

Tero Savolainen

TURMALIININ VAAHDOTUS

Kemikaaliannostuksen, pH:n ja kertausvaahdotuksen vaikutus saantiin

Opinnäytetyö

CENTRIA-AMMATTIKORKEAKOULU

Kemiantekniikan koulutusohjelma

Toukokuu 2016

TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Centria-ammattikorkeakoulu	Aika Toukokuu 2016	Tekijä Tero Savolainen
Koulutusohjelma Kemiantekniikan koulutusohjelma		
Työn nimi TURMALIININ VAAHDOTUS. Kemikaaliannostuksen, pH:n ja kertausvaahdotuksen vaikutus saantiin		
Työn ohjaaja Laura Rahikka		Sivumäärä 27 + 3
Työelämäohjaaja Olle Sirén		
<p>Tämän opinnäytetyön toimeksiantaja oli Keliber Oy, joka on Keski-Pohjanmaalla toimiva suomalainen kaivosyhtiö. Sen tavoitteena on tuottaa erittäin puhdasta litiumkarbonaattia.</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia turmaliinin vaahdotusta spodumeenipegmatitiitimalmista. Malmi oli peräisin Ullavan Läntästä, johon Keliberillä on suunnitteilla avolouhos. Turmaliini on harmemineriäali litiumkarbonaatin valmistuksessa. Turmaliini on useiden samankaltaisen mineraalien ryhmä ja ne kuuluvat silikaattimineraaleihin. Yleisin turmaliininiminen mineraali on schörl ja se on väriltään mustaa.</p> <p>Silikaattimineraalit ovat pintaominaisuuksiltaan anionisia ja käytettävät kokoojakeemikaalit ovat kationisia. Kationiset kokoojat ovat kokoomisvoimaltaan heikkoja ja herkkiä hajoamaan liian matalan pH:n vaikutuksesta.</p> <p>Vaahdotuskokeita suoritettiin eri kokoojakemikaaleilla, eri pH-arvoissa ja eri kemikaalimäärillä. Kokeita suoritettiin 11 ja osalle niistä suoritettiin lisäksi kertausvaahdotus, jotta nähtäisiin sen vaikutus saantiin.</p> <p>Vaahdotuskokeista saadut sakat analysoitiin ja saatujen tulosten avulla laskettiin turmaliinin ja litiumin saannit. Opinnäytetyöstä saatuja tuloksia käytetään Keliber Oy:n tutkimus- ja kehitystoimintaan.</p>		
Asiasanat Keliber, litium, turmaliini, vaahdotus		

ABSTRACT

Centria University of Applied Sciences	Date May 2016	Author Tero Savolainen
Degree programme Chemistry and Technology		
Name of thesis FLOTATION OF TOURMALINE. Effect of the dosage of chemicals, pH and cleaning flotation to recovery		
Instructor Laura Rahikka		Pages 27 + 3
Supervisor Olle Sirén		
<p>The commissioner of this thesis was Keliber Oy which is a Finnish mining company operating in Central Ostrobothnia. Its target is to produce high-purity lithium carbonate.</p> <p>The aim of this thesis was to investigate the flotation of tourmaline from spodumene pegmatite ore. The ore was from Ullava Länttä where Keliber is establishing an open pit mine. Tourmaline is a weed mineral in the production of lithium carbonate. Tourmaline is a group of several closely related minerals and they belong to silica minerals. The most common tourmaline mineral is schorl which is a black mineral.</p> <p>Silica minerals are by surface property cationic and the used collector chemicals are anionic. Cationic collectors are weak by their collecting power and easy to degrade under too low pH.</p> <p>The flotation was performed with different collector chemicals, pH values and the dosage of the chemicals. 11 flotation tests were performed and cleaning flotation were performed on some of them.</p> <p>Silts of the flotations where analyzed and recovery of boron and lithium were calculated from the results of analysis. Results of this thesis where used to the research and development of Keliber Oy.</p>		

Key words

flotation, Keliber, lithium, tourmaline

**TIIVISTELMÄ
ABSTRACT**

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
2 KELIBER OY	2
3 TURMALIINI	5
4 VAAHDOTUS	6
4.1 Vaahdotuksen reagenssit	6
4.2 Vaahdotuslaitteisto	8
5 KOKEELLINEN OSA	11
5.1 Lähtötiedot	12
5.2 Vaahdotuskokeiden suoritus	14
5.3 Kokeet ja havainnot	16
5.3.1 Natriumoleaatti pH 7, kokeet B1 ja B4	17
5.3.2 Natriumoleaatti pH 5 ja 6, kokeet B2, B5 ja B7	18
5.3.3 Natriumoleaatti pH 8 ja 9, kokeet B3 ja B6	18
5.3.3 Natriumoleaatti + vesilasi pH 7, koe C1	19
5.3.4 Natriumoleaatti + vesilasi pH 5, koe C2	20
5.3.5 Lupromin FP 308C pH 7, koe D1	21
6 TULOKSET	22
7 YHTEENVETO	25
LÄHTEET	27

LIITTEET

LIITE 1. Tutkimussuunnitelma

LIITE 2. Raekokoanalyysit

LIITE 3. Analyysitulokset

KUVIOT

KUVIO 1. Lántán avolouhos	2
KUVIO 2. Lántán esiintymä ylháältä	3
KUVIO 3. Lántán mineraalivarannot ja malmivarat	3
KUVIO 4. Kokoojan kiinnittyminen mineraalin pintaan	7
KUVIO 5. Periaatekuva vaahdotuskennon toiminnasta	9
KUVIO 6. Vaahdotusrikastuslaitoksen virtauskaavio	10
KUVIO 7. Turmaliinin vaahdotuskokeiden saannit	12
KUVIO 8. Esivaahdotuksien saannit	23
KUVIO 9. Kokonaissaannit esi- ja kertausvaahdotuksen jälkeen.....	24

KUVAT

KUVA 1. Denver vaahdotuslaitteisto	11
KUVA 2. B1 kertausvaahdotus.....	17
KUVA 3. B2 esivaahdotus.....	18
KUVA 4. B6 esivaahdotus.....	19
KUVA 5. C1 esivaahdotus ja nahkamainen vaahdotus.....	20
KUVA 6. C2 esivaahdotus	20
KUVA 7. D1 esivaahdotus	21

TAULUKOT

TAULUKKO 1. Näytetunnukset, kemikaalit ja niiden määrät	13
TAULUKKO 2. Tutkimussuunnitelma.....	14
TAULUKKO 3. Toteutuneet vaahdotukset ja niiden ajoarvot	16
TAULUKKO 4. Saantiprosentit boorille ja litiumille	23

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön toimeksiantaja on Keliber Oy, joka on Keski-Pohjanmaalla toimiva suomalainen kaivosyhtiö. Opinnäytetyön tarkoituksena on poistaa vaahdottamalla turmaliini litiumpitoisesta spodumeenipegmatiittimalmista. Turmaliini on harmemineriäali litiumkarbonaatin tuotannossa, sillä Keliber Oy:n tavoitteena on tuottaa erittäin puhdasta litiumkarbonaattia.

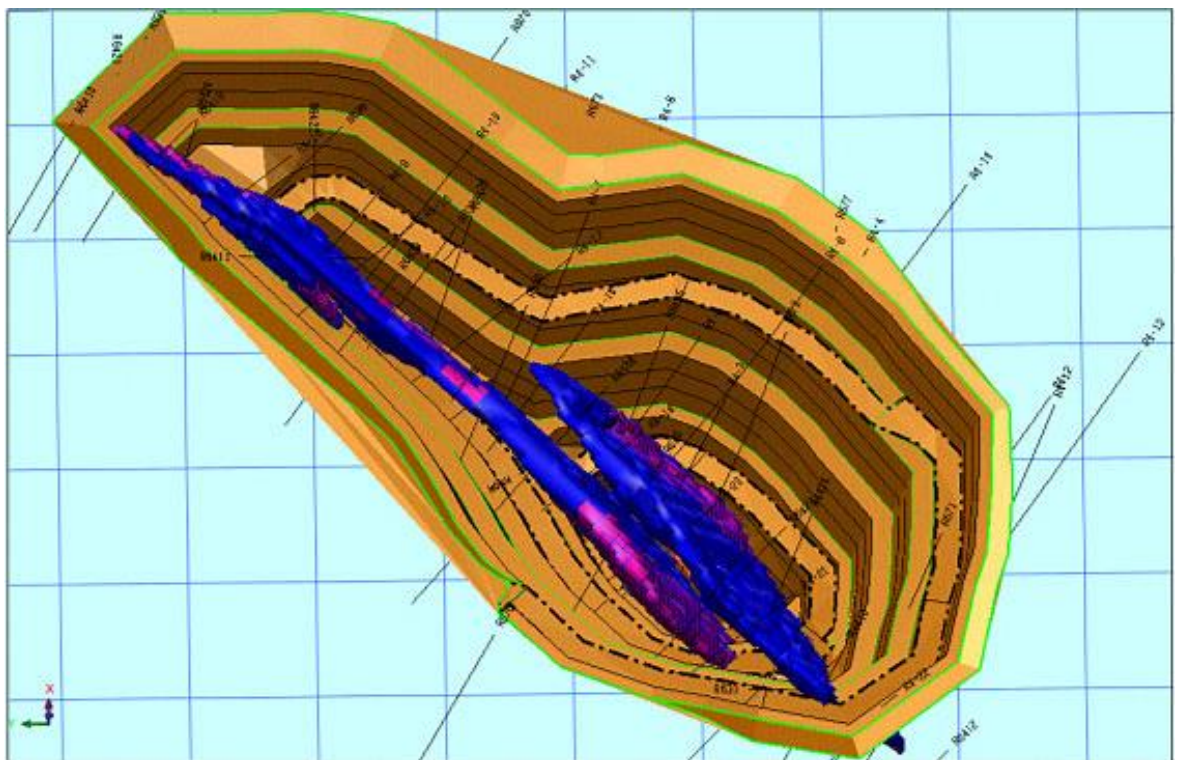
Teoriaosassa kerrotaan Keliber Oy:stä ja sen toiminnasta, vaahdotuksen kemiasta ja hieman turmaliinimineraaleista. Turmaliinista ja sen vaahdotuksesta oli saatavilla hyvin rajallinen määrä tietoa, sillä turmaliini ei ole yleisempiä vaahdotettavia mineraaleja. Tätä vähäistä tietoa turmaliinista pyrittiin laajentamaan silikaattimineraalien vaahdotuskemialla, sillä turmaliini kuuluu silikaattimineraaleihin. Teoriaosan tietopohjana käytetään Keliberin omia www-sivuja ja alan kirjallisuutta, joista suuri osa on englanniksi.

