

Henri Tikkakoski

KVARTSIN JA MAASÄLVÄN EROTUS VAAHDOTTAMALLA

Kvartsin ja maasälvän vaahdotusreagenssien määrittäminen

**Opinnäytetyö
CENTRIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Kemiantekniikan koulutusohjelma
Huhtikuu 2016**

TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Yksikkö Kokkola-Pietarsaari	Aika Huhtikuu 2016	Tekijä/tekijät Henri Tikkakoski
Koulutusohjelma Kemiantekniikka		
Työn nimi KVARTSIN JA MAASÄLVÄN EROTUS VAAHDOTTAMALLA. Kvartsin ja maasälvän vaahdotusreagenssien määrittäminen		
Työn ohjaaja Laura Rahikka		Sivumäärä 83 + 10
Työelämäohjaaja Olle Sirén		
<p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli määrittää kokeellisesti sopivia kokoojareagensseja kvartsin ja maasälvän erottamiseksi vaahdottamalla. Sopivia kokoojareagensseja etsittiin ensin kvartsi-maasälvän vaahdotuksesta tehdyistä artikkeleista, jonka jälkeen niitä kyseltiin kemikaalitoimittajilta. Työhön saatiin kokeiltavaksi viisi eri kokoojakemikaalia, jotka olivat AERO 3030C, Armoflote 64, Armac C, Armac T ja AERO 825. Kaikki viisi kokoojakemikaalia toimitti GTK Mintec.</p> <p>Vaahdotuksessa syöteinä käytetyt raaka-aineet toimitti GTK. Ne olivat peräisin Syväjärven esiintymästä ja kasasta 3. Raaka-aineille tehtiin partikkelikokoanalyysit Chydeniuksen tutkijoiden toimesta ja niiden perusteella sitä ei ollut syytä esikäsitellä ennen vaahdotuskokeita.</p> <p>Kaikkiaan suoritettiin 12 vaahdotuskoetta, 6 kullekin raaka-aineelle. Ne tehtiin 2.3–10.3. Ensimmäiset vaahdotuskokeet tehtiin kokoojakemikaalilla AERO 3030C ja toiset kokoojalla Armoflote 64. Kolmannet kokeet tehtiin käyttäen kokoojana kemikaalia Armac C ja neljännet vaahdotuskokeet tehtiin kokoojalla Armac T. Viidennet kokeet tehtiin kokoojakemikaalilla AERO 825. Viimeiset vaahdotuskokeet tehtiin kahden kokoojan yhdistelmällä. Ne olivat AERO 3030C ja AERO 825.</p> <p>Vaahdotuskokeiden jälkeen sekä saadut rikasteet että jätteet suodatettiin ja kuivattiin. Kuivauksen jälkeen rikasteista ja jätteistä otettiin 5 gramman näytteet. Ennen vaahdotuskokeita otettiin 5 gramman näyte syöteistä. Näytteet lähetettiin Labtium Oy:lle Kuopioon analysoitaviksi 11.3. Näytteet analysoitiin 15.3–22.3.2016 ja tulokset saatiin 23.3.2016.</p>		
Asiasanat Kokoojareagenssi, kvartsi-maasälpä, vaahdotus		

ABSTRACT

UNIT Kokkola-Pietarsaari	Date April 2016	Author Henri Tikkakoski
Degree programme Chemical engineering		
Name of thesis QUARTZ AND FELDSPAR SEPARATION THROUGH FLOTATION. Determining the flotation reagents of quartz and feldspar.		
Instructor Laura Rahikka		Pages 83 + 10
Supervisor Olle Sirén		
<p>The purpose of this thesis was to empirically determine suitable collector reagents for the separation of quartz and feldspar through flotation. Suitable collector reagents were first searched from articles about the flotation of quartz-feldspar, after which they were asked inquired from chemical distributors. Five different collector chemicals were experimented with the thesis, which were AERO3030C, Armoflote 64, Armac C, Armac T and AERO 825. The collector chemicals were provided by GTK Mintec.</p> <p>The raw materials used as feed in the flotation were provided by GTK. They were from the Syvjärvi deposit and from Länttä deposit. Particle size analyses were conducted for the raw materials by researchers from Chydenius and based on them there was no need for pretreatment before the flotation experiments.</p> <p>A total of 12 flotation tests were performed, 6 for each raw material. They were performed between 2 March–10 March 2016. The first flotation experiments were performed with collector chemical AERO 3030C and the second ones with collector Armoflote 64. The third experiments were performed using collector chemical Armac C and the fourth flotations with collector Armac T. The fifth experiments were performed with collector chemical AERO 825. The final flotation experiments were performed with a combination of two collectors. They were AERO 3030C and AERO 825.</p> <p>After the flotation experiments both the resulting concentrates and tailings were filtered and dehumidified. Samples of 5 grams were taken of both the concentrate and tailings after the dehumidification. A sample of 5 grams was taken of the feed before the flotation experiments. The samples were sent to Labtium Oy in Kuopio to be analyzed on 11 March 2016. The samples were analyzed between 15 March–22 March 2016. The results were received on 23 March 2016.</p>		
Key words Collector reagent, flotation, quartz-feldspar		

KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY

**TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY
SISÄLLYS**

1 JOHDANTO	1
2 YRITYKSEN ESITTELY	2
2.1 Historia	3
2.2 Tulevaisuus	5
3 SPODUMEENIMALMI	7
3.1 Pegmatiitit	7
3.2 Maasälpä	8
3.2.1 Plagioklaasi	9
3.2.2 Kalimaasälpä	9
3.2.3 Kvartsi	10
4 VAAHDOTUS	12
4.1 Vaahdotuskone yleisesti	14
4.2 Vaahdotusreagenssit	17
4.2.1 Kokoojat	18
4.2.2 Säännöstelykemikaalit	21
4.2.3 Vaahdotteet	21
4.2.4 pH	22
5 KVARTSI-MAASÄLVÄN VAAHDOTUS	24
5.1 Fluorivetyhappo ja sen käyttö	24
5.2 Vaihtoehtoiset kemikaalit	25
5.2.1 Serbialainen tutkimus	26
5.2.2 Turkkilainen tutkimus	27
5.2.3 Tunisialainen tutkimus	28
5.3 Kvartsin ja maasälvän erotukseen vaikuttavia ominaisuuksia ja kemikaaleja	30
6 SIBELCO NORDIC OY AB KEMIÖN MAASÄLPÄLAITOKSEN PROSESSI	33
7 KOESUUNNITELMA	35
8 KOKEIDEN SUORITTAMINEN	42
8.1 Esivalmistelut	42
8.1.1 Tarvittavat työvälineet	43
8.1.2 Kokoojien valmistelu	44
8.2 Koevaahdotukset	45
8.3 Imusuodatukset sekä kuivaus	55
8.4 Lopullinen punnitus ja näytteenotto analysoitavaksi	57
9 TULOKSET JA POHDINTA	59
9.1 Vaahdotuskokeet A1 ja B1	61
9.2 Vaahdotuskokeet A2 ja B2	63

9.2 Vaahdotuskokeet A3 ja B3	64
9.4 Vaahdotuskokeet A4 ja B4.....	66
9.5 Vaahdotuskokeet A5 ja B5.....	70
9.6 Vaahdotuskokeet A6 ja B6	73
9.7 Muut tulokset ja niiden vaikutus vaahdotuskokeissa.....	76
10 LOPPUPÄÄTELMÄT	80
LÄHTEET	82

KUVIOT

KUVAT

KUVA 1. Yhtiön kehitysasteleet.....	5
KUVA 2. Läntän esiintymä	6
KUVA 3. Vaahdotuskennon toimintaperiaate	12
KUVA 4. Vaahdotuspiirin toisiinsa vaikuttavat komponentit	14
KUVA 5. Vaahdotuskennon rakenne.....	15
KUVA 6. Denver-tyypin valmentimen yleiskuva.....	17
KUVA 7. Kontaktikulman ja pintajännityksen suhde toisiinsa	18
KUVA 8. Kokoojatyypit	20
KUVA 9. Vaahdotemolekyylin asettuminen ilmakehän pinnalle	22
KUVA 10. Kokoojan pitoisuuden ja kriittisen pH:n vaikutus toisiinsa.....	23
KUVA 11. Yleinen prosessikaavio kvartsi-maasälvän vaahdotuksesta	26
KUVA 12. Fluorivedyn ja rikkihapon, sekä kokoojien vaikutukset kvartsin ja maasälvän saantiin.....	29
KUVA 13. Kokoojasuhteen vaikutus maasälvän vaahdotukseen	30
KUVA 14. Albiitin aktivoituminen pH:n funktiona	31
KUVA 15. Kokoojakemikaalien seossuhteen (NATMD + SPS) vaikutukset kyaniitin ja maasälvän erotuksessa kvartsista vaahdottamalla.....	32
KUVA 16. Syväjärven kvartsi-maasälpänäytteen partikkelikokoanalyysi.....	35
KUVA 17. Kasa 3:en eli Läntän kvartsi-maasälpänäytteen partikkelikokoanalyysi.....	36
KUVA 18. Vaahdotuskokeissa käytettävät kokoojakemikaalit.....	37
KUVA 19. Raaka-aineen punnitus vaahdotuskokeita varten.....	43
KUVA 20. Vaahdotuskokeissa tarvittavaa välineistöä	44
KUVA 21. Kokoojakemikaalin liuottaminen sekä annostelut.....	45
KUVA 22. Vaahdotuskokeissa käytetty Denver-kenno	46
KUVA 23. Lietteen pH:n säädössä käytetty kalibroitu pH-mittari.....	47
KUVA 24. Vaahdotuskokeiden A2 ja B2 vaaleanharmaa rikastevaahto.....	48
KUVA 25. Kokeessa B3 syntyneitä harmaata rikastevaahtoa.....	49
KUVA 26. Kokeessa B4 syntynyt tummanharmaa rikastevaahto ja vaahdotuksen aikana näkyviin ilmestynyt kennon veden pinta	50
KUVA 27. Vaahdotuskokeissa A5 ja B5 tehtyjä näköhavaintoja	51
KUVA 28. Kokeiden A6 ja B6 vaahdonkeruun aikana syntynyt harmaa ja jäykkä vaahto	52
KUVA 29. Imusuodatinlaitteisto	55
KUVA 30. Kuivausuuni.....	56
KUVA 31. Analyysiin lähetettävät näytepurkit.....	57
KUVA 32. Rikasteiden ja jätteiden ilmatiivis säilytys merkatuissa astioissaan.....	58
KUVA 33. Näytteiden lähetyslaatikko	58
KUVA 34. Vaahdotuskoe A1:n pitoisuudet	62
KUVA 35. Vaahdotuskoe B1:n pitoisuudet.....	62

KUVA 36. Vaahdotuskoe A2:n pitoisuudet	63
KUVA 37. Vaahdotuskoe B2:n pitoisuudet.....	64
KUVA 38. Vaahdotuskoe A3:n pitoisuudet	65
KUVA 39. Vaahdotuskoe A3:n saannot	65
KUVA 40. Vaahdotuskoe B3:n pitoisuudet.....	66
KUVA 41. Vaahdotuskoe A4:n pitoisuudet	67
KUVA 42. Vaahdotuskoe A4:n saannot	68
KUVA 43. Vaahdotuskoe A4 XRD-mittaustulokset	68
KUVA 44. Vaahdotuskoe B4:n pitoisuudet.....	69
KUVA 45. Vaahdotuskoe B4:n saannot	69
KUVA 46. Vaahdotuskoe B4 XRD-mittaustulokset	70
KUVA 47. Vaahdotuskoe A5:n pitoisuudet	71
KUVA 48. Vaahdotuskoe A5:n saannot	72
KUVA 49. Vaahdotuskoe B5:n pitoisuudet.....	72
KUVA 50. Vaahdotuskoe A6:n pitoisuudet	74
KUVA 51. Vaahdotuskoe A6:n saannot	74
KUVA 52. Vaahdotuskoe A6 XRD-mittaustulokset	75
KUVA 53. Vaahdotuskoe B6:n pitoisuudet.....	75
KUVA 54. Vaahdotuskoe B6:n saannot	76
KUVA 55. Vaahdotuskokeiden A1–B6 FeO-pitoisuudet syötteistä, rikasteista ja jätteistä	77
KUVA 56. Vaahdotuskokeiden A1–B6 rikaste-jätesuhteet.....	77
KUVA 57. Vaahdotuskokeiden A4, B4 ja A6 XRD-mittaustulokset syötteen, jätteen sekä rikasteen muskoviitti- eli kiillepitoisuudesta	78
KUVA 58. Vaahdotuskokeiden A4, B4 ja A6 XRD-mittaustulokset syötteen, jätteen sekä rikasteen spodumeeni-pitoisuudesta	79

TAULUKOT

TAULUKKO 1. Vaahdotuskoesuunnitelma	38
TAULUKKO 2. Kokoojien vaahdotuskokeissa käytettävä annostelu.....	40
TAULUKKO 3. Suoritettujen vaahdotuskokeiden tunnusmerkit.....	53
TAULUKKO 4. Vaahdotuskokeiden aikana tehtyjä havaintoja.....	54

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön toimeksiantaja on Keliber Oy. Yritys toimii Keski-Pohjanmaalla, tarkemmin ottaen Kaustisella, ja sen päätuote on litium. Yrityshanke on ollut vireillä jo vuosikausia, mutta vielä itse tehdastoimintaa ei ole saatu aikaiseksi. Yrityksellä on hyvät edellytykset aloittaa toimintansa lähivuosina litiumin kohonneen maailmanmarkkinahinnan vuoksi. Joitakin asioita yrityksen kaavailemassa prosessissa on vielä selvittämättä.

Kvartsimaasälpä on Keliber Oy:n sivutuote, ja tavoitteenani on selvittää mahdollisia kokoojakemikaaleja kvartsi-maasälvän erotukseen vaahdottamalla. Lisäksi tehtäväni on selvittää mahdollisia ja jo olemassa olevia prosessivaihtoehtoja kvartsi-maasälvälle.

Työn aikana etsitään teoreettista tietoa kvartsi-maasälvästä ja sen erotusmenetelmistä. Keliber Oy:n vaihtoehtoina kvartsimaasälvän loppukäsittelyssä ovat sen läjitys, siirto rikastushiekka-altaaseen ja vaahdotus.

Opinnäytetyöni teorian ja kokeiden tarkoituksena on löytää sopiva kokooja kvartsimaasälvän erottamisen onnistumiseen vaahdottamalla. Aikaisemmin kvartsi ja maasälpä erotettiin toisistaan fluorivetyhappoa käyttäen, kuten useissa muissa rikastusprosesseissa. Syynä fluorivetyhapon käytöstä luopumiseen kvartsimaasälvän erotuskemikaalina on, ettei sille tulla myöntämään ympäristölupaa viranomaisten toimesta.

Tutkimustyö koostuu teoriasta ja käytännöstä. Ensin etsitään prosesseja ja sopivia kokoojakemikaaleja vaahdotusta varten. Kokoojista tilataan kemikaalivalmistajilta näytteet, jonka jälkeen kvartsimaasälpämurskasta tehdään vaahdotuskokeita Keski-Pohjanmaan aikuiskoulutuskeskuksen vaahdotuskennolla. Saatujen koetulosten perusteella saadaan selville mahdolliset hyvin toimivat kokoojakemikaalit.

Kokoojakemikaalin toimivuus kvartsin ja maasälvän erotuksessa vaahdotuksella selviää testaamalla niitä erikseen kvartsimaasälvälle. Mikäli tehdyn analyysin saannot ovat riittävän hyvät, voidaan kyseinen kokoojakemikaali luokitella erotukseen kelpaavaksi vaihtoehdoksi.

2 YRITYKSEN ESITTELY

Keliber Oy on Keski-Pohjanmaalla sijaitseva yhtiö, joka sai nykyisen nimensä vuonna 2006, norjaisten ostaessa suuren osan siitä. Sen päätuote on litium ja sen toimitusjohtaja on Olle Sirén. Keliber Oy:n toiminta ei ole tuotantovaiheessa, vaan sen toimintaa on tällä hetkellä rahoittajien sekä ympäristölupien hankkiminen. Yhtiöllä on valmiit suunnitelmat prosessista ja tuotantolaitteiston rakentamiseen tarvittavasta ajasta. Uusimpien tietojen mukaan Keliber Oy voisi aloittaa tuotannollisen toimintansa vuonna 2018, mikäli kaikki menee yrityksen suunnitelmien mukaan. Suurin tekijä yhtiön tuotannollisen käynnistymisen estymiseen vuosien saatossa on ollut rahoitus ja litiumin alhainen maailmanmarkkinahinta. Litiumin nykyinen markkinahinta ja kysyntä mahdollistaisivat toiminnan alkamisen heti, kun se on mahdollista. Lisäksi Keliber Oy saisi lisäarvoa useista sivutuotteista, kuten kvartsista. (Sirén 2015.)

Omistukseltaan Keliber Oy on norjalaispainotteinen, sillä Nordic Mining omistaa yhtiöstä 25.04 % ja lopun omistavat muut sijoittajat. Yhtiöllä on kaikkiaan 54 osakkeenomistajaa, ja määrä nousisi huomattavasti, kun yhtiö pääsisi kirjautumaan pörssiin. Pörssiin kirjautuminen kuuluu yhtiön lähiaikojen tavoitteisiin. Suurimmat osakkeenomistajat ovat Nordic Mining ASA sekä Suomen Teollisuussijoitus Oy, jotka hallinnoivat osakkeista vajaa puolta. Nordic Mining ASA on norjalainen yhtiö ja kaikki loput ovat suomalaisia sijoitusyhtiöitä. Keliber Oy:n tavoitteena on saada omistusta suomalaisvaltaisemmaksi. (Sirén 2015.)

Litiumin etsinnöissä on vuosi vuodelta edistytty mainiosti. Yhtiöllä on tällä hetkellä neljä merkittävämpää litium-esiintymää, ja suunnitelmien mukaan löytynee lisääkin. Nämä kohteet ovat nimeltään Outovesi, Länttä, Syväjärvi ja Rapasaari. Näistä merkittävin esiintymä on Syväjärven esiintymä, ja yrityksen resurssit ja reservit sijoittuvatkin pääosin näille alueille, vaikka etsintöjä ja löytöjä on tehty muillakin alueilla. Mainittakoon näistä esimerkiksi Päiväneva ja Heikinkangas. Keski-Pohjanmaan litiumprovinssi, joksi yhtiö toiminta-alueitaan nimittää, on kooltaan yli 500 km². Valtaus - ja malminetsintälupapäätöksiä yhtiöllä on yhteensä 25 kpl. Valtausvarauksia on kokonaisuudessaan pinta-alaltaan 10,1 neliökilometrin verran. (Sirén 2015.)

2.1 Historia

Yhtiö on ollut perustamisestaan tähän päivään saakka monien eri omistajien alaisuudessa, ja se on vaihtanut nimeään useampaan otteeseen, kuten kuvassa 1 näkyy. Yhtiön juuret sijoittuvat vuoteen 1956. Tällöin löydettiin ensimmäiset beryllipitoiset lohkareet, joihin oli sitoutuneena litiumfosfaattimineraalia, trifylliittiä. Vuonna 1959 kaustislainen malminetsintää harjoittava Arvo Puumala löysi Nikulan kylältä spodumeenia, joka osoittautui litiummineraaliksi hänen esiteltyään löydöstään Suomen Mineraali Oy:n silloiselle kesätyöntekijälle, Ilmari Haapalalle. Tämä sai aikaan sen, että Suomen Mineraali Oy aloitti laajamittaiset maaperän tutkimustyöt Kaustisella ja sen lähialueilla. Tätä toimenpidettä johti geologi Klaus Säynäjärvi. (Keliber Oy 2013.)

Vuosikymmenten vaihteessa yhtiö sai uuden omistajan, kun Suomen Mineraali Oy myi koko osuutensa Paraisten Kalkkivuori Oy:lle. Tutkimuksia jatkettiin edelleen ja 1960-luvun aikana löydettiin myös yhtiön ensimmäiset viralliset esiintymät, jotka olivat Emmes ja Länttä. Näissä kohteissa käynnistettiin kaivostoimintaa kairausten merkeissä, ja litiumia löydettiin. Kairaukset saatiin valmiiksi mahdollisen kaivostoiminnan käynnistymisen varalle. Samoihin aikoihin löydettiin spodumeenia muualtakin, mutta siihen ei kiinnitetty tarkempaa huomiota, esimerkiksi Kälviän Ruohojärveltä sekä Kaustisen Vintturilta. (Keliber Oy 2013.)

Yhtiö sai uuden nimen itselleen vuosikymmenten vaihtuessa, kun Paraisten Kalkkivuori Oy:n nimi vaihtui Partek Oy:ksi. Vuosikymmen aikaisemmin löytyneiden esiintymien innoittamana aloitettiin laajalaiset rikastustutkimukset, mutta vain spodumeenin ja sivutuotteiden osalta. Vuosien 1976–1982 välissä tutkittiin siis hyödyntämismahdollisuuksia spodumeenille ja sen sivutuotteille, kvartsille, maasälvälle sekä kiillerikasteille. Tutkimuksen kohteena oli myös spodumeenin mahdollinen jalostaminen litiumkarbonaatiksi. Kaivostoimintaa ei kuitenkaan aloitettu litiumin vähäisen tarpeen vuoksi. Partek Oy:llä oli voimassa olevat valtaukset sekä Läntässä että Emmesissä 1967–1972, ja vuosina 1972–1992 sillä oli kaivosluvat samaisiin kohteisiin. Myös Jänislammelle oli valtaukset sekä kaivosluvat voimassa, mutta kaikkien lupien annettiin vanheta, litiumin markkinatilanteen säilyessä epäsuotuisana. Partek Oy keskeytti toimintansa. Markkinat olivat liki kaksi vuosikymmentä niin heikot, ettei kukaan kiinnostunut yhtiöstä ja sen hankkeen viemisestä eteenpäin. (Keliber Oy 2013.)

Vasta vuonna 1999 käynnistettiin Keliber-projekti, ja tehtiin esiselvityshanke. Tämän teki projektityöryhmä ja samalla tehtiin varaukset viiteen eri litiumesiintymään. Työryhmä laati tarkan ja tavoitteellisen

projektisuunnitelman, esitti sen, ja alkoi etsiä rahoittajia toiminnalleen. Projektille myönnettiin EU-rahoitusta, ja sen seurauksena saatiin tutkimusprojekti polkaistua käyntiin vuonna 2000. Tämä vaihe kesti vuoden 2001 syksyyn saakka, ja saadut tutkimustulokset olivat kannustavia. Näiden innoittamana perustettiin tutkimusyhtiö nimeltään Keliber Resources LTD, jonka toimenkuvaan kuului myös kehittämissä. (Keliber Oy 2013.)

Vuoden 2001 alusta vuoteen 2009 olivat litiummarkkinat suotuisalla mallilla ja tämän vuoksi tehtiin paljon lisäkairauksia jo aikaisemmin kairatuilla alueilla. Saadut tiedot kairauksista saivat aikaan sen, että kaivostoimintaa alettiin uusin voimin käynnistämään uudelleen. Vuosien 2002–2006 aikana alettiin kehittämään tuotantoprosessia, johon kuului laskentaa, mitoitusta ja virtauskaaviointia. Länttäin perustettiin jälleen kaivospiiri, mutta aiemmat esiintymät, Emmes sekä Jäneslampi saivat pienempää huomiota. Työ oli niin antoisaa ja tuloksellista, että kaivostoiminnalle sekä litiumkarbonaattituotannolle saatiin hankittua ympäristöluvat. Samaan aikaan saatiin myös rakennusluvat. Vuonna 2006 yhtiö sai nykyisen nimensä, kun se muutettiin kehitysyhtiöstä kaivosyhtiöksi, Keliber Oy:ksi. (Sirén 2015.)

Vuosi 2008 oli yhtiölle muutoksen aikaa. Norjalainen Nordic Mining osti itsensä yhtiön pääomistajaksi 25.04 prosentin osuudella. Toiminta on jatkunut suunnittelun ja rahoituksen merkeissä, mutta myös jatkuvien ympäristölupien hankkiminen on ollut koko ajan ajankohtaisena kysymyksenä. Tästä esimerkkinä on tämänkin opinnäytetyön tarve ja ajankohtaisuus, mikä johtuu fluorivetyhapon käytön kieltämisestä ympäristöluvan nojalla. (Sirén 2015.)

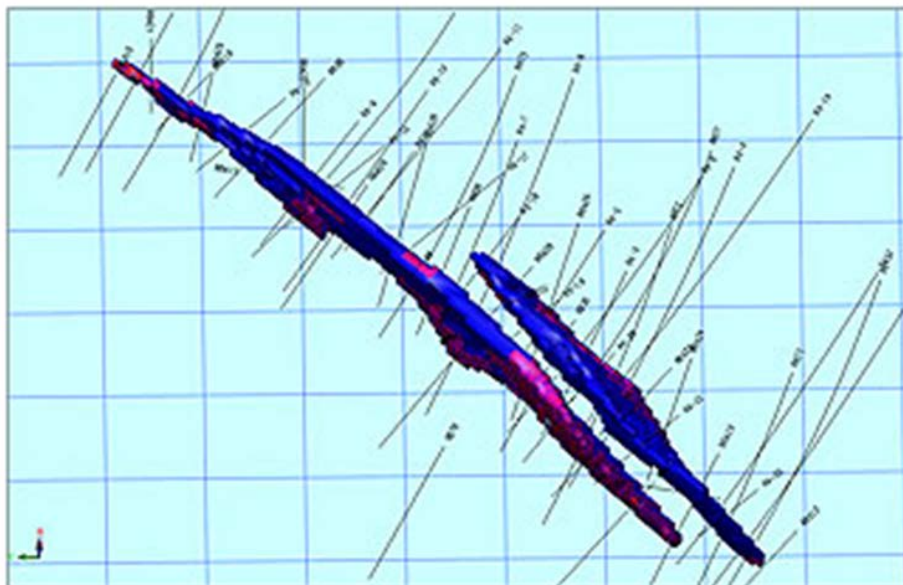
Lisärahoitusta yhtiö sai vuonna 2012 4 M€ minkä mahdollisti omistuspohjan laajeneminen. Vuoden 2014 alusta yhtiön omistuspohja on laajentunut entisestään ja jatkorahoitusta on saatu pariin otteeseen, ensin 2,4 M€ ja sitten 0,6 M€. Tästä eteenpäin projekti on jatkunut suunnitelmia tarkentaen sekä uusia kairauksia ja ympäristölupa- ja rahoitushakemuksia tehden. (Sirén 2015; Keliber Oy 2013.)



KUVA 1. Yhtiön kehitysaskleet (Sirén 2015.)

2.2 Tulevaisuus

Länttään kaivos olisi mahdollista avata vuosien 2017–2018 aikana. Louhoksen mallinnus näkyy kuvassa 2. Kaivoksen avaaminen riippuu useista eri muuttujista. Ennen louhinnan aloittamista täytyy meneillään olevat tutkimukset saada päätökseen, selvittää luvat kuntoon sekä löytää tarvittava määrä rahoitusta, jonka arvioidun kokonaismäärän suuruus on 80–100 M€ Kaivoksesta pystyttäisiin louhimaan korkeintaan 300 000 tonnia vuodessa, ja tästä malmimäärästä rikastettavan litiumkarbonaatin tuotantomäärä olisi 6000 tonnia vuodessa. Tällä hetkellä tuotantolaitokseen olisi suunnitelmien mukaan mahdollista syöttää 350 000 tonnia raaka-ainetta rikastettavaksi vuosittain. Tuotannon vuosittaisen liikevaihdon on arvioitu olevan 50–60 miljoonaa euroa vuodessa, ja on myös huomion arvoista, että sekä kaivoksen että rikastamon yhteenlaskettu työntekijätarve olisi 80–90 henkilöä. Käytännössä vuoden 2017 aikana rakennettaisiin prosessilaitteisto ja alustettaisiin kaikki valmiiksi tuotantoa silmälläpitäen. Vuonna 2018 aloitettaisiin tuotannollinen toiminta. (Sirén 2015.)



KUVA 2. Läntän esiintymä (Länttä, Keliber Oy 2013)

3 SPODUMEENIMALMI

Spodumeenimalmi on litiumalumiinisilikaattia, joka luokitellaan pyrokseenimineraaleihin. Pituussuunnassa spodumeeni on viirukkeista. Spodumeenilla on useita eri esiintymisvärejä, kuten violetti, keltainen, vihreä ja läpinäkyvä. Spodumeenilla on yksi täydellinen ja kaksi heikkoa lohkosuuntaa. Mineraalin ominaispaino on 3100–3200 kg/m³. Se on pilkkoutumisominaisuuksiltaan täydellistä ja kovuudeltaan 6,5–7 Mohsin asteikolla arvioituna. Spodumeenit esiintyvät tavallisimmin graniittipegmatiiteissa ja kidekooltaan ne ovat usein kookkaita, senttimetreistä jopa useisiin metreihin. Spodumeenia sisältäviä juonia on tiedossa ympäri Suomea noin 30 kappaletta. Merkittävimmät esiintymät sijoittuvat Keski-Pohjanmaalle, akselille Kruunupyö–Ullava. (Grönholm, Alviola, Kinnunen, Kojonen, Kärkkäinen & Mäkitie 2009, 30.)

Tärkein hyödyntämisominaisuus spodumeeneilla on sen litiumpitoisuus, jonka vuoksi se luokitellaan usein malmiksi, eli se on taloudellisesti järkevä rikastaa. Kemialliselta kaavaltaan spodumeenimalmi kirjoitetaan muotoon LiAlSi₂O₆, mutta siinä esiintyy myös epäpuhtauksia kuten rautaa, mangaania, magnesiumia, kalsiumia, natriumia, kaliumia sekä vettä. Vesi on spodumeenissa kidevetenä. Spodumeenimineraalin suoranaisia käyttökohteita ovat keramiikka- ja lasiteollisuus, sen sisältämän kvartsi- ja maasälvän vuoksi. Lisäksi siitä valmistetaan litiumsuoloja kuten litiumkarbonaatti. Joitakin spodumeenimineraalin muunnoksia käytetään jopa jalokivinä. (Grönholm ym. 2009, 30.)

3.1 Pegmatiitit

Pegmatiitit ovat magneettisia syväkiviä, joiden raekoot vaihtelevat merkittävästi toisistaan. Ne koostuvat mineraaleista, jotka voivat olla läpimitaltaan jopa metrien mittaisia, kuitenkin yleensä vain senttimetrejä. Suurin osa pegmatiiteista on graniittisia eli ne ovat ominaisuuksiltaan kovia sekä kestäviä. Graniittisten pegmatiittien päämineraaleja ovat kalimaasälpä, kvartsi, plagioklaasi ja muskoviitti. On myös olemassa muita pegmatiitteja kuten intermediäriset pegmatiitit, mutta niihin ei ole syytä keskittyä tässä opinnäytetyössä. (Alviola, 1988, 126–132.)

Maankuoressamme pegmatiitit sijoittuvat yläkuoreen ja ne esiintyvät yleensä laattamaisina juonina. Esiintymät ovat kooltaan vaihtelevia, sillä paksuudeltaan ne ovat senttimetreistä metreihin ja pituudeltaan metreistä jopa tuhansiin metreihin. Pegmatiiteille on tyypillistä muodostaa taskuja suuremman graniittisen plutonin sisäpuolelle, mutta usein ne esiintyvät juonina tai linsseinä sen lähistöllä. Pegmatiittien muoto riippuu sivukiven ominaisuuksista siten, että ympäristön ollessa muokkautuva ne muodostavat linssimäisiä intruusioita, mutta hauraassa ympäristössä ne toimivat lähinnä juonina sekä rakojen täyteenä. (Alviola, 1988, 126–132.)

Jos pegmatiitteja verrataan yleisesti ottaen graniittiseen keskikoostumukseen, eroaa se niistä alhaisemalla Fe_2O_3 -, CaO - ja MgO -pitoisuudellaan sekä korkeammalla Al_2O_3 -pitoisuudellaan. Muita poikkeavuuksia ovat vaihteleva natrium-kaliumsuhde sekä voimakas peralumiininen luonne. Pegmatiitit eroavat myös monista kivilajeista siten, että ne ovat muodostuneet yleisten kivilajeja muodostavien pääalkuaineiden lisäksi myös harvinaisista alkuaineista. Tämän vuoksi ne ovat monien kaivoksien tähtäimessä. Tavallisimmat mineraaleissa esiintyvät alkuaineet ovat pii, happi, alumiini, rauta, kalsium, natrium, kalium ja magnesium. Etenkin REL-pegmatiitit ovat tärkeä taloudellinen lähde. Ne sisältävät tavallisimpien mineraaleissa esiintyvien alkuaineiden lisäksi arvokkaita maametalleja, kuten litiumia, rubidiumia, berylliumia, cesiumia, niobiumia, tantaalia ja tinaa. Lisäksi niissä on usein myös fluoria, fosforia tai booria. Mainituille alkuaineille tyypillistä on niiden sopeutumaton käyttäytyminen magmaatissa prosesseissa, ja myös niiden voimakas rikastuminen pegmatiittisiin kivisuliin. (Alviola, 1988, 126–132.)

