

Juho Pietarila

**LITIUMSPODUMEENIMALMIN MURSKAUS
LEUKAMURSKAIMELLA JA RAEKOON SEURANTA**

**Opinnäytetyö
KESKI-POHJANMAAN AMMATTIKORKEAKOULU
Kemiantekniikan koulutusohjelma
Toukokuu 2012**

TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

| | | |
|--|------------------------------|---|
| Yksikkö Tekniikka ja liiketalous, Kokkola | Aika Toukokuu 2012 | Tekijä/tekijät Juho Pietarila |
| Koulutusohjelma Kemiantekniikka | | |
| Työn nimi Litiumspodumeenimalmin murskaus leukamurskaimella ja raekoon seuranta | | |
| Työn ohjaaja Laura Rahikka | | Sivumäärä 41+2 |
| Työelämäohjaaja Pekka Tanskanen, Olle Sirén | | |
| <p>Opinnäytetyössä tarkoituksena oli tutkia litiumspodumeenimalmin murskaantuvuutta leukamurskaimella ja suorittaa syntyvälle murskeelle raekokoseurantaa. Tavoitteena oli selvittää murskeen raekokojakaumaa sekä kiviaineksen käyttäytymistä murskattaessa erilaisilla leukamurskaimen leukaväleillä. Tarkoituksena oli saada tietoa murskeen raekoosta, jotta voitaisiin miettiä murskeen jatkoprosessointimahdollisuuksia. Pääpaino raekoon seurauksessa oli hienon, partikkelikooltaan alle 0,5 mm, ja halutun, partikkelikooltaan 0,5–2,0 mm, kiviaineksen syntymisessä. Työssä pyrittiin löytämään optimaalisin leukaväli, jolla haluttua ainesta syntyi mahdollisimman paljon ja hienoa ainesta mahdollisimman vähän.</p> <p>Työssä oli tarkoituksena seurata myös leukamurskaimen energiankulutusta murskattaessa kyseessä olevaa kiviainesta.</p> <p>Työ suoritettiin murskaamalla ja seulomalla Ullavan Längän esiintymästä otettua kiviainenäytettä leukamurskaimessa erilaisilla leukaväleillä. Työstä saatujen tulosten pohjalta esitettiin mahdollisia lisätutkimuksia, joiden pohjalta optimaalisin murskaukseen käytettävä leukaväli olisi löydettävissä. Työstä saadut näytteet toimitettiin jatkotutkimuksiin Oulun yliopistolle.</p> <p>Tämä kemiantekniikan koulutusohjelman opinnäytetyö tehtiin Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoululle. Työn toimeksiantajana oli Keliber Oy. Työ toteutettiin keväällä 2012.</p> | | |
| Asiasanat litiumspodumeeni, leukamurskain, mekaaninen seulonta, murskaus, partikkelikoko | | |

ABSTRACT

| | | |
|--|-------------------------|---------------------------------|
| CENTRAL OSTROBOTHNIA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES | Date May 2012 | Author Juho Pietarila |
| Degree programme Chemical Engineering | | |
| Name of thesis Crushing lithiumspodumene ore with jaw crusher and analyzing particle sizes | | |
| Instructor Laura Rahikka | | Pages 41+2 |
| Supervisor Pekka Tanskanen, Olle Sirén | | |
| <p>Purpose of this thesis was to study crushability of lithiumspodumene, when crushed with jaw crusher and also to monitor generated particle sizes. Target was to analyze generated particle sizes and behavior of stone, when crushed with different spreads of the jaws. This thesis was made to get information for different possibilities of processes followed up after crushing and also to study alternative methods for milling and flotation. Main target was to get information how there comes to exist the most of wanted, 0,5–2,0 mm, particle size and least fine grained, under 0,5 mm, particle size.</p> <p>It was also as intention to follow up the consumption of energy used by jaw crusher.</p> <p>Research was performed by crushing and screening the ore from Länttä Ullava by crushing it with different spreads of jaws. New potential researches were introduced on the basis of the results from this research. The optimal spread of jaws could be found based on introduced researches. Samples from this research were delivered to University of Oulu for further research.</p> <p>This thesis for chemical engineering has been made for the Central Ostrobothnia University of Applied Sciences. The committant is Keliber Oy. This thesis was done during spring 2012.</p> | | |
| Key words crushing, jaw crusher, lithiumspodumene, particle size analysis, screening | | |

**TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
SISÄLLYS**

| | |
|---|-----------|
| 1 JOHDANTO | 1 |
| 2 TOIMEKSIANTAJA | 2 |
| 3 MURSKAUS | 4 |
| 3.1 Yleisimmät murskaintyytit | 4 |
| 3.2 Murskauksen teknologia | 8 |
| 4 PARTIKKELIKOON MÄÄRITYS | 10 |
| 4.1 Partikkelikokojen mittaaminen ja erottelu | 11 |
| 4.2 Painovoimainen seuranta | 12 |
| 4.3 Coulter-menetelmä | 13 |
| 4.4 Mekaaninen seulonta | 13 |
| 4.4.1 Seula-analyysi | 15 |
| 4.4.2 Laitteet | 16 |
| 5 LITIUM | 17 |
| 5.1 Litium luonnossa | 17 |
| 5.2 Litiumin käyttö | 18 |
| 6 KOKEELLINEN OSUUS | 20 |
| 6.1 Työn tavoitteet ja lähtökohdat | 20 |
| 6.2 Koejärjestelyt ja laitteet | 21 |
| 6.3 Työn suoritus | 22 |
| 6.4 Näytteiden talteenotto | 26 |
| 7 TULOKSET | 27 |
| 7.1 Koeajo A | 27 |
| 7.2 Koeajo B | 28 |
| 7.3 Koeajo C | 30 |
| 7.4 Koeajo D | 31 |
| 7.5 Yhdistetyt tulokset | 33 |
| 7.6 Tulosten tarkastelu | 34 |
| 8 LOPPUPÄÄTELMÄT | 38 |
| LÄHTEET | 40 |
| LIITTEET | |
| LIITE 1. Keliberin prosessikaavio | |
| LIITE 2. Näyteluettelo | |

1 JOHDANTO

Suomen kaivosteollisuus on kasvava teollisuudenala. Kasvu tulee johtumaan paljolti siitä että viimevuosina toimintansa aloittaneet kaivokset ovat saavuttaneet täyden kapasiteettinsa sekä suunnitteilla olevat kaivokset ovat aloittaneet toimintansa. Kaivosalan kasvua vauhdittaa kehittyvien maiden kulutuksen kasvu, joka lisää raaka-aineiden kysyntää. Kysyntää lisää myös erilaisten aineiden ja mineraalien käytön kasvu, kuten litiumin lisääntyvä käyttö akkuteollisuudessa. Varsinkin Pohjois- ja Itä-Suomessa kaivostoiminta on nousemassa suureen rooliin talouden kehityksessä. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2010.) Kaivosteollisuus on välttämätön useille muille toimialoille. Muun muassa metalliteollisuus on riippuvainen malmien louhinnasta, ja kemian- ja paperiteollisuus ovat riippuvaisia teollisuusmineraaleista. Lisäksi kaivos- ja louhintatoiminnasta saadaan kiviainesta tie-, talo- ja ympäristörakentamiseen.

Suomessa on geologialtaan rikas ja hyvin hyödynnettävissä oleva maaperä kaivosteollisuuden kasvattamiseksi ja kehittämiseksi. Suomessa louhitaan useita metalleja, muun muassa kuparia, sinkkiä, kromia, nikkeliä ja kultaa. Lisäksi louhitaan teollisuusmineraaleja, kuten apatiitti, talkki, maasälpä ja kvartsi. (Selonen 2004.)

Tämä opinnäytetyö tehtiin keväällä 2012. Opinnäytetyössä tarkoitus oli tutkia litiumspodumeenimalmin murskaantuvuutta leukamurskaimella ja suorittaa syntyvälle murskeelle raekoonseuranta. Tavoitteena oli selvittää murskeen raekokoja-kaumaa sekä kiviaineksen käyttäytymistä murskattaessa erilaisilla leukamurskaimen leukaväleillä. Tutkimuksen tavoitteena oli saada tietoa murskeen raekoosta, jotta voitaisiin miettiä murskeen jatkoprosessointimahdollisuuksia.

Opinnäytetyön teoriaosuudessa käsitellään kiviaineksen murskaukseen ja raekoon pienentämiseen sekä partikkelikoon määrittämiseen ja seuraamiseen liittyviä menetelmiä. Opinnäytetyössä keskeisessä asemassa ovat leukamurskaimella murskaaminen ja seulonta. Lisäksi keskitytään murskauksissa käytettävään spodumeenimalmiin ja siihen liittyvään litiumiin.

2 TOIMEKSIANTAJA

Opinnäytetyön toimeksiantajana ja tilaajana toimii Keliber Oy, jonka nimi tulee sanoista Keski-Pohjanmaan litium ja beryllium. Keliber Oy on Keski-Pohjanmaalla Suomessa sijaitseva kaivosyhtiö. Keliber Oy:n kaivostoiminta on keskittynyt Ullavalle. Yhtiön pääasiallinen tuote on litiumkarbonaatti. Keliber Oy:stä 68 % omistaa kaivosyhtiö Nordic Mining ASA ja 32 % on yksityishenkilöiden omistuksessa. Nordic Mining ASA on pohjoismainen Oslon pörssiin listautunut osakeyhtiö. (Keliber. Our Company in brief 2012.)

Keliber Oy:n taustalta löytyy alun perin EU:n rahoittama KeLiBer-projekti vuosilta 2000–2001. KeLiBer-projekti oli Keski-Pohjanmaan litium- ja beryllium-varantojen hyödyntämishanke. Vuosina 2001–2006 suoritettiin tutkimus- ja kehitysvaihe nimikkeellä Keliber Resources Ltd Oy. Kaivostoimintavaiheeseen yritys pääsi vuonna 2007 ja muutti nimensä Keliber Oy:ksi. (Keliber. History 2012.)

Keliber Oy:n toiminta on tällä hetkellä niin sanotussa feasibility-vaiheessa, eli toiminnalle suoritetaan toteutettavuustutkimusta. Tällä hetkellä yritys tutkii litiumesiintymän laajuutta ja malmivarantoja, optimoi teknisiä ja taloudellisia vaihtoehtoja, tekee laitemitoitustutkimuksia sekä valmistaa litiumkarbonaatista asiakasnäytteitä. Seuraavina vaiheina ennen täysimittakaavaisen tuotannon alkamista ovat rahoitusratkaisu ja investointipäätös, rakennustyöt ja prosessin ylösajo. Tuotanto alkaa tämän hetken näkymien mukaan aikaisintaan vuonna 2014. (Siren 2011, 14–17.)

Keliber Oy:llä on ympäristölupa tuottaa litiumkarbonaattia 6000 tonnia vuodessa. Lisäksi sillä on vuonna 2006 lainvoimaisiksi tulleet ympäristöluvut Ullavan Länttään ja Kalavedelle sekä vuonna 2008 lainvoimaiseksi tullut rakennuslupa kaivostoiminta-alueelle. Lisäksi yrityksellä on biokaasulaitoksen ympäristölupa. (Siren 2011, 14.)

Pääasiallinen tuote Keliber Oy:llä on litiumkarbonaatti, jota se tuottaa akkuteollisuuteen. Yritys pyrkii tuottamaan äärimmäisen puhdasta litiumkarbonaattia (>99,99 %). Yrityksen tuotantoprosessi on Keski-Pohjanmaan litiumesiintymälle

räätälöity tekniikka, joka on luotu yhteistyössä Outotecin kanssa. Prosessikaavio on nähtävissä liitteessä 1. Tuotantoprosessi on pitkälle kehitetty ja se hyväksikäyttää sisään laitettavasta malmista 85–95 %. Tuotantoprosessin päätoiminnot ovat malmin irrotus maaperästä, murskaus, rikastus, kiderakenteen muuttaminen ja liuotus. Prosessia on tehostettu käyttämällä siinä hyväksi biokaasua. Biokaasusta käytetään hiilidioksidia ja biometaania prosessin loppuosassa eli kiderakenteen muutoksessa ja litiumkarbonaatin puhdistamisessa. Biokaasun tuotanto toteutetaan yhteistyössä ympäristöhuoltoyhtiön Lassila & Tikanojan kanssa. (Keliber. Production process 2012.)