Kokeellinen osa sisältää vaahdotuskokeita ja niiden tulosten käsittelyn. Vaahdotuskokeiden tavoitteena on löytää oikea kokoojakemikaali, kemikaaliannostus ja pH-arvo, jotta turmaliinin ja litiumin saannit vaahdotuksessa olisivat mahdollisimman korkeat. Lisäksi osalle esivaahdotetuista rikasteista suoritetaan vielä kertausvaahdotus, jotta nähdään, paranevatko turmaliinin ja litiumin saannit. Vaahdotuskokeet suoritetaan niin, että muuttujia pyritään pitämään kerralla vain yksi. Turmaliini halutaan vaahdottaa pois spodumeenimalmista, joten se siirtyy rikasteeseen ja arvokas litium jää niin sanottuun jätteeseen.

Opinnäytetyön tuloksia käytetään hyväksi Keliber Oy:n tutkimuksessa ja kehityksessä, sillä GTK Mintec käyttää vaahdotuskokeiden tuloksia pohjana omille vaahdotuskokeilleen, jotka se suorittaa Keliberille.

2 KELIBER OY

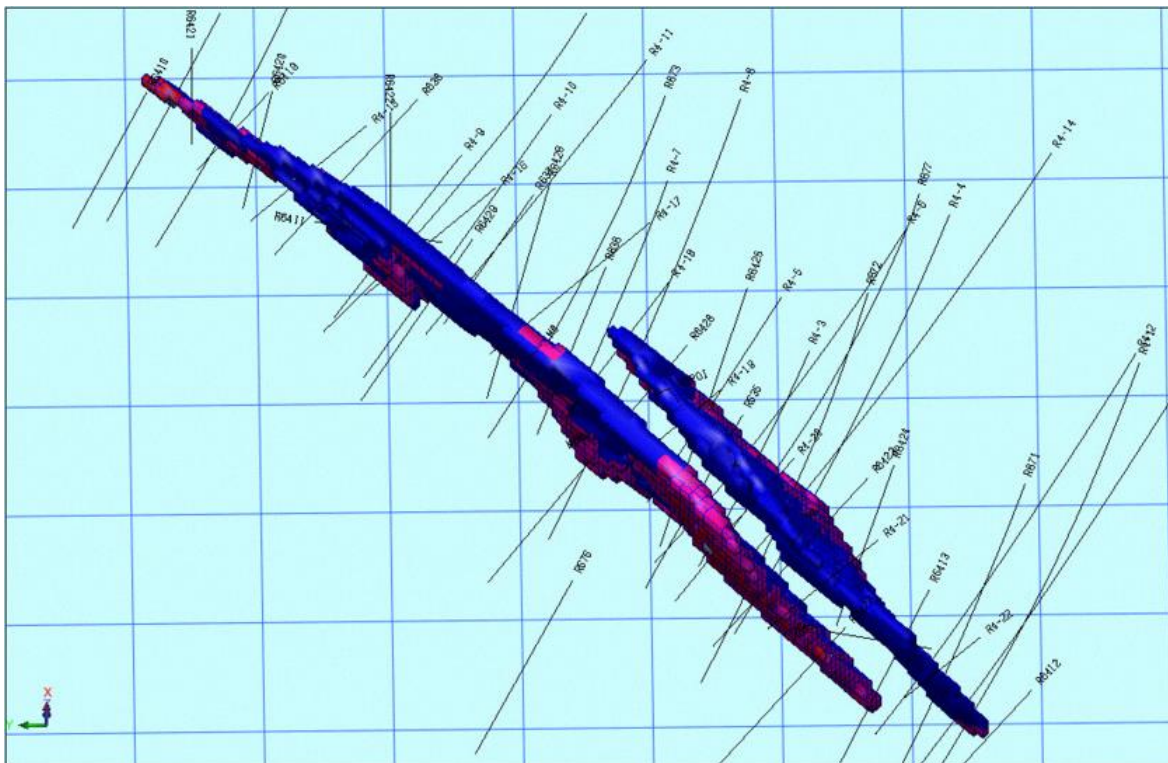
Keliber Oy on Keski-Pohjanmaalla litiumkaivostoimintaa harjoittava suomalainen kaivosyhtiö. Keliber Oy:n omistaa 75 prosenttisesti suomalaiset sijoitusyhtiöt ja yksityishenkilöt sekä 25 prosenttisesti norjalainen kaivosyhtiö Nordic Mining ASA. Keliber Oy:llä on useita valtauksia litiumpitoisiin spodumeenipegmatiittiesiintymiin Keski-Pohjanmaan alueella. Lisäksi yhtiöllä on kaivoslupa Kaustisen Längtässä sijaitsevaan litiumesiintymään, minne on suunniteltu avolouhos (KUVIO 1). Yhtiön tuleva päätuote on litiumkarbonaatti. (Keliber Oy 2013d.)



KUVIO 1. Längtän avolouhos (Keliber 2013)

Längtän spodumeenipegmatiitti esiintymä koostuu kahdesta pääjuonesta, jotka on todettu 47 kairatun reiän avulla (KUVIO 2). Kairausnäytteiden perusteella on teetetty

mineraalivarantoarvio ja kaivossuunnitelma GTK:lla vuonna 2005. Lisäksi Outotec Oy on tehnyt uusien tutkimusten perusteella mineraali- ja malmivarantoarvion vuonna 2011 (KUVIO 3). (Keliber Oy 2013c.)



KUVIO 2. Längän esiintymä ylhäältä (Keliber 2013)

Längtä Mineral Resource @ 0,5 % Li ₂ O cut-off			Längtä Ore Reserve @ 0,5 % Li ₂ O cut-off		
Resource Class	Tonnage	Li ₂ O %	Reserve Class	Tonnage	Li ₂ O %
Measured	433 000	1,12	Proven Reserve	472 000	0,98
Indicated	868 000	1,06	Probable Reserve	513 000	0,97
Measured + Indicated	1 301 000	1,08	Total Ore Reserve	985 000	0,97

KUVIO 3. Längän mineraalivarannot ja malmivarat (Keliber 2013)

Päätuotteena Keliber Oy:n tuotantoprosessissa syntyy high-purity litiumkarbonaattia, joka soveltuu erittäin hyvin akku- ja patteriteollisuuden raaka-aineeksi. Vuodessa litiumkarbonaattia tuotettaisiin 6 000 tonnia. Muita yhtiön tuottamia tuotteita ovat kolumbiitti, kvartsimaasälpä ja tavallinen murske. Kolumbiitti sisältää tantaalia ja niobia. Kvartsimaasälpää voidaan käyttää täyteaineena ja siitä voidaan jatkojalostaa kvartssia ja maasälpää. Kvartssia voidaan käyttää esimerkiksi lasin ja optisten kuitujen valmistuksessa, ja maasälpää keramiikkateollisuudessa. Murske saadaan louhittavasta sivukivestä ja sitä myydään lähialueelle tavallisena murskeena eri tarkoituksiin. (Keliber Oy 2013b.)

Keliber Oy:n tuotantoprosessi on kehitetty niin, että se edustaa parasta käytettävissä olevaa tekniikkaa eli BAT-tekniikkaa. Louhittava malmi on ominaisuuksiltaan ympäristöystävällinen, sillä se ei sisällä raskasmetalleja tai happamuutta aiheuttavia sulfideja. Tuotantoprosessin päävaiheet ovat louhinta räjäyttämällä, murskaus leuka- ja kartiomurskaimella, jauhatus tankomyllyllä, vaahdotus, kiderakenteen muutos lämmön avulla sekä liuotus ja kiteytys. (Keliber Oy 2013a, 2013b; Sirén 2015.)

Vaahdotusprosessi koostuu esivaahdotuksesta ja varsinaisesta spodumeenin vaahdotuksesta. Esivaahdotukseen tulee malmin ja sivukiven harmemineraalien, kuten turmaliinin, vaahdotus, mikäli niiden vaahdotuskokeet antavat viitteitä siitä, että niiden poistaminen on mahdollista vaahdottamalla. (Sirén 2016.)

3 TURMALIINI

Turмалиini kuuluu silikaattimineraaleihin, tarkemmin syklosilikaatteihin. Se ei ole yksittäinen mineraali, vaan useiden samankaltaisten mineraalien ryhmä. Tunnetuimmat turмалиinimineraalit ovat elbaiitti, draviitti ja schörl. Turмалиinimineraaleista yleisin on schörl, joka tunnetaan myös nimellä musta turмалиini, johtuen sen mustasta väristä. Elbaiitti on turмалиinimineraaleista tunnetuin, johtuen sen läpinäkyvyydestä ja värikkydestä. Elbaiitti onkin suosittu korukivi, kuten muutkin turмалиinimineraalit. Elbaiittia ja schörlä tavataan usein graniittipegmatiiteissa. (Friedman & Minerals.net 2016a.)

Elbaiitin, draviitin ja schörlin yksinkertainen kemiallinen kaava on $(\text{Na,Ca})(\text{Mg,Li,Al,Fe}^{2+})_3\text{Al}_6(\text{BO}_3)_3\text{Si}_6\text{O}_{18}(\text{OH})_4$. Kaavasta nähdään, että turмалиinimineraalit sisältävät useita metalleja, kuten alumiinia, booria ja litiumia. Turмалиinimineraalien kristallirakenne on heksagonaalinen eli kuusikulmainen. Turмалиinimineraalien kovuus vaihtelee 7–7,5 välillä Mohsin asteikolla ja tiheys vaihtelee välillä 2,9–3,3 kg/dm³. (Friedman & Minerals.net 2016a.)

Mustan turмалиinin eli schörlin kemiallinen kaava on $\text{NaFe}^{2+}_3\text{Al}_6(\text{BO}_3)_3\text{Si}_6\text{O}_{18}(\text{OH})_4$. Ulkonäöltään schörl on erittäin kiiltävä ja se on muodostaa kauniita kristalleja. Verrattuna muihin turмалиinimineraaleihin schörl on läpinäkymätön ja läpikuultamaton. (Friedman & Minerals.net 2016b.)

