

Tiia Kiviniemi

Litiumin vaahdotus Rokanol L3A:lla ja Berol 050:lla

**Opinnäytetyö
CENTRIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Kemiantekniikan koulutusohjelma
Lokakuu 2017**

TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Centria-ammattikorkeakoulu	Aika Lokakuu 2017	Tekijä/tekijät Tiia Kiviniemi
Koulutusohjelma Kemiantekniikka		
Työn nimi LITIUMIN VAAHDOTUS ROKANOL L3A:LLA JA BEROL 050:LLA		
Työn ohjaaja Laura Rahikka	Sivumäärä 39 + 4	
Työelämäohjaaja Pertti Lamberg & Olle Sirén		
<p>Opinnäytetyön aihe saatiin Keliber Oy:ltä, ja työn kokeellinen osio tehtiin Centria-ammattikorkeakoulussa ja Keski-Pohjanmaan aikuiskoulutuskeskuksessa. Opinnäytetyössä tutkittiin kahta eri vaahdotuskemikaalia, joiden avulla litium saadaan rikastettua malmista. Työn tavoitteena oli valita parempi kemikaali työstä saatujen laboratoriotuloksien perusteella Keliber Oy:n vaahdotusprosessiin. Keliber Oy:n tavoitteena on avata litiumkaivos Keski-Pohjanmaalle ja tuottaa litiumkarbonaattia.</p> <p>Työ käsitteli vaahdotusta ja tarkemmin spodumeeninvaahdotusta. Työn avulla selvitettiin, mitä reagensseja vaahdotuksessa käytetään ja työssä käytettyjen kemikaalien käyttöturvallisuustiedotteet. Työn kokeellisen osuuden suorittamisen avuksi laadittiin koesuunnitelma, joka piti sisällään esimerkiksi vaahdotuskokeiden työhjeen. Työn lopuksi oli tarkoitus löytää vastaus tutkimusongelmaan.</p> <p>Työssä käytettiin Syväjärven esiintymästä peräisin olevaa spodumeenimalmia, joka murskataan, jauhetaan, seulotaan, vaahdotetaan, suodatetaan ja kuivataan. Näiden vaiheiden jälkeen saadut näytteet lähetetään Labtium Oy:lle analysoitavaksi. Kokeellinen osuus suoritettiin 28.2–5.4.2017 välisenä aikana. Työssä tehtiin molemmilla kemikaaleilla viisi vaahdotuskoetta. Kokeet pitivät sisällään kertausvaahdotuksen ja kineettisen vaahdotuskokeen. Kokeiden aikana pyrittiin pitämään vaahdotusprosessin olosuhteet vakiona, jotta tuloksista nähtiin kemikaalien vaikutus vaahdotuksen saantiin ja litiumpitoisuuteen. Vaahdotuskokeiden tulokset saatiin Labtium Oy:ltä 8.5.2017.</p>		
Asiasanat Kokoojakemikaali, vaahdotus, spodumeeni, litiummalmi		

ABSTRACT

Centria University of Applied Sciences	Date October 2017	Author Tiia Kiviniemi
Degree programme Chemical engineering		
Name of thesis LITHIUM FLOTATION WITH ROKANOL L3A AND BEROL 050		
Instructor Laura Rahikka	Pages 39 + 4	
Supervisor Pertti Lamberg & Olle Sirén		
<p>The subject of the thesis was obtained from Keliber Oy and the experimental part of the work was implemented done at Centria University of Applied Sciences and the Central Ostrobothnia Adult Education Center. In the thesis, two different flotation chemicals were studied to enable lithium to be enriched from ore. The aim of the thesis was to select a better chemical based on the results of laboratory work for Keliber Oy's flotation process. Keliber Oy aims to open a lithium mine in Central Ostrobothnia and produce lithium carbonate.</p> <p>The work covered flotation and more specifically spodumene flotation. The purpose of this study was to determine which reagents were used in flotation and the operational safety instructions for used chemicals at work. To assist in carrying out the experimental part of the work, an experimental layout was prepared, which included, for example, the working instructions for the flotation tests. At the end of the thesis, the aim was to find an answer to the research problem.</p> <p>The work used spodumene ore sample from the Syväjärvi plant, which is crushed, ground, screened, foamed, filtered and dried. The samples obtained after these phases was sent to Labtium Oy for analysis. The experimental part was conducted between 28 February and 5 April 2017. Five flotation tests were carried out on both chemicals. The test included a review flotation and a kinetic flotation test. During the experiments, the conditions of the flotation process were kept constant in order to see the effect of chemicals on flotation and lithium content. The results of the flotation experiments were obtained from Labtium Oy on May 8, 2017.</p>		
Key words Collector chemical, flotation, spodumene, lithium ore		

**TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY
SISÄLLYS**

1 JOHDANTO	1
2 KELIBER OY	2
3 SPODUMEENI	3
4 VAAHDOTUS	4
4.1 Toimintaperiaate	4
4.2 Vaahdotukseen vaikuttavat komponentit ja niiden säätäminen	6
4.3 Vaahdotuksen saanti	7
5 VAAHDOTUSREAGENSIT	9
5.1.1 Vaahdotteet	9
5.1.2 Säännöstelijät	9
5.1.3 Kokoojat	10
5.1.4 Rokanol L3A	11
5.1.5 Berol 050	11
5.1.6 Prifac 8944	11
6 SPODUMEENIN VAAHDOTUS	13
6.1 Tutkimuksia	13
6.2 Syväjärven malmin käsittely	16
6.3 GTK:n vaahdotuskoe	17
7 KOESUUNNITELMA	18
7.1 Murskaus, jauhatus ja seulonta	18
7.2 Vaahdotustestit	19
7.3 Koevaahdotukset	19
7.4 Kertausvaahdotukset	19
7.5 Kineettiset vaahdotuskokeet	20
7.6 Näytteiden käsittely	20
8 KOKEIDEN SUORITUS	21
8.1 Murskaus, jauhatus ja seulonta	21
8.2 Vaahdotuskokeisiin tarvittavat työvälineet	22
8.3 Vaahdotustestit	23
8.4 Koevaahdotukset	23
8.5 Kertausvaahdotukset	24
8.6 Kineettiset vaahdotuskokeet	25
8.7 Näytteiden käsittely	26
9 TULOKSET	28
9.1 Koe- ja kertausvaahdotukset	28
9.2 Kineettiset vaahdotuskokeet	34

10 YHTEENVETO	37
----------------------------	-----------

LÄHTEET	38
----------------------	-----------

LIITTEET

LIITE 1.	
LIITE 2.	
LIITE 3.	
LIITE 4.	

KUVIOT

KUVIO 1. Vaahdotuskokeen tiedot	14
KUVIO 2. Tutkimuksen tulokset, recovery = saanti; content = pitoisuus.....	14
KUVIO 3. pH:n vaikutus vaahdotukseen	15
KUVIO 4 Valmennuksen keston vaikutukset	16
KUVIO 5. Koeosuuden lohkokaavio	21
KUVIO 6. Litiumpitoisuus-saanti-kuvaaja Rokanol-kemikaalille	33
KUVIO 7. Litiumpitoisuus-saanti-kuvaaja Rokanol-kemikaalille	33
KUVIO 8. Kineettinen vaahdotuskoe Berol 050	35
KUVIO 9. Kineettinen vaahdotuskoe Rokanol L3A	35
KUVIO 10. Kumulatiiviset saannit.....	36
KUVIO 11. Litiumin kumulatiivinen pitoisuus	36

KUVAT

KUVA 1 Syväjärven esiintymä.....	2
KUVA 2 Pegmatiitti.....	3
KUVA 3. Vaahdotuskennon toimintaperiaate	5
KUVA 4. Työssä käytetty materiaali	18
KUVA 5. Leukamurska	22
KUVA 6. Kuulamyylly	22
KUVA 7. Seulasarja.....	22
KUVA 8. Vaahdotuksen syöte.....	22
KUVA 9. Työvälineitä.....	23
KUVA 10. Denver-vaahdotuskone	24
KUVA 11. Kertausvaahdotus Rokanol L3A:lla	25
KUVA 12. Näytteiden kuljetus	25
KUVA 13. Imusuodatuslaitteisto	27
KUVA 14. Kuivatusuuni.....	27
KUVA 15. Lähetetyt näytteet	27

TAULUKOT

TAULUKKO 1. Massat, litiumpitoisuudet ja saannit Rokanol-kemikaalille.....	30
TAULUKKO 2. Massat, litiumpitoisuudet ja saannit Berol-kemikaalille.....	31
TAULUKKO 3. Saantien keskiarvot	33
TAULUKKO 4. Kineettisten vaahdotuskokeiden tulokset.....	35

1 JOHDANTO

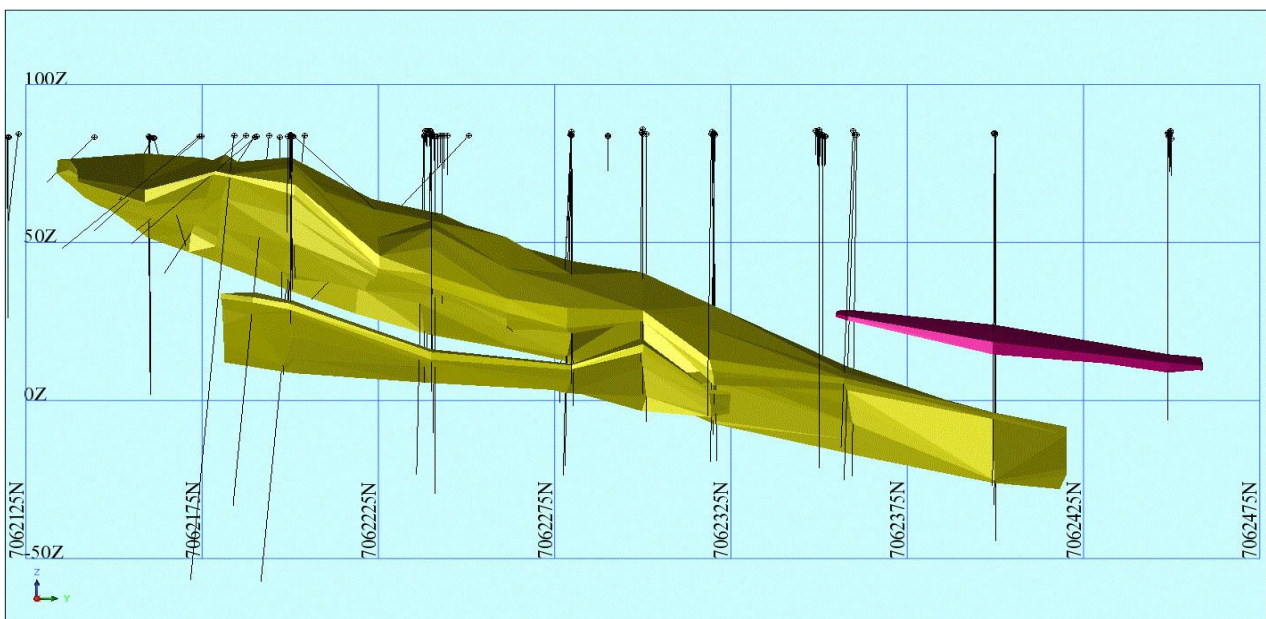
Opinnäytetyön tarkoituksena on vertailla kokeellisesti Keliber Oy:n vaahdotusprosessiin vaihtoehtoisia kokoojakemikaali. Keliber Oy on työn toimeksiantaja ja yhtiön päätuote suunnitellussa tuotannossa tulee olemaan litiumkarbonaatti (Li_2CO_3). Työssä tutkitaan kahta eri kemikaalia: Berol 050:aa ja Rokanol L3A:ta. Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia näiden kemikaalien vaikutusta vaahdotuksen litiumsaantiin ja rikasteen pitoisuuteen.

Työ voidaan jakaa kahteen eri osaan: teoriaosaan ja kokeelliseen osaan. Teoriaosuudessa perehdytään kirjallisuuteen ja verkossa saatavalla olevaan materiaaliin. Lähteiden avulla perehdytään vaahdotukseen, sen toimintaperiaatteeseen ja siihen vaikuttaviin tekijöihin. Oleellista on myös kertoa työssä käytettävän mineraalin vaahdottamisesta ja siihen liittyvistä tutkimuksista. Kokeellisessa osuudessa käsitellään Keliber Oy:tä saatua malmia. Malmille tehdään murskaus, jauhatus, seulonta, hienoaineksen erotus, vaahdotus, suodatus ja kuivaus. Lopuksi näytteet lähetetään Labtium Oy:lle analysoitavaksi. Analyysien perusteella voidaan vertailla kemikaalien soveltuvuutta ja paremmuutta. Murskaus, jauhatus, seulonta, hienoaineksen erotus, suodatus ja kuivaus tehdään Centria-ammattikorkeakoulussa. Vaahdotukset tehdään Keliber Oy:ltä saadun ohjeen mukaisesti Keski-Pohjanmaan aikuiskoulutuskeskuksen laboratoriossa. Molemmilla kemikaalilla tehdään viisi vaahdotuskoetta, joista yksi on kineettinen vaahdotuskoe.

2 KELIBER OY

Opinnäytetyön toimeksiantaja Keliber Oy on Keski-Pohjanmaalla toimiva kaivosyhtiö, jonka päätuotteena tulee olemaan litiumkarbonaatti (Li_2CO_3). Suomalaiset yksityishenkilöt ja sijoitusyhtiöt omistavat 75 % yhtiöstä. Loput noin 25 % on norjalaisen Nordic Mining ASA:n omistuksessa. Yhtiön suurimmat esiintymät löytyvät Längelmäveltä, Syväjärveltä, Rapasaaresta ja Outovedeltä. Syväjärven esiintymän Keliber osti TEM:ltä vuonna 2012. Syväjärven esiintymässä pääjuoni (KUVA 1) on jakaantunut kahteen osaan ja sen maksimipaksuus on noin 30m. Kairauksia Syväjärvellä on tehty 95 ja yhteensä 8114 m. Syväjärvellä hallitseva kivilaji on kiilleliuske. Tässä työssä kokeellisessa osuudessa tutkitaan Syväjärven esiintymästä peräisin olevaa malmia. (Keliber Oy 2013a; Keliber Oy 2013b.)

Yhtiön tavoitteena on tuottaa 9000 t/a litiumkarbonaattia. Tulevaisuudessa yhtiö tuottaisi litiumkarbonaatin lisäksi useita sivutuotteita, jotka nostavat yhtiön lisäarvoa. Keliber Oy:n prosessin tuote sopii akku- ja patteriteollisuuden raaka-aineeksi, minkä takia tuote vastaisi viime vuosina nousseeseen litiumin kasvun kysyntään. Mineraalivaranto on 6,2 Mt 1,26 % Li_2CO_3 ja kokonaisinvestointi on noin 150M€. Tuotannon aloitus on riippuvainen rahoituksesta ja lupien saamisesta sovitussa aikataulussa. (Kalapudas 2016).



KUVA 1. Syväjärven esiintymä (Keliber 2013)

3 SPODUMEENI

Pegmatiitti on karkeajakeinen juonikivi, joka sisältää spodumeenia (KUVA 2). Spodumeeni ($\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$) on litiummineraali, jonka kovuus on 6,5 -7,5 ja sen ominaispaino on 3,1. Sitä esiintyy graniittipegmatiiteissa senttimetrien jopa metrienkin pituisina kiteinä. Spodumeeni sisältää noin 8 % litiumoksidia (Li_2O), 64,5 % piioksidia (SiO_2) ja 27,5 % alumiinioksidia (Al_2O_3). (Kalapudas. 2016.) Suomessa spodumeenipegmatiitteja tunnetaan noin 30 eri juonta. Tärkeimmät esiintymät löytyvät Kruunupyyn-Ullavan alueelta. Spodumeenimineraalia käytetään litiumsuolojen valmistamiseen sekä keraamisen ja lasiteollisuuden raaka-aineena. Läpinäkyviä muunnoksia käytetään jalokivinä. (Grönholm, Alviola, Kinnunen, Kojonen, Kärkkäinen & Mäkitie 2009, 30.) Spodumeenimineraalin vaahdotuksesta kerron tarkemmin luvussa kuusi.

Pegmatiitin mineraalikoostumus / Syväjärven näyte (GTK Mintec)

Mineral	Wt-%
Spodumene	18,8
Quartz	29,7
Albite	30,5
K-feldspar	12,6
Muscovite	5,6
<i>Other phyllosilicates</i>	<i>0,69</i>
<i>Apatite</i>	<i>0,42</i>
<i>Tourmaline</i>	<i>0,25</i>
Manganocolumbite	0,012
Manganotapiolite	0,003
Others	1,40
TOTAL	100,0
Li2O	1,40

KUVA 2. Pegmatiitti (Kalapudas 2016)

Spodumeenimineraalin sisältämä litiumin tarve on ennustettu nousevan tulevana vuosia. Litiumia tarpeen kasvu kohdistuu erityisesti Li-akkuihin, joita käytetään sähkö- ja hybridautoissa, älypuhelimissa, kannettavissa tietokoneissa ja tableteissa. Eri maissa on päädytty erilaisiin kannustimiin, jotta liikennettä saataisiin sähköistettyä. Litium kuuluu hi-tech-metalleihin, joita joudutaan käyttämään paljon, kun keksitään uusia energiaratkaisuja. Suurin litiumia tuottava maa on tällä hetkellä Chile. Suomessa on hyvät mahdollisuudet käyttää hyödyksi maan litiumpotentiaali. (Sarapää 2011.)

4 VAAHDOTUS

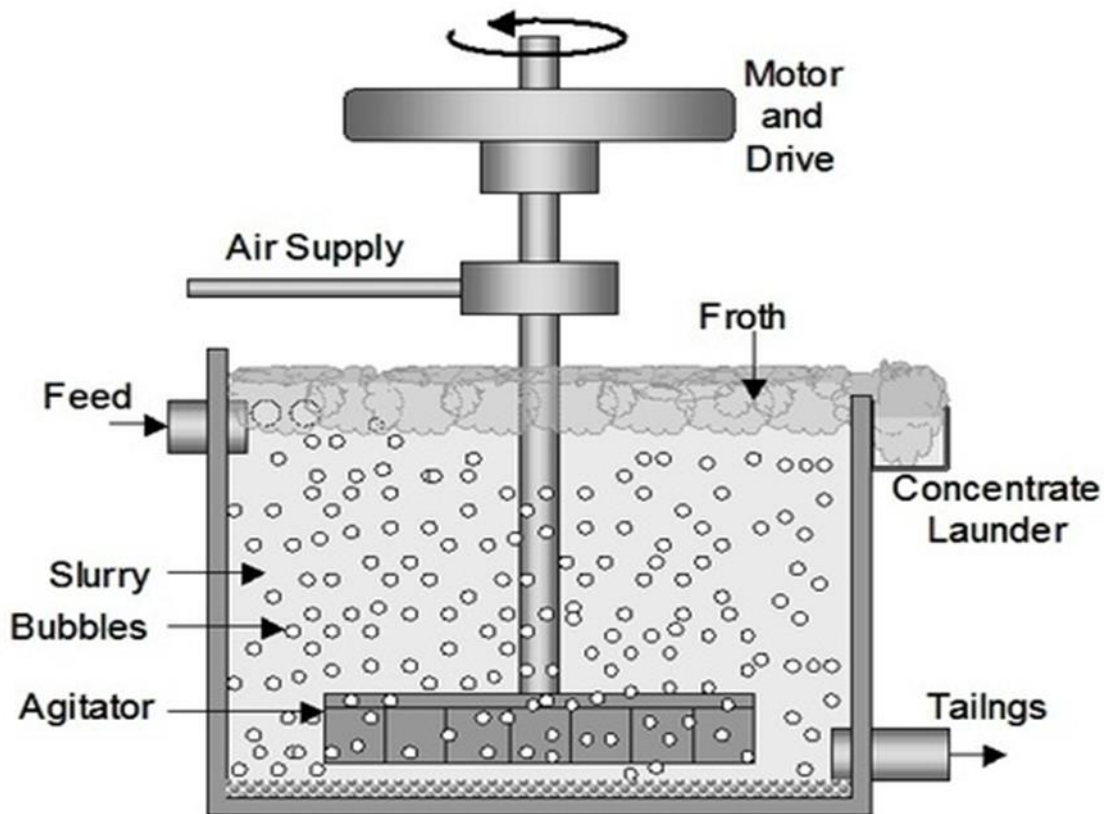
Rikastusprosessissa arvomineraalit erotetaan arvottomasta kivistä erillisiksi tuotteiksi, jota kutsutaan rikasteeksi. Sitä osaa, josta arvomineraalit on poistettu kutsutaan rikastehiekaksi tai jätteeksi. Rikastusmenetelmiä on useita, ja vaahdotus on yksi niistä. Vaahdotus käsittää kolme faasia: kiinteän, nesteen ja kaasun. Nämä sekoitetaan yhdessä kemikaalien kanssa vaahdotuskennoissa. Mineraalirakeet edustavat kiinteää faasia, nesteenä toimii yleensä vesi ja vaahdotusilma on kaasumainen elementti. Faasit muodostavat lietteen, josta rikastetaan arvomineraalit. Vaahdotuksen tarkoituksena on saada arvokkaat mineraalit tarttumaan kupliin, jotka kertyvät lietteen pinnalle vaahtoon. (Kuivala 2014.)