3 MURSKAUS

Murskaus tarkoittaa kiintoaineen raekoon pienentämistä mekaanisesti, eli aineksen hienontamista. Murskauksella pyritään yleensä aikaansaamaan haluttu partikkelikoko, erottamaan sivukivi halutusta aineksesta sekä kasvattamaan pinta-alaa kemiallisia reaktioita varten. Murskauksen yleisin tavoite on tuottaa raekoko, joka on prosessin jatkon kannalta kaikkein edullisin. Murskaus suoritetaan yleensä kuivalle kiviainekselle. Murskaus sisältää usein kaksi tai kolme erillistä vaihetta, joissa raekokoa pienennetään porrastetusti. Murskausvaiheet ovat esi-, väli- ja hienomurskaus. Murskausvaiheita käytetään tarpeen mukaan, mutta yleensä murskaus suoritetaan mahdollisimman pitkälle, koska se on usein jauhatusta halvempaa joutuessa alhaisemmista energiakustannuksista. Murskaus suoritetaan vaiheittain, etteivät murskaimet tukkeutuisi liian suurista partikkeleista ja näin ollen tuottaisi murskaimille syöttöhäiriötä tai vahinkoa. (Lukkarinen 1984.)

Raekoollisesti murskaamisella tarkoitetaan yleensä hienontamista 1,5 metristä aina noin 25 millimetriin saakka. Murskauslaitteilla kyetään kuitenkin selvästi hienompaankin raekokoon. Alle 25 millimetrin raekoon pienentämisessä siirrytään kuitenkin usein jauhatukseen. (Lukkarinen 1984.)

Murskaus ja hienonnus perustuvat iskuun, puristukseen, hankaukseen, leikkaukseen tai yhteentörmäykseen. Murskausperiaate riippuu käytetystä menetelmästä ja laitteista kiviaineksen särkemiseksi. Usein kiviainesrakeen särkyminen tapahtuu useamman kuin yhden periaatteen tai ilmiön yhteisvaikutuksesta. Hienonnusmenetelmät perustuvat yleensä kulumis-, puristumis-, tai iskumurtumiseen. (Lukkarinen 1984.)

3.1 Yleisimmät murskaintyytit

Murskaimet jaotellaan iskumurskaimiin ja puristaviin murskaimiin. Iskumurskaimien toiminta perustuu iskuihin, joilla kiveä murskataan. Iskut syntyvät joko murskauslaitteessa liikkuvien vasaroiden tai muiden kiviainekseen iskeytyvien laitteen

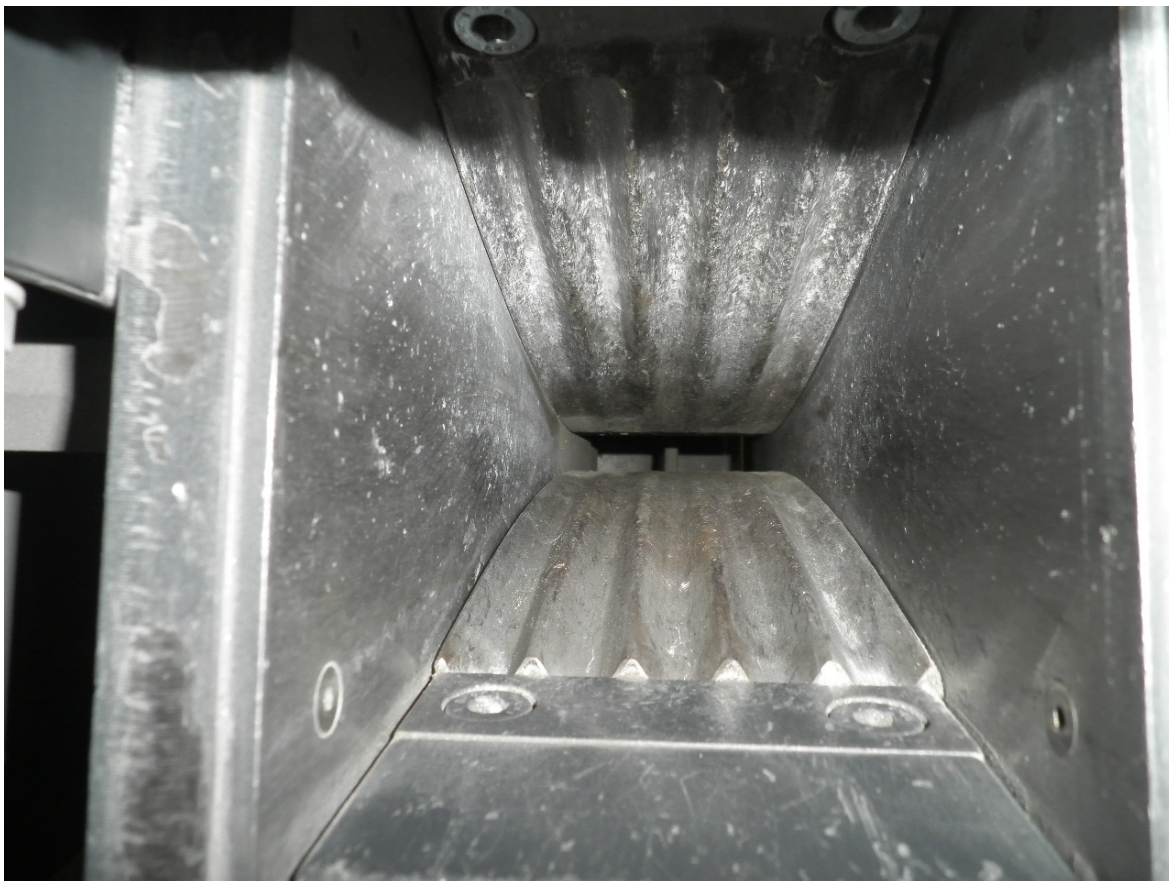
osien toimesta. Puristavat murskaimet perustavat toimintansa puristamiseen, jossa kivi pakotetaan rikkoutumaan puristettaessa sitä voimalla. (Metso Minerals 2008 3-1–3-6.)

Murskaimet voidaan jaotella myös niiden rakenteen mukaan leuka-, kartio-, valssi-, ja iskumurskaimiin. Kaikista edellä mainituista murskaintyypeistä on olemassa erilaisia versioita laitteen tekijän mukaan. (Metso Minerals 2008 3-1–3-6.)

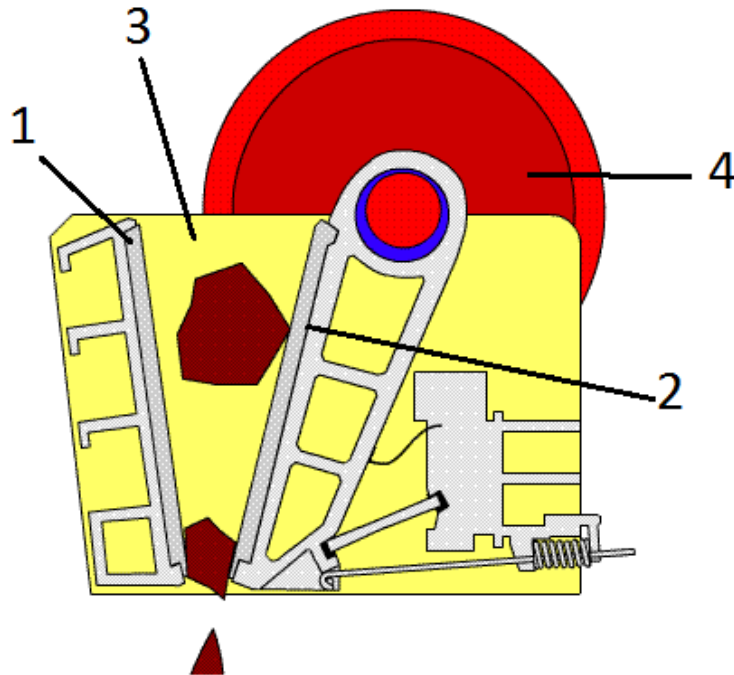
Leukamurskain

Leukamurskaimet ovat yleensä ensimmäisen vaiheen murskaimia ja niiden pääasiallinen tarkoitus on murskata aines sopivan kokoiseksi seuraavaa murskausvaihetta varten. Joissain tapauksissa leukamurskaimen käyttö voi olla mahdollista myös viimeisenä tai ainoana aineksen hienonnutmenetelmänä. (Metso Minerals 2008 3-1.)

Leukamurskaimessa murskaus tapahtuu kahden leuan välissä. Toinen leuoista liikkuu ja toinen on kiinteä. Kiviaines syötetään leukojen väliin, jolloin epäkesko-mekanismien avulla vauhtipyörä alkaa liikuttaa liikkuvaa leukaa ja leukojen väliin jäävä kiviaines murskaantuu. Leuat on päällystetty kovamanganiteräksestä valmistetuilla vaihdettavilla leukalevyillä, jotta ne kestäisivät käytössä tapahtuvaa kulumista paremmin. Kuviossa 1 on nähtävissä kita-aukosta otetusta kuvasta leukamurskaimen leuat. Liikkuvan leuan perääntyessä kivirakeet tippuvat alaspäin, kunnes liikkuva leuka aloittaa jälleen puristuksen ja murskaus jatkuu. Kun murskattavat partikkelit ovat riittävän pieniä, ne putoavat leukojen välistä. Leukamurskaimelle tuleva syöte kulkeutuu leukojen väliin kita-aukon läpi, jolla ilmaistaan, kuinka suuria raekokoja leukamurskaimella voidaan murskata. Kita-aukko on yhtä suuri kuin leukojen suurin avautumisväli. Leukamurskaimelta saatavan tuotteen raekokoa säädellään asetusarvon avulla. Asetusarvo ilmaisee leukojen alareunojen pienimmän etäisyyden toisistaan. Mitä pienempi asetusarvo on sitä hienompaa ainesta syntyy. Leukamurskaimen rakenne on havainnollistettu kuviossa 2. (Oja 2006, 54–55; Wills & Napier-Munn 2006, 118–123.)



KUVIO 1 Leukamurskaimen kita-aukko. (kuva: Juho Pietarila 2012)



KUVIO 2 Leukamurskaimen rakenne: 1. kiinteä leuka 2. liikkuva leuka 3. kita-
aukko 4. vauhtipyörä ja epäkeskomekanismi. (mukaillen Henan Hongji Mine
Machinery CO 2011.)

Rakenteensa johdosta leukamurskain murskaa vain puolet sen toimimastaan ajasta eli vain silloin, kun liikkuva leuka liikkuu kohti kiinteää leukaa. Leukamurskain ei myöskään välttämättä saa murskattua isoja partikkelikokoja riittävän pieneksi yhdellä leukojen liikkeellä, vaan se voi joutua ”puraisemaan” useita kertoja, ennen kuin kiviaines on riittävän pientä läpäisyyn. Tämä hidastaa osaltaan tuotteen läpäisykykyä ja heikentää laitteen tuotantotehoa. Leukamurskain voi tukkeutua, jos kiviainesta syötetään murskaimeen liikaa ja liian nopeasti, partikkelit ovat murskaimelle liian suuria tai leuat eivät saa otetta samankokoisista kivistä. Leukamurskaimella voidaan murskata yksittäisiä partikkeleita, jolloin murskaus tapahtuu pelkästään leukojen voimasta. Yleensä murskaustapahtumassa on kuitenkin useampia partikkeleita, jolloin paitsi leuat, myös murskattavat partikkelit pakottavat toisiinsa murskaantumaan. (Wills 2006, 118–123.)

Leukamurskaimen perusrakenne ja toimintaperiaate on säilynyt kohtuullisen muuttumattomana sen keksimisestä saakka vuodesta 1858. Leukamurskaimet kehitti

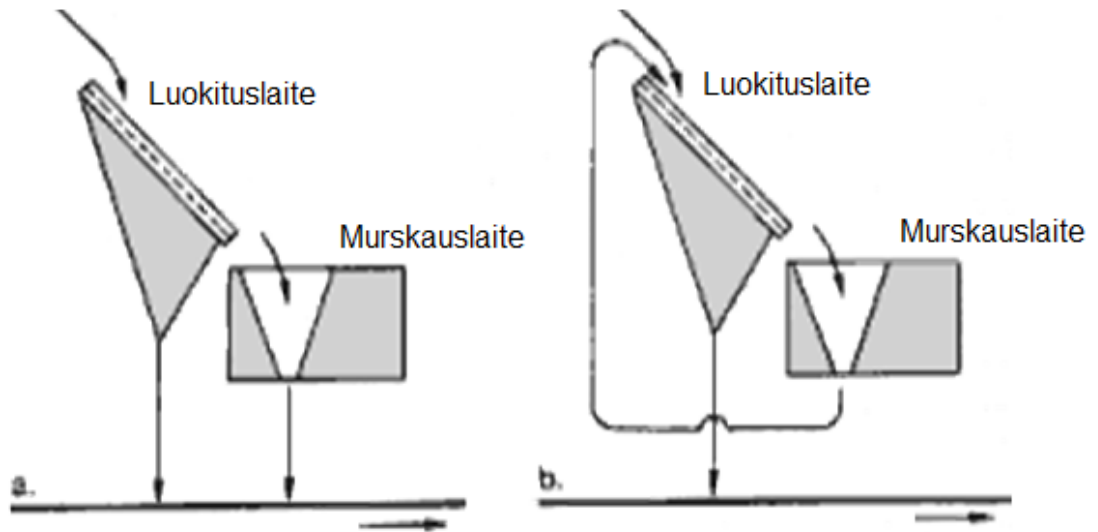
Eli Blake, jonka nimellä varustettuja murskaimia on edelleenkin käytössä. (Wills 2006 118; Jauhiainen 2002.)