4 VAAHDOTUS

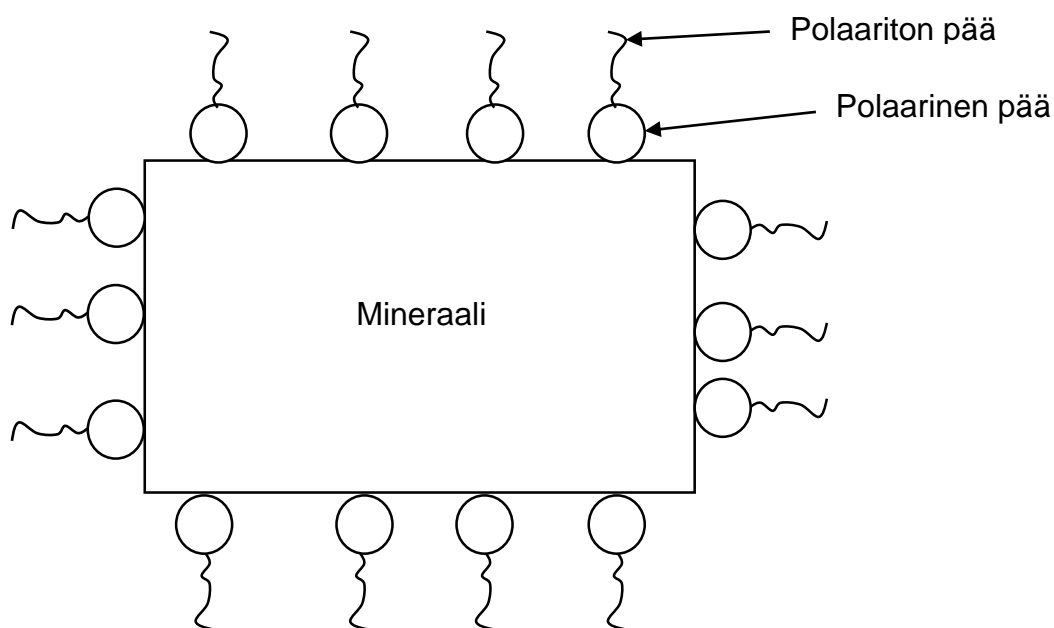
Vaahdotus on yleisin ja monipuolisin mineraalien rikastusmenetelmä. Se on selektiivinen menetelmä, ja se soveltuu hyvin köyhien malmien rikastukseen. Vaahdotus perustuu mineraalien erilaisiin pintaominaisuuksiin ja mineraalien tarttumiseen ilmakupliin. Vaahdotettava mineraali tarttuu ilmakuplaan ja nousee sen mukana lietteen pintaan, josta se kuoritaan talteen. Vaahdotettavan malmin raekoon tulee olla riittävän pieni, alle 0,3 mm, jotta ne pysyvät kiinni ilmakuplassa. Mineraalit, joita ei haluta nostaa vaahtoon, jäävät lietteeseen. Yleensä vaahtoon nouseva mineraali on arvokas ja lietteeseen jäävä arvoton, mutta tässä on myös poikkeuksia. (Salminen & Pihkala 1980, 79–82; Wills & Napier-Munn 2006, 267– 268.)

4.1 Vaahdotuksen reagenssit

Partikkelien kiinnittymistä ilmakuplaan säädetään kemikaalien avulla. Näitä kemikaaleja ovat säännöstely-, kokooja- ja vaahdotekemikaalit. Säännöstelykemikaaleihin kuuluvat painajat, aktivoijat ja pH-säätäjät. Kemikaaleja annostellaan noin 100–1000 grammaa kiintoainetonna kohden. Painajakemikaali estää kokoojakemikaalin tarttumisen ei-haluttuun pintaan, jolloin mineraali ei tartu ilmakuplaan. Aktivoijat auttavat kokoojakemikaalin tarttumista haluttuun mineraalipintaan. Vaahdotettavan lietteen pH:n säätö toimii painajien ja aktivoijien tapaan. Yleisiä pH-säätäjiä ovat kalkkimaito ja rikkihappo. (Rahikka 2014, 7–11; Salminen & Pihkala 1980, 79–82.)

Kokoojien tehtävä on muuttaa haluttujen mineraalipartikkelin pintaominaisuudet sellaisiksi, että ne tarttuvat ilmakuplan pintaan. Kokooja muuttaa mineraalin epäorgaanisen, hydrofiilisen ja polaarisen pinnan orgaaniseksi, hydrofobiseksi ja polaarittomaksi. Kokoojissa on polaarinen ja polaariton pää. Polaarinen pää tarttuu mineraalin polaariseen pintaan. Kokoojan polaariton pää tekee mineraalin polaarittomaksi

ja hydrofobiseksi (KUVIO 4). Kokoojia on anionisia ja kationisia, riippuen siitä, mikä varaus mineraalipinnalla on. Anioninen kokooja on tarkoitettu kationisille mineraaleille ja kationinen kokooja anionisille mineraaleille. (Rahikka 2014, 7–11; Rankin 2011, 143; Salminen & Pihkala 1980, 79–82.)



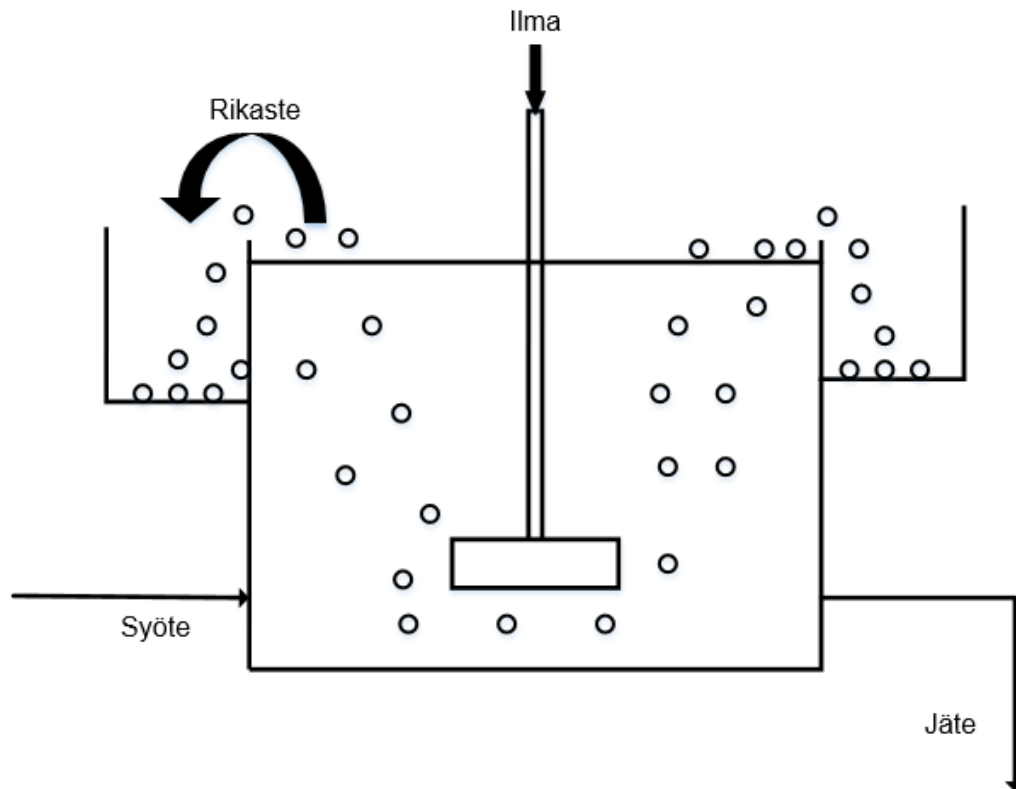
KUVIO 4. Kokoojan kiinnittyminen mineraalin pintaan (Mukaillen Rahikka 2014, 7-17)

Silikaattien vaahdotuksessa käytettävät kokoojat ovat kationisia, koska silikaattimineraalien pinnat ovat anionisia. Vettä hylkivä pintaominaisuus kationisessa kokoojassa saadaan aikaan kationilla, jossa polaarinen ryhmä koostuu viidenarvoisesta tyypestä, amiinista. Amiinien kiinnittyminen mineraalin pintaan tapahtuu pääasiassa sähköstaattisella vetovoimalla kokoojan polaarisen pään ja mineraalin sähköisen pinnan välillä. Tästä heikosta voimasta johtuen kationiset kokoojat ovat kokoomisvoimaltaan melko heikkoja. Kationiset kokoojat ovat hyvin herkkiä väliaineen pH:lle. Ne ovat aktiivisimpia hieman happamissa olosuhteissa, mutta liian alkalinen tai hapan väliaine estää kokoojan toiminnan. (Wills & Napier-Munn 2006, 270–276.)

Vaahdotuksessa ilmakuplien tulee olla stabiileja, jotta ne eivät puhkea välittömästi, kun ne nousevat lietteen pintaan. Toisaalta ilmakuplien tulee olla niin hauraita, että ne puhkeavat niiden jouduttua rikasteränniin. Ilmakuplien stabiilius saadaan aikaan vaahdotteen avulla. Vaahdotteen vaikutuksesta nesteen pintajännitys pienenee, jolloin muodostuu pienempiä ilmakuplia, ja nestekalvot muuttuvat elastisiksi. (Rahikka 2014, 7–12; Rankin 2011, 143; Salminen & Pihkala 1980, 81.)

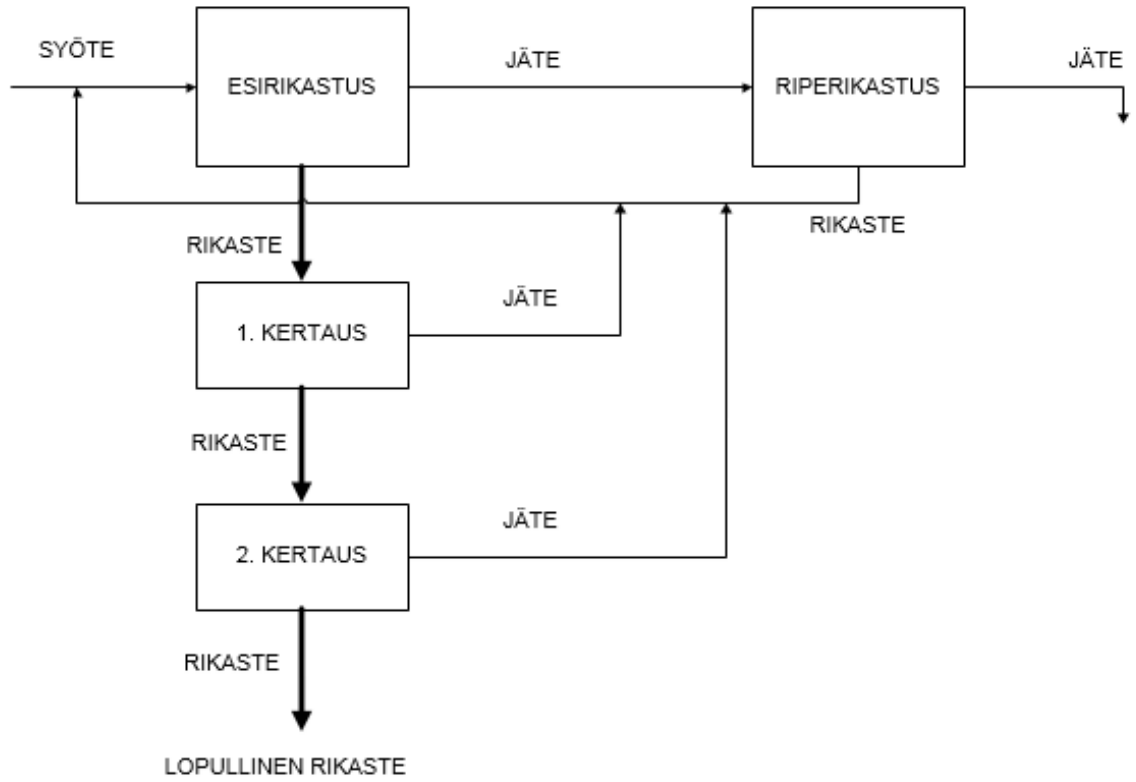
4.2 Vaahdotuslaitteisto

Vaahdotuslaitteistoon kuuluu valmennussäiliö, kemikaaliannostelu, vaahdotuskenno, sekoittaja ja ilmansyöttö. Valmennussäiliössä lietteeseen lisätään vaahdotuskemikaalit kemikaaliannostelulaitteiston avulla. Valmennuksesta liete pumpataan vaahdotuskennoon (KUVIO 5). Kennon tehtävä on sekoittaa lietettä, lisätä lietteeseen ilmaa ja jakaa rikaste ja jäte erilleen. Nykyisin vaahdotuskennojen koko vaihtelee muutamasta kuutiometristä aina 350 kuutiometriin. Sekoittaja sekoittaa lietettä, jotta kemikaalit ja mineraalit pysyvät liikkeessä ja näin kohtaavat toisensa. Ilmansyötön avulla lietteeseen saadaan muodostettua ilmakuplia, jotka kuljettavat mineraalit ulos vaahdotuskennosta. (Rahikka 2014, 22–32; Salminen & Pihkala 1980, 82–85.)