Suurin osa pegmatiiteista ei kuitenkaan sisällä harvinaisia mineraaleja, sillä vain noin 2 prosenttia niistä on REL-pegmatiitteja. Suurimman osan pegmatiittien volyyymista muodostavat silikaattimineraalit, mutta eniten pegmatiiteista on tunnistettu fosfaattimineraalityyppejä. Lukuisat alkuaineet kuten tina, tantaali, titaani, uraani, niobium sekä litium esiintyvät pegmatiiteissa oksideina, mutta pegmatiitit koostuvat usein myös sulfaateista, karbonaateista, boraateista sekä arsenaateista. (Alviola, 1988, 126–132.)

3.2 Maasälpä

Maasälvät kuuluvat hohkasilikaaatteihin, joihin ne on luokiteltu niiden kemiallisen koostumuksensa sekä trikliinisen kidejärjestelmänsä perusteella. Niitä voidaan kuvata yleisesti kemiallisella kaavalla $\text{XAl}(\text{Si},\text{Al})\text{Si}_2\text{O}_3$, jossa etumerkinnällä X tarkoitetaan joko alkuainetta Na, Ca, K tai Ba. Mineraaliryh-

mänä maasälvät ovat merkittävien kivilajien muodostaja. Tämä selittyy maankuoren koostumuksella. Arvioiden mukaan puolet mantereisesta maankuorestamme koostuu maasälvistä, ja loput koostuvat muista mineraaleista. Kvartsia siitä on 12 prosenttia, kiilteitä 5 prosenttia, pyrokseeneja 11 prosenttia, savimineraaleja 5 prosenttia, oliviinia 3 prosenttia sekä amfioleja 5 prosenttia. Muita mineraaleja maankuorella on vajaat 10 %. Maasälvät voidaan jakaa kahteen eri seossarjaan päätejäsentensä perusteella, kalimaasälpään (alkalimaasälpä) ja plagioklaaseihin. (Lehtinen, Nurmi & Rämö 1998, 31.)

3.2.1 Plagioklaasi

Plagioklaasi on seossarja, joka koostuu kahdesta eri mineraalista, albiitista ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) sekä anortiitista ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$). Näiden mineraalien määrä suhteessa toisiinsa (Na/Ca- suhde) vaihtelee kuitenkin maasälvissä, joten niille on annettu pitoisuuksiensa mukaan nimet. Näitä ovat albiitti, oligoklaasi, andesiini, labradoriitti, bytowniitti sekä anortiitti. Albiitilla tarkoitetaan plagioklaasia, jonka päätejäsen on Na-rikas, ja anortiitiksi puolestaan kutsutaan päätejäseneltään Ca-rikasta maasälpää. Selvittääkseen plagioklaasin koostumus, on määritettävä sen taitekerroin polarisaatiomikroskoopilla tai tehtävä kemiallinen analyysi. Plagioklaasin koostumus voidaan ilmoittaa sen anortiittipitoisuuden perusteella, jolloin esimerkiksi merkintä An_{50} tarkoittaa sellaista plagioklaasia, jonka anortiitti- ja albiittipitoisuus on puolet kumpaakin mineraalia. (Lehtinen ym. 1998, 33.)

Plagioklaasit ovat kiilloiltaan lasimaisia, mutta väri vaihtoehtoja esiintyy valkeasta punertavaan. Plagioklaaseissa on viiruja, jotka ovat joko valkoisia tai erittäin vaaleita. Ominaispainoltaan plagioklaasi on $2,6\text{--}2,8 \text{ g/cm}^3$ ja kovuudeltaan 6–6,5 Mohsin asteikolla mitattuna. Plagioklaasilla on kaksi etenevää lohkosuuntaa, ja eräillä lohkopinnoilla voidaan havaita kaksoisviirukkeisuutta. (Grönholm ym. 2009, 26.)

3.2.2 Kalimaasälpä

Kalimaasälpä (KAlSi_3O_8) kuuluu plagioklaasien kanssa maankuoremme yleisimpiin mineraaleihin. Kalimaasälvällä yleisnimitetään kolmea eri mineraalia, jotka ovat sanidiini, ortoklaasi sekä mikrokliini. Nämä kolme eri kalimaasälpää erottuvat toisistaan pysyvyytensä vuoksi. Sanidiini vaatii yli 500 celsius-

asteen lämpötilan säilyäkseen muodossaan ja sitä esiintyy vulkaanisissa kivilajeissa, kun taas ortoklaasille riittää 300–500 celsiusastetta pysyvään muotoon. Mikrokliini on pysyvä 300 celsius-asteen alapuolella vallitsevissa lämpötiloissa. Sekä mikrokliini että ortoklaasi esiintyvät graniiteissa ja gneisseissä. Erot kalimaasälpien kiteytymislämpötiloissa johtuvat niiden alumiiniatomien järjestäytymisestä kidehilassa. Ulkoasultaan kalimaasälvät ovat niin samankaltaisia, ettei niitä kyetä erottamaan toisistaan kuin polarisaatiomikroskoopilla tai tekemällä kiderakennetutkimus röntgendifraktio-menetelmällä. Kiderakennetutkimus selittyy sillä, että ortoklaasi kuuluu monokliiniseen, kun taas mikrokliini kuuluu trikliiniseen kidejärjestelmään. (Grönholm ym. 2009, 26.)

Kalimaasälpien lohkeavuus on täydellistä kahdessa suunnassa, jotka ovat kohtisuoraan toisiaan vastaan. Väreiltään ne ovat joko valkeita, harmaita, kellertäviä, ruskeita, punaisia tai vihertäviä. Viiruiltaan kalimaasälvät ovat valkeahkoja. Muita ominaisuuksia kalimaasälvällä ovat sen lasimainen kiilto sekä yhtä suuri ominaispaino ja kovuus kuin plagioklaaseilla. Kalimaasälvän tunnistaa parhaiten siinä esiintyvistä pertiittijuovista, jotka voidaan havaita sen lohkopinnoilta linssimäisinä, kapeina sekä mutkikkaina juonteina. (Grönholm ym. 2009, 26.)

Suomessa kalimaasälpää louhitaan melko vähän, ja sen tuotanto on sen vuoksi vain 35 000 tonnia vuodessa. Sitä rikastetaan pegmatiittisesta graniitista. Kalimaasälvällä on muutamia korukivimuunnoksia, kuten esimerkiksi amatsoniitti sekä kuukivi. Merkittävin kalimaasälvän käyttäjä on lasi- ja keramiikkateollisuus. (Grönholm ym. 2009, 26; Lehtinen ym. 1998, 33.)

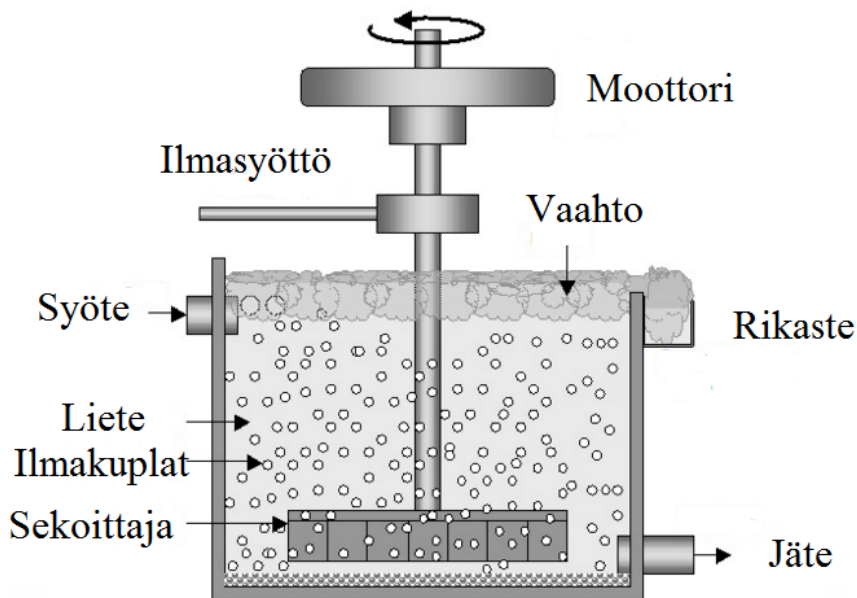
3.2.3 Kvartsi

Kvartsi (SiO_2) on maankuoren yksi yleisimmistä mineraaleista. Sitä esiintyy magmakivissä, metamorfisissa kivissä sekä sedimenttikivissä. Kvartsi on luonnossa karkeakiteisenä, mikrokiteisenä ja amorfisena muunnoksina eri värein, joten sillä on laaja-alaisesti käyttöä korukivien raaka-aineena. Esimerkkejä näistä ovat sitriini, maitokvartsi sekä ruusukvartsi. Kvartsilla itsessään ei ole lohkosuuntia, toisin kuin maasälvällä on kaksi, joten sen lohkopintaan syntyy murros, joka on simpukkamainen. Simpukkamaisella murroksella kuvaillaan murrosta, joka mineraalin pinnan murtuessa muodostaa simpukan reunoissa esiintyvien kuvioiden kaltaisia jälkiä. Kvartsin kiilto on rasvakiillon kaltainen ja se on niin kovaa, että se kykenee naarmuttamaan lasia. Mohsin asteikolla sen kovuus on 7, ja tämä johtuu sen lujista sidoksista.

Ominaispainoltaan kvartsi on melko kevyttä väljän rakenteensa vuoksi, vain $2,65 \text{ g/cm}^3$. Kidejärjestelmältään se on trigoninen, ja sen kiteet ovat pyramidipäisiä kuusikulmaisia prismoja. Suomessa kvartssia louhitaan vuosittain noin 160 000 tonnia. Tuotettua kvartssia käytetään lasi- ja keramiikkateollisuuden raaka-aineena sekä valimohiekkana. (Geologia 2016 ; Grönholm ym. 2009, 25.)

4 VAAHDOTUS

Vaahdotus on rikastusmenetelmä, jossa erotetaan mineraaleja toisistaan. Se perustuu erotettavien mineraalien hydrofobisiin eroihin, eli niiden taipumuksiin hylkiä vettä. Koska kaikki mineraalit ovat luonnostaan hydrofiilisiä, joudutaan vaahdotuksessa halutut niistä muuttamaan hydrofobisiksi kokoojakemikaalien avulla, ja tämän vuoksi ne saadaan tarttumaan vaahtoon. Vaahdotuksen periaatteena on yksinkertaisuudessaan käyttämällä vaahdotuskemikaaleja sekä voimakasta ilmavirran dispersiota tuottaa lietteen yläosaan erotettava vaahto. Vaahdotuskennon tuotetaan liete lisäämällä mineraalirakeet sinne, sekoittaen jatkuvasti, jotta saadaan varmistetuksi syötteen ja säiliössä jo aikaisemmin olleen lietteen sekoittuminen täydellisesti toisiinsa. Säiliöön pumpataan ilmaa, joka muodostaa vaahdotuksessa tarvittavat ilmakuplat. Halutut, mutta myös joskus ei-halutut mineraalit saadaan tarttumaan ilmakupliin, jotka nostavat ne vaahtona kennon pintaan, josta ne kaavitaan pois. Mineraalipartikkelit kiinnittyvät syntyneeseen vaahtoon pintajännityksen ja hydrofobisuutensa vaikutuksesta. Tämä prosessi on kuvattuna kuvassa 3, joka havainnollistaa vaahdotuskennon toimintaa. (Lukkarinen & Insinööritieto Oy 1987, 18–19.)

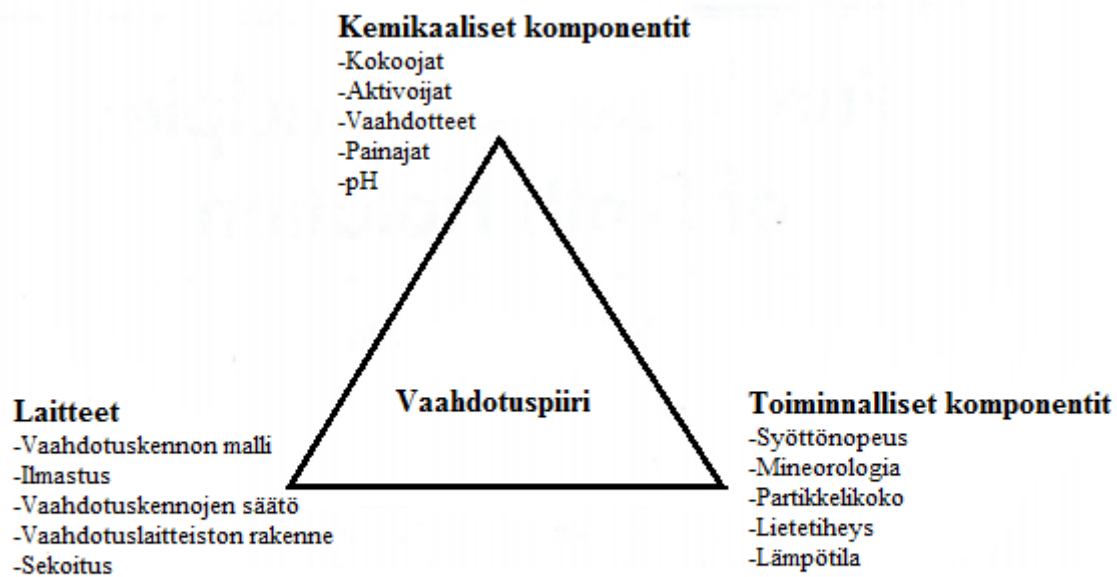


KUVA 3. Vaahdotuskennon toimintaperiaate (mukaiillen Greval 2016.)

Vaahdotuksen aikana muodostettujen ilmakuplien pinnalle tarttuvat hydrofobiset mineraalit ja lietteeseen jäävät sivukiven hydrofiiliset mineraalit. Vaahdottamalla on mahdollista rikastaa valtava määrä eri mineraaleja, sillä vaahdotusprosesseissa voidaan muuttaa valikoivasti mineraalien pintojen ominaisuuksia erilaisia kemikaaleja käyttäen. Vaahdotusta ennen on syytä olla varma, että sinne syötettävä malmi on tarpeeksi hienoksi jauhettua, koska juuri hienonnetun mineraalin pinta on reaktiokykyinen. Tällaisen mineraalin joutuessa kosketuksiin veden kanssa reagoivat mineraalien pinnat välittömästi vedessä olevien ionien kanssa. (Lukkarinen & Insinööritieto Oy 1987, 29–35, 38–41.)

Vaahdotuksen tärkeimpiä kulmakiviä ovat kolme eri faasia, joiden rajapinnoilla ilmiöt tapahtuvat. Nämä kolme faasia ovat kiinteä-, neste- ja kaasufaasi. Rajapinnoilla tapahtuvat ilmiöt joko edistävät tai häiritsevät vaahdotuksen onnistumista. Kokoojakemikaalin tarttuminen tapahtuu kiinteän- ja nestefaasin, rakenne kiinnittyminen kuplien pinnoille kiinteän- ja kaasufaasin ja vaahdotteen asettuminen neste- ja kaasufaasin rajannoilla. (Lukkarinen & Insinööritieto Oy 1987, 29.)

Prosessina vaahdotus on haastava hallita, koska vaahdotuspiiri sisältää useita eri komponentteja. Ne liittyvät vaikuttavilla tavoilla toisiinsa, ja sen vuoksi yhteen tehtävä muutos muuttaa muita. Tämän vuoksi vaahdotuspiirien säätäminen on erittäin haastavaa. Vaahdotuspiiri voidaan jakaa kolmeen pääosaan, jotka ovat laitteet sekä kemikaaliset- ja toiminnalliset komponentit. Ne ovat eriteltyinä kuvassa 4. Kemikaalisia komponentteja ovat kokoojat, aktivoijat, painajat, vaahdotteet ja pH, kun taas toiminnallisilla komponentteihin luetaan syöttönopeus, mineralogia, partikkelikoko, lietteen tiheys sekä lämpötila. Laitteisiin luetaan mukaan vaahdotuskennon malli ja säätö, ilmastus, sekoitus ja vaahdotuspiirin rakenne. Vaahdotuksessa käytetään vaahdotuskennoa- tai kolonnia. Yleisesti niitä kutsutaan vaahdotuskoneiksi. Niiden tehtävänä on pitää syötetty mineraaliaines heterogeenisena vesilietteessä sekä samalla sekoittaa lietteeseen pieniä ilmakuplia. Kennon sisällä mineraaliaines sekä ilmakuplat törmäilevät toisiinsa. (Kawatra 2011, 1517.)



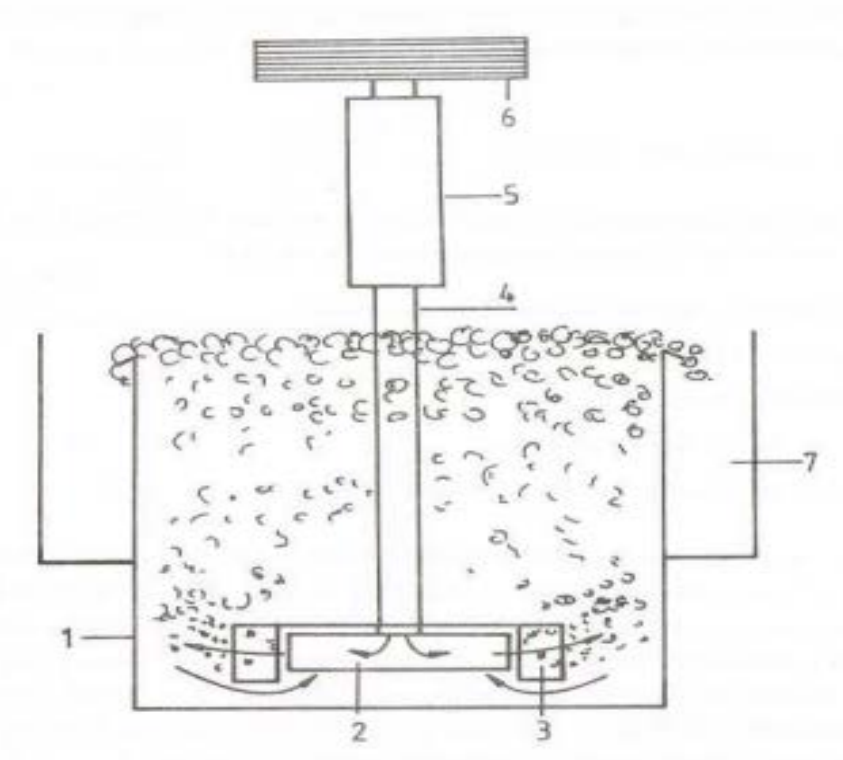
KUVA 4. Vaahdotuspiirin toisiinsa vaikuttavat komponentit (mukaillen Kawatra 2011, 1518)

4.1 Vaahdotuskone yleisesti

Vaahdotuskoneet jaetaan kahteen pääryhmään, mekaanisiin- ja pneumaattisiin koneisiin. Kuitenkin todellisuudessa kaikki mekaaniset koneet ovat myös osin pneumaattisia, koska kaikissa vaahdotuksissa tarvitaan ilmaa. Ilma voidaan joko imeä koneen oman mekanismin avulla tai pakkosyöttää ulkopuolista puhallinta käyttäen. Etuna ulkopuolisen puhaltimen käytössä on ilmamäärän säädettävyys. (Lukkarinen & Insinööriliitto Oy 1987, 97.)

Vaahdotuskoneen tehtäviin kuuluu hyvin monipuolinen kenttä. Sen tulee kyetä pitämään vaahdotettavat mineraalirakeet suspensiona vesilietteessä, dispergoida tarvittava määrä ilmaa lietteeseen, aikaansaada kuplien ja mineraalirakeiden väliset törmäykset, muodostaa hiljaiset olosuhteet vaahdon syntymäalueelle sekä taata mahdollisuus poistaa sekä rikaste että jäte sulavasti. (Lukkarinen & Insinööriliitto Oy 1987, 97.)

Yleisrakenteeltaan vaahdotuskone koostuu kennoaltaasta tuki- ja kannatinrakenteineen, ilman syöttölaitteistosta, koneen mekaniismista ja käyttölaitteista, lietteen syöttö- ja poistolaitteistosta, rikasteränneistä sekä lietteen pinnansäätölaitteista. Ne ovat esitettyinä kuvassa 5. (Lukkarinen & Insinööritieto Oy 1987, 98.)



KUVA 5. Vaahdotuskennon rakenne. 1. Allas, 2. Potkuri eli roottori, 3. Staattori, 4. Akseli, 5. Laakerit, 6. Hihnapyörä, 7. Rikasteränni (Lukkarinen & Insinööritieto Oy 1987, 99)

Itse vaahdotuskennon rikastusallas on valmistettu usein kumilla tai muovilla päällystetystä teräslevystä. Tämä siitä syystä, etteivät allas ja laitteisto kulu niin nopeasti korroosion vaikutuksesta. Käyttökoneiston tarvitsema kannatusteline valmistetaan usein kotelopalkeista, jotka yhdessä tai erikseen voivat toimia samalla vaahdotuskoneen ilmaputkina. Rikasterännit voidaan valmistaa joskus kumista, sillä se estää niiden kulumista ja tekee samalla niistä kevyempiä. Niiden kaltevuuden tulee olla vähintään 30 prosent-

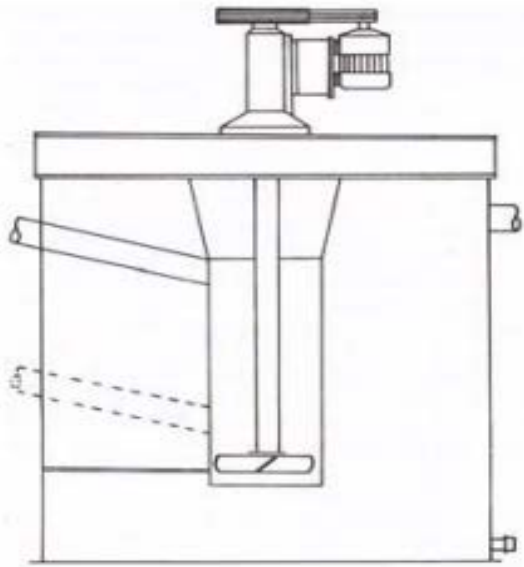
tia, koska sillä estetään painavimpienkin mineraalipartikkelien laskeutuminen rännin pohjalle. Vaahdotuksien välissä on ajoittain syytä puhdistaa rännit, ja helpottaakseen niiden puhdistusta on järkevää tehdä niistä riittävän isokokoisia. (Lukkarinen & Insinööritieto Oy 1987, 98.)

Itse vaahdotuskoneen mekanismiin kuuluu roottori eli potkuri sekä staattori. Roottori pyörii yleensä kehänopeudella 4–8 ms⁻¹. Suurissa vaahdotuskoneissa riittävän suuren kehänopeuden varmistamiseksi jokaiseen akseliin asennetaan oma moottori. Pienemmissä vaahdotuskoneissa riittää yksi moottori takamaan kahden akselin kehänopeus. Voimansiirto koneissa tapahtuu kiilahihnojen avulla. Suurempiin koneisiin moottoreita hankittaessa on hyödyllistä muistaa moottorin pystyasento, koska se vaikuttaa erittäin olennaisesti sen laakerointiin. (Lukkarinen & Insinööritieto Oy 1987, 98.)

Mikäli ilma vaahdotukseen otetaan itseimevän potkurin avulla, tapahtuu se siten, että ilma imetään ylhäältäpäin akselin ympärillä olevan suojaputken tai staattoriin asennetun putken läpi. Pakkosyöttöisillä vaahdotuskoneilla vaahdotukseen tarvittava ilma painetaan ulkopuolisen puhaltimen avulla joko suoraan akselin läpi tai suojaputken kautta. Näin ilmamäärää saadaan säädettyä melko tarkasti. Vaahdotettava liete johdetaan altaaseen syöttölaatikon kautta, mutta on mahdollista käyttää myös suorasyöttöä pumpaamalla liete kennoon. Suosituin ja toimivin tapa on syöttää liete suoraan potkurin päälle. Vaahdotuksessa syntyvä jäte poistetaan kennon päässä olevan jätelaatikon kautta. (Lukkarinen & Insinööritieto Oy 1987, 98.)

Vaahdotuskoneita voidaan myös vertailla keskenään erilaisten ominaisuuksien perusteella, joita ovat kapasiteetti, energiaystävällisyys, käyttölaajuus, huoltokustannukset, arvoaineiden saanti sekä rikasteiden pitoisuus. Harvemmin mikään kenno täyttää vaatimuksiltaan täydellisesti tehtävänsä, joten kennojen välillä päädytään pakostakin kompromisseihin niitä testattaessa. (Lukkarinen & Insinööritieto Oy 1987, 99–100.)

Valmennus on prosessivaihe, jonka tarkoituksena on luoda vaahdotuksessa käytetyille reagensseille sekä lietteen rakeille mahdollisimman optimaaliset olosuhteet vaahdotuksen onnistumiselle. Vaahdotuksen onnistuminen edellyttää yleensä aina valmennusta. Yleensä valmennin on rakenteeltaan kuvan 6 kaltainen, eli siinä on vain ympyrälieriömäinen säiliö, jossa on siihen liitetty potkuri. (Lukkarinen & Insinööritieto Oy 1987, 119–120.)



KUVA 6. Denver-tyypin valmentimen yleiskuva (Lukkarinen & Insinööritieto, 1987, 120.)

4.2 Vaahdotusreagenssit

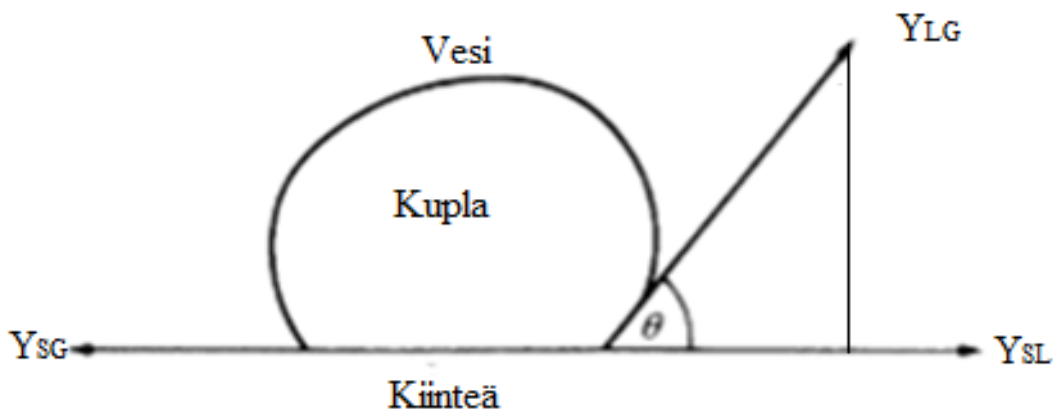
Vaahdotusrikastuksessa avainasemassa ovat oikein valitut vaahdotuskemikaalit eli vaahdotusreagenssit, joiksi niitä tavallisimmin kutsutaan. Kuten aiemmin mainittua, niiden avulla vaikutetaan mineraalipartikkelien hydrofobisiin ominaisuuksiin, säädetään kulloinkin tarvittavat vaahdotusprosessiolosuhteet sekä synnytetään vaahto, josta rikaste kerätään talteen kuivausta varten. Hydrofobisiin ominaisuuksiin, joilla vaikutetaan mineraalipartikkelien tarttuvuuteen kerättävässä vaahdossa, käytetään kokoojia. Säännöstelykemikaalien tehtävänä on taas säätää prosessiolosuhteet optimaaliseksi vaahdotettavaa raaka-ainetta varten. Vaahdoteaineilla saadaan aikaan vaahto sekä alennetaan veden pintajännitystä. Yksinkertaistettuna vaahdotuskemikaalien tehtäväjako on seuraava: Kokooja liittää arvomineraalit ilmakupliin kiinni, säännöstelyreagenssit rajoittavat kokoojan vaikutuksen haluttuihin mineraalipartikkeleihin ja vaahdotusreagenssi aikaansaa vaahdon sekä ilmakuplat, joihin mineraalit tarttuvat kokoojien avulla. (Rikastus 2014, 13–20; Lukkarinen & Insinööritieto Oy 1987, 48–49.)

Nykyisin erilaisia vaahdotuskemikaaleja on käytössä tuhansittain, joten lähes jokaiselle mineraalipartikkelille on löydettävissä sopivat reagenssit. Lisäksi koko ajan löydetään uusia kiinnostavia raaka-aineita, joista pyritään saamaan mahdollisimman suuri taloudellinen hyöty, joten uusia vaahdotusreagensseja

kehittelään jatkuvasti niiden vuoksi. Lisäksi halutaan räätälöidä prosessit mahdollisimman ympäristöystävällisiksi ja vähentää jätteen määrää. (Lukkarinen & Insinööritieto Oy 1987, 48–49.)

4.2.1 Kokoojat

Kokoojien roolina vaahdotuksessa on selektiivinen adsorbointi eli ne sitovat pinnalleen toista ainetta ohueksi kerrokseksi. Ne muuttavat siis mineraalien pintaominaisuuksia. Kokoojat kasvattavat mineraalipartikkelin kontakti eli tartuntakulmaa, joka on avainasemassa ilmakehien tarttumiseen sen pinnalle. Kuvassa 7 esitetään kontaktikulman ja pintajännityksen vaikutukset toisiinsa kuplan ja mineraalin kannalta. Vaahdotuksessa kokoojat sitoutuvat mineraaleihin kahdella eri tavalla, joko kemiallisesti tai fyysisten voimien vaikutuksesta. Kemiallisella sitoutumisella tarkoitetaan, että lietteessä olevissa ioneissa ja molekyyileissä syntyy kemiallinen reaktio, jonka seurauksena kokoojan ja niiden välille muodostuu pysyvä liitos. Fyysisten voimien vaikutuksella tarkoitetaan fyysistä adsorptiota, jossa lietteessä olevat molekyylit sekä ionit muodostavat palautuvan liitoksen, jota kutsutaan elektrovalenttiseksi liitokseksi. (Lukkarinen & Insinööritieto Oy 1987, 48–49.)



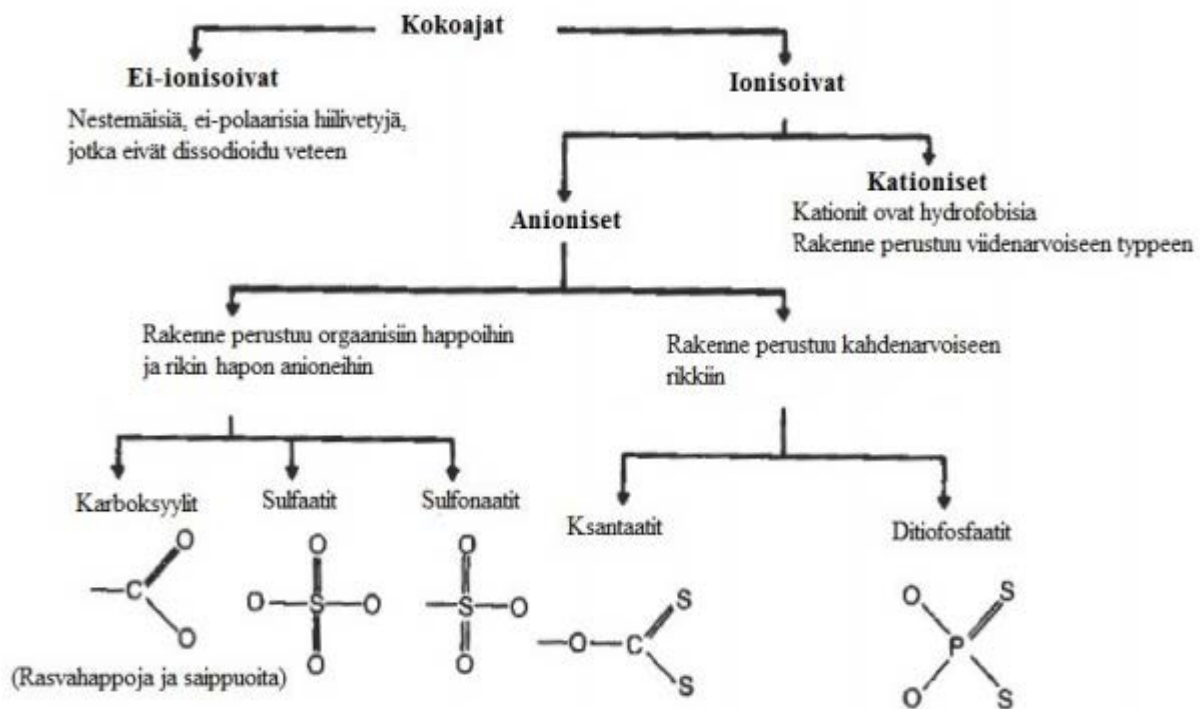
KUVA 7. Kontaktikulman ja pintajännityksen suhde toisiinsa (mukaillen Wills & Napier 1979, 268)

$$Y_{SG} = -Y_{SL} + Y_{LG} \cos\theta$$

jossa:

Y_{SL}	on rajapintajännitys kiinteän- ja nestefaasin rajapinnassa
Y_{LG}	on rajapintajännitys nesteen- ja kaasunfaasin rajapinnassa
Y_{SG}	on rajapintajännitys kiinteä- ja kaasunfaasin rajapinnassa
θ	on kontaktikulma

Kokoojien kohdalla luokittelu tehdään niiden ionivarausten perusteella. Karkeasti ne voidaan jakaa ionisoiviin ja ei-ionisoiviin kokoojiin. Toimintaperiaatteiltaan kokoojia on neljää erilaista tyyppiä, ja ne voivat olla anionisia, kationisia, amfoteerisia tai ionisoimattomia. Ne on eritelty kuvassa 8. Luokittelu perustuu niiden tapaan toimia vaahdotuksessa. Esimerkiksi kationiselle kokoojalle on tyypillistä käyttää positiivisesti varautuneita amiineja mineraalipartikkelin sitomiseen, ja sen vuoksi niitä käytetäänkin tyypillisimmin silikaattien, fosfaattien ja harvinaisempien metallioksidien erottamiseen. Amfoteeriset kokoojat voivat reagoida joko happona tai emäksinä siten, että ollessaan happo, reaktiot tapahtuvat emäksissä liuoksissa, ja happamissa liuoksissa silloin, kun kokoojana on emäs. Amfolyyttisten kokoojien käyttöalue on laaja, koska käytettävissä oleva pH-alue on 2–12. (Lukkarinen & Insinööritieto Oy 1987, 48–49, 63.)