3.2 Murskauksen teknologia

Murskaimien lisäksi hienonnuksen kuuluvat olennaisena osana luokittimet, eli luokituslaitteet. Luokituslaitteista eli seuloista ja erottimista kerrotaan tarkemmin tämän opinnäytetyön luvussa 4 Partikkelikoon määrittäminen. Luokituslaitteilla seurataan ja ohjataan murskauksen etenemistä. Murskainten yhteydessä on usein myös muita oheislaitteita, kuten syöttösiiloja, kuljettimia ja pölynpoistolaitteita. (Rahikka 2005, 6–11, 16.)

Kiviaineksen louhinnan jälkeen ensimmäisessä vaiheessa murskaus tapahtuu raskaalla kalustolla, maanalaisessa kaivoksessa maan alla, jotta kiviaines olisi helpposti liikuteltavissa. Ensimmäisen vaiheen murskaus suoritetaan usein siihen erikseen suunnitellulla liikutettavalla kalustolla. Itse kiviaineksen louhinta ja irrotus maaperässä voidaan jo laskea myös ensimmäisen vaiheen murskaukseksi. (Rahikka 2005, 6.)

Toisen ja kolmannen vaiheen murskaukset tapahtuvat yleensä joko suljetussa tai avoimessa murskauspiirissä, eli murskaimen yhteyteen kuuluu luokituslaite. Avoimessa piirissä (KUVIO 3. a-kohta) kiviaines kulkeutuu luokituslaitteeseen ennen murskainta. Luokituslaitteelta tuleva karkea aines jatkaa murskaimelle ja hieno aines jatkaa suoraan eteenpäin prosessissa. Murskaimelta tuote jatkaa, ilman luokitusta, eteenpäin prosessissa. Suljetussa piirissä (KUVIO 3. b-kohta) murskauksesta tuleva tuote palautetaan luokituslaitteelle ja sitä kautta uudelleen murskaukseen, kunnes kaikki aines on läpäissyt luokituslaitteen. (Rahikka 2005, 10–11.) Kuviossa 3 on esitetty sekä avoimen että suljetun murskauspiirin yksinkertaistettu toiminta.



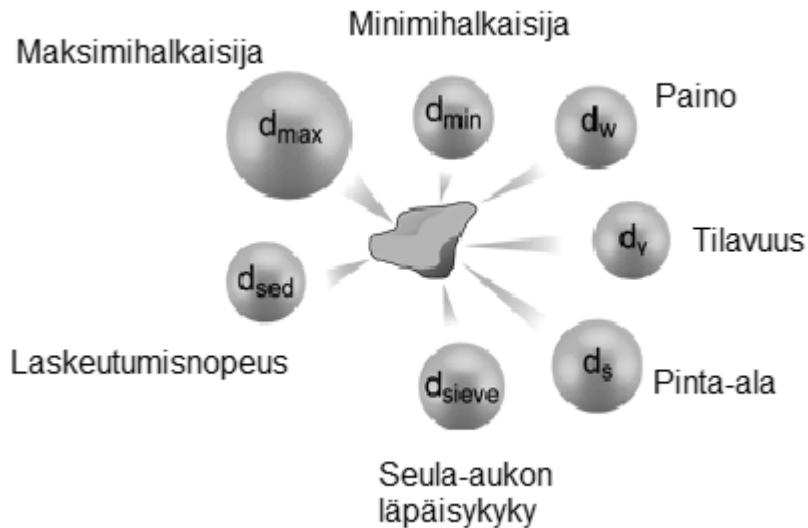
KUVIO 3 a) avoin- ja b) suljettu murskauspiiri. (mukaillen Pihkala 2003.)

Murskauksen eri vaiheiden jälkeen kiviaines kulkeutuu prosessissa yleensä jauhatukseen, jossa raekokoa pienennetään edelleen, tai prosessin mukaan johonkin muuhun jatkokäsittelylaitteeseen. Murskainten kapasiteetti riippuu yleensä murskattavasta aineksestä ja sen ominaisuuksista, murskaimen kulutusosien kunnosta sekä syötön nopeudesta ja tasaisuudesta. Suuri tekijä kapasiteetissa on tietysti annettu asetusarvo, jonka perusteella murskain murskaa partikkelit tietyn kokoisiksi. (Rahikka 2005.)

4 PARTIKKELIKOON MÄÄRITYS

Partikkeli eli aineosanen tai hiukkanen on yksittäinen osa suurempaa partikkeliryhmää. Useista partikkeleista muodostuu partikkeliryhmiä eli esimerkiksi jauhetta. Partikkelikoko on tärkein ja yleisimmin käytetty partikkelia ja partikkeliryhmää kuvaava ominaisuus. Partikkelikokojakaumassa partikkelit on jaettu erilaisiin suuruusluokkiin koon mukaan. Partikkeleita voidaan jaotella myös muiden ominaisuuksien mukaan, kuten muodon, värin, tiheyden, sähköjohtavuuden, magneettisuuden tai radioaktiivisuuden. Partikkelikoon seuranta on tärkeä osa erilaisia prosesseja useilla teollisuudenaloilla. Partikkelin ominaisuuksien perusteella voidaan esimerkiksi kaivosteollisuudessa valita sopivin rikastusmenetelmä. (Allen 1990, 45–51.)

Partikkelikoon mittaamisen tärkein tavoite on ilmoittaa yhdellä numerolla partikkelin mitattu koko. Partikkelikoon määrittämisen ongelmana on kuitenkin partikkelien yleensä epäsäännöllinen kolmiulotteinen muoto. Kooltaan säännöllisten partikkelien mittojen määrittäminen onnistuisi helposti, mutta epäsäännöllisten partikkelien mittauksessa mittausmenetelmällä on suuri rooli. Mittaustekniikkana käytetään yleensä tapaa, joka kuvastaa partikkelin kokoa vastaavaa pallomaista kappaletta. Tämä mittaustapa tulee esille muun muassa aukkoseulonnassa, jossa kokeillaan, minkä kokoisen seula-aukon partikkeli kykenee läpäisemään. Muita partikkelikoon ilmoittamiseen käytettäviä tapoja ovat partikkelin halkaisijan minimi- ja maksimiarvo, tilavuus, paino, pinta-ala ja laskeutumisenopeus. (Malvern Instruments 2012.) Kuviossa 4 on esitetty erilaisia partikkelikoon ilmoittamiseen käytettyjä tapoja, kun vertailukohteena käytetään partikkelia ominaisuuksiltaan vastaavaa palloa.



KUVIO 4 Erilaisia partikkelikoon mittaamiseen ja ilmoittamiseen käytettyjä tapoja, kun vertailukohteena käytetään partikkelia ominaisuuksiltaan vastaavaa palloa. (mukaillen Malvern Instruments 2012.)

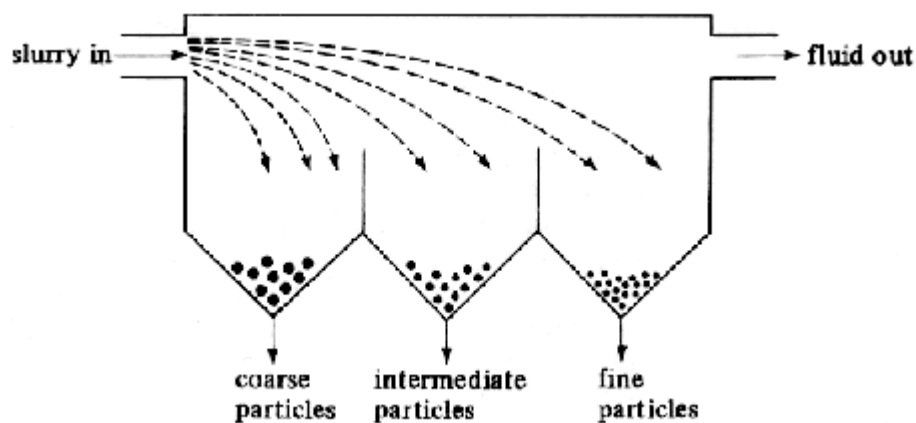
Muodoltaan partikkelit voivat yleensä olla kuutiomaisia tai pyöreitä, pylväs- tai neulamaisia, levymäisiä, laattamaisia, suomumaisia tai epäsäännöllisiä. Partikkelin muoto johtuu yleensä käytettävästä murskaustavasta sekä murskattavien partikkelien ominaisuuksista, kuten lohkeavuudesta ja lohkopintojen sekä lohkosuuntien lujuuksista ja murtumisista. (Hershel Friedman and Minerals.net 1997–2012.)

4.1 Partikkelikokojen mittaus ja erottelu

Partikkelikokojen mittaamiseen ja erotteluun on käytössä useita erilaisia menetelmiä. Menetelmän valintaan vaikuttavat mitattavien partikkelien fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet, käyttäytyminen sekä tulosten tarkkuus ja tarkoitus. Käytettävillä mittaus- ja erottelulaitteilla on eroja valmistajien välillä. Erot voivat syntyä tarkkuudessa, partikkelien käyttäytymisessä laitteessa sekä mittausdatan käsittelyssä. Raekokoanalyseissä yleisimmin käytetyt menetelmät ovat seulonta eli mekaaninen erotus, painovoimainen tai laskeutukseen perustuva jaottelu, Coultermenetelmä sekä optiset ja mikroskooppiset menetelmät. (Oja 2006 16–19.)

4.2 Painovoimainen seuranta

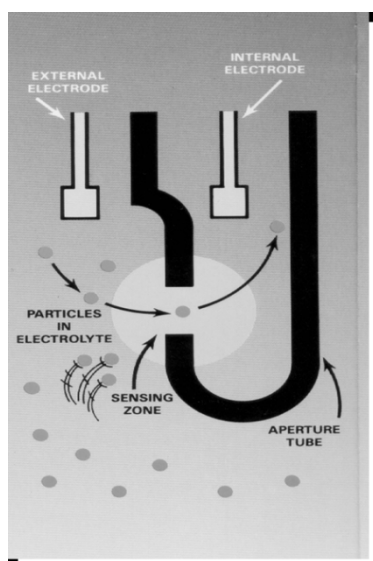
Laskeutusmenetelmässä partikkelit laitetaan laskeutumaan painovoiman tai keskipakovoiman avulla väliaineeseen. Laskeutumisnopeuden perusteella voidaan määrittää partikkelin koko. Laskeutumisnopeus voi riippua myös partikkelien ominaispainon eroista. Laskeutusmenetelmässä täytyy tuntea partikkelien tiheys. Partikkelit laskeutuvat nesteessä sitä hitaammin mitä pienempiä ne ovat. Menetelmän ongelmana voivat olla sen hitaus ja partikkelin muodon vaikutus laskeutumisnopeuteen. Laskeutusmenetelmää käytetään teollisuudessa hyväksi erityisesti partikkelikokojen erottamiseen toisistaan ja nesteestä. (Oja 2006, 16–19.) Painovoimaisesta erottelusta on esimerkki kuviossa 5.



KUVIO 5 Painovoimaisen erottelun käyttö. Kiintoainepartikkeleita sisältävä neste tulee tankkeihin sisään vasemmalta, jolloin partikkelit alkavat laskeutua koostaan riippuvalla nopeudella tietyn säiliön pohjalle ja partikkeliköyhä neste jatkaa matkaa säiliöistä ulos oikealle. (Rensselaer Polytechnic Institute 2012.)

4.3 Coulter-menetelmä

Coulter-menetelmässä partikkelikoon määrittämiseen käytetään sähköä. Menetelmän perusajatuksena on, että sähköä johtamaton partikkeli imetään mittaputken kahden elektrodin välitse nesteessä, jolloin partikkeli tuottaa jännitepulssin, josta voidaan laskea partikkelin koko. Menetelmän ongelmana on saada partikkelit yksi kerrallaan elektrodien väliin. (ImmunoSite Technologies 2010.) Coulter-menetelmän toimintaa havainnollistaa kuvio 6.

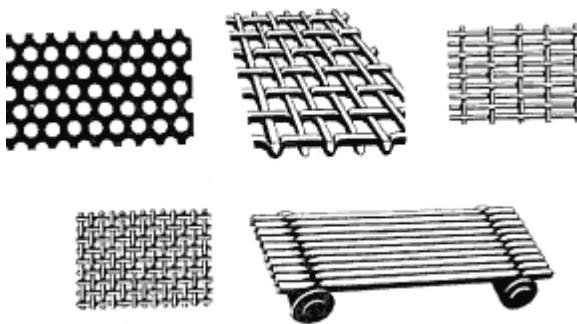


KUVIO 6 Coulter-menetelmä. (IPTFM 2008.)

