

**Haris Ferhatovic ja Azra Ferhatovic**

**BARYYTIN VAAHDOTUS PYHÄSALMEN KAIVOKSEN  
PROSESSIJÄTTEESTÄ**

**Opinnäytetyö  
CENTRIA-AMMATTIKORKEAKOULU  
Kemiantekniikan koulutusohjelma  
Kevät 2018**

**TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ**

<b>Centria-ammattikorkeakoulu</b>	<b>Aika</b> Kevät 2018	<b>Tekijä/tekijät</b> Azra Ferhatovic, Haris Ferhatovic
<b>Koulutusohjelma</b> Kemiantekniikka		
<b>Työn nimi</b> BARYYTIN VAAHDOTUS PYHÄSALMEN KAIVOKSEN PROSESSIJÄTTEESTÄ		
<b>Työn ohjaaja</b> Laura Rahikka	<b>Sivumäärä</b> 27 + 1	
<b>Työelämäohjaaja</b> Timo Pekkala		
<p>Pyhäsalmen kaivoksen jätealtaissa olevasta rikastushiekasta haluttiin rikastaa eli vaahdottaa bariumsulfaattia eli baryyttia. Rikastusta oli tutkittu jo kauan ja se osoittautui kannattavaksi. Opinnäytetyö erosi aiemmista tutkimuksista siten, että rikastushiekka oli jätealtaista ja edelliset tutkimukset tehtiin jätteestä, joka saatiin suoraan prosessista. Jätealtaissa oleva rikastushiekka oli aikanaan ehtinyt hapettua ilman hapen kanssa.</p> <p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli löytää sopivat kemikaalit ja niiden annostusmäärät. Tarkoituksena oli myös tutkia, onko vaahdotus eli rikastusprosessi kannattavaa ja järkevää. Suurin osa vaahdotuskokeista tehtiin GTK:n eli Geologian tutkimuskeskuksen kokeiden pohjalta. Kemikaalien annostuksia muokattiin ja muuttujat pyrittiin pitämään mahdollisimman vähäisinä. Pyhäsalmeilla suoritettiin suurin osa vaahdotuskokeista ja muut KPEDU aikuisopiston laboratorioissa Kokkolassa.</p> <p>Viimeisimmät vaahdotuskokeet olivat kaikista kokeista parhaimmat. Tuloksien mukaan näissä vaahdotuskokeissa bariumpitoisuus oli korkea. Vaahdotuskokeissa säännöstelyreagenssina oli Quebracho, joka tuloksen mukaan osoittautui sopivaksi kemikaaliksi. Suurimmat pitoisuudet saatiin juuri tällä kemikaalilla.</p>		
<b>Asiasanat</b> Baryytti, vaahdotus, rikastushiekka		

**ABSTRACT**

<b>Centria University of Applied Sciences</b>	<b>Date</b> Spring 2018	<b>Author</b> Azra Ferhatovic, Haris Ferhatovic
<b>Degree programme</b> Chemical engineering		
<b>Name of thesis</b> FLOTATION OF THE BARYTE FROM THE PROCESS WASTE OF THE PYHÄSALMI MINE		
<b>Instructor</b> Laura Rahikka	<b>Pages</b> 27 + 1	
<b>Supervisor</b> Timo Pekkala		
<p>The aim of this work was to enrich barium sulphate, i.e. barite, using the flotation process, from the waste basins of the Pyhäsalmi mine that contains tailings. The concentration had been studied already extensively and it had proven to be profitable. The difference between this thesis and the previous studies was the fact that tailings were from the waste basins and the previous studies were from the waste that was directly from a process. With time the tailings in the waste basins had been oxidised with the oxygen in the air.</p> <p>The aim of this thesis was also to find the suitable chemicals and their dosage amounts. The aim was also to study if the enrichment, in other words, the flotation process, was profitable and sensible. Most of the flotation tests were conducted based on the tests of the GTK. The dosage of chemicals was adjusted, and the variables were kept as low as possible. Most of the flotation tests were carried out in Pyhäsalmi mine and the rest were carried out in KPEDU laboratory in Kokkola.</p> <p>The latest flotation tests were the best of all the tests. In the flotation tests as an activator, Quebracho was used which, according to the results proved to be the suitable chemical. Using this activator leads to the largest concentrations.</p>		
<b>Key words</b> Barium, flotation, tailings		

**TIIVISTELMÄ**  
**ABSTRACT**  
**SISÄLLYS**

<b>1 JOHDANTO</b> .....	<b>1</b>
<b>2 PYHÄSALMI MINE OY</b> .....	<b>2</b>
<b>3 VAAHDOTUS</b> .....	<b>3</b>
<b>3.1 Baryytin vaahdotus</b> .....	<b>4</b>
<b>3.2 Vaahdotuskemikaalit</b> .....	<b>4</b>
<b>3.2.1 Kokoojareagenssi</b> .....	<b>4</b>
<b>3.2.2 Säännöstelyreagenssi</b> .....	<b>5</b>
<b>3.2.3 Vaahdotusreagenssi</b> .....	<b>6</b>
<b>3.3 Vaahdotuslaitteisto</b> .....	<b>6</b>
<b>3.3.1 Valmennus</b> .....	<b>7</b>
<b>4 BARYYTIN KÄYTTÖKOHTEET</b> .....	<b>8</b>
<b>5 KOKEELLINEN OSUUS</b> .....	<b>9</b>
<b>5.1 Koelaitteisto</b> .....	<b>9</b>
<b>5.2 Osa 1</b> .....	<b>9</b>
<b>5.2.1 Koe 1</b> .....	<b>10</b>
<b>5.2.2 Koe 2</b> .....	<b>12</b>
<b>5.3 Osa 2</b> .....	<b>13</b>
<b>5.3.1 Koe 1</b> .....	<b>13</b>
<b>5.3.2 Koe 2</b> .....	<b>14</b>
<b>5.3.3 Koe 3</b> .....	<b>15</b>
<b>5.4 Osa 3</b> .....	<b>18</b>
<b>5.4.1 Koe 1</b> .....	<b>18</b>
<b>5.4.2 Koe 2</b> .....	<b>19</b>
<b>5.4.3 Koe 3</b> .....	<b>20</b>
<b>6 TULOSTEN TARKASTELU JA JOHTOPÄÄTÖKSET</b> .....	<b>22</b>
<b>LÄHTEET</b> .....	<b>26</b>

**LIITTEET**

LIITE 1 Pyhäsalmen laboratoriosta saadut barium-tulokset

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli erottaa baryyttiä vaahdottamalla Pyhäsalmen kaivoksen prosessijätteestä eli rikastushiekasta sopivilla vaahdotuskemikaaleilla ja niiden määrillä. Opinnäytetyössä kokeiltiin eri vaahdotuskemikaalien vaikutusta baryyttivaahdotukseen ja selvitettiin, millä kemikaaleilla ja niiden annostuksilla saadaan mahdollisimman korkea barium-pitoisuus. Alhaisella barium-pitoisuudella vaahdotus ei ole kannattava.

Työ erosi muista töistä niin, että käytössämme oli rikastushiekkaa, jota oli jätealtaissa. Tämä tarkoittaa myös sitä, että rikastushiekka oli ehtinyt hyvin reagoida ilman hapen kanssa ja näin hapettunut. Myös tarkkaa bariumin-pitoisuutta ei voida arvioida, koska pitoisuus vaihtelee jätealtaissa. Baryyttivaahdotuksen ”reseptiä” tullaan varmasti muuttamaan.

Vaahdotuskokeet teimme Pyhäsalmen kaivoksella ja KPEDU aikuiskoulutuksen laboratoriossa. Alkukokeiden vaahdotukset olivat kokeilua, kunnes vaahdotuksesta tuli rutiinia. Kokeita tehtiin yhteensä 10. Reseptinä käytimme Geologian tutkimuskeskuksen eli GTK:n baryyttivaahdotuksen koetta. Kokeilimme myös muita vaahdotuskemikaaleja vertailun vuoksi. Kaikkien kokeiden jätteet ja rikasteet suodatettiin, kuivatettiin, pakattiin ja vietiin laboratorioon analysoitavaksi. Röntgenfluoresenssilla eli XRF-analysaattorilla saimme nopeat tulokset barium-pitoisuudelle, joka ei ollut yhtä luotettava kuin laboratoriossa tehdyt analyysit. XRF-analysaattorin tulokset olivat kuitenkin nopeita ja suuntaa antavia. Laboratoriotulokset ovat luotettavimpia, joten niitä käytetään tuloksissa.

Vaahdotuskokeissa halusimme mahdollisimman vähän muuttujia. Muuttujana pidimme kemikaalien annostusta, koska kemikaaleilla oli tässä suurin vaikutus. pH:n sekä jauhatus-, valmennus- ja vaahdotusajan pyrimme pitämään aina vakiona. Vaahdotuskokeet etenivät, mutta huomasimme suodatuksissa baryytin olevan liian hienojakoista, joten päätimme lyhentää jauhatusaikaa. Valitsimme kaksi jauhatusaikaa vertaillaksemme, olisiko muutoksella vaikutusta.