KUVIO 5. Periaatekuva vaahdotuskennon toiminnasta (Mukaiillen Rahikka 2014, 45)

Vaahdotus on jatkuva prosessi, eli siihen syötetään ja siitä poistuu jatkuvasti materiaalia. Vaahdotus koostuu yleensä useista eri vaiheista, jotka muodostavat vaahdotuspiirin (KUVIO 6). Esivaahdotuksessa syötteestä erotellaan rikaste ja jäte erillisiin virtoihin. Jätevirtaan jää kuitenkin vielä arvokasta mineraalia, joten jäte riipevaahdotetaan. Riipevaahdotuksesta tuleva rikaste palautetaan syötevirtaan. Esivaahdotuksesta saatu rikaste vaahdotetaan useita kertoja siihen jääneen jättemateriaalin poissaamiseksi. Tätä kutsutaan kertaukseksi. Kertauksesta saatava jäte palautetaan esivaahdotuksen syötevirtaan. Riipevaahdotuksen ja kertausten avulla rikastuksen saanti saadaan huomattavasti korkeammaksi kuin ilman edellä mainittuja vaiheita. (Rahikka 2014, 32; Rankin 2011, 143.)



KUVIO 6. Vaahdotusrikastuslaitoksen virtauskaavio. (Mukaillen Rahikka 2014, 32)

5 KOKEELLINEN OSA

Kokeellinen osa koostui vaahdotuskokeista ja niiden valmistelevista töistä. Koemalmina käytettiin Keliber Oy:n Läntän esiintymän malmia. Valmisteleviin töihin kuului malmin murskaus leukamurskaimella, jauhatus kuulamylyllä ja seulonta täryseulalla. Kaikki edellä mainitut valmistelevat työt suoritettiin Centria-ammattikorkeakoululla laboratoriomittakaavan välineillä. Seulotun malmin partikkelikoko oli 100 %:a alle 106 mikrometriä. Jokaisesta vaahdotettavasta näytteestä otettiin noin 1 gramman näyte partikkelikokoanalyysiä (LIITE 2) varten, jotta saatiin vaahdotettavan malmin raekokojakauma. Lisäksi jauhettu malmi kaksioitiin viisi kertaa, jotta saadaan sopiva määrä edustavia näytteitä.

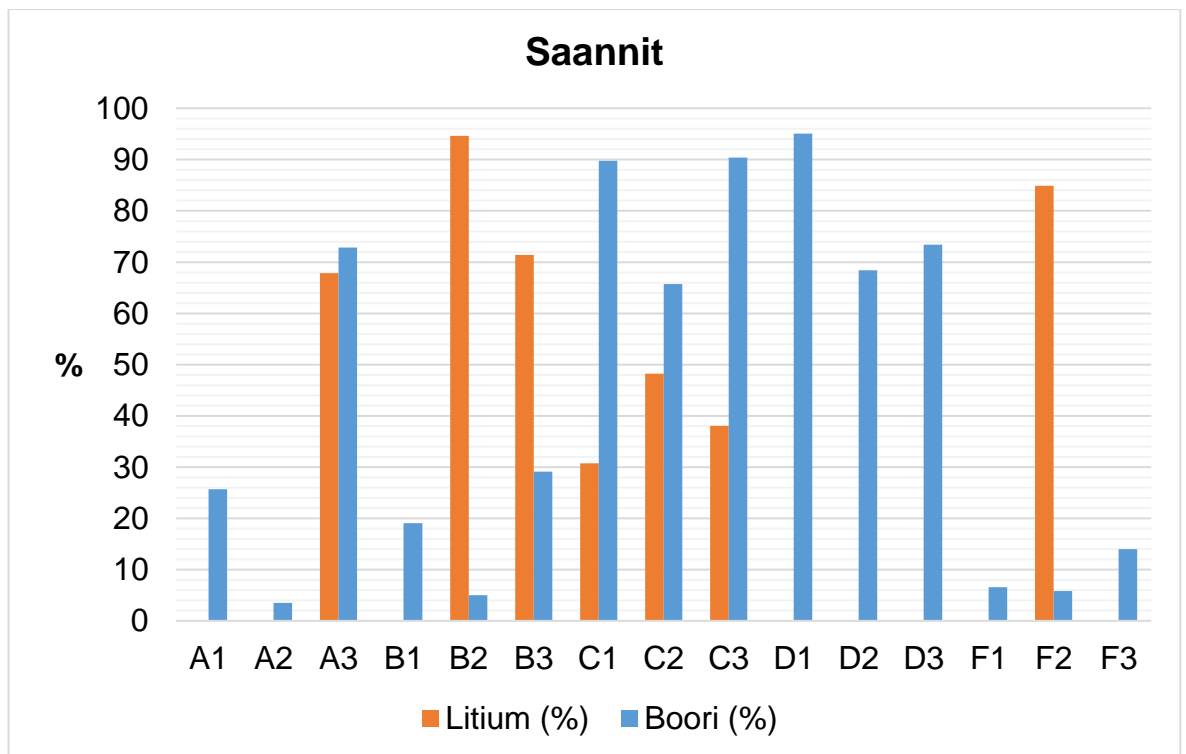
Varsinaiset vaahdotuskokeet suoritettiin Denverin laboratoriomittakaavan vaahdotuslaitteistolla (KUVA 1) Keski-Pohjanmaan koulutusyhtymän tiloissa Kokkolassa. Tämän vaahdotuskennon toimintaperiaate on vastaava kuin teollisen mittakaavan kennoissa. Ainoa merkittävä ero on valmennussäiliö puuttuminen, sillä laboratorionkennossa valmennus ja vaahdotus suoritetaan samassa astiassa. Vaahdotettavat näytteet olivat noin 750 gramman kokoisia.



KUVA 1. Denver vaahdotuslaitteisto

5.1 Lähtötiedot

Kokeellisen osuuden lähtötietoina käytettiin Jarmo Jurvelinin opinnäytetyön turmaliinin vaahdotuskokeiden tuloksia (KUVIO 7, TAULUKKO 1). Kaikki nämä kokeet on suoritettu pH:ssa 7. Nämä kokeet suoritettiin samalla vaahdotuslaitteistolla ja samalla malmilla kuin tämän opinnäytetyön kokeet.



KUVIO 7. Turmaliinin vaahdotuskokeiden saannit

TAULUKKO 1. Näytetunnukset, kemikaalit ja niiden määrät

Kemikaali	Määrä [g/t]	Tunnus
Lupromin FP 308C	1000	A1
	500	A2
	2000	A3
Oleiinihappo	1000	B1
	500	B2
	2000	B3
Natriumoleaatti	1000	C1
	500	C2
	2000	C3
Natriumoleaatti + vesilasi	1000	D1
	500	D2
	2000	D3

Kuviosta 7 nähdään, että kokeet A3, C1, C3 ja D1 antavat parhaat saannit boorille ja litiumille. Näiden esitietojen perusteella valmisteltiin tähän opinnäytetyöhön tutkimussuunnitelma (TAULUKKO 2). A3:n tulosten perusteella päätettiin, että Lupromin FP 308C:llä suoritetaan esivaahdotus pH:ssa 7 kemikaalimäärällä 3000 grammaa kiintoainetta kohden. C1:n ja C3 tulosten perusteella päätettiin, että natriumoleaattilla suoritetaan esivaahdotus ja kertausvaahdotukset. Esivaahdotukset suoritetaan kemikaalimäärillä 1000 g/t kiintoainetta ja 2000 g/t kiintoainetta ja kummallakin määrällä suoritetaan vaahdotukset eri pH-arvoissa. Vaahdotuksissa, joissa käytettiin kokoojakemikaalia 1000 g/t kiintoainetta, käytetään pH-arvoja 5,6,7 sekä 9 ja vaahdotuksissa, joissa kemikaalia käytetään 2000 g/t kiintoainetta, pH-arvoja 6,7 sekä 9. Lisäksi kokeen D1 perusteella päätettiin suorittaa vaahdotuskokeita natriumoleaatin ja vesilasiliuoksen yhdistelmällä. Annostuksena päätettiin käyttää 1000 grammaa natriumoleaattia 200 vesilasiliuosta kiintoainetta kohden ja pH-arvoina 5,7 ja 8.

TAULUKKO 2. Tutkimussuunnitelma

Koe	Koetun- nus	Kemikaali	An- nostus [g/t ka]	pH	Esivaah- dotus	Kertaus- vaahdo- tus
1	B1	Natriumoleaatti	1000	7	x	x
2	B2	Natriumoleaatti	1000	6	x	x
3	B3	Natriumoleaatti	1000	9	x	x
4	B4	Natriumoleaatti	2000	7	x	x
5	B5	Natriumoleaatti	2000	6	x	x
6	B6	Natriumoleaatti	2000	8	x	x
7	B7	Natriumoleaatti	1000	5	x	x
8	C1	Natriumoleaatti + vesilasi	1000+ 200	7	x	x
9	C2	Natriumoleaatti + vesilasi	1000+ 200	5	x	
10	C3	Natriumoleaatti + vesilasi	1000+ 200	8	x	
11	D1	Lupromin FP 308C	3000	7	x	

5.2 Vaahdotuskokeiden suoritus

Jokainen vaahdotus pyrittiin suorittamaan samalla tavalla, mutta aina tämä ei ole mahdollista, sillä eri kemikaalit käyttäytyvät eri tavalla. Esimerkiksi pH:n säätö oli vaikeaa, kun lietteen pH yritettiin saada alhaiseksi. Valmennusaika oli vähintään 10 minuuttia, sillä joissakin tapauksissa pH:n säädön vaikeus pitkitti valmennusaikaa.

Kokeiden suoritukseen käytössä oli kaksi vaahdotuskennoa, kahden litran ja yhden litran vaahdotuskennot. Kahden litran kennossa suoritettiin 750 gramman näytteiden esivaahdotus ja kertausvaahdotukset suoritettiin yhden litran kennossa. Esi- ja kertausvaahdotukset suoritettiin samalla vaahdotuskoneella.