4.4 Mekaaninen seulonta

Mekaanista seulontaa käytetään yleensä suurempien partikkelikokojen mittaamiseen ja erotteluun. Käytännössä mekaaninen seulonta toimii parhaiten partikkelikokojen ollessa yli 100 μm , mutta märkä- ja ilmaseulonnalla voidaan seuloa myös pienempiä partikkelikokoja. Seulonta voidaan suorittaa kuivana ja märkänä, ja se on yleensä halpa sekä helppo erottelumenetelmä. Seulonnassa partikkelit tuodaan seulapinnalle, joka sisältää seula-aukkoja. Karkea aines jää seulan pinnalle, ja hienempi aines erottuu seula-aukkojen lävitse. Usein seulonnassa käytetään apuna tärytintä, joka saa partikkelit seula-aukolla liikkeeseen, ja näin epäsäännölliset partikkelit pääsevät yrittämään läpäisyä useasta eri kulmasta. Partikkelin seulan läpäisy, seulonnan läpäisykapasiteetti riippuu paitsi partikkelin muodosta, koosta

ja raekokojakaumasta, myös seulonta-ajasta, syöttötavasta ja syötteen määrästä seulalle. Seula-aukon muoto ja seulapinta vaikuttavat osaltaan myös partikkeleiden läpäisyyn (KUVIO 7). Esimerkiksi, jos partikkelit ovat muodoltaan pitkiä saumaisia, aukon muoto on valittava käyttötarkoituksen mukaan eli sen mukaan halutaanko erottelussa ottaa huomioon partikkelin pituus- vai leveysmitta. Partikkeleita, jotka eivät läpäise seulaa, kutsutaan yleensä ylitteeksi, ja partikkeleita, jotka läpäisevät seulan, kutsutaan alitteeksi. Seuloja voidaan käyttää sarjoissa. Seulasarjassa useita seuloja laitetaan päällekkäin, siten että seula-aukoltaan suurin seula on päällimmäisenä ja aukoltaan pienin seula alimmaisena. Seulasarjojen käytöllä erikokoiset partikkelit erottuvat helposti. (Oja 2006, 16–19.) Laboratoriomittakaavan seulasarja ja tärytinlaite on esitetty kuviossa 8.



KUVIO 7 Erilaisia seulapintoja. (Pihkala 2003, 30.)



KUVIO 8 Laboriomittakaavaan tarkoitettu seulasarja, tärytin ja yksittäinen seula. (Retsch. Sieve Shakers 2012.)

Seulontamenetelmät voidaan jakaa kuiva-, märkä-, ilmasuihku-, ja mikroseulontaan. Kuivaseulonta on yleisimmin käytetty tapa. Märkäseulontaa käytetään yleensä materiaaliin, joka sisältää paljon hienoja partikkeleita. Märkäseulonnan tukena voidaan käyttää ilmasuihkuseulontaa, jossa seula-aukoille puhalletaan ilmaa tukkeutumisen estämiseksi. Ilmasuihkuseulonta suoritetaan yhdelle seulalle kerrallaan, ja sen käyttöalue on raekooille 30–100 μm . Kuivaseulontaa käytetään paljon murskaamoilla. (Lukkarinen 1984, 113 & Oja 2006, 16–19.)

4.4.1 Seula-analyysi

Seula-analyysi suoritetaan, jotta oikean kokoiset partikkelit ohjautuisivat murskaukseen ja jauhatukseen. Seula-analyysi antaa tietoa muun muassa raekokojakaumasta ja mahdollisesta eri ainepartikkelien jakautumisesta jakaumassa. Seula-analyysistä voidaan tuottaa seulojen läpäisyä kuvaava taulukko sekä lukua helpottava graafinen kuvaaja. Seula-analyysi tuotetaan yleensä laboratorio-oloissa halutulle suurempaa kokonaisuutta edustavalle näytteelle. (Retsch. Sieving & Fractioning, The Basic Principles of Sieve Analysis 2012.)

4.4.2 Laitteet

Seulatyyppejä on olemassa laaja valikoima useilta laitetuottajilta. Seulatyypin valinta riippuu syötteen määrästä ja käyttötarkoituksesta. Mekaaniset seulat voidaan erotella kuiva- ja märkäseuloihin. Jaottelu voidaan tehdä myös sen mukaan millä tavalla seulottavat rakeet liikkuvat seulapinnalla. Seulat voivat olla kiinteitä ja liikukumattomia seulapintoja, jolloin seulonta tapahtuu painovoiman avulla. Seulapinta voi olla liikkuva. Liikkuvia seulapintatyyppejä ovat tärysäleiköt, epäkesko- ja tasoseulat sekä rumpuseulat. (Metso Minerals 2008, 4-1–4-6.)

Märkäseulonnassa pyritään erottamaan lieju ja hieno aines suuremmista partikkeleista jolloin murskeen jatkokäsittely on helpompaa. Märkäseulonnoissa käytetään yleensä Derrick-seulaa tai kaariseulaa. (Lukkarinen 1984, 133–135). Tärysäleikköjen toiminta perustuu tärisevään seulapintaan, joka painovoimaisesti seuloessaan samalla kuljettaa ylitettä eteenpäin. Seulapinta muodostuu säleiköistä, joka liikkuu täryttimen avulla. (Metso Minerals 2008, 4-1–4-6.)

Epäkeskoseulat ovat seuloja, joiden tärisevä seulapinta on kaltevassa tasossa. Partikkelit seuloutuvat mekaanisesti tuotetun tärinän ja painovoiman vaikutuksesta. Partikkelit myös liikkuvat seulapinnalla eteenpäin tärinän ja painovoiman seurauksesta yleensä pyörien tai joissain tapauksissa heittona. Seulapinnan heittäessä rakeita seulapinnalla eteenpäin voidaan puhua heittoseuloista. Epäkeskoseulan kanssa samankaltainen seulatyyppi on tasoseula. Tasoseulan toimintaperiaate on samankaltainen kuin epäkeskoseulan, mutta tasoseulan seulapinta on suorassa tasossa. Epäkeskoseulojen kaltaiset seulatypit voivat sisältää myös märkäseulonnan, jolloin seulan yläpuolella sijaitsevat vesisuuttimet, joiden vesisuihkut pesevät seulottavia kappaleita. (Metso Minerals 2008, 4-1–4-6.)

Rumpuseulat ovat sylinterimäisiä seuloja. Rumpuseulojen toiminta perustuu rumpun pyörimiseen. Syöte syötetään pyörivään rumpuun ja partikkelit seuloutuvat seinässä sijaitsevan seulapinnan pyöriessä. Rumpuseulan kaltaisia seuloja ovat myös hyrrä- ja keskipakoseulat. (Buhler 2012.)

5 LITIUM

Litium on alkalimetalli. Litiumin kemiallinen merkki on Li. Jaksollisessa järjestelmässä sen järjestysluku on 3, atomimassa 6,941, kiehumispiste 1342 °C ja sulamispiste 180,5 °C. Litium on kemiallisilta ominaisuuksiltaan muiden alkalimetallien kaltainen, eli se reagoi helposti. Litium on metalleista kaikista kevyin ja erittäin pehmeä. (Seppänen, Tiuhonen, Kervinen, Korpela, Mustonen, Haavisto & Soininen 1996, 157.)

Litiumin löysi vuonna 1817 ruotsalainen Johan Afwedson, mutta varsinaisesti puhdasta litiumia onnistuttiin tuottamaan vasta 1855. Litiumia esiintyy luonnossa ainoastaan yhdisteinä. Sitä esiintyy suurissa osissa maapallon maaperää ja hieman merivedessäkin. Yleisimmät sen luonnossa esiintyvistä yhdisteistä ovat lepidoliitti $K(\text{Li}, \text{Al})_3(\text{Al}, \text{Si})_4\text{O}_{10}(\text{F}, \text{OH})_2$, spodumeeni $\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$ ja petaliitti $\text{LiAlSi}_4\text{O}_{10}$. (Hammond 2000, 4–17.)

5.1 Litium luonnossa

Litiumia on rikastunut maailmalla harvoissa paikoissa niin paljon, että se olisi hyödynnettävissä. Litiumia saadaan suolajärvistä Yhdysvalloista, Chilestä sekä Argentiinasta, spodumeeninä sitä esiintyy Kanadassa, Venäjällä, Kiinassa, Australiassa ja Suomessa, lepidoliittina ainoa esiintymä on Portugalissa, ja petaliitti muotoisena litiumia esiintyy Zimbabwessa. (Siren 2011, 5; Hammond 2000, 4–17). Suurimmat litiumesiintymät maailmalla ovat Etelä-Amerikan suolajärvissä. Suolajärvistä litium otetaan talteen haihduttamalla. Talteenottamiseen käytetyt menetelmät eroavat toisistaan riippuen pääasiassa litiumin esiintymismuodon mukaan. (Pöntinen 2010, 34). Ullavassa litium on tarkoitus erottaa kiviaineksesta biokaasun avulla. (Siren 2011, 12.)

Ullavan Längän esiintymä

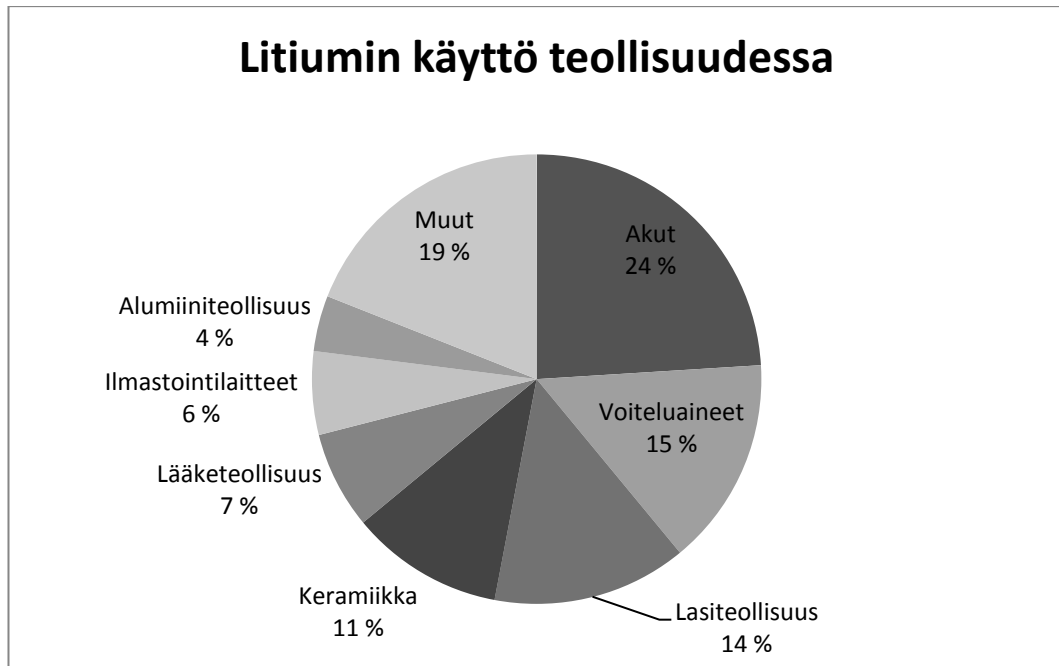
Ullava sijaitsee Keski-Pohjanmaalla Kokkolan ja Kaustisen läheisyydessä. Längtä on Ullavan sivukylä. Kaivosvaltaus Längtässä on kooltaan 37,5 hehtaaria ja sijait-

see noin kahden kilometrin päässä Längän kylästä. Alun perin kaivosvaltaus Längässä kuului Suomen Mineraali Oy:lle 1960-luvulla. Paraisten Kalkkivuori Oy tutki Längän esiintymää ajatuksena aloittaa siellä kaivostoimintaa vuosina 1963–1982, mutta luopui valtauksesta vuonna 1992 litiumin huonon maailmanmarkkinahinnan takia. Vuonna 2000 aloitettiin KeLiBer-projekti, jonka seurauksena kaivostoiminta on alkamassa Längässä. Längän lisäksi lähialueilla on merkittäviä litiumesiintymiä muun muassa Emmeksellä ja Jänislammella. (Keliber. Spodumene deposits and lithium province 2012.)

Längän esiintymässä litium on spodumeenimuodossa. Spodumeeni on pyrokseeniryhmään kuuluva mineraali. Se on väriltään yleensä harmaanvalkea, kellerävä, punertava tai vihertävä. Spodumeeni esiintyy graniittipegmanenteissa kiteinä. Längän esiintymä kuuluu Suomen tärkeimpään esiintymään Kruunupyyn–Ullavan alueella. (Grönholm, Alviola, Kinnunen, Kojonen, Kärkkäinen & Mäkitie 2009, 30.)

