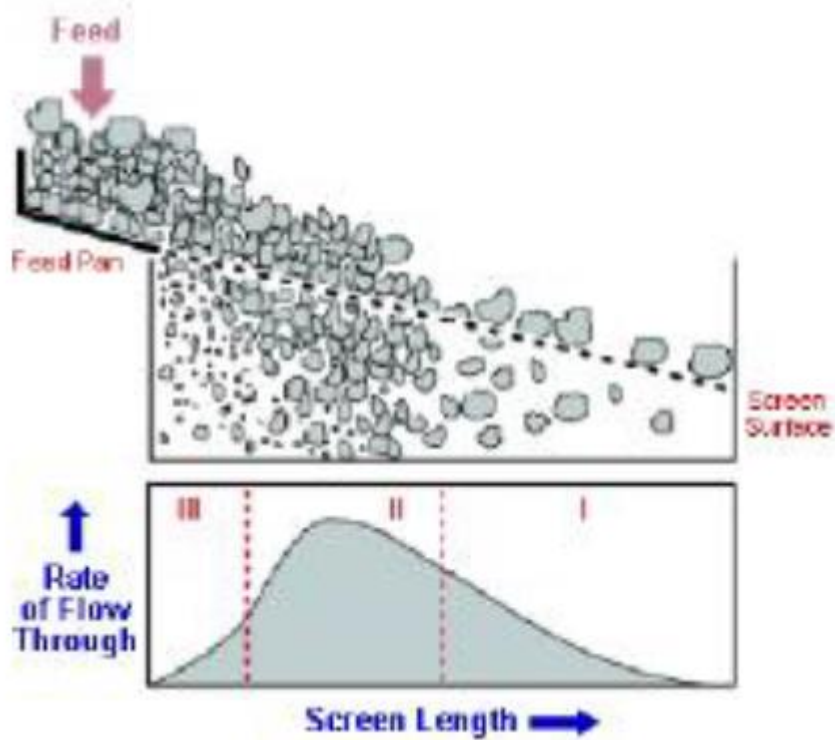
### **5.3 Tulevaisuus**

Suunnitellusti kaivos Längässä alkaa toimia vuosien 2017–2018 aikana, jos tutkimukset saadaan ajoissa valmiiksi, luvat saadaan voimaan aikataulussa ja rahoitus saadaan kuntoon. Kaivoksesta on suunniteltu louhittavan 250–300 000 tonnia vuodessa, ja näin litiumkarbonaatin tuotannoksi on arvioitu 6000 tonnia vuodessa. Tuotantolaitos on suunniteltu 350 000 tonnia vuodessa olevalle syötölle. Tuotannolle on arvioitu liikevaihdoksi 50–60 miljoonaa euroa vuodessa ja tuotantolaitos sekä kaivos tuovat Kaustisen seudulle 80–90 uutta työpaikkaa. (Sirén 2015.)

## 6 SEULONTA

Seulonnalla tarkoitetaan partikkelien jakoa mekaanisesti koon mukaan. Hienonnustekniikassa, seulonnan tehtävänä on säännöstellä materiaalin karkeutta. Seulontaolosuhteet vaikuttavat siihen, millainen seulonta on kyseessä. Se voidaan suorittaa joko märkä- tai kuivaseulontana. Märkäseulonnassa raekoko voidaan ulottaa 250–100 µm, suotuisissa oloissa jopa 40 µm. Kuivaseulonnassa raekoon kanssa päästään aina 5 mm asti (Heiskanen 2010). Erilaisia seulontaratkaisuja ovat muun muassa säleiköt, epäkeskotäryseulat ja magneettiset täryseulat. (Rahikka 2011, 39.)

Yksittäistä seulapintaa tarkasteltaessa seulan päälle tulevaa materiaalia kutsutaan syötteeksi, seulan päälle jäävää materiaalia kutsutaan ylitteeksi ja seulan läpi mennyttä materiaalia kutsutaan alitteeksi. Materiaalin seuloutuminen voidaan jakaa kolmeen vyöhykkeeseen seulapinnalla (KUVIO 13). Alueella kolme syntyy suurin osa kerrostumisesta ja materiaalin virtaus kasvaa koko ajan edetessään syöttöpisteestä eteenpäin. Alueella kolme pienet partikkelit siirtyvät isojen alle nopeasti, minkä vuoksi alue kolme on kapea ja erittäin vaikeasti havaittava. Tasapaino vallitsee alueella kaksi. Seulalle saapuu materiaalia lähes samaan tahtiin kuin seula pystyy läpäisemään. Kun seula-aukkoa pienempi materiaali vähenee, kerrostuminen ja läpäisy nopeus alkaa vähitellen hidastua alue ykkösellä. (Rahikka 2011, 39.)



KUVIO 13. Materiaalin seuloutuminen seulapinnalla (Metso Minerals 2008.)

### 6.1 Seulonnan kapasiteetti

Seulonnassa kapasiteetilla tarkoitetaan aikayksikössä seulotun tuotteen massaa seulan pinta-alaa kohden. Seulonnan kapasiteetti riippuu yleensä kahdesta asiasta, syötteen ja seulapinnan laadusta. Seulapinnan läpäisykapasiteettiin on olemassa useita erilaisia tekijöitä. Näitä ovat muun muassa raekoko, muoto, tiheys, kosteus, seulan rakenne, seula-aukon koko, muoto. (Rahikka 2011, 41.)

### 6.2 Erilaiset seulalaitteet ja -menetelmät

Kiinteässä seulassa on säleikkö, joka on asennettu 35–45 asteen kulmassa, jolloin materiaali valuu säleikköä pitkin ja seulonta tapahtuu painovoiman avulla. Tämän tyyppisiä

seuloja käytetään isossa mittakaavassa, koska tämäntyyppinen seula ei kuluta energiaa. (Rahikka 2011, 48–52.)

Tärysäleikkö on rakennettu niin, että seulan pohjaan asennetaan rautapalkkeja jotka elävät hieman. Tämä aiheuttaa sen että seula tärisee ja samalla se seuloa ja kuljettaa tavaraa eteenpäin. Tärinä ja painovoima aiheuttavat seulonnan. (Rahikka 2011, 48–52.)

Seulonnan voi suorittaa myös pystyasennossa, jolloin seulasarjan päälle kaadetaan syöte, joka taas seulotaan painovoiman ja tärinän avulla. Tällä tavalla tässä työssä suoritan seulonnan. (Rahikka 2011, 48–52.)

### **6.3 Seula-analyysi**

Seula-analyysiä käytetään avuksi, kun ohjataan ja tutkitaan murskauksen ja jauhatuksen menetelmiä. Sen avulla voidaan tutkia, kuinka erilaiset mineraalit ja metallit jakautuvat raekoon mukaan. Seula-analyysistä voidaan tehdä graafinen piirros, jonka avulla selviää miten seulonta on onnistunut. Piirrokselta voidaan laskea ainesosien jakautuma, ja sen avulla voidaan kalibroida seulasarja, arvioida murskeiden ja jauheiden pinta-aloja ja voidaan tutkia murskaus- ja jauhatuslaitteiden tuotteen laatua. (Rahikka 2011, 45.)

Graafinen kuvaaja voidaan esittää joko seulalle jääneen raekoon funktiona tai seulan läpäisseen raekoon funktiona. Jos se esitetään seulalle jääneen raekoon mukaan, piirrokselta tulee differentiaalikuvaaja. Jos se esitetään läpäisseen raekoon mukaan, saadaan integraalikuvaaja. (Rahikka 2011, 45.)

## **7 KOKEELLINEN OSUUS**

### **7.1 Työn tarkoitus**

Työn kokeellisessa osuudessa keskityttiin Keliber Oy:n antamaan tehtävään murskata Läntästä saatua kiviainesta murskaimen taajuutta muuntamalla. Työ suoritettiin kartiomurskaimella, joka sijaitsee Oulun yliopistolla ja murskauksesta syntyneet tuotteet kuljetettiin Centria ammattikorkeakoululle seula-analyysia varten. Työssä piti selvittää, onko raekokojakaumassa eroja, kun pienennetään taajuutta.

### **7.2 Lähtökohdat**

Kokeellisen osuuden suunnittelu aloitettiin vuoden 2015 tammikuussa. Työn tavoitteena oli aluksi murskata kiviaines, sen jälkeen seuloa saatu materiaali ja tehdä seula-analyysit tuloksista. Teoriassa on aikaisemmin kerrottu, että taajuutta muuttamalla saadaan aikaan se, että hienoaineksen määrä pienenee mitä pienemmillä taajuuksilla murskataan. Työssä selvitettiin, pitääkö tämä paikkansa.

Oulun yliopistolta löytyi sopivan kokoinen kartiomurskain, jolla murskaukset suoritetaan. Keliber Oy toimitti Ouluun esimurskattua noin 20 mm:n kokoista kivimurskettä, jota murskattiin kartiomurskaimella noin kuuden millimetrin kokoisiksi partikkeleiksi. Tämän jälkeen materiaali kuljetettiin Kokkolaan seulontaa varten.

### **7.3 Laitteisto**

Murskaus suoritettiin Oulun yliopistolla sijaitsevalla kartiomurskaimella. Murskaimen taajuutta muutettiin taajuusmuuntajalla, jolla pystyttiin muuttamaan taajuutta tarkasti. Taajuutta murskauksessa muunneltiin 50 Hz alaspäin 5 Hz:n porrastuksilla, kunnes oletettiin, että kone niin sanotusti hyytyy ja ei enää jaksa murskata. Matalin hertsimäärä, johon päästiin, oli 15 Hz. Silloin murskain jauhoi materiaalia erittäin hitaasti.

Saadut murskeet seulottiin Kokkolassa, ja seulasarjan koot olivat seuraavanlaiset: 6,3 mm, 5,6 mm, 4,75 mm, 3,35 mm 2,0 mm, 1,12 mm, 600 µm, 300 µm ja pohja. Tuloksista tehtiin Excel-ohjelmalla seula-analyysi, eli piirrettiin integraalikuvaajat ja pylväsdiagrammeissa näytettiin materiaalin läpäisy eri seulapinnoilla.

#### **7.4 Työn suoritus**

Kartiomurskaimella murskattiin esimurskattua materiaalia. Kartiomurskaimeen liitetyllä taajuusmuuntimella muunneltiin murskaimen iskutaajuutta. Työ aloitettiin 50 hertsistä ja taajuutta laskettiin 5 Hz porrastuksilla aina, kunnes murskain alkoi niin sanotusti hyytyä. Taajuus saatiin laskettua viiteentoista hertsiiin ja tätä pidettiin viimeisenä taajuutena. Koeajoja tehtiin kaksi kappaletta, eli kaksi kertaa 50–15 Hz. Tällä tavoin voitiin osoittaa, että tulokset ovat yhtenäisiä. Jokainen syöte oli kooltaan noin 3 000 grammaa kivimursketta. Murskausasetuksen piti olla 6 mm, mutta Oulussa sijaitsevaa murskainta ei pystytty säätämään, joten sen arvioitiin olevan murskeen koon takia noin 5 mm:n säädössä.

Murskauksen jälkeen materiaali kuljetettiin Kokkolaan seula-analyysiä varten. Seulontaan kului yhteensä kaksi päivää. Aluksi piti valita seula pinnat jotka valittiin seuraavanlaisesti: 6,3 mm, 5,6 mm, 4,75 mm, 3,35 mm 2,0 mm, 1,12 mm, 600 µm, 300 µm ja pohja. Nämä seulat valittiin, jotta pystyttäisiin tutkimaan saadun materiaalin raekokoja mahdollisimman tarkasti.

Seulonta alussa kaikki seulapinnat puhdistettiin ja sen jälkeen punnittiin. Jokainen hertsimäärä seulottiin erikseen, näin molemmista ajoista tuli 8 seulontaa. Kun materiaalin määrä oli noin 3 000 grammaa, varmistettiin, etteivät seulapinnat menisi tukkoon jakamalla tämä määrä kahteen osaan. Tämän takia seulontoja tuli 16 kappaletta per ajo eli yhteensä 32 seulontaa. Yhteen seulontaan kului aikaa 15 minuuttia ja noin 15 minuuttia seulojen puhdistukseen ja punnitukseen. Seulat punnittiin niin, että seulan alla oli tasainen levy, jonka päälle seula nostettiin ja punnittiin. Tämä tehtiin siksi, että paino oli jakautunut seulapinnalle eri kohtiin. Jos levyä ei olisi käytetty, paino olisi voinut vaihdella jonkin verran seulojen välillä.

Seulonnan tulokset kirjattiin paperille ja myöhemmin ne siirrettiin Excel-ohjelmistolle. Ohjelmiston avulla piirrettiin integraalikäyrät seulapintojen läpäisyn mukaan ja pylväsdiagrammit seulalle jääneen materiaalin mukaan. Näiden avulla on helpompi katsoa, onko taajuuden muuttamisella vaikutusta raekokoon ja mille seulalle on jäänyt eniten materiaalia. Integraalikuvaajat ja pylväsdiagrammit ovat esillä tulokset kohdassa.