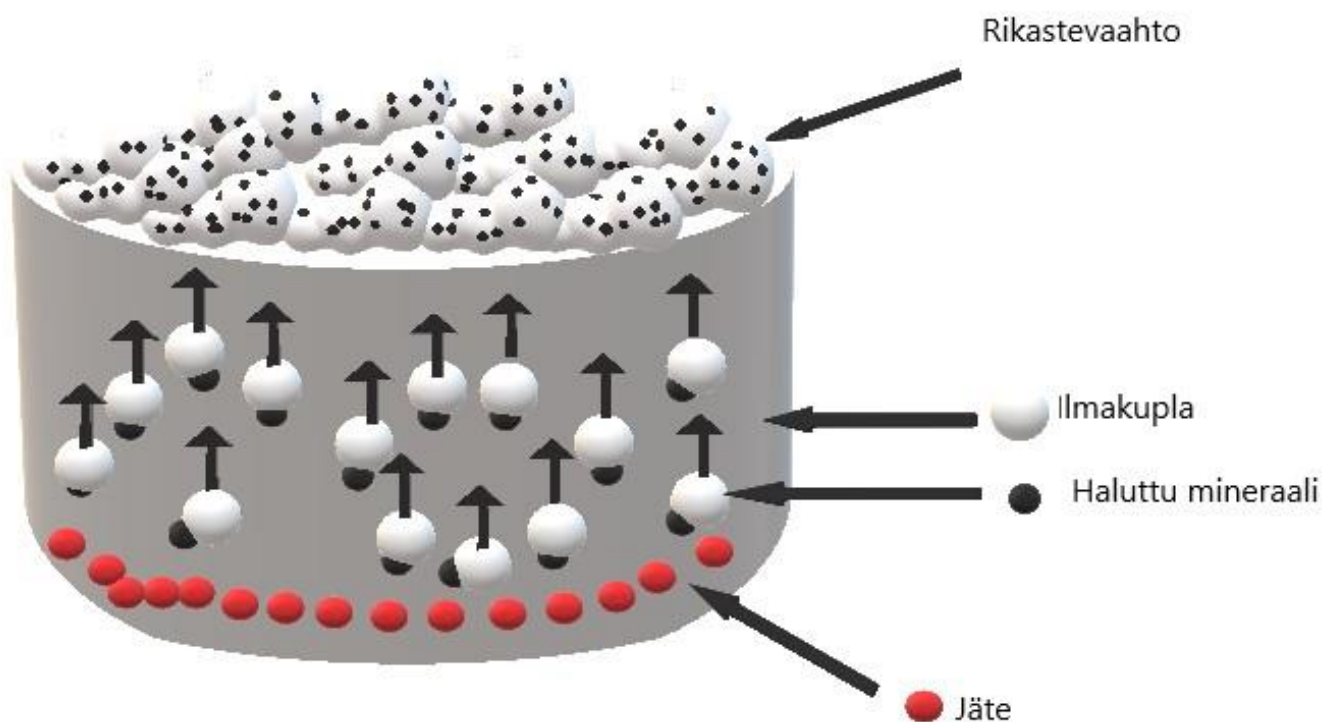
## 2 PYHÄSALMI MINE OY

Pyhäsalmi Mine Oy on Euroopan vanhin ja syvin maanalainen kaivos, joka sijaitsee Keski-Suomessa, Pyhäjärvellä. Kaivos tuottaa pääasiassa kupari-, sinkki- ja rikkirikastetta. Pyhäsalmen kaivos sai alkunsa vuonna 1958, kun työmies löysi erikoisen näköisen kiven, jota tutkittiin. Myöhemmin tutkittu kivi osoittautui rikkaaksi malmikiveksi, joka oli rikkikiisu. Outokumpu aloitti kaivostoiminnan vuonna 1962. (Pohjois-pohjanmaan ympäristöhistoria 2014.) Ensin kaivos oli avolouhos, mutta vuonna 1975 avolouhoksesta siirryttiin kokonaan maanalaiseksi kaivokseksi. Kaivoksen syvyys on 1450 metriä, ja se on Suomen syvin ja Euroopan syvin toimiva kaivos. (First Quantum Minerals LTD 2018.) Pyhäsalmen kaivos oli Outokummun omistuksessa vuoteen 2002, kunnes kanadalainen Imnet Mining Corporation:sta tuli uusi omistaja. Vuonna 2013 omistaja vaihtui toiseen omistajaan, joka on kanadalainen kaivosyhtiö First Quantum Minerals Ltd. (Kaleva 2018.)

Pyhäsalmen kaivoksen toiminta loppuu vuonna 2019, koska malmivaroja on arvioitu riittävän vuoteen 2019, minkä jälkeen toinen vaihtoehto on baryyttisulfaatin talteen ottamista prosessijätteestä, jota on vuosien varrella kasaantunut jätealtaisiin. Tutkimuksien mukaan baryyttisulfaatin pitoisuus jätealtaissa vaihtelee 3,5 prosentista 8 prosenttiin. Bariumsulfaatin pitoisuus on suoraan verrannollinen malmin sinkkipitoisuuteen. (Pekkala 2017.)

### 3 VAAHDOTUS

Vaahdotus eli flotaatio on rikastusprosessi, jossa halutut mineraalirakeet saadaan kiinnittymään syntyviin ilmakupliin, jolloin ei-toivotut mineraalit jäävät pois. Haluttu mineraali nousee ilmakuplien mukana ylös muodostaen vaahtopatjan lietteen yläpuolelle. Tätä kutsutaan rikasteeksi. Niitä mineraaleja, jotka eivät tarttuneet ilmakupliin, (usein ei haluttuja mineraaleja) kutsutaan rikastushiekaksi tai jätteeksi. Vaahdotusprosessin tavoitteena on saada halutun mineraalin pitoisuus mahdollisimman korkeaksi ja taloudellisesti kannattavaksi ja samalla ei haluttujen mineraalien pitoisuus alhaiseksi. (Pihkala 2011, 91.)



KUVIO 1. Vaahdotuksen periaate.

### 3.1 Baryytin vaahdotus

Bariumin tuotanto sai alkunsa 1930-luvun alussa, jolloin bariumia louhittiin ja erotettiin mekaanisesti. 1950-luvulla alkoi vaahdotuksen aikakausi, jossa bariumia alettiin vaahdottaa hyvin kompleksisesta malmista, mikä oli huomattavasti parempi vaihtoehto kuin mekaaninen erotus. Nykyään moni rikastamo käyttää vaahdotusmenetelmää, jossa pyritään ottamaan bariumia talteen hyvin kompleksisesta malmista, joka sisältää silikaattia, kalsiittia, kvartsia ja muuta sivukiveä. (Bulatovic 2015, 129.)

Baryytin vaahdotuksessa on kaksi syötevaihtoehtoa, jotka löytyvät Pyhäsalmen kaivoksessa. Ensimmäinen syötevaihtoehto on kaivokselta tuotua bariumpitoista malmia. Tuotu barium-pitoinen malmi on suoraan verrannollinen malmin sinkkipitoisuuteen. Toinen on rikastamon rikastushiekka eli rikastamon prosessijäte. Bariumin pitoisuus rikastushiekassa vaihtelee riippuen bariumin pitoisuudesta louhitusta malmista. Toinen syötevaihtoehto on Pyhäsalmen kaivoksen rikastushiekka jätealtaista. Tämän syötteen bariumpitoisuus vaihtelee, mikä hankaloittaa bariumin vaahdotusta. Ongelmana on myös se, että rikastushiekka on hyvin hienojakoista, mikä monimutkaistaa vaahdotuspiirin suunnittelua ja oikeiden kemikaalien käyttöä ja säännöstelyä. (Pekkala 2017.)

### 3.2 Vaahdotuskemikaalit

Epäorgaaninen, polaarinen ja hydratoitunut pintakerros peittää lietteessä olevat mineraalien pinnat. Vaahdotus ei ole mahdollista, koska mineraalirakeet ovat hydrofiilisiä eivätkä ne tartu ilmakuplaan, vaan ilmakupla hylkii mineraaleja. Selektiivinen vaahdotus perustuukin pintaominaisuuksien hyväksikäyttöön. (Pihkala 2011, 91-92.)

Kemikaalien avulla vaahdotuksessa pyritään pääsääntöisesti vaikuttamaan mineraalipintoihin ja samalla edistää vaahdon muodostumista. Vaahdotuksessa tarvittavat kemikaalit voidaan jakaa kolmeen osaan, joita käsitellään seuraavissa alaluvuissa. (Pihkala 2011, 91-92.)

#### 3.2.1 Kokoojareagenssi



Kokoojareagenssin avulla muutetaan mineraalipinnat orgaanisiksi ja ei-polaarisiksi, jotta vaahdotus olisi mahdollista. Lietteeseen lisätään orgaanista kokoojareagenssia, jolla on taipumus kiinnittyä vain haluttuun mineraaliin. (Pihkala 2011, 92.)

Kokoojareagenssin kiinnittyminen mineraalipintaan tapahtuu sen polaarisen osan avulla. Kokoojia voi olla anionisia ja kationisia. Anioniset kokoojat kiinnittyvät negatiivisella polaarilla päällään mineraalin pintaan, jolla on positiiviset vastaionit. Vastaavasti kationiset kokoojat kiinnittyvät positiivisesti varautuvalla polaarilla päällään mineraalipinnan negatiivisesti varautuneihin vastaioneihin. Mineraalipinnasta ulospäin suuntautuvat kokoojaionien ei-polaariset hiilivetypäät saavat aikaan hydrofobisen pintapeitteen mineraaleille. Mineraalit, joilla on tällainen pintapeite kiinnittyvät ilmakupliin ja nousevat lietteen pinnalle rikastevaahdoksi. Kokoojareagensseja ovat esim. ksantaatti ja rasvahapot. (Karjalahti 1976, 166-167.)

### 3.2.2 Säännöstelyreagenssi

Jotta kokoojareagenssi kiinnittyisi haluttuun tai haluttuihin mineraaleihin, tarvitaan usein säännöstelyreagensseja ohjaamaan kiinnittymistä. Säännöstelyreagenssit toimivat kahdella tavalla. Ne joko aktivoivat kiinnittymistä tai estävät sen. (Karjalahti 1976, 165.)