5.2 Litiumin käyttö

Litiumia alettiin tuottaa teollisesti vuonna 1923. Toisen maailmansodan aikana litiumin käyttö yleistyi voiteluaineissa ja sen tuotanto lisääntyi merkittävästi. 1960-luvulla litiumia käytettiin vetypohjaisten ydinpommien tuotantoon Yhdysvalloissa. Viimeisien vuosikymmenien aikana litiumia on alettu hyödyntää lisäksi muun muassa lasi-, keramiikka-, alumiini-, lääke- ja kumiteollisuudessa (KUVIO 9). (Keliber. Application of lithium 2012.)



KUVIO 9 Litiumin käyttökohteet eri teollisuudenaloilla vuonna 2007. (Keliber. Application of lithium 2012.)

Tällä hetkellä litiumin suurimmat käyttökohteet liittyvät akkuteollisuuteen. Matkapuhelimien akut sisältävät kaikki litiumia, ja kannettavien tietokoneiden akuista 90 % on litium-ioniakkuja. (Keliber. Application of lithium 2012). Litiumin tulevaisuuteen liittyvät läheisesti sähköautojen yleistyminen. Sähköautojen lisäksi litiumakkujen käyttö tulevaisuudessa voi kattaa kaikki akuilla toimivat laitteet, kuten esimerkiksi kamerat, puhelimet, erilaiset musiikkisoittimet, pelilaitteet ja ohjaimet, navigaattorit, johdottomat työkalut, pölynimurit, polkupyörät, skootterit ja useat muut sovellukset. (Siren 2011, 8).

6 KOKEELLINEN OSUUS

Työn kokeellisessa osuudessa suoritettiin toimeksiantajan tilaamia murskauskokeita ja niihin liittyviä raekokomäärityksiä. Murskauskokeet ja seulonnat suoritettiin Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulun tekniikan yksikön laboratoriotiloissa Kokkolassa. Työssä keskityttiin murskatun kiviaineksen raekokojakaumaan sekä murskaukseen käytetyn energian seurantaan.

6.1 Työn tavoitteet ja lähtökohdat

Käytännön osuutta alettiin suunnitella tammikuussa 2012. Työn toteuttamistapa suunniteltiin haluttujen murskausten, seulontojen ja talteenottojen pohjalta. Tutkimus tuli tehdä, jotta nähtäisiin onko kiviaineksen murskaus ja jatkoprosessointi mahdollista suorittaa pelkästään leukamurskaimilla ilman muita hienonnumenetelmiä tai vähentää jauhatuksen tarvetta prosessissa. Leukamurskaimen käyttö olisi suotuisampaa verrattuna useisiin muihin hienonnumenetelmiin energiatehokkuutensa vuoksi.

Työssä ajatuksena oli suorittaa leukamurskaimella murskauksia erilaisilla leukaväleillä Ullavan Läntästä saadulle kiviainekselle ja sen erilaisille partikkelikooille ja seurata leukamurskaimen energiankulutusta. Pääasiallinen tavoite oli tutkia, millä tavoin murskattaessa syntyy kaikkein vähiten hienoa kiviainesta, eli raekooltaan alle 0,5 millimetriä, ja miten syntyy eniten haluttua raekokoa, eli 0,5–2,0 millimetriä. Työssä pyrittiin löytämään optimaalisin leukaväli, jolla haluttua ainesta syntyisi mahdollisimman paljon ja hienoa ainesta mahdollisimman vähän. Lisäksi murskauksista tehtiin muiltakin osin raekokoanalyysit. Työssä oli ajatuksena seurata myös leukamurskaimen energiankulutusta murskattaessa kyseessä olevaa kiviainesta.

Työssä tulnaisiin suorittamaan useita samankaltaisia koeajoja, jotta saadut tulokset olisivat mahdollisimman luotettavia. Murskauksista saatu raekokoanalysoitu kiviaines otettaisiin talteen ja kategorisoitaisiin mahdollisia jatkotutkimuksia varten.

Lähtökohtaisesti työlle suunniteltiin murskaussuunnitelma sekä päätettiin käytettävien seulojen tiheydet. Lisäksi suunniteltiin talteenotto ja kategoriointi, jotta murskauksista saatavat näytteet olisivat jatkotutkimuksissa käytettävissä.

6.2 Koejärjestelyt ja laitteet

Työ suoritettiin Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulun tekniikan ja liiketalouden yksikön laboratoriossa. Työssä käytetty kiviaines oli peräisin Ullavan Längän esiintymästä. Kivet olivat ennen murskauksia vaihtelevaa raekokoa. Murskattavien kivien raekoko vaihteli noin 2–80 millimetriä. Kiviaineksesta pestiin ennen kokeiden aloittamista käsipesuna hienoaines pois vedellä. Käytettävää kiviainesta on esillä kuviossa 10.



KUVIO 10 Koejärjestelyissä käytettävää kiviainesta. (kuva: Juho Pietarila 2012)

Käytössä olivat ammattikorkeakoulun laitteet. Murskaimena toimi leukamurskain Retsch. Murskaimen leukaväli oli muunneltavissa välillä 0–50 mm. Murskaimen leukaväliä ilmoittavan kiinteän mittayksikön lisäksi leukaväli tarkistettiin pienillä leukaväleillä murskattaessa metalliliuskoin. Tietyn kokoinen metalliliuska laitettiin murskaimen leukojen väliin, jolloin nähtiin, pitääkö kiinteä mittayksikkö paikkaansa. Murskaimen leuat olivat kuvioltaan niin sanotut normaalit sahalaitakuvioidet. Leuat olivat kuitenkin kohtuullisen kuluneet. Leukojen kuvio ja kunto on nähtävissä kuviossa 1 sivulla 6. Punnitukset suoritettiin Sartorius-merkkisellä vaa’alla, jonka mittaussväli oli 0–6200 grammaa ja tarkkuus 0,1 grammaa. Seulonnoissa käytettiin seulatärytintä sekä seulasarjaa. Seulatärytin oli malliltaan Retsch AS 300. Seulasarja oli Retschn, ja siihen kuului seulat, joiden tiheydet olivat 0,5, 2, 3,35, 4,75 ja 5,6 millimetriä. Murskatut kivet otettiin talteen muovisiin minigrip-pusseihin. Lisäksi apuna oli erilaisia mittakuppeja, joilla kiviaines siirrettiin murskaimelta seulontaan ja seulonnasta talteenottoon. Laitteet ja mittakupit puhdistettiin ennen kokeiden aloitusta huolellisesti, jottei mahdollisia ylimääräisiä sivukiviä pääsisi lopputuotteen. Työn aikana käytettiin tarvittavia suojavarusteita.

6.3 Työn suoritus

Ennen murskauskokeiden aloittamista kiviaineksesta pestiin hienoaines pois vedellä sekä poistettiin partikkelikokoa alle 1 mm olevat kivet silmämääräisesti ja pesun avulla. Kiviainekseen oli lisätty selvästi erotettavaa mustaa sivukiveä. Sivukivi valikoitiin käytettävästä kiviaineksesta pois. Murskaukset aloitettiin vasta kiviaineksen kuivuttua. Kaikissa koeajoissa käytettiin aloitusmääränä 1000 grammaa kiviainesta. Jokainen koeajo suoritettiin neljään erilliseen kertaan, jotta tuloksista saataisiin luotettavia. Murskausten aikana huolehdittiin leukamurskaimen sekä käytettävien seulojen siisteydestä, jotta ylimääräinen muualta näytteisiin kulkeutuva kiviaines olisi minimissä. Pienillä leukaväleillä, alle 5 mm, murskattaessa suoritettiin ennen murskauksen aloittamista leukojen tarkistusmittaukset.

Seulonta-aika ja seulatäryttimen tärytysvoimakkuus olivat kaikissa seulonnoissa vakiot. Seulonta-aika oli 1 min ja tärytysvoimakkuus eli värähtelyliike 100 mm/g. Kaikkien seulontojen jälkeen erilleen saadut raekoot pussitettiin erilleen ja punnittiin vaa’alla.

Murskaus aloitettiin leukavälillä 15 mm. Murskauksen jälkeen tehtiin seulonta halutulle raekoolle (0,5–2,0 mm) sekä hienolle ainekselle (< 0,5 mm). Haluttu ja hieno aines otettiin erilleen talteen, pakattiin muoviseen pussiin, merkittiin mistä näytteistä on kyse ja punnittiin. Ylite, eli raekooltaan yli 2,0 mm, murskattiin 10 mm:n leukavälillä ja suoritettiin samankaltainen seulonta, punnitus ja talteenotto halutulle sekä hienolle ainekselle kuin aiemmin. Ylite eli jäljelle jäänyt kiviaines murskattiin seuraavaksi 5 mm:n leukavälillä. 5 mm:n murskauksen jälkeen suoritettiin kiviainekselle seulonta ja punnitus, siten että saatiin kattavampi kuva kiviaineksen raekokojakaumasta. Seulonta suoritettiin käyttämällä seuloja tiheyksiltään 0,5, 2,0, 3,35, 4,75 ja 5,6 mm. Talteenotto ja punnitus suoritettiin halutulle raekoolle (0,5–2,0 mm) sekä hienolle ainekselle (< 0,5 mm). Yli 2,0 mm raekooltaan olevat partikkelit otettiin seulonnan ja punnituksen jälkeen myös talteen seuraavaa työvaihetta varten.

Seuraavaksi suoritettiin jäljelle jääneelle ylitteelle murskaus leukavälillä 3,5 mm. Seulontaan käytettiin kolmea seulaa, joiden tiheydet olivat 0,5 mm, 2,0 mm ja 3,35 mm. Näin saatiin raekokojakauma alle 0,5 mm, 0,5–2,0 mm, 2,0–3,35 mm ja yli 3,35 mm. Talteenotto tapahtui halutulle (partikkelikoko 0,5–2,0 mm) sekä hienolle ainekselle (partikkelikoko < 0,5 mm). Kaikki saadut raekoot punnittiin erikseen. Jäljelle jääneet yli 2,0 mm raekooltaan olevat partikkelit sekoitettiin ja murskattiin 2 mm:n leukavälillä. Murskauksen jälkeen suoritettiin edellisen kaltainen seulonta ja punnitus. Talteenotto tapahtui erikseen kaikille saaduille partikkelikooille eli alle 0,5 mm, 0,5–2,0 mm, 2,0–3,35 mm ja yli 3,35 mm.

Työvaiheet ovat helpoimmin ilmoitettavissa luettelona:

- murskaus 15 mm leukavälillä
- seulonta alle 0,5 mm sekä 0,5–2,0 mm, talteenotto tehtiin molemmille em. raeko’oille. Punnitus suoritettiin kaikille saaduille raekooille
- edellisen murskauksen ylitteen, partikkelikoko yli 2,0 mm, murskaus 10 mm:n leukavälillä
- seulonta alle 0,5 mm sekä 0,5–2,0 mm, talteenotto tehtiin molemmille em. raeko’oille. Punnitus suoritettiin kaikille saaduille raekooille

- edellisen murskauksen ylitteen, partikkelikoko yli 2,0 mm, murskaus 5 mm:n leukavälillä
- seulonta alle 0,5 mm, 0,5–2,0 mm, 2,0–3,35 mm, 3,35–4,75 mm, 4,75–5,6 ja yli 5,6 mm, talteenotettiin erilleen alle 0,5 mm sekä 0,5–2,0 mm. Punnitus suoritettiin kaikille saaduille raeko'oilte
- edellisen murskauksen ylitteen, partikkelikoko yli 2,0 mm, murskaus 3,5 mm:n leukavälillä
- seulonta alle 0,5 mm, 0,5–2,0 mm, 2,0–3,35 mm ja yli 3,35, talteenotettiin erilleen alle 0,5 mm sekä 0,5–2,0 mm. Punnitus suoritettiin kaikille saaduille raeko'oilte
- edellisen murskauksen ylitteen, partikkelikoko yli 2,0 mm, murskaus 2 mm:n leukavälillä
- seulonta alle 0,5 mm, 0,5–2,0 mm, 2,0–3,35 mm ja yli 3,35, talteenotettiin erilleen kaikki saadut raekoot. Punnitus suoritettiin kaikille saaduille raeko'oilte

Leukavälillä 5 millimetriä murskattua kiviainesta on kuvattuna kuviossa 11. Seulonnasta saatua haluttua partikkelikokoa, 0,5–2,0 mm on esitettyä kuviossa 12.



KUVIO 11 Leukavälillä 5 millimetriä murskattua kiviainesta. Kiviaines on kuvassa murskaimen tuotteen keräimessä. (kuva: Juho Pietarila 2012.)



KUVIO 12 Leukavälillä 5 mm murskattua ja seulottua kiviainesta. Partikkelikoko on 0,5–2,0 mm eli koeajoissa tavoitteena olevaa kokoa. Kuvassa kiviaines on seulan päällä (kuva: Juho Pietarila 2012).