KUVA 8. Kokoojatyypit (mukailen Wills' & Napier 1979, 271)

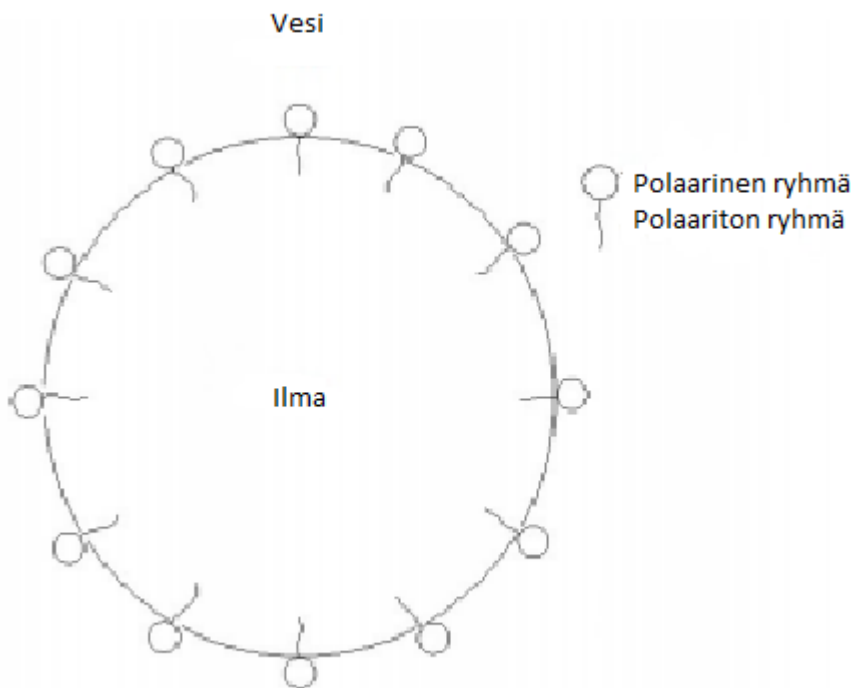
Anioniset kokoojat ionisoituvat vedessä, jonka seurauksena syntyy negatiivinen polaarisuus sekä hiilivetyä. Ne ovat yleensä heikkoja happoja tai happosuoloja. Syntyneen negatiivisen polaarisuuden tehtävänä on tarttua mineraalien pintaan, ja hiilivetyä muuttaa mineraalipartikkelin pinnan hydrofobisuutta suuremmaksi. Anionisia kokoojia käytetään sulfidi- ja oksidimalmien rikastuksessa. Sulfidimineraalien rikastuksessa kokoojana käytetään ksantaatteja sekä difosfaatteja, kun taas oksidimalmien vaahdotuksessa oksihydryylikokoojia, kuten rasvahappo. Ionisoimattomilla kokoojilla tarkoitetaan hiilivetyä, joilla erotetaan hiiliä, mutta monissa vaahdotusprosesseissa se on todettu hyväksi erotettaessa molybdeniittiä, talkkia tai rikkiä. (Lukkarinen & Insinööritieto Oy 1987, 49; Wills' & Napier 1979, 270–272.)

4.2.2 Säännöstelykemikaalit

Säännöstelykemikaalien käytön tarkoituksena on mahdollistaa selektiivisesti kokoojan tarttuminen haluttujen mineraalipartikkelien pinnalle. Säännöstelijöitä ovat aktivoijat, painajat sekä pH-säätökemikaalit, joista aktivoijan tehtävänä on tehdä luonnostaan vaahtoutumattoman mineraalin pinta sellaiseksi, että kokooja kykenee siihen tarttumaan. Painajat ovat kemikaaleja, joiden tehtävänä on passivoida ei-halutun mineraalin pinta, joka ilman passivointia tarttuisi vaahtotuksessa käytettyyn kokoajaan. Vaahtotuksessa käytettyjen säännöstelijöiden toiminta tapahtuu kiinteän- ja nestefaasin rajapinnalla. (Lukkarinen & Insinööritieto Oy 1987, 68–70; Wills' & Napier-Munn 1979, 277–279.)

4.2.3 Vaahdotteet

Vaahdotteen päätehtävänä on saada aikaan stabiili vaahto, joka sen pinta-aktiivisuutensa vuoksi kestää siihen kiinnittyneen raekuorman. Edellytyksenä tälle on veden pintajännityksen sopiva alentaminen. Toisena tärkeänä vaahdotteen tehtävä on pitää vaahto koossa siihen saakka, että se on pudonnut vaahtotuskoneen rikasteränniin. Vaahdotteet ovat ominaisuuksiltaan heteropolaarisia ja pinta-aktiivisia yhdisteitä, ja ne toimivat siten, että niitä lisättäessä vaahtotukseen, alenee veden pintajännitys lisättävän aineen konsentraation kasvaessa. Vaahtotuksessa lisätyt vaahtotemolekyylit asettuvat neste-kaasufaasin rajapinnalle siten, että molekyylin ionisoitunut pää on veteen päin ja hiilivetypää kuplan sisälle päin, kuten kuvassa 9 näkyy. Pääasiassa vaahdotteet ovat kemialliselta koostumukseltaan alkoholeja, alkoksiryhmällä korvattuja paraffiineja tai hydroksyloituja polyeettereitä. (Lukkarinen & Insinööritieto Oy 1987, 61, 65.)



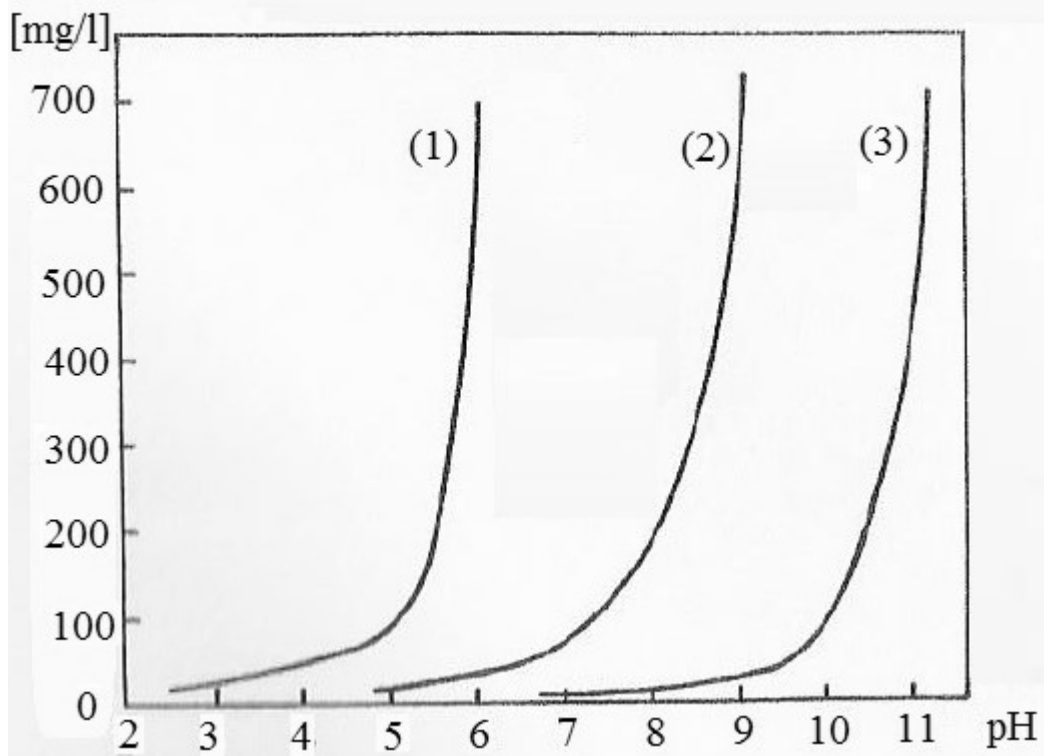
KUVA 9. Vaahdotemolekyylin asettuminen ilmakuplan pinnalle (mukaillen Wills' & Napier-Munn 1979, 277.)

4.2.4 pH

Vaahdotuksessa on erittäin tärkeää seurata lietteen pH:ta. Tämä johtuu siitä, että eri mineraaleilla on eri pH-olosuhteet, joissa ne sitoutuvat kokoojiin. Käytännössä on siis mahdollista erottaa mineraaleja toisistaan säätämällä ainoastaan pH:ta, koska kaikilla mineraaleilla on kokoojan määrästä riippuen tietty pH-arvo, jonka alapuolella vaahdotus onnistuu, yläpuolella taas ei, kuten kuva 10 osoittaa. Yleensä vaahdotus pyritään kuitenkin suorittamaan emäksissä olosuhteissa, koska tällöin säästetään laitteistoa vähäisempien korroosio-ongelmien vuoksi. Yleisimmin käytettyjä pH-säätökemikaaleja ovat hapot ja emäkset. Happona käytetään pääasiassa rikkihappoa, mutta emäksien kohdalla on useimmiten enemmän valinnanvaraa, kuten kalkki, kalkkihydroksidi, lipeä sekä natriumkarbonaatti.

(Lukkarinen & Insinööritieto Oy 1987, 70.)

Ditiofosfaatti



KUVA 10. Kokoojan pitoisuuden ja kriittisen pH:n vaikutus toisiinsa (mukaiillen Lukkarinen, T & Insinööritieto Oy 1987, 71)

5 KVARTSI-MAASÄLVÄN VAAHDOTUS

Kvartsi-maasälvällä tarkoitetaan pegmatiittimalmia, joka sisältää pääosin kvartsia ja maasälpää. Niitä on erotettu ajan saatossa toisistaan suuren jätemäärän vuoksi sekä taloudellista syistä. Kvartsin ja maasälvän erotus on suoritettu yleensä vaahdottamalla, mikäli ne on edes haluttu erottaa toisistaan. Esimerkiksi Keliber Oy:n tuotannollisiin tavoitteisiin kuuluu jo nyt suunnitteluvaiheessa erottaa ne omiksi rikasteiksi, koska sen avulla välttyttäisiin kvartsi-maasälvän aiheuttamasta jätteestä sekä kasaamisesta. Suurimpana hyötynä tämän sivutuotteen erottamisessa olisi sen tuoma taloudellinen hyöty yhtiölle, toisin sanoen yhtiö saisi lisäarvoa näistä tuotteista.

Aikaisemmissa rikastusprosesseissa kvartsi ja maasälpä on erotettu toisistaan fluorivetyhapon avulla kolmessa vaahdotusvaiheessa louhinnan ja malmin esikäsitteilyn, kuten murskauksen, hienonnuksen sekä seulonnan jälkeen. Myös Keliber Oy:n alkuperäisiin suunnitelmiin kuului fluorivetyhapon käyttö vaahdotuksessa, mutta ympäristölupaa sille ei tullut myöntämään, joten on löydettävä uudet kokoojakemikaalit kyseiseen vaahdotukseen. Kokoojakemikaalien löytymisen jälkeen on tehtävä kokeita ja selvityksiä siitä, minkälaisissa olosuhteissa ja mitkä säännöstelyreagenssit ovat suotuisimmat ja taloudellimmat kunkin kokoojavaihtoehdon kohdalla. Esimerkiksi Kemiössä toimivassa maasälpärikastamossa nimeltään Sibelco Nordic Oy Ab on erotettu kvartsi ja maasälpä toisistaan fluorivetyhapon avulla. Vuosien saatossa on tehty useita selvityksiä ja kokeita, joissa on pyritty löytämään kvartsin ja maasälvän erottamiseen toimivat kemikaalit. Luvussa 5.2 tullaan käsittelemään kvartsi-maasälvän vaahdotuksessa testattuja kokoojia ja muita kemikaaleja, joita on kokeiltu koemittakaavassa. Huomioitavaa on, että huolimatta siitä, mitä kemikaaleja on testattu kyseiseen vaahdotukseen, on fluorivetyhappo säilyttänyt asemansa parhaimpana kemikaalina, koska sen käyttö takaa parhaimmat saanti-osuudet. (Lukkarinen & Insinööritieto Oy 1987, 152; Länsi-Suomen ympäristölupavirasto 2007.)

5.1 Fluorivetyhappo ja sen käyttö

Fluorivetyhappo on heikko happo ($\text{HF} \cdot \text{H}_2\text{O}$) ja se on vetyfluoridin vesiliuos. Sen käyttökohteita ovat teräksen peittäminen, aikaisemminkin esiin tullut malmin vaahdotus sekä lasien pinnoitus. Fluorivetyä itsessään käytetään prosesseissa katalyyttisenä aineena. Fluorivety on väritön kaasu kiehumispistettänsä korkeammassa lämpötilassa, mutta kiehumispisteensä alapuolella se muodostaa helposti höyryjä. Sen haju on erittäin vahva ja voimakas, sekä hengitysteitä ärsyttävä. Sen siis pystyy haistamaan, ja sen vuoksi sitä

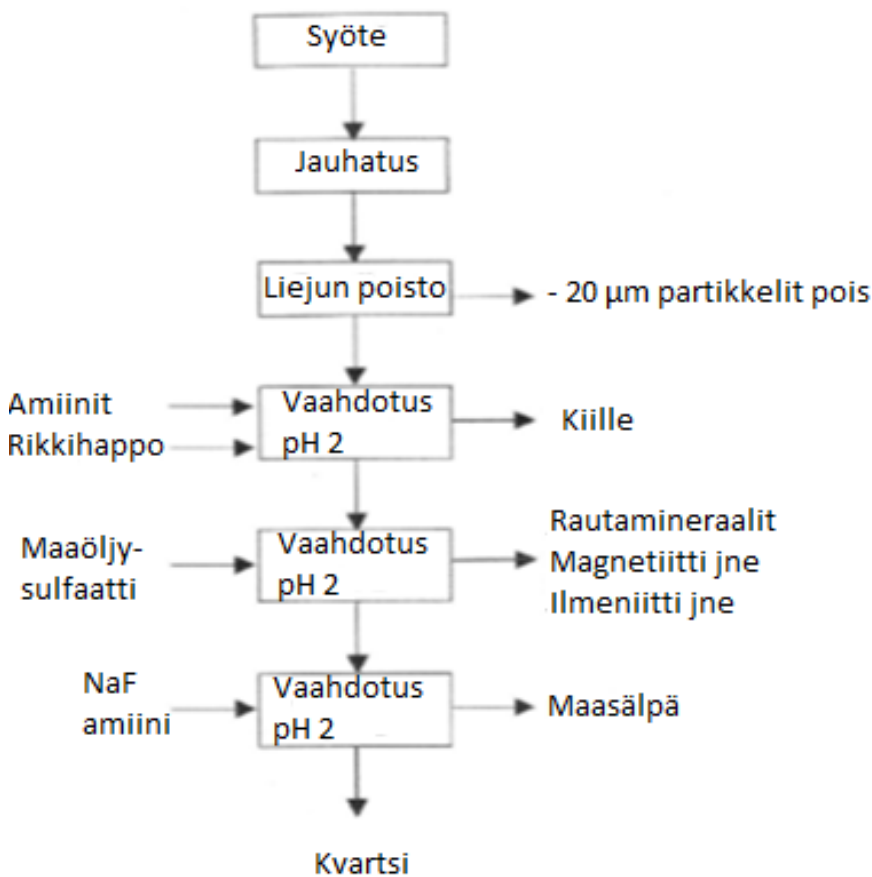
pystyy välttämään sitä ilmaantuessa. Suuremmalle pitoisuudelle altistuttaessa aiheutuu vammoja iholle, silmiin sekä limakalvoihin, koska fluorivety tuhoaa kudoksia ja kykenee tunkeutumaan syvälle elimistöön. Tämän lisäksi kasvoille saattaa ilmestyä voimakasta punoitusta ihohuokosten ärsyyntymisen seurauksena. Fluorivedystä mahdollisesti matalammissa lämpötiloissa syntyvät höyryt aiheuttavat voimakasta haittaa hengityselimille, esimerkiksi syöpymiä tai pahimmillaan keuhkopöhön. Sydämelle sen vaikutus on ehdottomasti myös huomioitava, sillä se aiheuttaa rytmihäiriöitä sitoessaan elimistön kalsiumia pois seerumin käytöstä. On pyrittävä poistumaan heti paikalta, mikäli haistaa fluorivedyn läsnäolon, sillä jo todella lyhyt altistuminen, vain 50–250 ppm:n pitoisuudelle aiheuttaa välittömän vaaran ja yllä luetellut terveyshaitat. On selvää, että myös silmiä koskettaessaan seurauksena on vaikeita silmävammoja ja pahimmassa tapauksessa näön menettäminen. (OVA-ohje 2014.)

Fluorivedyn ollessa vapaasti vuorovaikutuksessa ympäristön kanssa, se ei pysy kauan alkuperäisessä muodossaan, vaan hajoaa ilmaan, veteen sekä maahan. Tämä tapahtuu dissosioitumalla ja samalla muuttuen erilaisiksi fluoriyhdisteiksi. Ilmaan joutuessaan fluorivety sitoutuu sen kosteuteen ja muodostuu fluorivedyn ja veden yhdistettä eli fluorivetyhappoa. Syntynyt ilmassa leijuva kosteus laskeutuu tai sataa lopulta maan pinnalle. Maaperään päätyneen jälkeen fluorivedyn kulkeutuminen on kiinni sen happamuudesta ja maaperän koostumuksesta. Mikäli maaperän pH-olosuhteet ovat happamat, voi fluorivety muodostaa esimerkiksi alumiinifluorosilikaattia, kun taas alkaalisessa maaperässä muodostunut yhdiste on usein kalsiumfluoridia. Maaperän pH:n ollessa lähes neutraali tai suurempi saattavat fluoridit sitoutua tiukasti siihen. Vedessä fluorivety on pääsääntöisesti fluorideina, kun $\text{pH} > 5$, mutta kun $\text{pH} < 5$ on fluorivedyn määrä pienempi, jonka seurauksena hajoamattoman fluorivedyn (HF) sekä vetyfluoridi-ionin (HF_2^-) määrä kasvaa. Fluorivety vaikuttaa haitallisesti vesieliöihin, mutta vasta korkeammassa pitoisuudessa sen arvot ovat akuutteja, kuten esimerkiksi kaloille akuutit LC50-arvot ovat pitoisuuksien 51–340 mg/l välissä, neljän vuorokauden mittaisella ajanjaksolla mitattuna. Fluorivedyn tähänastisissa tutkimuksissa ei ole todettu sen rikastumista ravintoverkkoon. (OVA-ohje 2014.)

5.2 Vaihtoehtoiset kemikaalit

Tässä luvussa käsitellään aikaisemmin kvartsin ja maasälvän erotukseen käytettyjä ja testattuja kemikaaleja. On tehty vaahdotuskokeita ja tutkimuksia, joiden tarkoituksena on ollut määrittää sopivia kemikaaleja ja kokoojia pegmatiitissa olevien kiilteen, kvartsin sekä maasälvän erottamiseen. Näitä tutkimuksia ovat tehneet eri tutkimusryhmät eri maissa, mutta aina on päädytty samaan lopputulemaan, jossa fluorivetyhapon käytöllä on saatu aikaan parhaat tulokset varsinkin maasälvän kohdalla. Tässä luvussa

käsitellään näitä tutkimuksia sekä listataan kemikaaleja, joita niissä on testattu. Aikaisemmin testatut kokoojakemikaalit ovat nähtävissä liitteestä 6. Prosessina kyseisten mineraalien erottaminen toisistaan tehdään pääpiirteissään samalla tavalla. Se alkaa syötteen esikäsittelyllä ja päättyy vaahdotuksessa kennon pohjalle jääneeseen tuotteeseen, eli kvartsiin, joka lopuksi kerätään sieltä talteen ja puhdistetaan. Yksinkertaistettu prosessikaavio on esitettyä kuvassa 11.



KUVA 11. Yleinen prosessikaavio kvartsi-maasälvän vaahdotuksesta (mukaillen Heyes, Allan, Bruckard & Sparrow 2012, Review of flotation of feldspar 75.)

5.2.1 Serbialainen tutkimus

Vuonna 2003 Serbiassa tehdyssä tutkimuksessa tutkittiin kvartsin ja maasälvän erottamista toisistaan vaahdottamalla, ja sen päätarkoituksena oli löytää toimivia kokoojakemikaaleja sen suorittamiseksi. Tutkimuksen tekijät olivat Institute for Technology of Nuclear and Other Mineral Raw Material-nimisestä laitoksesta ja heitä oli neljä. He olivat nimeltään Z. Sekulic, N. Canic, Z. Bartulovic sekä A. Dakovic.

He tekivät tutkimustaan erilaisten kokoojakemikaalien soveltuvuudesta kvartsin, kiilteen sekä maasälvän erotukseen. He käyttivät tutkimuksissaan kahta erilaista raaka-ainetta, jotka olivat eri puolelta Serbiaa. Ne olivat nimeltään Bujanovac ja Ub. (Sekulic, Canic, Bartulovic & Dakovic 2003, 77–80.)

Kyseessä oli kationisten kokoojakemikaalien käyttö ja niiden soveltuvuuden selvittäminen kyseiseen erotukseen. Käytetyt kemikaalit olivat AERO 3030C, Flotigam DAT, AERO 825, Armoflote 64 sekä Armac C. Vaahdotuksessa käytetty pH säädettiin rikkihapon avulla. Käytetty pH-alue vaihteli välillä 2–4. (Sekulic ym. 2003, 77–80.)

Ennen kvartsin ja maasälvän vaahdotuskokeita erotettiin kiille. Sen erottamiseen käytettiin kemikaalina joko Armoflote 64:ta tai AERO 3030C:tä, koska molempien kokoojien kohdalla laatu ja saanti olivat tyydyttäviä. (Sekulic ym. 2003, 77–80.)

Maasälvän osalta tulokset osoittivat, että sen vaahdotuksessa toimi paremmin AERO 3030C kuin Flotigam DAT, koska AERO 3030C oli selvästi selektiivisempi ja sen vuoksi suurempi massaosuus maasälpää saatiin talteen. Erot olivat melko selkeät, sillä kun käytettiin AERO 3030C:tä, oli rikasteen massaprocentti maasälvälle 19.58 prosenttia, kun taas heikommin suoriutuneella kemikaalilla, Flotigam DAT, se oli vain 7.58 prosenttia. On kuitenkin huomioitavaa, että kumpaa vain kemikaalia vaahdotuksessa käytettiin, eivät kemialliset koostumukset maasälvän pitoisuudessa muuttuneet juuri lainkaan. (Sekulic ym. 2003, 77–80.)

Kvartsista erotettiin epäpuhtaudet vaahdottamalla. Senkin kohdalla Aero 3030C toimi paremmin kuin yhdistelmä Aero 825:tä ja Armac C:tä, koska käytettäessä Aero 3030C:tä saatiin korkealaatuisempaa kvartsihiekkää. Massaprocentit kyseisten kemikaalien käytön vaikutuksesta jätteessä eivät kvartsin kohdalla juurikaan eronneet toisistaan tuloksia vertailtaessa. Käytettäessä AERO 3030C:tä se oli 64.47 prosenttia, ja yhdistelmää AERO 825 + ARMAC C se oli 61.72 prosenttia. (Sekulic ym. 2003, 77–80.)

5.2.2 Turkkilainen tutkimus

Turkissa vuonna 2005 tehdyissä vaahdotuskoe-tutkimuksissa tutkittiin vaahdotuskemikaalien toimintaa. Käytännössä testattiin kokoojien toimintaa yksittäin sekä yhdistelminä vaahdotuksessa, jossa pyryttiin erottamaan kvartsi ja maasälpä toisistaan. Tarkoitus oli selvittää, miten niiden käyttö vaikuttaa

maasälvän pitoisuuteen. Tutkimuksen tekivät O. Bayat, V. Arslan sekä Y. Cebeci, joista kaksi ensimmäistä ovat Cucurova Universityn alaisuudessa ja viimeisin Cebeci Cumhuriyet Universityn palveluksessa. Kaikki kolme kuitenkin olivat kaivosinsinööri-osastolta. (Bayat, Arslan & Cebeci 2005, 98–101.)

Vaahdotuskokeet suoritettiin happamissa olosuhteissa, joten pH-arvona tässä vaahdotuksessa käytettiin 2.5–3.5, ja sitä säädeltiin käyttäen rikkihappoa. Näytteen raekokona oli -0.3 mm– +0.063 mm. Ensin poistettiin rauta ja titaani käyttäen kokoojakemikaaliseosta, joka koostui kolmesta eri kokoojasta, jotka olivat nimeltään AERO 3030C, AERO 801 ja AERO 825. Kaikkia näitä kemikaaleja annosteltiin yhtä paljon, tarkalleen ottaen 200 grammaa tonnia kohden. (Bayat ym. 2005, 98–101.)

Raaka-aineena käytettiin Kaltun Mining:in kiveä, joka oli peräisin Turkin Cinestä. Tutkimustulokset osoittivat, että yksittäin käytettyinä nämä kolme eri kokoojaa eivät olleet niin tehokkaita kuin niiden keskinäiset yhdistelmät. Yhdessä ne olivat paljon selektiivisempiä kuin yksinään, josta seurasi, että yhdistelmää käyttäen saatiin suurempi maasälvän saanti. Kuitenkaan kemiallisilta ominaisuuksiltaan maasälpärikaste ei muuttunut riippuen siitä, mitä kemikaalia käytettiin. Esimerkiksi yhdistelmän avulla saavutetun korkeimman kvartsipitoisuuden prosenttiosuus maasälpä rikasteessa oli 67.06 prosenttia. Maasälvistä eniten ilmaantui Al_2O_3 :ta sekä Na_2O :ta. (Bayat ym. 2005, 98–101.)

5.2.3 Tunisialainen tutkimus

Vuonna 2011 Tunisiassa tehdyssä tutkimuksessa kaksi tutkijaa M.E. Gaied ja W. Gallala totesivat, että fluorivetyhapon (HF) käyttö on edelleen tehokkain maasälvän ja kvartsin erotukseen, vaikkakin sen ympäristölliset- ja terveydelliset vaikutukset ovat harmillisia. He tutkivat mahdollisia vetyfluorivapaita erottamismahdollisuuksia kvartseille ja maasälvälle. Niitä testattiin kokeellisesti ja verrattiin käyttäen laskeettuja saantoja ja puhtauksia perinteisellä fluorihappoamiini vaahdotuksella saatuihin tuloksiin. (Gaied & Gallala 2011, 186–190.)

Testi vaihtoehtoisilla kemikaaleilla tehtiin seuraavasti. Ensin poistettiin tehokkaasti rauta- ja muut värikkäiset mineraalit rikasteesta käyttämällä maaöljysulfaattikokoojaa E526 annostukseltaan 200 grammaa tonnia rikastetta kohti. Rautaoksidin pitoisuus rikasteessa saatiin matalaksi. Toisessa vaiheessa erotettiin kvartsi-maasälpämineraalit. Se tehtiin happamissa olosuhteissa, pH:n ollessa välillä 2–3, käyttäen kationisia kokoojia. Vertailu pitoisuuksissa osoittaa, että kun käytettiin kationista kokoojaa AERO 3030C ja pH:n säätäjänä fluorivetyhappoa, oli maasälvän saanti rikasteessa 28.22 % ja kvartsin saanti jätteessä 67.22 prosenttia, ilmenee kuvasta 12. Kun valittiin käyttöön yhdistelmä kationisista- ja anionisista kokoojista, jotka olivat Cutusamine 9007 ja E526, rikkihapon toimiessa pH:n säätäjänä, olivat tulokset maasälvän vaahdotuksen selektiivisyyden suhteen kohtuullisia, ja kvartsin saannoksi jätteessä muodostui 60.92 % ja maasälvän saannoksi rikasteessa saatiin 26.07 prosenttia, kuten kuvassa 12 on nähtävissä. Kuitenkin tutkimus selvästi osoittaa, että perinteinen vaahdotus fluorivetyhappoa käyttäen on ylivoimaisesti selektiivisin ja tehokkain, selviää myös kuvasta 12. (Gaiied, ym. 2011, 186–190.)

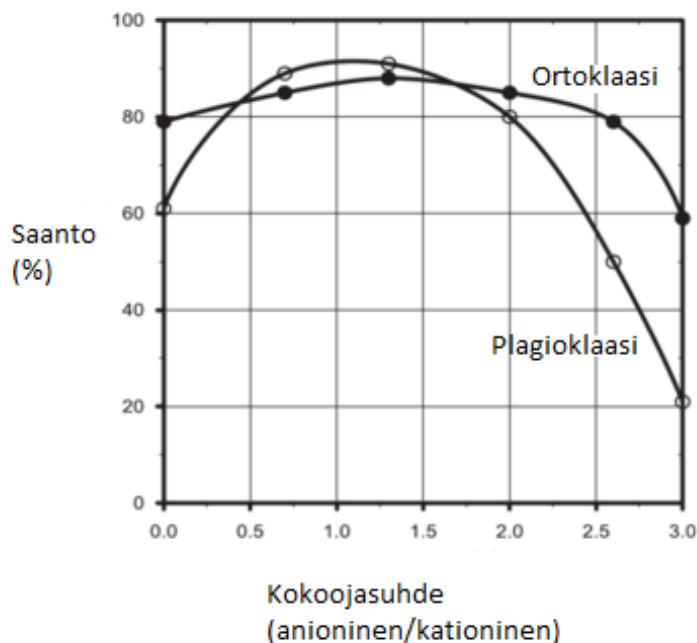
pH-säätäjä	Kokoojat	Vaahdotuksen tuotteet	Massa %
HF	AERO 3030C	Maasälpä (vaahto)	28.22
		Kvartsi (pohja)	67.22
H ₂ SO ₄	Cutusamine 9007 + E526	Maasälpä (vaahto)	26.07
		Kvartsi (pohja)	60.92

KUVA 12. Fluorivedyn ja rikkihapon, sekä kokoojien vaikutukset kvartsin ja maasälvän saantiin (mukaillen Gaiied ym. 2011.)