Vaahdotus aloitettiin lisäämällä vaahdotuskennoon 2 litraa vesijohtovettä, jonka jälkeen vaahdotuskoneen sekoittaja laskettiin veteen ja laitettiin pyörimään. Tämän jälkeen vaahdotettava malmi lisättiin kennoon ja sen annettiin sekoittua siellä hetken. Malmin sekoittumisen jälkeen aloitettiin lietteen pH:n säätö. Säätokemikaaleina käytettiin kylläistä kalkkimaitoa ja yksi molaarista rikkihappoa. Valmennusajan mitaus aloitettiin hetkestä, jolloin pH:n säätö aloitettiin. Kun pH oli saatu lähelle haluttua arvoa, lisättiin kokoojakemikaali lietteeseen. Vasta tämän jälkeen pH säädettiin tarkkaan arvoon. Tämä johtui siitä, että kokoojakemikaalit nostivat lietteen pH:ta. Vaahdotekemikaali lisättiin noin kaksi minuuttia ennen vaahdotuksen aloittamista. Vaahdotekemikaalina oli Aerofloat 211 ja sitä annosteltiin kaksi tippaa.

Valmennuksen jälkeen aloitettiin lietteen vaahdottaminen. Vaahdotusaika oli neljä minuuttia, mutta useissa tapauksissa liete ei vaahdonnut niin kauan. Vaahdon kerääminen pyrittiin tekemään joka kerta samalla tavalla. Kaikki esivaahdotuksessa vaahdonnut liete kerrattiin pienemmässä kennossa. Kerrattavan lietteen pH säädettiin samaan arvoon, mikä se oli ollut esivaahdotuksessa. Kokoojaa lisättiin 1/5 osa siitä määrästä, joka oli käytetty esivaahdotuksessa. Vaahdotekemikaalia lisättiin kertaukseen yksi tippa.

Kaikki vaahdotuksessa syntyneet lietteet suodatettiin ja kuivattiin. Kuivat sakat punnittiin ja niistä jokaisesta otettiin noin viiden gramman näyte. Esirikastuksen rikasteesta otettiin näyte suoraan vaahdosta, joten se ei välttämättä ole edustava näyte. Näytteet analysoitiin ICP-OES-menetelmällä. Näytteistä määritettiin boori ja litium. Boorianalyysi kuvaa turmaliinin määrää näytteissä ja turmaliini voidaan myös havaita tummana mineraalina. (Siren 2016).

5.3 Kokeet ja havainnot

Tässä osassa kerrotaan havaintoja kokeiden suorituksesta ja esitetään kuvia vaahdotustapahtumista. Osaan kokeista suoritettiin pelkkä esivaahdotus ja osaan sekä esi- että kertausvaahdotukset. Kaikkiin kokeisiin ei suoritettu kertausvaahdotusta, koska joko vaahdotettavaa lietettä ei tullut esivaahdotuksessa riittävästi tai se ei kuulunut tutkimussuunnitelmaan. Tutkimussuunnitelmaa muutettiin kokeen B6 kohdalla, kun kokeessa B3 huomattiin, että vaahtoamista ei tapahdu korkeassa pH:ssa. Koe C3 jätettiin pois kokonaan pois havainnoista sillä, siinä kokeessa ei tapahtunut riittävästi vaahtoamista. Yhteenveto toteutuneista vaahdotuksista ja niiden ajoarvoista nähdään taulukosta 3. Niiden vaahdotusten, joiden kohdalla ei ole kertausvaahdotuksen pH arvoa, ei suoritettu kertausvaahdotusta.

TAULUKKO 3. Toteutuneet vaahdotukset ja niiden ajoarvot

Koe-tunnus	Kemikaali(t)	Annostus esivaahdotus [g/t ka]	pH esivaahdotus	Annostus kertausvaahdotus [g/t ka]	pH kertausvaahdotus
B1	Natriumoleaatti	1000	7,03	200	6,94
B2	Natriumoleaatti	1000	6,05	200	6,05
B3	Natriumoleaatti	1000	8,97		
B4	Natriumoleaatti	2000	7,07	400	7,08
B5	Natriumoleaatti	2000	6,00	400	6,04
B6	Natriumoleaatti	2000	8,00		
B7	Natriumoleaatti	1000	5,00	200	4,95
C1	Natriumoleaatti + vesilasi	1000 + 200	7,05/7,00	200 + 40	7,02
C2	Natriumoleaatti + vesilasi	1000 + 200	5,05		
D1	Lupromin FP 308C	3000	6,98		

5.3.1 Natriumoleaatti pH 7, kokeet B1 ja B4

Kokeessa B1 natriumoleaattia annosteltiin 1000 grammaa kiintoainetonna kohden ja kokeessa B4 2000 grammaa kiintoainetonna kohden. Samalla pH-arvolla suoritettavat vaahdotukset eivät eronneet silminnähden juurikaan toisistaan. Kummassakin vaahdotuksessa oli sekä esi- että kertausvaahdotukset. Esivaahdotuksissa vaahdot olivat tummia ja lietteet vaahtosivat hyvin noin kaksi minuuttia, jonka jälkeen vaahdot vaaleni ja loppui kolmen minuutin kohdalla. Rikaste oli tummempaa kuin jäte. Kertausvaahdotuksessa (KUVA 2) vaahdot oli hyvin samanlaista kuin esivaahdotuksessa.



KUVA 2. B1 kertausvaahdotus

5.3.2 Natriumoleaatti pH 5 ja 6, kokeet B2, B5 ja B7

Kokeessa B2 (KUVA 3) pH asetettiin arvoon 6 ja kokoojaa annosteltiin 1000 grammaa kiintoainetonna kohden. Kokeessa B5 pH oli myös 6 ja kokoojaa annosteltiin 2000 grammaa kiintoainetonna kohden. Koe B7 suoritettiin pH:ssa 5, jotta nähtäisiin, miten matala pH vaikuttaa vaahdotuksen saantiin.



KUVA 3. B2 esivaahdotus

5.3.3 Natriumoleaatti pH 8 ja 9, kokeet B3 ja B6

Koe B3 suoritettiin pH:ssa 9 ja annostuksella 1000 g/t ka. Korkeassa pH:ssa liete vaahtosi vain minuutin ajan ja rikastetta tuli hyvin vähän. Tästä johtuen sille ei suoritettu kertausvaahdotusta. Kokeeseen B6 (KUVA 4) pH-arvoa laskettiin arvoon 8, mutta tämä ei parantanut merkittävästi vaahtoamista, joten sillekään ei suoritettu kertausvaahdotusta. Edes vaahdotteen lisäys ei auttanut vaahdon vähyyteen.



KUVA 4. B6 esivaahdotus

5.3.3 Natriumoleaatti + vesilasi pH 7, koe C1

Kokeeseen C1 suoritettiin kaksi esivaahdotusta, koska yhdestä esivaahdotuksesta ei saatu riittävästi rikastetta kertauksen suorittamiseksi. Näihin esivaahdotuksiin käytettiin 1000 grammaa natriumoleaattia kiintoainetonna kohden ja 200 grammaa vesilasiliuosta kiintoainetonna kohden. Vesilasiliuos lisättiin noin minuutin kokoojan lisäyksen jälkeen. Vaahto oli aikaisempiin vaahtoihin verrattuna nahkamaista (KUVA 5). Kertausvaahdotus ei juurikaan poikennut aikaisemmista kertausvaahdotuksista. Suodatusta vesilasiliuoksen lisäys vaikeutti huomattavasti, koska vesilasiliuoksen reagoidessa hapon kanssa muodostui todennäköisesti geelimäistä piihappoa.



KUVA 5. C1 esivaahdotus ja nahkamainen vahto

5.3.4 Natriumoleaatti + vesilasi pH 5, koe C2

Kokeessa C2 (KUVA 6) liete vaahtosi runsaasti ja siinä oli tumma väri. Kertausvaahdotusta ei suoritettu, sillä se ei kuulunut tutkimussuunnitelmaan.



KUVA 6. C2 esivaahdotus

5.3.5 Lupromin FP 308C pH 7, koe D1

Kokeessa D1 kokoojaa annosteltiin 3000 grammaa kiintoainetonna kohden. Liete vaahtosi erittäin runsaasti, joten vaahtoa oli vaikea hallita. Aluksi vaahton väri oli tumma, mutta pian se vaaleni, ja lopulta se ei sisältänyt lainkaan malmia (KUVA 7).



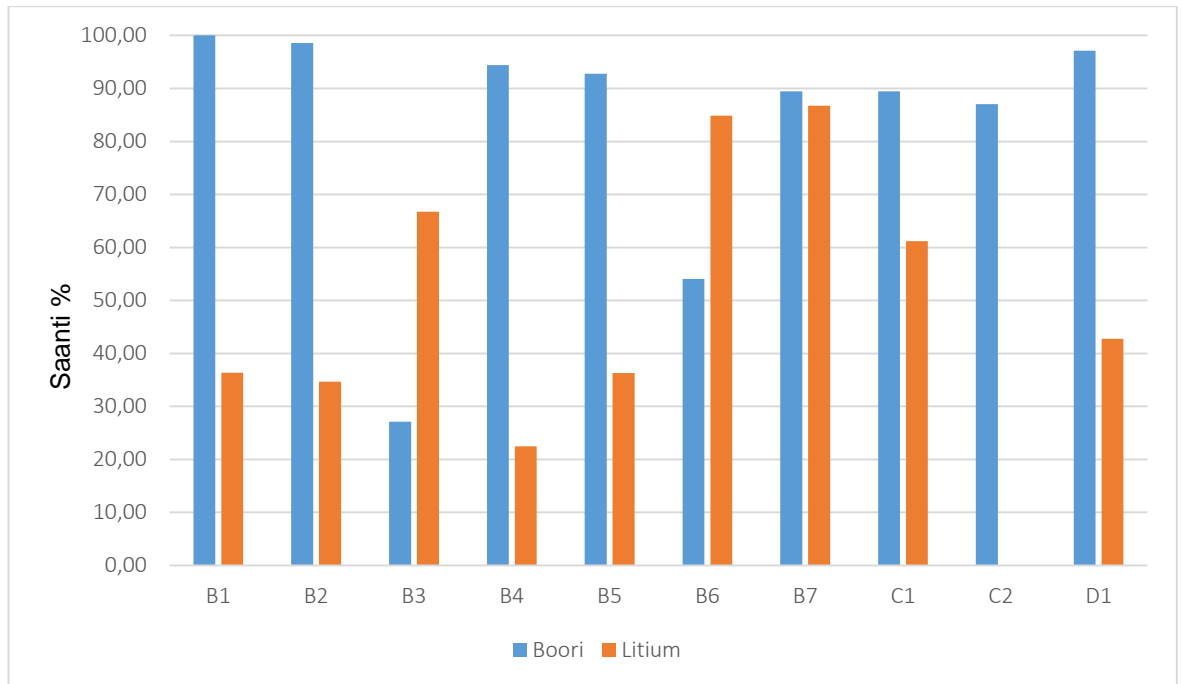
KUVA 7. D1 esivaahdotus

6 TULOKSET

Analyysituloksista (LIITE 3) laskettiin saannit boorille ja litiumille. Esivaahdotuksien saannit nähdään kuviosta 8 ja taulukosta 4. Ne on laskettu niin, että boorin saanti on laskettu rikasteeseen ja litiumin saanti jätteeseen. Kuvaajasta nähdään selvästi, että kokeissa B3 ja B6 boorin saanti on ollut selvästi huonompi kuin muissa kokeissa. Tämä johtuu todennäköisesti kokeiden korkeasta pH-arvosta. Toisaalta näissä kokeissa litiumin saanti oli melko hyvä. Boorin huono saanti ja litiumin hyvä saanti selittyy sillä, että näissä kokeissa vaahtoaminen oli heikkoa, jolloin lähes kaikki mineraalit jäivät jätteeseen.