6.4 Näytteiden talteenotto

Talteenotto tapahtui muovisiin minigrip-pusseihin. Jokaisella talteenotetulla näytteellä on oma näytekoodinsa, jonka avulla se on tunnistettavissa mahdollisissa myöhemmissä työvaiheissa. Näytekoodi ilmoittaa leukavälin, jolla näyte on murskattu, koeajon, johon näyte liittyy, sekä näytteen raekoon. Leukavälit joilla murskauksia suoritettiin olivat, 15, 10, 5, 3,5 ja 2 millimetriä. Koeajot suoritettiin neljä kertaa ja tämä ilmoitetaan näytteissä kirjaimin A, B, C ja D, sen mukaan mihin koeajoon näyte liittyy. Näytekoodissa ilmoitettu raekoko on saatu seulonnalla.

Näytekoodi voi olla esimerkiksi 15B0–0,5. Esimerkissä ensimmäisenä esiintyvä luku 15 ilmaisee käytetyn leukavälin eli 15 mm, kirjain B kertoo näytteen liittyvän koeajoon B ja lopun 0–0,5 ilmaisee näytteen olevan raekooltaan 0–0,5 millimetriä. Saaduista näytteistä on erillinen kaikki näytteet kattava näyteluettelo liitteenä 2.

7 TULOKSET

Koeajoista saadut tulokset ovat ensin esitettynä erikseen jokaiselle koeajolle. Koeajoista on nähtävillä myös eri koeajojen yhdistetyt tulokset ja lasketut keskiarvot luvussa 7.5.

7.1 Koeajo A

Taulukoissa 1–3 on esitetty koeajojen A tulokset.

TAULUKKO 1 Seulontatulokset hienolle ja halutulle ainekselle, kun leukamurskaimen leukaväli murskattaessa oli 15, 10 ja 5 mm.

| Leukaväli (mm) | Raekoko (mm) | Näytekoodi | Paino (g) | Osuus (%) |
|----------------|--------------|------------|-----------|-----------|
| 15 | 0–0,5 | 15A0-0,5 | 17,7 | 1,77 |
| 15 | 0,5–2,0 | 15A0,5-2,0 | 29,4 | 2,94 |
| 10 | 0–0,5 | 10A0-0,5 | 14,3 | 1,43 |
| 10 | 0,5–2,0 | 10A0,5-2,0 | 25,8 | 2,58 |
| 5 | 0–0,5 | 5A0-0,5 | 40,4 | 4,04 |
| 5 | 0,5–2,0 | 5A0,5-2,0 | 81,4 | 8,14 |
| 5 | yli 2,0 | 5A2,0-5,0 | 789,0 | 78,9 |
| | | yhteensä | 998 | 99,8 |
| | | hukkaan | 2,0 | 0,2 |

TAULUKKO 2 Raekokojakauma leukavälillä 5 mm murskatulle ylitteelle (yli 2,0 mm).

| Raekoko (mm) | Paino (g) | Osuus (%) |
|--------------|-----------|-----------|
| 2,0–3,35 | 118,3 | 14,99 |
| 3,35–4,75 | 140,9 | 17,86 |
| 4,75–5,6 | 140,5 | 17,81 |
| yli 5,6 | 389,3 | 49,34 |
| yhteensä | 789,0 | 100 |

TAULUKKO 3 Raekokojakaumat leukaväleillä 3,5 ja 2 mm murskatulle kiviainek-
selle.

| Leukaväli (mm) | Raekoko (mm) | Näytekoodi | Paino (g) | Osuus (%) |
|-------------------|-----------------|-------------|--------------|--------------|
| 3,5 | 0–0,5 | 3,5A0-0,5 | 17,7 | 1,77 |
| 3,5 | 0,5–2,0 | 3,5A0,5-2,0 | 43,6 | 4,36 |
| 3,5 | 2,0–3,35 | ei näytettä | 156,9 | 15,69 |
| 3,5 | yli 3,35 | ei näytettä | 570,1 | 57,01 |
| 2 | 0–0,5 | 2A0-0,5 | 71,7 | 7,17 |
| 2 | 0,5–2,0 | 2A0,5-2,0 | 277,9 | 27,79 |
| 2 | 2,0–3,35 | 2A2,0-3,35 | 301,9 | 30,19 |
| 2 | yli 3,35 | 2Ayli3,35 | 74,8 | 7,48 |
| | | yhteensä | 787,6 | |
| | | hukkaan | 1,4 | |

7.2 Koeajo B

Taulukoissa 4–6 on esitetty koeajon B tulokset.

TAULUKKO 4 Seulontatulokset hienolle ja halutulle ainekselle, kun leukamurskai-
men leukaväli murskattaessa oli 15, 10 ja 5 mm.

| Leukaväli (mm) | Raekoko (mm) | Näytekoodi | Paino (g) | Osuus (%) |
|-------------------|-----------------|------------|--------------|--------------|
| 15 | 0–0,5 | 15B0-0,5 | 11,3 | 1,13 |
| 15 | 0,5–2,0 | 15B0,5-2,0 | 18,6 | 1,86 |
| 10 | 0–0,5 | 10B0-0,5 | 15,7 | 1,57 |
| 10 | 0,5–2,0 | 10B0,5-2,0 | 26,0 | 2,60 |
| 5 | 0–0,5 | 5B0-0,5 | 43,5 | 4,35 |
| 5 | 0,5–2,0 | 5B0,5-2,0 | 89,0 | 8,90 |
| 5 | yli 2,0 | 5B2,0-5,0 | 794,2 | 79,42 |
| | | yhteensä | 998,3 | 99,83 |
| | | hukkaan | 1,7 | 0,17 |

TAULUKKO 5 Raekokojakauma leukavälillä 5 mm murskatulle ylitteelle (yli 2,0 mm).

| Raekoko (mm) | Paino (g) | Osuus (%) |
|--------------|-----------|-----------|
| 2,0–3,35 | 135,1 | 17,01 |
| 3,35–4,75 | 202,0 | 25,43 |
| 4,75–5,6 | 161,3 | 20,31 |
| yli 5,6 | 295,8 | 37,25 |
| yhteensä | 794,2 | 100 |

TAULUKKO 6 Raekokojakaumat leukaväleillä 3,5 ja 2 mm murskatulle kiviainekselle.

| Leukaväli (mm) | Raekoko (mm) | Näyttekoodi | Paino (g) | Osuus (%) |
|----------------|--------------|-------------|-----------|-----------|
| 3,5 | 0–0,5 | 3,5B0-0,5 | 8,0 | 0,80 |
| 3,5 | 0,5–2,0 | 3,5B0,5-2,0 | 25,4 | 2,54 |
| 3,5 | 2,0–3,35 | ei näytettä | 147,8 | 14,78 |
| 3,5 | yli 3,35 | ei näytettä | 612,0 | 61,20 |
| 2 | 0–0,5 | 2B0-0,5 | 79,6 | 7,96 |
| 2 | 0,5–2,0 | 2B0,5-2,0 | 307,4 | 30,74 |
| 2 | 2,0–3,35 | 2B2,0-3,35 | 305,5 | 30,55 |
| 2 | yli 3,35 | 2Byli3,35 | 65,8 | 6,58 |
| | | yhteensä | 791,7 | |
| | | hukkaan | 2,5 | |

7.3 Koeajo C

Taulukoissa 7–9 on esitetty koeajon C tulokset.

TAULUKKO 7 Seulontatulokset hienolle ja halutulle ainekselle, kun leukamurskaimen leukaväli murskattaessa oli 15, 10 ja 5 mm.

| Leukaväli (mm) | Raekoko (mm) | Näytekoodi | Paino (g) | Osuus (%) |
|----------------|--------------|------------|-----------|-----------|
| 15 | 0–0,5 | 15C0-0,5 | 10,5 | 1,05 |
| 15 | 0,5–2,0 | 15C0,5-2,0 | 17,5 | 1,75 |
| 10 | 0–0,5 | 10C0-0,5 | 17,5 | 1,75 |
| 10 | 0,5–2,0 | 10C0,5-2,0 | 31,9 | 3,19 |
| 5 | 0–0,5 | 5C0-0,5 | 49,9 | 4,99 |
| 5 | 0,5–2,0 | 5C0,5-2,0 | 97,0 | 9,7 |
| 5 | yli 2,0 | 5C2,0-5,0 | 773,9 | 77,39 |
| | | yhteensä | 998,2 | 99,82 |
| | | hukkaan | 1,8 | 0,18 |

TAULUKKO 8 Raekokojakauma leukavälillä 5 mm murskatulle ylitteelle (yli 2,0 mm).

| Raekoko (mm) | Paino (g) | Osuus (%) |
|--------------|-----------|-----------|
| 2,0–3,35 | 138,6 | 17,91 |
| 3,35–4,75 | 211,1 | 27,28 |
| 4,75–5,6 | 163,8 | 21,17 |
| yli 5,6 | 260,4 | 33,65 |
| yhteensä | 773,9 | 100 |

TAULUKKO 9 Raekokojakaumat leukaväleillä 3,5 ja 2 mm murskatulle kiviainekselle.

| Leukaväli (mm) | Raekoko (mm) | Näytekoodi | Paino (g) | Osuus (%) |
|----------------|--------------|-------------|-----------|-----------|
| 3,5 | 0–0,5 | 3,5C0-0,5 | 7,6 | 0,76 |
| 3,5 | 0,5–2,0 | 3,5C0,5-2,0 | 28 | 2,8 |
| 3,5 | 2,0–3,35 | ei näytettä | 161,3 | 16,13 |
| 3,5 | yli 3,35 | ei näytettä | 576,2 | 57,62 |
| 2 | 0–0,5 | 2C0-0,5 | 78,3 | 7,83 |
| 2 | 0,5–2,0 | 2C0,5-2,0 | 300,6 | 30,06 |
| 2 | 2,0–3,35 | 2C2,0-3,35 | 297,7 | 29,77 |
| 2 | yli 3,35 | 2Cyli3,35 | 59,7 | 5,97 |
| | | yhteensä | 771,9 | |
| | | hukkaan | 2,0 | |

7.4 Koeajo D

Taulukoissa 10–12 on esitetty koeajon D tulokset.

TAULUKKO 10 Seulontatulokset hienolle ja halutulle ainekselle, kun leukamurskaimen leukaväli murskattaessa oli 15, 10 ja 5 mm.

| Leukaväli (mm) | Raekoko (mm) | Näytekoodi | Paino (g) | Osuus (%) |
|----------------|--------------|------------|-----------|-----------|
| 15 | 0–0,5 | 15D0-0,5 | 15,9 | 1,59 |
| 15 | 0,5–2,0 | 15D0,5-2,0 | 21,9 | 2,19 |
| 10 | 0–0,5 | 10D0-0,5 | 26,6 | 2,66 |
| 10 | 0,5–2,0 | 10D0,5-2,0 | 50,7 | 5,07 |
| 5 | 0–0,5 | 5D0-0,5 | 41,2 | 4,12 |
| 5 | 0,5–2,0 | 5D0,5-2,0 | 86,0 | 8,6 |
| 5 | yli 2,0 | 5D2,0-5,0 | 756,1 | 75,61 |
| | | yhteensä | 998,4 | 99,84 |
| | | hukkaan | 1,6 | 0,16 |

TAULUKKO 11 Raekokojakauma leukavälillä 5 mm murskatulle ylitteelle (yli 2,0 mm).

| Raekoko (mm) | Paino (g) | Osuus (%) |
|--------------|-----------|-----------|
| 2,0–3,35 | 158,0 | 20,90 |
| 3,35–4,75 | 223,0 | 29,49 |
| 4,75–5,6 | 153,9 | 20,35 |
| yli 5,6 | 221,2 | 29,26 |
| yhteensä | 756,1 | 100,00 |

TAULUKKO 12 Raekokojakaumat leukaväleillä 3,5 ja 2 mm murskatulle kiviainekselle.

| Leukaväli (mm) | Raekoko (mm) | Näytekoodi | Paino (g) | Osuus (%) |
|----------------|--------------|-------------|-----------|-----------|
| 3,5 | 0–0,5 | 3,5D0-0,5 | 7,6 | 0,76 |
| 3,5 | 0,5–2,0 | 3,5D0,5-2,0 | 25,2 | 2,52 |
| 3,5 | 2,0–3,35 | ei näytettä | 168,5 | 16,85 |
| 3,5 | yli 3,35 | ei näytettä | 553,9 | 55,39 |
| 2 | 0–0,5 | 2D0-0,5 | 78,5 | 7,85 |
| 2 | 0,5–2,0 | 2D0,5-2,0 | 311,8 | 31,18 |
| 2 | 2,0–3,35 | 2D2,0-3,35 | 280,0 | 28,0 |
| 2 | yli 3,35 | 2Dyli3,35 | 50,7 | 5,07 |
| | | yhteensä | 753,8 | |
| | | hukkaan | 2,3 | |

7.5 Yhdistetyt tulokset

Taulukoissa 13–16 on yhdistetty tulokset koeajoista A, B, C ja D.