4.1 Toimintaperiaate

Vaahdotuksen toiminta perustuu mineraalien hydrofobisten ominaisuuksien eroihin. Vaahdotuksessa muodostuvien ilmakuplien pinnalle tarttuu hydrofobisia eli vettä hylkiviä mineraaleja ja lietteeseen jää hydrofiilisiä eli vesihakuisia mineraaleja. Vaahdotuksen tarkoituksena on saada mineraalirakeet tarttumaan ilmakupliin ja nousemaan niiden mukaan lietteen pintaan. Näiden mineraalirakeiden muodostama tuotetta kutsutaan rikasteeksi ja lietteeseen jäävää osaa rikastushiekaksi. Vaahdottamalla voidaan erottaa kaikki ne mineraalit, joiden pinta on luonnostaan hydrofobinen tai se voidaan tehdä hydrofobiseksi. Vaahdotuksessa mineraalirakeet voivat päätyä rikasteeseen kolmella eri tavalla. Ensimmäisessä materiaali tarttuu selektiivisesti ilmakuplan pintaan. Veden mukana kulkeutuminen on toinen tapa ja kolmannessa tavassa materiaali sulkeutuu partikkeleiden väliin ilmakuplan pinnalla. Näistä ensimmäinen on yleisin ja se perustuu materiaalien erilaisiin pintaominaisuuksiin. Kahdella jälkimmäisellä tavalla saadaan jonkin verran arvomineraalia talteen, mutta nämä tavat eivät ole selektiivisiä. (Wills & Finch 2016, 265–368; Kuivala 2014.)

Vaahdotus tapahtuu vaahdotuskoneissa, joissa liete sekoitetaan ja lietteeseen syötetään ilmaa mahdollisimman pieninä kuplina. Vaahdotuspiirissä on useita koneita, koska vaahdotus tehdään useammassa vaiheessa riittävän saannin ja pitoisuuden varmistamiseksi. Vaahdotuskoneet voidaan jakaa mekaanisiin- ja pneumaattisiin koneisiin. Mekaanisissa vaahdotuskoneissa on ilmaa itseimevä roottori ja pneumaattisissa vaahdotuskoneissa on ulkopuolinen kompressori, joka syöttää ilmaa laitteeseen. Vaahdotuskoneen

tehtävänä on pitää mineraaliaines suspensiona vesilietteessä, saada mineraalirakeet törmäämään ilmakupliin ja sekoittaa ilmaa lietteeseen. Kuva 3 kuvaa vaahdotuskonetta eli vaahdotuskennoa. Kuvasta 3 nähdään, että liete syötetään kennon yläosasta. Rikaste poistetaan kennon yläosasta ja rikastushiekka kennon alaosasta. Ilma puolestaan syötetään suojaputken kautta, joka on roottorin akselissa. Laitteen tarkoituksena on ohjata rikaste ja jäte erilleen. (Kuivala 2014.)



KUVA 3. Vaahdotuskennon toimintaperiaate (Torttila 2013)

Vaahdotuksen ensimmäinen vaihe on valmennus. Valmennus tapahtuu valmentimessa eli säiliössä, jossa lietteeseen lisätään kemikaalit. Sen jälkeen tehdään esivaahdotus, ripevaahdotus ja kertausvaahdotus. Esi- ja ripevaahdotuksessa lietepinnan korkeus yleensä kasvaa kennoriviä eteenpäin mentäessä ja vaahdotopinnan paksuus pienenee. Rikasteessa on enää vähän arvomineraaleja viimeisessä ripekennossa. Kertausvaahdotuksessa, taas missä rikasteen arvomineraalipitoisuus kasvaa kennosta toiseen, vaahdotopinnan paksuus yleensä kasvaa kohti lopullista rikastetta. Vaahdotuksessa haluttu mineraali peittyy kokoojake-mikaaliin ja lietteessä olevat ilmakuplat tarttuvat mineraaleihin ja kuljettavat ne pintaan rikastevaahdona. Vaahdotuskemikaaleista kerron tarkemmin luvussa 5. (Kaiva.fi 2014.)

4.2 Vaahdotukseen vaikuttavat komponentit ja niiden säätäminen

Vaahdotukseen vaikuttaa partikkeleiden koostumus, raekoko, rakeiden muoto ja niiden ominaispaino. Vaahdotuksessa raekoko on yleensä muutamia kymmeniä mikrometrejä. Syötteen sisältäessä liikaa hienoainesta kemikaalien kulutus kasvaa, kokoojakemikaali ei ohjaudukaan arvomineraalin pinnalle ja vaahdotusprosessi voi estyä. Useimmissa vaahdotustapauksissa mineraaleilla on kriittinen pH-arvo, jonka ylä tai alapuolella mineraali vaahdotuu ja sen toisella puolen taas ei. Kriittinen pH riippuu mineraalin ominaisuuksien lisäksi käytettävän kokoojan määrästä. Lietteen pH:ta nostetaan yleensä natriumhydroksidilla, kalkilla tai natriumkarbonaatilla ja lasketaan sopivalla hapolla, esimerkiksi rikkihapolla. (Wills & Finch 2016, 265–368.) Lietetiheydellä eli kiintoainepitoisuudella painoprosentteina on vaikutusta vaahdotukseen. Esivaahdotuksessa lietetiheys on yleensä korkeampi kuin kertausvaahdotuksessa. Lietteen tiheyttä säädetään veden määrää pienentämällä tai suurentamalla. Korkeassa lietetiheydessä kuplien sekoittuminen ja törmäminen mineraalirakeiden kanssa voi olla puutteellista ja tapahtua vain lähellä sekoitinta. Lisäksi jätettä voi myös nousta rikasteen mukana. Liian alhainen lietetiheys tekee vaahdosta löysää eli vesipitoisuus on korkea ja vaahdotus voi epäonnistua. (Pekkala 2016.)

Lietepinnan korkeus yleensä kasvaa kennoriviä eteenpäin mentäessä. Lietepinnan korkeutta säädetään peräventtiilillä, joka on yleensä puristusventtiili. Korkea lietepinta tarkoittaa ohutta vaahtopatjaa, joka alentaa pitoisuutta ja nostaa saantia. Yleensä esivaahdotuksessa ja riipevaahdotuksessa pidetään lietepintaa korkealla (ohut vaahtopatja), jolloin varmistetaan korkeampi saanti. Vaahtopatjan korkeus pienenee mentäessä vaahdotuskennosta seuraavaan ja rivin viimeisestä kennosta rikasteeseen poistuu enää vähän arvomineraaleja. Paksu vaahtopatja nostaa pitoisuutta ja laskee saantia. Kertausvaahdotuksessa pyritään saamaan korkeapitoista lietettä, jolloin vaahtopatja pyritään pitämään paksuna. (Wills & Finch 2016, 265–368.)

Kemikaalien määrällä ja laadulla on olennainen vaikutus vaahdotuksen toimintaan. Liiallinen tai liian vähäinen kemikaalien käyttö aiheuttaa sen, että hydrofobiset arvomineraalit jätteen mukana jätealtille tai vaahto nousee liian nopeasti rännin yli, jolloin myös hydrofiiliset harmemineraalit nousevat rikasteen mukana. Liiallinen kemikaalien käyttö voi aiheuttaa myös sen, että vaahdotus on sellaisessa tilassa, että se ei toimi kunnolla ja toiminnan elpyminen voi viedä aikaa. (Pekkala 2016.) Ilman määrällä on suora yhteys ilmakuplien määrään ja siten saatavaan rikasteen määrään. Vaahto on stabiilia silloin, kun ilmakuplien ja partikkeleiden välillä syntyy riittävästi kontakteja. Kennoon syötetään silloin ilmaa optimimäärä. Ilmakuplat hajoavat herkästi, jos ilmaa syötetään liikaa. Vaahto tulee silloin nopeasti kennon yli ja vaahto näyttää kiehuvan. Samassa tilanteessa myös jätemateriaali voi vaahdotua, jolloin rikasteen

pitoisuus laskee. Vastaavasti, jos ilmaa syötetään liian vähän ilmakuplat ja partikkelit eivät kohtaa ja rikastetta ei saada talteen. Vaahdotuspiirissä kertaukseen menevällä lietteellä on korkea pitoisuus, jolloin ilmamäärä pidetään korkealla. Ripevaahdotuksen kennoja voidaan myös ajaa ilmaylimäärällä saannin maksimoimiseksi (Kaiva.fi 2014; Pekkala 2016.)

4.3 Vaahdotuksen saanti

Vaahdotuksen saannilla tarkoitetaan tavoitellun komponentin määrää rikasteessa jaettuna sen määrällä syötteessä. Vaahdotusprosessilla pyritään saavuttamaan korkea arvomineraalin saanti. Saantiin vaikuttaa mineraalin pitoisuus. Pitoisuudella tarkoitetaan tavoitellun komponentin määrän suhdetta syötteessä ja rikasteessa. Kaavan yksi avulla voidaan laskea saanti, jos pitoisuudet ja massat tunnetaan:

$$R = \frac{c * C}{f * F}$$

jossa c on rikasteen mineraalipitoisuus, f on syötteen mineraalipitoisuus, C on rikasteen massa ja F on syötteen massa. Kaavassa 1 pitoisuudet on ilmoitettu prosentteina ja massat grammoina, joskin muitakin yksiköitä voidaan käyttää, kunhan ne ovat samat sekä osoittajassa että nimittäjässä. Vaahdotuksen saantiin voidaan vaikuttaa edellisessä alaluvussa esitettyjen komponenttien säätämisen avulla. Yleensä saanti ilmoitetaan prosentteina, jolloin yllä esitetyn kaavan R täytyy kertoa sadalla ($R\% = 100 * R$). (Pekkala 2016.)

On yleistä, varsinkin laboratorioskokeissa, että välituotteiden analyysijä ei ole käytettävissä. Silloin saantilaskennassa hyödynnetään yksinkertaista massataselaskentaa. Tällöin on käytännöllistä aloittaa saannin laskenta prosessin loppupäästä. Kun yksinkertaisessa vaahdotuspiirissä, joka koostuu esivaahdotuksesta ja kahdesta kertauksesta. (Lamberg 2017)

Vaahdotusprosessissa saannin laskenta aloitetaan prosessin loppupäästä. Laskennassa käytetään silloin seuraavia kaavoja:

$$S = EJ + ER$$

jossa S on vaahdotuksen syöte, EJ on esivaahdotuksen jäte ja ER on esivaahdotuksen rikaste.

$$ER = KR1 + KJ1$$

jossa ER on esivaahdotuksen rikaste, KR1 on kertausrikaste 1, KJ1 on kertausjäte 1.

$$KRI1 = KR2 + KJ2$$

jossa KR1 on kertausrikaste 1, KR2 on kertausrikaste 2 ja KJ2 kertausjäte 2

Kun kokeesta välituotteita ei kerätä, vaan pitoisuudet ja massat tiedetään ainoastaan tuotteista EJ, KJ1, KR2 ja KJ2, niin syötteen laskennallinen massa voidaan laskea massataseyhtälöstä.

$$S = EJ + KJ2 + KR2 + KJ1$$

jossa S on laskennallinen syöte, EJ on esivaahdotuksen jäte, KJ2 on kertausjäte 2, KR2 on kertausrikaste 2 ja KJ1 on kertausjäte 1. Jokaisessa kaavassa suureet ovat massoja. Halutun mineraalin tai alkuaineen pitoisuuden selvittämiseen käytetään näytteiden massoja ja kyseessä olevia pitoisuuksia. Esimerkiksi kertausjäte 1:n litiumpitoisuus voidaan laskea seuraavasti:

$$Li - pitoisuus = \frac{(KRJ2 \times Li - pitoisuus) + (KR2 \times Li - pitoisuus)}{KR1}$$

jossa Li-pitoisuudet ovat kyseisen näytteen analysoituja pitoisuuksia. (Lamberg, suullinen tidonanto 2017)

5 VAAHDOTUSREAGENSIT

Vaahdotuksen tarkoituksena on saada mineraalit kiinnittymään kupliin ja kerääntymään lietteen pinnalla olevaan vaahtoon. Tämä saadaan toteutettua vaahdote-, säännöstely- ja kokoojakemikaaleilla. Säännöstelykemikaalit luokitellaan painajiin, aktivoijiin ja pH-säätäjiin. Vaahdotusreagenssit vaikuttavat merkittävästä vaahdotusprosessiin ja niiden ominaisuuksilta vaaditaan muun muassa hyvää saatavuutta, alhaista hintaa ja ympäristöystävällisyyttä. (Pekkala 2014, 22–32; Salminen & Pihkala 1980, 82–85.)

5.1.1 Vaahdotteet

Vaahdotteiden tehtävänä on pienentää pintajännitystä ja siten ilmakuplien kokoa ja täten lisätä kuplien pinta-alaa eli ilmavuota. Lisäksi vaahdotteen pitää muodostaa pysyvä ja vakaa vaahto, joka jaksaa kantaa siihen kiinnittyneen mineraalipartikkelin. Yksi yleisistä vaahdotteista on MICB eli metyyli-isobutyylim-karbinoli ($((\text{CH}_3)_2\text{CHCH}_2\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_3)$). Vaahdotekemikaalin molekyylit kiinnittyvät neste-kaasufaasin rajapinnalle hiilivetypää kuplan suuntaan ja ionisoitunut pää veteen päin. Suurin osa vaahdotteista on kemialliselta koostumukseltaan alkoholeja, hydroksyloituja polyeettereit ja alkoksiryhmällä korvattuja parafiineja. (Wills & Finch 2016, 265–368; Kuivala 2014.)

5.1.2 Säännöstelijät

Säännöstelijöiden avulla saadaan kokoojat tarttumaan selektiivisesti vain niihin partikkeleihin, jotka halutaan rikastaa. Ne toimivat kiinteän ja nestefaasin rajapinnalla. Säännöstelijät jaetaan aktivoijiin ja painajiin. Aktivoijien ansiosta kokoojat tarttuvat sellaisiin mineraaleihin, jotka muuten olisivat vaahtoutumattomia tai huonosti vaahtoutuvia. Painajat puolestaan estävät kokoojan tarttumisen ei-halutun mineraalin pintaan. (Wills & Finch 2016, 265–368; Kuivala 2014.)

5.1.3 Kokoojat

Kokooja tekee mineraalipartikkeleiden pinnan selektiivisesti hydrofobiseksi. Kokooja adsorboituu halutun mineraalin pinnalle, mutta se ei kiinnity ei-haluttuun mineraaliin. Ne ovat vesiliukoisia ja heteropolaarisia eli ne sisältävät polaarittoman hiilivetyketjun sekä polaarisen ryhmän. Kokoojia on paljon erilaisia ja ne luokitellaan ionivaruksen perusteella anionisiin, kationisiin, amfoteerisiin ja ionisoimattomiin kokoojiin. (Wills & Finch 2016, 265–368; Kuivala 2014.)

Kokoojassa hiilivetyä on vettä hylkivä ja polaarisen ionisoituvan pään avulla kokooja tarttuu mineraalin pintaan. Kokoojan täytyy olla hyvin veteen sekoittuva ja liukeneva aine, jotta vaahdotus onnistuu. (Lukkarinen 1987, 49.) Kokoojat jaetaan ei-ionisoiviin ja ionisoiviin kokoojiin. Ionisoivat kokoojat voidaan luokitella anionisiin ja kationisiin kokoojiin. Kationiset kokoojat soveltuvat mineraaleille, joiden pintavaraus on negatiivinen, sillä ne käyttävät positiivisesti varautuneita amiini yhdisteitä mineraalien sitomiseen. Anioniset kokoojat ionisoituvat vedessä, jolloin muodostuu negatiivinen polaarinen pää sekä hiilivetyä. Negatiivinen polaarinen pää tarttuu mineraalien pintaan ja hiilivetyä muuttaa mineraalipinnan hydrofobisemmaksi. Anionisia kokoojia on kahta erityyppiä: tiolit ja rasvahapot. Tiolihin kuuluvia ksantaatteja käytetään sulfidisille mineraaleille. (Wills & Finch 2016, 265–368.)

Tässä työssä käytettävä kokooja kuuluu rasvahappokokoojiin. Rasvahappokokoojat soveltuvat oksidisille, suolatyypisille ja joillekin silikaatti mineraaleille. Alkyylisten rasvahappokokoojien yleiskaava on:

R-COOH

jossa R on 8-20 hiiliatomia. Tyydyttyneiden rasvahappojen kemiallisessa kaavassa ei ole kaksoissidoksia. Tyydyttymättömien rasvahappojen kemiallisessa kaavassa puolestaan esiintyy kaksoissidoksia. Teollisuudessa käytössä olevat rasvahappokokoojat ovat tavallisesti useiden happojen seoksia. Niiden pääkomponenttina on yleensä öljyhappo. Rasvahappojen teho kokoojana perustuu siihen, että ne muodostavat suoloja kahdenarvoisten metallien kanssa. (Lukkarinen 1987.)

Rasvahappokokooja sopii sellaisille mineraaleille, joissa on raskaan metallin tai maa-alkalimetallin ioneja. Kokoojan selektiivisyyteen vaikutetaan tarkalla pH:n säädöllä. Kokoojan kulutukseen vaikuttaa esimerkiksi jauhaus hienous, malmin laatu, käytettävän veden kovuus jne. Kemikaalin kulutusta voidaan vähentämällä poistamalla hienoaines ja käyttämällä vaahdotuksessa korkeaa lietetiheyttä. Eräissä

tutkimuksessa on todettu, että rasvahappo toimii sitä voimakkaampana kokoojana, mitä enemmän hiilivetyketjussa on kaksoissidoksia. Tutkimuksessa käytettiin mäntyöljyä vaahdottamaan oksidimineraaleja. Myöhemmin on tutkittu muitakin rasvahappokokoojia ja tutkitusti rasvahapon tyydyttymättömyysasteen lisääntyessä kokoojavoimakkuus kasvaa. Esimerkiksi linoli- ja linoleiinihappo ovat voimakkaita rasvahappokokoojia. (Hukki 1964.)

5.1.4 Rokanol L3A

Opinnäytetyön kokeellisessa osuudessa käytettiin kokoojakemikaaleina Rokanol 050:aa, Berol L3A:ta ja Prifac 8944:ää. Rokanol L3A on Algolin valmistama kokooja kemikaali (emulgaattori). Se on pitkä- ja suoraketjuinen alkoholi, joka liukenee veteen huonosti. Ketjussa voi olla 12–16 hiiltä. Sen tiheys 20 °C asteessa on noin 0,93 g/ml ja huoneenlämmössä nestettä. Sen haju on mieto ja se jähmettyy noin 5 °C asteessa. Sitä voidaan käyttää hapettavissa olosuhteissa ja se toimii kylmässä vedessä ja laimennettujen alkalien kanssa. Rokanol on syövyttävä aine ja se on sellaisenaan ympäristölle haitallista. (PCC Exol.)

5.1.5 Berol 050

Berol on hyvin samankaltainen kemikaali kuin Rokanol. Se on AkzoNobelin valmistama kemikaali ja pitkä- ja suoraketjuinen alkoholi. Se on väritöntä nestettä, jonka haju on mieto. Sen tiheys on 0,9 g/ml ja se sekoittuu täysin veteen. Berol on vakaa kemikaali 50 °C asteeseen saakka. Se koostuu polyeetteri-alkoholeista kaavan mukaisesti:



jossa R on ketjussa olevien hiilien määrä ja n saa arvot 1-6. Berol on Rokanolin tapaan syövyttävä ja ympäristölle haitallinen aine. (Chemicalbook. 2016.)

5.1.6 Prifac 8944

Prifac 8944 kuuluu rasvahappokokoojiin, joiden yleisen kemiallisen kaavaan esitin luvussa 5.1.3:

R-COOH

jossa R on 8-20 hiiliatomia. Prifac 8944:ssä hiiliatomeja on 12–18 kappaletta. Sen tiheys 25 °C asteessa on 0.85–0,9 g/ml. Sitä käytetään öljypohjaisten kemikaalien raaka-aineena. Kemikaalin kiehumispiste on 239.7- 365.2 °C. Prifac 8944 reagoi voimakkaiden hapettimien kanssa ja kemikaalilla on syövyttävä vaikutus. (PasificOleo. 2009)

6 SPODUMEEENIN VAAHDOTUS

6.1 Tutkimuksia

Spodumeenilietteen voi esikäsitellä kahdella eri tavalla. Ensimmäisessä tavassa mineraalilietettä valmennetaan natriumhydroksidilla (NaOH) kiintoainepitoisuuden ollessa 50–60%. Lietettä valmennetaan 20–30 minuuttia. Natriumhydroksidia lisätään lietteeseen kymmenen minuutin välein. Pintakäsittelyn jälkeen lietettä poistetaan lisäämällä öljyhappoa 400–600 g/t. Toinen vaihtoehto on käyttää natriumsulfidia (Na₂S). Etelä-Dakotassa koelaitoksen testissä käytettiin natriumhydroksidia ja öljyhappoa, jolloin litiumoksidin (Li₂O) saanniksi saatiin 75 %. Litiumoksidipitoisuus oli ollut 7,2 %. (Bulatovic 2015, 44–45.)