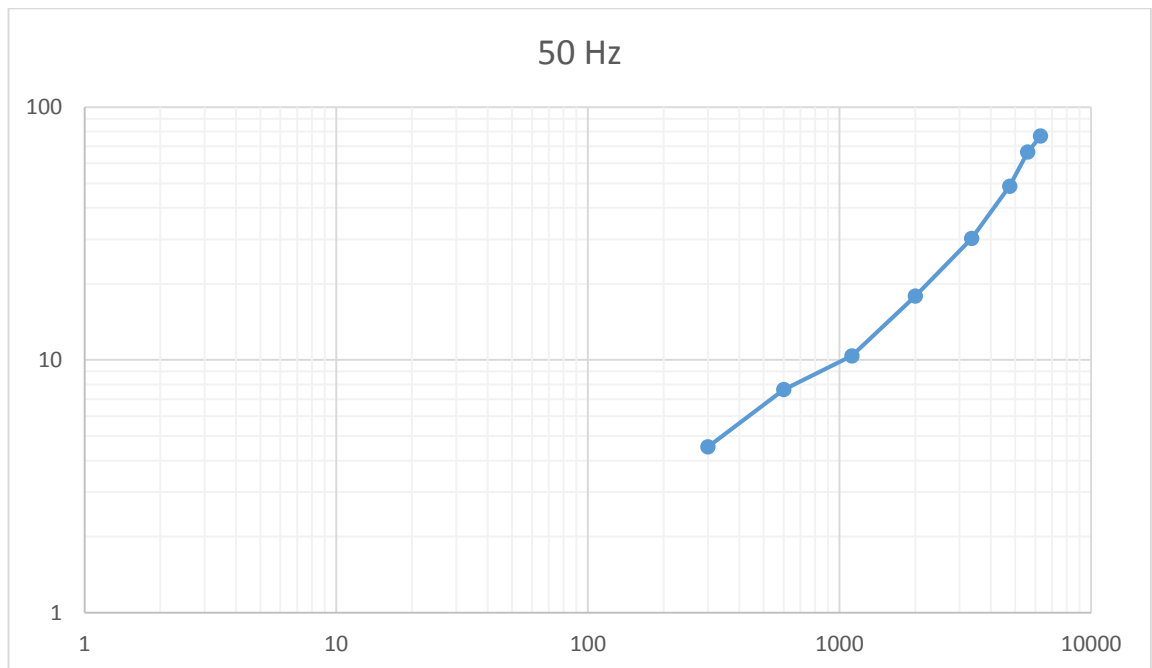
## **7.5 Tulokset**

### **7.5.1 Seula-analyysit ja integraalikuvaajat**

Tässä luvussa esittelen jokaisen hertsimäärän ensimmäisen ajon ja toisen ajon tulokset (TAULUKOT 1-16 ja KUVIOT 14-29). Seula-analyyseissä ensimmäisenä on seulan koko mikrometreinä, sitten seulan paino ennen seulontaa, 1. paino ja 2. paino on materiaalin ja seulan paino yhteensä, massa 1 ja 2 on vähennetyt seulan painot 1. painosta ja 2. painosta, sen jälkeen kokonaispaino siitä, kuinka paljon materiaalia seulalle on jäänyt, seulalle jääneen materiaalin prosenttiosuus ja viimeisenä seulan läpäissyt prosenttiosuus.

TAULUKKO 1. Seula-analyysin 50 Hz ensimmäinen ajo.

Ajo 1	50 Hz	paino 1	1501,2	paino 2	1420,7			
				kok. pain.	2921,9			
seula	seula pain	1. paino	2. paino	massa 1.	massa 2.	kokonais.	Jäänyt%	läpäisy%
$\mu\text{m}$	g	g	g	g	g	g		100
6300	920	1358,7	1149,6	438,7	229,6	668,3	23,19761	76,80239
5600	1036	1202,1	1166,7	166,1	130,7	296,8	10,30234	66,50005
4750	999,2	1304,3	1207,5	305,1	208,3	513,4	17,82082	48,67923
3350	931,6	1196	1198,9	264,4	267,3	531,7	18,45604	30,22319
2000	829,9	986	1029,3	156,1	199,4	355,5	12,33989	17,8833
1120	704,2	785,8	838,8	81,6	134,6	216,2	7,504599	10,3787
600	679	714,8	722,5	35,8	43,5	79,3	2,752612	7,626089
300	604,6	626	672,6	21,4	68	89,4	3,103197	4,522892
-300	1334,3	1372,8	1426,1	38,5	91,8	130,3	4,522892	0
					Kok. pain.	2880,9	100	

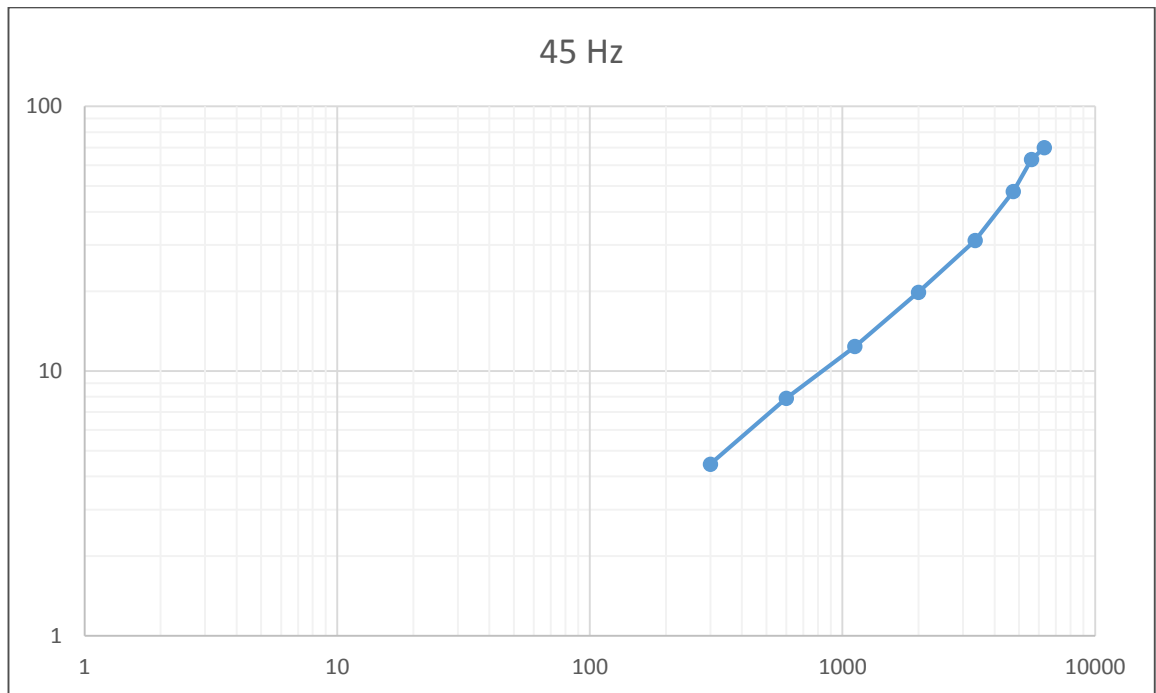


KUVIO 14. Integraalikuvaaja 50 Hz, ensimmäinen ajo.



TAULUKKO 2. Seula-analyysi 45 Hz ensimmäinen ajo.

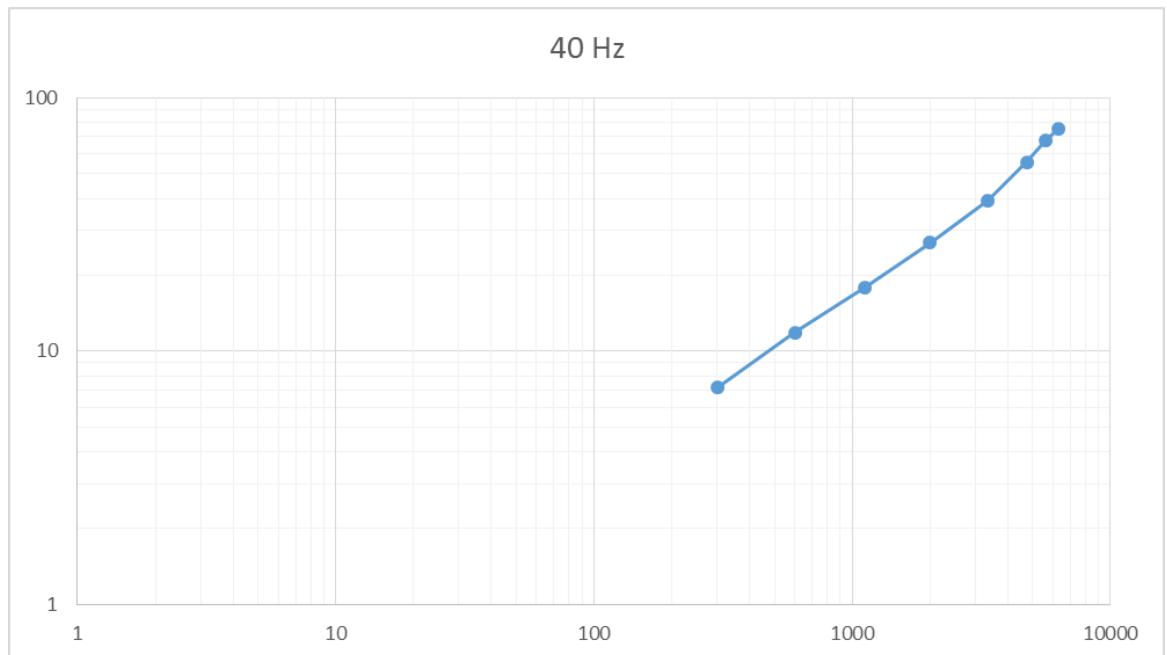
Ajo 1	45 Hz	paino 1	1561,7	paino 2	1391,8			
				kok. pain.	2953,5			
seula	seula pain	1. paino	2. paino	massa 1.	massa 2.	kokonais.	Jäänyt%	Läpäisy%
µm	g	g	g	g	g	g		100
6300	920,1	1298,3	1428,2	378,2	508,1	886,3	30,01965	69,98035
5600	1036,6	1176,6	1102,3	140	65,7	205,7	6,967213	63,01314
4750	1001	1301,1	1150,4	300,1	149,4	449,5	15,2249	47,78824
3350	932	1234	1120,9	302	188,9	490,9	16,62715	31,16109
2000	830,9	1022,4	973,1	191,5	142,2	333,7	11,30267	19,85842
1120	705,4	819,6	811,4	114,2	106	220,2	7,458339	12,40008
600	679,7	741,9	750,3	62,2	70,6	132,8	4,498035	7,902046
300	605,2	639,2	673	34	67,8	101,8	3,448042	4,454004
-300	1334,4	1373,3	1427	38,9	92,6	131,5	4,454004	0
					Kok. pain.	2952,4	100	



KUVIO 15. Integraalikuvaaja 45 Hz.

TAULUKKO 3. Seula-analyysi 40 Hz ensimmäinen ajo.

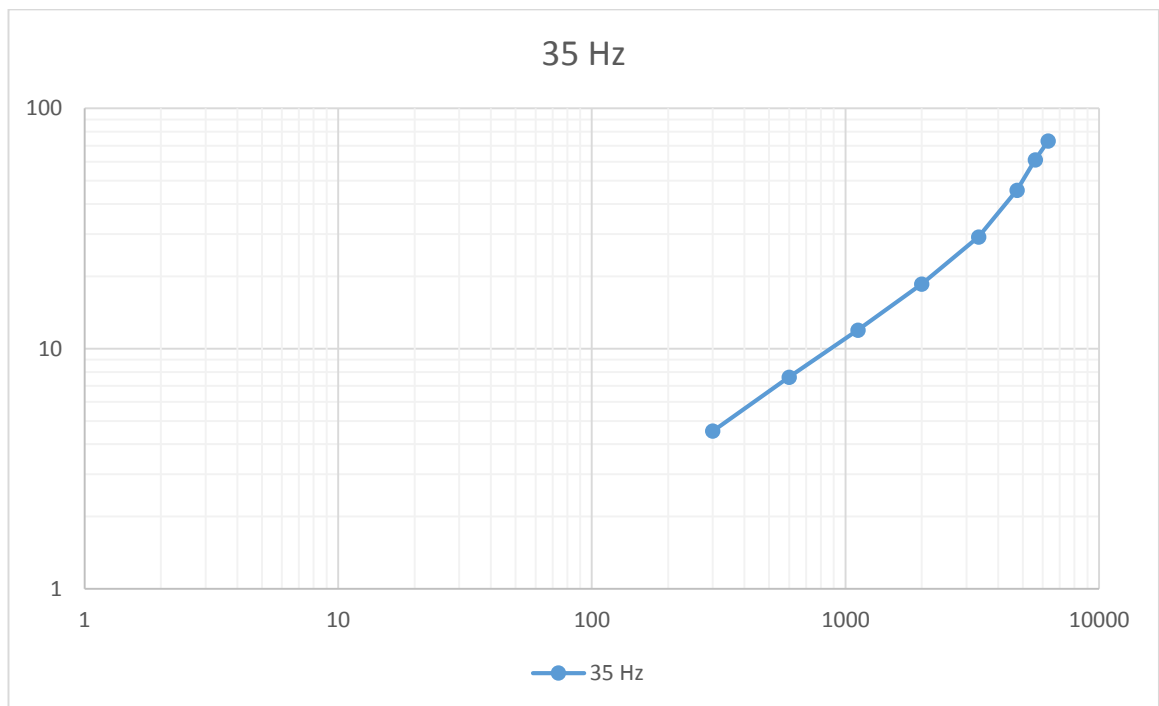
Ajo 1	40 Hz	paino 1	1523	paino 2	1430,4			
				kok. pain.	2953,4			
seula	seula pain	1. paino	2. paino	massa 1.	massa 2.	kokonais.	Jäänyt%	Läpäisy%
µm	g	g	g	g	g	g		100
6300	920,4	1434,5	1132,5	514,1	212,1	726,2	24,44295	75,55705
5600	1036,4	1131,1	1178,7	94,7	142,3	237	7,977112	67,57994
4750	1000,1	1190,5	1165,1	190,4	165	355,4	11,9623	55,61764
3350	932	1188,4	1158	256,4	226	482,4	16,23696	39,38068
2000	830,9	1015,6	1019,8	184,7	188,9	373,6	12,57489	26,80579
1120	705,7	824,3	851,7	118,6	146	264,6	8,906092	17,8997
600	679,9	744,7	794,3	64,8	114,4	179,2	6,031639	11,86806
300	605,3	646,4	702,8	41,1	97,5	138,6	4,665096	7,202962
-300	1334,4	1392	1490,8	57,6	156,4	214	7,202962	-7,1E-15
					Kok. pain.	2971	100	