TAULUKKO 13 Murskauksista leukaväleillä 15,10 ja 5 mm, kun tuloksissa on yhdistetty koeajot A, B, C ja D seulonnoista saadut raekokokeskiarvot.

| Leukaväli (mm) | Raekoko (mm) | Paino keskiarvo (g) | Keskiarvo osuus (%) |
|----------------|--------------|---------------------|---------------------|
| 15 | 0-0,5 | 13,9 | 1,4 |
| 15 | 0,5-2,0 | 21,9 | 2,2 |
| 10 | 0-0,5 | 18,5 | 1,9 |
| 10 | 0,5-2,0 | 33,6 | 3,4 |
| 5 | 0-0,5 | 43,8 | 4,4 |
| 5 | 0,5-2,0 | 88,4 | 8,8 |
| 5 | yli 2,0 | 778,3 | 77,8 |
| | Hukkaan | 1,8 | 0,2 |
| | Yhteensä | 1000,0 | 100,0 |

TAULUKKO 14 Keskiarvoinen raekojakauma, koeajoille A, B, C ja D, leukavälillä 5 mm murskatulle ylitteelle (yli 2,0 mm).

| Raekoko (mm) | Paino keskiarvo (g) | Keskiarvo osuus (%) |
|--------------|---------------------|---------------------|
| 2,0-3,35 | 137,5 | 17,7 |
| 3,35-4,75 | 194,3 | 25,0 |
| 4,75-5,6 | 154,9 | 19,9 |
| yli 5,6 | 291,7 | 37,4 |
| yhteensä | 778,3 | 100,0 |

TAULUKKO 15 Keskiarvoiset raekokojakaumat leukavälillä 3,5 mm murskatulle kiviainekselle.

| Leukaväli (mm) | Raekoko (mm) | Paino keskiarvo (g) | Keskiarvo osuus (%) |
|----------------|--------------|---------------------|---------------------|
| 3,5 | 0-0,5 | 10,2 | 1,3 |
| 3,5 | 0,5-2,0 | 30,6 | 3,9 |
| 3,5 | 2,0-3,35 | 158,6 | 20,4 |
| 3,5 | yli 3,35 | 578,1 | 74,3 |
| | Hukkaan | 0,9 | 0,1 |
| | Yhteensä | 778,3 | 100,0 |

TAULUKKO 16 Keskiarvoiset raekokojakaumat leukavälillä 2 mm murskatulle kiviainekselle.

| Leukaväli (mm) | Raekoko (mm) | Paino Keskiarvo (g) | Keskiarvo osuus (%) |
|----------------|--------------|---------------------|---------------------|
| 2 | 0-0,5 | 77,0 | 10,4 |
| 2 | 0,5-2,0 | 299,4 | 40,6 |
| 2 | 2,0-3,35 | 296,3 | 40,2 |
| 2 | yli 3,35 | 62,8 | 8,5 |
| | Hukkaan | 1,2 | 0,2 |
| | Yhteensä | 736,7 | 100 |

7.6 Tulosten tarkastelu

Kun kaikkien murskausten ja seulontojen jälkeen talteenotettujen näytteiden painot lasketaan yhteen ja muodostetaan niistä taulukko, voidaan tarkastella syntyneitä raekokoja (TAULUKKO 17).

TAULUKKO 17 Kaikki suoritetuissa murskauksissa syntyneet raekoot.

| Raekoko (mm) | Paino (g) | Paino keskiarvo (g) | Keskiarvo osuus (%) |
|--------------|-----------|---------------------|---------------------|
| 0-0,5 | 653,5 | 163,4 | 16,3 |
| 0,5-2,0 | 1895,1 | 473,8 | 47,4 |
| yli 2,0 | 1436,1 | 359,0 | 35,9 |
| Hukkaan | 15,3 | 3,8 | 0,4 |
| Yhteensä | 4000 | 1000 | |

Taulukosta nähdään, että haluttua ainesta syntyi yhteensä 1895,1 grammaa, eli 47,4 % syötetystä kivimäärästä, kun kiviainesta murskattiin leukaväleillä 15, 10, 5, 3,5 ja 2 millimetriä. Tämä kuitenkin vaatii halutun raekoon seulonnan ja talteenoton jokaisen murskauksen jälkeen. Hienoa ainesta syntyi murskauksissa yhteensä 653,5 g eli 16,3 % syötetystä kiviainemäärästä. Yli 2,0 mm:n raekoko oli murskausten jälkeen jäljellä yhteensä 1436,1 grammaa, eli 35,9 % murskatusta kiviainemäärästä.

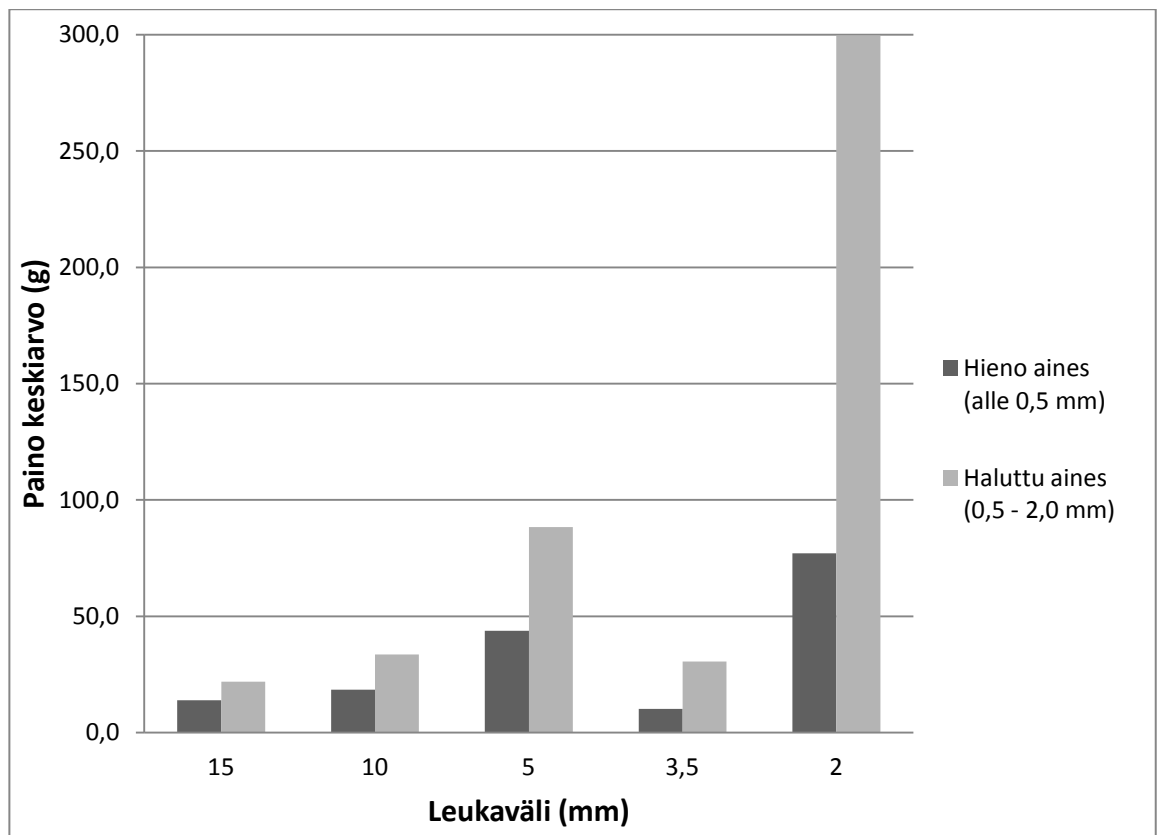
Murskausten ja seulontojen aikana hukkaan meni yhteensä 15,3 grammaa kiviainesta. Hukkaan mennyt kiviaines on luultavasti hävinnyt murskauspölynä ilmaan, jäänyt leukamurskaimen sisuksiin pölynä tai kadonnut käsiteltäessä kiviä eri vaiheiden välissä. Hukatun kiviaineksen määrä on kuitenkin todella pieni.

Hienon ja halutun aineksen syntymistä vertailtaessa on helpointa seurata seuraavaa taulukkoa 18.

TAULUKKO 18

| Leukaväli (mm) | Hieno kiviaines (alle 0,5 mm) | | Haluttu kiviaines (0,5–2,0 mm) | |
|----------------|-------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|
| | Paino keskiarvo (g) | %-osuus murskatusta kiviaineksesta | Paino keskiarvo (g) | %-osuus murskatusta kiviaineksesta |
| 15 | 13,9 | 1,4 | 21,9 | 2,2 |
| 10 | 18,5 | 1,9 | 33,6 | 3,5 |
| 5 | 43,8 | 4,8 | 88,4 | 9,7 |
| 3,5 | 10,2 | 1,3 | 30,6 | 3,9 |
| 2 | 77,0 | 10,4 | 299,4 | 40,5 |

Taulukosta on luettavissa, että halutun kiviaineksen määrä on kaikilla murskauksilla hienon määrää suurempi. Haluttua kiviainesta syntyy selvästi eniten murskattaessa 2 mm:n leukavälillä, 40,5 % murskatusta kiviaineksestä. Tällä leukavälillä murskattaessa ero halutun ja hienon kiviaineksen syntymisen välillä on myös suurin. Haluttua ainesta syntyy noin neljä kertaa enemmän kuin hienoa kiveä. Erot kiviaineksen syntymisen välillä näkyvät selvästi, kun tuloksista tehdään pylväsdiagrammi, joka on esitetty kuviossa 13.



KUVIO 13 Hienon sekä halutun kiviaineksen syntymisen erot riippuen murskaukseen käytetystä leukavälistä.

Murskattaessa leukavälillä 3,5 mm halutun ja ei-halutun kiviaineksen määrä yllättäen putoaa verrattuna aikaisemmissa murskauksissa esiintyvään nousevaan trendiin. Tämä voi johtua kivien alkuperäisestä koosta, jonka takia murskaantuminen oli selvästi suurinta leukavälillä 5 mm verrattuna leukaväleillä 10 ja 15 mm tapahtuneisiin murskauksiin. Murskaantumisen ollessa suurta ja raekoon pienen-

tyessä radikaalisti leukavälillä 5 mm se korreloi vain vähän murskattavaa leukavälille 3,5 mm. Taulukossa 14 on esitetty lähtötilanne raekoon osalta ennen murskausta 3,5 mm leukavälillä. Lähtötilanteesta huomataan, että 17,7 % partikkeleista on jo kooltaan alle 3,35 mm ja yhteensä 42,7 % partikkeleista alle 4,75 mm. Tällaisessa lähtötilanteessa leukamurskain ei leukavälillä 3,5 mm pääse kunnolla puremaan kiviin ja murskaantuvuus on heikkoa. Toisaalta syy murskaantuvuuden eroon murskattaessa leukavälillä 5 mm verrattuna leukaväliin 3,5 mm voi olla myös kiven kiderakenteessa. Kiderakenne ja kiteiden koko voi olla sen kaltainen, että murskaantuvuus on suurta 5 mm:n leukavälillä.

Energiankulutuksen seuranta epäonnistui. Seuranta ei onnistunut, koska kerrallaan murskattavan malmin määrä (1000 g) oli pieni ja murskaukset niin lyhyitä, ettei käytössä ollut kulutusmittari ehtinyt murskauksiin reagoimaan. 1000 gramman murskaukseen kului aikaa vain noin 20–30 sekuntia, ja tässä ajassa ei energiaa ehtinyt kulua sen vertaa, että se olisi kulutusmittarin skaalalla näkynyt.

Työssä saaduista näytteistä on liitteenä (LIITE 2) kaikki näytteet kattava näyteluettelo. Näyteluettelosta on nähtävissä näytekoodit sekä kyseisen näytteen paino.

8 LOPPUPÄÄTELMÄT

Suoritettujen murskauksien ja raekokoanalyysien avulla on mahdollista kehittää Längän spodumeenimalmin rikastusprosessia tehokkaammaksi. Tuloksista saatiin tietoa partikkelikokojakaumasta erilaisilla leukamurskaimen leukaväleillä. Näillä tiedoilla pystytään tekemään valintaa jatkoprosessin suhteen, esimerkiksi mahdollisuuksien mukaan jättämällä jauhatus pois ja suorittamalla raekoon pienennys pelkästään leukamurskaimilla. Mahdollisuutena on myös leukamurskaimen sisällyttäminen prosessiin ennen jauhatuspiiriä, jolloin leukamurskaimelta saadulle halutulle partikkelikoolle voidaan suorittaa talteenotto ja ylite jatkaisi matkaa jauhatukseen. Sopivalla partikkelikoolla voitaisiin myös erilaisten partikkelikokojen eroteluun vaikuttaa, ettei tarvitsisi käyttää erotteluun vaahdotusta vaan painovoimaisia erotusmenetelmiä. Tutkimuksesta saatiin tietoa malmin käyttäytymisestä leukamurskaimella murskattaessa. Työssä saatiin myös useita raekokoja edustavia näytteitä, joille tehdään muiden toimijoiden toimesta erilaisia jatkotutkimuksia.