5.3 Kvartsin ja maasälvän erotukseen vaikuttavia ominaisuuksia ja kemikaaleja

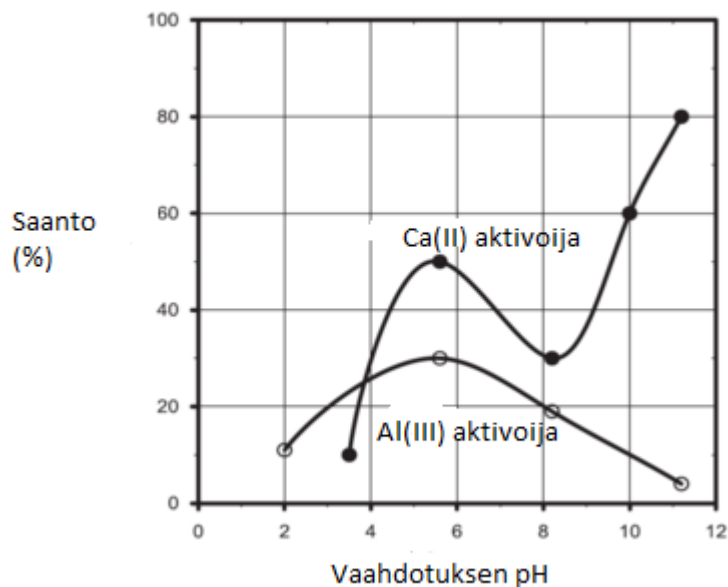
Kvartsin ja maasälvän erotukseen vaahdottamalla on pyritty löytämään useita muita kemikaaleja kuin fluorivetyhappo. On huomattu, että se on mahdollista käyttämällä anionisen ja kationisen kokoojien sekoitusta happamissa olosuhteissa, jolloin pH-arvo on likimäärin 2. Yksi mahdollisuus on käyttää alkyyli-trimetyleeni diamiini asetaattia yhdessä natrium maaöljysulfonaatin kanssa kokoojana ja happamat olosuhteet säädetään rikki- tai suolahapolla. Toinen sopiva kokooja maasälvän erotukseen ilman fluorivetyhappoa on Duomin TD6, karboksylaattisen anionisen ryhmän kanssa sulfonaatin sijasta. Tämä antoi hyvät erotustulokset. (Bulatovic 2015, 109.)

Amiinisen ja kationisen kokoojan moolisuhteella on selkeä vaikutus maasälvän vaahdotuksen onnistumiselle, kuten kuvassa 13 on nähtävissä. Moolisuhte vaikuttaa erilalla plagioklaasin ja ortoklaasin kohdalla vaahdotuksen saantiin. Näissä kokeissa käytettiin kationisina kokoojina kemikaaleja nimeltään Armac T ja natrium maaöljysulfonaatti. Optimaalinen anionisen ja kationisen kokoojan suhde on 0.5:1.0 plagioklaasin kohdalla ja ortoklaasin kohdalla 1.5. (Bulatovic 2015, 109.)



KUVA 13. Kokoojasuhteen vaikutus maasälvän vaahdotukseen (mukaiillen Bulatovic 2015, 109.)

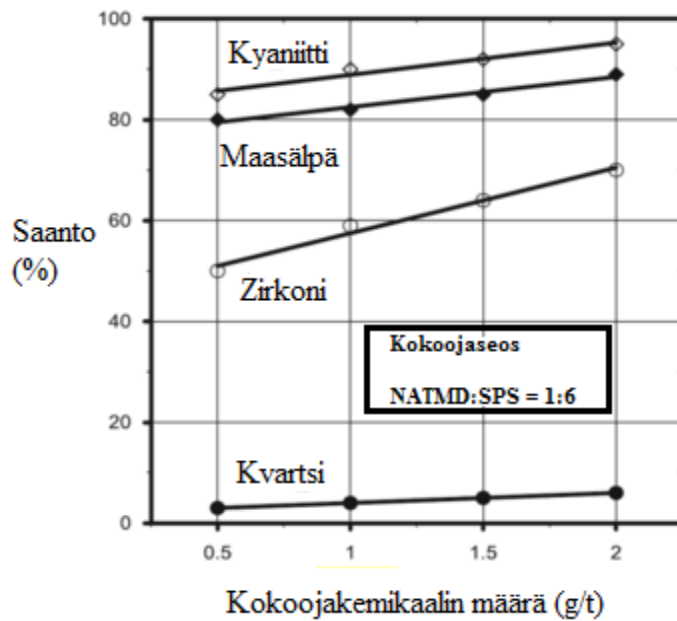
Toinen tapa maasälvän vaahdotuksessa käsittää kalsiumin ja alumiinin ionien käytön aktivoijina sulfonaattikokoojien läsnäollessa. Kokeellisessa osuoksissa käytettiin alkyylilentseeni natriumsulfonaattia. Aktivoijien vaikutukset pH:n funktiona albiitin vaahdotuksessa ovat esitetty kuvassa 14. Siitä on nähtävissä, että kalsiumin aktivointivaikutukset korostuvat selvästi verrattuna alumiiniin. Tämän seurauksena korkeampi kationikonsentraatio parantaa albiitti-saantia, selviää kuvasta 14. Voidaan päätellä, että plagioklaasi-ryhmän mineraalien vaahdotus ilman fluorivetyhappoa lisää suunnilleen albiitti-, labradoliitti- ja anortiittipitoisuuksia saman verran samoissa pH-olosuhteissa. Näiden mineraalien vaahdotettavuus kasvaa, kun niiden liukoisuutta parannetaan. (Bulatovic 2015, 110.)



KUVA 14. Albiitin aktivoituminen pH:n funktiona (mukaillen Bulatovic 2015, 110.)

Kiinalaisessa tutkimuksessa tehtiin vuonna 1998 kokeita maasälvän ja kyaniitin erottamiseksi kvartsista vaahdottamalla. Tällöin löydettiin uusi kokoojakemikaali. Uusi kokoojakemikaaliseos koostui kahdesta eri aineesta, jotka olivat nimeltään NATMD (N-alkyyli(trimetyleenidiamiini) ja SPS (Natrium maaöljysulfonaatti). Tätä kokoojaa testattiin useille eri raaka- aine hiekkänäytteille vaihdellen NATMD:n ja SPS:n suhteita toisiinsa nähden. Parhaimmat tulokset saatiin aikaan, kun käytettiin kokoojakemikaaliseoksen suhteena 1:6. Tämä tarkoittaa sitä, että 1 osa seoksesta on NATMD:tä ja 6 osaa seoksesta on SPS:ää. Kokoojankemikaalin seossuhteen vaikutukset kyaniitin ja maasälvän vaahdotukseen vaihtelivat

melko laaja-alaisesti ja niistä on piirretty graafiset esitykset luonnollisessa pH:ssa, jotka ovat esitettyinä kuvassa 15. (Bulatovic 2015, 111.)



KUVA 15. Kokoojakemikaalien seossuhteen (NATMD + SPS) vaikutukset kyaniitin ja maasälvän erotuksessa kvartsista vaahdottamalla (mukaillen Bulatovic 2015, 111.)

6 SIBELCO NORDIC OY AB KEMIÖN MAASÄLPÄLAITOKSEN PROSESSI

Kemiössä toimiva maasälpälaitos teki vesilain mukaisen vedenottolupahakemuksen 30.11.2006 ollessaan vielä nimeltään SP Minerals Oy Ab Länsi-Suomen ympäristölupavirastolle. Kyseessä ei niinkään ollut ympäristöllisten vaikutusten muuttuminen, vaan siinä korostettiin, että laajentamalla vedenottoa, saataisiin mineraalivaroille parhain mahdollinen saanti. Tärkeänä mainintana oli myös, että kaikki toiminta louhinnasta rikastukseen toteutetaan turvallisesti sekä taloudellisesti. (Länsi-Suomen ympäristölupavirasto 2007.)

Hakemuksessa on esitelty yrityksen tuotantoprosessi ja sen kapasiteetit sekä kuormittavuus louhinnasta lopputuotteisiin. Maasälpärikastamo on ympäri vuorokauden käynnissä. Louhittava malmi on pegmatiittia, joka sisältää kvartsi-maasälpää, ja sitä louhitaan rikastukseen tarvittava määrä raaka-aineeksi. Louhintaa tehdään pääosin Ala-Auloksen avolouhoksella, ja sen volyyymi on 60 000–140 000 tonnia vuodessa, ja sen yhteydessä saadaan myös sivukiveä noin 70 000 tonnia vuodessa. Louhinnan jälkeen pegmatiitti sekä sivukivi murskataan louhospaikalla siirrettävällä murskauslaitoksella. Ensin se esimurskataan leukamurskaimella, ja sen jälkeen mursketta jatko-murskataan karamurskaimin. Murskauslaitokseen kuuluvat myös seulonnat ja kuljetinlaitteistot. Pegmatiitti kuljetetaan kuorma-autoilla jatkojalostettavaksi maasälpälaitokselle ja sivukivi ajetaan joko satamaan tai suoraan hyödynnettäväksi muualle. (Lukkarinen & Insinööritieto Oy 1987, 152; Länsi-Suomen ympäristölupavirasto 2007.)

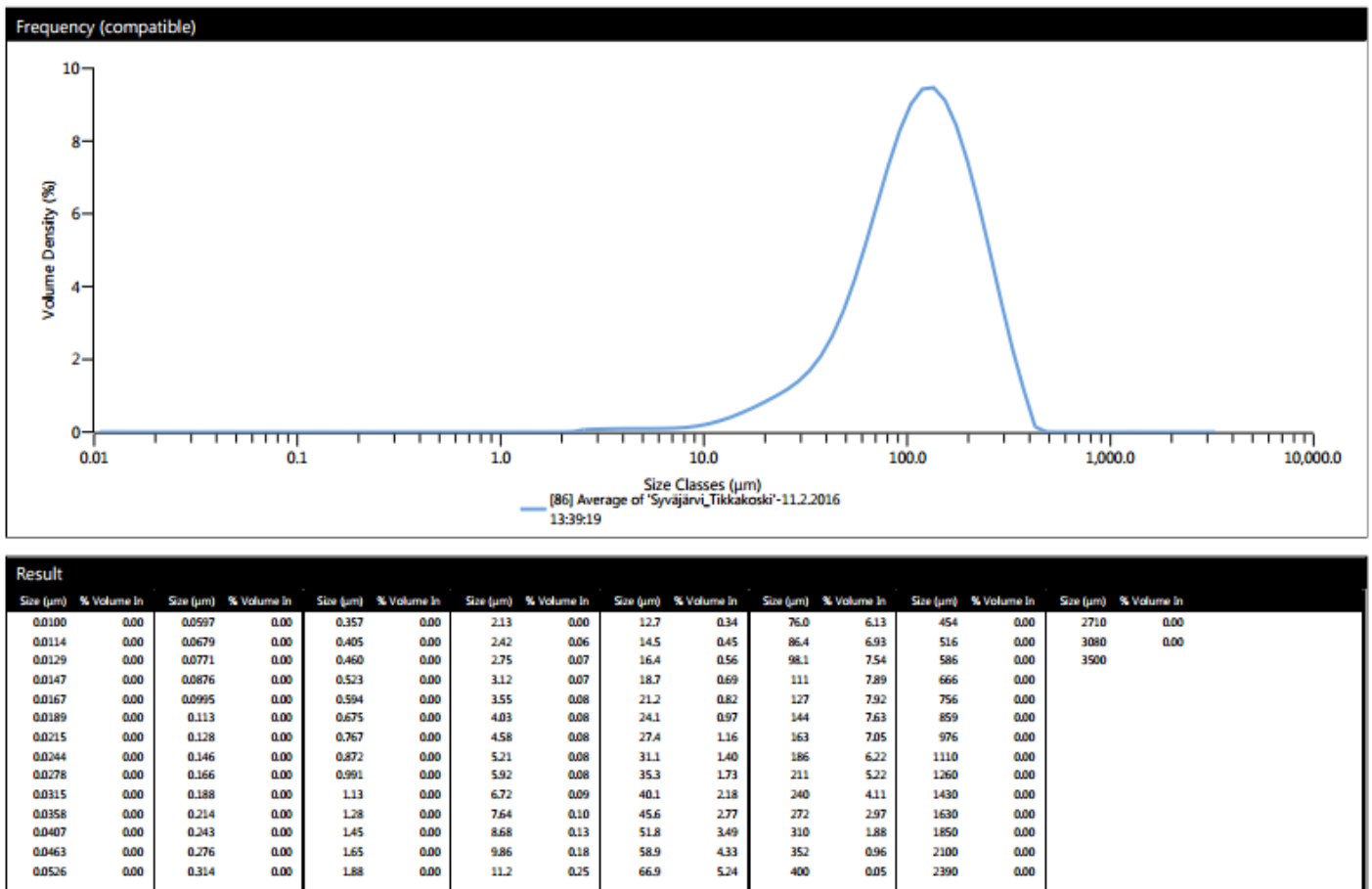
Maasälpälaitoksen rikastusprosessi käsittää vaahdotuksen, jossa fluorivetyhapon avulla erotetaan kvartsi ja maasälpä toisistaan kolmessa vaahdotusvaiheessa. Ennen vaahdotusta alueelle varastoitu malmi ajetaan välivarastosta aumaan, josta se siirretään tärysyöttimen ja hihnakuljettimien kautta tankomyllyyn hienonnettavaksi tarvittavaan raekokoon vaahdotusprosessia varten. Jauhituksen ja liejunpoiston jälkeen lisätään kemikaalit ensimmäistä vaahdotusvaihetta varten. Käytetään mäntyöljyä ja amiini-asetaatia. Ensimmäisessä vaahdotusvaiheessa kennon pintaan nousee kiille, joka poistetaan kokonaan. Toisessa vaiheessa käyttöön tulee fluorivetyhappo, jonka lisäyksen tarkoituksena on saada talteen maasälpä. Viimeisessä vaiheessa on jäljellä enää kvartsi, joka puhdistetaan. (Lukkarinen & Insinööritieto Oy 1987, 152; Länsi-Suomen ympäristölupavirasto 2007.)

Vaahdotuksesta saadut rikasteet suodatetaan ja siirretään rikastevarastoihin ja niiden kautta nestekaasutoimiseen kuivausrumpuun kuivattaviksi. Rikasteiden kuivauksen jälkeen tehdään seulonta, jonka tar-

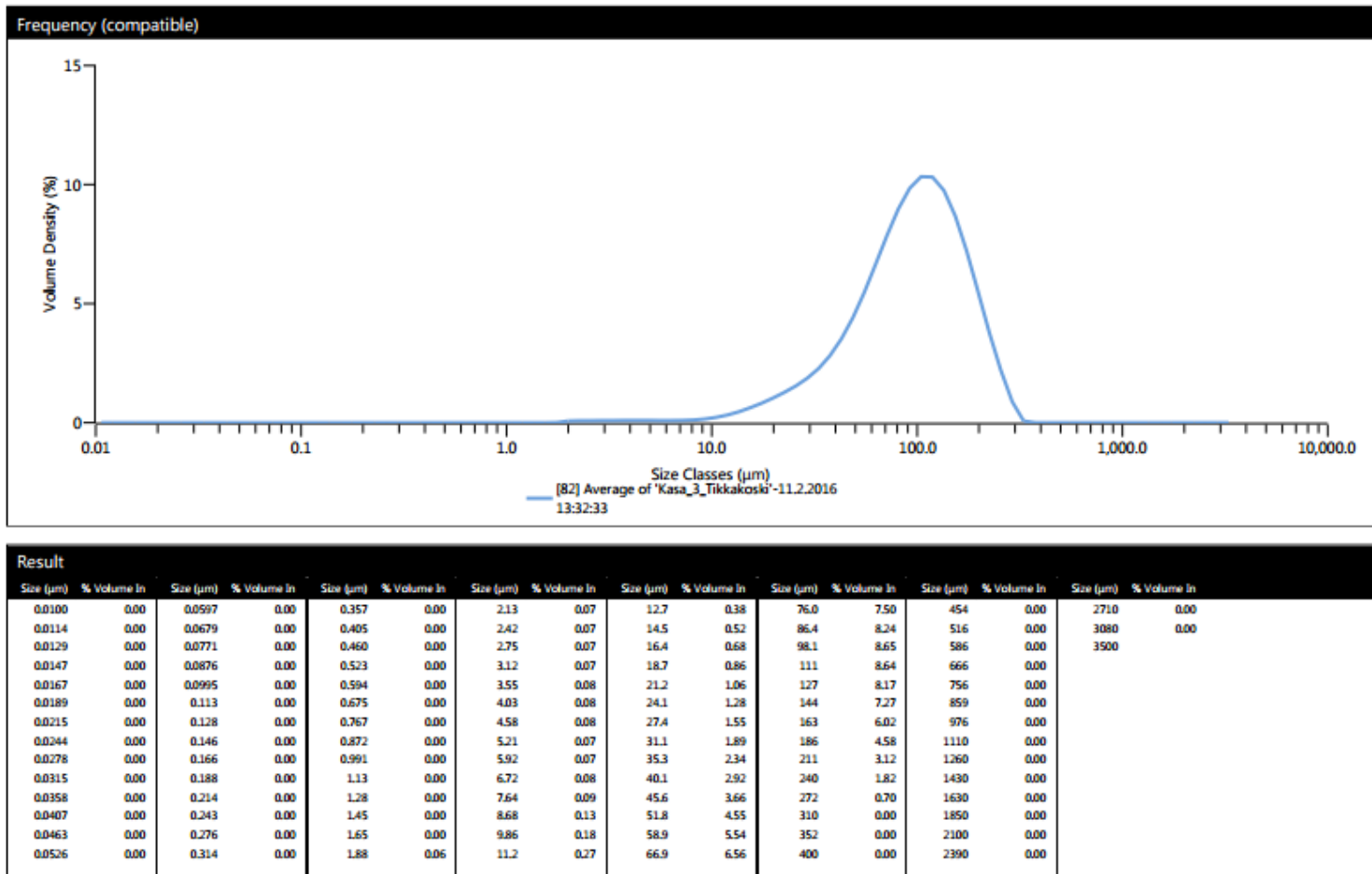
koituksena on poistaa viimeisetkin rippeet mahdollisista, ei-halutuista osasista rikasteissa. Prosessin viimeisessä vaiheessa valmistetut tuotteet jäädytetään, puhdistetaan vielä magneettierottimella ja varastoidaan lopputuotteille tarkoitettuihin varastosiiloihin asiakkaita varten. (Lukkarinen & Insinööritieto Oy 1987, 152; Länsi-Suomen ympäristölupavirasto 2007.)

7 KOESUUNNITELMA

Vaahdotuskokeet tullaan tekemään laboratoriomittakaavassa Denver-merkkisessä vaahdotuskennossa. Ennen vaahdotusta suoritetaan valmennus, joka tehdään samassa kennossa, ennen ilmahanan aukaisua. Raaka-aineina tullaan käyttämään kahta erilaista kvartsi-maasälpämalmia. Ne ovat peräisin Syväjärveltä sekä kasasta 3. Ne minulle toimitti GTK. Raaka-aineille tehtiin 11. helmikuuta partikkelikokoanalyysit punnitsemalla 1.5 gramman näytteet analysoitaviksi, joiden perusteella todettiin, että välijauhatuksia ennen varsinaisia vaahdotuksia ei tarvitse tehdä. Kuvista 16 ja 17 havaitaan, että molempien raaka-aineiden partikkelikoot ovat riittävän hienojakoisia suoritettavia vaahdotuskokeita ajatellen. Lisäksi tukena sille, ettei välijauhatuksia tarvitse tehdä on se, etteivät raaka-aineet hapetu. Partikkelikokoanalyysin tekivät Centria-ammattikorkeakoulussa Yliopistokeskus Chydeniuksen tutkijat.



KUVA 16. Syväjärven kvartsi-maasälpänäytteen partikkelikokoanalyysi



KUVA 17. Kasa 3:en eli Lätän kvartsi-maasälpänäytteen partikkelikokoanalyysi

Ennen vaahdotuskokeita tilattiin sopivat vaahdotuksen kokoojakemikaalit, jotka saatiin lopulta GTK Mintecin kautta. Vaahdotuskokeissani tullaan käyttämään viittä erilaista kokoojakemikaalia, jotka ovat nimeltään AERO 3030C, AERO 825, Armoflote 64, Armac C ja Armac T. Kokoojakemikaalit ovat kuvassa 18. Lisäksi kaikilla kemikaaleilla yksittäin tehtyjen kokeiden jälkeen tullaan suorittamaan kaksi yhdistelmäkoetta, joissa käytetään kahta kokoojakemikaalia, yhtä paljon AERO 3030C:tä sekä AERO 825:tä. Kokeita voidaan tarvittaessa tehdä lisää, mikäli vaahdotukseen käytettäviä raaka-aineita on riittävästi.



KUVA 18. Vaahdotuskokeissa käytettävät kokoojakemikaalit

Vaahdotuskokeet tullaan tekemään vakio-olosuhteissa. Vakioina tulevat olemaan raaka-aineen punnittu määrä vaahdotuskoetta varten, vaahdotuksessa käytettävän kokoojan määrä, rikkihapolla säädettävä pH, vaahdotuskennoon lisättävän veden määrä, vaahdoteaineen määrä, valmennusaika, mahdollisesti muodostuneen vaahdon keruaika kennon pinnalta sekä sekoittajan pyörimisnopeuden suuruus. Näin saadaan mahdollisimman vertailukelpoiset tulokset jokaisesta vaahdotuskokeesta. Kokeissani tulen tekemään 12 erilaista vaahdotuskoetta, 6 koetta molemmilla raaka-aineilla. Taulukossa 1 on nähtävissä alustava vaahdotuskoesuunnitelma tunnuksineen.

TAULUKKO 1. Vaahdotuskoesuunnitelma

Kokooja	Vaahdotus tunnus	Kokoojan määrä [g/t]	pH	Raaka-aine [g]	Valmennusaika [min]
AERO 3030C	A1	300 g/t	2,5	750 g	10 min
	B1	300 g/t	2,5	750 g	10 min
Armoflote 64	A2	300 g/t	2,5	750 g	10 min
	B2	300 g/t	2,5	750 g	10 min
Armac C	A3	300 g/t	2,5	750 g	10 min
	B3	300 g/t	2,5	750 g	10 min
Armac T	A4	300 g/t	2,5	750 g	10 min
	B4	300 g/t	2,5	750 g	10 min
AERO 825	A5	300 g/t	2,5	750 g	10 min
	B5	300 g/t	2,5	750 g	10 min
AERO 3030C + AERO 825	A6	(150+150) g/t	2,5	750 g	10 min
	B6	(150+150) g/t	2,5	750 g	10 min

Väljauhatusia ei tarvitse lainkaan tehdä, joten seuraava työvaihe on raaka-aineiden punnitus ja tarvittavien välineiden hankinta. Tarvittavia välineitä ovat automaattipipetti, astiat jätteelle sekä rikasteelle, imusuodatuspullo, lämpölevy, 24 kappaletta dekantterilaseja vaahdotuksen tuotteille sekä 36 kappaletta ilmatiiviitä näytepurkkeja rikastetta, jätettä sekä syötettä varten. Jokaista vaahdotuskoetta varten punnitsetaan 755 grammaa raaka-ainetta ilmatiiviiseen pussiin, koska otan ennen jokaista vaahdotusta 5 gramman näytteen syöttestä lopullisia näytteiden analysointeja varten. Tällöin vaahdotuskoetta kohti jää 750 grammaa raaka-ainetta. Lisäksi vaahdotuskokeiden seurauksena mahdollisesti syntyneestä rikasteesta sekä jätteestä tulen punnitsemaan 5 gramman näytteet. Yhteensä analysoitavia näytteitä on lopuksi siis 36 kappaletta, mikäli jokainen vaahdotuskoe antaa sekä rikastetta, että jätettä.

Itse vaahdotuskokeet tullaan suorittamaan Keski-Pohjanmaan aikuiskoulutuskeskuksen laboratorioissa, jossa vaahdotuskennoja on kaksi kappaletta. Kokeisiin mukaan tarvitaan raaka-aine, kokoojakemikaalit,

astiat jätteelle sekä rikasteelle, mutta muuten tarvittavat aineistot ovat laboratoriossa paikan päällä. Vaahdotus suoritetaan Denver-kennossa valmennuksineen. Valmennuksen kesto on 10 minuuttia ja se tehdään jokaisen kokeen kohdalla ennen ilmahanan aukaisua ja rikasteen eli kennon pinnalle nousevan vaahdonkeruuta. Valmennusta ennen kennoon kaadetaan 750 grammaa kvartsi-maasälpä raaka-ainetta ja lisätään vettä kennossa merkityn rajapinnan korkeuteen saakka. Sen jälkeen lasketaan sekoitin alas veivaamalla kennon kyljessä olevalla nosto/lasku-kahvalla. Sen jälkeen käynnistetään sekoitin virtapainikkeella ja aloitetaan itse valmennus.

Valmennuksen aikana säädetään pH:n arvoksi 2.5, joka pidetään jokaisessa vaahdotuskokeessa vakioarvona. Se säädetään käyttämällä 1 M rikkihappoa, joka on valmiina laboratoriossa. Koko valmennuksen ajan kennossa veden pinnan alapuolella on kalibroitu pH-mittari, jonka avulla seurataan luotettavasti pH:n kehitys ja säädetään se 2.5 suuruiseksi. Valmennukseen kuuluu lietteen sekoituksen lisäksi myös muiden kemikaalien lisäys. Näissä vaahdotuskokeissa tulen käyttämään kokoojakemikaalin annostuksena ainoastaan 300 grammaa tonnia kohti. Sen seurauksena kokoojakemikaalia tullaan lisäämään automaattipipetillä kennoon 0.225 millilitraa raaka-aineen määrän ollessa 750 grammaa, joka on suhteutettuna taulukossa 2. Kahden viimeisen suunnitellun vaahdotuskokeen kohdalla tullaan käyttämään kokoojaan annosteluna puolet aikaisemmista eli 0.1125 grammaa, joka on myös laskettuna taulukossa 2. Mikäli kokoojakemikaalin koostumus on kiinteä, liuotetaan se veteen siten, että punnitaan 0.225 grammaa sitä dekantterilasiin ja lisätään siihen ionivaihdettua vettä. Liuos joudutaan mahdollisesti lämmittää lämpölevyn päällä, jolloin saadaan varmistettua sen liukeneminen vaahdotuskoetta varten. Valmennuksen aikana kokoojakemikaali lisätään kennoon. Vaahdoteaineena käytetään näissä vaahdotuskokeissa ainetta nimeltään Aerofloat 211 ja sitä lisätään valmennuksen aikana 2 tippaa kutakin koetta kohti. Tärkeintä valmennuksen aikana on jatkuvasti muistaa seurata pH:n kehitystä ja pitää se mahdollisimman lähellä arvoa 2.5. Koko vaahdotuskokeen ajan sekoittaja tulee pyörimään nopeudella 1200 kierrosta minuutissa.

TAULUKKO 2. Kokoojien vaahdotuskokeissa käytettävä annostelu

Kokoojakemikaalien annostelun suhteutus					
300 g/t --> vastaava määrä 750 grammalle raaka-ainetta					
Vaahdotuskokeille A1 - B5 annostelumääräksi:					
$(0,750 \text{ kg} / 1000 \text{ kg}) * 300 \text{ g}$					
=	0,225 g	=	0,225 ml	=	225 µl
Puoliteaan määrä kahteen viimeiseen vaahdotuskokeeseen A6 ja B6					
Tällöin kokoojan annostelumääräksi:					
$0,225 \text{ g} / 2$					
=	0,1125 g	=	0,1125 ml	=	112,5 µl

Vaahdotuskoe käsittää siis valmennuksen sekä rikasteen keruun. Kun 10 minuutin valmennus on suoritettu, otetaan pH-mittari pois kennosta ja avataan ilmahana, joka sijaitsee sekoittajassa. Ennen tätä tulee varmistaa, että rikasteen keruuaastia on asetettu paikoilleen, ja sen jälkeen aloitetaan neljän minuutin mittainen vaahdon keruu, jota jatketaan vähintään niin kauan, kunnes vaahtoa ei enää tule tai se muuttuu kupliltaan kirkkaan väriseksi, jolloin siihen ei ole sitoutuneena rikastettavaa mineraalia lainkaan, joka tässä tapauksessa tulee olemaan todennäköisimmin maasälpää. Kaikki vaahdon keruun aikana tapahtuvat ilmiöt kirjataan ylös muistiinpanoiksi. Tällaisia ilmiöitä voivat olla kuplien koko ja tiheys, vaahdon väri ja paksuus, kuplien muoto, vaahdossa tapahtuvat muut ilmiöt sekä aika kuinka kauan rikastetta sisältävää vaahtoa nousee kennon pinnalle. Kun vakiona pidettävä rikasteen keruaika on päättynyt tai rikastetta ei enää nouse kennon pinnalle, sammutetaan vaahdotuskenno, nostetaan sekoitin ylös ja pestään rikaste sekä jäte omiin astioihinsa tulevaa imusuodatusta varten.

Talteen otettu rikaste sekä jäte kannetaan vaahdotuslaboratoriosta imusuodatusta varten Centria-ammattikorkeakoulun kemian laboratorioon. Siellä on valmiiksi vetokaappiin ennen vaahdotuksia rakennettu imusuodatuslaitteisto, joka toimii vesipaineella. Laitteisto koostuu imupullostasta, suppilosta, vesiletkusta sekä suodatinpaperista, jonka pinnalle jäte tai rikaste suodatuu. Vaahdotuksen tuotteista suodatetaan yksitellen neste imupulloon ja se kaadetaan pois. Tulee olla tarkkana, ettei kiinteää tuotetta pääse läpi

imupulloon, jolloin kerättävää lopputuotetta katoaisi viemäriin. Mikäli kiintoainetta pääsee imupulloon, on syytä vaihtaa suodatinpaperi ja suodattaa imupullossa oleva suodosneste uudelleen. Imupaperille jääneet kiintoaineet eli rikaste ja jäte, laitetaan punnittuihin dekanterilaseihin kuivumaan kuivausuuniin reilun vuorokauden ajaksi.

Kuivauksen jälkeen rikaste ja jäte otetaan kuivausuunista ulos ja annetaan jäähtyä hetkinen. Lisäksi on varmistettava, ettei kiintoaineessa näy enää nestettä, koska se väärentäisi punnitustuloksia. Toisistaan erotetut rikaste ja jäte punnitaan Centria-ammattikorkeakoulun prosessilaboratoriossa, ja punnitusta tuloksesta vähennetään molempien kohdalla dekanterilasin massa. Punnituksen ja massojen kirjauksen jälkeen voidaan laskea kuinka paljon alkuperäisestä raaka-aineen massasta on jäljellä. Sen jälkeen punnitaan 5 gramman näytteet sekä rikasteesta että jätteestä. Tätä opinnäytetyötä tulee jatkamaan toinen oppilas, joten rikasteet ja jätteet pakataan ilmatiiviisti jatkokäsittelyä ajatellen häntä varten. Saadut näytteet niin rikasteesta, jätteestä kuin syötteestä lähetetään Keliber Oy:n toimitusjohtaja Olle Sirénin järjestämään laboratorioon analysoitaviksi Kuopioon. Analyysin tekee yritys nimeltä Labtium Oy.

8 KOKEIDEN SUORITTAMINEN

Vaahdotuskokeiden tekeminen alkoi 2.3 ja niitä suoritettiin suunnitelmien mukaan 12 kappaletta. Viimeinen vaahdotuskoe tehtiin 10.3 ja lopulliset kaikki 36 näytettä olivat valmiina analysoitaviksi 11.3, jolloin ne myös pakattiin ja postitettiin Labtium Oy:lle Kuopioon. Vaahdotuskokeet sujuivat suunnitelmien mukaan ja jokaisessa kokeessa saatiin syntymään vaahtoa, joka tarkoittaa, että jotain vaahdotuksessa on erottunut toisistaan. Suurimmassa osassa vaahdotuksia saatiin huomattavasti suurempi määrä rikastetta kuin jätettä. Ainoastaan käytettäessä yksittäin kemikaalia AERO 825 syntyi rikastetta vähemmän kuin jätettä. Kokeet suoritettiin siten, että ensin testattiin kutakin viittä eri kokoojakemikaalia yksittäin molemmille raaka-aineille. Tässä käytettiin kokoojan annostuksena suunniteltua määrää, joka oli 300 grammaa tuhatta kiloa kohti. Vaahdotuskokeet suoritettiin Centria-ammattikorkeakoulun ja Keski-Pohjanmaan aikuiskoulutuskeskuksen laboratoriotiloissa. Varsinainen vaahdotus tehtiin Keski-Pohjanmaan aikuiskoulutuskeskuksen laboratoriossa ja muu työ Centria-ammattikorkeakoululla.