KUVIO 16. Integraalikuvaaja 40 Hz, ensimmäinen ajo

TAULUKKO 4. Seula-analyysi 35 Hz ensimmäinen ajo

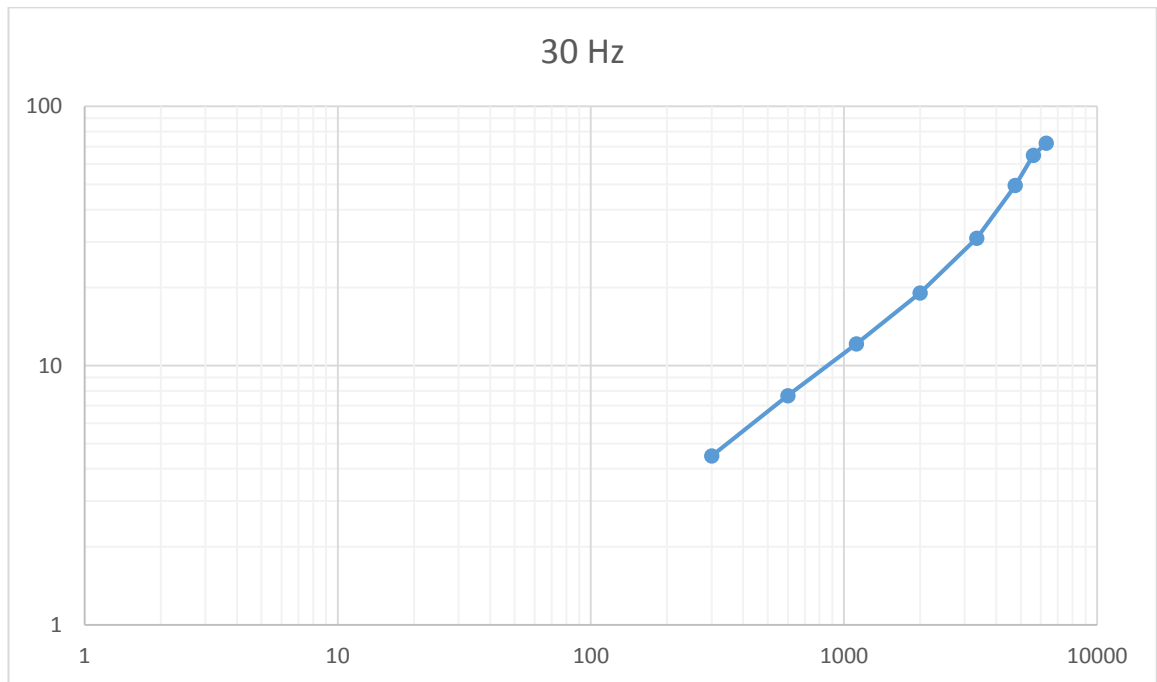
Ajo 1	35 Hz		paino 1	1511,7	paino 2	1475,9		
					kok. pain.	2987,6		
seula	seula pain	1. paino	2. paino	massa 1.	massa 2.	kokonais.	Jäänyt%	Läpäisy%
µm	g	g	g	g	g	g		100
6300	920,6	1400,7	1242,1	480,1	321,5	801,6	26,75746	73,24254
5600	1037,2	1248,9	1188,6	211,7	151,4	363,1	12,1203	61,12224
4750	1002,1	1221,5	1244,8	219,4	242,7	462,1	15,42493	45,69731
3350	933,7	1174,3	1187,4	240,6	253,7	494,3	16,49977	29,19754
2000	833	983,4	1000,7	150,4	167,7	318,1	10,6182	18,57934
1120	706,8	798,7	813,4	91,9	106,6	198,5	6,625943	11,9534
600	679,9	730,5	759,3	50,6	79,4	130	4,339409	7,613993
300	605,3	636,4	666,3	31,1	61	92,1	3,074304	4,539689
-300	1334,4	1368,4	1436,4	34	102	136	4,539689	0
					Kok. pain.	2995,8	100	



KUVIO 17. Integraalikuvaaja 35 Hz, ensimmäinen ajo

TAULUKKO 5. Seula-analyysi 30 Hz ensimmäinen ajo

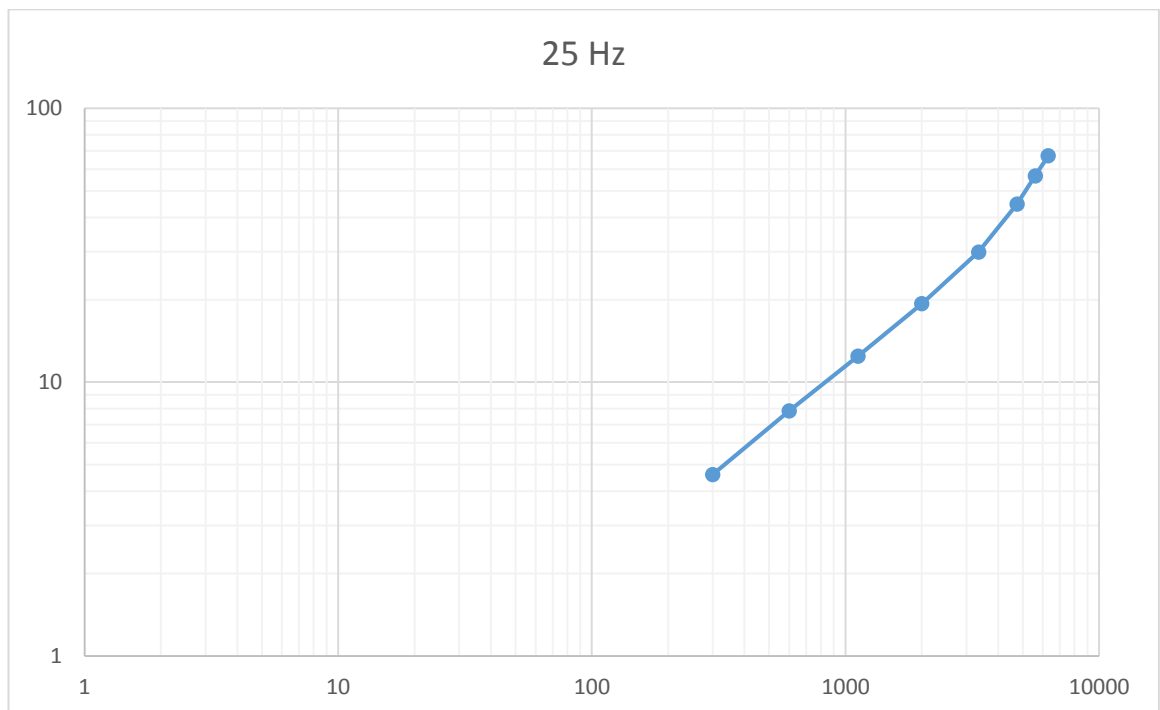
Ajo 1	30 Hz	paino 1	1511,9	paino 2	1479,8			
				kok. pain.	2991,7			
seula	seula pain	1. paino	2. paino	massa 1.	massa 2.	kokonais.	Jäänyt%	Läpäisy%
µm	g	g	g	g	g	g		100
6300	920,3	1354,8	1308,2	434,5	387,9	822,4	27,86663	72,13337
5600	1037,1	1143,7	1146,8	106,6	109,7	216,3	7,329222	64,80415
4750	1001,8	1243	1210,2	241,2	208,4	449,6	15,23448	49,56967
3350	932,9	1223,3	1189,5	290,4	256,6	547	18,53483	31,03483
2000	831,8	1012,5	1003,7	180,7	171,9	352,6	11,94768	19,08715
1120	706,4	800,8	817,5	94,4	111,1	205,5	6,963269	12,12388
600	679,6	729,8	761,2	50,2	81,6	131,8	4,46598	7,657902
300	605,1	634,3	669,7	29,2	64,6	93,8	3,178368	4,479534
-300	1334,4	1367,9	1433,1	33,5	98,7	132,2	4,479534	1,24E-14
					Kok. pain.	2951,2	100	



KUVIO 18. Integraalikuvaaja 30 Hz ensimmäinen ajo

TAULUKKO 6. Seula-analyysi 25 Hz ensimmäinen ajo

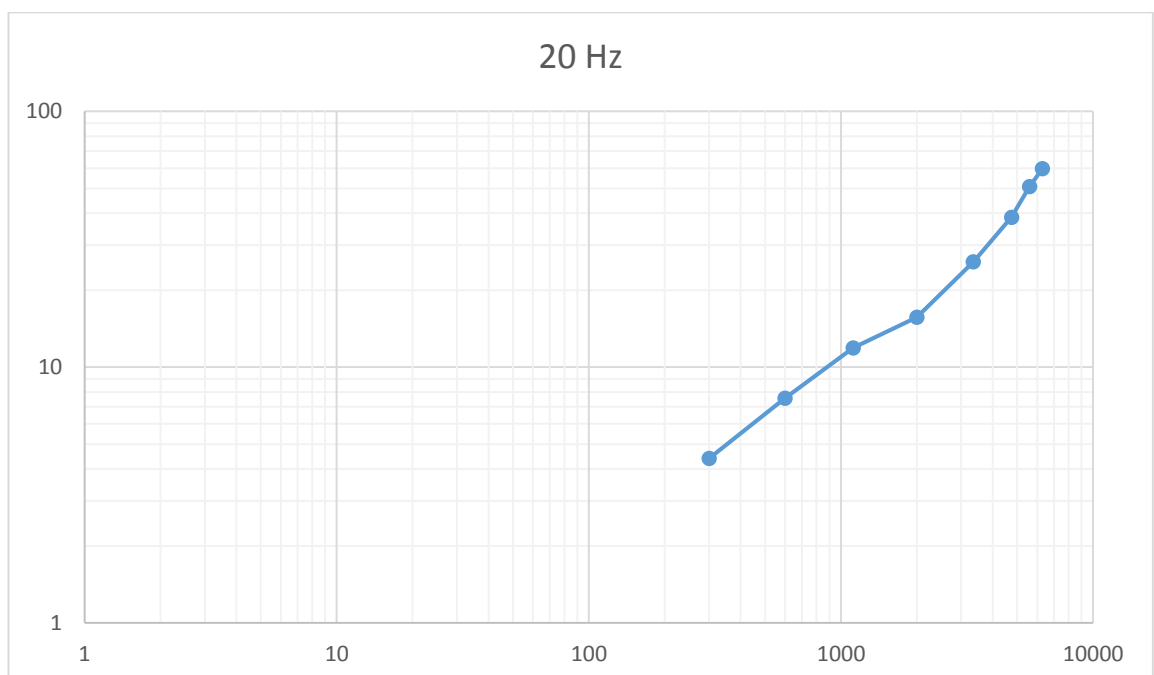
Ajo 1	25 Hz	paino 1	1511,9	paino 2	1475,6			
				kok. pain.	2987,5			
seula	seula pain	1. paino	2. paino	massa 1.	massa 2.	kokonais.	Jäänyt%	Läpäisy%
µm	g	g	g	g	g	g		100
6300	920,6	1355,3	1466,6	434,7	546	980,7	32,82019	67,17981
5600	1036,8	1187,4	1198,1	150,6	161,3	311,9	10,43807	56,74174
4750	1001	1203	1158,8	202	157,8	359,8	12,0411	44,70065
3350	933	1175,7	1132,2	242,7	199,2	441,9	14,78866	29,91198
2000	831,3	1016,8	961,3	185,5	130	315,5	10,55855	19,35344
1120	705,9	825,6	792,6	119,7	86,7	206,4	6,907399	12,44604
600	679,8	748,2	748,6	68,4	68,8	137,2	4,591546	7,854489
300	605	647,2	660	42,2	55	97,2	3,252903	4,601586
-300	1334,4	1399,4	1406,9	65	72,5	137,5	4,601586	0
					Kok. pain.	2988,1	100	