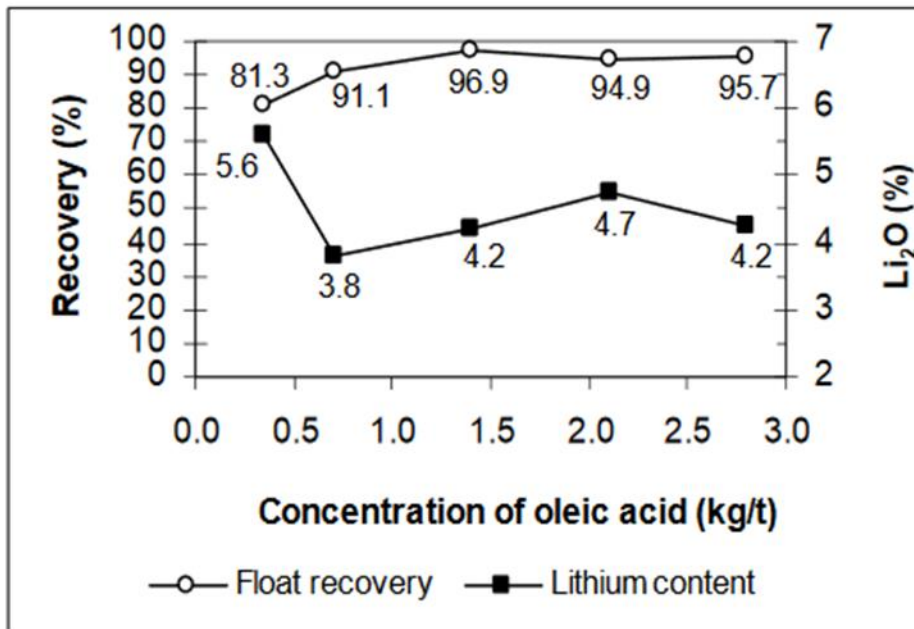
Cytec industries on kehittänyt spodumeenivaahdotuksen esikäsitteily-menetelmät. Yhdessä menetelmässä käytettiin amiinikokoojaa pH:ssa 2,5-3, jolloin kiille mineraalia saatiin poistettua. Kiille-mineraalijätteestä poistettiin vettä, jonka jälkeen se käsiteltiin öljyhapolla kiintoainepitoisuuden ollessa 50 %. Sitten lietteen kiintoainepitoisuus laimennettiin 20 %:iin. Spodumeenivaahdotuksen jälkeen tehtiin kaksi kertausvaahdotusta ja Li₂O saanniksi saatiin 45 %. Toisen menetelmän tutkimustulokset ovat olleet menestyksekkäämpiä. Tutkimuksessa mineraalilietteen kiintoainepitoisuutena käytettiin 64 % ja öljyhappoa käytettiin 500 g/t. Esivaahdotuksessa lietteen kiintoainepitoisuus oli 28 %. Saatu rikaste kerattiin kahdesti ja litiumoksidin saanniksi saatiin 90 %. (Bulatovic 2015, 45).

Toisessa käsittelytavassa käytetään natriumfluoridia (NaF) ja Cytecin muunneltua sulfonaattia malmin jauhatusvaiheessa, jonka jälkeen kemikaaleja lisätään ja pienemmät hiukkaset poistetaan malmista. Esivaahdotuksessa käytettiin Aero 765 kemikaalia, joka on öljyhapon ja linolihapon sekoitus. Spodumeenivaahdotuksen ja kahden kertauksen jälkeen litiumoksidin saanniksi saatiin noin 80 %. Tutkimuksia on tehty paljon ja ajan kuluessa on kehitetty tehokkaampia kokoojakemikaaleja. Kokoojat ovat maaöljysulfonaattien ja rasvahappojen sekoituksia. Rasvahapot ovat linolihapon, mäntyöljyn ja MICB:n sekoituksia. Nämä kokoojat tunnetaan LR sarjan kokoojina. (Bulatovic 2015, 45–46.)

Kuviossa 1. on esitetty Gent ym. 2002 tutkimuksen olosuhteet. Malminäyte on otettu Pontevedrasta Espanjasta. Kuvioista 1 nähdään öljyhapon annostelumäärä, lietteen pH, vaahdotuskennon roottorin nopeus, lietteen sekoitusaika, lietteen lämpötila, raaka-aineen pitoisuus ja kertauksien määrä. Tutkimuksesta saadut tulokset on esitetty kuvioissa 2. Kuvioista 2 nähdään, että paras puhtausaste saavutettiin pienimmällä öljyhapon annostuksella (0.35 kg/t). Toisaalta paras saanti (96,9 %) saavutettiin, kun öljyhappoa oli käytetty 1,40 kg/t tai enemmän. Optimimäärä öljyhappoa osoittautui olevan 2,10 kg/t, jotta litiumoksidin puhtausaste pysyi korkealla. Saannissa hävittiin silloin 2 %. (Gent, Menéndez, Toraño & Vidal. 2002.)

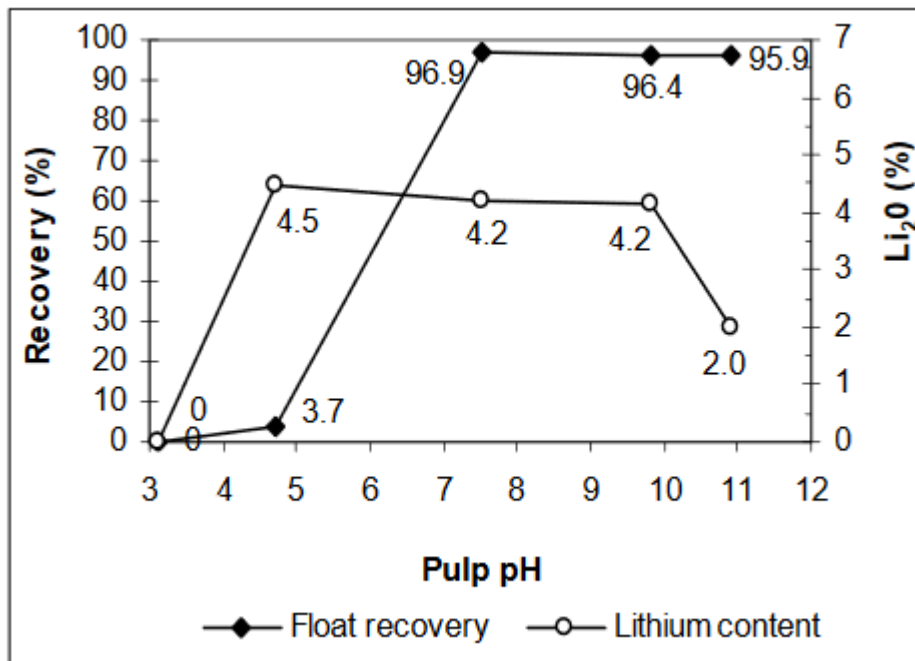
Dosage of oleic acid collector (kg/t)	0.35, 0.70, 1.40, 2.10, 2.80
Pulp pH	3.1, 4.7, 7.5, 9.8, 10.9
Flotation cell rotor velocity (rpm)	760, 1040, 1350, 1680
Pulp conditioning period (min)	1, 6, 10, 15, 20
Pulp temperature (°C)	15, 33, 50, 70
Feed stock concentration (%)	9.4, 17.8, 25.2, 32.0
Cleaning passes of concentrate	4 (excluding initial rougher)

KUVIO 1. Vaahdotuskokeen tiedot

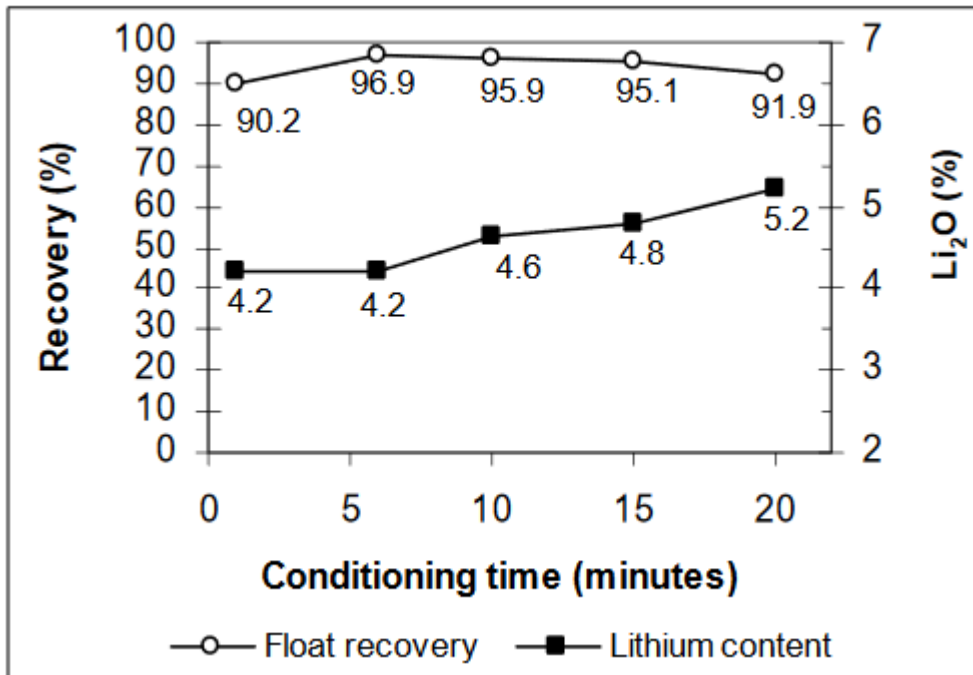


KUVIO 2. Tutkimuksen tulokset, recovery = saanti; content = pitoisuus.

Kuviossa 3 on esitetty pH:n muutoksen vaikutukset vaahdotukseen. Kuvioista 3 nähdään että pH:ssa 3,1 litiumoksidin saanti jää hyvin alhaiseksi kun taas pH:ssa 7,5 saanniksi saadaan yli 95 %. Yli 10,9 pH:ssa saanti alkaa laskea, joten optimi pH-alue olisi 7,5-9,8. Viimeisestä tutkimukseen liittyvästä kuvioista 4 nähdään valmistusajan vaikutus saantiin ja pitoisuuteen. Tuloksien pohjalta saanti laskee, kun valmistus kestää yli kymmenen minuuttia. Paras kompromissi saannin ja pitoisuuden kannalta on pitää valmistusaika kymmenessä minuutissa. (Gent ym. 2002.)



KUVIO 3. pH:n vaikutus vaahdotukseen



KUVIO 4 Valmennuksen keston vaikutukset

6.2 Syväjärven malmin käsittely

Syväjärven kairasydämmestä on otettu 200 kg malminäyte, joka sisälsi 1,47 % Li_2O :ta. Testien tarkoituksena oli tuottaa rikastetta, joka sisältäisi 4,5 % Li_2O :ta, koska silloin Li_2O :n saanti olisi 90 % suoralla vaahdotuksella. Raskasväliaine-erotuksen jälkeen (DMS) karkean aineksen määrää saadaan nostettua ja testeissä tuli ilmi, että Li_2O :n saanti oli korkeampi karkeammalla syötteellä. Yksi syy tähän on se, että erotettu hieno jae oli pienempää, jolloin spodumeenin jakauma hienoainekseen oli pienempi. Malmille tehtiin neljä testiä ja tiheän aineen erottelun jälkeen (DMS) lietteelle ja hienolle ainekselle tehtiin 14 testiä. Aluksi 1kg:n malminäyte jauhettiin 3,3 mm:stä 0,150 mm:iin. Liete luokitettiin vaahdotuskennossa, jotta pienimmät hiukkaset ($< 15 \mu\text{m}$) saatiin erotettua. Lietettä sekoitettiin 15min natriumhydroksidin kanssa lietetiheyden ollessa 60 %. Natriumhydroksidia annostelumäärä oli 500g/t. Tämän jälkeen tehdään toinen hienoaineksen erottelu. (Sweco 2016.)

Tässä kokeessa on tehty prefloot vaahdotus, joka tarkoittaa käännteistä vaahdotusta. Käännteisessä vaahdotuksessa vaahdotettava osa eli ylitettä, joka on prosessin jäte ja rikaste taas on alite eli vaahdottomaton osa. Ylitteen mukana poistuu epäpuhtauksia ja alite jatkaa prosessissa eteenpäin. (Uusimäki 2017). Käännteisessä vaahdotuksessa pH säädetään natriumhydroksidilla 10,5:een ja vaahdotusaika on 5 min.

Vaahdotukseen lisätään 45-120g/t rapsirasvahappoa ja 11–30 g/t Berol 050 emulgaattoria. Lietetiheys vaahdotuksessa on 60 %. Käänteisen vaahdotuksen tarkoituksena on vähentää epäpuhtauksien määrää (erityisesti apatiittia ja Mg-silikaatteja, jotka vaahdotuisivat spodumeenivaahdotuksessa) ennen spodumeenin vaahdotusta. Ennen spodumeenin vaahdotusta tehdään vielä magneettierotus jolla poistetaan materiaaliin eri käsittelyvaiheissa tullut prosessirauta. Spodumeeni vaahdotetaan 7,5 pH:ssa, joka säädetään rikkihapolla. Rapsirasvahappoa lisätään 140–480 g/t ja emulgaattoria 35–120 g/t. Vaahdotuksen lietetiheys on 60 % ja vaahdotusaika on 5 min. Kemikaalin annostelua pienennettiin aina, kun vaahdotettiin lietettä ja hienoa ainesta. Esivaahdotuksen jälkeen tehdään seitsemän kertausta ilman reagensseja. Hienoaineksen erottelulla ja käänteisellä vaahdotuksella on merkittävä vaikutus spodumeenin vaahdotukseen, koska niiden avulla epäpuhtaudet saadaan eroteltua. Samalla, kun epäpuhtauksia poistetaan, niin Li_2O :n saanti tippuu hieman. (Sweco 2016.)

6.3 GTK:n vaahdotuskoe

Liitteessä 1. on esitetty Keliber Oy:n tekemän vaahdotuskokeen työohje spodumeenimineraalille. Ohje muistuttaa pääpiirteittäin edellisen alaluvun Syväjärven mineraalikäsittelyä. Liite toimi opinnäytetyön kokeellisen osuuden työohjeena. Työohjetta muutettiin sellaiseksi, että laboratoriokokeet on mahdollista tehdä Centria-ammattikorkeakoulussa olevilla välineillä. Kokeessa on käytetty Syväjärven näytettä, joka on murskattu 3,35 mm:n hienouteen. Seuraava vaihe on jauhatus tankomylyllä kahdessa vaiheessa 1 kg:n annostuksella. Märkäjauhatuksen vesimääränä on käytetty 0,9 litraa. Jauhatushienous on $D_{80} \sim 153 \mu\text{m}$. Liejunpoistovaiheessa käytetään laminaarista dekantointia eli niukkaliukoinen aines erotetaan liuottimesta. (Peda.Net 2016).

Tämän jälkeen tehdään magneettierotus, jonka jälkeen päästään spodumeenin esivaahdotukseen. Aluksi pH säädetään rikkihapolla 7,5, jonka jälkeen lisätään rapsirasvahappo ja Berol tai Rokanol kemikaali. Valmennus tehdään noin 60 % lietetiheydessä ja vaahdotusaika on 5 minuuttia. Spodumeenin kertausvaiheita on yleensä tehty seitsemän kertausta, joista viimeiset ovat olleet vesikertauksia. Luvuissa seitsemän ja kahdeksan kerron tarkemmin, miten opinnäytetyön kokeellinen osuus on tehty ja miten se poikkeaa tästä vaahdotuskokeesta.

7 KOESUUNNITELMA

Työssä käytetty materiaali on litiummalma Syväjärven esiintymästä (KUVA 4). Materiaali saatiin koululle 27.2.2017 ja sen toimitti Keliber Oy. Koko materiaali työstettiin kerralla 150 µm:n raekokoon, josta erotettiin hienoaines 36 µm-kokoisella seulalla. Materiaali annosteltiin valmiiksi vaahdotusta varten. Työssä käytetään leukamurskaa, kuulamylyä, Retschin seulaa, Denver-vaahdotuskennoa ja imusuodatuslaitteistoa. Näytteiden huolellinen merkitseminen on erittäin tärkeää jokaisen kokeen suorittamisen jälkeen.



KUVA 4. Työssä käytetty materiaali

7.1 Murskaus, jauhatus ja seulonta

Ennen vaahdotusta kivet täytyy murskata, jauhaa ja seuloa. Nämä vaiheet suoritetaan Centria-ammatti-
korkeakoulussa. Murskaus tehdään leukamurskaimella, jauhatus tehdään kuulamylyllä ja seulonta Ret-
schin seulalla. Aluksi kivet murskataan 1mm partikkelikokoon. Sen jälkeen osa materiaali seulotaan ja
jauhetaan niin, että partikkelit, jotka ovat suurempia kuin 150 µm palautetaan jauhatukseen ja pienem-
mät partikkelit ovat valmiita vaahdotukseen. Tätä jatketaan, kunnes oikean kokoista materiaalia on riit-
tävästi vaahdotuskokeita varten. Vaahdotukseen tarvitaan syötettä vähintään 8 kg, mutta koevaahdo-
tuserät huomioon ottaen sitä tarvitaan enemmän. Materiaalille tehdään partikkelikokoanalyysi, josta
nähdään raekokojakauma. Hienoaines poistetaan, jotta se ei vaikuta vaahdotuksessa. Hienoaineksen ero-
tukseen on tarkoitus käyttää 25 µm:n kokoista seulaa. Syötettä punnitaan 760 g ja annokset pussitetaan

ja merkitään. Ennen vaahdotuksia kemikaaliannostukset pitää suhteuttaa pienempään syötemäärään. Kokeellisen osuuden työohjeessa (LIITE 1.) annetut kemikaaliannostukset ovat yksikössä g/t, jotka suhteutetaan vaahdotuksen syötteen määrään.

7.2 Vaahdotustestit

Ennen koevaahdotuksia on tarkoitus tehdä muutama vaahdotustesti, jotta nähdään toimiiko vaahdotusprosessi. Testejä voidaan tehdä maksimissaan neljä, koska syöte ei muuten riitä koevaahdotuksiin. Testien määrä selviää kokeiden aikana. Niiden määrä riippuu vaahdotuksen onnistumisesta, ja kokeiden aikana katsotaan, onko kemikaalien annostus riittävä. Vaahdotustestien tarkoituksena on luoda rutiini vaahdotuskokeiden tekemiseen, joka vähentää kokeiden virhemahdollisuutta.

7.3 Koevaahdotukset

Vaahdotuskokeita tehdään kummallekin kemikaalille neljä kappaletta. Vaahdotuksen syötepusseista otetaan jokaisesta näyte ja vaahdotuskennoon punnitaan syötettä 750 g. Vettä lisätään vaahdotuskennoissa olevaan merkkiin asti. Syöte sekoitetaan huoneenlämpöisessä vedessä vaahdotuskennoissa. Aluksi pH säädetään 7,5 rikkihapolla (H_2SO_4) ja natriumhydroksidilla (NaOH). Sen jälkeen lisätään 1300 g/t Prifac kokoojaa ja 325 g/t Berol 050:aa tai Rokanol L3A:ta. Lietettä valmennetaan viisi minuuttia, jonka jälkeen sitä vaahdotetaan viisi minuuttia. Tämä toistetaan kummallekin kemikaalille neljästi eli koevaahdotuksia on yhteensä kahdeksan kappaletta. Vaahdotuksessa saadut jätteet säilytetään suodatusta varten ja rikasteille tehdään kertausvaahdotukset.

7.4 Kertausvaahdotukset

Vaahdotuksen rikasteet kerrataan kolme kertaa. Rikaste laitetaan vaahdotuskennoon ja siihen lisätään vettä merkkiin saakka. Ensimmäisessä kertausvaahdotuksessa Privacia lisätään 400 g/t ja 100 g/t Berol 050:aa tai Rokanol L3A:ta. Vaahdotusaika on viisi minuuttia niin kuin koevaahdotuksessa. Toisessa kertauksessa Prifacia laitetaan 300 g/t ja 75 g/t Berol 050:aa tai Rokanol L3A:ta ja vaahdotetaan viisi

minuuttia. Kolmannessa kertausvaahdotuksessa Prifac:ia laitetaan 200g/t ja 50g/t Berol 050:aa tai Rokanol L3A:ta ja vaahdotetaan viisi minuuttia. Kertaukset tehdään jokaiselle rikasteelle ja niitä tehdään yhteensä 24 kappaletta.

7.5 Kineettiset vaahdotuskokeet

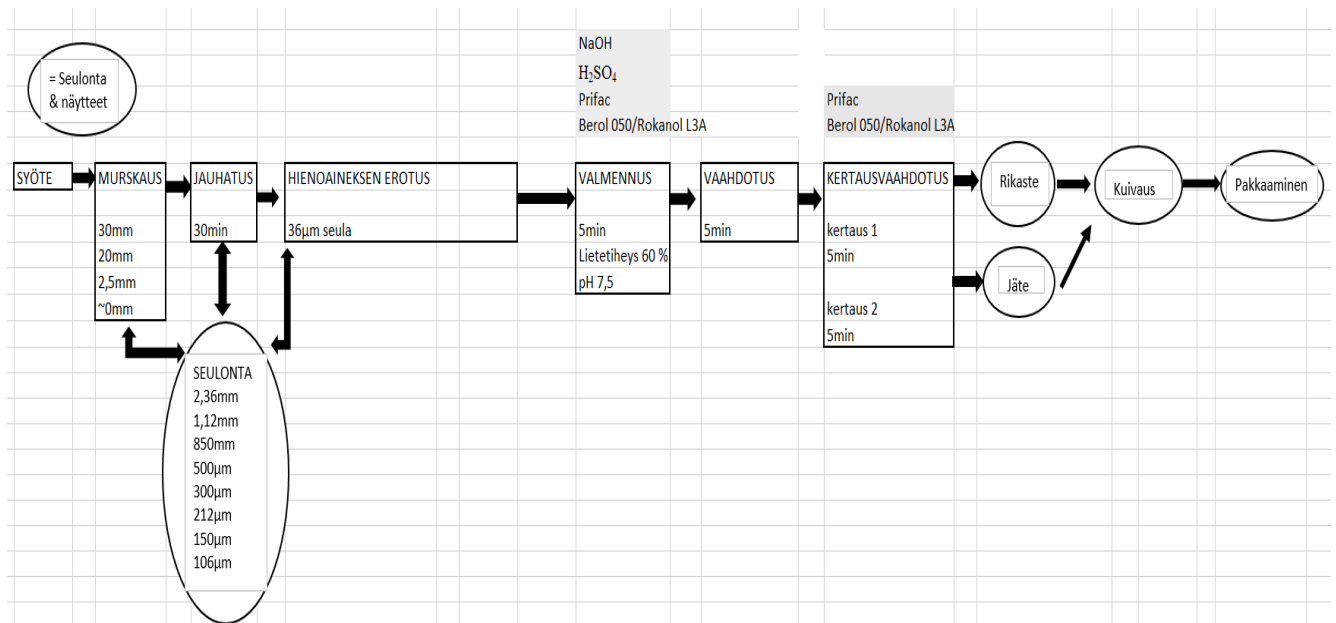
Kineettinen vaahdotuskoe tehdään molemmilla kemikaaleilla. Vaahdotuskennoon laitetaan syöte ja vettä merkkiin saakka. Kemikaalien annostukset ovat samat kuin koevaahdotuksissa. Rikastetta kerätään vaahdotuksen aikana ensin yhden minuutin ajan talteen, sen jälkeen rikastetta kerätään toiseen astiaan kahden minuutin ajan. Kolmanteen astiaan rikastetta otetaan talteen kahden minuutin aikana. Vaahdotuksen kokonaisaika on viisi minuuttia. Kineettinen vaahdotuskoe suoritetaan, jotta voidaan arvoida vaahdotusnopeuksia. Mittauspisteiden kautta saadaan sovitettua suora, johon voidaan verrata koevaahdotuksista saatuja tuloksia.