Säännöstelyreagenssit voidaan luokitella aktivaattoreiksi eli aktivoivat kiinnittymistä, painajakemikaaleiksi ja pH:n säätökemikaaleiksi. Aktivaattorit ovat liukoisia suoloja, jotka liuoksessa vapauttavat ioneja ja ionit taas reagoivat mineraalin pinnan kanssa. Painajakemikaalit, nimensä mukaan, painavat ei-haluttuja mineraaleja. Painajakemikaalit lisäävät vaahdotuksen selektiivisyyttä muuttamalla tietyt mineraalit hydrofiilisiksi ja näin ehkäisevät ei-halutun mineraalin vaahtoutumasta. Painajakemikaaleja on monta ja niiden toiminta on monimutkaista, mikä aiheuttaa sen, että joskus niiden toimintaa on vaikeaa ymmärtää ja arvioida. Tämä vaikeutta painajakemikaalien hallintaa.

Painajakemikaalit voidaan jakaa kahteen ryhmään, epäorgaanisiin ja polymeerisiin. Epäorgaanisiin kuuluu esimerkiksi laajasti käytetty syanidi. Syanidia käytetään painamaan sinkkivälkettä, pyriittiä ja tiettyjä kuparisulfideja kupari-sinkki vaahdotuksessa. Koska syanidi on erittäin myrkyllinen, sen käsittelyn tulee olla tarkkaa.

Polymeerisiin painajakemikaaleihin kuuluvat orgaaniset reagenssit kuten quebracho, tanniini eli parkkihappo ja myös dekstriini. Näitä kemikaaleja on käytetty sivukiven painajana ja myös pieninä määrinä kalsiitin ja talkin painajana. (Wills 2006, 277-281.)

### 3.2.3 Vaahdotusreagenssi

Vaahdonmuodostumisen aikaansaamiseksi käytetään orgaanisia, pinta-aktiivisia vaahdotusreagensseja. Pinta-aktiiviset aineet alentavat lietteen pintajännitystä ja saavat vaahdon elastiseksi. Ilman vaahdotusreagenssia ilmalla puhalletut ilmakuplat ovat heikkoja ja ne särkyvät helposti noustessaan lietteen pinnalle. Ilmakuplat myös pudottavat kuormansa liian aikaisin ja näin ne eivät ole vaahdotuksen kannalta käyttökelpoisia. Vaahdotuksessa käsitellään suuria raemääriä ja siksi tarvitaan paljon pieniä ilmakuplia. Ilmakuplilla on voimakas taipumus yhtyä suuremmiksi kupliksi. Vaahdotusreagensseillä saadaan pienet ilmakuplat ja vahtokerros kestäviksi. (Karjalahti 1976, 167-168.)

Vaahdotusreagensseilla on polaarinen ja ei-polaarinen osa kuten kokoojareagensseilla. Polaarinen osa on usein OH-ryhmä ja ei-polaarinen on hiilivetyryhmä. Hydrofiiliset OH-ryhmät hakeutuvat vesimolekyyleihin päin ja ei-polaariset hiilivetyryhmät kaasufaasiin päin. (Karjalahti 1976, 168.)

### 3.3 Vaahdotuslaitteisto

Vaahdottimiksi kutsutaan laitteita, jossa vaahdottamalla rikastetaan mineraaleja. Laitteita kutsutaan myös vaahdotuskennoiksi tai vaahdotuskoneiksi. Vaahdottimen päätehtävänä on mm. pitää mineraaliliete lietetilassa, johtaa lietteeseen ilmaa ja hajottaa pieniksi ilmakupliksi ja lopuksi ohjata rikaste ja jäte erikseen. (Pihkala 2011, 94.)

Vaahdottimet voidaan jakaa mekaanisiin ja pneumaattisiin vaahdottimiin. Mekaanisessa vaahdottimessa sisäisen sekoitusmekanismin avulla pidetään liete suspensiotilassa (Pihkala 2011, 95). Ilmanlisäys tapahtuu joko samalla mekanismilla tai ulkoisella puhaltimella. Pneumaattisissa vaahdottimissa lietteen sekoitus ja ilma lisätään ulkopuolisen puhaltimen avulla. Pneumaattisia vaahdottimia käytetään harvoin Suomessa ja usein käytetään mekaanisia vaahdottimia. (Karjalahti, 1976, 169.)

Vaahdotusta ei yleensä tehdä yhdessä kennossa, vaan kennoja liitetään yhteen ja näin saadaan kennopatteri. Jokaisen kennon keskellä on sekoitinlaitteisto sekä lietepinnan yläpuolella putki, josta sekoittimen potkuri imee ilmaa vaahdotukseen. Johtamalla putkeen paineilmaa voidaan säätää sopiva määrä ilmaa. Syntyvä rikastevaaho poistuu kennosta patoreunan yli tai se voidaan poistaa kaavintalaitteella. (Pihkala 2011, 95.)

### **3.3.1 Valmennus**

Valmennus on mekaanista sekoitusta, joka suoritetaan ennen varsinaista vaahdotusta. Tässä ajassa kokoojaionit ennättäisivät kiinnittyä mineraalirakeisiin halutulla tavalla (Karjalahti 1976, 167). Sekä säännöstelyreagensseilla ja mineraalirakeilla olisi riittävästi aikaa ja edulliset olosuhteet mukautua toivottuihin reaktioihin, jotka ovat vaahdotuksen kannalta haluttuja (Pihkala 2011, 95). Jotta malmiliete saataisiin optimaaliseen tilaan, tulisi valmennuksen olla intensiivistä, koska tämä vaikuttaa suoraan vaahdotustuloksiin koskien sekä pitoisuuksia ja saanteja (Jounela 2016). Mineraaleja vaahdotetaan yhdessä tai useammassa vaahdotuspiirissä sen mukaan, halutaanko malmin arvomineraalit yhtenä tai useampana erillisinä ja erilaisena lopullisena rikasteena (Pihkala 2011, 96).

#### 4 BARYYTIN KÄYTTÖKOHTEET

Baryytti eli bariumsulfaatti ( $\text{BaSO}_4$ ) on raskas mineraali, joka sisältää bariumia. Nimi baryytti tulee kreikan sanasta ”barys” eli raskas. Nimen mukaisesti baryytin tiheys on  $4,5 \text{ g/cm}^3$ , joten se sopii hyvin teollisuuden käyttöön. (Geology.com 2018.)

Bariumsulfaattia käytetään suolana, joka on kaksiarvoinen metalli sulfaattisuola. Tätä käytetään radiopainantaisena aineena, kun kyseessä on ruoansulatuskanavan sairauksien diagnosointiin. Bariumia käytetään keinotekoisien norsuluun valmistukseen, valokuvapapereihin, öljykankaisiin, polymeerikuituihin, paperiin, pigmenttinä väriaineelle, juurikanavien täyttöön, jarrupäällysteeseen, akustinen vaahtoon jne. Öljyteollisuudessa bariumsulfaatti on tärkeä mineraali, jota käytetään painotusaineena, kun mutaan porataan uusi reikä. Bariumsulfaatti myös vaimentaa ääntä, absorboi röntgensäteitä ja lisää polymeerimateriaalin tiheyttä. (Chemistry Learner 2018.)

## 5 KOKEELLINEN OSUUS

Kokeellinen osuus tehtiin Pyhäsalmen kaivoksen laboratoriossa ja Kokkolan KPEDU opiston laboratoriossa. Tarkoituksemme oli löytää oikea annostus kemikaaleja baryytin vaahdotusta varten ja minimoida mahdolliset muuttujat, jotka voivat vaikuttaa negatiivisesti vaahdotukseen.

Rikastushiekkaa otettiin erikseen eri kohdista jätealtaasta. XFR:n avulla mitattiin erikseen eri kohdista baryyttipitoisuutta ja tarkoituksena oli löytää rikastushiekkaa, jossa on mahdollisimman korkea baryyttipitoisuus. Useiden XFR mittausten jälkeen näytteet otettiin niistä kohti, jossa baryyttipitoisuus oli korkea eli 4,5-8 prosentin luokkaa. XFR ei ole kovin luotettava, sillä XRF mittaa pinnalta pitoisuudet, mutta tulos on kuitenkin suuntaa-antava.

Aloitimme baryyttivaahdotuksen siten, että syötteen kuivapaino oli 1,5 kg ja vaahdotuspohjana oli GTK:n testivaahdotustulokset. Alussa tehtiin ainoastaan esivaahdotus baryytille ja sen jälkeen mitattiin baryytin pitoisuus, jonka avulla voitiin selvittää, toimivatko kemikaalit vaahdotuksessa ja samalla opimme, miten vaahdotus tapahtuu manuaalisesti eli käsin. Aluksi teimme kokeet käyttäen painajana kalkkimaitoa, jota Pyhäsalmen kaivos käyttää omassa prosessissa. Monien vaahdotuskokeiden jälkeen laboratoriotulokset eivät muuttuneet kovin paljon, vaikka lisäsimme vaahdotuskemikaalin annostusta. Tarkoituksemme oli saada BaKR<sub>2</sub>:n baryytin pitoisuudeksi yli 40 %.