KUVIO 19. Integraalikuvaaja 25 Hz ensimmäinen ajo

TAULUKKO 7. Seula-analyysi 20 Hz ensimmäinen ajo

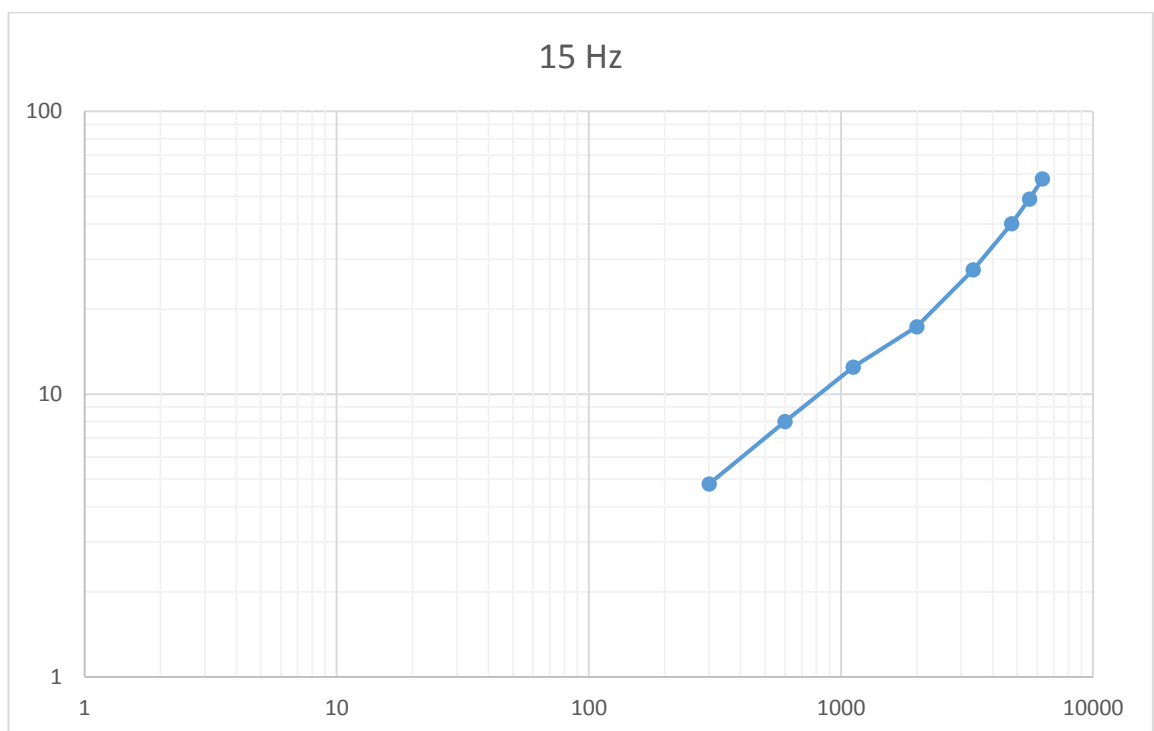
Ajo 1	20 Hz	paino 1	1569,5	paino 2	1439			
				kok. pain.	3008,5			
seula	seula pain	1. paino	2. paino	massa 1.	massa 2.	kokonais.	Jäänyt%	Läpäisy%
µm	g	g	g	g	g	g		100
6300	920,7	1601,7	1414,9	681	494,2	1175,2	40,17091	59,82909
5600	1036,4	1202,1	1133,8	165,7	97,4	263,1	8,993334	50,83575
4750	998,5	1206,8	1149	208,3	150,5	358,8	12,26457	38,57118
3350	932,4	1133,6	1104,1	201,2	171,7	372,9	12,74654	25,82465
2000	831,2	977,7	981,3	146,5	150,1	296,6	10,13844	15,68621
1120	706,1	706,7	816	0,6	109,9	110,5	3,777132	11,90908
600	680	720,3	766,9	40,3	86,9	127,2	4,347975	7,561101
300	605,3	625,4	677,8	20,1	72,5	92,6	3,165271	4,39583
-300	1334,4	1358	1439,4	23,6	105	128,6	4,39583	-1,1E-14
					Kok. pain.	2925,5	100	



KUVIO 20. Integraalikuvaaja 20 Hz ensimmäinen ajo

TAULUKKO 8. Seula-analyysi 15 Hz ensimmäinen ajo

Ajo 1	15 Hz	paino 1		1538	paino 2		1449,8		
							kok. pain.	2987,8	
seula	seula pain	1. paino	2. paino	massa 1.	massa 2.	kokonais.	Jäänyt%	Läpäisy%	
µm	g	g	g	g	g	g		100	
6300	920,7	1587,2	1495,2	666,5	574,5	1241	42,30874	57,69126	
5600	1036,4	1199	1126,8	162,6	90,4	253	8,625392	49,06587	
4750	999,9	1153,3	1109,9	153,4	110	263,4	8,979954	40,08591	
3350	932,5	1132,3	1099,9	199,8	167,4	367,2	12,51875	27,56716	
2000	831,2	984,8	977,9	153,6	146,7	300,3	10,23797	17,3292	
1120	705,8	791,2	762,9	85,4	57,1	142,5	4,858175	12,47102	
600	680,1	727,9	763,6	47,8	83,5	131,3	4,47634	7,994682	
300	605,1	629,3	674,2	24,2	69,1	93,3	3,180826	4,813855	
-300	1334,4	1371,6	1438,4	37,2	104	141,2	4,813855	7,99E-15	
						Kok. pain.	2933,2	100	

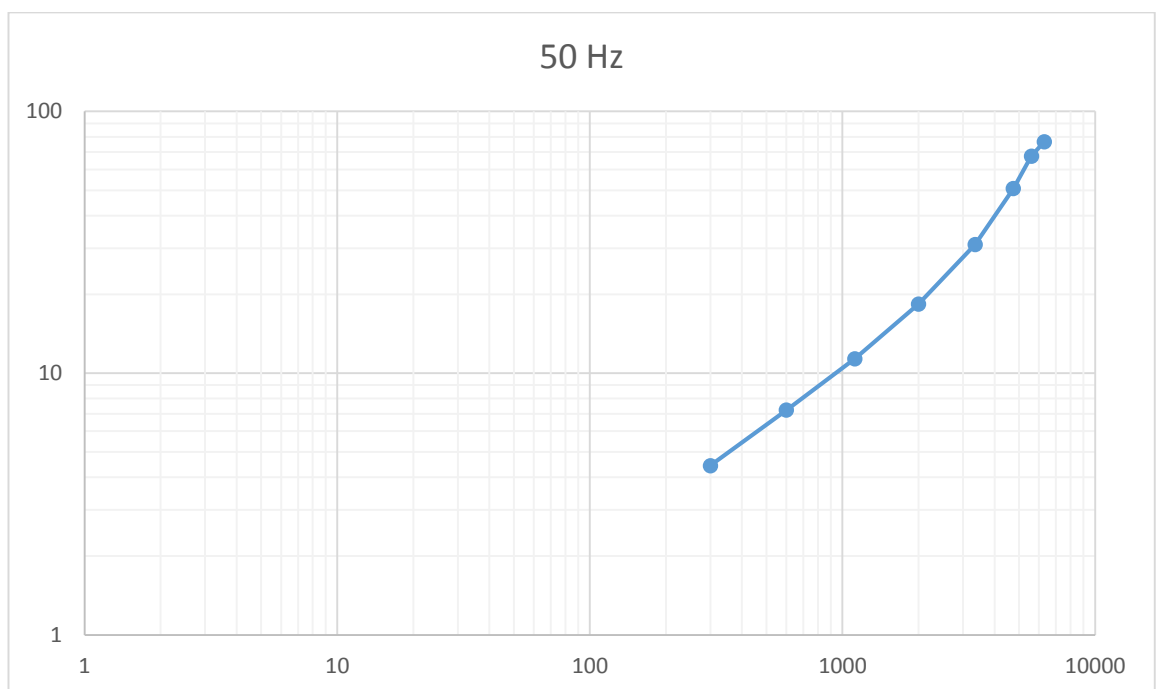


KUVIO 21. Integraalikuvaaja 15 Hz ensimmäinen ajo

Seuraavaksi tulee toisen ajon kaikki seula-analyysit ja integraalikuvaajat.

TAULUKKO 9. Seula-analyysi 50 Hz toinen ajo

Ajo 2	50 Hz	Paino 1	1507,7	Paino 2	1489,2			
				kok. pain.	2996,9			
seula	seulapain	paino1.	paino2.	mass.1	mass.2	kokonais.	Jäänyt%	Läpäisy%
µm	g	g	g	g	g	g		100
6300	920,7	1322	1218,2	401,3	297,5	698,8	23,28402	76,71598
5600	1036,2	1185,5	1161,5	149,3	125,3	274,6	9,149673	67,56631
4750	998,9	1281,9	1219,8	283	220,9	503,9	16,78995	50,77636
3350	931,8	1252,8	1203,9	321	272,1	593,1	19,7621	31,01426
2000	831,6	1021,8	1021,4	190,2	189,8	380	12,6616	18,35266
1120	706,4	792,8	830	86,4	123,6	210	6,997201	11,35546
600	680	714,6	769,2	34,6	89,2	123,8	4,125017	7,230441
300	605,2	621	673,4	15,8	68,2	84	2,79888	4,431561
-300	1334,4	1360,4	1441,4	26	107	133	4,431561	7,99E-15
				kok.pain.		3001,2	100	