7.6 Näytteiden käsittely

Rikasteet ja jätteet suodatetaan imusuodatuslaitteistolla ja kuivatetaan uunissa. Kuivauksen jälkeen näytteiden annetaan jäähtyä ja näytteet laitetaan korkillisiin purkkeihin. Näytteet merkitään lyhenteillä ja niistä tehdään lista, jossa kerrotaan lyhenteiden merkitys. Näytteet pakataan hyvin, ja niiden mukaan laitetaan lähetyslista, josta nähdään näytteiden merkitsemistapa. Näytteet toimitetaan Kuopioon Labtium Oy:lle analysoitavaksi.

8 KOKEIDEN SUORITUS

Kuviossa 5 on esitetty kokeellisesta osuudesta lohkokaavio. Lohkokaaviosta nähdään prosessin kulku ja seuraavissa alaluvuissa kuvataan jokainen laboratoriomittakaavassa suoritettu vaihe.



KUVIO 5. Koeosuuden lohkokaavio

8.1 Murskaus, jauhatus ja seulonta

Murskaus tehtiin 28.2. ja jauhatusta ja seulontaa tehtiin viikoilla 9-11. Viikolla 12 tehtiin hienoaineksen erotusta ja partikkelikokoanalyysit on tehty 15.3 ja 23.3. Murskaus, jauhatus ja seulonta suoritettiin koesuunnitelman mukaisesti. Aluksi murskauksessa pidettiin syötteen määrä pienenä, jotta murska ei menisi tukkoon. Materiaali murskautui pienemmäksi ja vähitellen syötteen määrää pystyi lisäämään. Materiaali murskattiin leukamurskalla (KUVA 5) suunnitellusti. Osa murskatusta materiaalista oli haluttua raekokoa (<math><150\ \mu\text{m}</math>) ja se osa seulottiin talteen. Loput materiaalista jauhettiin kuulamylyllä (KUVA 6), jonka jälkeen se seulottiin Retschin seulalla (KUVA 7). Materiaalia jauhettiin noin 30 minuuttia ja seulonta-aika oli noin 20 minuuttia. Materiaalille tehtiin partikkelikokoanalyysi (LIITE 2), josta nähdään partikkelikokojakauma. Siitä nähdään, että materiaalin seassa on hienoainesta, joka erotettiin $36\ \mu\text{m}$:n kokoisella seulalla. Seulon koko poikkeaa koesuunnitelmassa esitetystä koosta, koska koululle ei saatu $25\ \mu\text{m}$:n kokoista seulaa. Seulonta-aika hienoaineksen erotuksessa oli 60 minuuttia. Hienoaineksen erotuksen jälkeen materiaalille tehtiin toinen partikkelikokoanalyysi (LIITE 3), josta nähdään vaahdotuksen

syötteen partikkelikokojakauma. Lisäksi partikkelikokoanalyysi tehtiin hienoainekselle. Kuvassa 8 on alle 150 μm :n kokoinen syöte, josta on erotettu 36 μm :n kokoinen hienoaines.



KUVA 5. Leukamurska



KUVA 6. Kuulamyly



KUVA 7. Seulasarja



KUVA 8. Vaahdotuksen syöte

8.2 Vaahdotuskokeisiin tarvittavat työvälineet

Vaahdotuksia varten tarvitaan syötepusseja, automaattipipetit, pH-mittari, kemikaalit, astiat näytteille, kaavin, analyysivaaka, dekantterilaseja, Minigrip-pusseja, kauhoja, 2 l:n ja 1 l:n vaahdotuskemno. Kaikki

työvälineet siirrettiin Keski-Pohjanmaan aikuiskoulutuskeskukseen. Aikuiskoulutuskeskuksen ja Centria-ammattikorkeakoulun väliä kuljettiin jalan ja tavaroiden kuljetukseen käytettiin koria. Kuvassa 9 ovat vaahdotuksessa tarvittavat kemikaalit, automaattipipetit ja pH-mittari.



KUVA 9. Työvälineitä

8.3 Vaahdotustestit

Ennen varsinaisia vaahdotuskokeita suoritettiin kolme testivaahdotusta. Molemmat testit tehtiin Berol 050-kemikaalilla. Ensimmäinen testi suoritettiin koesuunnitelman kohdan koevaahdotukset osion mukaisesti. Kertausvaahdotuksia ei suoritettu ensimmäisessä kokeessa eikä rikasteen ja jätteen näytettä otettu talteen. Ensimmäisen testin tarkoituksena oli tarkoitus nähdä mineraalin vaahdottuminen ja reagenssien toiminta, jotta tarvittavia muutoksia esimerkiksi kemikaalien annostuksiin voitaisiin tehdä. Samalla varmistettiin, että pH-mittari näyttää oikeita lukemia. Ensimmäisestä vaahdotustestistä ei lähetetty näytteitä analysoitavaksi. Toisesta ja kolmannesta vaahdotustestistä tehtiin koevaahdotuksen lisäksi koesuunnitelman osion kertausvaahdotukset ohjeen mukaisesti kertausvaahdotukset. Näistä kahdesta testistä lähetettiin näytteet Labtium Oy:lle ja tulokset näkyvät liitteessä 4. Berol-koesarjoissa kolme ja neljä.

8.4 Koevaahdotukset

Kaikki vaahdotukset tehtiin 27–29.3.2017 Keski-Pohjanmaan aikuiskoulutuskeskuksen prosessilaboratoriossa Denverin vaahdotuskennolla (KUVA 10). Vaahdotuskokeissa ainoana muuttujana toimi kokoojakemikaali. Kokeissa tarkoitus oli vakioida muuta olosuhteet ja esimerkiksi vaahdotuksissa käytettävä

vesi pyrittiin pitämään huoneenlämpötilassa, jotta lämpötilalla ei olisi vaikutusta kokeista saataviin tuloksiin. Koevaahdotukset suoritettiin koesuunnitelman mukaisesti ja niitä tehtiin yhteensä kahdeksan kappaletta. Koevaahdotuksissa käytettiin 2l vaahdotuskennoa, johon vaahdotuksen jäte kerättiin. Vaahdotuksen rikasteelle käytettiin erillistä keruustastia. Koevaahdotuksissa pH:n säätö 7,5:een oli tarkkaa ja pH:ta mitattiin digitaalisella pH-mittarilla. Säädön jälkeen lietteeseen lisättiin reagenssit ja suoritettiin viiden minuutin valmennus. Ilmahana aukaistiin ja mineraali alkoi vaahdottaa. Koevaahdotuksista saatiin rikaste ja jäte. Rokanol L3A:lla tehdyistä koesarjoista 1 ja 2 rikasteista otettiin näyte ennen kertausvaahdotuksia. Berol 050:n koesarjoista 2,3,4,6 ja 7 rikasteista otettiin talteen näyte. Molemmille kemikaaleille tehdyistä vaahdotuskokeista otettiin jätteet talteen.



KUVA 10. Denver-vaahdotuskone

8.5 Kertausvaahdotukset

Koevaahdotuksien rikasteille tehtiin kertausvaahdotukset. Koesuunnitelmasta poikettiin sen verran, että rikasteet kerrattiin kahdesti. Vaahdotuksien syöte on sen verran pieni, joten rikastetta ei olisi riittänyt kolmanteen kertaukseen. Ensimmäinen ja toinen kertaus tehtiin koesuunnitelman mukaisesti ja kertausrikaste otettiin talteen toisen kertauksen jälkeen. Kertausvaahdotuksista tulleet jätteet kerättiin kaikki talteen. Kertausvaahdotuksia tehtiin yhteensä 20 kappaletta. Kuvassa 11 on esimerkki Rokanol L3A:lla tehdystä kertausvaahdotuksesta.



KUVA 11. Kertausvaahdotus Rokanol L3A:lla

8.6 Kineettiset vaahdotuskokeet

Molemmilla kemikaaleilla tehtiin kineettinen vaahdotuskoe. Yhdestä kokeesta otettiin rikastetta talteen kolmeen eri astiaan ja jäte yhteen astiaan. Kineettinen vaahdotuskoe tehtiin koesuunnitelman mukaisesti ja rikasteet ja jätteet otettiin talteen. Kaikkien kokeiden suorituksen jälkeen näytteet merkittiin huolellisesti ja osaa näytteistä säilytettiin aikuiskoulutuskeskuksessa sen aikaa, että osa näytteistä saatiin suodatettua ja kuivattua. Sen jälkeen kaikki loput näytteet siirrettiin säilytettäväksi Centria-ammattikorkeakoulun kemian laboratorioon (KUVA 12). Yhteensä vaahdotuksia tehtiin 29 kappaletta vaahdotustestit mukaan lukien.



KUVA 12. Näytteiden kuljetus

8.7 Näytteiden käsittely

Jätteiden ja rikasteiden suodatusta varten koottiin kaksi imusuodatuslaitteistoa. Toinen näistä on kuvassa. Laitteistoon kuuluu vesiletku, imupullo, Büchner-suppilo, Whatmanin suodatuspaperi ja kumitiiviste. Suodatuspaperi oli kooltaan 90mm Ø. Kuvasta 13 nähdään laitteiston osat ja laitteiston toiminta perustuu imupulloon kohdistuvaan paineeseen. Laitteistoon muodostuu imu paineen avulla. Ennen suodatusta lietettä täytyi sekoittaa kauhalla, jotta pohjalle laskeutunut kiintoaine sekoittuisi veteen. Suodatuspaperi aseteltiin suppilossa olevien reikien päälle ja paperi kasteltiin vedellä. Laitteiston vesihana aukaistiin ja suodatettava liete kaadettiin suppiloon. Liette suodatettiin suodatinpaperin läpi ja neste valui imupulloon. Näyte laitettiin merkitylle lasiselle alustalle ja vietiin 95 °C-asteiseen uuniin kuivumaan (KUVA 14.). Näytteitä kuivattiin vähintään vuorokausi.

Tämän jälkeen näytteet otettiin uunista ja niiden annettiin jäähtyä ennen näytteiden pakkaamista näytepurkkeihin. Erikokoiset näytepurkit punnittiin, jonka jälkeen ne täytettiin näytteellä. Purkkeihin merkittiin kyseessä oleva näyte sekä purkin kylkeen että purkin korkkiin. Jätteiden ja osa rikasteiden näytteistä laitettiin toiseen purkkiin säilöön, jos näytettä oli yhteen purkkiin liikaa. Labtiumille lähteviin näytepurkkeihin pyrittiin ottamaan jätteistä ja rikasteista edustavat näytteet. Rikaste- ja jätenäytteiden lisäksi testivaahdotuksien, koevaahdotuksien ja kineettisten vaahdotuksien syötteiden näytteet laitettiin näytepurkkeihin. Jokainen näytepurkki punnittiin ja syötteiden, rikasteiden ja jätteiden massat saatiin vähentämällä näytepurkin massa kokonaismassasta. Näytepurkit pakattiin kahteen pahvilaatikkoon ja molempiin laatikkoihin laitettiin lähetyslista mukaan. Kuva 15 on otettu näytteistä, jotka lähetettiin Labtium Oy:lle. Näytteiden käsittelyyn käytettiin viisi vuorokautta. Labtium Oy:lle lähetettiin analysoitavaksi 66 näytettä 5.4.2017. Loput näytteet laitettiin säilöön Centria-ammattikorkeakoulun kemian laboratorioon.



KUVA 13. Imusuodatuslaitteisto



KUVA 14. Kuivatusuuni



KUVA 15. Lähetetyt näytteet

9 TULOKSET

Labtium Oy analysoi opinnäytetyön näytteet, ja tulokset saapuivat sähköpostitse 8.5.2017. Näytteistä analysoitiin litiumpitoisuudet ja lisäksi muiden alkuaineiden pitoisuudet. Pitoisuudet on ilmoitettu prosentteina ja tulokset näkyvät liitteessä neljä. Taulukossa 1 on esitetty Rokanol-kemikaalille saadut tulokset. Taulukosta 1 nähdään koesarja, näytteen massa, litiumpitoisuus ja saanti. Taulukossa 1 harmaalla merkityt lukuarvot ovat analysoituja arvoja ja valkoisella pohjalla olevat lukuarvot ovat laskettuja arvoja. Samanlainen taulukko on tehty myös Berol-kemikaalille (TAULUKKO 2).

Vaahdotuskokeiden tuloksia tarkasteltaessa täytyy ottaa huomioon erilaiset tutkimuksiin liittyvät virheet. Mittavirheet liittyvät mittausvälineiden tarkkuuksiin sekä mittaajan huolelliseen työskentelyyn. Työssä käytettiin analyysivaakaa, pH-mittaria sekä automaattipipettejä. Esimerkiksi analyysivaakalla mittaustulokset saadaan 0,01 mg:n tarkkuudella. Tuloksiin vaikuttaa myös Labtium Oy:n käyttämään analyysilaitteeseen liittyvä virhe. Tuloksiin vaikuttaa tutkijan työskentely esimerkiksi vaahdotuskokeissa vaahtoa on voitu ottaa liian syvältä kennosta tai vastaavasti vaahdotekerroksen pinnasta. Mittausvälineiden huolellinen käyttö vaikuttaa myös tuloksiin. Mittausvirhettä on minimoitu sillä, että mittausvälineet on testattu ennen kokeiden aloitusta. Ennen varsinaisia vaahdotuskokeita on suoritettu testi-vaahdotukset. Mittaukset ja työvaiheet on suorittanut sama henkilö ja vaahdotuskokeet on pyritty toistamaan samalla tavalla.

9.1 Koe- ja kertausvaahdotukset

Taulukoissa 1 ja 2 valkoisella pohjalla olevat arvot on laskettu alaluvussa 4.3 esitettyjen kaavojen mukaisesti. Seuraavissa esimerkeissä on käytetty Rokanol koesarja 1:lle saatuja arvoja. Rokanol koesarja 1:sen kertausrikaste 1:sen määrä on laskettu seuraavasti:

$$KR11 = KR2 + KJ2 = 200,05g + 140,1g = 340,15$$

Kertausrikaste 1:sen litiumpitoisuus on laskettu seuraavasti:

$$Li - pitoisuus = \frac{(KRJ2 \times Li - pitoisuus) + (KR2 \times Li - pitoisuus)}{KR1} = \frac{(200,05g \times 1,48\%) + (140,01g \times 0,89\%)}{340,15g} = 1,23 \%$$

Kertausjäte 1:sen määrä on saatu vähentämällä kertausrikaste 1:sen määrä rikasteen määrästä. Kertausjätteen litiumpitoisuus on laskettu samalla periaatteella kuin aikaisemmin esitetty kertausrikaste 1:sen litiumpitoisuus. Syötteen määrä on laskettu seuraavasti:

$$S = EJ + ER = 376,85g + 363,1g = 739,95g$$

Lakennallisen syötteen määrä on saatu seuraavasti:

$$S = EJ + KJ2 + KR2 + KJ1 = 376,85g + 140,1g + 200,05g + 22,95g = 739,95g$$

Massaprosentit on laskettu niin, että näytteenmassa on jaettu laskennallisen syötteen määrällä. Saanti esimerkiksi rikasteelle on laskettu seuraavasti:

$$R = \frac{c * C}{f * F} = \frac{1,28\% \times 363,1g}{1,03\% \times 739,95g} \times 100\% = 61,2\%$$

TAULUKKO 1. Massat, litiumpitoisuudet ja saannit Rokanol-kemikaalille

	Massa		Litiumpitoisuus [%]	Saanti [%]
Koesarja	g	%		
Koe 1				
Rokanol syöte	739,95	100,00	1,03	100,0
Rokanol jäte	376,85	50,93	0,78	38,8
Rokanol rikaste	363,10	49,07	1,28	61,2
Rokanol kertausjäte 1	22,95	3,10	1,95	5,9
Rokanol kertausrikaste1	340,15	45,97	1,23	55,3
Rokanol kertausjäte 2	140,10	18,93	0,89	16,3
Rokanol kertausrikaste 2	200,05	27,04	1,48	39,0
Koe 2				
Rokanol syöte	739,45	100,00	0,89	100,0
Rokanol jäte	539,45	72,95	0,78	63,7
Rokanol rikaste	200,00	27,05	1,20	36,3
Rokanol kertausjäte 1	11,24	1,52	1,23	2,1
Rokanol kertausrikaste1	188,76	25,53	1,20	34,2
Rokanol kertausjäte 2	98,09	13,27	1,16	17,2
Rokanol kertausrikaste 2	90,67	12,26	1,24	17,0
Koe 3				
Rokanol syöte	730,29	100,00	0,98	100,0
Rokanol jäte	365,29	50,02	0,76	38,8
Rokanol rikaste	365,00	49,98	1,20	61,2
Rokanol kertausjäte 1	13,78	1,89	4,05	7,8
Rokanol kertausrikaste1	351,22	48,09	1,09	53,4
Rokanol kertausjäte 2	101,00	13,83	0,99	13,9
Rokanol kertausrikaste 2	250,22	34,26	1,13	39,5
Koe 4				
Rokanol syöte	721,33	100,00	1,04	100,0
Rokanol jäte	290,70	40,30	0,80	30,9
Rokanol rikaste	430,63	59,70	1,21	69,1
Rokanol kertausjäte 1	9,65	1,34	4,54	5,8
Rokanol kertausrikaste1	420,98	58,36	1,13	63,3
Rokanol kertausjäte 2	150,94	20,93	0,87	17,5
Rokanol kertausrikaste 2	270,04	37,44	1,28	45,9

TAULUKKO 2. Massat, litiumpitoisuudet ja saannit Berol-kemikaalille

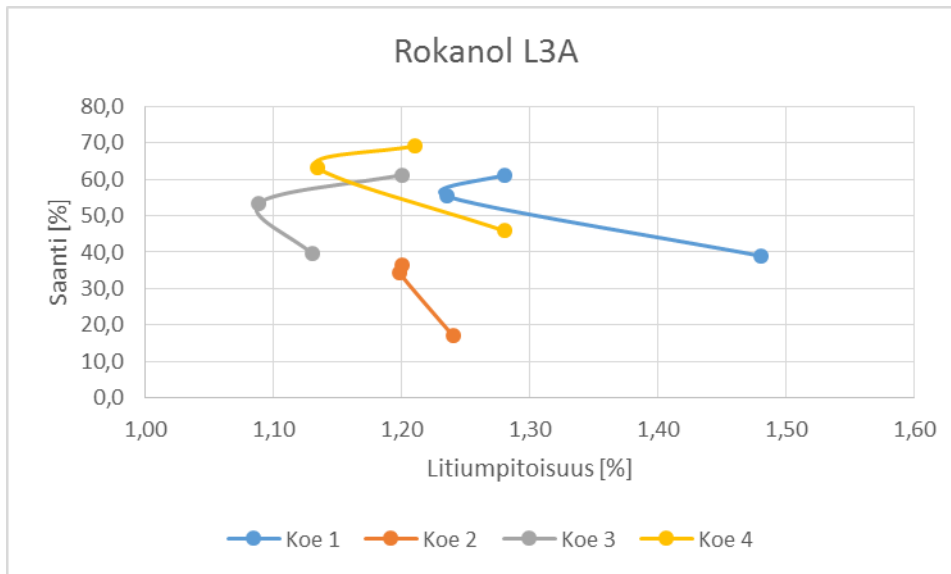
Koesarja	Massa g	%	Litiumpitoisuus [%]	Saanti [%]
Koe 1				
Berol syöte	765,35	100,00	1,12	100,0
Berol jäte	425,20	55,56	0,93	46,1
Berol rikaste	340,15	44,44	1,36	53,9
Berol Kertausjäte 1	33,34	4,36	1,47	5,7
Berol kertausrikaste 1	306,81	40,09	1,35	48,2
Berol kertausjäte 2	105,98	13,85	0,93	11,5
Berol kertausrikaste 2	200,83	26,24	1,57	36,7
Koe 2				
Berol syöte 2	740,75	100,00	1,18	100,0
Berol jäte	420,30	56,74	0,75	36,0
Berol rikaste	320,45	43,26	1,75	64,0
Berol Kertausjäte 1	7,65	1,03	11,78	10,3
Berol kertausrikaste 1	312,80	42,23	1,50	53,7
Berol kertausjäte 2	102,30	13,81	1,37	16,0
Berol kertausrikaste 2	210,50	28,42	1,57	37,7
Koe 3				
Berol syöte 3	721,35	100,00	0,97	100,0
Berol jäte	295,45	40,96	0,77	32,6
Berol rikaste	425,90	59,04	1,11	67,4
Berol Kertausjäte 1	74,48	10,33	0,07	0,7
Berol kertausrikaste 1	351,42	48,72	1,33	66,7
Berol kertausjäte 2	150,89	20,92	0,95	20,4
Berol kertausrikaste 2	200,53	27,80	1,62	46,3
Koe 4				
Berol syöte	729,95	100,00	1,03	100,0
Berol jäte	300,50	41,17	0,79	31,7
Berol rikaste	429,45	58,83	1,19	68,3
Berol Kertausjäte 1	47,65	6,53	0,39	2,5
Berol kertausrikaste 1	381,80	52,30	1,29	65,8
Berol kertausjäte 2	101,30	13,88	1,26	17,1
Berol kertausrikaste 2	280,50	38,43	1,30	48,7

TAULUKKO 2. (jatkuu)

TAULUKKO 2.(jatkuu)