### 5.1 Koelaitteisto

Koelaitteistona olivat XRF, Denver-vaahdotuskenno, jossa oli sekä kahden että neljän litran vaahdotuskenno. Isompaa vaahdotuskennoa käytettiin rikkivaahdotuksessa ja esivaahdotuksessa. Kahden litran kennoa käytettiin kertavaahdotuksissa

### 5.2 Osa 1

Ensimmäisessä vaahdotuskokeissa oli tarkoituksena tehdä samalla tavalla kuin GTK oli tehnyt ja saada samanlaisia tuloksia. Ainut poikkeus oli, että käytimme kalkkimaitoa pH:n säätämiseen, vaikka GTK oli käyttänyt natriumhydroksidia pH:n säätöön. Tämä tehtiin, koska kalkkimaitoa oli jo valmiiksi

**Pyhäsalmen kaivoksella käytössä pH:n säätämiseksi. Kalkkimaitoa käytettiin kaivoksella kymmeniä vuosia ilman minkälaisia ongelmia.**

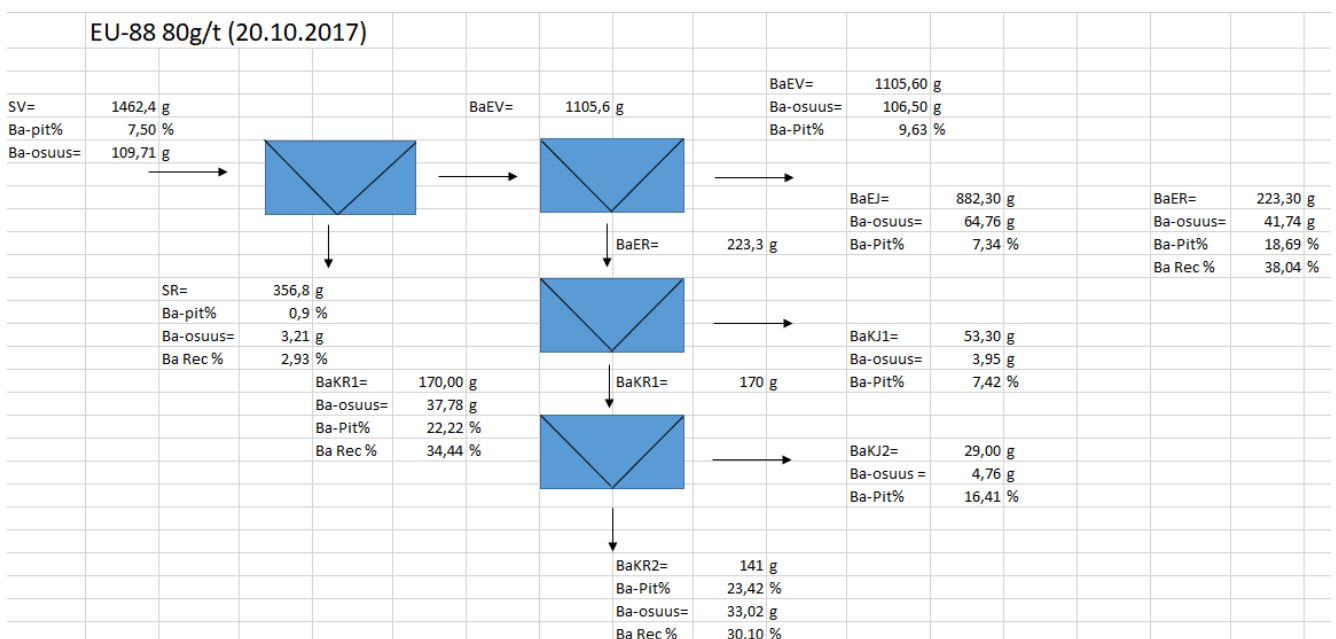
### **5.2.1 Koe 1**

Ensimmäisessä vaahdotuskokeessa tehtiin samalla tavalla kuin GTK teki eli käytettiin vaahdotuskemikaaleja Nasfroth, 88EU ja Aero 845. Kokoojakemikaalina oli ksantaattia, jota Pyhäsalmen kaivos käyttää prosessissaan. Tämä koe poikkeaa GTK:n tekemästä siten, että GTK otti näytteitä suoraan prosessista, joka ei ole hapettunut. Jätealtaista saatu rikastushiekka sisälsi sulfaatteja. Sulfaatteja saatiin pois käyttäen kuparisulfaattia pyriitin vaahdotuksessa. Pyriittivalmennus aikoi siten, että siihen lisättiin 5 prosenttista ksantaattia 3 ml, jonka annostus oli 200 g per kiintoainetonnia. Ja 10 prosenttista kuparisulfaattia 3 ml ensimmäisen 4 minuutin valmennukseen. Lopuksi lisäsimme 10 prosenttista Nasfroth:a 3 ml, jonka annostus oli 100 g per kiintoainetonnia viimeisen kahden minuutin valmennukseen. Pyriittivaahdotuksen jälkeen alkoi baryytin esivaahdotus, joka tapahtui siten, että ensiksi pH nostettiin kalkkimaidolla 8,4 arvoon ja samalla lisättiin 5 prosenttista lasivettä 1,5 ml, jonka annostus oli 2500 g per kiintoainetonni. Seuraavaksi lisäsimme vaahdotuskemikaalia 88EU:ta 0,64 ml, jonka annostus oli 80 g per kiintoainetonni. Lisäsimme Aero 845:ta kolmessa erässä. Ensimmäiseen erään lisäsimme 5 ml neljän minuutin valmennukseen. Toiseen erään lisäsimme 1 ml kahden minuutin valmennukseen ja viimeiseen erään 0,5 ml. Aero 845:ta tuli lisättyä yhteensä 6,5 ml. Baryytin vaahdotus kesti 12 minuuttia, jonka jälkeen siirryttiin kertavaahdotukseen.

Syöte	Jauhatusaika (min)	Valmennus (min)	Kemikaalit (g/t) SIBX 5%	CuSO <sub>4</sub> 10%	Nasfroth 250 5%	Lasivesi 100%	Aero 15%	88EU	pH	Vaahdotus (min)
	5									
		4	200	100						
		2			100				6,2	15
						2500				
							500			
		4					100	80	8,1	12
		2					50			
		2					100	80	8,25	8
		2					50		8,5	5

TAULUKKO 1. Kemikaalien määrä

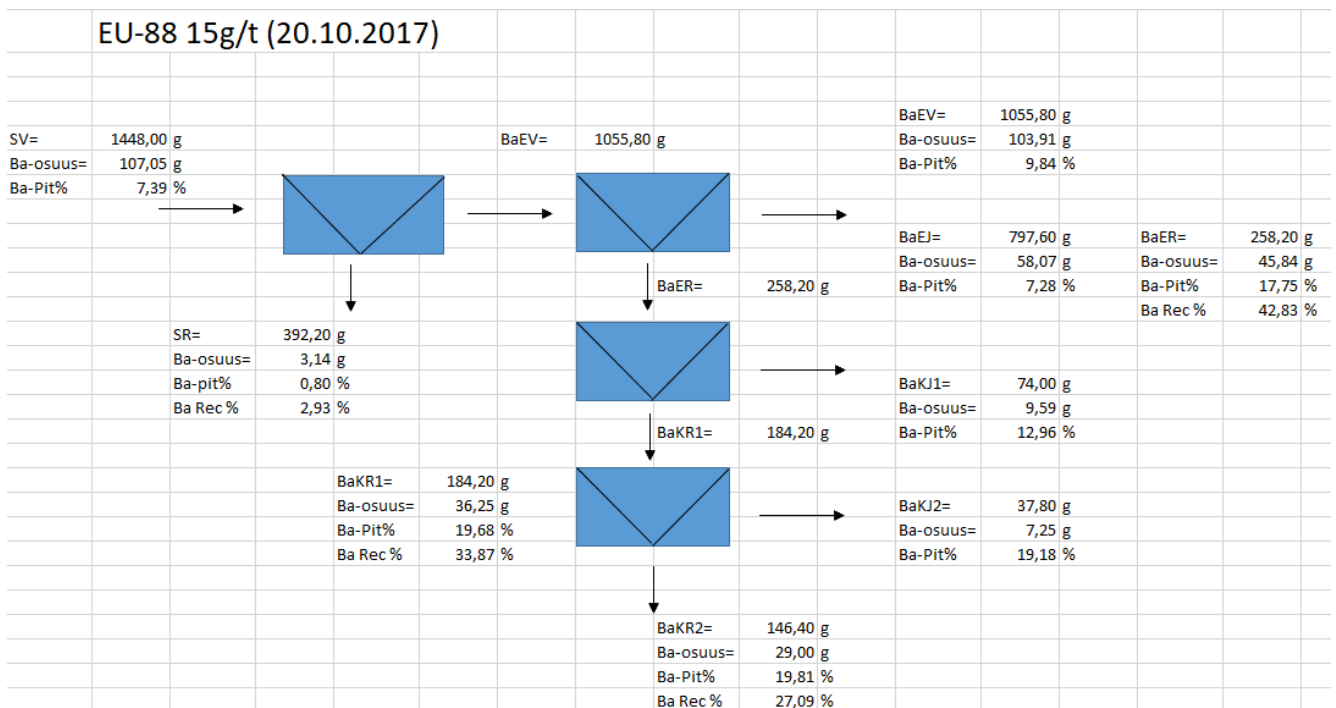
Esivaahdotuksessa kaavittu materiaali siirrettiin kahden litran kennoon, johon lisättiin vettä sekä tarvittavat kemikaalit 1 ml Aero 845, 0,64 ml 88EU ja pH:ta säädettiin 8,3:een ennen valmennusta. Ensimmäisen kertavaahdotuksen aika oli 8 minuuttia, jonka jälkeen siirryttiin uudelleen kertavaahdotukseen, mutta tällä kertaa pH:ta säädettiin 8,6:een, lisättiin vettä ja 0,5 ml Aero 845. Koe 1:n vaahdotus onnistui ilman minkälaisia ongelmia, ja sillä saatiin BaKR2:sta 141 g ja saanto 30,1 %. Pitoisuus tässä kokeessa oli alhainen, mutta tulos oli kuitenkin suunta antava. Kuviossa 2 on laskettu baryytin pitoisuudet kaikissa eri vaiheissa.