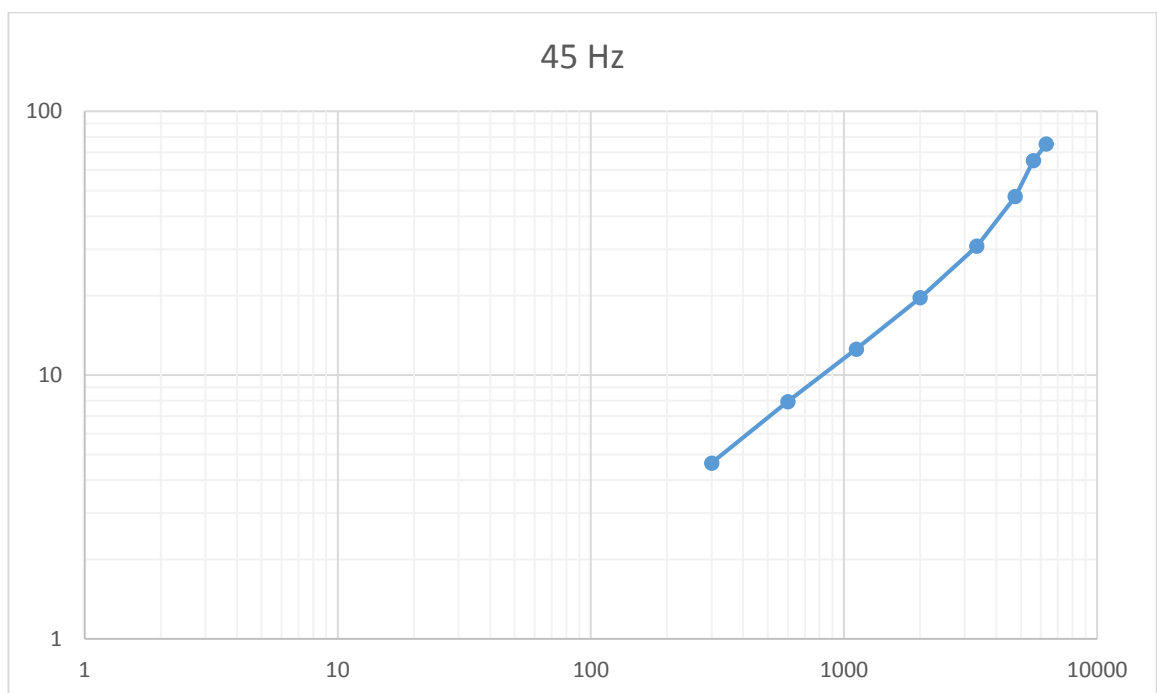


KUVIO 22. Integraalikuvaaja 50 Hz toinen ajo



TAULUKKO 10. Seula-analyysi 45 Hz toinen ajo

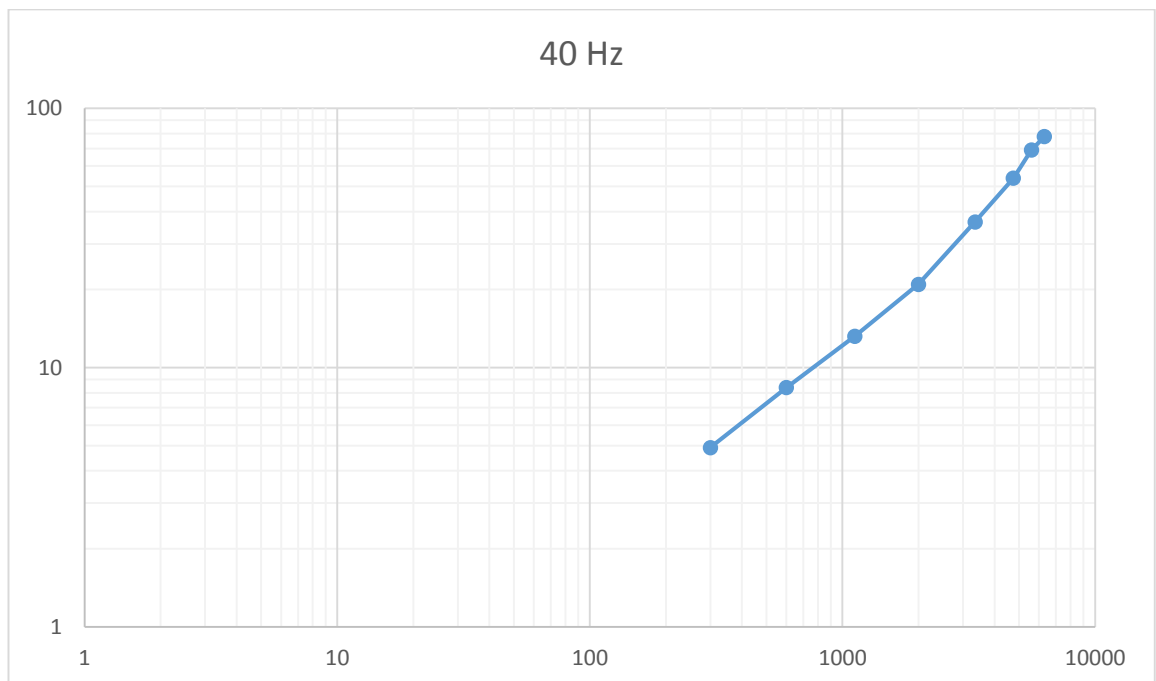
Ajo 2	45 Hz	Paino 1	1526,4	Paino 2	1464,2			
				kok. pain.	2990,6			
seula	seulapain	paino1.	paino2.	mass.1	mass.2	kokonais.	Jäänyt%	Läpäisy%
µm	g	g	g	g	g	g		100
6300	920,7	1308,9	1274,5	388,2	353,8	742	24,81273	75,18727
5600	1036,1	1195,3	1180,9	159,2	144,8	304	10,16586	65,0214
4750	999,3	1266,3	1254,9	267	255,6	522,6	17,47592	47,54548
3350	932	1183,1	1180,5	251,1	248,5	499,6	16,7068	30,83868
2000	831,7	1006	991,4	174,3	159,7	334	11,16907	19,66961
1120	706,4	819,2	806,5	112,8	100,1	212,9	7,119449	12,55016
600	680,1	749,9	748,3	69,8	68,2	138	4,614767	7,935393
300	605,1	648,1	660,6	43	55,5	98,5	3,293874	4,64152
-300	1334,4	1394,4	1413,2	60	78,8	138,8	4,64152	0
				kok.pain.		2990,4	100	



KUVIO 23. Integraalikuvaaja 45 Hz toinen ajo

TAULUKKO 11. Seula-analyysi 40 Hz toinen ajo

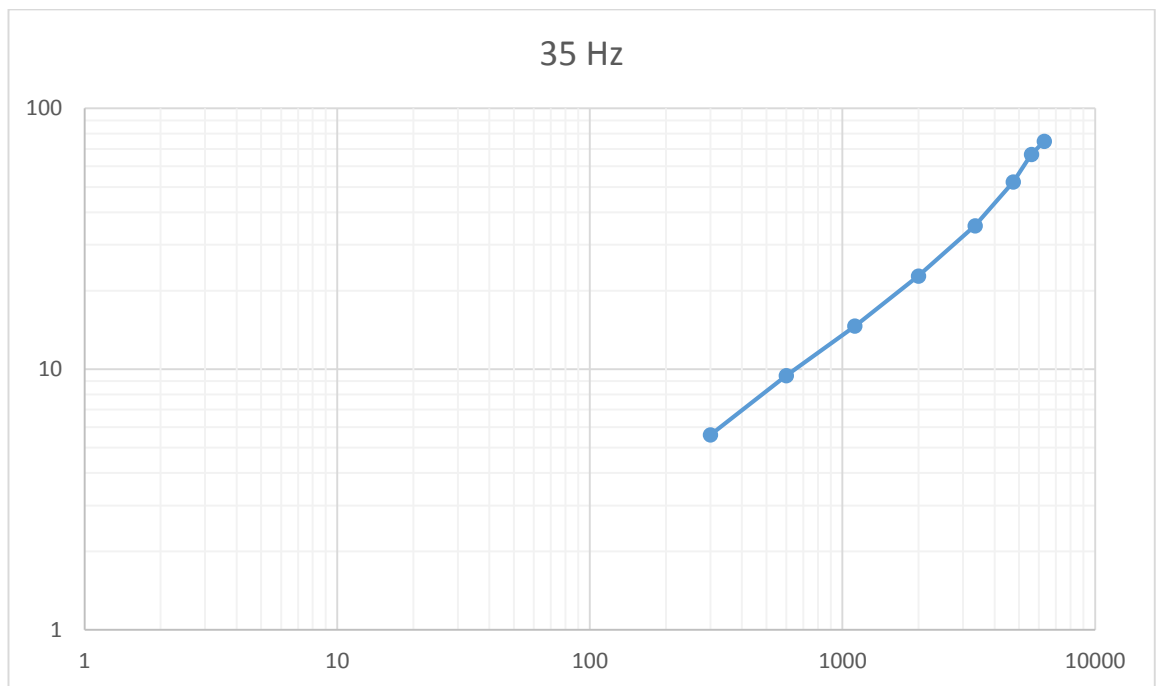
Ajo 2	40 Hz	Paino 1	1542,4	Paino 2	1433			
				kok.pain.	2975,4			
seula	seulapain	paino1.	paino2.	mass.1	mass.2	kokonais.	Jäänyt%	Läpäisy%
µm	g	g	g	g	g	g		100
6300	921,1	1281,6	1239,1	360,5	318	678,5	22,0507	77,9493
5600	1036,9	1178,8	1166,9	141,9	130	271,9	8,836529	69,11277
4750	999,9	1238,2	1232,8	238,3	232,9	471,2	15,31362	53,79916
3350	933	1224,8	1173,4	291,8	240,4	532,2	17,29607	36,50309
2000	831,3	1136,9	1003,9	305,6	172,6	478,2	15,54111	20,96198
1120	705,9	831,1	818,8	125,2	112,9	238,1	7,738057	13,22392
600	679,8	751,1	757,7	71,3	77,9	149,2	4,848879	8,375041
300	605,2	650	666,8	44,8	61,6	106,4	3,457914	4,917127
-300	1334,4	1396,6	1423,5	62,2	89,1	151,3	4,917127	0
					Kok.pain.l	3077	100	



KUVIO 24. Integraalikuvaaja 40 Hz toinen ajo

TAULUKKO 12. Seula-analyysi 35 Hz toinen ajo

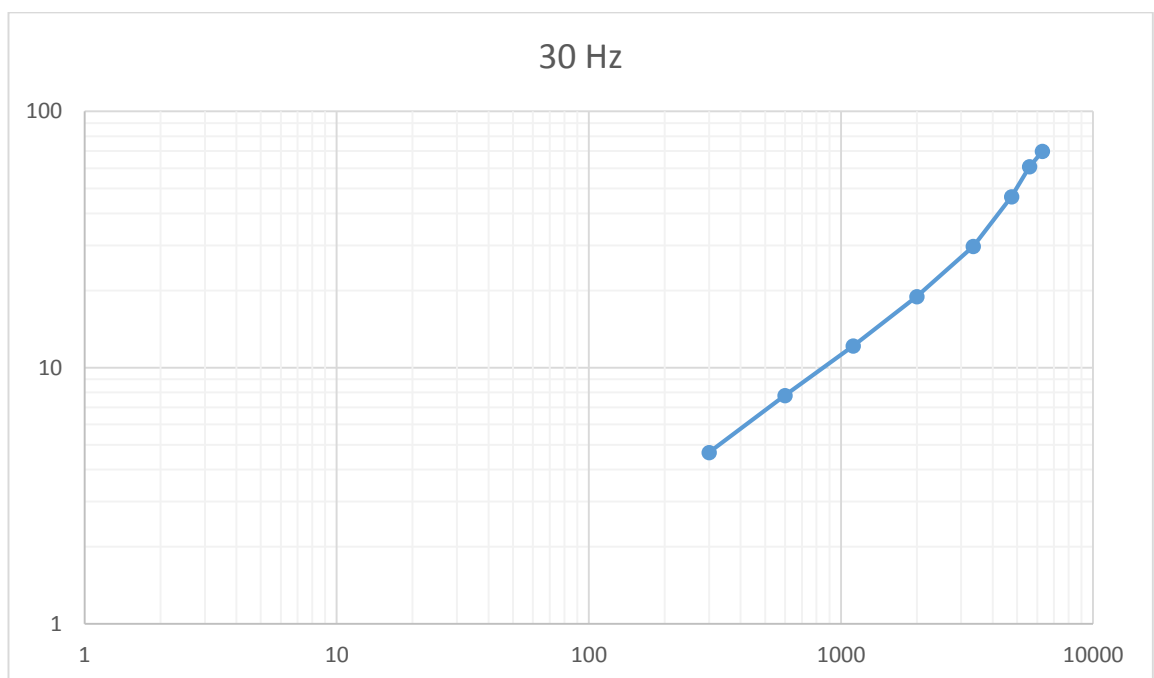
Ajo 2	35 Hz	Paino 1	1543,4	Paino 2	1432,2			
				kok.pain.	2975,6			
seula	seulapain	paino1.	paino2.	mass.1	mass.2	kokonais.	Jäänyt%	Läpäisy%
µm	g	g	g	g	g	g		100
6300	921,2	1346,2	1243,1	425	321,9	746,9	25,12362	74,87638
5600	1036,6	1172,4	1144,3	135,8	107,7	243,5	8,190656	66,68573
4750	1000,5	1246,4	1182,3	245,9	181,8	427,7	14,38663	52,2991
3350	932,8	1210,3	1154,6	277,5	221,8	499,3	16,79505	35,50405
2000	831,3	1035,1	1005,8	203,8	174,5	378,3	12,72495	22,7791
1120	705,5	819,9	833,3	114,4	127,8	242,2	8,146927	14,63218
600	679,9	738,7	775	58,8	95,1	153,9	5,176763	9,455414
300	605	640,5	684,2	35,5	79,2	114,7	3,858186	5,597228
-300	1334,4	1380,1	1455,1	45,7	120,7	166,4	5,597228	0
					kok.pain.l	2972,9	100	



KUVIO 25. Integraalikuvaaja 35 Hz toinen ajo

TAULUKKO 13. Seula-analyysi 30 Hz toinen ajo

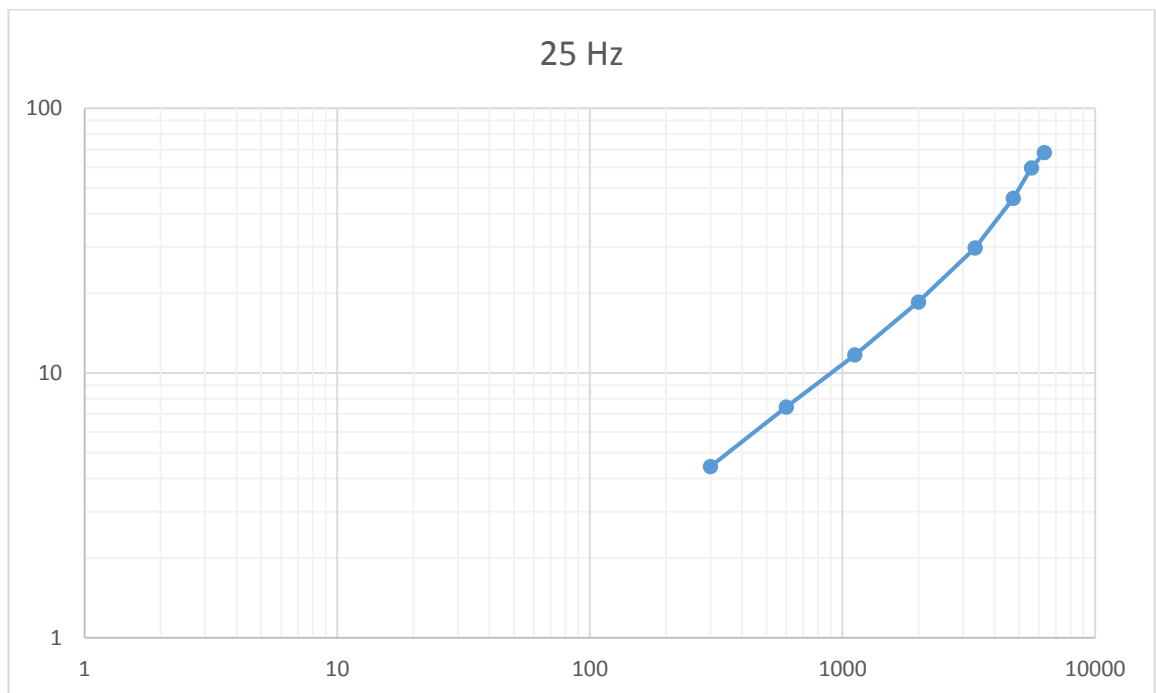
Ajo 2	30 Hz	Paino 1	1525,1	Paino 2	1471,7			
				kok. pain.	2996,8			
seula	seulapain	paino1.	paino2.	mass.1	mass.2	kokonais.	Jäänyt%	Läpäisy%
µm	g	g	g	g	g	g		100
6300	920,7	1312	1431,7	391,3	511	902,3	30,10376	69,89624
5600	1036,8	1187,1	1157,9	150,3	121,1	271,4	9,054816	60,84142
4750	999,5	1215,3	1214,9	215,8	215,4	431,2	14,38628	46,45514
3350	932,3	1187,1	1178,6	254,8	246,3	501,1	16,71838	29,73676
2000	831	1008,4	977,2	177,4	146,2	323,6	10,79638	18,94038
1120	705,7	829,5	785,4	123,8	79,7	203,5	6,789444	12,15094
600	679,8	759,7	730,7	79,9	50,9	130,8	4,363928	7,787008
300	605	658,9	644,6	53,9	39,6	93,5	3,119474	4,667534
-300	1334,4	1411,7	1397	77,3	62,6	139,9	4,667534	0
					kok.pain.l	2997,3	100	