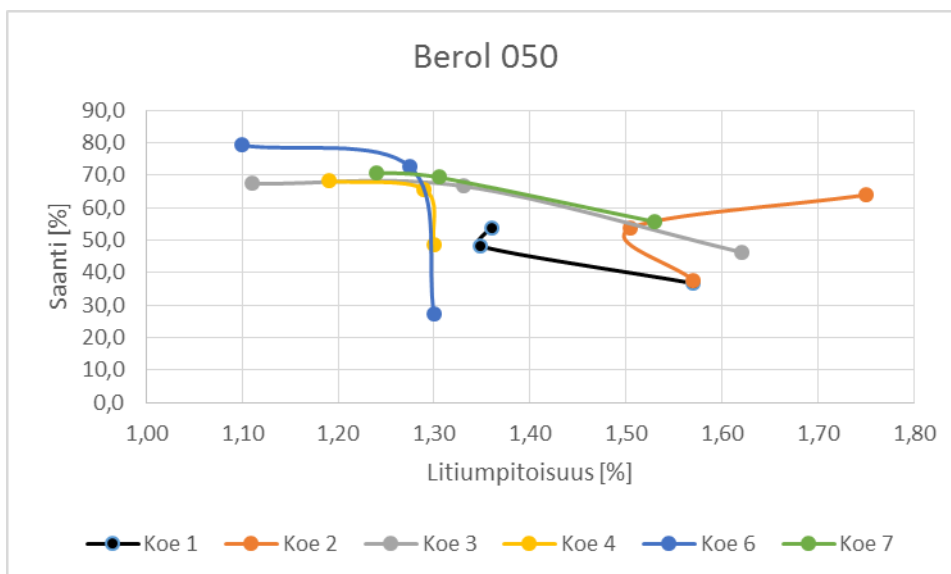
Koe 6				
Berol syöte	740,45	100,00	0,98	100,0
Berol jäte	220,20	29,74	0,68	20,7
Berol rikaste	520,25	70,26	1,10	79,3
Berol Kertausjäte 1	108,44	14,65	0,44	6,6
Berol kertausrikaste 1	411,81	55,62	1,27	72,7
Berol kertausjäte 2	260,98	35,25	1,26	45,5
Berol kertausrikaste 2	150,83	20,37	1,30	27,2
Koe 7				
Berol syöte	739,57	100,00	1,02	100,0
Berol jäte	306,78	41,48	0,72	29,2
Berol rikaste	432,79	58,52	1,24	70,8
Berol Kertausjäte 1	30,00	4,06	0,37	1,5
Berol kertausrikaste 1	402,79	54,46	1,31	69,4
Berol kertausjäte 2	126,89	17,16	0,82	13,7
Berol kertausrikaste 2	275,90	37,31	1,53	55,7

Taulukoiden 1 ja 2 pohjalta on tehty molemmille kemikaaleille litiumpitoisuus-saanti-kuvaajat (KUVIO 6 ja KUVIO 7). Kuvioissa 6 ja 7 x-akselilla on litiumpitoisuus ja y-akselilla on saanti. Molemmat on esitetty prosentteina. Litiumpitoisuudet ovat rikasteen, kertausrikaste 1:n ja kertausrikaste 2:n pitoisuudet. Kuviossa 6 on Rokanol-kemikaalille tehty kuvaaja, jossa koesarjat on merkitty eri väreillä. Kuvioista kuusi nähdään, että ensimmäisessä kertauksessa litiumia ei ole saatu talteen, koska ensimmäisen kertauksen kohdalla litiumpitoisuus on pienempi kuin rikasteen litiumpitoisuus. Toisessa kertauksessa litiumia on saatu paremmin talteen, koska kertausrikaste 2:n litiumpitoisuus on suurempi kuin ensimmäisen kertausrikasteen. Rokanol-kemikaali ei ole toiminut halutulla tavalla vaahdotusprosessissa. Kemikaali ei ole riittävän selektiivinen tai sen annostus on mahdollisesti ollut liian pieni. Liian vähäinen kemikaalin käyttö aiheuttaa sen, että vaahdotuksessa rikaste menee jätteen mukana jätteeseen. Vaahdotuskokeiden aikana tehdyt mahdolliset mittavirheet saattavat vaikuttaa saatuihin tuloksiin. Jokaisessa Rokanol-kemikaalilla tehdyissä koesarjoissa kertausjäte 1:sen litiumpitoisuus on suurempi kuin esivaahdotuksen jätteen litiumpitoisuus.



KUVIO 6. Litiumpitoisuus-saanti-kuvaaja Rokanol-kemikaalille

Kuviossa 7 on esitetty samanlainen kuvaaja Berol 050:lle kuin Rokanol-kemikaalille. Berol-kemikaalilla on tehty kaksi vaahdotuskoetta enemmän kuin Rokanol-kemikaalilla, koska koesarjat 3 ja 4 ovat testi-vaahdotuksia. Kuviossa 7 nähdään, että koesarjojen 1 ja 2 kuvaajat muistuttavat Rokanol-kemikaalilla tehtyjen koesarjojen kuvaajia. Koesarjoissa 1 ja 2 kertausrikaste 2:n litiumpitoisuus on suurempi kuin ensimmäisen kertausrikasteen ja saannit jäävät pieneksi. Muissa koesarjoissa vaahdotus on onnistunut paremmin ja litiumpitoisuus nousee, kun vaahdotusprosessi on edennyt. Litiumia on saatu rikasteen mukana talteen ja sitä ei ole mennyt niin paljon jätteeseen, jolloin saannit ovat paremmat.



KUVIO7. Litiumpitoisuus-saanti-kuvaaja Rokanol-kemikaalille

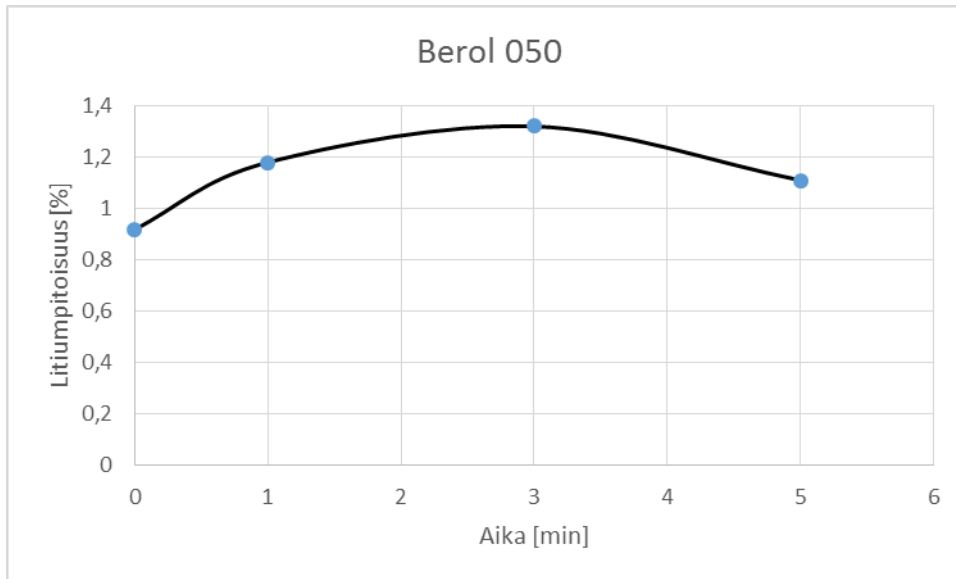
9.2 Kineettiset vaahdotuskokeet

Taulukossa 4 on esitetty kineettisten vaahdotuskokeiden tulokset. Taulukosta 4 nähdään litiumpitoisuudet molemmille kemikaaleille. Ajan ollessa nolla minuuttia litiumpitoisuus on syötteen pitoisuus. Ajan ollessa yksi minuuttia litiumpitoisuus on mitattu siitä rikastenäytteestä, jota on kerätty yhden minuutin ajan. Kolmen ja viiden minuutin kokeiden litiumpitoisuudet on mitattu samalla periaatteella. Kuuden minuutin kohdan litiumpitoisuus tarkoittaa kineettisen vaahdotuskokeen jätteen pitoisuutta.

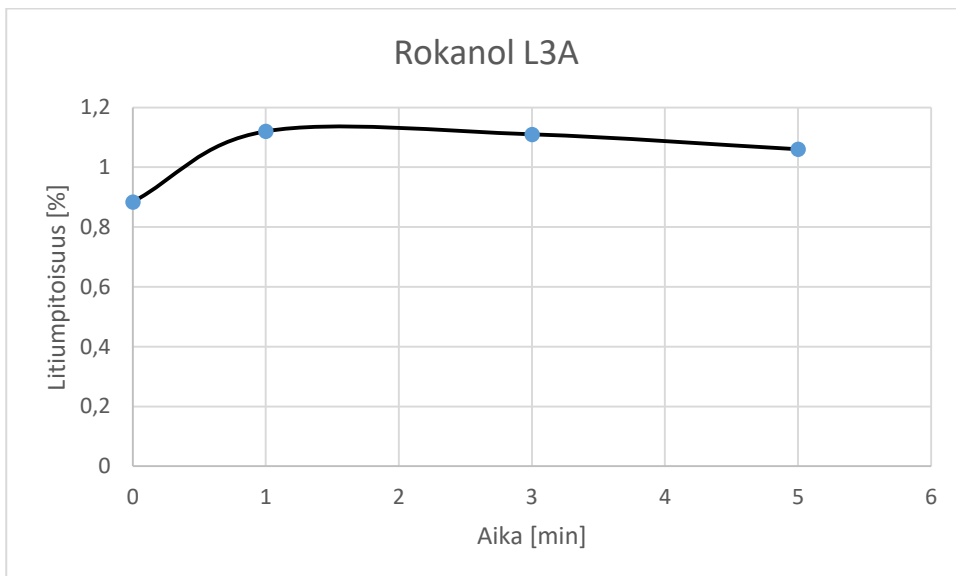
Kuvioista 8 ja 9 nähdään kineettisten vaahdotuskokeiden tuloksista piirretyt kuvaajat. Kuvaajissa x-akselilla on aika ja y-akselilla on saanti. Kuviossa 8 ajanhetkellä kolme minuuttia saanti on ollut suurimmillaan. Vaahdotusprosessin edetessä saanti on noussut ajan hetkeen kolme minuuttia, jonka jälkeen se on laskenut. Kuviossa 9 saanti on ollut korkeimmillaan yhden minuutin vaahdotuksen jälkeen ja se on pysynyt vaahdotusprosessin edetessä suunnilleen samoissa lukemissa. Samanlaista saantihuippua ei ole nähtävissä tässä kuvaajassa. Koe- ja kertausvaahdotuksien tuloksien perusteella Berol-kemikaali toimii paremmin vaahdotusprosessissa kuin Rokanol-kemikaali. Berol 050:lla saadaan saanti nousemaan korkeammaksi kuin Rokanol L3A:lla, joka nähdään kuviosta 8:n. Berol 050:lla saanti nousee huippuunsa ja Rokanol L3A:lla saavutetaan paras saanti, joka on pienempi kuin Berol-kemikaalilla saatu korkein saanti.

TAULUKKO 4. Kineettisten vaahdotuskokeiden tulokset

Aika [min]	Rokanol L3A	Berol 050
0	0,884	0,919
1	1,12	1,18
3	1,11	1,32
5	1,06	1,11
6	0,696	0,67

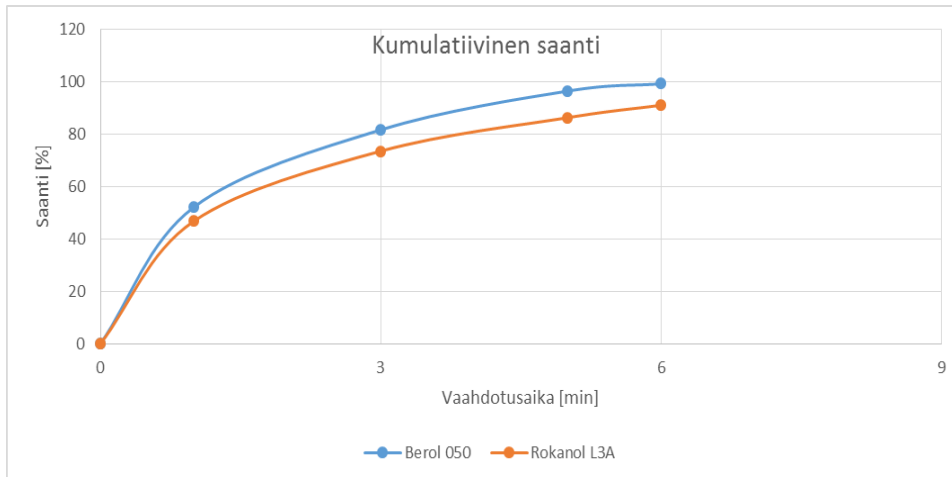


KUVIO 8. Kineettinen vaahdotuskoe Berol 050



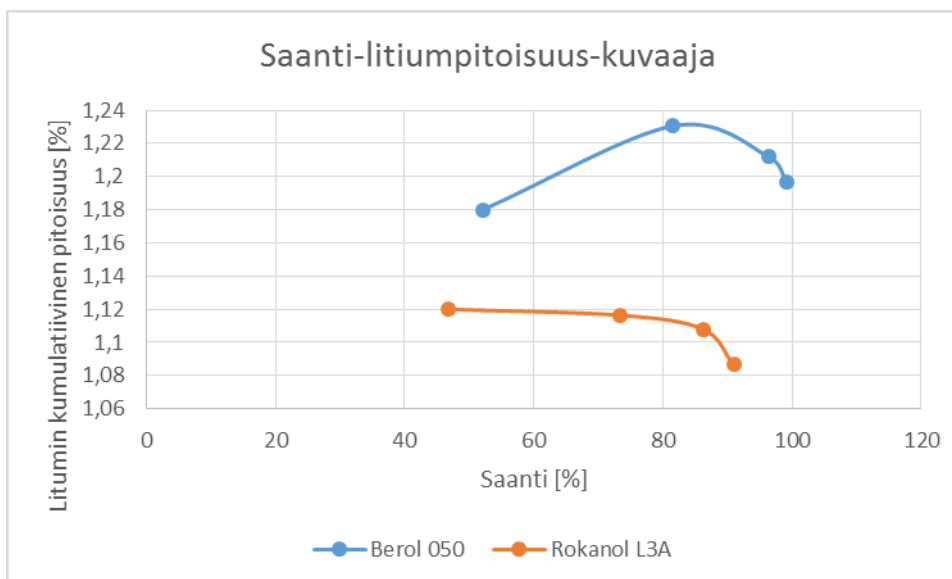
KUVIO 9. Kineettinen vaahdotuskoe Rokanol L3A

Kuviosta 10 nähdään kineettisille vaahdotuskokeille kumulatiiviset saannit. Kuviosta nähdään, että Berol-kemikaalilla saadaan paremmat saannit kuin Rokanol-kemikaalilla. Kuviossa Berol-kemikaalille piirretty käyrä osoittaa myös sen, että Berol-kemikaalilla saavutetaan paremmat saannit nopeammin kuin Rokanol kemikaalilla.



KUVIO 10. Kumulatiiviset saannit

Kuviossa 11 on x-akselilla saanti ja y-akselilla on litiumin kumulatiivinen pitoisuus. Kuvion perusteella Rokanol-kemikaalin selektiivisyys on heikompi kuin Berol-kemikaalin. Litiumin saanti rikasteeseen on Rokanol-kemikaalilla pienempi ja rikasteen litiumpitoisuus on alhaisempi kuin Berol 050:lla.



KUVIO 11. Litiumin kumulatiivinen pitoisuus

10 YHTEENVETO

Testivaahdotuksia tehtiin yhteensä kolme, koevaahdotuksia kahdeksan, kertausvaahdotuksia kaksikymmentä ja kineettisiä vaahdotuskokeita kaksi. Vaahdotuskokeissa muuttujina olivat kokoojakemikaalit, muuten kokeet suoritettiin vakio-olosuhteissa. Työssä kerrottiin erikseen testivaahdotuksista, koevaahdotuksista, kertausvaahdotuksista ja kineettisistä vaahdotuskokeista. Testivaahdotuksien tuloksia käytettiin apuna kokoojakemikaalien vertailussa.

Rokanol-kemikaali ei toiminut hyvin vaahdotusprosessissa, koska kemikaalilla ei saatu haluttua mineraalia erotettua malmista rikasteeseen, vaan sitä jäi jätteeseen. Kemikaali saattaa vaatia suurempaa annostusta, mutta sitä ei tässä opinnäytetyössä testattu. Berol-kemikaalilla suurin osa koesarjoista onnistui paremmin kuin Rokanol-kemikaalilla ja Berol-kemikaalilla saannit olivat paremmat. Opinnäytetyössä saatujen tuloksien perusteella Rokanol-kemikaali soveltuu huomattavasti paremmin vaahdottamiseen kuin Berol-kemikaali.

Kineettisissä vaahdotuskokeissa kuviot 8 ja 9 poikkeavat toisistaan. Kuviossa 8 on nähtävissä saantihuippu, jossa haluttua mineraalia on saatu eniten talteen. Kuviossa 9 vastaavanlaista huippua ei ole, vaan saanti pysyy samana hetken aikaa ja tietyn ajan kuluttua saanti alkaa laskea. Kineettisen vaahdotuskokeen perusteella Berol-kemikaalilla saavutettiin paremmat saannit nopeammin kuin Rokanol-kemikaalilla ja sen selektiivisyys vaahdotusprosessissa oli parempi kuin Rokanol-kemikaalin.

Tuloksien perusteella Berol 050 kemikaali toimii kyseisessä vaahdotusprosessissa paremmin kuin Rokanol L3A kemikaali. Berol 050:lla saadaan litiumia enemmän rikasteeseen ja jätteeseen sitä menee vähemmän. Litium saadaan kiinnittymään paremmin Berol 050:lla vaahdotuksessa muodostuvien kuplien pintaan kuin Rokanol L3A:lla jolloin litium saadaan talteen rikasteena ja jätteeseen sitä joutuu vähemmän.

LÄHTEET

- Bulatovic, Srdjan M. 2015. Handbook of flotation reagents. Amsterdam: Elsevier.
- Chemicalbook. 2016. Alcohols, C12-16, ethoxylated. Saatavissa: http://www.chemicalbook.com/ChemicalProductProperty_EN_CB11211808.htm. Viitattu 11.3.2017
- Finch, J.A. & Wills B.A. 2016. Wills` Mineral Processing Technology. 8, uudistettu painos. Amsterdam: Elsevier.
- Gent, M., Menéndez, M., Toraño, J. & Vidal, A. 2002. Optimisation of spodumene flotation. The European Journal of Mineral Processing and Environmental Protection Vol.4, No.2, 1303-0868, 2004, pp. 130–135. Saatavissa: http://www.ejmpep.com/menendez_et.al.pdf. Viitattu 9.3.2017.
- Grönholm, S., Alviola, R., Kinnunen, K., Kojonen, K., Kärkkäinen, N. & Mäkitie, H. 2009. Retkeilijän Kiviopas. Geologian tutkimuskeskus. 2.painos. Helsinki: Edita Prima Oy.
- Peda.Net. 2016. Seosten erotusmenetelmiä. Saatavissa: https://peda.net/sievi/sievin-lukio/oppiaineet2/kemia/kemia1/tkapp/luku-2-3:file/download/66e5ce5af7a2d61e50625050ada5c861c5f332ac/Kemiaa_kaikkialla_KE1_LUKU2.3.pdf. Viitattu 11.3.2017.
- Kaiva.fi. 2014. Dia-esitys Kaiva.fi:n sivustolta. Saatavissa: http://kaiva.fi/wp-content/uploads/2014/12/Rikastus_kaiva.pdf. Viitattu 25.2.2017.
- Kalapudas, R. 2016 Hi-Tech metalleja Keski-Pohjanmaan kallioperästä Keliber Oy:n Li-pegmattiittalmien rikastusprosessi. Saatavissa: <http://www oulu.fi/sites/default/files/content/Reijo%20Kalapudas.pdf>. Viitattu 13.3.2017
- Keliber Oy. 2013a. Yritys. Saatavissa: <http://keliber.fi/yritys>. Viitattu 10.3.2017.
- Keliber Oy. 2013b. Syväjärvi. Saatavissa: <http://keliber.fi/syvajarvi>. Viitattu 10.3.2017.
- Kuivala, T. 2014. Pohjois-Suomen metallikaivosten rikastusprosessien vertailu. Lapin ammattikorkeakoulu, Kone- ja tuotantotekniikka. Opinnäyte. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/82413/Kuivala_Toni.pdf?sequence=1. Viitattu 25.2.2017.
- Lamberg, P. 2017. Tuloksien laskenta. Sähköposti keskustelu. Saatavissa: <https://outlook.office.com>. Viitattu 10.9.2017.
- Lukkarinen, T. 1987. Mineraalitekniikka Osa 2 Mineraalien rikastus. Helsinki: Insinööritieto Oy.
- PacificOleo. 2009. Safety data sheet. Saatavilla: http://www.pacificoleo.com/img/docs/msds/MSDS_K_PKG.pdf. Viitattu 22.3.2017.
- PCC Exol. Rokanol L3A. Saatavissa: https://www.products.pcc.eu/wp-content/uploads/import/broszura/2017-03-09/a8e9cdd5-977f-4733-9f09-30af30479f1d/leaflet_rokanoll3a_en.pdf. Viitattu 11.3.2017
- Pekkala, T. 2016. Rikastustekniikka. Luentomateriaali

Pekkala, T. 2016. Vaahdotus. Rikastustekniikan kurssin oppimateriaali.