8.1 Esivalmistelut

Kokeiden suorittaminen ja valmistelu alkoi jo koesuunnitelmassa esiin tulleilla partikkelikokoanalyysillä, joiden perusteella ennen vaahdotusta ei tarvinnut tehdä välijauhatuksia lainkaan. Lähetetyt raaka-aineet tulivat kahdessa ilmatiiviissä pussissa ja ne olivat partikkelikokoanalyysin jälkeen valmiita punnitaviksi vaahdotuskokeita varten. Ennen raaka-aineiden punnitsemista päätin selvyyden vuoksi tehdä merkinnät eri raaka-aineille. Syväjärven raaka-ainetta merkkasin tunnuskirjaimella, A. Tunnuskirjaimen B sai Kasa 3 eli Längän malmi. Tunnusten perusteella oli helppo seurata vaahdotuskokeiden edistymistä ja tehdä tarvittavat muistiinpanot jokaisen kokeen kohdalla. Lisäksi näytteiden ottaminen jokaisen vaahdotuskokeen kohdalla muodostui järkeväksi, kun niitä kyettiin merkkamaan omilla tunnuksillaan. Punnitukset tehtiin Centria-ammattikorkeakoulun prosessilaboratorion vaa`alla siten, että jokaista vaahdotuskoetta varten punnittiin 755 grammaa vaahdotuskokeen syötteenä käytettävää raaka-ainetta, kuten kuvassa 19 näkyy. Vaahdotukseen tästä määrästä jäi 750 grammaa, koska raaka-aineesta 5 grammaa kului ennen vaahdotuskoetta otettuun näytteeseen jokaisen vaahdotuskokeen kohdalla. Punnituksia tehtiin yhteensä 12 kappaletta siten, että molemmista raaka-aineista punnittiin 6 kappaletta 755 gramman erä ilmatiiviisiin muovivalmisteisiin pusseihin.



KUVA 19. Raaka-aineen punnitus vaahdotuskokeita varten

8.1.1 Tarvittavat työvälineet

Itse vaahdotuskokeisiin, jotka suoritettiin Keski-Pohjanmaan aikuiskoulutuslaboratoriossa, otettiin mukaan Centria-ammattikorkeakoululta tarvittavat välineet. Niitä olivat muoviset astiat sekä jätteelle että rikasteelle, kokoojakemikaali, 750 grammaa syötteenä käytettävää raaka-ainetta, muistiinpanovälineet, suoja-asut sekä automaattipipetti. Osa näistä välineistä on esitetty kuvassa 20. Automaattipipetin tuli olla tarkkuudeltaan soveltuva kokoojakemikaalin annostelua varten, jonka määräksi oli laskettu 0.225 ml eli 225 μ l. Siksi valittiin automaattipipetti, jonka tarkkuus oli 100–1000 μ l. Vaahdottamaan kuljettiin jalan välineistö mukana kantaen. Paluumatkalla muoviasioissa kannettiin jäte ja rikaste takaisin Centria-ammattikorkeakoululle.



KUVA 20. Vaahdotuskokeissa tarvittavaa välineistöä

8.1.2 Kokoojien valmistelu

Kokoojakemikaaleja oli testattavana yhteensä 5 kappaletta. Kaikkia käytettiin annoskooltaan 300 grammaa tonnia kohti. Kolmen kokoojakemikaalin koostumus huoneenlämmössä säilytyspurkeissa ollessaan oli kiinteä, joten ennen vaahdotusta jouduttiin punnitsemaan 0.225 grammaa kiinteää kokoojakemikaalia pieneen lasiastiaan ja lisäämään sinne ionivaihdettua vettä, jotta saatiin liuos aikaan. Jokaista liuosta jouduttiin lämmittämään lämpölevyn päällä vetokaapissa niin kauan, että kaikki kiinteä kokoojakemikaali oli liunneena astiassa, joka näkyy selvästi kuvasta 21. Kiinteinä esiintyneet kokoojakemikaalit olivat Armac C, Armac T ja AERO 825. Näistä aikaa eniten kului AERO 825-liuoksen valmistukseen, koska sen vesiliukoisuus oli heikkoa. Se ilmoitettiin myös AERO 825:n käyttöturvallisuustiedotteessa. Armac C ja Armac T liukenivat hyvin veteen. Yhteensä siis kokoojakemikaaliliuoksia täytyi valmistaa 6 kappaletta, koska jokaista viittä kokoojakemikaalia testattiin yksittäin kahdelle eri raaka-aineelle. Kahdessa viimeisessä vaahdotuskokeessa käytettiin jälleen AERO 825-kemikaalia, mutta vain 0.1125 grammaa tonnia kohti, koska toisena kokoojana käytettiin valmiiksi pipetoitavana liuoksena ollutta AERO 3030C-kemikaalia. Lopulta siis yhteensä kahdeksaa vaahdotuskoetta varten oli valmistettava kokoojakemikaalista erikseen liuos. Lisäksi testattiin kiteytyvätkö liuotetut kokoojakemikaalit huoneenlämmössä ollessaan ja huomattiin, että ne pysyvät veteen liunneina.



KUVA 21. Kokoojakemikaalin liuottaminen sekä annostelut

8.2 Koevaahdotukset

Vaahdotuskokeet tehtiin 2 litran Denver-vaahdotuskennossa, jossa samalla saatiin suoritettua valmennus. Kuvassa 22 näkyy näissä vaahdotuskokeissa käytetty vaahdotuskenno. Vaahdotuskokeita tehtiin yhteensä 12 kappaletta ja ne sujuivat mallikkaasti. Kaikkien kokeiden kohdalla käytettiin vakioarvoina kokoojien annostelua, sekoittajan pyörimisnopeutena 1200 kierrosta minuutissa, valmennusaikana 10 minuuttia ilmahana kiinni, vaahdon keruaikana 4 minuuttia ilmahana auki, vaahdoteaineen määränä 2 tippaa sekä pH pidettiin happamana. Se oli kaikissa vaahdotuskokeissa suuruudeltaan 2.5. Tässä osiossa kerrotaan ja kuvaillaan jokaista vaahdotuskoetta erikseen.



KUVA 22. Vaahdotuskokeissa käytetty Denver-kenno

Vaahdotuskokeet tehtiin siten, että jokaisesta vaahdotuskokeesta kirjattiin ylös kaikki vakioina käytetyt arvot sekä silmämääräisesti tehdyt havainnot vaahdon muodosta, väristä ja kuplien koosta. Lisäksi kaikki muut arvioitavat suureet kuten poikkeava vaahdon keruu-aika merkattiin ylös, mikäli sellaista ilmeni.

Ensimmäiset kokeet A1 ja B1 tehtiin käyttäen kokoojaa AERO 3030C. Kokeissa käytettiin pH-arvona 2.5 ja valmennusaikana 10 minuuttia. Valmennuksen aikana lisättiin kaikki tarvittavat kemikaalit, kuten kokooja ja vaahdoteaine. Koko valmennuksen ajan säädettiin kalibroituja pH-mittaria hyödyntäen rikkihapolla lietettä happamaksi, kuten kuvassa 23 näkyy. AERO 3030C-kemikaali oli valmiiksi liuosmuodossa, joten sitä annosteltiin molemmissa vaahdotuskokeissa kennoon 0.225 ml automaattipipetillä. Taulukossa 4 on tarkemmin kuvailtuna vaahdotuskokeiden A1 ja B1 aikana ilmenneitä tapahtumia.

Vaahdon keruaikana oli 4 minuuttia, mikäli vaahtoa muodostui niin kauan. Tätä kokoojaa käytettäessä kennon pintaan nousi rikastevaahtoa koko tämän ajan.



KUVA 23. Lietteen pH:n säädössä käytetty kalibroitu pH-mittari

Toisena tehdyissä vaahdotuskokeissa käytettiin kokoojakemikaalia nimeltään Armoflote 64. Kuten kaikissa tehdyissä vaahdotuskokeissa, myös tässä käytettiin pH-arvoa 2.5 ja valmennusaikana 10 minuuttia. Kokeita merkattiin tunnuksilla A2 ja B2. Armoflote 64 kokoojakemikaali oli liuosmuodossa valmiiksi kuten kokeissa A1 ja B1 käytetty AERO 3030C. Täten kokoojakemikaalin lisäys tehtiin jälleen automaattipipetillä, määrältään 225 μ l. Näissäkin vaahdotuskokeissa rikastevaahtoa nousi kennon pintaan koko vaahdon keruajan. Vaahto oli väriltään vaaleanharmaata, ilmenee kuvasta 24. Jätteen määrään verrattuna tiheää rikastevaahtoa saatiin moninkertainen määrä. Muita vaahdotuskokeiden A2 ja B2 aikana tehtyjä havaintoja on esitettyinä taulukossa 4. Eroja vaahdotuskokeissa A2 ja B2 verrattaessa toisiinsa ilmeni vaahdon koostumuksessa, joka oli kokeessa A2 puuromainen ja B2 moussemainen.



KUVA 24. Vaahdotuskokeiden A2 ja B2 vaaleanharmaa rikastevaahto

Vaahdotuskokeissa A3 ja B3 käytettiin kokoojakemikaalia Armac C. Tämä kokoojakemikaali oli kiinteässä olomuodossa, joten siitä jouduttiin tekemään liuos. Tämä tehtiin punnitsemalla 0.225 grammaa kiinteää kokoojaa dekanterilasiin ja lisäämällä sinne tislattua vettä. Liuosta jouduttiin lämmittämään lämpölevyllä vetokaapissa 10 minuutin ajan. Muuten nämäkin vaahdotuskokeet tehtiin käyttäen samoja vakio-olosuhteita ja kemikaalien määriä. Kokoojakemikaali kaadettiin valmennyksen aikana suoraan kennoon. Etenkin kokeessa B2 saatiin runsaasti rikastevaahtoa, kuten kuvasta 25 näkyy. Kerätty vaahto oli melko jäykkää. Erona kokeiden A3 ja B3 välillä oli niiden vaahton muodostumisaika. Kokeessa A3 se oli 3 minuuttia, kun kokeessa B3 vain 2 minuuttia. Lisäksi kokeen B3 vaahto oli tähän saakka jäykintä. Lisää tehtyjä huomioita on esitetty taulukossa 4.



KUVA 25. Kokeessa B3 syntynyttä harmaata rikastevaahtoa

Neljännet vaahdotuskokeet A4 ja B4 tehtiin käyttämällä kokoojana kemikaalia nimeltään Armac T. Sen olomuoto oli myös kiinteä, joten aivan kuten kokoojan Armac C kohdalla, jouduttiin sitä punnitsemaan 0.225 grammaa ja liuottamaan se lämpölevyn avulla ionivaihdettuun veteen. Täydellisen liuotuksen kesto oli jälleen noin 10 minuuttia. Kaikki kokeellinen toiminta oli jälleen aikaisempien vaahdotuskokeiden toistoa. Erona kokeiden A4 ja B4 välillä olivat rikastevaahdon väri, joka kokeessa A4 oli kimaltelevan harmaa ja kokeessa B4 tumman harmaa, joka näkyy kuvassa 26. Lisäksi erikoisena huomiona oli, että kokeen B4 kohdalla vaahtoa nousi kennon pintaan niin paljon, että kun keruuta oli takana 2.5 minuuttia, näkyi kennosta veden pinta, mikä on huomattavissa kuvasta 26. Enemmän huomioita kokeista A4 ja B4 löytyy taulukosta 4.



KUVA 26. Kokeessa B4 syntynyt tummanharmaa rikastevaahto ja vaahdotuksen aikana näkyviin ilmestynyt kennon veden pinta

Vaahdotuskokeet A5 ja B5 tehtiin käyttäen kokoojana kemikaalia AERO 825. Se oli olomuodoltaan kiinteän liisterimäinen, joten jälleen jouduttiin punnitsemaan sitä 0.225 grammaa ja liuottamaan se lämpölevyllä ionivaihdettuun veteen. Huomionarvoista on kuitenkin, että AERO 825 oli vain hieman vesiliukoinen, kun taas vertauksen vuoksi voidaan mainita Armac C ja Armac T, jotka liukenivat helposti veteen. Kokeissa A5 ja B5 jouduttiin liuottamaan kokoojakemikaali-liuosta lähes 30 minuuttia. Muuten kokeellinen osuus vaahdotusten osalta sujui jo rutinoituneesti samoin menettelyin kuin jo kahdeksassa aiemmassakin kokeessa.

Kokeissa suurimpana erona kokonaisuutena muihin aikaisempiin verrattuna oli se, että rikastetta nousi kennon pintaan vain 1.5 minuuttia, jonka seurauksena sen määrä verrattuna jätteen määrän, jäi melko pieneksi. Muissa vaahdotuskokeissahan rikastetta syntyi huomattavasti enemmän kuin jätettä. Toinen huomattava ero sekä rikasteessa että jätteessä verrattuna aikaisempiin vaahdotuskokeisiin A1–B4 oli, että keräysastioissaan molemmat talteen otetut tuotteet hajosivat nopeasti nestemäisiksi. Pinnalla siis oli vaahdon sijasta nestemäinen kerros. Kokeessa A5 kennon pintaan noussut rikastevaahto oli väriltään harmaanruskehtava, kuten kuvasta 27 nähdään. Kokeessa B5 vaahto oli vaaleaa ja lähes pesuainemaista, kuten näkyy kuvasta 27. Tarkemmin kokeiden A5 ja B5 aikana tehtyjä havaintoja on havainnollistettuna taulukossa 4.



KUVA 27. Vaahdotuskokeissa A5 ja B5 tehtyjä näköhavaintoja

Viimeiset vaahdotuskokeet tehtiin kahden kokoojakemikaalin yhdistelmällä. Käytetyt kokoojakemikaalit olivat ensimmäisissä vaahdotuskokeissa A1 ja B1 yksittäin testattu AERO 3030C sekä kokeissa A5 ja B5 kokeiltu AERO 825. Kokeita merkattiin tunnuksilla A6 ja B6. Tässäkin koesarjassa yhteisannostuksena käytettiin 300 grammaa tonnia kohti, mutta molempia kokoojia lisättiin erikseen kennoon 150 grammaa tonnia kohti. Käytännössä tämä tarkoitti, että molempia kokoojia lisättiin kennoon 0.1125 grammaa, mutta valmiiksi nestemäisen olomuotonsa vuoksi, kokooja AERO 3030C pystyttiin annostelemaan suoraan automaattipipetillä ja sen määränä käytettiin tarkinta mahdollista määrää, minkä kyseisillä automaattipipeteillä kykeni mittaamaan. Sen määrä oli tässä tapauksessa 113 μ l.

Kokooja AERO 825 jouduttiin jälleen liuottamaan ionivaihdettuun veteen lämpölevyn päällä ja sitä punnittiin 0.1125 grammaa liuotusta varten. Itse vaahdotuskokeiden suhteen meneteltiin täysin samalla tavalla kuin aikaisemmissakin kokeissa. Valmennuksen ja muiden osalta pidettiin jälleen samat määräajat. Vaahtoa tuli runsaasti ja huomattava ero aikaisempiin vaahdotuskokeisiin oli jätteen vähäinen määrä. Rikastevaahto oli myös huomattavasti jäykempää eli tiheämpää kuin aikaisemmissa kokeissa, mutta lisäksi sitä oli hankala kerätä sen vuoksi, ettei rikastevaahdossa esiintynyt harmaa väri erottunut kennon pinnalta kovin hyvin. Tämän huomaa kuvasta 28. Tarkemmin kokeiden A6 ja B6 huomioista myös taulukossa 4.



KUVA 28. Kokeiden A6 ja B6 vaahdonkeruun aikana syntynyt harmaa ja jäykkä vaahto

Taulukossa 3 on kirjattuna jokaisen 12 vaahdotuskokeen tunnus, kokoojan nimi ja määrä, koemittakaavaan suhteutettu käytetyn kokoojan määrä sekä käytetty pH. Vaahdotuskokeissa tehdyt havainnot ovat taulukossa 4. Tunnukset on merkattu siten, että Syväjärven raaka-aineelle tunnuskirjain on A ja Kasa 3:lle tunnuskirjain on B. Ensimmäiset kokeet tehtiin kokoojakemikaalilla AERO 3030C. Seuraavaksi kokoojia testattiin luetellussa järjestyksessä: Armoflote 64, Armac C, Armac T ja AERO 825. Viimeiseksi kokeiltiin kokoojakemikaalien yhdistelmää. Yhdistelmässä kokoojakemikaaleina olivat AERO 3030C ja AERO 825. Ensimmäiset vaahdotukset merkattiin tunnuksilla A1 ja B1. Viimeiset vaahdotuskokeet tunnuksilla A6 ja B6. Kaikkiaan vaahdotuskokeita tehtiin 12 kappaletta, ja tuloksissa ne ovat merkittyinä välillä A1–B6.

TAULUKKO 3. Suoritettujen vaahdotuskokeiden tunnusmerkit

Kokooja	Vaahdotus tunnus	Kokoojan määrä [g/t]	Vaahdotuskokeiden kokooja-annostelu [g], [ml] tai [µl]			pH
AERO 3030C	A1	300 g/t	0,225 ml	=	225 µl	2,5
	B1	300 g/t	0,225 ml	=	225 µl	2,5
Armoflote 64	A2	300 g/t	0,225 ml	=	225 µl	2,5
	B2	300 g/t	0,225 ml	=	225 µl	2,5
Armac C	A3	300 g/t	0,225 ml	=	225 µl	2,5
	B3	300 g/t	0,225 ml	=	225 µl	2,5
Armac T	A4	300 g/t	0,225 ml	=	225 µl	2,5
	B4	300 g/t	0,225 ml	=	225 µl	2,5
AERO 825	A5	300 g/t	0,225 ml	=	225 µl	2,5
	B5	300 g/t	0,225 ml	=	225 µl	2,5
AERO 3030C + AERO 825	A6	(150+150) g/t	0,1125 ml	=	112,5 µl	2,5
	B6	(150+150) g/t	0,1125 ml	=	112,5 µl	2,5

TAULUKKO 4. Vaahdotuskokeiden aikana tehtyjä havaintoja

Kokooja	Vaahdotus tunnus	Havainnot
AERO 3030C	A1	Kuplat pieniä ja tiheässä. Pyöreitä muodoltaan. Vaahdotus väriltään vaalean harmaata ja sitä syntyi 4 minuutin ajan.
	B1	Kuplat pieniä ja tiheässä. Pyöreitä muodoltaan. Kermavaahtomainen vaalean harmaa vaahdotus. Vaahdotus 4 minuuttia kestästi.
Armoflote 64	A2	Puuromainen paksu vaahdotus. Kuplat pieniä. Vaalean harmaa vaahdotus, jota muodostui 4 minuuttia.
	B2	Pieniä kuplia erittäin tiheästi. Moussemainen koostumus vaahdotus. 4 minuuttia kestästi vaalean harmaata vaahdotusta.
Armac C	A3	Keskikokoisia kuplia, osa kirkkaita. Tähän asti eniten vaahdotusta, mutta 3 minuutin ajan. Vaahdotus väriltään vaalean harmaa.
	B3	Kuplat keskikokoisia ja vaahdotusta muodostui kahden minuutin ajan. Vaahdotus harmaata ja huomattavasti jäykempää kuin aikaisemmissa vaahdotuskokeissa.
Armac T	A4	Vaahdotus väriltään kimaltelevan harmaa ja moussemainen. Kuplat kooltaan suurimpia tähän asti. Vaahdotusta muodostui 2 minuutin ajan.
	B4	Vaahdotusta muodostui 3 minuutin ajan ja keräyksen jälkeen näkyi kirkkaina veden pinta. Tumman harmaa moussemainen vaahdotus. Kuplat olivat kooltaan suuria.
AERO 825	A5	Kuplat kooltaan suuria ja kevyitä. Vaahdotus harmaanruskehtava. Vaahdotusta muodostui vain reilu minuutin ajan ja rikastetta vähiten tähän saakka. Vaahdotus hajosi keruustasiassa huomattavan nopeasti.
	B5	Pesuainemainen vaalea vaahdotus. Kuplien koko vaihteli pienistä suurisiin. Vaahdotusta muodostui 1.5 minuutin ajan, kunnes kuplat kirkkaita. Keruustasiassa vaahdotus hajosi nopeasti, pinnalla neste.
AERO 3030C + AERO 825	A6	Vaahdotus jäykkää ja harmaata. Kuplat pieniä ja keskikokoisia. 1.5 minuutin aikana kestästi kaikki vaahdotus, veden pinta alkoi näkyä. Merkittävästi suurin määrä rikastetta tähän asti.
	B6	Erittäin jäykkää harmaa vaahdotus, kuitenkin hieman vaaleampi kuin kokeessa A6. Lisäksi edeltävää koetta hitaampi vaahdotus. Vaahdotusta 2 minuuttia. Kuplat pieniä ja keskikokoisia vaihtelevasti.

8.3 Imusuodatukset sekä kuivaus

Jokaisen suoritettujen vaahdotuskokeiden jälkeen sekä talteen kerätty rikaste että jäte suodatettiin vetokaappiin rakennetussa vesipaineella toimivalla imusuodatuslaitteistolla, joka koostui imupullosta, vesilet-kusta, suodatinsuppilosta sekä Whatman-merkkisestä valkoisesta imupaperista. Suodatuksissa käytetty laitteisto näkyy kuvassa 29. Suodatuksia tehtiin 12 kappaletta rikasteelle ja 12 kappaletta jätteelle. Yhteensä siis 24 kappaletta. Suodatukset onnistuivat mallikkaasti ja ne olivat nopeita tehdä. Merkittävästi nopeimmat suodatukset olivat kokeiden A6 ja B6 suodatukset. Käytännössä suodatettavaa seosta kaadettiin imupaperilla varustettuun suodatinsuppiloon ja käynnistettiin vesihana, jonka avulla imupulloon saatiin aikaiseksi alipaine. Imupullon täyttymistä seurattiin koko ajan ja aina kun se täyttyi, tyhjennettiin se viemäriin. Samalla tarkkailtiin, ettei kiintoainetta päässyt suodatinpaperista läpi suodostimesten joukkoon. Suodatuksen aikana seurattiin myös kiintoaineen pakkautumista suodatinpaperille ja kun sen kerrostuma oli riittävän paksu, voitiin sitä kerätä kuivauksessa käytettyyn dekantterilasiin jo suodatuksen aikana. Jokaisen suodatuksen päätteeksi suodatinsuppilo puhdistettiin kaikesta kiintoaineesta kuivausastiaan sekä myös suodatinpaperi irrotettiin ja kuivattiin samassa astiassa.



KUVA 29. Imusuodatinlaitteisto

Ennen suodatuksia kuivauksessa käytetyt dekantterilasit punnittiin, jotta kuivauksen jälkeen voitiin helposti laskea paljonko rikastetta sekä jätettä syntyi. Jokaisen suodatuksen jälkeen erilleen nesteestä suodatetut kiintoaineet vietiin kuvan 30 kaltaiseen kuivauskaappiin kuivumaan. Niiden annettiin kuivua kunnes niissä ei näkynyt merkkiäkään kosteudesta. Keskimääräinen kuivausaika oli vuorokausi. Lopulta ne otettiin kuivauskaapista ulos punnitusta sekä näytteenottoa varten.



KUVA 30. Kuivausuuni

8.4 Lopullinen punnitus ja näytteenotto analysoitavaksi

Kuivauksen jälkeen oli vuorossa kokeiden viimeiset työvaiheet. Niihin kuuluivat rikasteen ja jätteen punnitus sekä näytteenotto. Sekä rikaste että näyte punnittiin Centria-ammattikorkeakoulun prosessilaboratoriossa käyttäen samaa vaakaa kuin vaahdotuskokeissa syötteenä käytettyjen raaka-aineiden punnituksessa. Rikasteet ja jätteet punnittiin, jonka jälkeen tulokset merkattiin koekohtaisesti ylös. Kuivausastian eli dekantterilasien massa voitiin kätevästi vähentää vaa'an näyttämästä massasta, jolloin saatiin rikasteen tai jätteen massa. Tämän jälkeen otettiin 5 gramman näytteet sekä rikasteesta että jätteestä niille erikseen merkattuihin ilmatiiviisiin näytepurkkeihin, jollaisia esiintyy kuvassa 31.



KUVA 31. Analyysiin lähetettävät näytepurkit

Näytteenoton jälkeen jokainen rikaste- ja jättestä päällystettiin ilmankosteudelta suojaavalla suojakelmulla ja asetettiin vetokaappiin säilytykseen, kuten kuvassa 32 näkyy. Rikasteita tullaan mahdollisesti jatkokäyttämään vaahdotuskokeissa, kun määritetään tarkempia kokoojakemikaalien annosteluja näistä kokeista saatujen tulosten pohjalta.



KUVA 32. Rikasteiden ja jätteiden ilmatiivis säilytys merkatuissa astioissaan

Kokeellisen osuuden viimeinen työvaihe oli näytteiden pakkaaminen ja lähetys Labtium Oy:lle analysoitavaksi Kuopioon. Mukaan lähetettiin sähköisessä muodossa taulukot, joihin analyysin tekijät pystyivät merkkamaan tarvittavia tietoja kokeidensa aikana. Liitteessä 1 on tämä sähköisesti lähetetyn taulukon kopio. Kaikki 36 kappaletta näytteistäni pakattiin kuvassa 33 olevaan laatikkoon ja lähetettiin Kuopioon 11.3.2016.



KUVA 33. Näytteiden lähetyslaatikko

9 TULOKSET JA POHDINTA

Tässä osiossa tullaan esittelemään ja käsittelemään vaahdotuskokeista saadut tulokset. Tulokset ovat ilmaistuna prosentteina ja ne on saatu taulukoituina Labtium Oy:ltä. Analyysit tehtiin XRF-mittauksen perusteella. Tulosten pohjalta on tehty päätelmät kokoojakemikaalien toimivuudesta, ja niistä nähdään selkeästi, toimiko se vaahdotuksessa selektiivisesti vai ei. Tämä on tarkasteltavissa liitteestä 2. Jokaisesta kahdestatoista vaahdotuskokeesta on piirretty erikseen graafiset esitykset, joissa nähdään kvartsin ja maasälvän pitoisuudet koekohtaisesti. Lisäksi kolmesta parhaiten toimineesta vaahdotuskokeesta ajettiin XRD-mittaukset piinapilla otetuista näytteestä, joista saadut tulokset näkyvät tarkemmin liitteessä 3. Piinappiin näytteet raaputettiin alkuperäisistä XRF-näytteistä. Nämä kolme koetta olivat kokeet A4, B4 ja A6. Kokeissa A4 ja B4 käytettiin kokoojakemikaalia Armac T. Koe A6 oli kahden kokoojakemikaalin yhdistelmän, AERO 3030C:n ja AERO 825:n kokeellinen tulos. Kokonaisuudessaan tulososio käsittää graafiset esitykset syötteen, rikasteen ja jätteen pitoisuuksista jokaiselle kokeelle erikseen, aikaisemmin mainittujen kolmen vaahdotuskokeen XRD-mittauksen pohjalta tehdyt graafiset esitykset, rikaste-jättesuhteen ja saannot jokaiselle toimineelle vaahdotuskokeelle erikseen graafisina esityksinä. Tärkeimpänä näiden kokeiden onnistumisten arvioinnissa on tarkastella niiden saantoja, jotka vaihtelevat pitoisuuksien suhteen laajalti.

Parhaiten maasälpien osalta onnistuivat vaahdotuskokeet A4, B4, A6 ja B6. Niiden saannot rikasteissa olivat selkeästi korkeimmat maasälpien osalta, mutta heikommat kvartsin osalta verrattuna kokeisiin A3 ja A5. Kokeet A3 ja A5 onnistuivat kohtalaisesti maasälpien osalta, mutta niiden jätteiden kvartsin saannot olivat huomattavasti korkeammat kuin aikaisemmin mainittujen neljän kokeen kvartsin saannot. Ylivoimaisesti paras kvartsin saanti on kokeessa A5. Loput vaahdotuskokeet eivät onnistuneet ollenkaan, vaikka niissäkin saatiin rikastetta sekä jätettä. Nämä kokeet olivat A1, B1, A2, B2, B3 sekä B5. Näiden kokeiden kohdalla lasketut saantiprosentit olivat epätodellisia, joten laskennallisesti niitä ei kyetty määrittämään ollenkaan. Niiden kohdalla saannot ovat merkittyinä nolliksi, joka on nähtävissä liitteessä 4. Tarkemmin saannoista on nähtävissä tulososion graafisista esityksistä. Saantilaskelmista on piirretty yhteensä kuusi pylväsdiagrammia, jotka ovat kokeille A3, A4, A5, A6, B4 ja B6. Näiden saantiprosenttien vertailu on mahdollista liitteen 5 avulla. Lasketut saantiprosentit ovat nähtävissä liitteestä 4, sekä myös onnistuneiden kokeiden kohdalla niiden graafisista esityksistä. Liitteessä 4 saannoiltaan parhaat tulokset ovat vihreällä päällystettyjä, ja kohtalaisesti onnistuneet vaalean vihreällä. Jokaisessa graafisessa esityksessä kvartsi on merkittuna SiO_2 :na, ja maasälvät ovat merkittyinä Al_2O_3 , Na_2O ja K_2O . On tärkeää tietää, että kvartsi-maasälvän vaahdotuksessa rikasteeseen kuuluisi nousta maasälpien ja jätteeseen eli

kennon pohjalle tulisi jäädä kvartsin. Sitä tukevat aiemmat tutkimukset ja kokeelliset määritykset vaahdotuksista. Liitteestä 4 näkee selvästi, että kun kvartsin pitoisuus jätteessä on suurempi kuin syötessä ja rikasteessa, ovat sen saannot positiivisia. Tuloksissa käsitellään pitoisuuden ja saannon riippuvuutta toisistaan, sekä pohditaan minkä vuoksi osassa vaahdotuskokeista saatiin positiivinen tulos ja osassa ei tapahtunut yhtään mitään. On selvästi nähtävissä, että vertailtaessa pitoisuuksien ja saantien suhdetta toisiinsa, huomataan, että kvartsin kohdalla korkeampi pitoisuus jätteessä verrattuna syötteen ja rikasteen pitoisuuteen, laskee sen saantia. Sama pätee myös toisinpäin. Maasälpjen kohdalla korkeampi pitoisuus rikasteessa kuin jätteessä ja syötessä, nostaa sen saantia. Ja sama pätee jälleen toisinpäin.

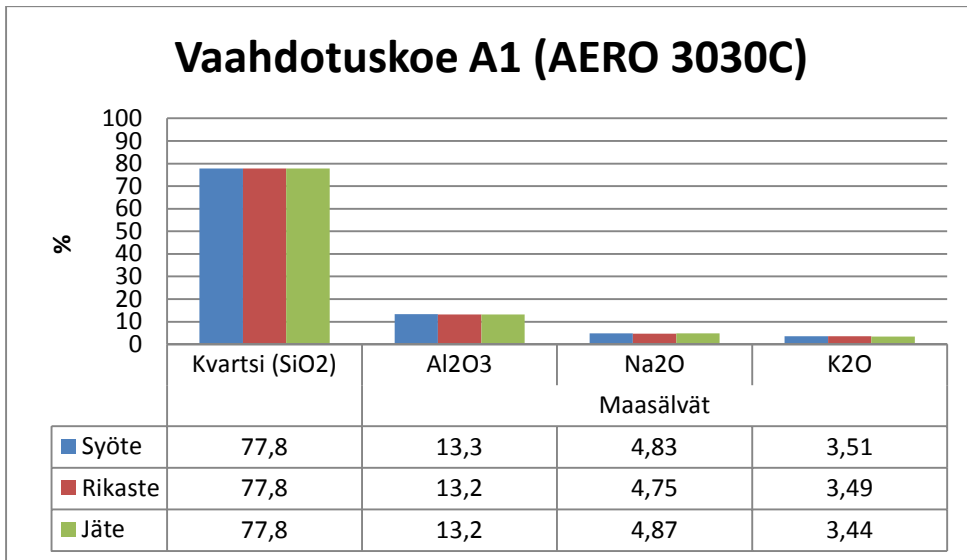
Liitteestä 5 voidaan huomata, että kvartsin saannon ollessa korkea jätteessä, ovat maasälpjen saannot rikasteessa matalampia, mutta kvartsin saannon ollessa matala jätteessä, ovat maasälvän saannot korkeampia. Huomioitavaa on myös se, että kun maasälpjen saannot rikasteissa ovat korkeita, on sinne noussut myös paljon kvartsia. Tämän vuoksi jonkinlainen painaja tarvittaisiin syntynyttä sekarikastetta vaahdotettaessa. Kaikki vaahdotuskokeet tehtiin käyttäen vakioarvoina pH:ta, sekoittajan nopeutta, valmennusaikaa, vaahdoteaineen ja kokoojakemikaalin annostelumäärää sekä syötteen määrää. Suurimman vaikutuksen kokoojakemikaalin toimivuuteen tekee pH-arvo, joka näissä kaikissa kokeissa oli 2.5. Millään muulla pH-arvolla kokeita ei tehty, joten varmaa tietoa ei saada siitä, olisivatko jotkin kokoojakemikaalit toimineet paremmin matalammassa tai korkeammassa pH:ssa. Kuitenkin saatiin varmaa tietoa siitä, mikä kokoojakemikaali erottaa kvartsia ja maasälvää toisistaan ja kuinka hyvin. Voidaan myös olla varmoja, että painajaa olisi syytä käyttää jokaiselle kokoojalle. Syväjärven ja Läntän malmien välisenä erona on syytä mainita, että Syväjärven malmi on kairattu syvemmältä kuin Läntän malmi. Tämä vaikuttaa siihen, että Läntän malmi on mahdollisesti hapettunutta, koska se on otettu läheltä maanpintaa. Tämän vuoksi se vaikuttaa mahdollisesti vaahdotuskokeiden onnistumiseen, jonka huomaa parhaiten vaahdotuskokeiden B3 ja B5 kohdalla, joissa ei saatu minkäänlaista saantia. Tämän huomaa verrattaessa vastaaviin Syväjärven malmilla suoritettuihin kokeisiin A3 ja A5, joissa saatiin samalla kemikaalilla saannot niin kvartsille kuin maasälvillekin.