KUVIO 26. Integraalikuvaaja 30 Hz toinen ajo

TAULUKKO 14. Seula-analyysi 25 Hz toinen ajo

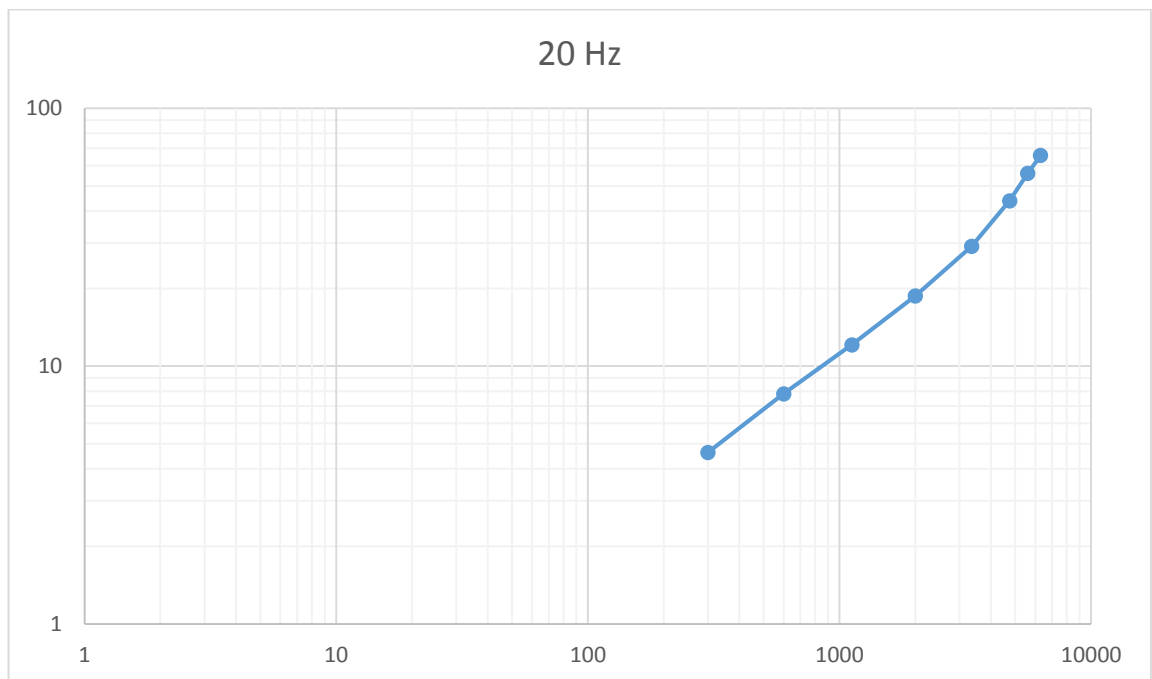
Ajo 2	25 Hz	Paino 1	1553,5	Paino 2	1437,5			
				kok. pain.	2991			
seula	seulapain	paino1.	paino2.	mass.1	mass.2	kokonais.	Jäänyt%	Läpäisy%
µm	g	g	g	g	g	g		100
6300	920,4	1423,6	1367,2	503,2	446,8	950	31,75346	68,24654
5600	1036,4	1163,4	1168,2	127	131,8	258,8	8,650311	59,59623
4750	1000,3	1225,4	1186,6	225,1	186,3	411,4	13,75092	45,84531
3350	932,5	1184,5	1163,2	252	230,7	482,7	16,1341	29,71121
2000	830,8	1005,3	989,5	174,5	158,7	333,2	11,13711	18,5741
1120	705,6	812,9	803,1	107,3	97,5	204,8	6,845377	11,72873
600	679,7	741,5	745,6	61,8	65,9	127,7	4,268333	7,460392
300	605	646,2	654,2	41,2	49,2	90,4	3,021592	4,438799
-300	1334,4	1395,5	1406,1	61,1	71,7	132,8	4,438799	0
					kok.pain.l	2991,8	100	



KUVIO 27. Integraalikuvaaja 25 Hz toinen ajo

TAULUKKO 15. Seula-analyysi 20 Hz toinen ajo

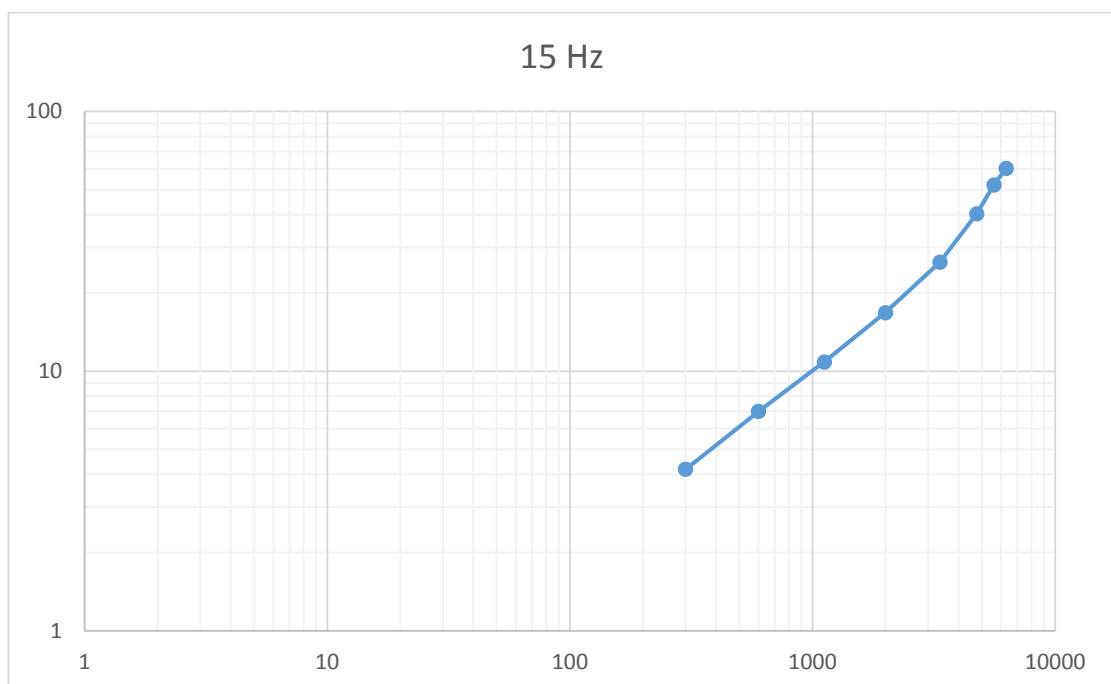
Ajo 2	20 Hz	Paino 1	1547,7	Paino 2	1445,5			
				kok. pain.	2993,2			
seula	seulapain	paino1.	paino2.	mass.1	mass.2	kokonais.	Jäänyt%	Läpäisy%
µm	g	g	g	g	g	g		100
6300	921,2	1603,2	1264,2	682	343	1025	34,297	65,703
5600	1036,7	1212,3	1149,3	175,6	112,6	288,2	9,643311	56,05969
4750	1000,8	1212,8	1153,3	212	152,5	364,5	12,19635	43,86335
3350	932,3	1154,3	1150	222	217,7	439,7	14,71257	29,15077
2000	831,1	965	1008,6	133,9	177,5	311,4	10,41959	18,73118
1120	705,2	767,9	840,4	62,7	135,2	197,9	6,62183	12,10935
600	679,8	706,8	781,3	27	101,5	128,5	4,299672	7,809677
300	605	618,1	687,1	13,1	82,1	95,2	3,185438	4,624239
-300	1334,4	1351,6	1455,4	17,2	121	138,2	4,624239	0
					kok.pain.l	2988,6	100	



KUVIO 28. Integraalikuvaaja 20 Hz toinen ajo

TAULUKKO 16. Seula-analyysi 15 Hz toinen ajo

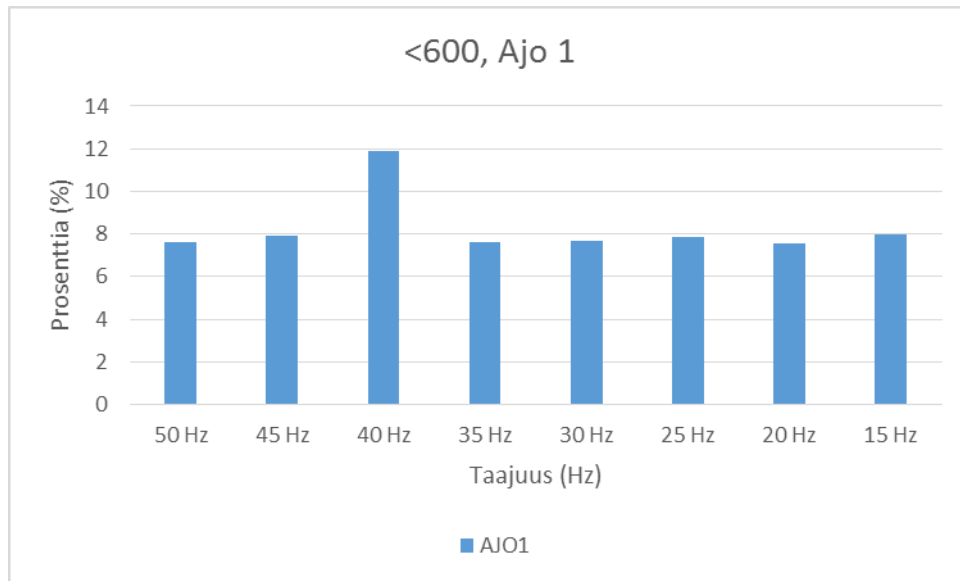
Ajo 2	15 Hz	Paino 1	1505	Paino 2	1488,6			
					kok. pain.	2993,6		
seula	seulapain	paino1.	paino2.	mass.1	mass.2	kokonais.	Jäänyt%	Läpäisy%
µm	g	g	g	g	g	g		100
6300	920,6	1505,5	1520,7	584,9	600,1	1185	39,57651	60,42349
5600	1036,3	1177,8	1142,1	141,5	105,8	247,3	8,259301	52,16418
4750	999,4	1201,2	1152,1	201,8	152,7	354,5	11,83956	40,32463
3350	932	1146,7	1138,4	214,7	206,4	421,1	14,06386	26,26077
2000	830,9	975,7	969,4	144,8	138,5	283,3	9,461626	16,79915
1120	705,2	789,7	798,8	84,5	93,6	178,1	5,948166	10,85098
600	679,8	728,7	746,4	48,9	66,6	115,5	3,857458	6,993521
300	605,2	638,2	656,3	33	51,1	84,1	2,808764	4,184757
-300	1334,4	1385,2	1408,9	50,8	74,5	125,3	4,184757	0
					kok.pain.l	2994,2	100	



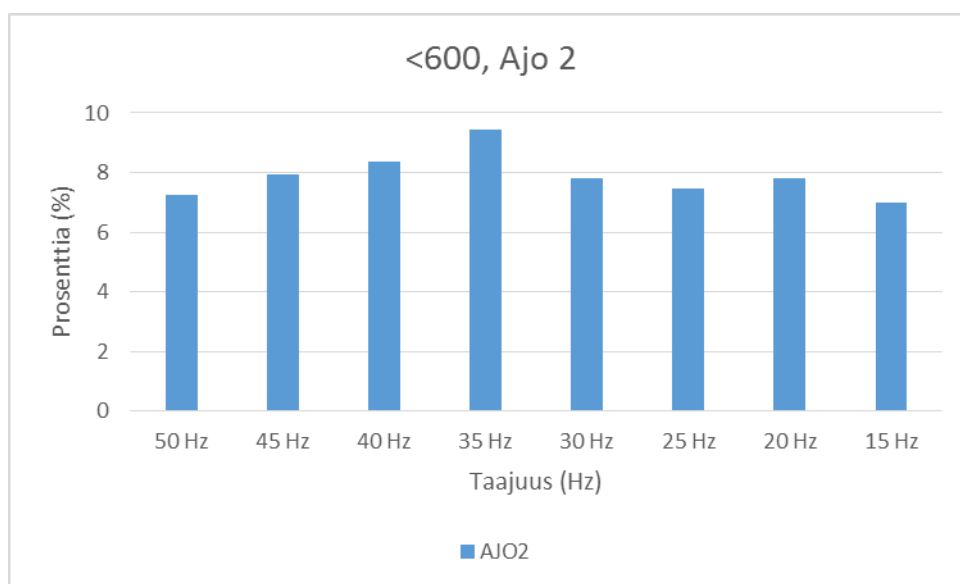
KUVIO 29. Integraalikuvaaja 15 Hz toinen ajo

### 7.5.2 Pylväsdiagrammit

Seuraavana ovat pylväsdiagrammit (KUVIOT 30-41), jossa seulapinnalle jääneen materiaalin prosenttiosuus on laskettuna neljään eri raekokoluokkaan. Luokat ovat alle 600  $\mu\text{m}$ , 600–3350  $\mu\text{m}$ , 3350–5600  $\mu\text{m}$  ja yli 5600  $\mu\text{m}$ . Näiden luokkien avulla voidaan vertailla sitä miten raekoko jakautuu taajuuden mukaan. Materiaalin määrä on diagrammeissa ilmoitettu prosentteina.