Salminen, R. & Pihkala, J. 1980. Prosessitekniikan yksikköprosessit. Keuruu: Kustannusosakeyhtiö Otava

Sarapää, O. 2011. Hi-tech-metallien merkitys ja potentiaali. Saatavissa http://www.kotu oulu.fi/projektit/oms/map3/Olli_Sarapaa.pdf. Viitattu 20.3.2017

Siren, O. 2015. Litiumista virtaa Keski-Pohjanmaalle-katsaus litiumkaivoshankkeeseen. KMW –Suomen kriittiset metalli –seminaari. Saatavissa: <http://materialweek.fi/file/Kokkola-Material-Week-2015-MetalKokkola-Olle-Siren-Litiumista-Virtaa-Keskipohjanmaalle.pdf>. Viitattu 27.2.2017

Sweco. 2016. Keliber oy pre-feasibility study. Saatavissa: <http://keliber.fi/file/Keliber-Oy-Prefeasibility-Study-Final-2016-14-03.pdf>. Viitattu 18.3.2017

Torttila, S. 2013. Adaptoituva vaahdotusprosessin simulaattori. Aalto-yliopisto, Sähkötekniikan korkeakoulu. Diplomityö. Saatavissa: https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/12595/master_Torttila_Sampo_2013.pdf?sequence=1. Viitattu 25.2.2017.

Uusimäki, T. 2017. Kalaveden tuotantolaitoksenympäristövaikutusten arviointiohjelma(yva-ohjelma). Saatavissa: http://keliber.fi/useruploads/files/keliber_kalavesi_yva_ohjelma_13012017.pdf. Viitattu 11.3.2017.

Hukki, R., T. 1964. Mineraalien hienonnus ja rikastus. Keuruu:Otava.

Syväjärven vaahdotus ”resepti” 1 kg näytteelle joka murskattu -3.35 mm hienouteen:

Jauhatus

Jauhatus tankomyllyllä kahdessa vaiheessa 1 kg panoksella, käytetty vesimäärä 0.9 l.

Jauhatushienous D80~153 µm (20 + 12 min, väliseulonta 180 µm seulalla) tai D80~127 µm (20+18 min väliseulonta 150 µm seulalla).

Syväjärvellä toimii melko karkeakin jauhatushienous viime aikojen kokeissa käytetty D80~153 µm, samalla vähennetään liejun/hienoaineksen määrää.

Liejunpoisto

Liejunpoisto on tehty laminaarisella dekantoinnilla, viimeisimmässä kokeissa käytetty 11 µm katkaisurajaa.

Prefloat

Fosforin/apatiitin ym. epäpuhtauksien poisto vaahdottamalla.

Ennen vaahdotusta lisätään NaOH 500 g/t ja tehdään valmennus 15 min sakeana noin 60 % lietetiheydessä.

Tämän jälkeen lisätään rapsirasvahappo (Prifac) kokoojaa 120 g/t + emulgaattoria 30 g/t (Berol 050/tai Rokanol L3A). Valmennus 5 minuuttia ja tätä seuraava Prefloat vaahdotus 4 minuuttia.

Magneettierotus

Liejunpoiston jälkeen tehdään heikkomagneettinen 0.07 T magneettierotus, raudan/magneettisten mineraalien poistamiseksi

Spodumeenin esivaahdotus

Aluksi pH:n säätö 7.5, lisätään rapsirasvahappo (Prifac) kokoojaa 1300 g/t + emulgaattoria (Berol 050/tai Rokanol L3A) 325 g/t. Valmennus 5 min sakeassa noin 60 % lietetiheydessä. Vaahdotusaika ollut 1 kg panoksella 5 min.

Spodumeenin kertausvaahdotukset

Yleensä on tehty 7 kertausta ja viimeisimmässä kokeissa on käytetty kokoojia kolmessa ensimmäisessä kertauksessa, viimeiset kertaukset vesikertauksia.

1 Kertaus

Rapsirasvahappo 400 g/t + emulgaattori 100 g/t, vaahdotusaika 5 min

2 Kertaus

Rapsirasvahappo 300 g/t + emulgaattori 75 g/t, vaahdotusaika 5 min

3 Kertaus

Rapsirasvahappo 200 g/t + emulgaattori 50 g/t, vaahdotusaika 5 min

4 Kertaus

Vesikertaus, vaahdotusaika 4 min

5 Kertaus

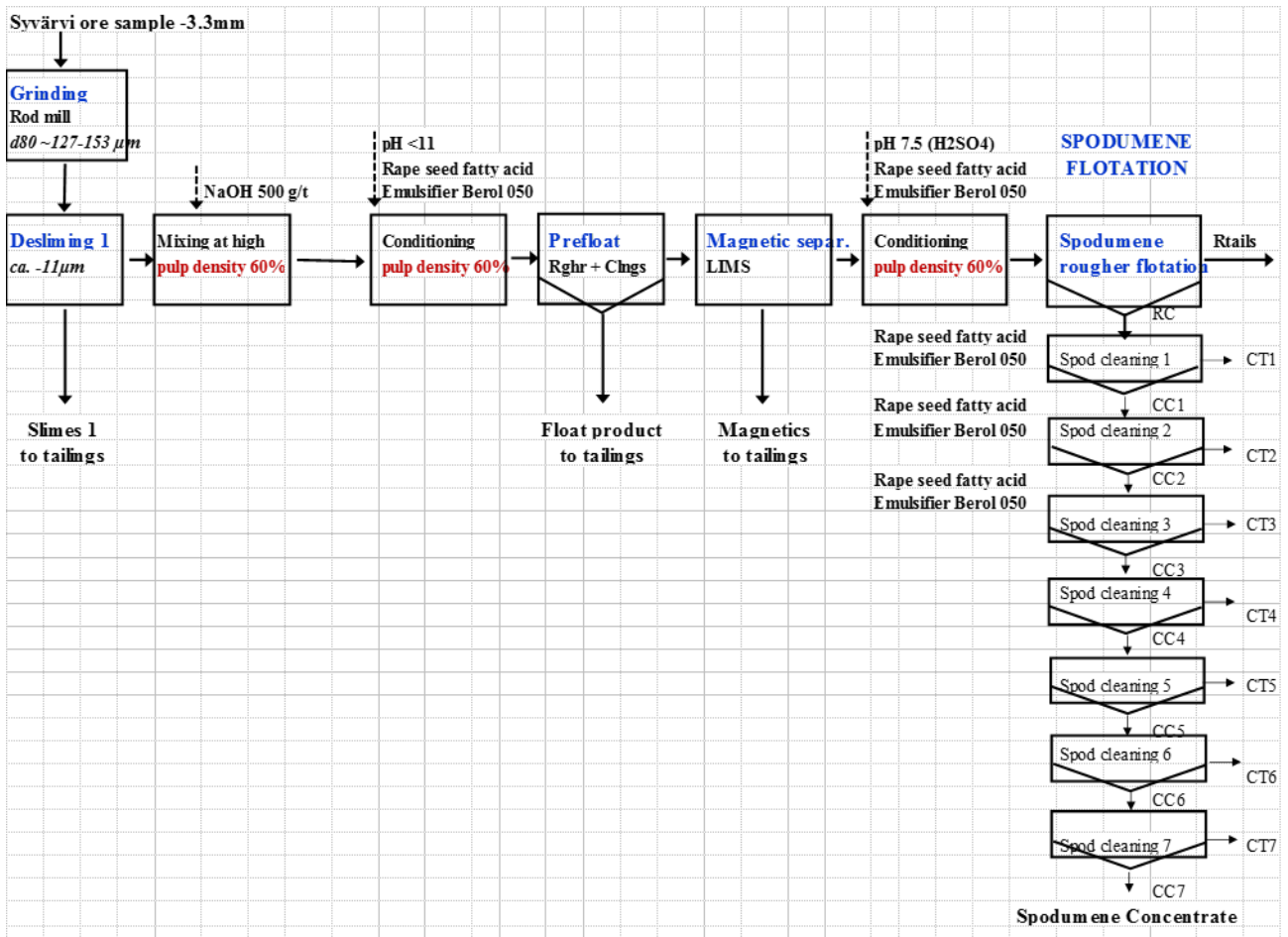
Vesikertaus, vaahdotusaika 4 min

6 Kertaus

Vesikertaus, vaahdotusaika 4 min

7 Kertaus

Vesikertaus, vaahdotusaika 3 min



Analysis

Malvern Instruments



Measurement Details

Operator Name Malvern
 Sample Name Tiia Kiviniemi 0,5
 SOP File Name Laura_Jauhatukset_kuiva.msop

Measurement Details

Analysis Date Time 15.3.2017 10:45:08
 Measurement Date Time 15.3.2017 10:45:08
 Result Source Measurement

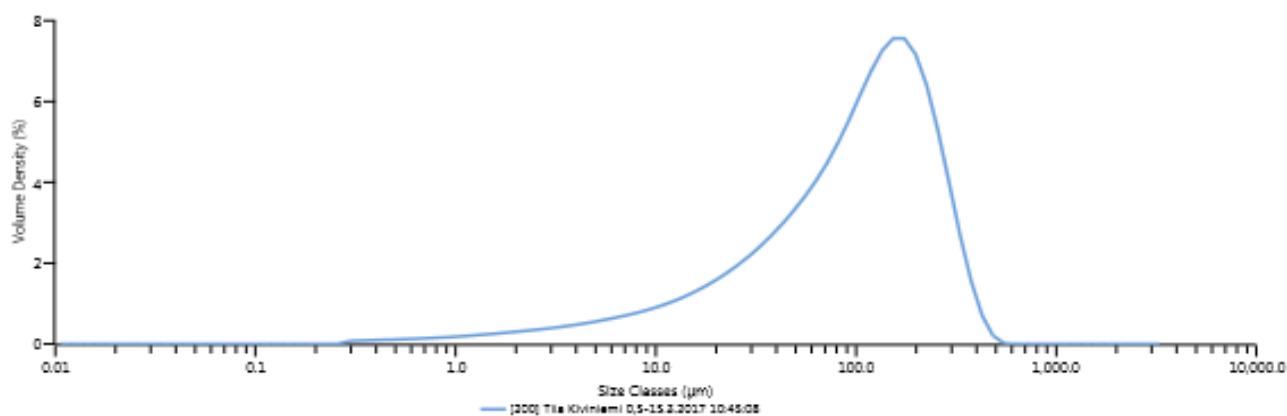
Analysis

Particle Name Kaolinite (RI 1.57)
 Particle Refractive Index 1.570
 Particle Absorption Index 0.100
 Dispersant Name
 Dispersant Refractive Index
 Scattering Model Mie
 Analysis Model General Purpose
 Weighted Residual 0.34 %
 Laser Obscuration 2.45 %

Result

Concentration 0.0053 %
 Span 2.280
 Uniformity 0.710
 Specific Surface Area 315.9 m²/kg
 D [3;2] 19.0 µm
 D [4;3] 122 µm
 Dv (10) 13.9 µm
 Dv (50) 106 µm
 Dv (90) 254 µm

Frequency (compatible)



Result

Size (µm)	% Volume In	Size (µm)	% Volume In	Size (µm)	% Volume In	Size (µm)	% Volume In	Size (µm)	% Volume In	Size (µm)	% Volume In	Size (µm)	% Volume In
0.0100	0.00	0.0207	0.00	0.0427	0.00	0.08	0.00	0.17	0.00	0.34	0.00	0.68	0.00
0.0154	0.00	0.0309	0.00	0.0618	0.00	0.12	0.00	0.25	0.00	0.50	0.00	1.00	0.00
0.0198	0.00	0.0395	0.00	0.0790	0.00	0.15	0.00	0.31	0.00	0.61	0.00	1.22	0.00
0.0247	0.00	0.0506	0.00	0.1012	0.00	0.20	0.00	0.40	0.00	0.80	0.00	1.60	0.00
0.0307	0.00	0.0652	0.00	0.1304	0.00	0.26	0.00	0.52	0.00	1.04	0.00	2.08	0.00
0.0380	0.00	0.0844	0.00	0.1688	0.00	0.33	0.00	0.67	0.00	1.34	0.00	2.68	0.00
0.0468	0.00	0.1096	0.00	0.2192	0.00	0.43	0.00	0.87	0.00	1.74	0.00	3.48	0.00
0.0572	0.00	0.1436	0.00	0.2872	0.00	0.57	0.00	1.14	0.00	2.28	0.00	4.56	0.00
0.0700	0.00	0.1896	0.00	0.3792	0.00	0.75	0.00	1.50	0.00	3.00	0.00	6.00	0.00
0.0854	0.00	0.2516	0.00	0.5032	0.00	1.00	0.00	2.00	0.00	4.00	0.00	8.00	0.00
0.1036	0.00	0.3356	0.00	0.6712	0.00	1.34	0.00	2.68	0.00	5.36	0.00	10.72	0.00
0.1248	0.00	0.4480	0.00	0.8960	0.00	1.79	0.00	3.58	0.00	7.16	0.00	14.32	0.00
0.1496	0.00	0.5960	0.00	1.1920	0.00	2.38	0.00	4.76	0.00	9.52	0.00	19.04	0.00
0.1784	0.00	0.7960	0.00	1.5920	0.00	3.18	0.00	6.36	0.00	12.72	0.00	25.44	0.00
0.2116	0.00	1.0640	0.00	2.1280	0.00	4.25	0.00	8.50	0.00	17.00	0.00	34.00	0.00
0.2504	0.00	1.4240	0.00	2.8480	0.00	5.69	0.00	11.38	0.00	22.76	0.00	45.52	0.00
0.2952	0.00	1.8960	0.00	3.7920	0.00	7.58	0.00	15.16	0.00	30.32	0.00	60.64	0.00
0.3476	0.00	2.5040	0.00	5.0080	0.00	10.01	0.00	20.02	0.00	40.04	0.00	80.08	0.00
0.4088	0.00	3.2960	0.00	6.5920	0.00	13.18	0.00	26.36	0.00	52.72	0.00	105.44	0.00
0.4796	0.00	4.3200	0.00	8.6400	0.00	17.28	0.00	34.56	0.00	69.12	0.00	138.24	0.00
0.5616	0.00	5.6320	0.00	11.2640	0.00	22.52	0.00	45.04	0.00	90.08	0.00	180.16	0.00
0.6560	0.00	7.3760	0.00	14.7520	0.00	29.50	0.00	59.00	0.00	118.00	0.00	236.00	0.00
0.7640	0.00	9.6160	0.00	19.2320	0.00	38.46	0.00	76.92	0.00	153.84	0.00	307.68	0.00
0.8864	0.00	12.5120	0.00	25.0240	0.00	50.04	0.00	100.08	0.00	200.16	0.00	400.32	0.00
0.1000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00



Malvern Instruments Ltd.
 www.malvern.com

Mastersizer - v3.30
 Page 1 of 1

20170315 Laura jauhatukset

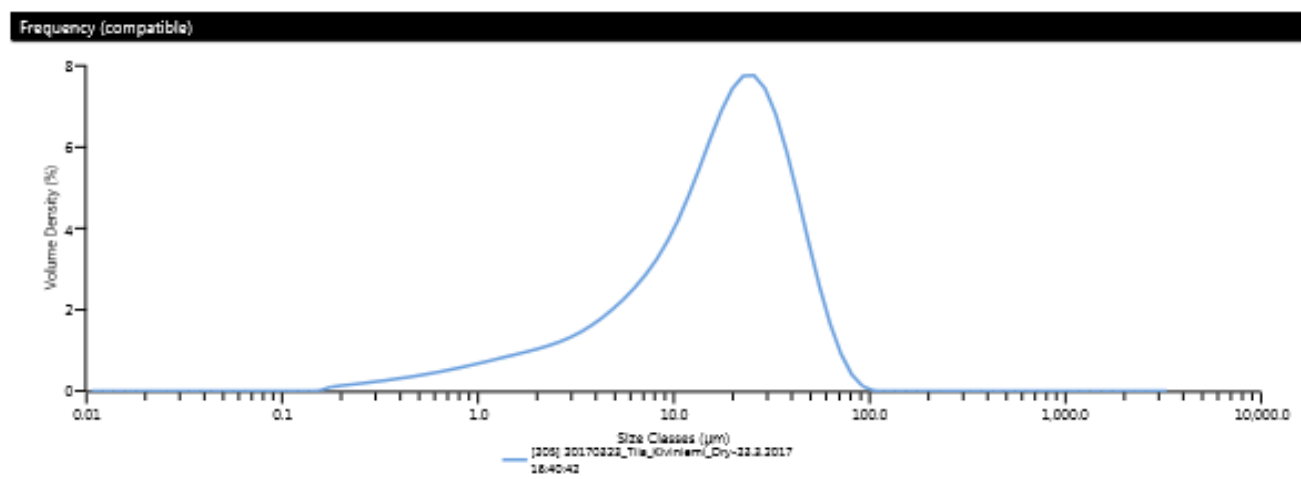
Created: 1.1.2015
 Printed: 15.3.2017 13:50

Analysis

Malvern Instruments



Measurement Details		Measurement Details	
Operator Name	Malvern	Analysis Date Time	23.3.2017 16:40:42
Sample Name	20170323_Tia_Kiviniemi_Dry	Measurement Date Time	23.3.2017 16:40:42
SOP File Name	Laura_Jauhatuset_kuiva.msop	Result Source	Measurement
Analysis		Result	
Particle Name	Kaolinite (RI 1.57)	Concentration	0.0002 %
Particle Refractive Index	1.570	Span	2.237
Particle Absorption Index	0.100	Uniformity	0.689
Dispersant Name		Specific Surface Area	1199 m ² /kg
Dispersant Refractive Index		D [3;2]	5.27 µm
Scattering Model	Mie	D [4;3]	20.7 µm
Analysis Model	General Purpose	Dv (10)	2.69 µm
Weighted Residual	0.78 %	Dv (50)	17.8 µm
Laser Obscuration	0.26 %	Dv (90)	42.5 µm