Onnistuneiden tai ylipäättään tuloksia antaneiden kokeiden tuloksellisuutta arvioitaessa on tärkeintä siis tarkastella niiden saantoja. Pääsääntöisenä oletuksena voidaan pitää sitä, että koe on onnistunut sitä paremmin, mitä suurempi sen kvartsin saanti on jätteessä, ja samanaikaisesti sitä, mitä suuremmat maasälpjen saannot ovat rikasteessa. Tällöin korkeat maasälpjen saannot rikasteessa tarkoittavat sitä, ettei niitä ole jäänyt juuri lainkaan jätteisiin, mutta samanaikaisesti, jos kvartsin saanti jätteessä on matala, on sitä rikasteessa paljon. Yksinkertaistettuna sekä kvartsin saantia jätteessä että maasälpjen saantoja rikas-

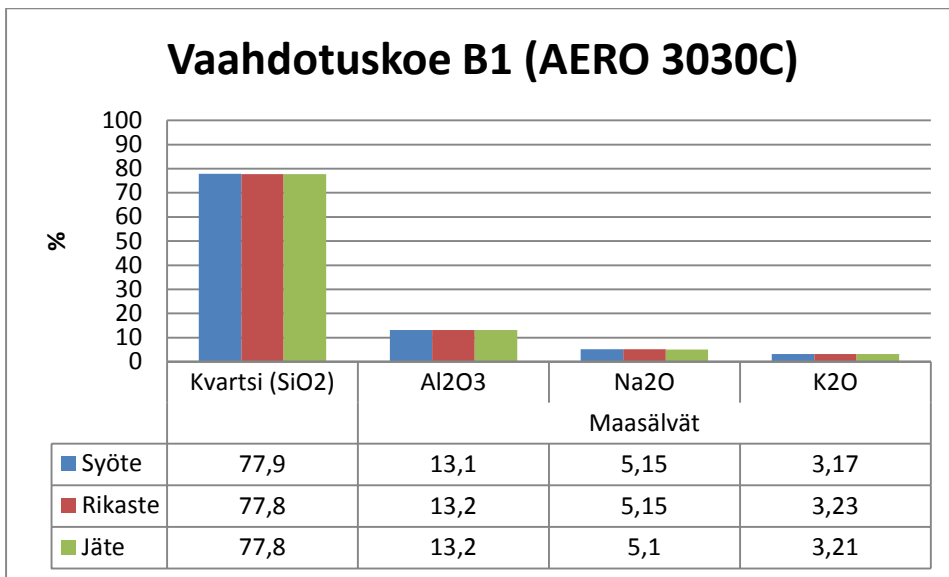
teessa samassa kokeessa on olennaisinta tarkastella keskenään, määriteltäessä parhaiten toimineet kokoojakemikaalit. Lisäksi voidaan tarkastella pitoisuuksia siten, että katsotaan kvartsin pitoisuutta jätteessä ja maasälprien pitoisuuksia rikasteessa. Kvartsin pitoisuutta jätteessä verrataan syötteen ja rikasteen pitoisuuteen ja maasälprien pitoisuuksia rikasteessa verrataan syötteen ja jätteen pitoisuuksiin. Huomioitavaa pitoisuuksien ja saantojen välisessä vuorovaikutuksessa on se, että yleensä kun ajetaan korkeaa pitoisuutta, saanti kärsii, ja sama pätee toisinpäin.

9.1 Vaahdotuskokeet A1 ja B1

Vaahdotuskokeet A1 ja B1 tehtiin käyttäen kokoojakemikaalia AERO 3030C. Sitä käytettiin yksittäin ja annoskoko oli 300 g/t. Vaahdotuskokeet tällä kokoojakemikaalilla eivät antaneet käytännössä minkäänlaisia tuloksia. Kuvista 34 ja 35 nähdään, että niin maasälprien kuin kvartsin kohdalla ei tapahdu pitoisuuksissa minkäänlaisia muutoksia. Ne pysyvät käytännössä samoina rikasteessa, jätteessä ja syötteenä. Laskettaessa saantoja näille vaahdotuskokeille, huomattiin, että ne eivät olleet määritettävissä lainkaan, kuten liitteestä 4 on nähtävissä. Voidaan yksinkertaisesti todeta, ettei kvartsi-maasälvän erottaminen kokoojakemikaalilla AERO 3030C yksittäin onnistu lainkaan, riippumatta siitä kumpaa raakaainetta käytettiin syötteenä. Jokainen vaahdotuskoe tehtiin käyttäen samaa kokoojakemikaalin annostusta, ja pH:ta, joka oli 2.5. Suurin mahdollinen syy vaahdotuskokeiden tuloksettomuudelle on se, että kyseinen pH-arvo oli joko liian pieni tai liian suuri. Lisäksi on syytä huomioida, että näissä kokeissa vaahtoa nousi koko neljän minuutin ajan, jonka seurauksena voidaan olettaa, että AERO 3030C vaahdotti kaiken rikasteeseen, nähdään taulukosta 4. Lisäksi voidaan mainita, että näissä kokeissa ei ollut merkitystä sillä, kuinka syvältä ja millä tavalla malmi oli louhittu. Erotustulos oli silti mitäänsanomatton.



KUVA 34. Vaahdotuskoe A1:n pitoisuudet

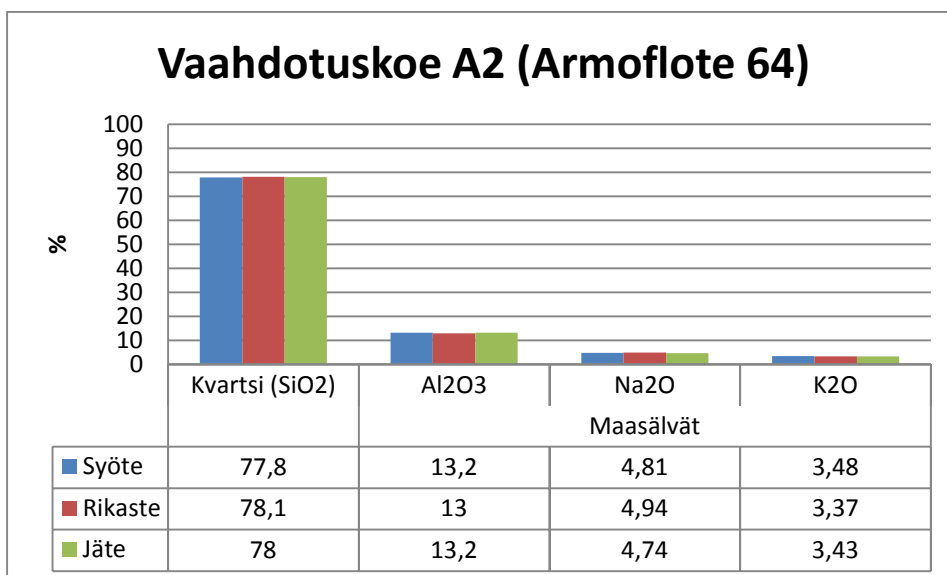


KUVA 35. Vaahdotuskoe B1:n pitoisuudet

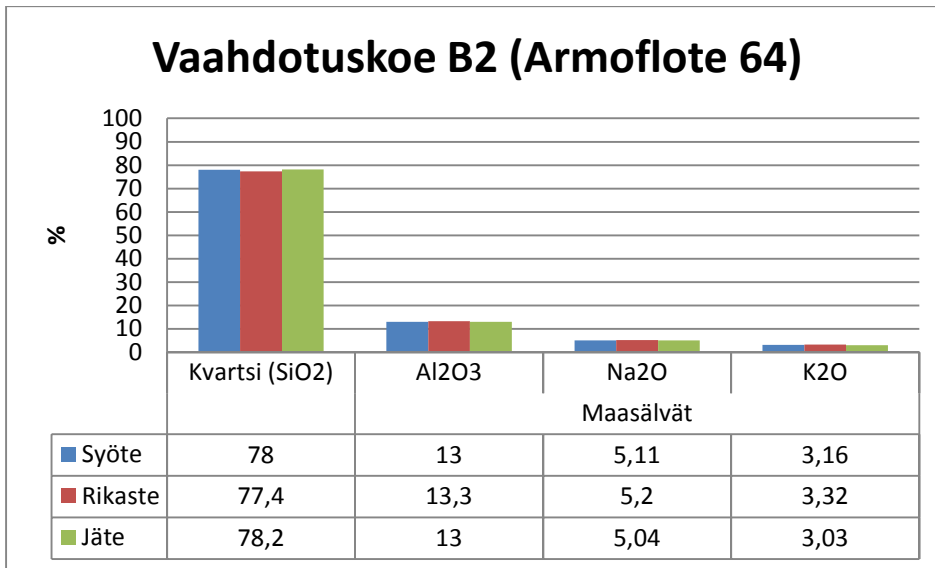
9.2 Vaahdotuskokeet A2 ja B2

Vaahdotuskokeissa A2 ja B2 kokeiltu kokoojakemikaali oli Armoflote 64. Kokoojakemikaalia käytettiin yksittäin ja annosteltiin 300 g/t. Kuten vaahdotuskokeissa A1 ja B1, myöskään näiden kokeiden kohdalla kvartsi-maasälvän erottaminen ei tällä kokoojakemikaalilla onnistunut ollenkaan. Taulukko 4 kertoo, että jälleen rikastetta nousi molemmissa kokeissa neljän minuutin ajan, kuten kokeissa A1 ja B1, jonka seurauksena oletetaan, että Armoflote 64 vaahdotti kaiken vaahtoon. Tätä tukevat myös kuvien 36 ja 37 pitoisuudet, joissa ei ole eroavaisuuksia.

Rikastetta ja jätettä saatiin, mutta niiden sisältämät pitoisuudet olivat sekä rikasteen, jätteen että syötteen kohdalla niin lähellä toisiaan kvartsin ja maasälprien osalta, etteivät näidenkään kokeiden saannot olleet määritettävissä lainkaan. Liitteestä 4 on huomattavissa, että saantojen kohdalla tulos on nolla. Riippumatta siitä, oliko kyseessä Syväjärven vai Längän malmi, tullaan siihen johtopäätökseen, ettei kokoojakemikaali Armoflote 64 kykene yksittäin käytettynä erottamaan kvartsiä ja maasälpää toisistaan. Kuten kokeissa A1 ja B1, voidaan näidenkin kokeiden tuloksettomuutta todennäköisimmin pitää väärän suuruisen pH-arvon aiheuttamina, tai mahdollisen väärän annoskoon syynä. Mahdollisesti Armoflote 64 voisi toimia toisena kokoojana jossain yhdistelmässä. Myöskään kokeissa A2 ja B2 ei ollut nähtävää vaikutusta sillä, oliko malmi syvä- tai pintamalmia.



KUVA 36. Vaahdotuskoe A2:n pitoisuudet



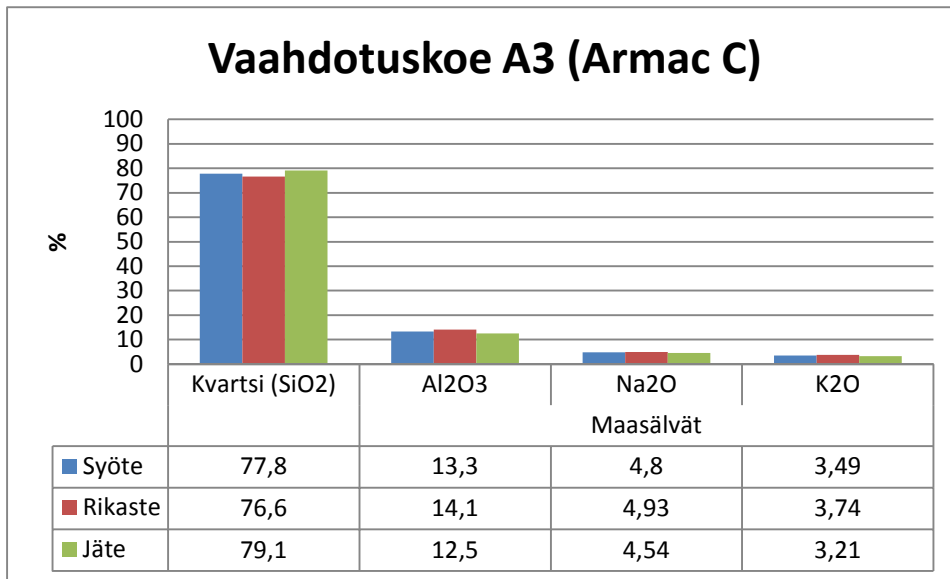
KUVA 37. Vaahdotuskoe B2:n pitoisuudet

9.2 Vaahdotuskokeet A3 ja B3

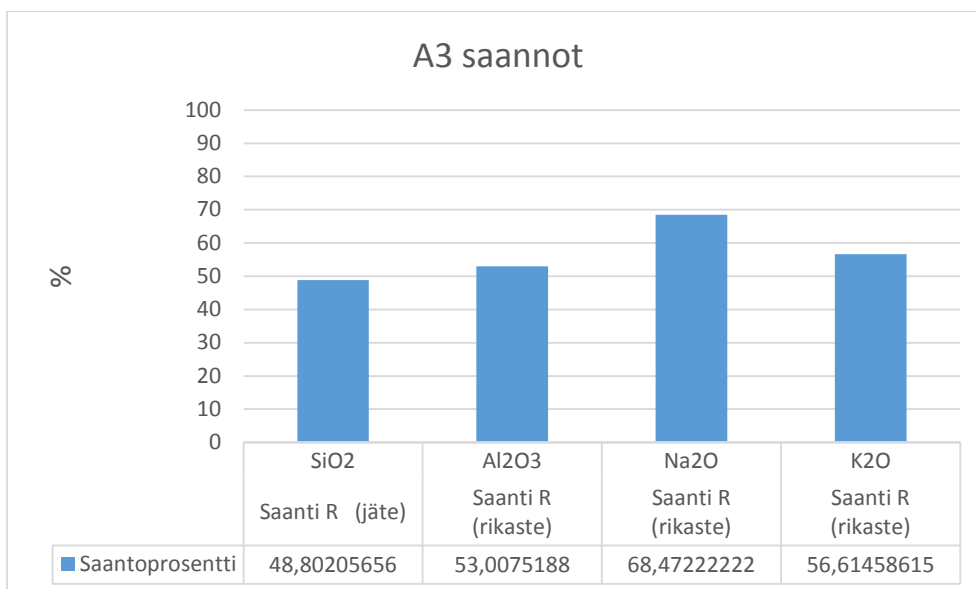
Vaahdotuskokeet A3 ja B3 tehtiin kokoojakemikaalilla Armac C. Käytettiin pH-arvoa 2.5. Tällä kertaa kuitenkin saatiin kohtalainen kvartsin ja maasälvän erotustulos, mutta vain kokeesta A3, jonka pitoisuudet ovat kuvassa 38 ja saannot kuvassa 39. Kokeen B3 osalta pitoisuudet ovat liki samat rikasteen, jätteen sekä syöteen kohdilla, kuten kuva 40 osoittaa. Liitteessä 4 ovat merkattuina kummankin kokeen pitoisuudet ja saannot. Kvartsi on pitoisuudeltaan korkein jätteessä kokeessa A3, mutta sen pitoisuudet ovat lähes samat rikasteessa ja jätteessä. Maasälpäen pitoisuudet ovat korkeimmat rikasteissa, joten niiden saannot ovat korkeampia rikasteessa kuin jätteessä, asettuen välille 53–68 %.

Silti niitä on jäänyt jätteeseen huomattavasti. Kvartsin saanti on liki puolet rikasteessa ja puolet jätteessä. Erikoista kokeiden A3 ja B3 vertailusta keskenään tekee se, että molemmissa kokeissa käytettiin jälleen tuttuja useaan otteeseen mainittuja vakioarvoja. Kaikki vaahdotuskoeolosuhteet olivat siis täysin samat. Suurin vaikutus kokeiden tuloksellisiin eroavaisuuksiin voisi olla sillä, että kokeen B3 malmi on pinta-malmia, jolloin se on mahdollisesti hapettunutta, eli se ei välttämättä ollut tällä kokoojakemikaalilla lainkaan reaktiivinen. Huomionarvoista on myös se, että näissä kokeissa, koe A3 vaahtosi 3 minuutin ajan ja B3 2 minuutin ajan, kuten taulukko 4 osoittaa. Kokeen A3 selektiivisyyttä voitaisiin parantaa jollakin painajalla, jolloin kvartsin saanti jätteessä saataisiin paremmaksi, ja maasälpäen saannot rikasteissa korkeammiksi. Vaikuttaisi siltä, että kokeessa B3 olisi noussut käytännössä kaikki rikasteeseen, koska sen punnittu rikasteen massa oli 641.5 grammaa, ja pitoisuuksissa ei ole eroavaisuuksia. Voidaan

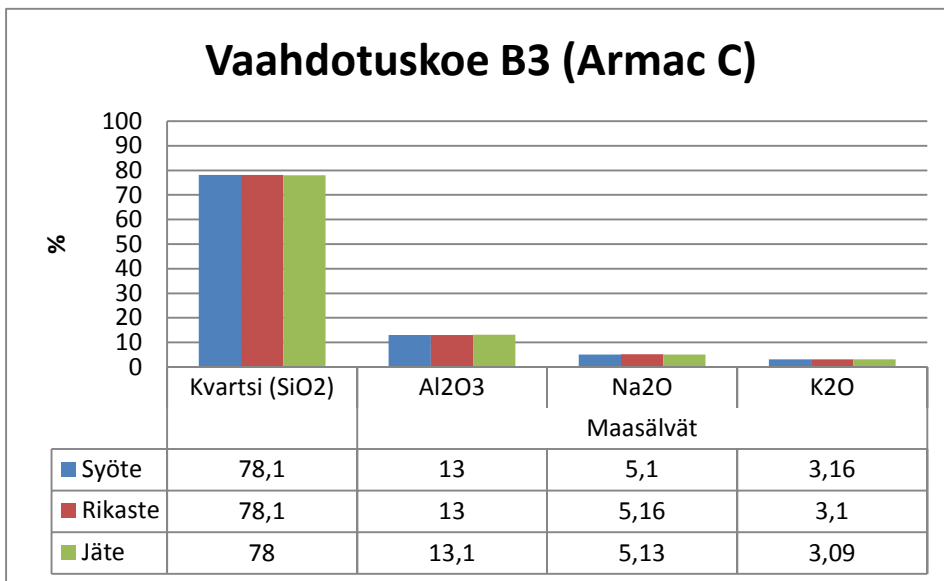
siis todeta, että Lätän raaka-aineelle Armac C ei toiminut, mutta kokeen A3 kohdalla saatiin ensimmäinen positiivinen tulos.



KUVA 38. Vaahdotuskoe A3:n pitoisuudet



KUVA 39. Vaahdotuskoe A3:n saannot



KUVA 40. Vaahdotuskoe B3:n pitoisuudet

9.4 Vaahdotuskokeet A4 ja B4

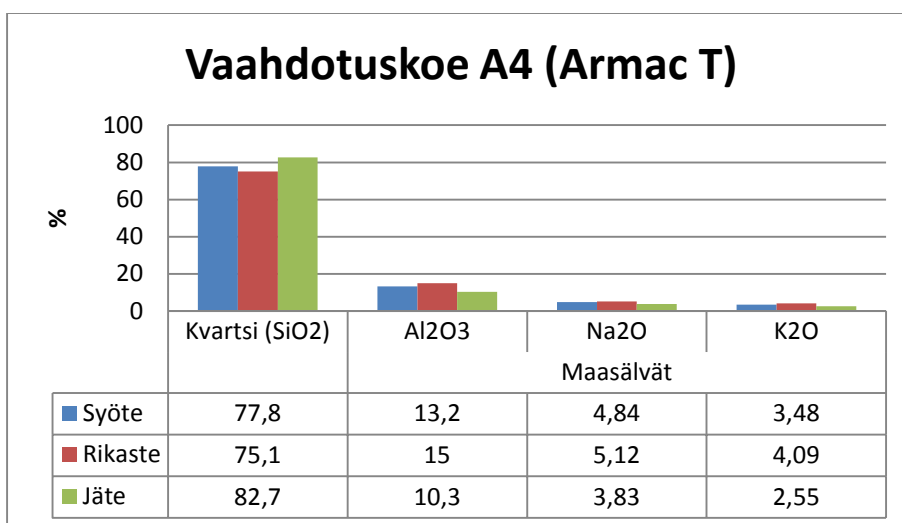
Vaahdotuskokeet, joissa kokoojana käytettiin kemikaalia nimeltään Armac T, olivat kokeet A4 ja B4. Jälleen käytettiin samoja vaahdotusolosuhteita kuin kaikissa edeltävissäkin kokeissa. Tällä kertaa Molemmista vaahdotuskokeista saatiin aikaan saantoja, kuten kuvat 42 ja 45 osoittavat. Molemmissa kokeissa oli selkeät pitoisuuserot syötteen, rikasteen ja jätteen osalta niin kvartsin kuin jokaisen maasälvän kohdalla, kertovat kuvat 41 ja 44. Kvartsin pitoisuudet jätteissä ovat korkeat, ja maasälpjen pitoisuudet rikasteissa eroavat edukseen myös jätteen ja syötteen pitoisuuksiin verrattuna. Kokeessa A4 saatiin hieman parempi kvartsin saanti jätteessä, joka oli 37 %, mutta maasälpjen osalta jäätettiin hieman heikompaan tulokseen kuin kokeessa B4 eli välille 70–82 %, näkyy kuvista 42 ja 45.

Kokeessa A4 nousi kvartsin saanti rikasteessa 63 %:iin. Jälleen painajalle olisi käyttöä, jolloin saataisiin kvartsi pidettyä jätteessä. Maasälpjiä on jätteessä 20–30 %, joten ne ovat nousseet melko hyvin rikasteeseen. Kokeessa B4 kvartsin saanti rikasteessa on 67 %, mutta maasälpjen saanti jätteessä noin 20 %. Liitteestä 4 voidaan tarkastella molempien kokeiden pitoisuuksia ja saantoja samanaikaisesti. Kokeista voidaan kuitenkin huomioda yhtäläisyytenä se, että kokoojakemikaali Armac T toimi molemmille mal-

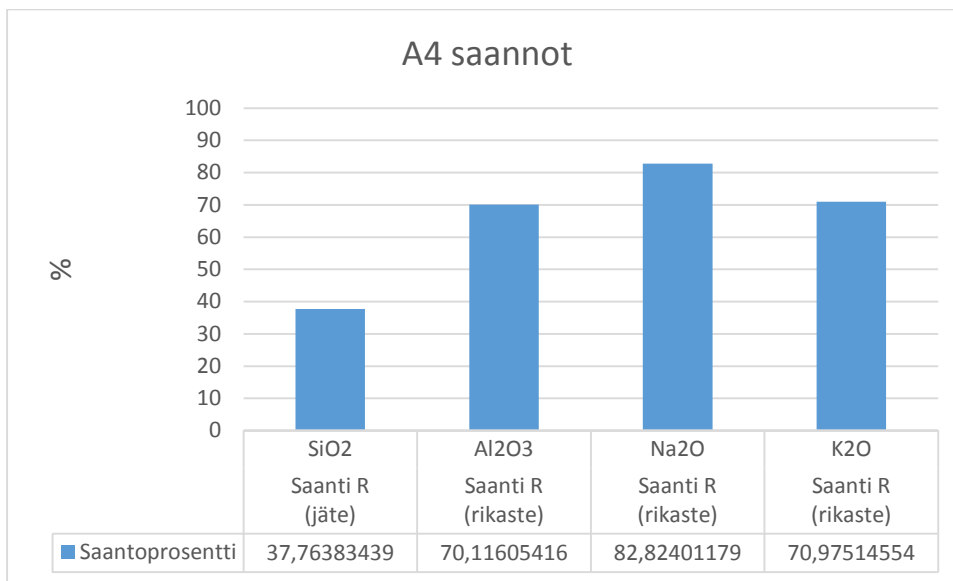
meille suhteellisen samankaltaisesti erottaen, sillä kokeiden väliset saannot ovat melko samat, riippumatta siitä tarkastellaanko rikastetta vai jätettä. Se on siis selektiivinen kokooja, mutta painajan ja kertausvaahdotusten avulla, saataisiin tulokset paremmiksi.

Pitoisuuksia ja saantoja tarkastellessa voidaan päätellä, että yksittäin käytettynä kokoojakemikaali Armac T toimi hieman selektiivisemmin Längän malmille kuin Syväjärven malmille. Taulukosta 4 nähdään, että kokeessa A4 muodostui vaahtoa 2 minuutin ajan, kun taas kokeessa B4 sitä muodostui 3 minuutin ajan. Lisäksi molemmissa kokeissa vaahto oli moussemaista ja kuplat suuria, joten tällä voi olla merkitystä tulosten samankaltaisuuteen.

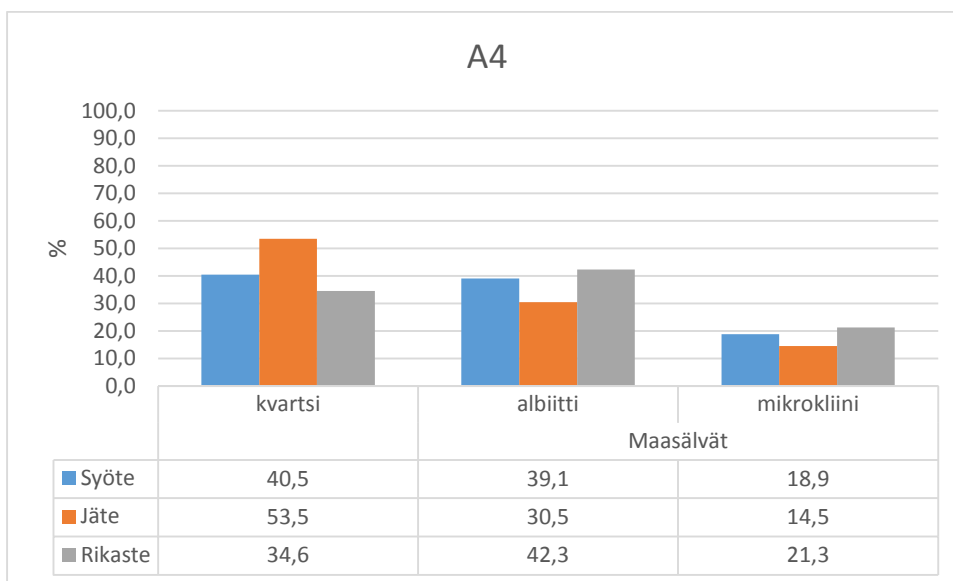
Molempien vaahdotuskokeiden A4 ja B4 tulokset olivat kaikkien tehtyjen kokeiden keskinäisessä vertailussa parhaimmista, joten niistä ajettiin vielä erikseen XRD-mittaukset kummastakin, joiden tulokset ovat nähtävissä liitteestä 3. XRD-mittausten perusteella jätteessä on vähemmän kvartssia kokeessa A4 kuin B4, mutta sinne on jäänyt enemmän maasälpä, eli albiittia ja mikrokliiniä, ilmenee kuvien 43 ja 46 pitoisuuksia vertailtaessa. Rikasteita tarkasteltaessa ovat siellä esiintyvän mikrokliinin pitoisuudet kummassakin kokeessa likimain yhtä suuret, mutta albiitin pitoisuus on vähän korkeampi kokeessa B4. Kokeessa A4 onnistuttiin paremmin mikrokliinin suhteen. Kuitenkaan mitään merkittäviä eroja ei näiden kokeiden välillä ollut. Ajetut XRD-mittaukset haluttiin tehdä, jotta saataisiin tarkempaa tietoa niin jätteen kuin rikasteidenkin sisällöstä. Muita XRD-mittausten kertomia pitoisuuksia olivat spodumeeni ja muskoviitti eli kiillepitoisuus, joita tarkastellaan luvussa 9.7.