## KUVIO 2. Vaahdotuskaavio 1

## 5.2.2 Koe 2

Toisessa vaahdotuskokeessa kokeiltiin vähentää vaahdotuskemikaali 88EU:ta, sillä huomasi ensimmäisessä vaahdotuskokeessa muodostuvan erittäin paljon vaahtoa. Tämä vaikutti siten, että ei-toivottua materiaalia nousi baryytin kanssa ylös. Päätimme vähentää 88EU-kemikaalin määrää huomattavasti 15 g per kiintoainetonna kohti. Koe 2 tehtiin samalla tavalla kuin Koe 1, mutta ainut poikkeus oli 88EU annostus. Tässä kokeessa saimme enemmän baryyttiä BaKR2:een, mutta pitoisuus oli pienempi, mikä sai pohtimaan, mitä voidaan tehdä toisin, jotta seuraava koe onnistuisi paremmin. Baryytin vaahdotus ja kertavaahdotuksissa vaahtoa muodostui saman verran kuin edellisessä kokeessa, vaikka lisättiin vähemmän vaahdotuskemikaalia. Kuviossa 3 on laskettu baryytin pitoisuudet eri vaiheissa. BaKR2:n pitoisuus oli 19,81 % ja saanto 27,09 %.



## KUVIO 3. Vaahdotuskaavio 2

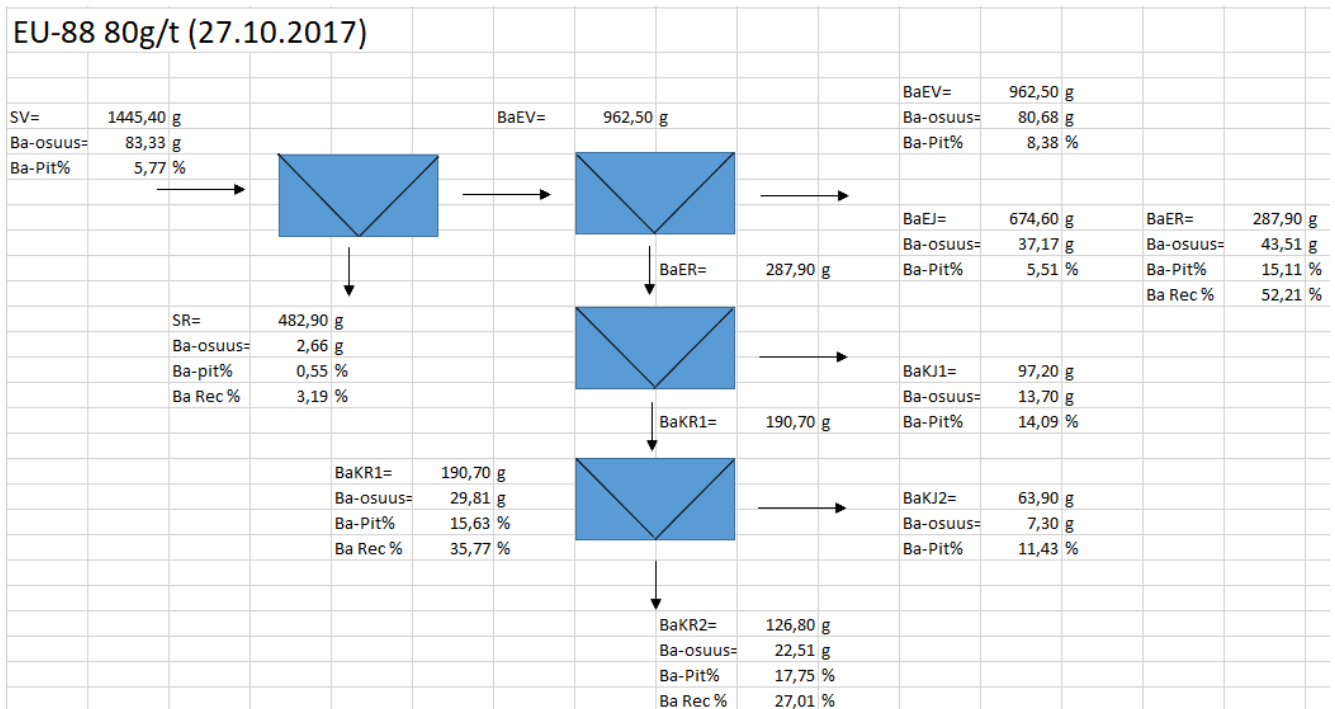


## 5.3 Osa 2

Toisessa osassa käytettiin natriumhydroksidia ( $\text{NaOH}$ ) kalkkimaidon sijaan. Toinen osa tapahtui Keski-pohjanmaan ammattiopiston laboratoriossa, koska siellä oli vaahdotuskenno ja eikä tarvinnut ajaa joka kerta Pyhäsalmeen. Toinen osa oli jaettu kolmeen osaan, jossa vaahdotuskemikaalin 88EU annostus vaihteli ollen 80 g per kiintoainetonni, 11,25 g per kiintoainetonni ja 0 g per kiintoainetonnia kohti. Tarkoituksena oli tarkistaa, minkälaisia tuloksia saadaan, kun käytössä oli natriumhydroksidia pH:n säätämiseen ja 88EU-kemikaalilla eri annostelumäärät. Tarkkailimme samalla kokeiden vaahdon määrää baryytin esivaahdotuksessa ja molemmissa kertavaahdotuksissa.

### 5.3.1 Koe 1

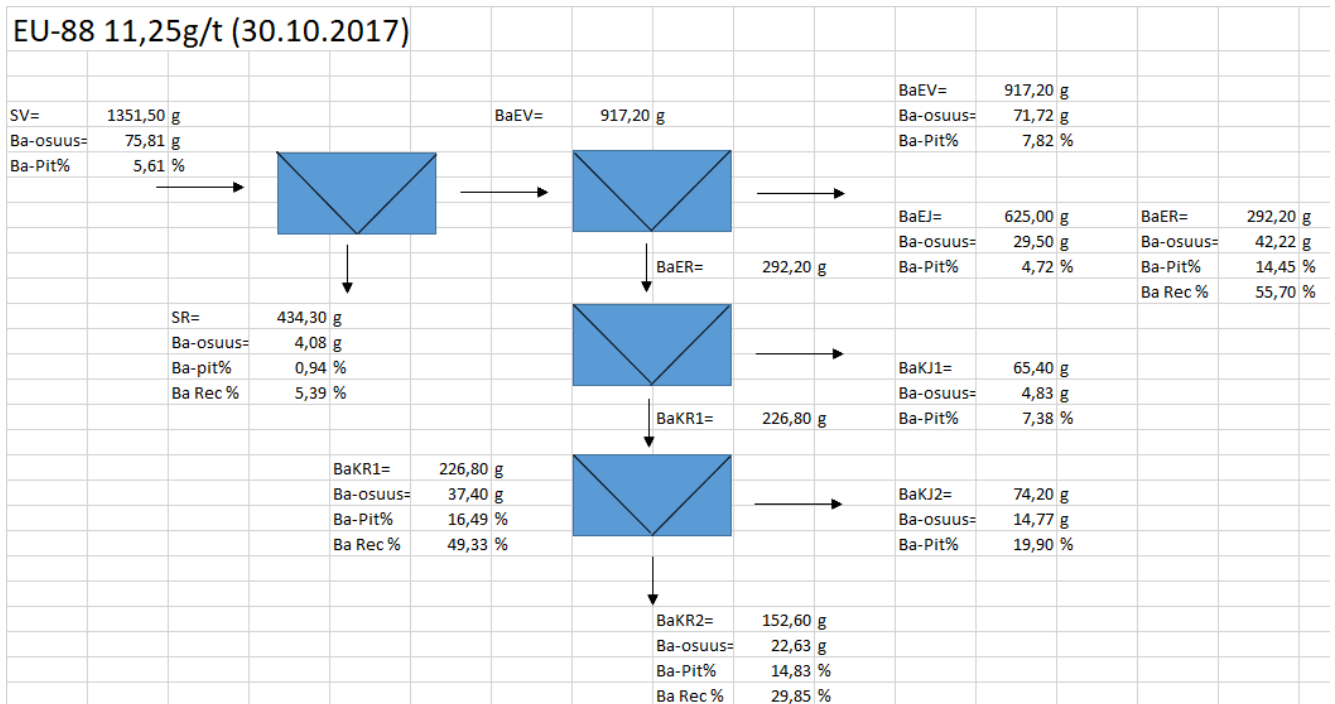
Ensimmäinen koe tehtiin GTK:n reseptin mukaan ilman mitään pieniä muutoksia kemikaalien kanssa. Pyrittiin vaahdotus tapahtui normaalisti, minkä jälkeen siirryttiin baryytin vaahdotukseen. Baryytin esivaahdotuksessa lisättiin natriumhydroksidia ( $\text{NaOH}$ ) pH:n säätämiseksi 8,4:ään, minkä jälkeen lisättiin tarvittavat kemikaalit, kuten esimerkiksi Aero 845, lasivettä, 88EU ja valmennettiin 6 minuuttia. Kertavaahdotuksessa pH:ta säädettiin arvoon 8,3. Tämän jälkeen lisättiin 10 prosentista Aero 845:ta 1 ml ja 88EU:ta 0,64 ml, jonka vaahdotusaika oli 8 minuuttia. Toisessa kertavaahdotuksessa lisättiin ainoastaan 0,5 ml Aero 845 ja valmennus kesti 2 minuuttia, minkä jälkeen siirryttiin vaahdotukseen, joka kesti 6 minuuttia. Koe 1 vaahdotus onnistui ja samalla vertailimme, oliko baryyttivaahdotuksen vaahto vaaleampaa verrattuna edellisiin kokeisiin, joissa käytettiin kalkkimaitoa. Saimme 126,8 g  $\text{BaKR}_2$ :sta, jonka pitoisuus oli 17,75 % ja saanto 27,01 %. Kuviossa 4 on laskettu baryytin pitoisuudet eri vaiheissa.