Result													
Size (µm)	% Volume In	Size (µm)	% Volume In	Size (µm)	% Volume In	Size (µm)	% Volume In	Size (µm)	% Volume In	Size (µm)	% Volume In	Size (µm)	% Volume In
0.0100	0.00	0.0297	0.00	0.057	0.00	0.11	0.00	0.27	0.00	0.54	0.00	1.08	0.00
0.0150	0.00	0.0475	0.00	0.095	0.00	0.24	0.00	0.61	0.00	1.22	0.00	2.44	0.00
0.0200	0.00	0.0711	0.00	0.142	0.00	0.35	0.00	0.88	0.00	1.76	0.00	3.52	0.00
0.0267	0.00	0.0976	0.00	0.195	0.00	0.49	0.00	1.22	0.00	2.44	0.00	4.88	0.00
0.0350	0.00	0.132	0.00	0.264	0.00	0.67	0.00	1.34	0.00	2.68	0.00	5.36	0.00
0.0450	0.00	0.188	0.00	0.376	0.00	0.95	0.00	1.90	0.00	3.80	0.00	7.60	0.00
0.0575	0.00	0.264	0.00	0.528	0.00	1.31	0.00	2.62	0.00	5.24	0.00	10.48	0.00
0.0725	0.00	0.366	0.00	0.732	0.00	1.83	0.00	3.66	0.00	7.32	0.00	14.64	0.00
0.0900	0.00	0.504	0.00	1.008	0.00	2.52	0.00	5.04	0.00	10.08	0.00	20.16	0.00
0.1125	0.00	0.684	0.00	1.368	0.00	3.36	0.00	6.72	0.00	13.44	0.00	26.88	0.00
0.1400	0.00	0.936	0.00	1.872	0.00	3.74	0.00	7.48	0.00	14.96	0.00	29.92	0.00
0.1725	0.00	1.272	0.00	2.544	0.00	5.09	0.00	10.18	0.00	20.36	0.00	40.72	0.00
0.2100	0.00	1.716	0.00	3.432	0.00	6.86	0.00	13.72	0.00	27.44	0.00	54.88	0.00
0.2550	0.00	2.292	0.00	4.584	0.00	9.17	0.00	18.34	0.00	36.68	0.00	73.36	0.00
0.3075	0.00	3.096	0.00	6.192	0.00	12.38	0.00	24.76	0.00	49.52	0.00	99.04	0.00
0.3675	0.00	4.188	0.00	8.376	0.00	16.75	0.00	33.50	0.00	67.00	0.00	134.00	0.00
0.4350	0.00	5.640	0.00	11.280	0.00	22.56	0.00	45.12	0.00	90.24	0.00	180.48	0.00
0.5100	0.00	7.560	0.00	15.120	0.00	30.24	0.00	60.48	0.00	120.96	0.00	241.92	0.00
0.5925	0.00	10.296	0.00	20.592	0.00	41.18	0.00	82.36	0.00	164.72	0.00	329.44	0.00
0.6825	0.00	13.992	0.00	27.984	0.00	55.97	0.00	111.94	0.00	223.88	0.00	447.76	0.00
0.7800	0.00	18.888	0.00	37.776	0.00	75.55	0.00	151.10	0.00	302.20	0.00	604.40	0.00
0.8925	0.00	25.416	0.00	50.832	0.00	101.66	0.00	203.32	0.00	406.64	0.00	813.28	0.00
1.0200	0.00	34.176	0.00	68.352	0.00	136.70	0.00	273.40	0.00	546.80	0.00	1093.60	0.00
1.1625	0.00	45.816	0.00	91.632	0.00	183.26	0.00	366.52	0.00	733.04	0.00	1466.08	0.00
1.3200	0.00	61.752	0.00	123.504	0.00	247.01	0.00	494.02	0.00	988.04	0.00	1976.08	0.00
1.4925	0.00	82.920	0.00	165.840	0.00	331.68	0.00	663.36	0.00	1326.72	0.00	2653.44	0.00
1.6800	0.00	111.840	0.00	223.680	0.00	447.36	0.00	894.72	0.00	1789.44	0.00	3578.88	0.00
1.8825	0.00	150.240	0.00	300.480	0.00	600.96	0.00	1201.92	0.00	2403.84	0.00	4807.68	0.00
2.1000	0.00	199.680	0.00	399.360	0.00	798.72	0.00	1597.44	0.00	3194.88	0.00	6389.76	0.00
2.3325	0.00	266.400	0.00	532.800	0.00	1065.60	0.00	2131.20	0.00	4262.40	0.00	8524.80	0.00
2.5800	0.00	355.200	0.00	710.400	0.00	1420.80	0.00	2841.60	0.00	5683.20	0.00	11366.40	0.00
2.8425	0.00	474.240	0.00	948.480	0.00	1896.96	0.00	3793.92	0.00	7587.84	0.00	15175.68	0.00
3.1200	0.00	628.800	0.00	1257.600	0.00	2515.20	0.00	5030.40	0.00	10060.80	0.00	20121.60	0.00
3.4125	0.00	841.440	0.00	1682.880	0.00	3365.76	0.00	6731.52	0.00	13463.04	0.00	26926.08	0.00
3.7200	0.00	1118.400	0.00	2236.800	0.00	4473.60	0.00	8947.20	0.00	17894.40	0.00	35788.80	0.00
4.0425	0.00	1483.200	0.00	2966.400	0.00	5932.80	0.00	11865.60	0.00	23731.20	0.00	47462.40	0.00
4.3800	0.00	1977.600	0.00	3955.200	0.00	7910.40	0.00	15820.80	0.00	31641.60	0.00	63283.20	0.00
4.7325	0.00	2649.600	0.00	5299.200	0.00	10598.40	0.00	21196.80	0.00	42393.60	0.00	84787.20	0.00
5.1000	0.00	3552.000	0.00	7104.000	0.00	14208.00	0.00	28416.00	0.00	56832.00	0.00	113664.00	0.00
5.4825	0.00	4742.400	0.00	9484.800	0.00	18969.60	0.00	37939.20	0.00	75878.40	0.00	151756.80	0.00
5.8800	0.00	6288.000	0.00	12576.000	0.00	25152.00	0.00	50304.00	0.00	100608.00	0.00	201216.00	0.00
6.2925	0.00	8414.400	0.00	16828.800	0.00	33657.60	0.00	67315.20	0.00	134630.40	0.00	269260.80	0.00
6.7200	0.00	11184.000	0.00	22368.000	0.00	44736.00	0.00	89472.00	0.00	178944.00	0.00	357888.00	0.00
7.1625	0.00	14832.000	0.00	29664.000	0.00	59328.00	0.00	118656.00	0.00	237312.00	0.00	474624.00	0.00
7.6200	0.00	19776.000	0.00	39552.000	0.00	79104.00	0.00	158208.00	0.00	316416.00	0.00	632832.00	0.00
8.0925	0.00	26496.000	0.00	52992.000	0.00	105984.00	0.00	211968.00	0.00	423936.00	0.00	847872.00	0.00
8.5800	0.00	35520.000	0.00	71040.000	0.00	142080.00	0.00	284160.00	0.00	568320.00	0.00	1136640.00	0.00
9.0825	0.00	47424.000	0.00	94848.000	0.00	189696.00	0.00	379392.00	0.00	758784.00	0.00	1517568.00	0.00
9.6000	0.00	62880.000	0.00	125760.000	0.00	251520.00	0.00	503040.00	0.00	1006080.00	0.00	2012160.00	0.00
10.1325	0.00	84144.000	0.00	168288.000	0.00	336576.00	0.00	673152.00	0.00	1346304.00	0.00	2692608.00	0.00
10.6800	0.00	111840.000	0.00	223680.000	0.00	447360.00	0.00	894720.00	0.00	1789440.00	0.00	3578880.00	0.00
11.2425	0.00	148320.000	0.00	296640.000	0.00	593280.00	0.00	1186560.00	0.00	2373120.00	0.00	4746240.00	0.00
11.8200	0.00	197760.000	0.00	395520.000	0.00	791040.00	0.00	1582080.00	0.00	3164160.00	0.00	6328320.00	0.00
12.4125	0.00	264960.000	0.00	529920.000	0.00	1059840.00	0.00	2119680.00	0.00	4239360.00	0.00	8478720.00	0.00
13.0200	0.00	355200.000	0.00	710400.000	0.00	1420800.00	0.00	2841600.00	0.00	5683200.00	0.00	11366400.00	0.00
13.6425	0.00	474240.000	0.00	948480.000	0.00	1896960.00	0.00	3793920.00	0.00	7587840.00	0.00	15175680.00	0.00
14.2800	0.00	628800.000	0.00	1257600.000	0.00	2515200.00	0.00	5030400.00	0.00	10060800.00	0.00	20121600.00	0.00
14.9325	0.00	841440.000	0.00	1682880.000	0.00	3365760.00	0.00	6731520.00	0.00	13463040.00	0.00	26926080.00	0.00
15.6000	0.00	1118400.000	0.00	2236800.000	0.00	4473600.00	0.00	8947200.00	0.00	17894400.00	0.00	35788800.00	0.00
16.2825	0.00	1483200.000	0.00	2966400.000	0.00	5932800.00	0.00	11865600.00	0.00	23731200.00	0.00	47462400.00	0.00
16.9800	0.00	1977600.000	0.00	3955200.000	0.00	7910400.00	0.00	15820800.00	0.00	31641600.00	0.00	63283200.00	0.00
17.6925	0.00	2649600.000	0.00	5299200.000	0.00	10598400.00	0.00	21196800.00	0.00	42393600.00	0.00	84787200.00	0.00
18.4200	0.00	3552000.000	0.00	7104000.000	0.00	14208000.00	0.00	28416000.00	0.00	56832000.00	0.00	113664000.00	0.00
19.1625	0.00	4742400.000	0.00	9484800.000	0.00	18969600.00	0.00	37939200.00	0.00	75878400.00	0.00	151756800.00	0.00
19.9200	0.00	6288000.000	0.00	12576000.000	0.00	25152000.00	0.00	50304000.00	0.00	100608000.00	0.00	201216000.00	0.00
20.6925	0.00	8414400.000	0.00	16828800.000	0.00	33657600.00	0.00	67315200.00	0.00	134630400.00	0.00	269260800.00	0.00
21.4800	0.00	11184000.000	0.00	22368000.000	0.00	44736000.00	0.00	89472000.00	0.00	178944000.00	0.00	357888000.00	0.00
22.2825	0.00	14832000.000	0.00	29664000.000	0.00	59328000.00	0.00	118656000.00	0.00	237312000.00	0.00	474624000.00	0.00
23.0900	0.00	19776000.000	0.00	39552000.000	0.00	79104000.00	0.00	158208000.00	0.00	316416000.00	0.00	632832000.00	0.00
23.9025	0.00	26496000.000	0.00	52992000.000	0.00	105984000.00	0.00	211968000.00	0.00	423936000.00	0.00	847872000.00	0.00
24.7200	0.00	35520000.000	0.00	71040000.000	0.00	142080000.00	0.00	284160000.00	0.00	568320000.00	0.00	1136640000.00	

Keliber Oy
 Raporttinumero: 013218
 Olle Siren
 Toholammintie 496
 69600 KAUSTINEN

Tilaus: S17-03308 8.5.2017
 Asiakkaan viite: Tiia Kiviniemi
 Tilausnumero: 501767
 Vastaanottopvm: 12.4.2017 **Esikäsittelysuoritteet**

Suorite	Suoritteen kuvaus	Näytteiden lkm
721	Prosessinäytteiden natriumperoksidisulfaatti	65 kpl

Testaustulokset

Suorite: 721P Suoritteen kuvaus: Monialkuainemääritys ICP-OES-tekniikalla

Standardiviite:

Analysointipaikka: Kuopio

Analysikoodi	721P	721P	721P	721P	721P	721P	721P	721P
Parametri	Al	As	Ba	Be	Ca	Co	Cr	Cu
Yksikkö	%	%	%	%	%	%	%	%
Määrittäjä	0.01	0.01	0.002	0.001	0.01	0.001	0.003	0.002
Näytetunnus								
R s koe 1	7.96	<0.01	0.00275	0.0199	0.253	<0.001	0.0166	0.00330
R s koe 1 (2)	7.97	<0.01	0.00459	0.0169	0.249	<0.001	0.0167	0.00329
R j koe 1	7.65	<0.01	<0.002	0.0179	0.0786	<0.001	0.00684	0.00235
R r koe 1	8.83	<0.01	0.00420	0.0185	0.800	<0.001	0.0548	0.0110
R kj 1 koe 1	8.27	<0.01	0.00251	0.0171	0.208	<0.001	0.0238	0.00316
R kj 2 koe 1	8.04	<0.01	0.00478	0.0147	0.556	<0.001	0.0523	0.00777
R kr koe 1	8.74	0.0204	0.00582	0.0183	2.17	<0.001	0.102	0.0135
R s koe 2	7.71	<0.01	0.00250	0.0188	0.269	<0.001	0.0131	0.00355
R j koe 2	7.59	<0.01	<0.002	0.0169	0.0843	<0.001	0.00788	<0.002
R r koe 2	8.85	<0.01	0.00386	0.0177	0.589	<0.001	0.0551	0.00636
R kj 1 koe 2	8.41	<0.01	0.00321	0.0190	0.588	<0.001	0.0387	0.00501
R kj 2 koe 2	8.41	<0.01	0.00523	0.0174	1.74	<0.001	0.0842	0.0128
R kr koe 2	8.49	<0.01	0.0126	0.0146	3.98	0.00132	0.117	0.0289
R s koe 3	7.92	<0.01	0.00230	0.0205	0.254	<0.001	0.0154	0.00331
R j koe 3	7.91	<0.01	0.00215	0.0170	0.0927	<0.001	0.0106	<0.002
R kj 1 koe 3	8.36	<0.01	0.00335	0.0154	0.289	<0.001	0.0291	0.00450
R kj 2 koe 3	8.12	<0.01	R kin s	7.83	<0.01	0.00229	0.0173	0.249
R kr koe 3	8.55	<0.01	0.00606	0.0169	1.65	<0.001	0.0781	0.0160
R s koe 4	7.61	<0.01	0.00259	0.0208	0.248	<0.001	0.0115	0.00214
R j koe 4	7.60	<0.01	<0.002	0.0186	0.0777	<0.001	0.00595	<0.002
R kj 1 koe 4	8.18	<0.01	0.00295	0.0156	0.253	<0.001	0.0238	0.00405
R kj 1 koe 4 (2)	8.29	<0.01	0.00359	0.0135	0.283	<0.001	0.0273	0.00403
R kj 2 koe 4	8.38	<0.01	0.00490	0.0137	0.572	<0.001	0.0472	0.00834
R kr koe 4	8.53	<0.01	0.00635	0.0184	2.25	<0.001	0.0934	0.0159

<0.001

Määrittäjä	0.01	0.01	0.002	0.001	0.01	0.001	0.003	0.002
Näytetunnus								
R kin 1	8.41	<0.01	0.00585	0.0170	1.64	<0.001	0.0745	0.0123
R kin 3	8.76	<0.01	0.00481	0.0165	0.717	<0.001	0.0523	0.00752
R kin 5	8.83	<0.01	0.00554	0.0148	0.564	<0.001	0.0473	0.00614
R kin j	7.82	<0.01	0.00235	0.0165	0.101	<0.001	0.00878	<0.002
B s koe 1	7.85	<0.01	0.00321	0.0196	0.234	<0.001	0.0169	0.00331
B j koe 1	7.81	0.0101	0.00210	0.0216	0.0909	<0.001	0.00926	<0.002
B kj 1 koe 1	8.27	<0.01	0.00215	0.0202	0.244	<0.001	0.0213	0.00460
B kj 2 koe 1	8.44	<0.01	0.00510	0.0161	0.493	<0.001	0.0431	0.00740
B kr koe 1	9.23	<0.01	0.00624	0.0176	2.59	<0.001	0.0972	0.0164
B s koe 2	7.93	<0.01	0.00239	0.0181	0.252	<0.001	0.0156	0.00259
B j koe 2	7.55	<0.01	<0.002	0.0190	0.0826	<0.001	0.00710	<0.002
B r koe 2	9.49	<0.01	0.00724	0.0158	2.47	<0.001	0.0924	0.0157
B kj 1 koe 2	8.43	<0.01	0.00330	0.0150	0.267	<0.001	0.0284	0.00395
B kj 2 koe 2	8.80	<0.01	0.00411	0.0172	0.769	<0.001	0.0656	0.00706
B kr koe 2	9.12	<0.01	0.00650	0.0193	1.82	<0.001	0.0738	0.0134
B s koe 3	7.69	<0.01	0.00260	0.0184	0.270	<0.001	0.0144	0.00305
B r koe 3	8.64	<0.01	0.0164	0.0122	3.47	0.00113	0.117	0.0395
B r koe 3 (2)	8.64	<0.01	0.0167	0.0122	3.48	0.00125	0.113	0.0407
B kj 1 koe 3	8.37	<0.01	0.00355	0.0199	1.23	0.00119	0.0532	0.00711
B kj 2 koe 3	8.60	<0.01	0.0107	0.0126	1.86	<0.001	0.0944	0.0233
B kr koe 3	9.13	<0.01	0.00550	0.0189	2.68	<0.001	0.0942	0.0148
B s koe 4	7.80	<0.01	0.00250	0.0188	0.266	<0.001	0.0145	0.00300
B j koe 4	7.49	<0.01	0.00225	0.0169	0.0992	<0.001	0.00894	<0.002
B r koe 4	8.89	<0.01	0.00434	0.0170	0.724	<0.001	0.0518	0.00674
B kj 1 koe 4	8.33	<0.01	0.00290	0.0174	0.224	<0.001	0.0238	0.00310
B kr koe 4	9.06	<0.01	0.00589	0.0172	1.80	<0.001	0.0762	0.0137
B kin s	7.99	<0.01	0.00225	0.0208	0.247	<0.001	0.0153	0.00230
B kin 1	8.87	<0.01	0.00526	0.0151	1.29	<0.001	0.0615	0.0101
B kin 3	9.01	<0.01	0.00415	0.0168	0.640	<0.001	0.0419	0.00556
B kin 5	9.04	<0.01	0.00480	0.0152	0.648	<0.001	0.0480	0.00690
B kin j	7.56	<0.01	<0.002	0.0172	0.116	<0.001	0.00977	<0.002
B s koe 6	7.88	<0.01	0.00215	0.0189	0.248	<0.001	0.0143	0.00270
B j koe 6	7.85	<0.01	0.00210	0.0157	0.121	<0.001	0.0104	<0.002
B r koe 6	8.51	<0.01	0.00551	0.0168	1.59	<0.001	0.0812	0.0110
B kj 1 koe 6	8.44	<0.01	0.00299	0.0184	0.442	<0.001	0.0381	0.00428
B kj 2 koe 6	8.36	<0.01	0.00560	0.0193	2.52	0.00183	0.111	0.0141
B kr koe 6	8.60	<0.01	0.0120	0.0131	4.56	0.00162	0.133	0.0367
B s koe 7	8.17	<0.01	0.00285	0.0180	0.271	<0.001	0.0170	0.00315
B s koe 7 (2)	7.99	<0.01	0.00229	0.0201	0.247	<0.001	0.0156	0.00264
B j koe 7	7.79	<0.01	<0.002	0.0146	0.0901	<0.001	0.00783	<0.002

B r koe 7	8.70	<0.01	0.00509	0.0175	1.60	<0.001	0.0744	0.0109
B kj 1 koe 7	8.19	<0.01	0.00260	0.0162	0.195	<0.001	0.0195	0.00255
B kj 2 koe 7	8.01	<0.01	0.00270	0.0149	0.262	<0.001	0.0282	0.00345
B kr koe 7	8.94	0.0106	0.00479	0.0187	1.34	<0.001	0.0726	0.00969

Analyysikoodi	721P	721P	721P	721P	721P	721P	721P	721P
Parametri	Fe	K	La	Li	Mg	Mn	Mo	Ni
Yksikkö	%	%	%	%	%	%	%	%
Määrittäysraja	0.01	0.05	0.002	0.001	0.02	0.001	0.005	0.005
Näytetunnus								
R s koe 1	0.470	1.50	<0.002	0.950	0.0494	0.0597	<0.005	0.00646
R s koe 1 (2)	0.460	1.47	<0.002	0.964	0.0528	0.0566	<0.005	0.00713
R j koe 1	0.281	1.62	<0.002	0.782	0.0289	0.0310	<0.005	<0.005
R r koe 1	1.24	1.24	<0.002	1.28	0.134	0.145	<0.005	0.0273
R kj 1 koe 1	0.494	1.57	<0.002	0.972	0.0563	0.0487	<0.005	0.0119
R kj 2 koe 1	0.937	1.49	<0.002	0.885	0.0892	0.0811	<0.005	0.0263
R kr koe 1	2.32	0.841	<0.002	1.48	0.235	0.318	<0.005	0.0560
R s koe 2	0.444	1.60	<0.002	0.799	0.0549	0.0557	<0.005	0.00516
R j koe 2	0.287	1.65	<0.002	0.782	0.0300	0.0314	<0.005	<0.005
R r koe 2	1.13	1.36	<0.002	1.20	0.112	0.117	<0.005	0.0272
R kj 1 koe 2	0.848	1.52	<0.002	0.984	0.0940	0.103	<0.005	0.0187
R kj 2 koe 2	1.82	1.16	<0.002	1.16	0.200	0.236	<0.005	0.0448
R kr koe 2	3.29	0.893	<0.002	1.24	0.358	0.460	<0.005	0.0652
R s koe 3	0.462	1.59	<0.002	0.852	0.0518	0.0572	<0.005	0.00586
R j koe 3	0.316	1.76	<0.002	0.760	0.0343	0.0324	<0.005	<0.005
R kj 1 koe 3	0.629	1.75	<0.002	0.866	0.0650	0.0572	<0.005	0.0130
R kj 2 koe 3	0.893	1.34	<0.002	0.985	0.0882	0.0862	<0.005	0.0220
R kr koe 3	1.92	1.28	<0.002	1.13	0.193	0.239	<0.005	0.0431
R s koe 4	0.420	1.53	<0.002	0.803	0.0524	0.0544	<0.005	0.00608
R j koe 4	0.266	1.57	<0.002	0.795	0.0328	0.0318	<0.005	<0.005
R kj 1 koe 4	0.562	1.72	<0.002	0.838	0.0580	0.0533	<0.005	0.0118
R kj 1 koe 4 (2)	0.638	1.77	<0.002	0.824	0.0684	0.0579	<0.005	0.0132
R kj 2 koe 4	0.993	1.60	<0.002	0.872	0.104	0.0897	<0.005	0.0244
R kr koe 4	2.32	0.994	<0.002	1.28	0.245	0.313	<0.005	0.0506
R kin s	0.444	1.49	<0.002	0.884	0.0489	0.0529	<0.005	0.00603
R kin 1	1.76	1.26	<0.002	1.12	0.181	0.241	<0.005	0.0398
R kin 3	1.14	1.42	<0.002	1.11	0.128	0.120	<0.005	0.0263
R kin 5	0.997	1.53	<0.002	1.06	0.113	0.0969	<0.005	0.0239
R kin j	0.308	1.81	<0.002	0.696	0.0374	0.0312	<0.005	<0.005
B s koe 1	0.480	1.47	<0.002	0.911	0.0484	0.0588	<0.005	0.00671
B j koe 1	0.325	1.71	<0.002	0.775	0.0400	0.0340	<0.005	<0.005
B kj 1 koe 1	0.511	1.32	<0.002	1.11	0.0610	0.0585	<0.005	0.00911
B kj 2 koe 1	0.868	1.53	<0.002	0.928	0.101	0.0792	<0.005	0.0212
B kr koe 1	2.42	0.779	<0.002	1.57	0.285	0.359	<0.005	0.0523
B s koe 2	0.488	1.45	<0.002	0.913	0.0495	0.0600	<0.005	0.00658

B j koe 2	0.288	1.63	<0.002	0.746	0.0326	0.0311	<0.005	<0.005
B r koe 2	2.26	0.662	<0.002	1.75	0.267	0.319	<0.005	0.0486
B kj 1 koe 2	0.628	1.59	<0.002	0.958	0.0648	0.0582	<0.005	0.0136
B kj 2 koe 2	1.25	1.03	<0.002	1.37	0.120	0.133	<0.005	0.0336
B kr koe 2	1.83	0.844	<0.002	1.57	0.214	0.277	<0.005	0.0398
B s koe 3	0.477	1.52	<0.002	0.820	0.0564	0.0572	<0.005	0.00535
B r koe 3	3.37	1.06	<0.002	1.10	0.306	0.383	<0.005	0.0651
B r koe 3 (2)	3.33	1.05	<0.002	1.11	0.311	0.381	<0.005	0.0635
B kj 1 koe 3	1.29	1.30	<0.002	1.09	0.142	0.181	<0.005	0.0294
B kj 2 koe 3	2.19	1.40	<0.002	0.946	0.203	0.217	<0.005	0.0512
B kr koe 3	2.43	0.713	<0.002	1.62	0.283	0.375	<0.005	0.0500
B s koe 4	0.473	1.45	<0.002	0.888	0.0523	0.0613	<0.005	0.00555
B j koe 4	0.291	1.45	<0.002	0.794	0.0383	0.0332	<0.005	<0.005
B r koe 4	1.10	1.32	<0.002	1.19	0.128	0.122	<0.005	0.0268