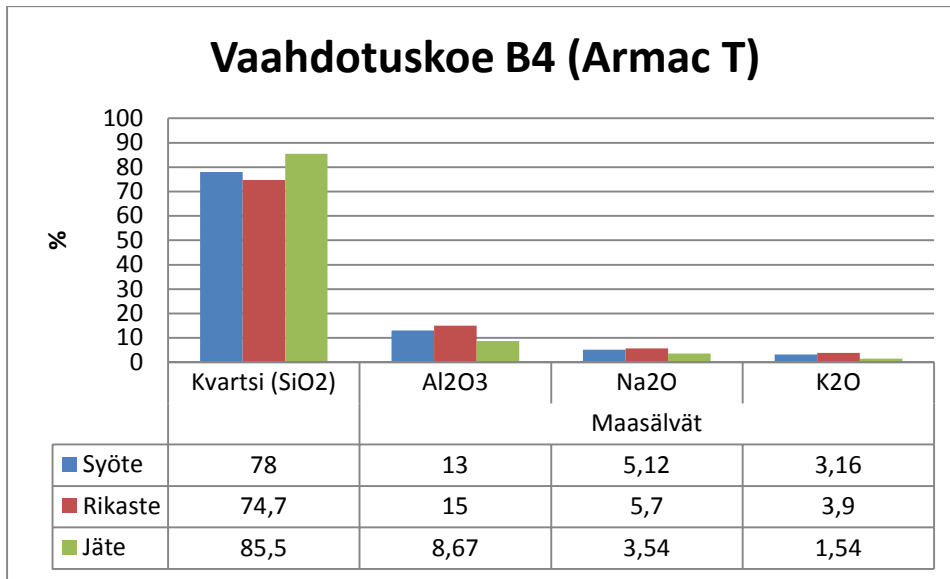
KUVA 41. Vaahdotuskoe A4:n pitoisuudet



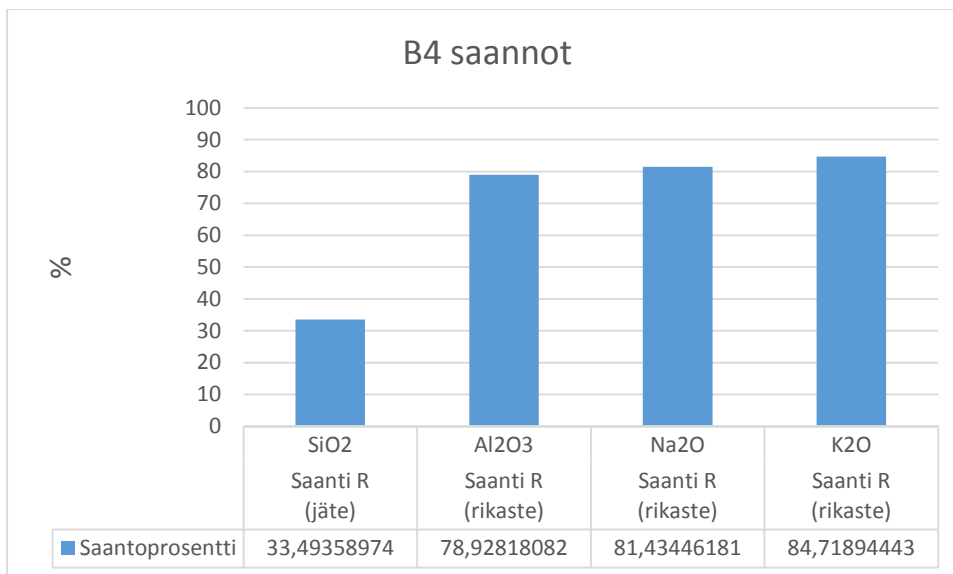
KUVA 42. Vaahdotuskoe A4:n saannot



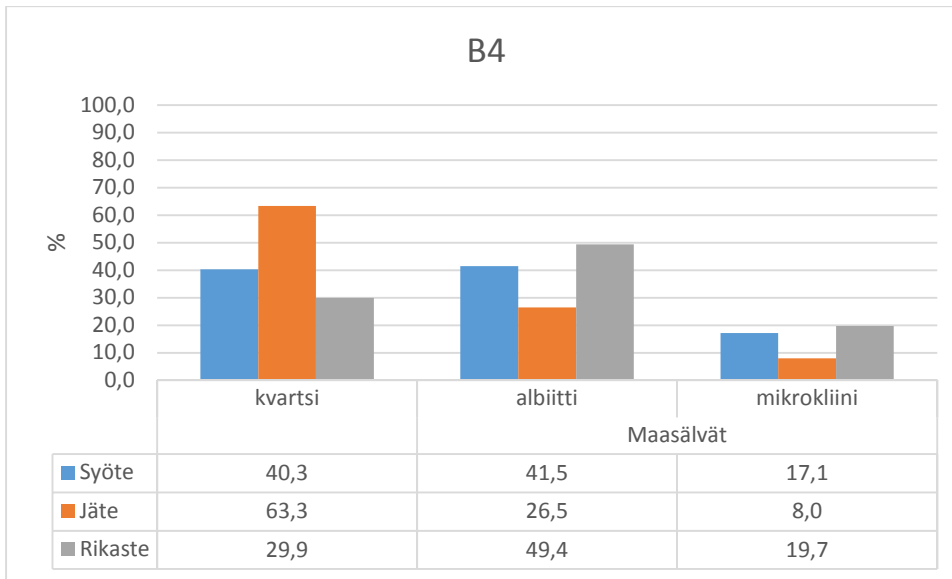
KUVA 43. A4 XRD-mittaustulokset



KUVA 44. Vaahdotuskoe B4:n pitoisuudet



KUVA 45. Vaahdotuskoe B4:n saannot



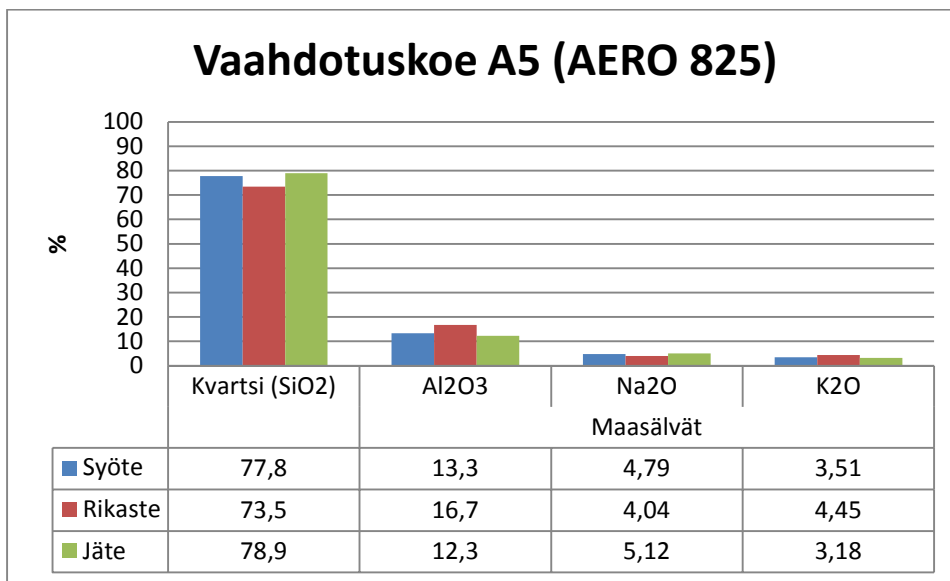
KUVA 46. B4 XRD-mittaustulokset

9.5 Vaahdotuskokeet A5 ja B5

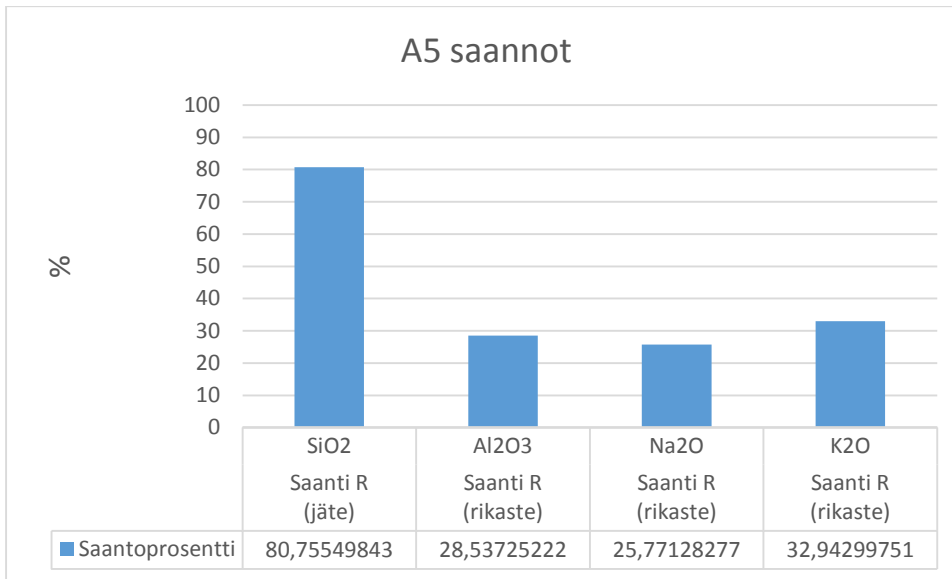
Vaahdotuskokeissa A5 ja B5 testattiin yksittäin kokoojakemikaalia AERO 825. Tulokset osoittavat, että AERO 825 toimi Syväjärven malmille kokeessa A5, muttei Längän malmille, kuten kuvat 47 ja 49 kertovat. Kokeessa B5 ei syntynyt lainkaan pitoisuuseroja, jonka seurauksena sen saannot eivät olleet määritettävissä, kuten liite 4 osoittaa. Syynä kokeen tuloksettomuudelle on todennäköisimmin se, että Längän malmi on pintamalmita, joten se voi mahdollisesti olla hapettunut. Mielenkiintoista näiden kokeiden kohdalla on myös kuvasta 56 selviävä yksityiskohta, josta voidaan huomata, että jätettä syntyi huomattavasti enemmän kuin rikastetta. Kokeita A5 ja B5 lukuun ottamatta jokaisen muun vaahdotuskokeen kohdalla rikaste-jättesuhde oli toisinpäin eli rikastetta syntyi enemmän kuin jätettä. Mahdollisesti tämän seurauksena kokeessa A5 jätteesä olevan kvartsin saannoksi laskettiin huomattavasti korkein arvo verrattuna kaikkiin kokeisiin, ja tässä tapauksessa sen saanti oli 80 %, ja vain 20 % nousi rikasteeseen, selviää kuvasta 48.

Kokeesta A5 saadut tulokset ovat periaatteessa päinvastaiset, kuin muissa tuloksia antaneissa kokeissa, jonka huomaa rikasteiden alhaisena maasälpäiden saantoina, jotka ovat likimain 30 % kukin. Tämä tarkoittaa, että noin 70 % kutakin maasälpää on jäänyt jätteesen. Maasälpäiden tulisi nousta rikasteeseen vaahdtona, joten kokoojakemikaali AERO 825 ei toiminut toivotulla tavalla niiden suhteen. Tuloksia voitaisiin parantaa kokeilemalla yhdistelmää AERO 825:en kanssa tai käyttämällä aktivoijaa tai painajaa,

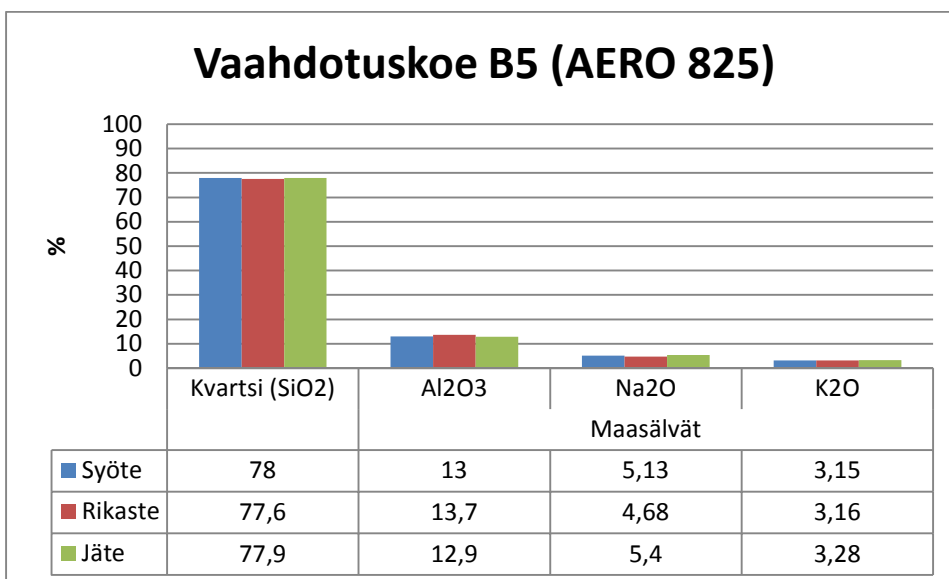
vaikuttamaan selektiivisyyteen. Jos tarkastellaan ainoastaan kvartsin saantia jätteessä, toimi kokooja sen osalta parhaiten, mikäli ei huomioida ollenkaan maasälpien osuutta jätteessä. Taulukosta 4 voidaan katsoa, että kokeessa A5 rikastetta nousi vaahtoon vain reilun minuutin ajan, jonka vuoksi sen määrä jäi vähäiseksi, ja kokeessa B5 1.5 minuutin ajan. Eroavaisuutena muihin kokeisiin aiemmin mainitun rikaste-jättesuhteen lisäksi on keruuastioissa olleiden rikastevaahtojen nopea hajoaminen, ja nestepinnan muodostuminen.



KUVA 47. Vaahdotuskoe A5:n pitoisuudet



KUVA 48. Vaahdotuskoe A5:n saannot

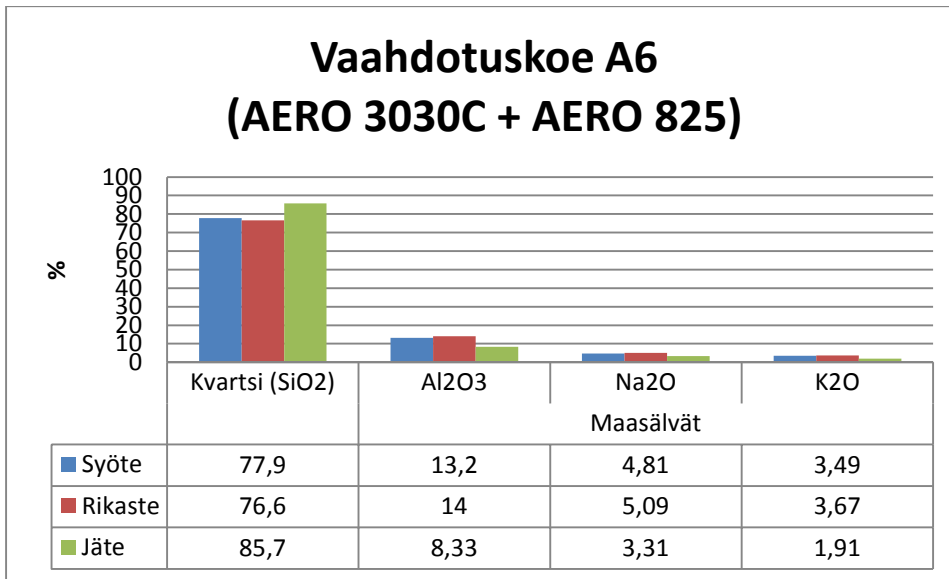


KUVA 49. Vaahdotuskoe B5:n pitoisuudet

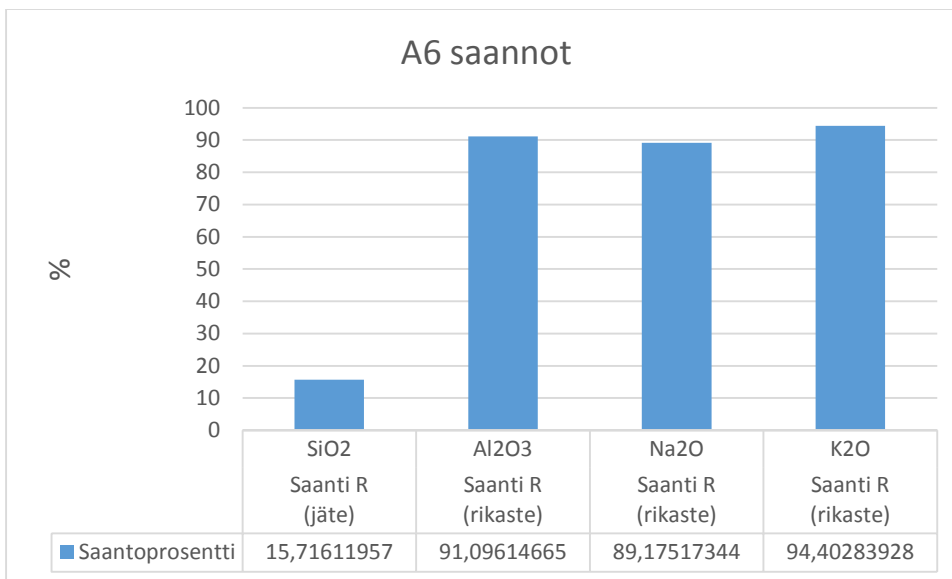
9.6 Vaahdotuskokeet A6 ja B6

Vaahdotuskokeissa A6 ja B6 kokeiltiin kahden eri kokoojakemikaalin yhdistelmän toimivuutta kummallekin malmille. Käytetty kokoojan annostelu oli 300 g/t, joten kun käytettiin puolet kumpaakin kokoojaa, oli niiden määrä 150 g/t kumpaakin. Käytetyt kokoojat olivat kokeissa A1 ja B1 yksittäin testattu AERO 3030C ja kokeissa A5 ja B5 yksittäin kokeiltu AERO 825. Molemmissa vaahdotuskokeissa saatiin aikaan hyvät tulokset, etenkin maasälprien osalta. Niiden saannot rikasteessa olivat kokeessa A6 likimain 90 % kutakin, ja kokeessa B6 noin 80 % kutakin, kuten kuvista 51 ja 54 näkyy. Niitä jäi jätteeseen kokeessa A6 vain noin 10 %, ja B6 noin 20 %. Pitoisuuksista huomataan, että kvartsia on molemmissa kokeissa selvästi eniten jätteessä, ja maasälpä on eniten rikasteessa, näkyy kuvista 50 ja 53. Taulukosta 4 nähdään, että molemmissa vaahdotuskokeissa rikasteena noussut vaahto oli tiheää ja jäykkää, ja kokeessa A6 vaahtoa syntyi 1.5 minuutin ajan, kun taas kokeessa B6 2 minuutin ajan. Kokeet A6 ja B6 onnistuivat selvästi parhaiten, kun verrataan aikaisempien kokeiden tuloksiin. Kvartsin saannot jätteissä ovat pienimmät ja maasälprien saannot rikasteissa suurimmat. Tuloksia etenkin kvartsin osalta voitaisiin parantaa huomattavasti käyttämällä sopivaa painajaa, jolloin sitä saataisiin saannoltaan huomattavasti enemmän jätteeseen. Maasälprien osalta voidaan olla erittäin tyytyväisiä, etenkin kokeen A6 kohdalla. Koe A6 oli näistä kokeista paremmin onnistunut maasälvän saannoiltaan, mikä johtunee syötteinä käytettyjen malmien eroista. Kvartsin suhteen koe B6 oli hieman parempi saannoiltaan, muttei samassa suhteessa kuin koe A6 oli parempi maasälprien suhteen. Vaikuttaa siltä, että kvartsin ja maasälvän erottaminen toisistaan vaahdottamalla onnistuu selektiivisemmin kokoojakemikaalien kombinaatioilla kuin kokoojakemikaaleilla yksittäin, mutta ilman painajaa, ei yhdistelmälläkään saada aikaan samanaikaista korkeaa kvartsin saantia jätteessä ja maasälprien saantia rikasteessa.

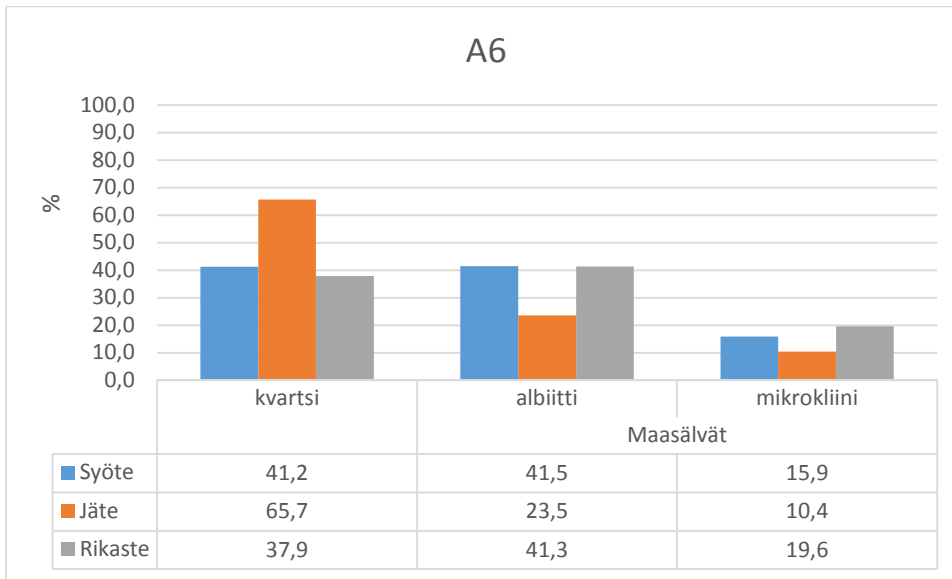
Parhaiten onnistuneesta vaahdotuskokeesta A6 ajettiin XRD-mittaus, josta saatiin tarkempaa tietoa saantojen sisällöstä. Niiden perusteella huomataan, että kvartsia on noin 65 % jätteessä, kuten kuvasta 52 näkyy. Albiittia ja mikrokliiniä on eniten rikasteessa, jonka vuoksi niiden saannot tukevat kokeen A6 onnistumista (KUVA 52.). Kaikkien kolmen vaahdotuskokeen, joista ajettiin XRD-mittaus, suurin albiitti-pitoisuus oli kokeessa B4, kun taas suurin mikrokliini-pitoisuus kokeessa A4 (LIITE 3). Kokeessa A6 kvartsin pitoisuus oli suurin (LIITE 3). Näiden kokeiden väliset pitoisuuserot olivat kuitenkin melko pieniä verrattuna toisiinsa. Muita XRD-mittausten kertomia pitoisuuksia olivat spodumeeni- ja muskoviitti eli kiillepitoisuus, joita tarkastellaan luvussa 9.7.



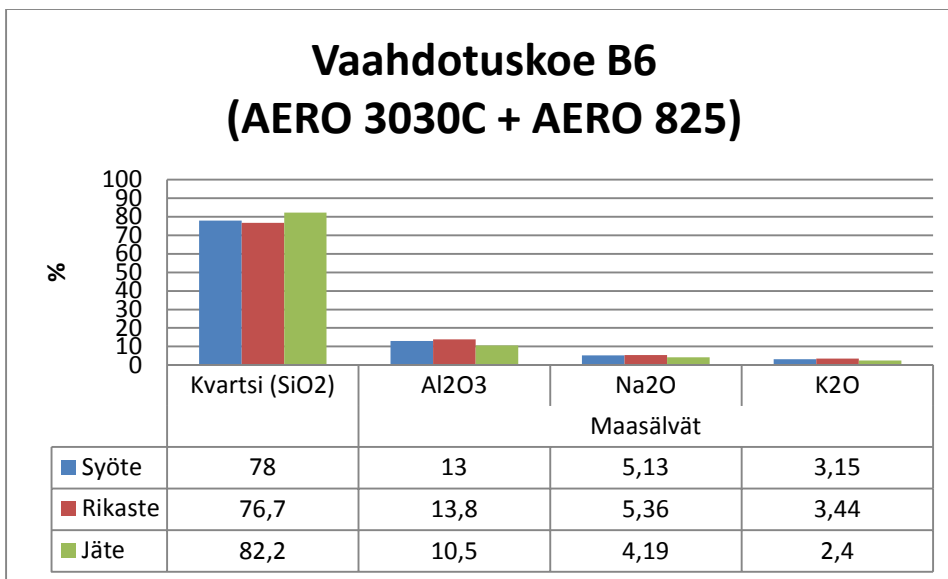
KUVA 50. Vaahdotuskoe A6:n pitoisuudet



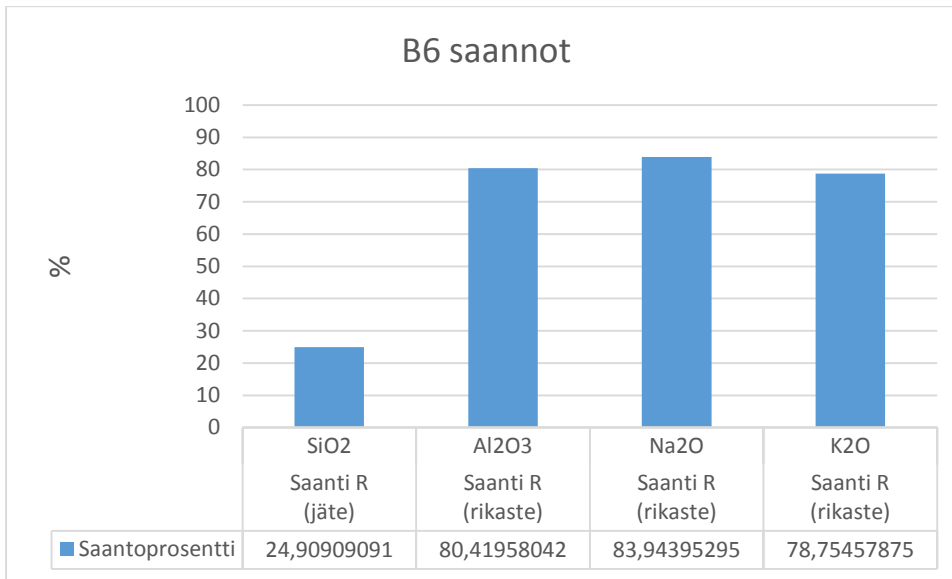
KUVA 51. Vaahdotuskoe A6:n saannot



KUVA 52. A6 XRD-mittaustulokset



KUVA 53. Vaahdotuskoe B6:n pitoisuudet



KUVA 54. Vaahdotuskoe B6:n saannot

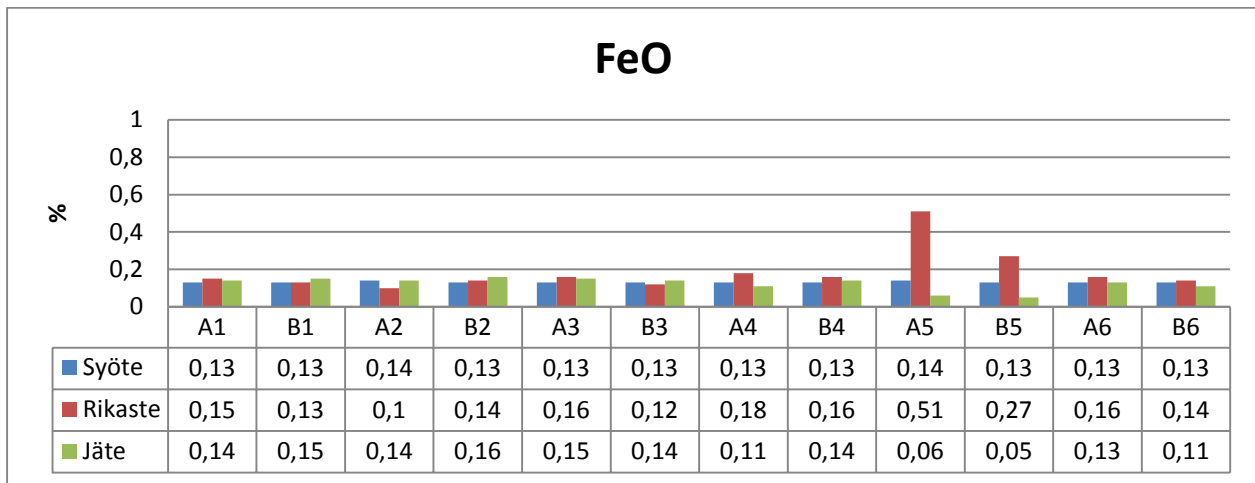
9.7 Muut tulokset ja niiden vaikutus vaahdotuskokeissa

Vaahdotuskokeissa saatiin tulokset XRF-mittauksen perusteella, ja ne näkyvät liitteessä 2. Niiden perusteella kyettiin laskemaan vaahdotuskokeissa olleet rautaoksidi-pitoisuudet, jotka näkyvät kuvassa 55. Vertaillaessa niitä keskenään, ei löydy kovinkaan suuria eroavaisuuksia, paitsi kokeiden A5 ja B5 kohdalla, jossa rikasteessa olevan raudan pitoisuus on hieman muita kokeita suurempi, mutta jätteessä matalampi. Tämä selittyy todennäköisesti eriävällä rikaste-jättesuhteella, sillä kuten kuvasta 56 selviää, oli se kokeissa A5 ja B5 päinvastainen kuin kaikissa muissa vaahdotuskokeissa.

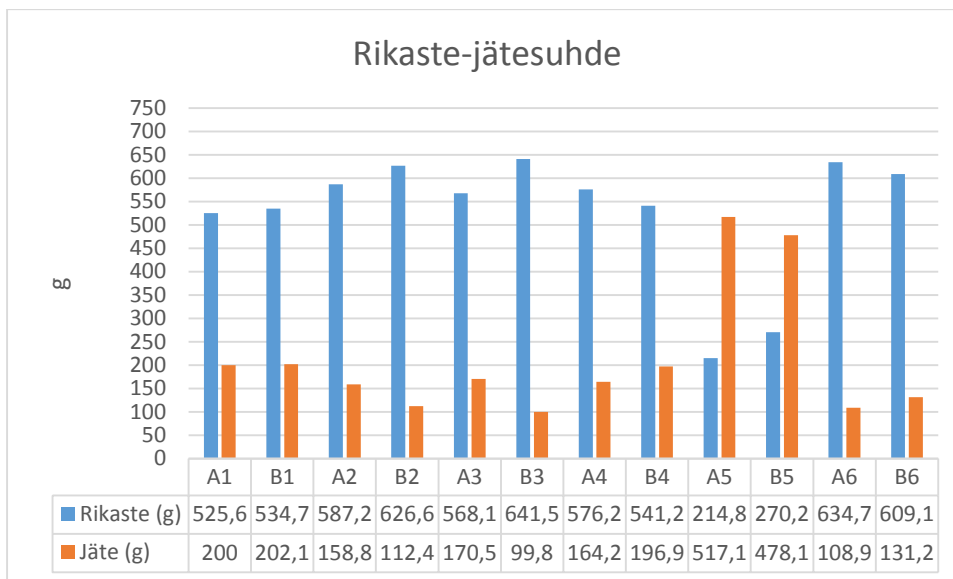
Näin pienen määrän rautaa syötessä ei kuitenkaan pitäisi vaikuttaa kvartsin ja maasälvän erottumiseen vaahdotuksen aikana. Rikaste-jättesuhteet kertovat massojen suhteena, kuinka paljon rikastetta ja jätettä saatiin. Kuitenkin voidaan todeta, että rikastetta tulee syntyä jätettä enemmän, jotta saadaan oikeansuuntaiset vaahdotuskoetulokset. (KUVA 56.). Lisäksi, kun syötettä oli 750 grammaa jokaista koetta kohden, voidaan kokeissa saadun rikasteen ja jätteen yhteismäärällä laskea, paljonko syötettä on mennyt hukkaan kokeiden aikana.

Täten voidaan myös arvioida sitä, kuinka tarkasti työvaiheet ovat suoritettu. Ainoastaan talteen otetun rikasteen ja jätteen yhteismassoja vertailemalla heikoiten onnistui ensimmäinen koe A1, mikä johtunee

siitä, ettei ollut vielä niin hyvää tuntumaa. Parhaiten onnistui koe B5. Kaikkiaan yhdessäkään kokeessa ei tullut suurta hukkaa, joten niiden vaikutuksia tuloksiin ei ole syyt huomioida.

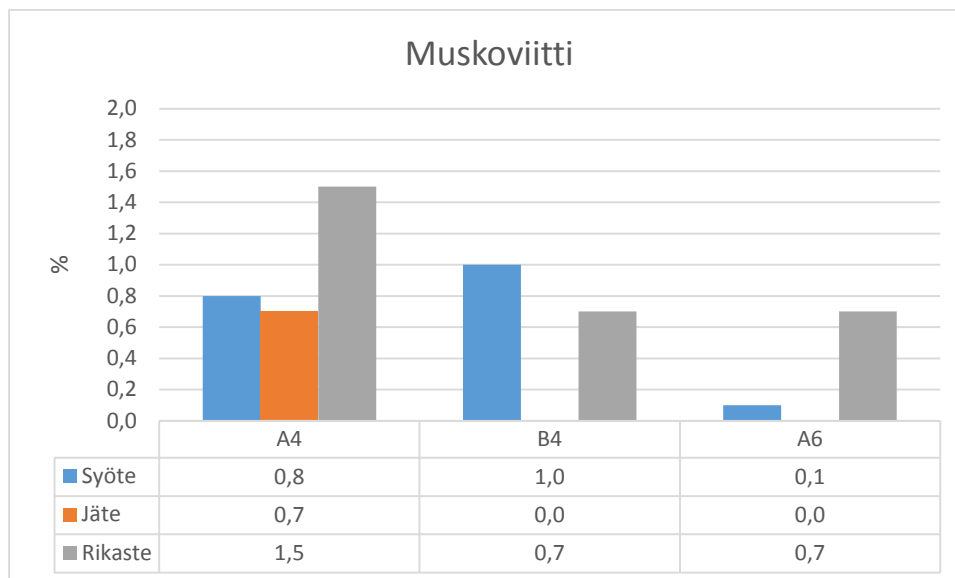


KUVA 55. Vaahdotuskokeiden A1–B6 FeO-pitoisuudet syötteistä, rikasteista ja jätteistä



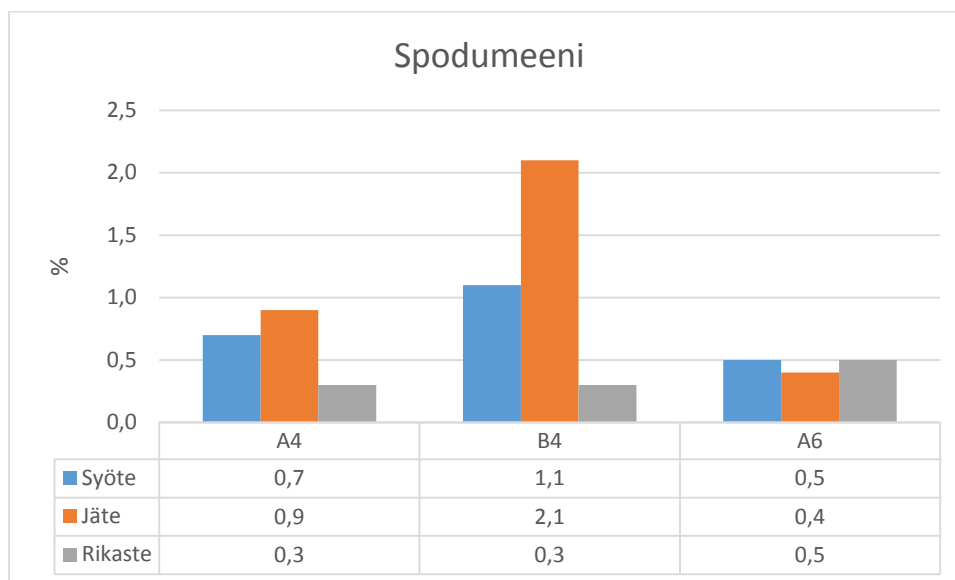
KUVA 56. Vaahdotuskokeiden A1–B6 rikaste-jättesuhteet

Kokeista A4, B4 ja A6 tehtyjen XRD-mittausten pohjalta saatiin myös muskoviitti- eli kiillepitoisuus selville.(LIITE 3.). Kokeessa A6 ei muskoviittia ollut syötteessä juuri lainkaan, ja jätteessä sitä ei ole yhtään kokeissa B4 ja A6.(KUVA 57.). Kun verrataan keskenään kokeiden A4 ja A6 syötteiden kiillepitoisuuksia, voidaan todeta, ettei syötteenä ollut Syväjärven malmi ollut koostumukseltaan täysin tasajakoista, sillä kokeen A4 syötteessä kiillepitoisuus on selvästi korkeampi.(KUVA 57.). Kokeessa A4 muskoviittia jäi myös jätteeseen. Rikasteeseen sitä nousi siinä myös eniten. Läntän malmin syötteen muskoviittipitoisuuden pieni eroavaisuus verrattuna Syväjärven malmiin, selittyy todennäköisesti eri louhintapaikalla. Kvartsin ja maasälvän vaahdotuksessa kiilteen tulisi vaahdottua pois jo, ennen kuin maasälpää alkaisi nousta rikasteeseen. Muskoviitti-pitoisuus on kuitenkin sen verran alhainen, ettei sen pitäisi vaikuttaa häiritsevästi kvartsin ja maasälvän vaahdotukseen.