KUVIO 4. Vaahdotuskaavio 3

### 5.3.2 Koe 2

Toisessa kokeessa vähensimme vaahdotuskemikaalin 88EU annostusta, koska huomasimme vaahdon liiallisen muodostumisen, sillä vaahdon liiallinen määrä nostattaa jätettä samalla pintaan baryytin kanssa. Ensiksi suoritimme pyriittivaahdotuksen, jonka jälkeen aloitimme baryytin esivaahdotuksen. Esivaahdotuksessa oli samat periaatteet kuin edellisessä kokeessa, paitsi että 88EU-kemikaalin annostus oli 11,25 g per kiintoainetonna kohti eli 0,09 ml. Kertavaahdotukset tapahtuivat samalla periaatteella, mutta vaahdon määrä oli saman kuin edellisessä kokeessa. Koe 2:en vaahdotus onnistui normaalisti ja vaahdotuksessa saatiin enemmän rikastetta (BaKR2), mutta pitoisuus oli alhainen verrattuna edelliseen kokeeseen. Huomasimme laskiessamme vaahdotuskaaviota, että syötteestä puuttuu yli 100 g rikastushiekkaa, mikä vaikutti jonkin verran saatuihin tuloksiin. Kuviossa 5 näkyvät laskettu baryytin pitoisuudet eri vaiheissa ja painot. BaKR2:n pitoisuus oli 14,83 % ja saanto 29,85 %.



KUVIO 5. Vaahdotuskaavio 4

### 5.3.3 Koe 3

Kolmannessa kokeessa jätimme 88EU:n pois kokonaan baryyttivaahdotuksesta, sillä halusimme tarkkailla, miten vaahdotus tulee tapahtumaan ilman vaahdotekemikaalia 88EU ja minkä verran baryytin pitoisuudet vaihtelevat näytteissä.

Suoritimme pyriitin vaahdotuksen ja siirryimme baryytin esivaahdotukseen, jossa lisäsimme tarvittavat kemikaalit. Valmennusaika oli yhteensä 6 minuuttia. Esivaahdotuksen jälkeen siirryimme ensimmäiseen kertavaahdotukseen, jossa lisättiin ainoastaan 1 ml Aero 845 -kemikaalia valmennettiin 2 minuuttia. Vaahdotusaika oli 8 minuuttia. Toinen kertavaahdotus tapahtui siten, että lisättiin ainoastaan 0,5 ml Aero 845 -kemikaalia, minkä jälkeen oli 2 minuutin valmennus ja 6 minuutin vaahdotus. Koe 3:ssa kertavaahdotuksen vaahdotajan väri ei poikennut mitenkään edellisistä kokeista, mutta vaahdon määrä ei ollut liiallinen eikä vähäinen vaan sopivasti. Tässä kokeessa saimme vähemmän rikastetta, mutta pitoisuus oli korkeampi verrattuna kahteen edelliseen kokeeseen. Kuviossa 6 näkyvät lasketut baryytin pitoisuudet eri vaiheissa. BaKR2:n pitoisuus oli 22,18 % ja saanto 34,75 %. Kuvassa 1 näkyy baryytin kertavaahdotuksen vaahdon määrä, kun käytössä oli vaahdotekemikaali 88EU ja kuvassa 2 näkyy kertavaahdotuksen määrä ilman vaahdotekemikaalia 88EU.



KUVA 1. Baryytin kertavaahdotus, jossa on käytössä 88EU



### 5.4 Osa 3

Toisen ja kolmannen osan aikana saimme lisätietoja baryytin vaahdotuksesta, jossa lueteltiin erilaisia vaahdotekemikaaleja ja säännöstelyreagensseja. Kokeita oli kolme kappaletta, joista kahdessa viimeisessä kokeessa käytettiin säännöstelyreagenssia nimeltään Quebracho. Kokeiden 2 ja 3 tarkoitus oli tarkistaa Quebrachon toimivuus baryytin vaahdotuksessa, sillä kemikaalin tarkoitus oli parantaa baryytin kiinnittävyyttä ilmakupliin. Otimme käyttöön painajakemikaalin nimeltä natriumkarbonaatti ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ). Kolmannessa osassa ei lisätty lainkaan vaahdotekemikaalia 88EU, koska huomasimme, että vaahtoa syntyi sopiva määrä ilman 88EU:ta. Taulukossa 2 näkyy kemikaalien määrä.

Syöte	Jauhatusaika (min)	Valmennus (min)	Kemikaalit (g/t) SIBX 5%	$\text{CuSO}_4$ 10%	$\text{Na}_2\text{CO}_3$ 15%	Nasfrot h 250 5%	Lasivesi 100%	Aero 15%	Quebracho	pH	Vaahdotus (min)
	3										
		4	200	100	500						
		2				100				6	15
							2500				
								500	100		
		4						100		8	12
		2						50			
		2						100		8	8
		2						50		9	5

TAULUKKO 2. Kemikaalien määrä

#### 5.4.1 Koe 1

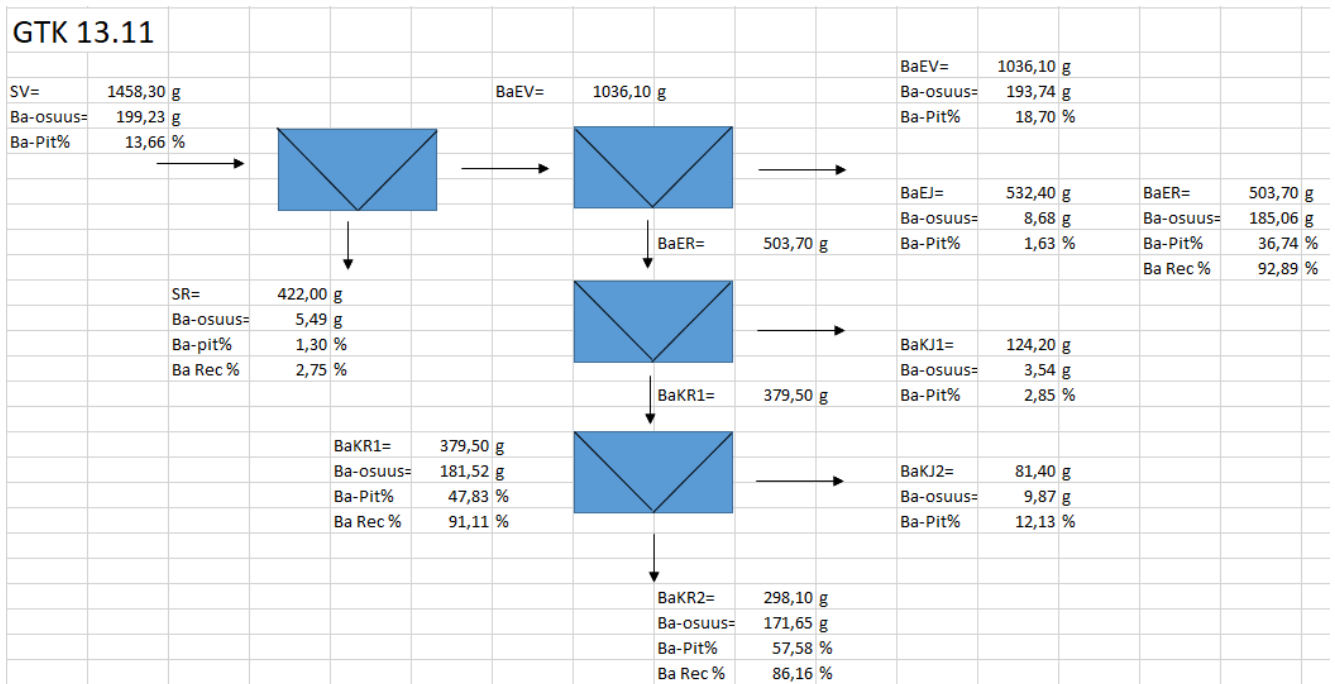
Ensimmäisessä kokeessa kokeilimme uutta painajakemikaalia natriumkarbonaattia ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), jonka tarkoituksena on poistaa kalsiumia ja muita metalleja. Tämän tulisi helpottaa baryytin vaahdotusta. Pyrittiin vaahdotus tapahtui samalla periaatteella ja lisäsimme natriumkarbonaattia  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Tämän jälkeen siirryimme baryytin esivaahdotukseen, jonka jälkeen suoritimme molemmat kertavaahdotukset. Tässä kokeessa saimme 218,2 g BaKR2:sta, jonka pitoisuus oli XFR:n mukaan 31,32 % ja laskettu saanto 65,16 %. Kuviossa 7 näkyvät lasketut baryytin pitoisuudet eri vaiheissa.

6.11.2017							
SV=	1385,60 g	BaEV=	986,50 g	BaEV=	986,50 g		
Ba-osuus=	104,86 g			Ba-osuus=	99,54 g		
Ba-Pit%	7,57 %			Ba-Pit%	10,09 %		
				BaEJ=	630,00 g	BaER=	356,50 g
				Ba-osuus=	20,60 g	Ba-osuus=	78,91 g
				Ba-Pit%	3,27 %	Ba-Pit%	22,13 %
						Ba Rec %	75,25 %
				BaKR1=	254,90 g	BaKJ1=	101,60 g
						Ba-osuus=	3,46 g
						Ba-Pit%	3,41 %
						BaKJ2=	36,70 g
						Ba-osuus=	7,11 g
						Ba-Pit%	19,36 %
						BaKR2=	218,20 g
						Ba-osuus=	68,34 g
						Ba-Pit%	31,32 %
						Ba Rec %	65,16 %

KUVIO 7. Vaahdotuskaavio 6

### 5.4.2 Koe 2

Koe 2:ssa käytimme GTK:lta saatua rikastenäytettä, joka oli otettu suoraan Pyhäsalmen prosessista. Rikaste oli huomattavasti tummempaa kuin rikastehiekka jätealtailta. Vaahdotus alkoi siten, että ensimmäiseksi vaahdotettiin pyriitti pois. Pyriittivaahdotuksessa ei lisätty soodaa eli natriumkarbonaattia ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) eikä kuparisulfaattia ( $\text{CuSO}_4$ ), koska rikaste oli otettu suoraan prosessista eli rikaste ei ollut hapettunut. Tämän jälkeen siirryimme baryytin esivaahdotukseen, jossa säädettiin pH natriumhydroksidilla. Laimensimme quebracho 5 prosenttiin, jonka annostus oli 100 g kiintoainetonna kohti. Lopuksi lisäsimme loput tarvittavat kemikaalit. Tässä kokeessa saimme 298,1 g BaKR2:sta, jonka XFR:n antama pitoisuus oli 57,58 % ja laskettu saanto 86,16 %. Kertavaahdotukset tapahtuivat samalla periaatteella. Kuviossa 8 näkyvät lasketut baryytin pitoisuudet eri vaiheissa.