Analyysikoodi	721P	721P	721P	721P	721P	721P	721P	721P
Parametri	Fe	K	La	Li	Mg	Mn	Mo	Ni
Yksikkö	%	%	%	%	%	%	%	%
Määrittysraja	0.01	0.05	0.002	0.001	0.02	0.001	0.005	0.005
Näytetunnus								
B kj 1 koe 4	0.528	1.50	<0.002	0.962	0.0635	0.0516	<0.005	0.0103
B kr koe 4	1.84	0.889	<0.002	1.50	0.231	0.257	<0.005	0.0406
B kin s	0.491	1.46	<0.002	0.919	0.0560	0.0567	<0.005	0.00609
B kin 1	1.55	1.30	<0.002	1.18	0.189	0.199	<0.005	0.0323
B kin 3	0.985	1.18	<0.002	1.32	0.122	0.120	<0.005	0.0211
B kin 5	1.11	1.48	<0.002	1.11	0.130	0.110	<0.005	0.0236
B kin j	0.330	1.71	<0.002	0.670	0.0331	0.0329	<0.005	<0.005
B s koe 6	0.454	1.49	<0.002	0.886	0.0540	0.0548	<0.005	0.00645
B j koe 6	0.371	1.84	<0.002	0.679	0.0428	0.0346	<0.005	<0.005
B r koe 6	1.87	1.27	<0.002	1.10	0.183	0.220	<0.005	0.0421
B kj 1 koe 6	0.820	1.46	<0.002	1.01	0.0841	0.0808	<0.005	0.0192
B kj 2 koe 6	2.42	0.942	<0.002	1.26	0.256	0.350	<0.005	0.0607
B kr koe 6	3.75	0.808	<0.002	1.30	0.386	0.522	<0.005	0.0744
B s koe 7	0.491	1.49	<0.002	0.940	0.0537	0.0591	<0.005	0.00709
B s koe 7 (2)	0.482	1.48	<0.002	0.924	0.0497	0.0565	<0.005	0.00672
B j koe 7	0.327	1.76	<0.002	0.719	0.0343	0.0334	<0.005	<0.005
B r koe 7	1.80	1.17	<0.002	1.24	0.197	0.236	<0.005	0.0393
B kj 1 koe 7	0.497	1.70	<0.002	0.821	0.0580	0.0462	<0.005	0.0102
B kj 2 koe 7	0.562	1.60	<0.002	0.816	0.0590	0.0504	<0.005	0.0136
B kr koe 7	1.53	0.806	<0.002	1.53	0.169	0.199	<0.005	0.0377
Analyysikoodi	721P	721P	721P	721P	721P	721P	721P	721P
Parametri	P	Pb	S	Sb	Sc	Si	Sr	Ti

Yksikkö	%	%	%	%	%	%	%	%
Määrittäysraja	0.05	0.01	0.02	0.01	0.002	0.05	0.003	0.01
Näytetunnus								
R s koe 1	0.117	<0.01	<0.02	<0.01	<0.002	30.2	<0.003	<0.01
R s koe 1 (2)	0.113	<0.01	0.0257	<0.01	<0.002	31.4	<0.003	<0.01
R j koe 1	<0.05	<0.01	<0.02	<0.01	<0.002	28.5	<0.003	<0.01
R r koe 1	0.316	<0.01	0.0871	<0.01	<0.002	31.4	0.00410	<0.01
R kj 1 koe 1	0.0904	<0.01	<0.02	<0.01	<0.002	32.1	<0.003	<0.01
R kj 2 koe 1	0.196	<0.01	0.0589	<0.01	<0.002	31.6	<0.003	<0.01
R kr koe 1	0.748	<0.01	0.341	<0.01	<0.002	29.1	0.00974	<0.01
R s koe 2	0.123	<0.01	0.0234	<0.01	<0.002	29.2	<0.003	<0.01
R j koe 2	<0.05	<0.01	<0.02	<0.01	<0.002	30.6	<0.003	<0.01
R r koe 2	0.239	<0.01	0.0511	<0.01	<0.002	31.6	0.00331	<0.01
R kj 1 koe 2	0.246	<0.01	0.0688	<0.01	<0.002	31.3	0.00326	<0.01
R kj 2 koe 2	0.600	<0.01	0.177	<0.01	<0.002	30.3	0.00823	<0.01
R kr koe 2	0.249	<0.01	0.402	<0.01	<0.002	25.7	0.0173	0.0125
R s koe 3	0.125	<0.01	0.0202	<0.01	<0.002	30.3	<0.003	<0.01
R j koe 3	<0.05	<0.01	<0.02	<0.01	<0.002	30.1	<0.003	<0.01
R kj 1 koe 3	0.121	<0.01	0.0287	<0.01	<0.002	31.1	<0.003	<0.01
R kj 2 koe 3	0.201	<0.01	0.0579	<0.01	<0.002	31.1	<0.003	<0.01
R kr koe 3	0.570	<0.01	0.254	<0.01	<0.002	30.4	0.00791	<0.01
R s koe 4	0.113	<0.01	0.0212	<0.01	<0.002	30.9	<0.003	<0.01
R j koe 4	<0.05	<0.01	<0.02	<0.01	<0.002	28.7	<0.003	<0.01
R kj 1 koe 4	0.115	<0.01	0.0220	<0.01	<0.002	30.9	<0.003	<0.01
R kj 1 koe 4 (2)	0.125	<0.01	0.0297	<0.01	<0.002	30.7	<0.003	<0.01

Analysikoodi	721P	721P	721P	721P	721P	721P	721P	721P
Parametri	P	Pb	S	Sb	Sc	Si	Sr	Ti
Yksikkö	%	%	%	%	%	%	%	%
Määrittäysraja	0.05	0.01	0.02	0.01	0.002	0.05	0.003	0.01
Näytetunnus								
R kj 2 koe 4	0.233	<0.01	0.0791	<0.01	<0.002	31.8	<0.003	<0.01
R kr koe 4	0.707	<0.01	0.317	<0.01	<0.002	29.9	0.0101	<0.01
R kin s	0.114	<0.01	<0.02	<0.01	<0.002	29.5	<0.003	<0.01
R kin 1	0.592	<0.01	0.244	<0.01	<0.002	30.1	0.00780	<0.01
R kin 3	0.292	<0.01	0.0832	<0.01	<0.002	31.4	0.00356	<0.01
R kin 5	0.229	<0.01	0.0603	<0.01	<0.002	30.5	0.00309	<0.01
R kin j	<0.05	<0.01	<0.02	<0.01	<0.002	29.8	<0.003	<0.01
B s koe 1	0.117	<0.01	0.0219	<0.01	<0.002	29.9	<0.003	<0.01
B j koe 1	<0.05	<0.01	<0.02	<0.01	<0.002	29.7	<0.003	<0.01

B kj 1 koe 1	0.112	<0.01	0.0328	<0.01	<0.002	30.9	<0.003	<0.01
B kj 2 koe 1	0.197	<0.01	0.0546	<0.01	<0.002	32.4	<0.003	<0.01
B kr koe 1	0.858	<0.01	0.279	<0.01	<0.002	27.9	0.0117	<0.01
B s koe 2	0.119	<0.01	0.0280	<0.01	<0.002	31.4	<0.003	<0.01
B j koe 2	<0.05	<0.01	<0.02	<0.01	<0.002	28.3	<0.003	<0.01
B r koe 2	0.838	<0.01	0.205	<0.01	<0.002	27.8	0.0109	<0.01
B kj 1 koe 2	0.118	<0.01	0.0266	<0.01	<0.002	31.4	<0.003	<0.01
B kj 2 koe 2	0.320	<0.01	0.0812	<0.01	<0.002	32.0	0.00371	<0.01
B kr koe 2	0.661	<0.01	0.183	<0.01	<0.002	29.4	0.00825	<0.01
B s koe 3	0.125	<0.01	0.0413	<0.01	<0.002	30.8	<0.003	<0.01
B r koe 3	0.587	<0.01	0.443	<0.01	<0.002	24.5	0.0144	0.0121
B r koe 3 (2)	0.554	<0.01	0.452	<0.01	<0.002	23.9	0.0144	0.0120
B kj 1 koe 3	0.474	<0.01	0.141	<0.01	<0.002	32.4	0.00596	<0.01
B kj 2 koe 3	0.614	<0.01	0.233	<0.01	<0.002	28.6	0.00823	<0.01
B kr koe 3	0.788	<0.01	0.270	<0.01	<0.002	27.6	0.0119	<0.01
B s koe 4	0.131	<0.01	0.0385	<0.01	<0.002	31.2	<0.003	<0.01
B j koe 4	<0.05	<0.01	<0.02	<0.01	<0.002	29.6	<0.003	<0.01
B r koe 4	0.293	<0.01	0.0741	<0.01	<0.002	32.0	0.00359	<0.01
B kj 1 koe 4	0.0947	<0.01	<0.02	<0.01	<0.002	32.0	<0.003	<0.01
B kr koe 4	0.638	<0.01	0.218	<0.01	<0.002	29.2	0.00813	<0.01
B kin s	0.118	<0.01	0.0286	<0.01	<0.002	30.6	<0.003	<0.01
B kin 1	0.470	<0.01	0.161	<0.01	<0.002	28.9	0.00626	<0.01
B kin 3	0.278	<0.01	0.0676	<0.01	<0.002	30.9	0.00320	<0.01
B kin 5	0.263	<0.01	0.0693	<0.01	<0.002	30.4	0.00340	<0.01
B kin j	0.0583	<0.01	<0.02	<0.01	<0.002	27.2	<0.003	<0.01
B s koe 6	0.111	<0.01	0.0224	<0.01	<0.002	30.2	<0.003	<0.01
B j koe 6	0.0549	<0.01	<0.02	<0.01	<0.002	29.9	<0.003	<0.01
B r koe 6	0.599	<0.01	0.178	<0.01	<0.002	30.2	0.00716	<0.01
B kj 1 koe 6	0.184	<0.01	0.0500	<0.01	<0.002	31.0	<0.003	<0.01
B kj 2 koe 6	0.944	<0.01	0.305	<0.01	<0.002	29.3	0.0114	<0.01
B kr koe 6	0.225	<0.01	0.431	<0.01	<0.002	24.2	0.0194	0.0115
B s koe 7	0.119	<0.01	0.0206	<0.01	<0.002	30.1	<0.003	<0.01
B s koe 7 (2)	0.115	<0.01	<0.02	<0.01	<0.002	31.5	<0.003	<0.01
B j koe 7	<0.05	<0.01	<0.02	<0.01	<0.002	29.7	<0.003	<0.01
B r koe 7	0.627	<0.01	0.211	<0.01	<0.002	31.1	0.00749	<0.01
B kj 1 koe 7	0.0917	<0.01	<0.02	<0.01	<0.002	30.7	<0.003	<0.01
B kj 2 koe 7	0.116	<0.01	0.0208	<0.01	<0.002	31.9	<0.003	<0.01
B kr koe 7	0.493	<0.01	0.152	<0.01	<0.002	31.3	0.00604	<0.01

Analysikoodi	721P	721P	721P
Parametri	V	Y	Zn
Yksikkö	%	%	%
Määrittäysraja	0.005	0.001	0.005
Näytetunnus			
R s koe 1	<0.005	<0.001	0.00816

R s koe 1 (2)	<0.005	<0.001	0.00688
R j koe 1	<0.005	<0.001	<0.005
R r koe 1	0.00956	<0.001	0.0144
R kj 1 koe 1	<0.005	<0.001	0.00526
R kj 2 koe 1	<0.005	<0.001	0.0131
R kr koe 1	0.00778	<0.001	0.0540
R s koe 2	<0.005	<0.001	0.0109
R j koe 2	<0.005	<0.001	<0.005
R r koe 2	<0.005	<0.001	0.0115
R kj 1 koe 2	<0.005	<0.001	0.0111
R kj 2 koe 2	0.00568	<0.001	0.0350
R kr koe 2	0.0120	<0.001	0.0825
R s koe 3	<0.005	<0.001	0.00762
R j koe 3	<0.005	<0.001	<0.005
R kj 1 koe 3	<0.005	<0.001	0.00800
R kj 2 koe 3	<0.005	<0.001	0.0108
R kr koe 3	0.00816	<0.001	0.0358
R s koe 4	<0.005	<0.001	0.00643
R j koe 4	<0.005	<0.001	<0.005
R kj 1 koe 4	<0.005	<0.001	0.00874
R kj 1 koe 4 (2)	<0.005	<0.001	0.00827
R kj 2 koe 4	<0.005	<0.001	0.0142
R kr koe 4	0.0104	<0.001	0.0520
R kin s	<0.005	<0.001	0.00957
R kin 1	0.00585	<0.001	0.0467
R kin 3	<0.005	<0.001	0.0151
R kin 5	<0.005	<0.001	0.0129
R kin j	<0.005	<0.001	<0.005
B s koe 1	<0.005	<0.001	0.00676
B j koe 1	<0.005	<0.001	<0.005
B kj 1 koe 1	<0.005	<0.001	0.00536
B kj 2 koe 1	<0.005	<0.001	0.0121
B kr koe 1	0.00859	<0.001	0.0454
B s koe 2	<0.005	<0.001	0.00743
B j koe 2	<0.005	<0.001	<0.005
B r koe 2	0.00774	<0.001	0.0444
B kj 1 koe 2	<0.005	<0.001	0.00755
B kj 2 koe 2	<0.005	<0.001	0.0172
B kr koe 2	0.00705	<0.001	0.0368
B s koe 3	<0.005	<0.001	0.00740
B r koe 3	0.0134	<0.001	0.0901
B r koe 3 (2)	0.0135	<0.001	0.0966
B kj 1 koe 3	<0.005	<0.001	0.0258
B kj 2 koe 3	0.00743	<0.001	0.0465
B kr koe 3	0.00770	<0.001	0.0450
B s koe 4	<0.005	<0.001	0.00745
B j koe 4	<0.005	<0.001	<0.005
B r koe 4	0.00594	<0.001	0.0145
Analyysikoodi	721P	721P	721P
Parametri	V	Y	Zn

Yksikkö			
	%	%	%
Määrittysraja	0.005	0.001	0.005
Näytetunnus			
B kj 1 koe 4	<0.005	<0.001	0.00675
B kr koe 4	0.00868	<0.001	0.0420
B kin s	<0.005	<0.001	0.00763
B kin 1	0.00776	<0.001	0.0305
B kin 3	<0.005	<0.001	0.0160
B kin 5	0.00655	<0.001	0.0166
B kin j	<0.005	<0.001	0.00583
B s koe 6	<0.005	<0.001	0.00835
B j koe 6	<0.005	<0.001	<0.005
B r koe 6	0.00671	<0.001	0.0276
B kj 1 koe 6	<0.005	<0.001	0.0104
B kj 2 koe 6	0.00910	<0.001	0.0490
B kr koe 6	0.0157	<0.001	0.0908
B s koe 7	<0.005	<0.001	0.00909
B s koe 7 (2)	<0.005	<0.001	0.00737
B j koe 7	<0.005	<0.001	<0.005
B r koe 7	0.00629	<0.001	0.0359
B kj 1 koe 7	<0.005	<0.001	0.00610
B kj 2 koe 7	<0.005	<0.001	0.00595
B kr koe 7	<0.005	<0.001	0.0301

Laadunvalvontanäytteet

Suorite: 721P Suoritteen kuvaus: Monialkuainemääritys ICP-OES-tekniikalla

Standardiviite:

Analysointipaikka: Kuopio

Analyysikoodi	721P	721P	721P	721P	721P	721P	721P	721P
Parametri	Al	As	Ba	Be	Ca	Co	Cr	Cu
Yksikkö	%	%	%	%	%	%	%	%
Määrittysraja	0.01	0.01	0.002	0.001	0.01	0.001	0.003	0.002
Laadunvalvontanäytteen tunnus / Kuvaus								
17011347 / QCGBMS304-6	5.41	0.259	0.0558	<0.001	6.78	0.0115	0.0367	0.412
17011347 (2) / QCGBMS304-6	5.21	0.247	0.0531	<0.001	6.53	0.0106	0.0357	0.394
17011347 (3) / QCGBMS304-6	5.36	0.261	0.0547	<0.001	6.76	0.0111	0.0380	0.408
17011347 (4) / QCGBMS304-6	5.35	0.265	0.0549	<0.001	6.76	0.0111	0.0375	0.409
17011347 (5) / QCGBMS304-6	5.39	0.262	0.0546	<0.001	6.78	0.0122	0.0373	0.412

Analyysikoodi	721P	721P	721P	721P	721P	721P	721P	721P
Parametri	Al	As	Ba	Be	Ca	Co	Cr	Cu
Yksikkö	%	%	%	%	%	%	%	%
Määrittysraja	0.01	0.01	0.002	0.001	0.01	0.001	0.003	0.002
Laadunvalvontanäytteen tunnus / Kuvaus								
17011349 (2) / QCAMIS0355	7.69	<0.01	0.00458	0.0165	0.460	0.00347	0.0302	0.0335
17011349 (3) / QCAMIS0355	7.69	<0.01	0.00442	0.0164	0.460	0.00414	0.0301	0.0331
17011349 (4) / QCAMIS0355	7.72	<0.01	0.00470	0.0165	0.460	0.00366	0.0307	0.0338
17011349 (5) / QCAMIS0355	7.71	<0.01	0.00419	0.0166	0.469	0.00374	0.0291	0.0334
17011348 / QCSOKEA	<0.01	<0.01	<0.002	<0.001	<0.01	<0.001	0.00425	<0.002
17011348 (2) / QCSOKEA	<0.01	<0.01	<0.002	<0.001	<0.01	<0.001	0.00530	<0.002
17011348 (3) / QCSOKEA	<0.01	<0.01	<0.002	<0.001	<0.01	<0.001	0.00425	<0.002
17011348 (4) / QCSOKEA	<0.01	<0.01	<0.002	<0.001	<0.01	<0.001	0.00650	0.00280
17011348 (5) / QCSOKEA	<0.01	<0.01	<0.002	<0.001	<0.01	<0.001	0.00550	0.00235
17011348 (6) / QCSOKEA	<0.01	<0.01	<0.002	<0.001	<0.01	<0.001	0.00660	0.00240
17011348 (7) / QCSOKEA	<0.01	<0.01	<0.002	<0.001	0.0123	<0.001	0.00665	0.00240
17011348 (8) / QCSOKEA	<0.01	<0.01	<0.002	<0.001	0.0104	<0.001	0.00525	<0.002
17011348 (9) / QCSOKEA	<0.01	<0.01	<0.002	<0.001	0.0158	<0.001	0.00600	0.00235
17011348 (10) / QCSOKEA	<0.01	<0.01	<0.002	<0.001	<0.01	<0.001	0.00645	0.00225
17011349 / QCAMIS0355	7.89	<0.01	0.00440	0.0170	0.475	0.00386	0.0312	0.0342

Analyysikoodi	721P	721P	721P	721P	721P	721P	721P	721P
Parametri	Fe	K	La	Li	Mg	Mn	Mo	Ni
Yksikkö	%	%	%	%	%	%	%	%
Määrittysraja	0.01	0.05	0.002	0.001	0.02	0.001	0.005	0.005
Laadunvalvontanäytteen tunnus / Kuvaus								
17011347 / QCGBMS304-6	6.70	1.48	0.00291	0.00261	1.65	0.0753	<0.005	0.216
17011347 (2) / QCGBMS304-6	6.55	1.43	0.00285	0.00220	1.56	0.0727	<0.005	0.208
17011347 (3) / QCGBMS304-6	6.83	1.44	0.00264	0.00249	1.63	0.0751	<0.005	0.218
17011347 (4) / QCGBMS304-6	6.92	1.46	0.00289	0.00214	1.64	0.0751	<0.005	0.218

Laadunvalvontanäytteen tunnus / Kuvaus								
17011348 (8) / QCSOKEA	<0.05	<0.01	<0.02	<0.01	<0.002	<0.05	<0.003	<0.01
17011348 (9) / QCSOKEA	<0.05	<0.01	<0.02	<0.01	<0.002	0.0753	<0.003	<0.01
17011348 (10) / QCSOKEA	<0.05	<0.01	<0.02	<0.01	<0.002	<0.05	<0.003	<0.01
17011349 / QCAMIS0355	<0.05	<0.01	0.0305	<0.01	<0.002	32.4	0.00530	0.0393
17011349 (2) / QCAMIS0355	<0.05	<0.01	0.0280	<0.01	<0.002	32.1	0.00508	0.0387
17011349 (3) / QCAMIS0355	<0.05	<0.01	0.0294	<0.01	<0.002	32.2	0.00522	0.0390
17011349 (4) / QCAMIS0355	<0.05	<0.01	0.0282	<0.01	<0.002	32.9	0.00515	0.0397
17011349 (5) / QCAMIS0355	<0.05	<0.01	0.0304	<0.01	<0.002	33.4	0.00534	0.0394
Analyytikoodi	721P	721P	721P					
Parametri	V	Y	Zn					
Yksikkö	%	%	%					
Määrittysraja	0.005	0.001	0.005					
Laadunvalvontanäytteen tunnus / Kuvaus								
17011347 / QCGBMS304-6	0.0159	0.00256	0.122					
17011347 (2) / QCGBMS304-6	0.0149	0.00240	0.118					
17011347 (3) / QCGBMS304-6	0.0156	0.00254	0.121					
17011347 (4) / QCGBMS304-6	0.0159	0.00254	0.122					
17011347 (5) / QCGBMS304-6	0.0157	0.00250	0.123					
17011348 / QCSOKEA	<0.005	<0.001	<0.005					
17011348 (2) / QCSOKEA	<0.005	<0.001	<0.005					
17011348 (3) / QCSOKEA	<0.005	<0.001	<0.005					
17011348 (4) / QCSOKEA	<0.005	<0.001	<0.005					
17011348 (5) / QCSOKEA	<0.005	<0.001	<0.005					
17011348 (6) / QCSOKEA	<0.005	<0.001	<0.005					
17011348 (7) / QCSOKEA	<0.005	<0.001	<0.005					
17011348 (8) / QCSOKEA	<0.005	<0.001	<0.005					
17011348 (9) / QCSOKEA	<0.005	<0.001	<0.005					
17011348 (10) / QCSOKEA	<0.005	<0.001	<0.005					
17011349 / QCAMIS0355	<0.005	<0.001	0.00885					
17011349 (2) / QCAMIS0355	<0.005	<0.001	0.00877					
17011349 (3) / QCAMIS0355	<0.005	<0.001	0.00899					
17011349 (4) / QCAMIS0355	<0.005	<0.001	0.00875					
17011349 (5) / QCAMIS0355	<0.005	<0.001	0.00934					

8.5.2017

Susanna Arvilommi

Laboratoriopäällikkö/Laboratory manager

Jakelu

Siren, Olle / Keliber Oy