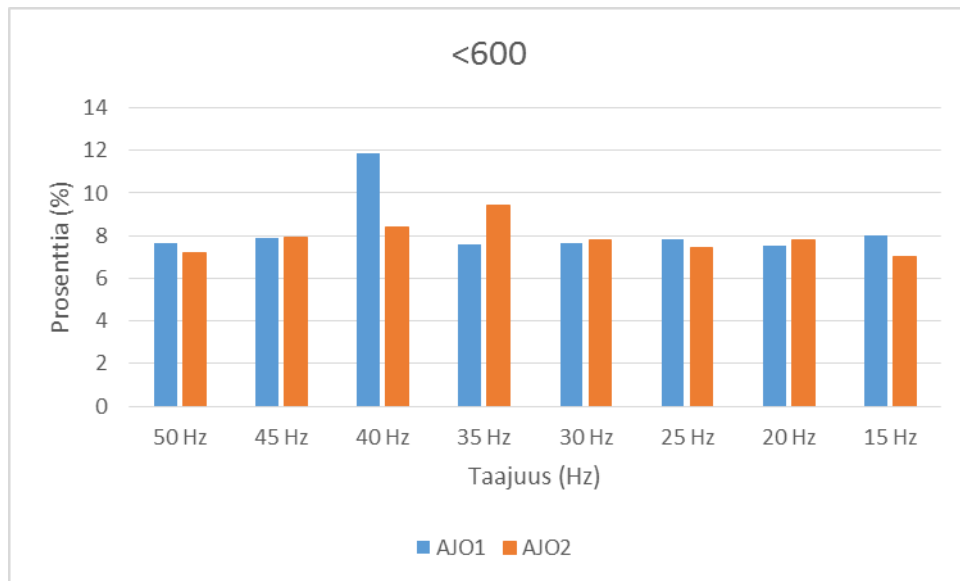


KUVIO 30. Seulalle jääneen, alle 600  $\mu\text{m}$ , materiaalin määrä prosentteina ensimmäinen ajo.

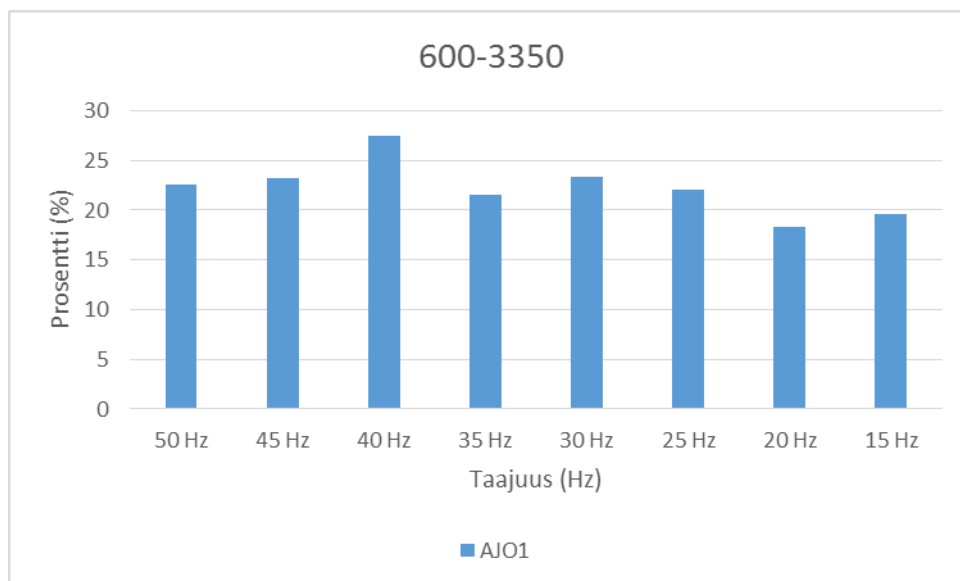


KUVIO 31. Seulalle jääneen, alle 600  $\mu\text{m}$ , materiaalin määrä prosentteina toinen ajo.

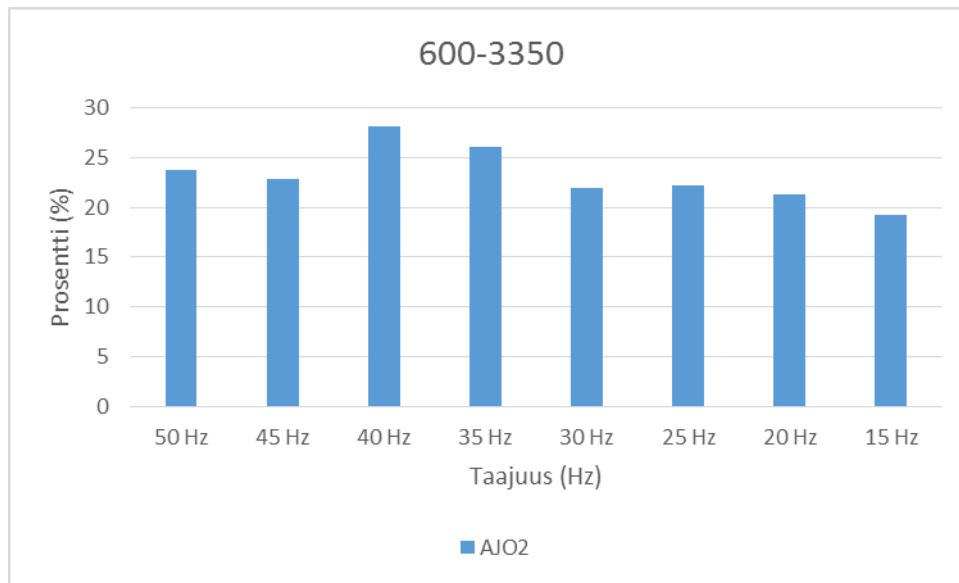




KUVIO 32. Seulalle jääneen, alle 600 μm, materiaalin määrä prosentteina molemmista ajoista.



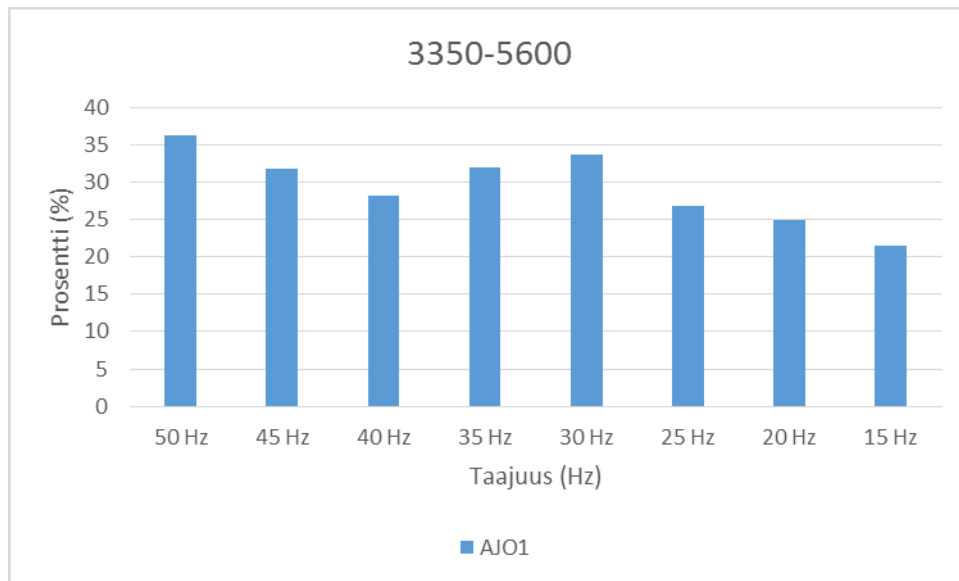
KUVIO 33. Seulalle jääneen, 600-3350 μm, materiaalin määrä prosentteina ensimmäinen ajo.



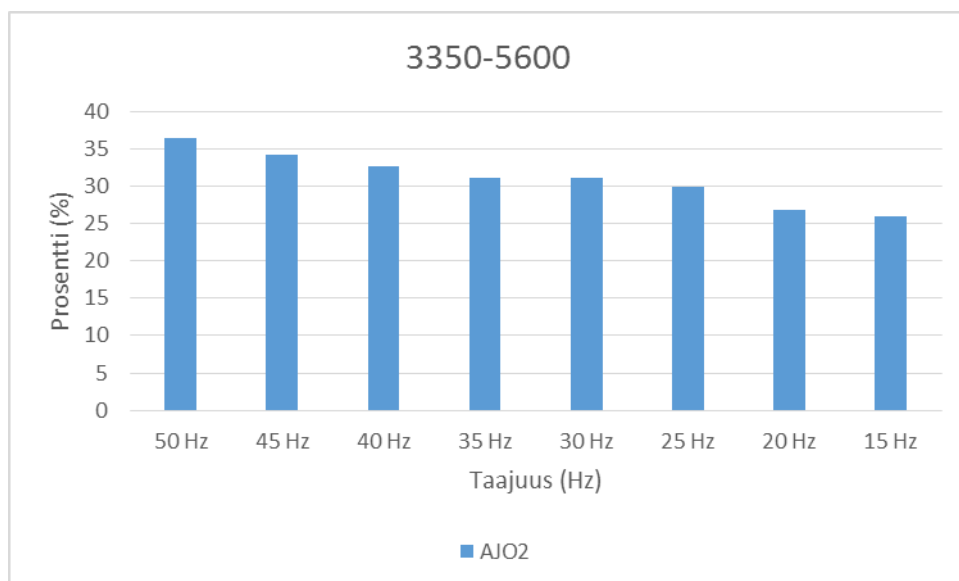
KUVIO 34. Seulalle jääneen, 600-3350 µm, materiaalin määrä prosentteina toinen ajo.



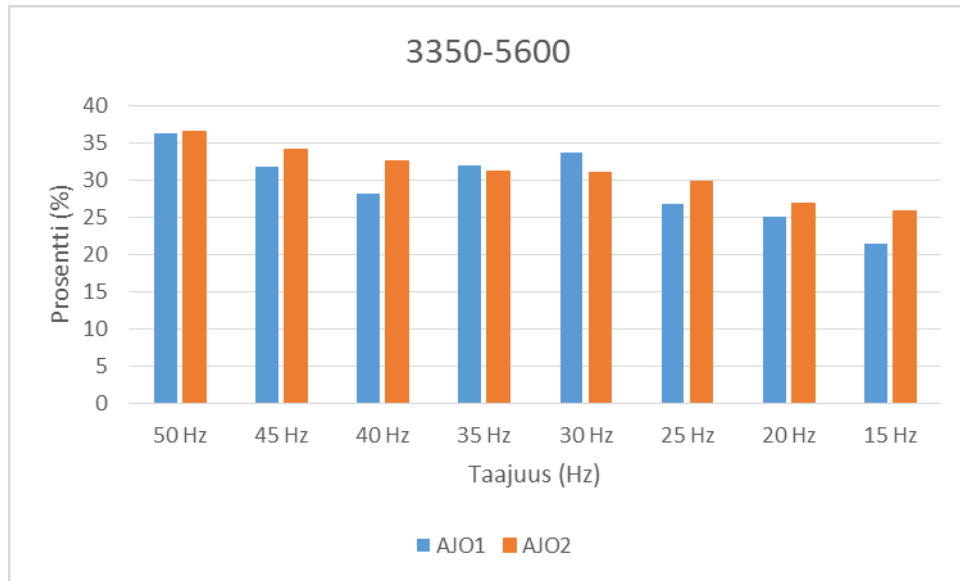
KUVIO 35. Seulalle jääneen, 600-3350 µm, materiaalin määrä prosentteina molemmista ajoista.