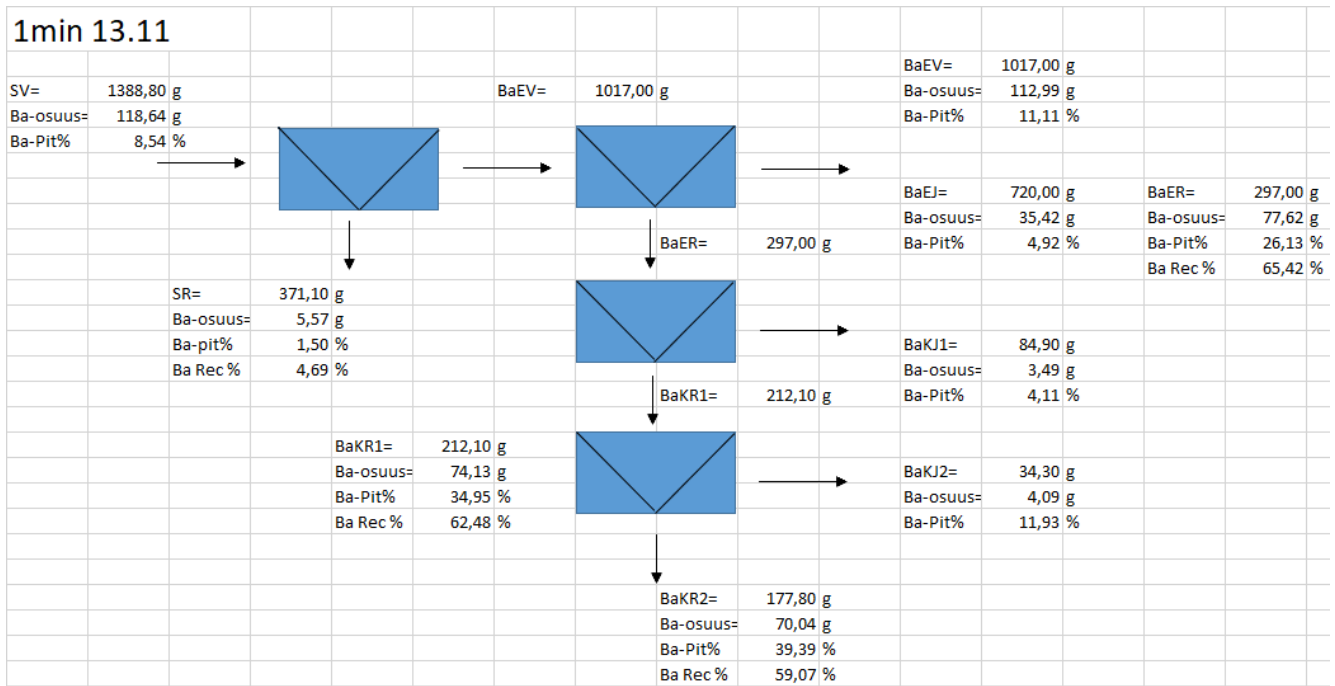


KUVIO 8. Vaahdotuskaavio 7

### 5.4.3 Koe 3

Koe 3:ssa rikastushiekkaa jauhatettiin ensiksi, minkä jälkeen siirryimme varsinaiseen työhön. Pyriitin vaahdotus tapahtui samalla periaatteella, paitsi että tässä kokeessa lisäsimme painajakemikaalia natriumkarbonaattia ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ). Pyriitin vaahdotuksen jälkeen suoritimme baryytin esivaahdotuksen käyttäen quebrachoa, minkä jälkeen suoritimme molemmat kertavaahdotukset. Vaahdotus onnistui hyvin ja saimme 177,8 g (BaKR2), jossa XFR:n mukaan pitoisuus oli 39,39 % ja saanto 59,07 %. Kuviossa 9 näkyvät lasketut baryytin pitoisuudet eri vaiheissa.