Kokeissa B1, B2, B4, B5 ja D1 boorin saannit olivat todella hyvät, mutta vastaavasti litiumin saannit olivat huonot. Huono litiumin saanti johtui siitä, että osa litiummineraaleista vaahtottui turmaliinin mukana rikasteeseen. Näissä kokeissa pH ei aikaansaanut riittävää selektiivisyyttä turmaliinille.

Kokeissa B7 ja C1 sekä boorin että litiumin saannot olivat hyviä. Kokeessa B7 alhainen pH aikaansai selektiivisen vaahtotuksen, jolloin turmaliini nousi vaahtoon ja litium jäi lietteeseen. Kokeessa C1 vesilasiliuoksen lisäys toimi painajana, mutta luultavasti neutraalin pH:n takia osa litiummineraaleista nousi vaahton mukana rikasteeseen. Kokeen B7 olosuhteet antoivat tämän koesarjan parhaat tulokset. Siinä käytettiin natriumoleaattia annostuksella 1000 grammaa kemikaalia kiintoainetonna kohden ja pH-arvoa 5.



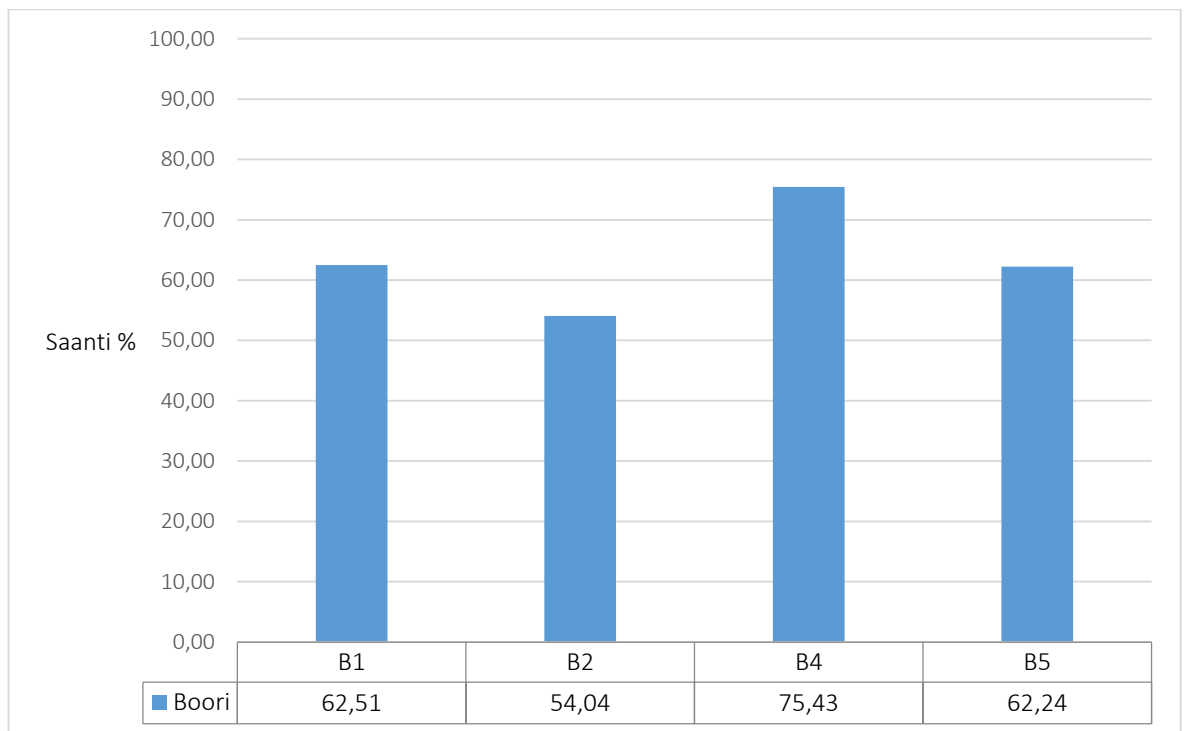
KUVIO 8. Esivaahdotuksien saannit

TAULUKKO 4. Saantiprosentit boorille ja litiumille

Koetunnus	Boori [%]	Litium [%]
B1	100	36,4
B2	98,6	34,6
B3	27,1	66,7
B4	94,4	22,5
B5	92,8	36,3
B6	54,0	84,8
B7	89,5	86,7
C1	89,5	61,2
C2	87,0	-
D1	97,1	42,8

Kokonaissaannit esi- ja kertausvaahdotuksen jälkeen näkyvät kuviosta 9. Kokonaissaannit saatiin laskettua vain neljälle vaahdotukselle, ja nekin vain boorin osalta. Kuvaajasta nähdään, että koko vaahdotustapahtuman saanti on huomattavasti alhaisempi verrattuna pelkkään esivaahdotukseen. Tämä osoittaa sen, että kertausvaahdotusten vaikutuksesta koko vaahdotustapahtuman saanti laskee huomattavasti.

Kaikkia kokonaissaanteja ei pystytty laskemaan, koska näytteiden pitoisuuden olivat niin lähellä toisiaan. Näitä saanteja yritettiin laskea myös sakkujen massojen ja pitoisuuksien avulla, mutta näistäkin tuloksista ei tullut järkeviä.



KUVIO 9. Kokonaissaannit esi- ja kertausvaahdotuksen jälkeen

7 YHTEENVETO

Saatuja tuloksia arvioitaessa huomioitiin boorin, eli turmaliinin ja litiumin saannit vaahdotuskokeissa. Vaikka tämän opinnäytetyön päätarkoitus oli turmaliinin vaahdotus, ei sen saantia voida yksinomaan käyttää tulosten arviointiin. Tulosten arvioinnissa piti ottaa huomioon myös litiumin hyvä saanti, sillä tavoitteena oli, että arvokasta litiumia ei saanut mennä paljon rikasteeseen turmaliinin mukana. Vaikka osassa kokeista päästiin lähes 100 prosentin boorin saanteihin, niin tällöin litiumin saanti jäi melko alhaiseksi, noin 35–45 prosenttiin. Osassa kokeista puolestaan litiumin saanti oli korkea, mutta boorin saanti jäi huonoksi.

Otettaessa huomioon hyvä boorin saanti rikasteeseen ja litiumin saanti jätteeseen, päädyttiin siihen, että esivaahdotuksesta kokeessa B7 saadut tulokset antavat sekä boorille että litiumille parhaat saannit. Boorille kyseinen koe antoi lähes 90 prosentin saannin ja litiumille 88 prosentin saannin. Tässä opinnäytetyössä tehtyjen kokeiden perusteella parhaat olosuhteet turmaliinin vaahdotukselle ovat pH 5 ja 1000 grammaa natriumoleaattia kiintoaine tonnia kohden. Kirjallisuuden mukaan liian hapan liete estää kationisten kokoojien toiminnan, joten pH:ssa 5 ollaan luultavasti lietteen pH:n alarajoilla.

Kertausvaahdotuksilla ei saatu parannettua boorin saantia verrattuna esivaahdotukseen. Boorin kokonaissaannit esi- ja kertausvaahdotusten jälkeen jäivät 50–75 %:iin, kun esivaahdotuksissa vastaavien esivaahdotusten saannit olivat yli 90 %:a. Tämä johtui luultavasti esivaahdotuksen hyvästä saannista, jolloin kerrattavaan lietteeseen ei jäänyt riittävästi jätemineraaleja. Tämä johti taas siihen, että vaahdotuksen edetessä vaahdotettavan lietteen lietepitoisuus laski niin alhaiseksi, että vaahdotus ei enää onnistunut. Kertausvaahdotus luultavasti onnistuisi jatkuvatoimisella vaahdotuksella, sillä siinä vaahdotettavaa materiaalia tulee koko ajan lisää.

Tässä opinnäytetyössä saadut tulokset ovat suuntaa-antavia, koska laboratoriomittakaavan laitteet ja olosuhteet poikkeavat teollisuusmittakaavan laitteista ja prosesseista. Tuloksia voidaan kuitenkin käyttää pohjana jatkotutkimuksiin.

LÄHTEET

- Friedman, H. & Minerals.net. 2016a. THE TOURMALINE MINERAL GROUP. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.minerals.net/mineral/tourmaline.aspx>. Viitattu 26.1.2016.
- Friedman, H. & Minerals.net. 2016b. THE MINERAL SCHORL. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.minerals.net/mineral/schorl.aspx>. Viitattu 15.3.2016.
- Keliber Oy. 2013a. Tuotantoprosessi. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://keliber.fi/tuotantoprosessi>. Viitattu 21.1.2016.
- Keliber Oy. 2013b. Lopputuotteet. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://keliber.fi/lopputuotteet>. Viitattu 21.1.2016.
- Keliber Oy. 2013c. Lanttä. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://keliber.fi/lantta>. Viitattu 21.1.2016.
- Keliber Oy. 2013d. Yritys. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://keliber.fi/yritys>. Viitattu 21.1.2016.
- Rahikka, L. 2014. Rikastustekniikka. Luentomateriaali.
- Rankin, W. 2011. Minerals, Metals and Sustainability: Meeting Future Material Needs. Collingwood: CSIRO PUBLISHING.
- Salminen, R. & Pihkala, J. 1980. Prosessitekniikan yksikköprosessit. Keuruu: Kustannusosakeyhtiö Otava.
- Sirén, O. 2015. Litiumista virtaa Keski-Pohjanmaalle – katsaus litiumkaivoshankkeeseen. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://materialweek.fi/file/Kokkola-Material-Week-2015-MetalKokkola-Olle-Siren-Litiumista-Virtaa-Keskipohjanmaalle.pdf>. Viitattu 22.1.2016.
- Sirén, O. 2016. Henkilökohtainen tiedonanto. Sähköpostikeskustelu. 1.3.2016.
- Wills, B. & Napier-Munn, T. 2006. Wills' Mineral Processing Technology. 7. painos. Burlington: Butterworth-Heinemann.