Tutkimusosa oli pitkälti tietojen keräämistä tarkempia murskaustutkimuksia varten. Tutkimuksessa käytetyillä useilla leukaväleillä murskaus ja talteenotto ei luultavasti ole optimaalisin vaihtoehto rikastusolosuhteisiin. Tässä tutkimuksessa murskattiin samaa kiviainesta useita kertoja, murskaimen leukaväliä aina pienentäen, ja tällainen menettely ei ole energiatehokkainta tehdasoloissa. Tehokkain tapa olisi löytää leukaväli, jolla murskauksessa syntyy mahdollisimman vähän hienoa ainesta ja mahdollisimman paljon haluttua raekokoa ilman suuria esimurskauksia. Tämän tutkimuksen pohjalta tuo leukaväli olisi 2 millimetriä, mutta tutkimus ei osoita miten murskattava kiviaines käyttäytyy murskattaessa esi- ja välimurskaamatonta kiviainesta noin pienellä leukavälillä.

Tuloksista on huomattavissa, että murskauksia kannattaa suorittaa suoraan pienillä leukaväleillä ilman esimurskauksia. Kiviaines oli helposti murskaantuvaa, joten suoraan pienellä leukavälillä murskaus voisi olla mahdollista. Energiatehokkuuden kannalta kannattavaa olisi myös tutkia, miten energiankulutukseen vaikuttaa, jos

kiviaines esi- tai välimurskataan sopivalla leukavälillä ennen murskausta pienellä leukavälillä.

LÄHTEET

Allen, T. 1990. Particle Size Measurement. 4. painos. Chapman and Hall.

Buhler. 2012. Drum sieve MKZM. Www-dokumentti. Ladattava pdf-tiedosto. Saatavissa: http://www.buhlergroup.com/global/downloads/MKZM_GH13011_en.pdf. Luettu 3.3.2012.

Grönholm, S., Alviola, R., Kinnunen, K. A., Kojonen, K., Kärkkäinen, N & Mäkitie, H. 2009. Retkeilijän kiviopas. Geologian tutkimuskeskus. 2.painos. Helsinki. Edita Prima Oy.

Hammond, C.R. 2000. Handbook of Chemistry and Physics. CRC Press.

Henan Hongji Mine Machinery CO. 2011. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.chinahongji.com/product/JawCrusher.html>. Luettu 16.2.2012.

Hershel Friedman and Minerals.net. 1997-2012. MINERAL PROPERTIES: CLEAVAGE (Including Fracture and Parting). Www-dokumentti. Saatavissa: http://www.minerals.net/resource/property/Cleavage_Fracture_Parting.aspx. Luettu 16.2.2012.

ImmunoSite Technologies. 2010. Particle Characterization, The Coulter Principle. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://immunositetechologies.com/services/services-particle-characterization.html>. Luettu 20.3.2012.

IPTFM. 2008. The Coulter principle. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://iptfm.com/zhuanli.asp?id=292>. Luettu 20.3.2012.

Jauhianen, P. 2002. Leukamurskaimen rakenne ja toiminta. Luentomateriaali.

Keliber. Application of lithium. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.keliber.no/application-of-lithium/category237.html>. Luettu 8.3.2012.

Keliber. History. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.keliber.no/history/category228.html>. Luettu 2.2.2012.

Keliber. Our Company in brief. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.keliber.no/our-company/category227.html>. Luettu 2.2.2012.

Keliber. Production process. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.keliber.no/production-process/category238.html>. Luettu 4.2.2012.

Keliber. Spodumene deposits and lithium provnence. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.keliber.no/deposits/category229.html>. Luettu 8.3.2012.

Lukkarinen, T. 1984. Mineraalitekniikka osa I. Mineraalien hienonnus. INSINÖÖRITIETO OY.

Malvern Instruments. 2012. What is particle size?. Www-dokumentti. Saatavissa: http://www.malvern.com/LabEng/technology/laser_diffraction/what_is_particle_size.htm. Luettu 15.3.2012.

Seppänen, R., Tiihonen, S., Kervinen, M., Korpela, R., Mustonen, L., Haavisto, A. & Soininen, M. Varho, K. 1996. MAOL-taulukot. 7.painos. Helsinki. Otava.

Metso Minerals. 2008. Crushing and Screening Handbook. 3. painos. Tampere. Kirjapaino Hermes.

Oja, M. 2006. Mekaanista prosessitekniikkaa materiaalitekniikan opiskelijoille. kurssin MT-0.2216 luentomoniste. Teknillinen korkeakoulu. Materiaalitekniikan osasto. Mekaanisen prosessi- ja kierrätystekniikan laboratorio. Espoo. Otamedia Oy.

Pihkala, J. 2003. Prosessitekniikan yksikköprosessit. Opetushallitus

Pöntinen, P. 2010. Ihme kivi. Suomen kuvalehti. 2/2010, 30–40.

Rahikka, L. 2005. Mekaaniset prosessit. Luentomateriaali. Kokkola. Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulu.

Retsch. Sieve Shakers. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.retsch.com/products/sieving/sieve-shakers/>. Luettu 12.2.2012.

Retsch. Sieving & Fractioning, The Basic Principles of Sieve Analysis. Www-dokumentti. Ladattava pdf-tiedosto. Saatavissa: <http://www.retsch.com/products/sieving/dlDetails/1/file/5930/?L>. Luettu 12.2.2012.

Rensselaer Polytechnic Institute. Sedimentation – Types of Reactors. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.rpi.edu/dept/chem-eng/Biotech-Environ/SEDIMENT/sedreactors.html>. Luettu 18.2.2012.

Selonen, O. 2004. Kaivannaisteollisuus – yhteiskunnan kivijalka. Esite.

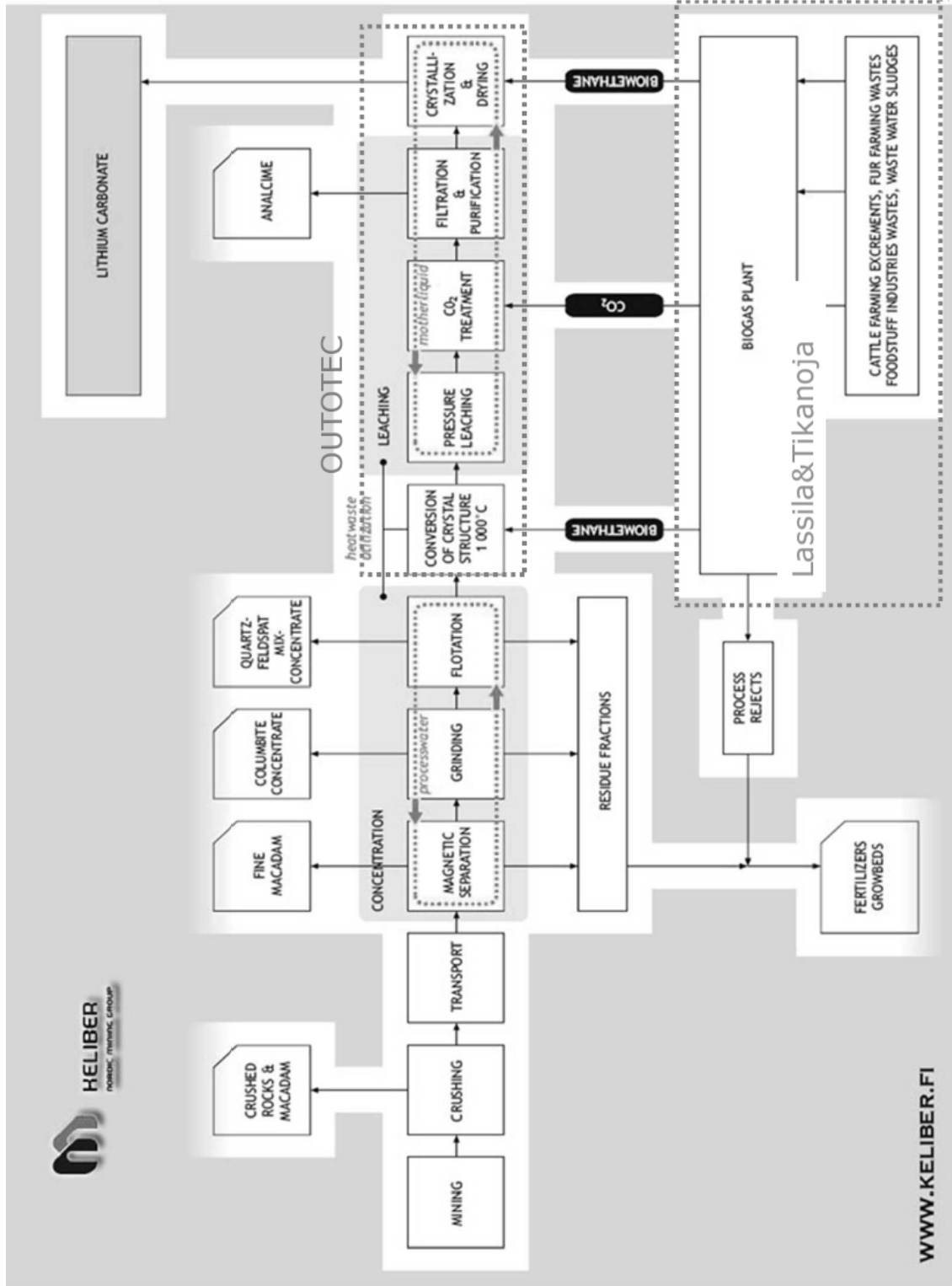
Siren, O. 2011. Litium, kohti parempaa tulevaisuutta. Kaivosseminaarimateriaali. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://prokaivos.fi/openfile/43>. Luettu 2.2.2012.

Työ- ja elinkeinoministeriö. 2010. Suomi on vetovoimainen kaivosteollisuuden kasvumaa. Tiedote. Www-dokumentti. Saatavissa: http://www.tem.fi/index.phtml?101881_m=100899&s=4265. Luettu 23.3.2012.

Wills, B.A. & Napier-Munn, T.J. 2006. Wills Mineral Processing Technology, An introduction to the practical aspects of ore and mineral recovery. 7. painos. Iso-Britannia. Butterworth-Heinemann publications.

LIITE 1

Keliberin prosessikaavio litiumkarbonaatin rikastamiseksi ja talteenottamiseksi.



LIITE 2.

Näyteluettelo

| Näyttekoodi | Paino (g) |
|-------------|-----------|
| 15A0-0,5 | 17,7 |
| 15A0,5-2,0 | 29,4 |
| 10A0-0,5 | 14,3 |
| 10A0,5-2,0 | 25,8 |
| 5A0-0,5 | 40,4 |
| 5A0,5-2,0 | 81,4 |
| 3,5A0-0,5 | 17,7 |
| 3,5A0,5-2,0 | 43,6 |
| 2A0-0,5 | 71,7 |
| 2A0,5-2,0 | 277,9 |
| 2A2,0-3,35 | 301,9 |
| 2Ayli3,35 | 74,8 |

| Näyttekoodi | Paino (g) |
|-------------|-----------|
| 15C0-0,5 | 10,5 |
| 15C0,5-2,0 | 17,5 |
| 10C0-0,5 | 17,5 |
| 10C0,5-2,0 | 31,9 |
| 5C0-0,5 | 49,9 |
| 5C0,5-2,0 | 97,0 |
| 3,5C0-0,5 | 7,6 |
| 3,5C0,5-2,0 | 28 |
| 2C0-0,5 | 78,3 |
| 2C0,5-2,0 | 300,6 |
| 2C2,0-3,35 | 297,7 |
| 2Cyli3,35 | 59,7 |

| | |
|-------------|-------|
| 15B0-0,5 | 11,3 |
| 15B0,5-2,0 | 18,6 |
| 10B0-0,5 | 15,7 |
| 10B0,5-2,0 | 26,0 |
| 5B0-0,5 | 43,5 |
| 5B0,5-2,0 | 89,0 |
| 3,5B0-0,5 | 8,0 |
| 3,5B0,5-2,0 | 25,4 |
| 2B0-0,5 | 79,6 |
| 2B0,5-2,0 | 307,4 |
| 2B2,0-3,35 | 305,5 |
| 2Byli3,35 | 65,8 |

| | |
|-------------|-------|
| 15D0-0,5 | 15,9 |
| 15D0,5-2,0 | 21,9 |
| 10D0-0,5 | 26,6 |
| 10D0,5-2,0 | 50,7 |
| 5D0-0,5 | 41,2 |
| 5D0,5-2,0 | 86,0 |
| 3,5D0-0,5 | 7,6 |
| 3,5D0,5-2,0 | 25,2 |
| 2D0-0,5 | 78,5 |
| 2D0,5-2,0 | 311,8 |
| 2D2,0-3,35 | 280 |
| 2Dyli3,35 | 50,7 |

Yhteensä 48 näytettä, joiden yhteispaino 3987,7 grammaa.