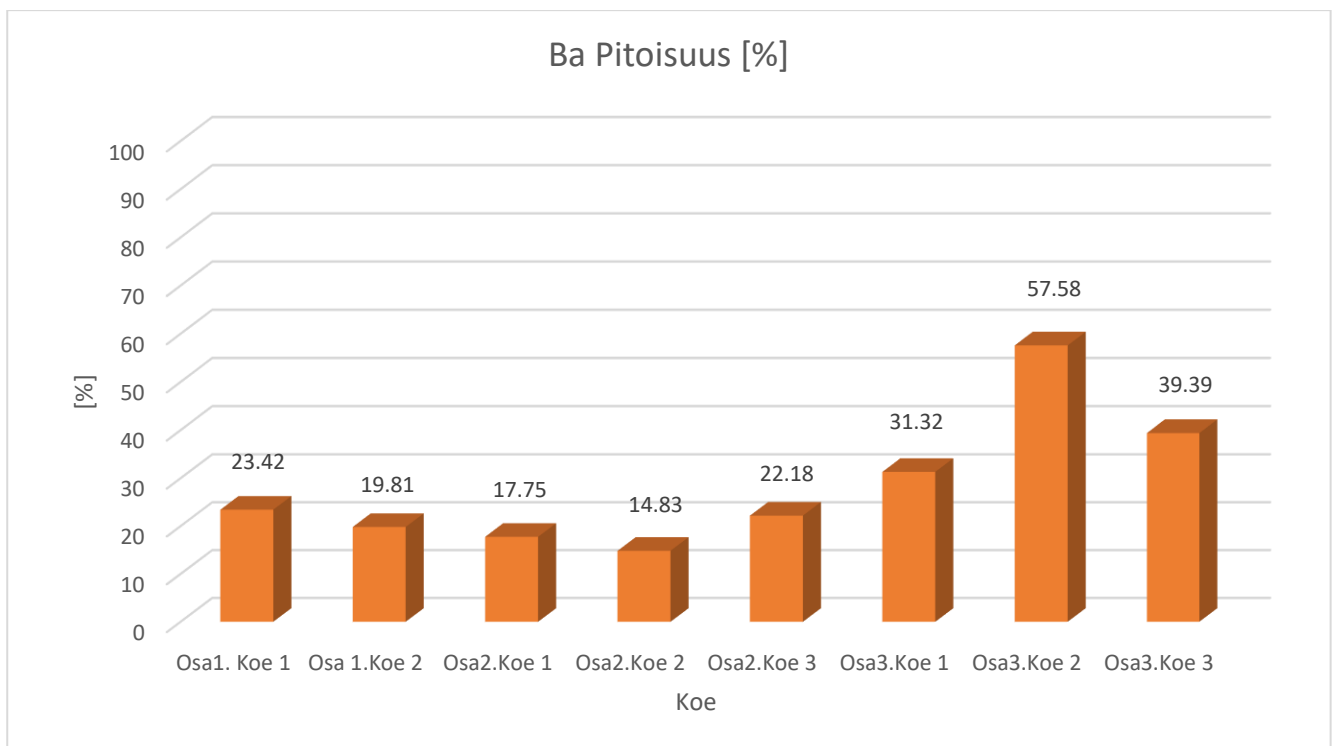


KUVIO 9. Vaahdotuskaavio 8

## 6 TULOSTEN TARKASTELU JA JOHTOPÄÄTOKSET

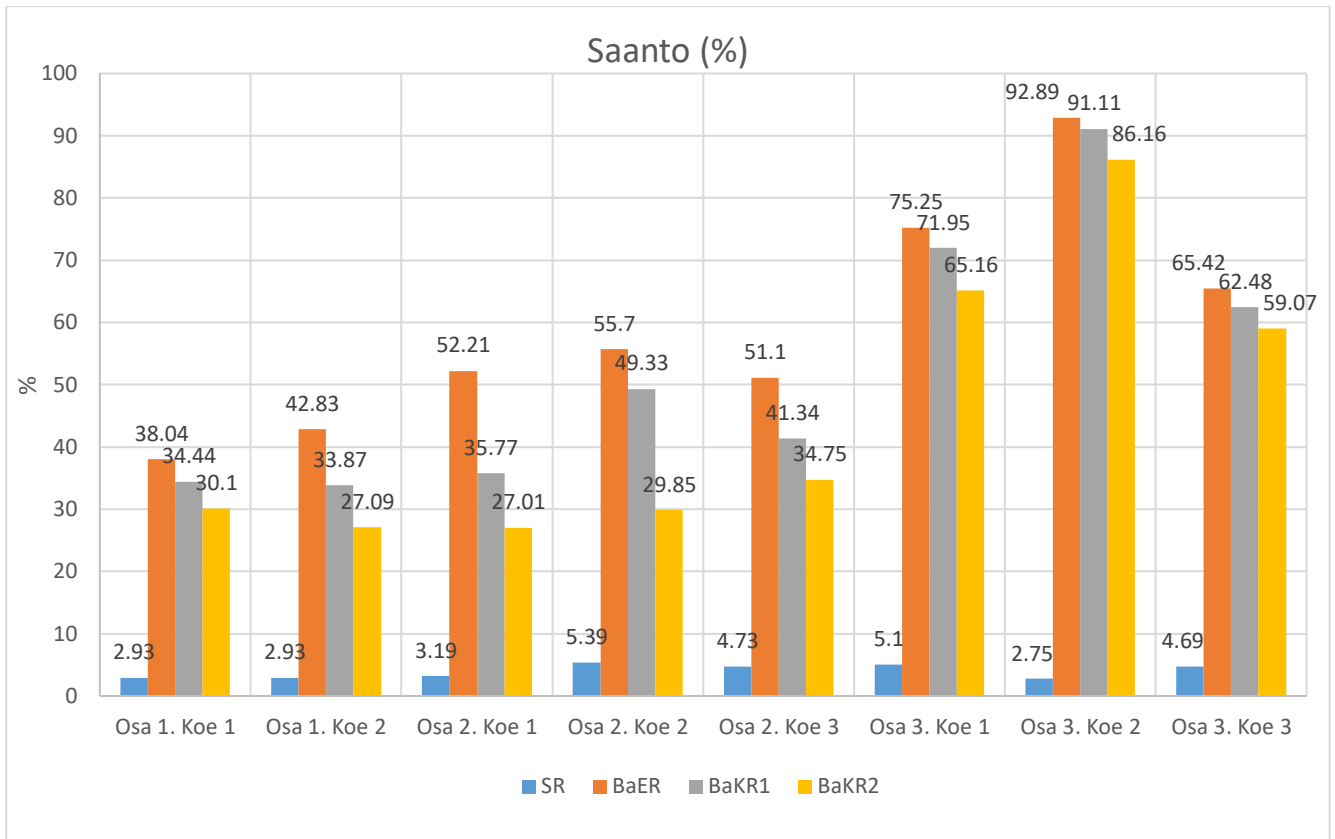
Kuvio 10 kuvaa kokeiden bariumpitoisuuksia. Kaikissa kokeissa käytettiin kuparisulfaattia ( $\text{CuSO}_4$ ) poistamaan sulfaatteja pyriittivaahdotuksessa. Neljässä ensimmäisessä kokeissa käytettiin vaahdotteena 88EU:a. Kokeiden myötä huomasimme, että ilmakuplien määrä oli liiallinen eli ilmakuplia muodostui huomattavasti enemmän kuin normaalisti. Päätimme jättää vaahdotteen kokonaan pois seuraavista kokeista. Kahdessa ensimmäisessä kokeessa käytettiin kalkkimaitoa pH:n säätöä varten ja tulosten perusteella tulimme siihen päätökseen, että kalkkimaito painaa baryyttia, koska rikastushiekka on hienojakoista ja se vaikuttaa baryytin saantiin. Osa 2:n kolmannessa kokeessa ja osa 3:n ensimmäisessä kokeessa ei käytetty 88EU-kemikaalia, jolloin saanti parani hieman.

Natriuminkarbonaattia ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) eli soodaa käytettiin osa 2:n viimeisessä kokeessa ja osa 3:n kahdessa viimeisessä kokeessa. Sooda toimi vaahdotuskokeissa metallien ja kalsiumin painajana. Edellisten tutkimusten pohjalta saimme tietoja painajakemikaalista nimeltä quebracho. Kahdessa viimeisessä kokeissa käytimme kyseistä painajakemikaalia ja tuloksien perusteella saanti näytti paremmalta kuin muut kokeet. Kuitenkin nämä viimeiset kokeet olivat ammuttuja eli XRF-analysaattorilla otettuja tuloksia.



KUVIO 10. Pylväsdiagrammin bariumin pitoisuudesta





KUVIO 11. Pylväsdiagrammi vaahdotuskokeiden saannista

Taulukossa 3 näkyvät kaikkien kokeiden kemikaaliannostukset, pH-arvot, bariumpitoisuudet ja saanto.

TAULUKKO 3. Kokeiden kemikaaliannostusmäärät

Vaahdotuskoe osa 1	Kokoojakemikaali	Painaja	Vaahdote	pH	Ba [%]	Ba Rec (%)
1	Aero 845 (800g/t)	Vesilasi (2500g/t)	88EU	8,3-8,6	23,42	30,1
2	Aero 845 (800g/t)	Vesilasi (2500g/t)	88EU	8,3-8,6	19,81	27,09
Vaahdotuskoe osa 2	Kokoojakemikaali	Painaja	Vaahdote	pH	Ba [%]	Ba Rec (%)
1	Aero 845 (800g/t)	Vesilasi (2500g/t)	88EU	8,3-8,6	17,75	27,01
2	Aero 845 (800g/t)	Vesilasi (2500g/t)	88EU	8,3-8,6	14,83	29,85
3	Aero 845 (800g/t)	Vesilasi (2500g/t)	-	8,3-8,6	22,18	34,75
Vaahdotuskoe osa 3	Kokoojakemikaali	Painaja	Vaahdote	pH	Ba [%]	Ba Rec (%)
1	Aero 845 (800g/t)	Vesilasi (2500g/t) Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (500g/t)	-	8,3-8,6	31,32	65,16
2 (GTK rikatushiekkä)	Aero 845 (800g/t)	Vesilasi (2500g/t) Quebracho (100g/t) Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (500g/t)	-	8,3-8,6	57,58	86,16
3	Aero 845 (800g/t)	Vesilasi (2500g/t) Quebracho (100g/t) Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (500g/t)	-	8,3-8,6	39,39	59,07

Työn keskivaiheessa aloimme epäillä tuloksia tehtyämme vaahdotuskokeen rikasteesta, josta GTK teki koevaahdotuskokeen. Huomasimme, että tuloksemme eivät täsmänneet, ja Pyhäsalmen laboratorio

päätti määrittää bariumpitoisuuden GTK:n koevaahdotuksesta. Tulokset tässä eivät myöskään täsmänneet, joten aloimme epäillä myös muiden vaahdotuskokeiden tuloksia. Saimme tietää, että Suomessa ei ole laboratoriota, joka määrittäisi bariumpitoisuuden 100 %:sesti. Tulokset eivät ole täysin luotettavia, mutta ovat suuntaa antavia. Tämän opinnäytetyön pohjalta on hyvä jatkaa lisätutkimuksia Pyhäsalmen baryyttivaahdotuksesta, jos tutkimukselle löytyy kriteerit täyttävä laboratorio, joka pystyy analysoimaan baryyttipitoisuuden luotettavasti. Kustannussyistä näytteitä ei kuitenkaan kannata lähettää ulkomaille analysoitavaksi, koska se olisi liian kallista ja aikaa vievä prosessi. Lisätutkimukset olisi hyvä aloittaa heti, kun kotimaiset laboratoriot tai Pyhäsalmen laboratorio pystyvät analysoimaan baryyttipitoisuuden täysin luotettavasti.

## LÄHTEET

Bulatovic, S. 2015. Handbook of flotation reagents. Volume 3. Great Britain: Elsevier Ltd.

Chemistry Learner. 2018. Barium Sulfate. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.chemistrylearner.com/barium-sulfate.html>. Viitattu: 20.2.2018.

First Quantum Minerals LTD 2018. Pyhäsalmi Mine Oy. Www-dokumentti. Saatavissa: <https://www.first-quantum.com/Our-Business/operating-mines/Pyhasalmi/>. Viitattu: 20.2.2018.

Geology.com. 2018. Barite. Www-dokumentti. Saatavissa: <https://geology.com/minerals/barite.shtml>. Viitattu: 20.2.2018.

Jounela, S. 2016. Sekoitus valmennuksessa ja vaahdotuksessa. Pdf-dokumentti. Saatavissa: <http://www.oulu.fi/sites/default/files/content/Seppo%20Jounela.pdf>. Viitattu: 5.3.2018.

Karjalahti, K. & Holma, H (toim.) 1976. Yleinen prosessitekniikka. Mekaaniset Prosessit. Helsinki: Helsingin Liikekirjapaino.

Pekkala, T. 2017. Baryytin vaahdotus. Keskustelu. 16.10.2017.

Pihkala, J. 2011. Prosessitekniikka. Prosessiteollisuuden yksikkö- ja tuotantoprosessit. Tampere: Juvenes Print.

Pohjois-pohjanmaan ELY-keskus 2014. Kaivostoiminta Pohjois-Pohjanmaalla. Www-dokumentti. Saatavissa: [http://www.ymparisto.fi/fi-FI/PohjoisPohjanmaan\\_ymparistohistoria/Kaivostoiminta\\_PohjoisPohjanmaalla\(15271\)](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/PohjoisPohjanmaan_ymparistohistoria/Kaivostoiminta_PohjoisPohjanmaalla(15271)). Viitattu: 20.2.2018

Ursin, E. 2013. Pyhäsalmen kaivos myytiin. Kaleva.fi. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.kaleva.fi/uutiset/talous/pyhasalmen-kaivos-myytiin/625392/>. Viitattu: 20.2.2018

Wills, B.A. & Napier-Munn, T.J. 2006. Will's Mineral Processing Technology. An introduction to the practical aspects of ore treatment and mineral recovery. Great Britain: Elsevier Ltd.



## Pyhäsalmen laboratoriosta saadut barium-tulokset

KOE	Syöte [Ba %] (analysoitu)	Rikaste [Ba %]	Jäte [Ba %]
1	≈ 6	23,42	7,34
2	≈ 6	19,81	7,28
3	≈ 6	17,75	5,51
4	≈ 6	14,83	4,72
5	≈ 6	22,18	5,23
6	≈ 6	31,32	3,27
7	-	57,58	1,63
8	≈ 6	39,39	4,92