Tutkimussuunnitelma

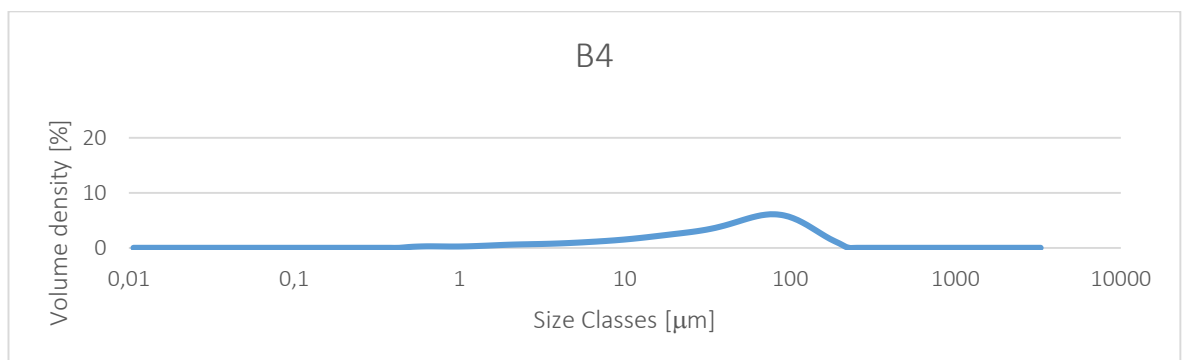
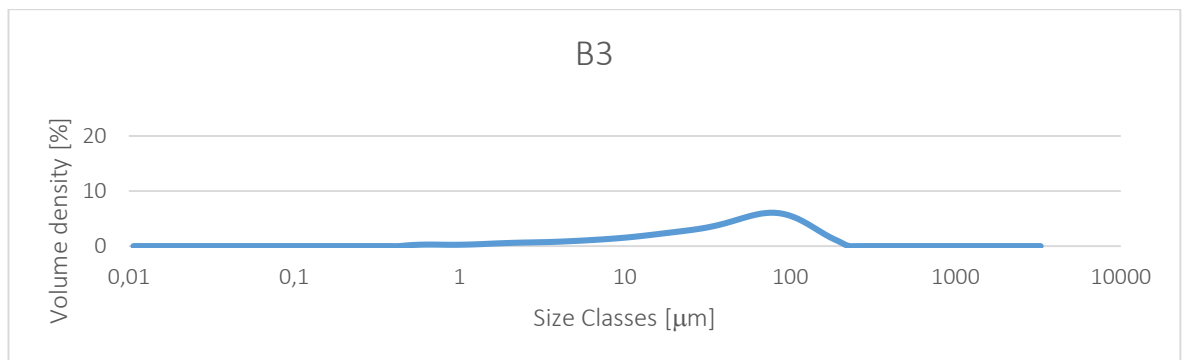
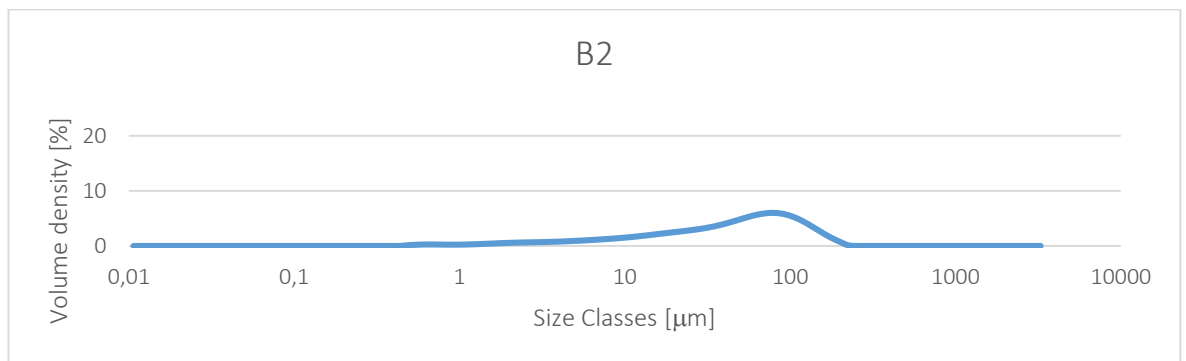
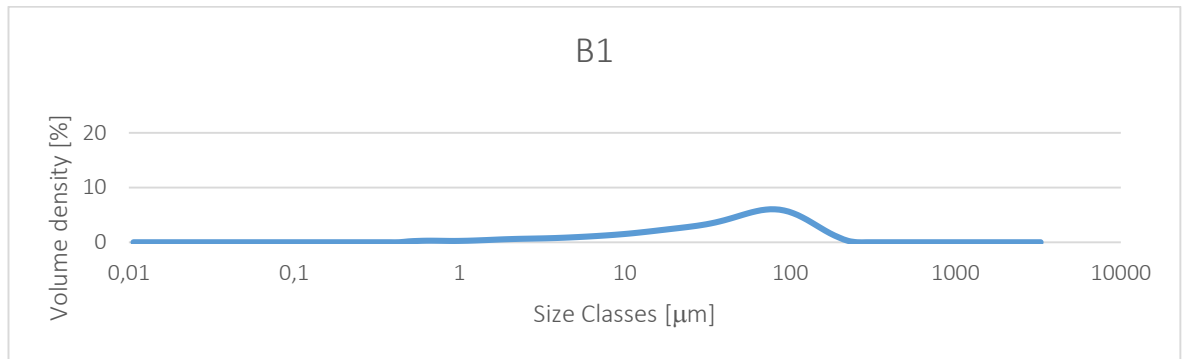
Turmaliinin vaahdotus

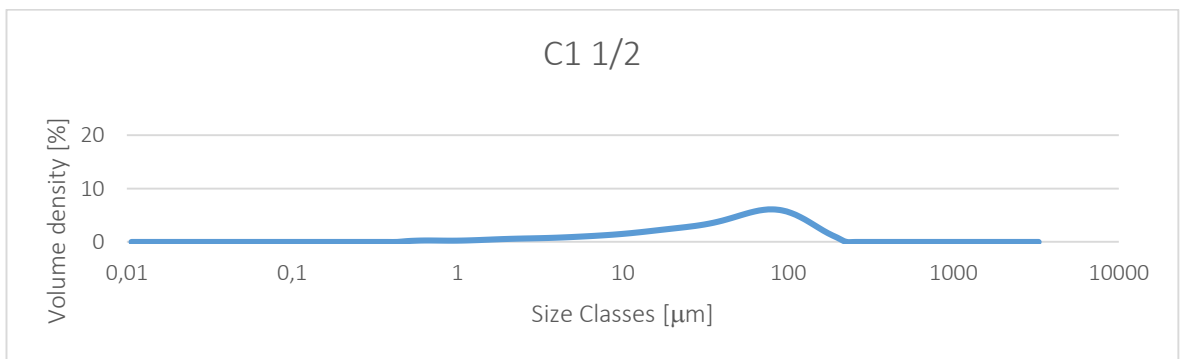
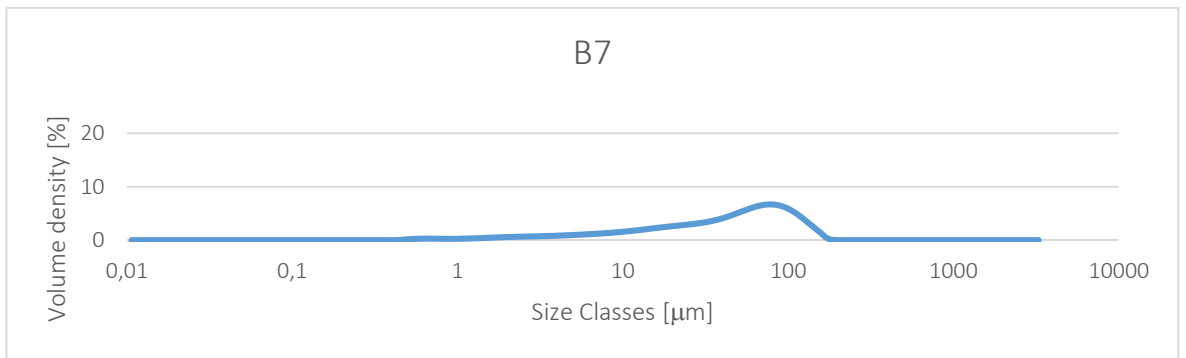
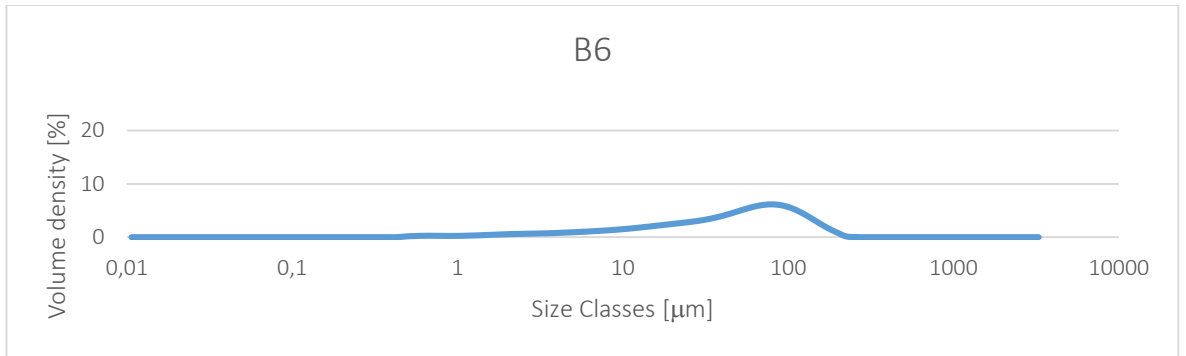
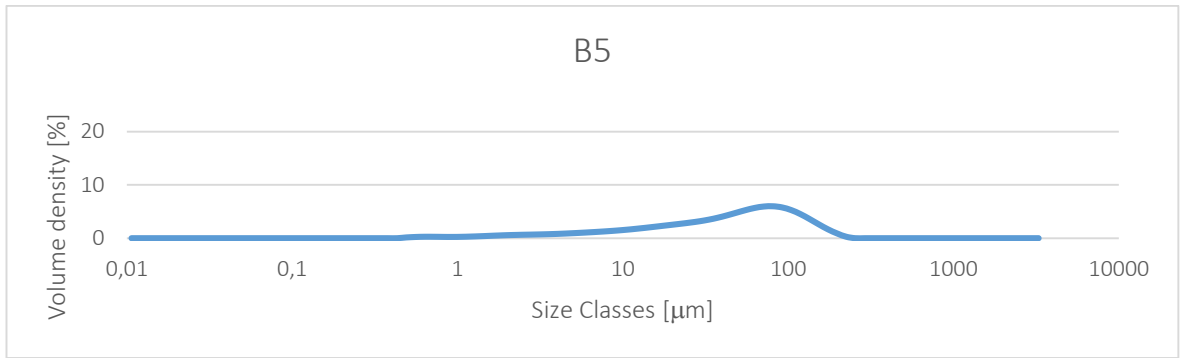
Tutkimuksen tarkoituksena on löytää spodumeenipegmatiitissa olevan turmaliinin vaahdotukselle kokoojakemikaali, kemikaaliannostus, oikea pH-arvo ja tutkia kertausvaahdotuksen vaikutusta vaahdotuksen saantiin.