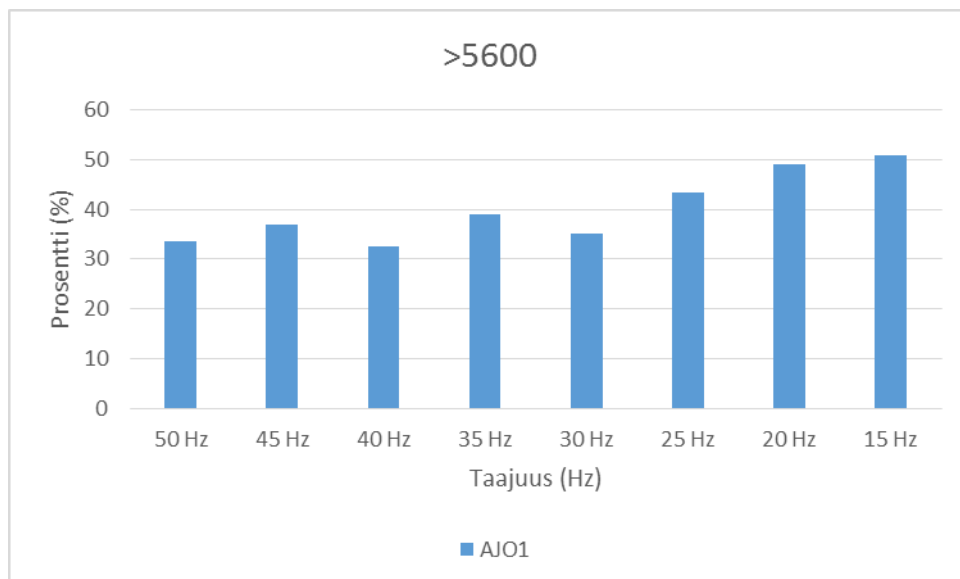
KUVIO 36. Seulalle jääneen, 3350-5600 µm, materiaalin määrä prosentteina ensimmäinen ajo.



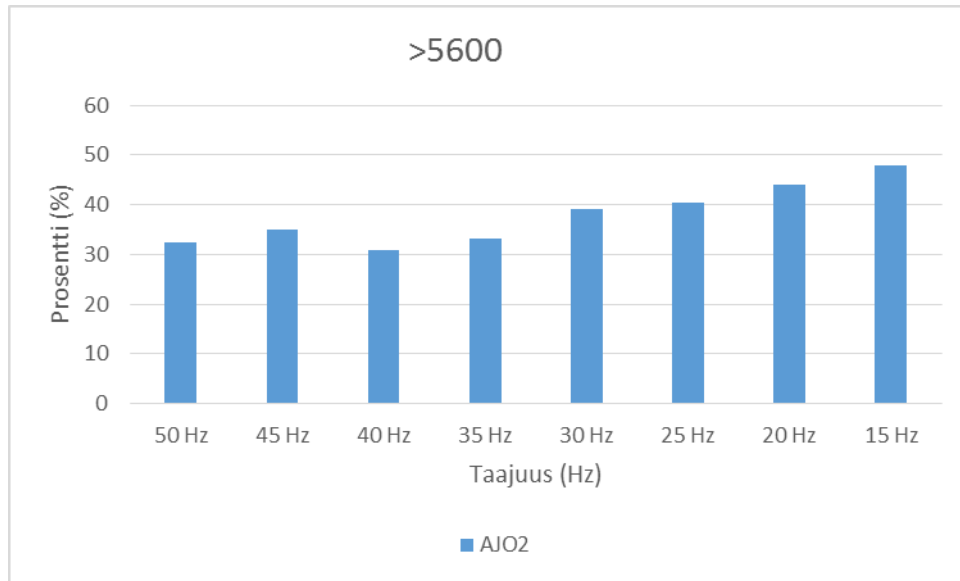
KUVIO 37. Seulalle jääneen, 3350-5600 µm, materiaalin määrä prosentteina toinen ajo.



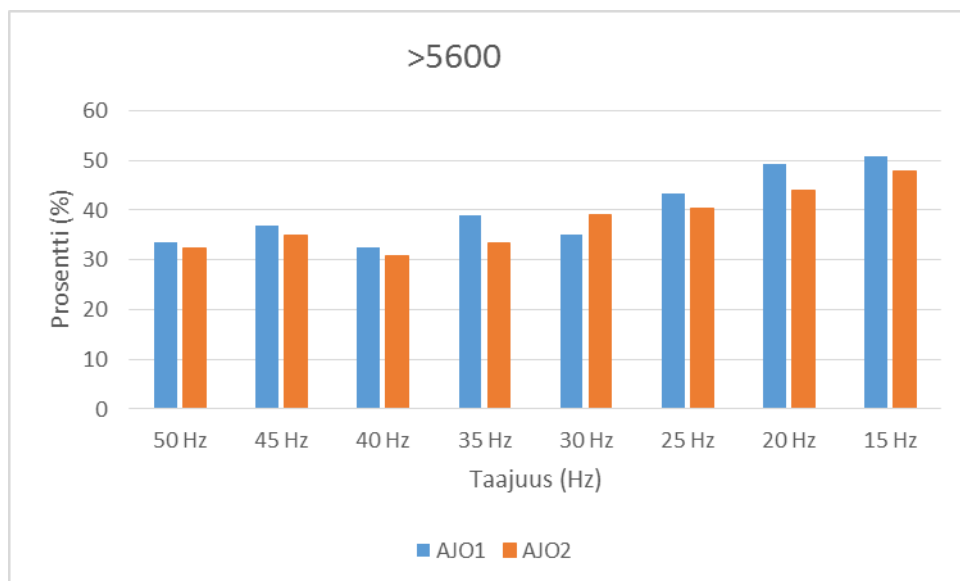
KUVIO 38. Seulalle jääneen, 3350-5600  $\mu\text{m}$ , materiaalin määrä prosentteina molemmista ajoista.



KUVIO 39. Seulalle jääneen, yli 5600  $\mu\text{m}$ , materiaalin määrä prosentteina ensimmäinen ajo.



KUVIO 40. Seulalle jääneen, yli 5600 µm, materiaalin määrä prosentteina toinen ajo.



KUVIO 41. Seulalle jääneen, yli 5600 µm, materiaalin määrä prosentteina molemmista ajoista.

## 7.6 Tulosten tarkastelu

Alle 600  $\mu\text{m}$  materiaalin määrä pysyi molemmissa ajoissa melkein samana. Suuria eroja ei tapahtunut hertsimäärien välillä (KUVIO 32). Ensimmäisessä ajossa on vain 0,4 prosenttiyksikköä enemmän materiaalia 15 hertsissä kuin 50 hertsissä. Toisessa ajossa materiaalia on enemmän 0,2 prosenttiyksikön verran 50 hertsissä kuin 15 hertsissä. Tämän vuoksi materiaalimäärän eroa voi pitää minimaalisena ottaen huomioon seulapinnalle jääneen materiaalin. Koska alle 600  $\mu\text{m}$  seulojen pinnat ovat tiheitä, kaiken materiaalin puhdistaminen pois seulapinnalta on mahdotonta.

600–3350  $\mu\text{m}$  seulojen välille jääneen materiaalin koko molemmissa ajoissa laski hertsimäärän pienentyessä (KUVIO 35). Suurimmat erot prosentuaalisesti ovat 40 Hz murskauksessa. Tällöin tämän raekokoluokan prosenttiosuus ensimmäisessä ajossa on 27,5 prosenttia ja toisessa 28 prosenttia. 50 Hz taajuudella murskatessa ensimmäisessä ajossa 22,6 prosenttia ja toisessa ajossa 23,8 prosenttia. 15 Hz taajuudella ensimmäisessä ja toisessa ajossa melkein sama prosenttiosuus, 19,3 prosenttia tätä raekokoluokkaa.

3350–5600  $\mu\text{m}$  seulojen välille jäänyt raekoko pieneni koko ajan, kun taajuutta laskettiin (KUVIO 38). Alussa 50 Hz:llä, molemmilla seuloilla oli noin 36,5 prosenttia materiaalista. Kun hertsimäärä laskettiin viiteentoista, ensimmäisessä ajossa seuloille jäi 21,5 prosenttia materiaalista ja toisella ajolla 25,9 prosenttia. Kuvioista 25 nähdään selvästi molempien ajojen materiaalimäärien pieneneminen kyseisellä seulavälillä.

Yli 5600  $\mu\text{m}$  materiaalin määrä kasvaa kun taajuutta pienennetään (KUVIO 41). Ensimmäisessä ajossa materiaalia jää 50 Hz taajuudella 33,5 prosenttia, kun taas 15 Hz taajuudella materiaalia jää 50,9 prosenttia. Tällöin ensimmäisessä ajossa materiaalimäärän ero 50 Hz ja 15 Hz välillä on 17,4 prosenttia. Toisessa ajossa materiaalia jää seuloille 50 Hz:llä 32,4 prosenttia ja 15 Hz:llä 47,8 prosenttia. Tällöin materiaalin prosenttiosuus kasvaa 15,4 prosenttia. 6300  $\mu\text{m}$  seulalle jääneet materiaalimäärät ensimmäisessä ajossa 50 Hz:llä on 23,2 prosenttia ja 15 Hz:llä on 42,3 prosenttia. Toisella ajolla nämä määrät ovat 50 Hz:llä 23,3 prosenttia ja 15 Hz 39,6 prosenttia. Erot ovat suuret molemmissa ajoissa, melkein 20 prosenttia.

Näiden tietojen perusteella voidaan todeta, että taajuuden muuttamisella murskauksessa on vaikutusta raekokoon. Pienemmällä taajuudella syntyy paljon suuremman raekoon tuotetta, mutta sillä ei ole suurta merkitystä pienemmän raekoon murskeeseen. Alle 600  $\mu\text{m}$  raekoko pysyy melkein samana eri taajuudella murskattaessa, mutta 600–3350  $\mu\text{m}$  ja 3350–5600  $\mu\text{m}$  materiaalmäärät pienenevät ja yli 5600  $\mu\text{m}$  materiaalmäärä kasvaa.

## **7.7 Virheiden arviointi**

Murskaimen tuotteenkeräysastia Oulussa oli huono. Se ei sopinut täysin murskaimen alle ja näin ollen osa murskaimeen syötetystä materiaalista tuli reunoja pitkin ulos. Tämä huomattiin onneksi murskauksen alussa, jotta kaikki murskaukset eivät epäonnistuneet. Seulonnassa virheenä voidaan pitää sitä, että seulapinnoille aina jäi hiukan materiaalia. Seulalan punnitseminen jokaisen hertsimäärän välissä auttoi, koska jos seulaa ei punninnut, olisi seulapaino voinut kasvaa nykyistä korkeammaksi. Seulalan paino olisi pitänyt ottaa ylös jokaisen seulonnan jälkeen. Näin tulokset voisivat olla tarkempia.

## LÄHTEET

- Grönholm, S., Alviola, R., Kinnunen, K., Kojonen, K., Kärkkäinen, N & Mäkitie, H. 2009. Retkeilijän Kiviopas. Geologian tutkimuskeskus. 2.painos. Helsinki: Edita Prima Oy.
- Heiskanen, K. 2010. Jauhatus. Luentomateriaali. Aalto yliopisto.
- Isohanni, M. 2014. Nordic Mining Days. Pdf-dokumentti.
- Keliber. Historia. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://keliber.fi/historia>. Luettu 26.1.2015.
- Keliber. 2015. Lopputuotteet. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://keliber.fi/lopputuotteet>. Luettu 2.2.2015.
- Keliber. 2015. Länttä. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://keliber.fi/lanтта>. Luettu 2.2.2015.
- Litium. Data113kemia. Www-dokumentti. Saatavissa: <https://data113kemia.wordpress.com/2014/12/11/litium/>. Luettu 23.2.2015
- Luonnonvarat. Geologian tutkimuskeskus. Www-dokumentti. Saatavissa: [http://www.gtk.fi/geologia/luonnonvarat/metallit/hi\\_tech\\_metallit.html](http://www.gtk.fi/geologia/luonnonvarat/metallit/hi_tech_metallit.html). Luettu: 23.2.2015
- Metso Minerals. 2008. Crushing and Screening Handbook. 3. Painos. Tampere. Kirjapaino Hermes
- Mäkinen, T. 2013. Jauhatus. Luentomateriaali.
- Oja, M. 2006. Mekaanista prosessitekniikkaa materiaalitekniikan opiskelijoille. Kurssin MT-0.2216 luentomoniste. Teknillinen korkeakoulu. Materiaalitekniikan osasto. Mekaanisen prosessin- ja kierrätystekniikan laboratorio. Espoo: Otamedia Oy.
- Pihkala, J. 2003. Prosessitekniikan yksikköprosessit. Opetushallitus.
- Rahikka, L. 2011. Mekaaniset prosessit. Luentomateriaali
- Sirén, O. Kokkola kieppi. Pdf-dokumentti. 2015.