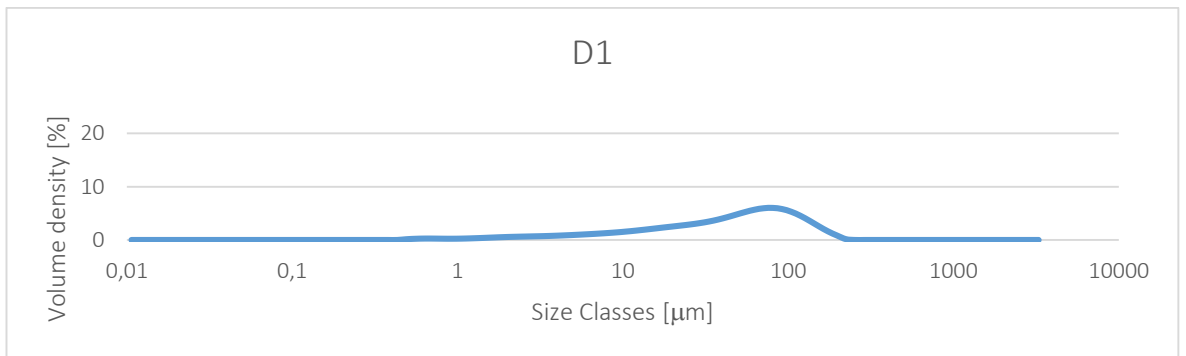
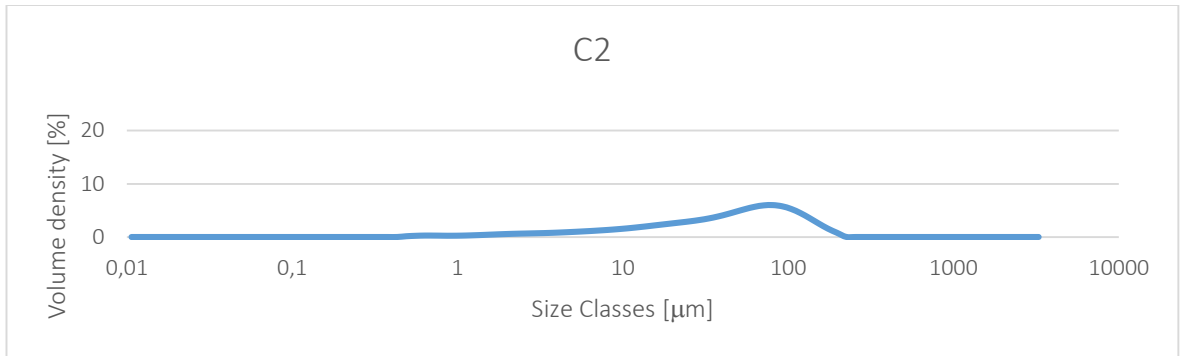
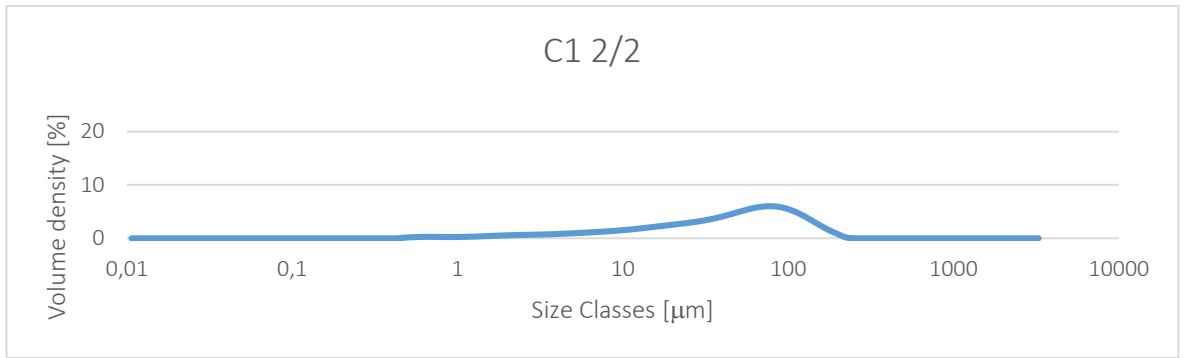
Parhaiten esivaahdotuskokeissa toimineelle kemikaalille suoritetaan yksi tai kaksi kertausvaahdotusta eri pH-arvoissa, esimerkiksi 6 ja 9, sillä esivaahdotuskokeet suoritettiin pH:ssa 7 ja kirjallisuuden mukaan silikaateille tarkoitetut kokoojakemikaalit hajoavat liian happamissa olosuhteissa. Lisäksi kemikaaliannostuksia tarkennetaan esivaahdotuskokeiden annostuksista. Esivaahdotuskokeet tehtiin annostuksilla 500, 1000 ja 2000 g/tonni kiintoainetta. Eli annostus, jolla on esivaahdotuksessa saatu parhaat tulokset, säädetään mahdollisimman pieneksi kulujen vähentämiseksi, mutta riittäväksi, jotta saanti on riittävä. Tavoitteena on pitää vain yksi muuttuja vaahdotuskertaa kohden.

Mikäli muilla kemikaaleilla saadaan viitteitä turmaliinin vaahdotuksen onnistumisesta, suoritetaan näille kemikaaleille kokeet eri pH-arvoissa.

Koe	Koetunnus	Kemikaali	pH	Esi-vaahdotus	Kertausvaahdotus
1	B1	Natriumoleaatti	7	x	x
2	B2	Natriumoleaatti	6	x	x
3	B3	Natriumoleaatti	9	x	x
4	B4	Natriumoleaatti	7	x	x
5	B5	Natriumoleaatti	6	x	x
6	B6	Natriumoleaatti	9	x	x
7	B7	Natriumoleaatti	5	x	x
8	C1	Natriumoleaatti + vesilasi	7	x	x
9	C2	Natriumoleaatti + vesilasi	5	x	
10	C3	Natriumoleaatti + vesilasi	8	x	
11	D1	Lupromin FP 308C	7	x	









Keliber Oy

22.04.2016 12:19:49

Kuopio

Siren Olle
Toholammintie 496
69600 KAUSTINEN
FINLAND

ANALYYSITULOKSIA

TILAUSNUMERO: 501546 VIITE: Prosessinäytteet/Siren

NÄYTETYYPPI: Prosessinäyte NÄYTTEITÄ: 41

MENETELMÄKOODI	NÄYTTEITÄ
721	41
721P	41
901	1
903	41

Labtium Oy

Susanna Arvilommi
Laboratoriopääl-
likkö

Labtium Oy

Labtium Oy

Tekniikantie 2
02150 ESPOO
Puh. 01065 38000

PL 1500
70211 KUOPIO
Puh. 01065 38000

MENETELMÄKUVAUKSET JA HUOMAUTUKSET

Tilausnumero: 501546
Raportointipäivä: 22.04.2016 12:19:49

TULOS PÄTEE VAIN TESTATUILLE NÄYTEILLE.
TESTAUSSELOSTEEN SAA KOPIOIDA VAIN KOKONAAN.

TULOKSET VALMISTUNEET: 20.04.2016 - 22.04.2016

VAIN NE TESTIMENETELMÄT, JOISSA TÄSSÄ SELOSTEESSA ON MERKINTÄ
+ MENETELMÄKOODIN EDESSÄ, KUULUVAT AKKREDITOINNIN PIIRIIN.

721	Natriumperoksidi-sulate, 0.2 g alinäyte
721P	Monialkuainemääritys ICP-OES-tekniikalla
901	Tilauksen kirjaus ja käsittelymaksu
903	Laboratorijätteen hävitysmaksu

Laboratorion näytetunnus	Tilaaajan näytetunnus	B % 721P	Li % 721P
L16024146	B1 syöte	0,293	0,190
L16024146U	B1 syöte	0,291	0,186
L16024147	B1 jäte	0,020	0,120
L16024148	B1 rikaste näyte	0,259	0,278
L16024149	B1 kertaus jäte	0,124	0,185
L16024150	B1 kertaus rikaste	0,763	0,282
L16024151	B2 syöte	0,279	0,190
L16024152	B2 jäte	0,046	0,137
L16024153	B2 rikaste näyte	0,301	0,239
L16024154	B2 kertaus jäte	0,119	0,185
L16024155	B2 kertaus rikaste	0,671	0,268
L16024156	B3 syöte	0,332	0,193
L16024157	B3 jäte	0,262	0,199
L16024158	B3 rikaste	1,180	0,182
L16024159	B4 syöte	0,316	0,195
L16024160	B4 jäte	0,041	0,079
L16024161	B4 rikaste näyte	0,527	0,339
L16024162	B4 kertaus jäte	0,079	0,141
L16024163	B4 kertaus rikaste	0,686	0,356
L16024164	B5 syöte	0,303	0,196
L16024165	B5 jäte	0,042	0,127
L16024166	B5 rikaste näyte	0,580	0,283
L16024166U	B5 rikaste näyte	0,598	0,285
L16024167	B5 kertaus jäte	0,109	0,163
L16024168	B5 kertaus rikaste	0,780	0,305
L16024169	B6 syöte	0,287	0,196
L16024170	B6 jäte	0,154	0,194
L16024171	B6 rikaste	1,080	0,208
L16024172	B7 syöte	0,299	0,192
L16024173	B7 jäte	0,042	0,188
L16024174	B7 rikaste näyte	1,040	0,223
L16024175	B7 kertaus jäte	0,359	0,207
L16024176	B7 kertaus rikaste	1,010	0,211
L16024177	C1 syöte	0,310	0,190
L16024178	C1 jäte	0,045	0,158
L16024179	C1 kertaus jäte	0,398	0,280
L16024180	C1 kertaus rikaste	1,350	0,279
L16024181	C2 syöte	0,326	0,185
L16024182	C2 jäte	0,060	0,185
L16024183	C2 rikaste	0,957	0,191
L16024184	D1 syöte	0,306	0,189
L16024185	D1 jäte	0,015	0,139
L16024186	D1 rikaste	0,715	0,256
L16024186U	D1 rikaste	0,730	0,261

Laadunvalvonta- näytteen tunnus	B % 721P	Li % 721P
QCAMIS0355	<0.005	0,732
QCAMIS0355	<0.005	0,751
QCAMIS0355	<0.005	0,733
QCGBMS304-6	<0.005	0,00285
QCGBMS304-6	<0.005	0,0022
QCGBMS304-6	<0.005	0,00274
QCSOKEA	<0.005	<0.001
QCSOKEA	<0.005	<0.001
QCSOKEA	<0.005	<0.001
QCSOKEA	<0.005	<0.001
QCSOKEA	<0.005	<0.001
QCSOKEA	<0.005	0,00105
QCUB-N	0,0145	0,0026
QCUB-N	0,0154	0,0035
QCUBB-N	0,0153	0,00365