KUVA 57. Vaahdotuskokeiden A4, B4 ja A6 XRD-mittaustulokset syötteen, jätteen sekä rikasteen muskoviitti- eli kiillepitoisuudesta

XRD-mittausten pohjalta analysoitiin myös kokeiden A4, B4 ja A6 spodumeeni-pitoisuudet.(LIITE 3.). Ne olivat joka kokeen kohdalla rikasteiden osalta liki samat.(KUVA 58.). Jätteiden osalta korkein spodumeeni-pitoisuus oli kokeessa B4.(KUVA 58.). Syötteiden suhteen Syväjärven malmin spodumeeni-pitoisuudet ovat likimain yhtä suuret.(KUVA 58.). Spodumeeni-pitoisuus on suurin Läntän malmin syötteessä, joka oli pintamalmia. Spodumeenin pitoisuuserot eri malmien syötteiden osalta selittyvät myös sillä, että ne ovat louhittu eri kohteista. Litium on Keliber Oy:n päätuote, joten oli yhtiön toiveiden mukaan saada tietää, kuinka paljon spodumeenia eli litiumalumiinisilikaattia on vaahdotettavissa syötteissä, ja sen jälkeisissä rikasteissa sekä jätteissä.



KUVA 58. Vaahdotuskokeiden A4, B4 ja A6 XRD-mittaustulokset syötteen, jätteen sekä rikasteen spodumeeni-pitoisuudesta

10 LOPPUPÄÄTELMÄT

Tämä opinnäytetyö koostui kaikkiaan kahdestatoista vaahdotuskokeesta, joista 6 tehtiin Syväjärven malmille, ja 6 Längän malmille. Kokeissa testattiin viittä eri kokoojakemikaalia yksittäin ja kahden eri kokoojan yhdistelmää. Kaikki kokeet tehtiin aiemmin mainituissa vakio-olosuhteissa, jotta ne olisivat mahdollisimman vertailukelpoisia keskenään, parhaiten toimineita kokoojakemikaaleja valittaessa.

Kokeista saadut tulokset osoittivat, ettei kvartsin ja maasälvän erottaminen toisistaan vaahdottamalla onnistu kaikilla kokoojilla. Kokeissa A1, B1, A2 ja B2 ei saatu kvartsia ja maasälpä erottumaan lainkaan toisistaan, kuten XRF-mittausten analyysitulokset syötteiden, jätteen sekä rikasteiden pitoisuuksista osoittavat. Niissä yksittäin käytetyt kokoojakemikaalit olivat AERO 3030C ja Armoflote 64. Huomionarvoista on se, että nämä kokoojakemikaalit eivät toimineet kummallekaan malmille, joten niiden toimivuus yksinään minkäänlaisissa olosuhteissa kvartsi-maasälvän vaahdotuksessa voidaan tuomita epäonnistuneeksi.

Kokeissa A3 ja A5 saatiin aikaan kvartsin ja maasälpjen pitoisuuksissa eroavaisuuksia syötteitä, jätteitä ja rikasteita verrattaessa keskenään. Kokeet tehtiin Syväjärven malmille tuloksellisesti käyttäen kokeessa A3 kokoojaa Armac C, ja kokeessa A5 kokoojaa AERO 825. Kokeessa A3 saatiin sekä maasälpä että kvartsia melko tasaisesti niin rikasteeseen kuin jätteeseen. Kokeessa A5 jätettä syntyi poikkeuksellisen paljon verrattuna muihin onnistuneisiin kokeisiin, jonka seurauksena sen kvartsin saanti jätteessä oli hyvä, mutta sinne oli myös jäänyt suurin osa maasälvistä. Kyseiset kokeet tehtiin myös Längän malmille, ja ne olivat kokeet B3 ja B5. Niiden kohdalla lopputulos oli kuten kokeissa A1–B2, joten voidaan todeta, ettei kvartsin ja maasälpjen erotus toisistaan onnistu Längän malmista näillä kokoojakemikaaleilla yksittäin. Syynä voisi mahdollisesti olla jo aiemmin mainittu yksityiskohta, eli se, että Syväjärven malmi on syvämalmi ja Längän malmi on lähempää maan pintaa louhittua, joten siinä on mahdollisesti tapahtunut hapettumista. Tämä on todennäköisin syy näiden kokoojakemikaalien toimivuuden eroille vaahdotettujen malmien välillä. Kokeessa A3 saataisiin kokoojan Armac C aikaansaamaa kvartsin ja maasälpjen erottumista mahdollisesti selektiivisemmäksi käyttämällä sopivaa painajaa, mutta kokeessa A5 voisi käyttää aktivoijaa, jotta saataisiin maasälpjen saanti rikasteessa nousemaan, koska kvartsin tulisi jäädä jätteeseen. Kokoojakemikaalien annostelun nosto tai lasku voisi myös vaikuttaa kvartsin ja maasälpjen saantoihin, mutta myös jokin toinen kokooja yhdistettynä joko Armac C:n tai AERO 825:en kanssa voisi parantaa saantoja.

Vaahdotuskokeissa A4 ja B4 saatiin kvartssia ja maasälpiä erottumaan toisistaan molemmista malmeista. Sen vuoksi voidaan ainakin todeta, että sen puolesta yksittäin käytettynä kokooja Armac T on järkevämpi valinta kuin kokoojat Armac C ja AERO 825. Kokeessa A4 saatiin parempi kvartsin saanti jätteessä kuin kokeessa B4, mutta molempien kokeiden kohdalla, suurin osa nousi kuitenkin rikasteeseen, jonka vuoksi sopiva painaja olisi järkevää ottaa mukaan vaahdotukseen. Maasälpien saannot olivat molempien kokeiden kohdalla hyvät, ja huomattavasti suurin osa niistä on rikasteessa, kuten pitoisuuksista huomaa. Voidaan todeta, että Armac T on potentiaalinen kokoojakemikaali kvartsin ja maasälvän erottamiseen, mikäli löytyy toimiva painaja tai kokooja, jonka kanssa yhdistettynä se voisi toimia selektiivisemmin.

Parhaimmat kvartsin ja maasälpien erotustulokset saatiin vaahdotuskokeissa A6 ja B6, joissa käytettiin kokoojakemikaalien AERO 3030C:n ja AERO 825:en yhdistelmää. Näistä kokeista hieman edukseen erottui koe A6, joka tehtiin Syväjärven malmille. Tässä kokeessa kvartsin saanti jätteessä oli vain 15 %, joten sitä nousi noin 85 % rikasteeseen, mutta sopivalla painajalla sen jääminen jätteeseen saataisiin varmistettua. Maasälpien saannot rikasteessa olivat erittäin hyvät, noin 90 % kutakin, joten niitä ei ole jäänyt paljon jätteeseen. Kokeessa B6 kvartsin saanti jätteessä on noin 25 %, ja rikasteeseen sitä on noussut noin 75 %, joten painaja auttaisi myös tässä tapauksessa. Maasälpien saannot rikasteessa ovat noin 80 % kutakin, joten niiden osalta tulokset ovat myös todella hyvät. Molempien kokeiden kohdalla nähdään, että suurin osa kvartsista on jätteessä ja maasälvistä rikasteessa. Tärkeintä on se, että käytetty kokoojakemikaalien yhdistelmä toimi molemmille malmeille tuloksellisesti.

On selvää, että jokaisella toimivalla kemikaalilla tehdään kertausvaahdotuksia, jotta saadaan mahdollisimman suuret maasälpien saannot rikasteeseen ja kvartsin saanti jätteeseen. Kukin toimiva kokooja tai niiden yhdistelmä ei kykene itsessään erottamaan kvartssia ja maasälpiä toisistaan siten, että samanaikaisesti maasälpien saannot olisivat rikasteessa riittävän hyvät, ja kvartsin jätteessä. Lisäksi verrannollisena asiana huomataan, että kun maasälpien saannot olivat rikasteissa hyvät, kvartsin saanti jätteessä oli huono, ja toisinpäin. Tarvitaan siis säännöstelykemikaali, painaja, jonka avulla saadaan kokoojan tarttuminen kvartsiin estettyä, ja se jäämään jätteeseen. Ihanteellinen tilanne olisi, että kvartsin saanti jätteessä olisi 100 % ja maasälpien saannot rikasteessa 100 %. Näissä kokeissa sitä ei kuitenkaan saavutettu likimainkaan, mutta päästiin kuitenkin tavoitteeseen eli löydettiin toimivia kokoojakemikaaleja kvartsin ja maasälvän erottamiseen vaahdottamalla. Kunkin toimineen kokoojakemikaalin saannot niin kvartsin jätteessä kuin maasälpien rikasteessa, ovat verrattavissa keskenään liitteessä 5.

LÄHTEET

- Alviola, R. 1988. Harvinaisia alkuaineita sisältävät pegmatiitit. Teoksessa: Haapala, I (toim.) Suomen teollisuusmineraalit ja teollisuuskivet, Yliopistopaino, Helsinki.
- Bayat, O. Arslan, V. & Cebeci, Y. 2005. Combined application of different collectors in the flotation concentration of Turkish feldspars. Technical note. *Minerals Engineering* 19 (2006). 98–101.
- Bulatovic, Srdjan M. 2015. *Handbook of Flotation Reagents: Chemistry, Theory and Practice : Flotation of Industrial Minerals*. volume 3. 1.painos. Elsevier.
- Gaied, M.E. & Gallala, W. 2011. Benefication of feldspar ore of application in the ceramic industry: Influence of composition on the physical characteristics. *Arabian Journal of Chemistry*. 8 (2015). 186–190.
- Geologia. 2016. Kvartsi. Www-dokumentti: Saatavissa: <http://www.geologia.fi/index.php/2011-12-21-12-30-30/2011-12-21-12-40-07/mineraalit-a-oe/39-kvartsi>. Viitattu: 27.1.2016.
- Greval, I. 2016. Mineral processing introduction. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://metsolve-labs.com/library/articles/mineral-processing-introduction>. Viitattu: 11.2.2016.
- Grönholm, S, Alviola, R, Kinnunen, K, Kojonen, K, Kärkkäinen, N & Mäkitie, H. 2009. *Retkeilijän Kiviopas*. Geologian tutkimuskeskus. 2.painos. Helsinki: Edita Prima Oy.
- Heyes, G.W. Allan, G.C. Bruckard, W.J. & Sparrow, G.J. 2012. Review of flotation of feldspar. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy*. 2 (2012). 72–78.
- Kawatra, S. Komar 2011. *Fundamentals Principles of Froth Flotation, Mining Engineering Handbook*. 3. painos. Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc.
- Keliber Oy. 2013. Historia. Www- dokumentti. Saatavissa: <http://keliber.fi/historia>. Viitattu: 24.1.2016.
- Keliber Oy. 2015. Länttä. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://keliber.fi/lanтта>. Viitattu: 26.1.2016.
- Lukkarinen, T & Insinööritieto Oy. 1987. *Mineraalitekniikka Osa 2 Mineraalien rikastus*. Helsinki: Insinööritieto Oy.
- Länsi-Suomen ympäristölupavirasto. 2007. Saatavissa: <file:///C:/Users/co1200691/Downloads/lsy-2006-y-348-p%C3%A4%C3%A4t%C3%B6s.pdf>. Pdf-dokumentti. Viitattu: 7.2.2016.
- OVA-ohje. Fluorivety ja fluorivetyhappo-tiivistelmä. 2014. Www-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ttl.fi/ova/tfluovet.html>. Viitattu: 3.2.2016.
- Rikastus. Saatavissa: http://kaiva.fi/wp-content/uploads/2014/12/Rikastus_kaiva.pdf. Pdf-dokumentti. 2014. Viitattu: 28.1.2016.
- Sekulic, Z. Canic, N. Bartulovic, Z. & Dakovic, A. 2003. Application of different collectors in the flotation concentration of feldspar, mica and quartz sand. Technical note. *Minerals Engineering* 17 (2004). 77–80.

Sirén, O. 2015. Keliber esittely. Powerpoint-diat. Saatu Keliber Oy:ltä 20.1.2015.

Suomen Geologinen Seura. Martti Lehtinen, Pekka Nurmi ja Tapani Rämö (toim.) 1998, Suomen kallioperä- 3000 vuosimiljoonaa, Luku 2, Geologian peruskäsitteitä. Pdf-dokumentti. Saatavissa: <http://www.geologinenseura.fi/suomenkalliopera/CH2.pdf>. Viitattu: 29.1.2016.

Wills', B & Napier-Munn, T. 1979. Mineral Processing Technology. 7. painos. IsoBritannia: Butterworth-Heinemann.

LIITE 1

Kemikaalit	Määrä	Tunnus
Aero 3030C	300g/t	A1,syöte
		A1,rikaste
		A1,jäte
		B1,syöte
		B1,rikaste
		B1,jäte

Kemikaalit	Määrä	Tunnus
Aero 825	300g/t	A5,syöte
		A5,rikaste
		A5,jäte
		B5,syöte
		B5,rikaste
		B5,jäte

Kemikaalit	Määrä	Tunnus
Armoflote 64	300g/t	A2,syöte
		A2,rikaste
		A2,jäte
		B2,syöte
		B2,rikaste
		B2,jäte

Kemikaalit	Määrä	Tunnus	
Aero 3030C	150g/t	A6,syöte	
		A6,rikaste	
		A6,jäte	
Aero 825	150g/t	B6,syöte	
yht.	300g/t		B6,rikaste
			B6,jäte

Kemikaalit	Määrä	Tunnus
Armac C	300g/t	A3, syöte
		A3,rikaste
		A3,jäte
		B3,syöte
		B3,rikaste
		B3,jäte

Kemikaalit	Määrä	Tunnus
Armac T	300g/t	A4,syöte
		A4,rikaste
		A4,jäte
		B4,syöte
		B4,rikaste
		B4,jäte

Laboratorion	Tilaaajan	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	V ₂ O ₃	FeO	MnO
näytetunnus	näytetunnus	%	%	%	%	%	%	%
		180X	180X	180X	180X	180X	180X	180X
L16018175	A1,syöte	77,8	0,003	13,3	<0.002	<0.002	0,13	0,005
L16018176	A1,rikaste	77,8	0,005	13,2	0,0022	<0.002	0,15	0,005
L16018177	A1,jäte	77,8	0,003	13,2	<0.002	<0.002	0,14	0,004
L16018178	B1,syöte	77,9	0,003	13,1	<0.002	<0.002	0,13	0,005
L16018179	B1,rikaste	77,8	0,003	13,2	<0.002	<0.002	0,13	0,004
L16018180	B1,jäte	77,8	0,003	13,2	<0.002	<0.002	0,15	0,006
L16018181	A2,syöte	77,8	0,002	13,2	0,0023	<0.002	0,14	0,007
L16018182	A2,rikaste	78,1	<0.002	13	<0.002	<0.002	0,1	0,004
L16018183	A2,jäte	78	0,003	13,2	<0.002	<0.002	0,14	0,006
L16018184	B2,syöte	78	0,002	13	<0.002	<0.002	0,13	0,004
L16018185	B2,rikaste	77,4	0,003	13,3	<0.002	<0.002	0,14	0,005
L16018186	B2,jäte	78,2	0,003	13	0,0029	<0.002	0,16	0,007
L16018187	A3, syöte	77,8	0,003	13,3	<0.002	<0.002	0,13	0,006
L16018188	A3,rikaste	76,6	0,005	14,1	<0.002	<0.002	0,16	0,006
L16018189	A3,jäte	79,1	0,002	12,5	0,0025	<0.002	0,15	0,006
L16018190	B3,syöte	78,1	0,002	13	<0.002	<0.002	0,13	0,004
L16018191	B3,rikaste	78,1	0,002	13	<0.002	<0.002	0,12	0,003
L16018192	B3,jäte	78	0,003	13,1	0,002	<0.002	0,14	0,006
L16018193	A4,syöte	77,8	0,002	13,2	0,002	<0.002	0,13	0,006
L16018194	A4,rikaste	75,1	0,003	15	<0.002	<0.002	0,18	0,005
L16018195	A4,jäte	82,7	<0.002	10,3	<0.002	<0.002	0,11	0,004
L16018196	B4,syöte	78	0,003	13	<0.002	<0.002	0,13	0,005
L16018197	B4,rikaste	74,7	0,004	15	<0.002	<0.002	0,16	0,006
L16018198	B4,jäte	85,5	<0.002	8,67	0,0026	<0.002	0,14	0,009
L16018199	A5,syöte	77,8	0,003	13,3	<0.002	<0.002	0,14	0,006
L16018200	A5,rikaste	73,5	0,019	16,7	0,0039	<0.002	0,51	0,027
L16018201	A5,jäte	78,9	<0.002	12,3	<0.002	<0.002	0,06	<0.001
L16018202	B5,syöte	78	0,003	13	<0.002	<0.002	0,13	0,005
L16018203	B5,rikaste	77,6	0,008	13,7	<0.002	<0.002	0,27	0,015
L16018204	B5,jäte	77,9	<0.002	12,9	<0.002	<0.002	0,05	<0.001
L16018205	A6,syöte	77,9	0,002	13,2	<0.002	<0.002	0,13	0,005
L16018206	A6,rikaste	76,6	0,005	14	0,0025	<0.002	0,16	0,006
L16018207	A6,jäte	85,7	0,004	8,33	0,0026	<0.002	0,13	0,005
L16018208	B6,syöte	78	0,003	13	0,0026	<0.002	0,13	0,005
L16018209	B6,rikaste	76,7	0,003	13,8	0,0022	<0.002	0,14	0,005
L16018210	B6,jäte	82,2	0,002	10,5	<0.002	<0.002	0,11	0,004

Laboratorion näytetunnus	Tilaajan näytetunnus	MgO %	CaO %	Rb2O %	SrO %	BaO %	Na2O %	K2O %	ZrO2 %	P2O5 %
		180X	180X	180X	180X	180X	180X	180X	180X	180X
L16018175	A1,syöte	< 0,02	0,115	0,056	0,0021	0,003	4,83	3,51	0,002	0,137
L16018176	A1,rikaste	< 0,02	0,119	0,051	0,0024	0,005	4,75	3,49	0,002	0,135
L16018177	A1,jäte	< 0,02	0,128	0,054	0,0024	0,004	4,87	3,44	0,001	0,143
L16018178	B1,syöte	0,04	0,184	0,068	0,0022	0,006	5,15	3,17	0,002	0,047
L16018179	B1,rikaste	0,04	0,177	0,073	0,0028	0,007	5,15	3,23	0,002	0,048
L16018180	B1,jäte	0,05	0,183	0,073	0,0028	0,004	5,1	3,21	0,002	0,05
L16018181	A2,syöte	< 0,02	0,111	0,053	0,0021	0,001	4,81	3,48	0,002	0,139
L16018182	A2,rikaste	< 0,02	0,106	0,053	0,0022	0,003	4,94	3,37	0,001	0,14
L16018183	A2,jäte	< 0,02	0,111	0,055	0,002	0,004	4,74	3,43	0,001	0,139
L16018184	B2,syöte	0,04	0,18	0,069	0,0031	0,004	5,11	3,16	0,002	0,047
L16018185	B2,rikaste	0,03	0,175	0,078	0,003	0,007	5,2	3,32	0,002	0,049
L16018186	B2,jäte	0,07	0,198	0,068	0,0035	0,005	5,04	3,03	0,002	0,049
L16018187	A3, syöte	< 0,02	0,11	0,054	0,0019	0,005	4,8	3,49	0,002	0,137
L16018188	A3,rikaste	< 0,02	0,114	0,059	0,0025	0,004	4,93	3,74	0,002	0,14
L16018189	A3,jäte	< 0,02	0,119	0,05	0,0019	0,004	4,54	3,21	0,002	0,13
L16018190	B3,syöte	0,03	0,179	0,07	0,0028	0,005	5,1	3,16	0,002	0,046
L16018191	B3,rikaste	0,03	0,179	0,07	0,0032	0,006	5,16	3,1	0,001	0,047
L16018192	B3,jäte	0,05	0,184	0,067	0,0027	0,005	5,13	3,09	0,002	0,049
L16018193	A4,syöte	< 0,02	0,111	0,054	0,0019	0,004	4,84	3,48	0,002	0,14
L16018194	A4,rikaste	< 0,02	0,109	0,068	0,0024	0,002	5,12	4,09	0,002	0,142
L16018195	A4,jäte	< 0,02	0,095	0,04	0,0021	0,002	3,83	2,55	0,001	0,115
L16018196	B4,syöte	0,04	0,177	0,073	0,0027	0,005	5,12	3,16	0,002	0,047
L16018197	B4,rikaste	0,02	0,178	0,089	0,0032	0,005	5,7	3,9	0,002	0,053
L16018198	B4,jäte	0,09	0,167	0,029	0,003	0,004	3,54	1,54	0,002	0,031
L16018199	A5,syöte	< 0,02	0,116	0,056	0,0021	0,003	4,79	3,51	0,002	0,139
L16018200	A5,rikaste	0,1	0,157	0,08	0,002	0,005	4,04	4,45	0,002	0,145
L16018201	A5,jäte	< 0,02	0,13	0,049	0,002	0,002	5,12	3,18	0,001	0,139
L16018202	B5,syöte	0,04	0,177	0,073	0,0025	0,003	5,13	3,15	0,002	0,048
L16018203	B5,rikaste	0,07	0,196	0,075	0,0031	0,007	4,68	3,16	0,002	0,044
L16018204	B5,jäte	< 0,02	0,164	0,075	0,0028	0,004	5,4	3,28	0,001	0,053
L16018205	A6,syöte	< 0,02	0,111	0,055	0,0022	0,002	4,81	3,49	0,002	0,137
L16018206	A6,rikaste	< 0,02	0,117	0,057	0,0024	0,004	5,09	3,67	0,002	0,136
L16018207	A6,jäte	0,07	0,139	0,028	0,0018	0,001	3,31	1,91	0,001	0,087
L16018208	B6,syöte	0,03	0,177	0,074	0,0028	0,007	5,13	3,15	0,002	0,048
L16018209	B6,rikaste	0,03	0,177	0,082	0,003	0,005	5,36	3,44	0,002	0,051
L16018210	B6,jäte	0,05	0,155	0,05	0,003	0,003	4,19	2,4	0,002	0,039

Laboratorion näytetunnus	Tilaaajan näytetunnus	CO2 %	Cu %	Ni %	Co %	Zn %	Pb %	Ag %	S %	As %	Sb %	Bi %
		180X	180X	180X	180X	180X	180X	180X	180X	180X	180X	180X
L16018175	A1,syöte		<0.001	0,003	0,038	0,002	0,009	0,001	0,008	<0.003	0,007	<0.005
L16018176	A1,rikaste		<0.001	0,002	0,043	0,003	0,012	<0.001	0,016	<0.003	<0.005	<0.005
L16018177	A1,jäte		0,001	0,003	0,037	0,002	0,01	0,001	0,012	<0.003	<0.005	<0.005
L16018178	B1,syöte		<0.001	0,002	0,034	0,004	0,01	0,001	0,002	<0.003	0,005	0,005
L16018179	B1,rikaste		<0.001	0,002	0,038	0,003	0,009	0,001	0,005	<0.003	0,006	0,005
L16018180	B1,jäte		0,001	0,003	0,024	0,003	0,008	<0.001	0,004	<0.003	0,006	0,005
L16018181	A2,syöte		<0.001	0,002	0,037	0,002	0,011	0,001	0,012	<0.003	<0.005	<0.005
L16018182	A2,rikaste		<0.001	0,002	0,04	0,001	0,009	0,001	0,005	<0.003	0,007	<0.005
L16018183	A2,jäte		<0.001	0,002	0,04	0,003	0,009	0,001	0,005	<0.003	0,006	<0.005
L16018184	B2,syöte		<0.001	0,002	0,04	0,003	0,009	0,001	0,002	<0.003	<0.005	0,006
L16018185	B2,rikaste		<0.001	0,002	0,039	0,003	0,009	0,001	0,006	<0.003	0,006	0,005
L16018186	B2,jäte		<0.001	0,003	0,04	0,004	0,009	0,001	0,004	<0.003	<0.005	0,006
L16018187	A3, syöte		<0.001	0,002	0,041	0,003	0,01	0,001	0,003	<0.003	<0.005	<0.005
L16018188	A3,rikaste		<0.001	0,003	0,042	0,002	0,01	0,001	0,008	<0.003	0,006	<0.005
L16018189	A3,jäte		0,001	0,002	0,037	0,003	0,01	0,001	0,008	<0.003	0,006	<0.005
L16018190	B3,syöte		<0.001	0,002	0,04	0,003	0,008	0,001	0,001	<0.003	0,005	0,005
L16018191	B3,rikaste		<0.001	0,001	0,026	0,003	0,009	0,001	0,003	<0.003	0,006	0,005
L16018192	B3,jäte		<0.001	0,002	0,043	0,003	0,009	0,001	0,002	<0.003	<0.005	0,006
L16018193	A4,syöte		<0.001	0,002	0,039	0,002	0,009	0,001	0,003	<0.003	0,006	<0.005
L16018194	A4,rikaste		<0.001	0,002	0,039	0,003	0,009	0,001	0,01	<0.003	0,007	<0.005
L16018195	A4,jäte		<0.001	0,002	0,038	0,001	0,008	0,001	0,004	<0.003	0,007	<0.005
L16018196	B4,syöte		<0.001	0,002	0,039	0,004	0,008	0,001	0,002	<0.003	0,007	0,005
L16018197	B4,rikaste		<0.001	0,002	0,037	0,003	0,009	0,001	0,003	<0.003	<0.005	0,005
L16018198	B4,jäte		<0.001	0,002	0,039	0,003	0,008	0,001	0,003	<0.003	0,007	0,006
L16018199	A5,syöte		<0.001	0,002	0,037	0,003	0,009	0,002	0,003	<0.003	<0.005	<0.005
L16018200	A5,rikaste		0,001	0,004	0,033	0,006	0,009	0,001	0,014	<0.003	<0.005	<0.005
L16018201	A5,jäte		<0.001	0,002	0,039	0,001	0,009	0,001	0,003	<0.003	0,007	<0.005
L16018202	B5,syöte		<0.001	0,002	0,042	0,003	0,007	0,001	0,002	<0.003	0,007	0,005
L16018203	B5,rikaste		0,001	0,002	0,04	0,005	0,008	0,001	0,005	<0.003	0,006	0,006
L16018204	B5,jäte		<0.001	0,002	0,041	0,002	0,008	0,002	0,003	<0.003	0,007	<0.005
L16018205	A6,syöte		<0.001	0,002	0,039	0,002	0,009	0,001	0,003	<0.003	<0.005	<0.005
L16018206	A6,rikaste		<0.001	0,002	0,037	0,002	0,01	0,001	0,007	<0.003	<0.005	<0.005
L16018207	A6,jäte		0,001	0,003	0,04	0,002	0,009	0,001	0,007	<0.003	0,007	<0.005
L16018208	B6,syöte		<0.001	0,002	0,037	0,003	0,007	0,001	0,001	<0.003	0,007	0,005
L16018209	B6,rikaste		0,001	0,003	0,038	0,004	0,008	0,001	0,006	<0.003	0,007	0,005
L16018210	B6,jäte		<0.001	0,002	0,04	0,003	0,009	0,001	0,005	<0.003	0,005	0,005

Laboratorion näytetunnus	Ilaajan näytetunnus	Te %	Y %	Nb %	Mo %	Sn %	W %	Ga %	Cl %	Th %	U %
		180X	180X	180X	180X	180X	180X	180X	180X	180X	180X
L16018175	A1,syöte	0,004	0,0017	0,0025	<0.002	0,003	<0.002	<0.003	0,002	<0.001	<0.0005
L16018176	A1,rikaste	0,006	<0.001	0,0036	0,0021	<0.002	<0.002	<0.003	0,006	<0.001	<0.0005
L16018177	A1,jäte	0,005	<0.001	0,0026	<0.002	0,002	<0.002	<0.003	0,004	<0.001	<0.0005
L16018178	B1,syöte	0,005	0,002	0,0034	<0.002	<0.002	<0.002	0,003	0,002	<0.001	<0.0005
L16018179	B1,rikaste	0,005	0,0022	0,0029	<0.002	<0.002	<0.002	0,0031	0,004	<0.001	<0.0005
L16018180	B1,jäte	0,005	0,0021	0,0028	<0.002	<0.002	<0.002	0,0032	0,005	<0.001	<0.0005
L16018181	A2,syöte	0,005	0,0012	0,0031	<0.002	0,002	<0.002	<0.003	0,002	<0.001	<0.0005
L16018182	A2,rikaste	0,004	0,0017	0,0024	<0.002	0,003	<0.002	<0.003	0,002	<0.001	<0.0005
L16018183	A2,jäte	0,004	0,0016	0,0029	<0.002	0,003	<0.002	<0.003	0,004	<0.001	<0.0005
L16018184	B2,syöte	0,005	0,0026	0,003	<0.002	<0.002	<0.002	0,0033	0,002	<0.001	<0.0005
L16018185	B2,rikaste	0,004	0,0023	0,0029	<0.002	<0.002	<0.002	<0.003	0,003	<0.001	<0.0005
L16018186	B2,jäte	0,005	0,0024	0,0036	<0.002	<0.002	<0.002	0,0031	0,004	<0.001	<0.0005
L16018187	A3, syöte	0,005	0,0015	0,0027	<0.002	0,003	<0.002	<0.003	0,002	<0.001	<0.0005
L16018188	A3,rikaste	0,006	0,0017	0,0031	<0.002	0,002	<0.002	<0.003	0,004	<0.001	<0.0005
L16018189	A3,jäte	0,005	0,0016	0,0025	<0.002	0,002	<0.002	<0.003	0,006	<0.001	<0.0005
L16018190	B3,syöte	0,005	0,0018	0,0032	<0.002	<0.002	<0.002	0,003	0,003	<0.001	<0.0005
L16018191	B3,rikaste	0,004	0,0015	0,0031	<0.002	<0.002	<0.002	0,0036	0,004	<0.001	<0.0005
L16018192	B3,jäte	0,005	0,0021	0,0035	<0.002	<0.002	<0.002	<0.003	0,002	<0.001	<0.0005
L16018193	A4,syöte	0,004	0,0011	0,0028	<0.002	0,002	<0.002	<0.003	0,004	<0.001	<0.0005
L16018194	A4,rikaste	0,004	0,002	0,003	<0.002	0,004	<0.002	<0.003	0,006	<0.001	<0.0005
L16018195	A4,jäte	0,004	<0.001	0,002	<0.002	0,002	<0.002	<0.003	0,004	<0.001	<0.0005
L16018196	B4,syöte	0,004	0,0019	0,0034	<0.002	0,002	<0.002	0,0031	0,002	<0.001	<0.0005
L16018197	B4,rikaste	0,005	0,003	0,0032	<0.002	<0.002	<0.002	0,0035	0,003	<0.001	<0.0005
L16018198	B4,jäte	0,004	0,0012	0,0029	<0.002	<0.002	<0.002	<0.003	0,002	<0.001	<0.0005
L16018199	A5,syöte	0,005	<0.001	0,0025	<0.002	0,003	<0.002	<0.003	0,004	<0.001	<0.0005
L16018200	A5,rikaste	0,004	0,0025	0,0045	<0.002	0,007	<0.002	0,0033	0,004	<0.001	<0.0005
L16018201	A5,jäte	0,004	0,0014	0,0017	<0.002	0,002	<0.002	<0.003	0,004	<0.001	<0.0005
L16018202	B5,syöte	0,004	0,0022	0,003	<0.002	<0.002	<0.002	0,003	0,003	<0.001	<0.0005
L16018203	B5,rikaste	0,004	0,0023	0,0042	<0.002	0,002	<0.002	0,0044	0,004	<0.001	<0.0005
L16018204	B5,jäte	0,004	0,0022	0,0015	<0.002	0,002	<0.002	0,003	0,002	<0.001	<0.0005
L16018205	A6,syöte	0,005	0,0015	0,0029	<0.002	0,003	<0.002	<0.003	0,003	<0.001	<0.0005
L16018206	A6,rikaste	0,006	<0.001	0,0031	<0.002	0,002	<0.002	<0.003	0,003	<0.001	<0.0005
L16018207	A6,jäte	0,005	<0.001	0,0022	<0.002	0,002	<0.002	<0.003	0,005	<0.001	<0.0005
L16018208	B6,syöte	0,003	0,0025	0,0027	<0.002	0,002	<0.002	<0.003	0,003	<0.001	<0.0005
L16018209	B6,rikaste	0,004	0,0021	0,0032	<0.002	0,002	<0.002	0,0033	0,003	<0.001	<0.0005
L16018210	B6,jäte	0,005	0,0011	0,0028	<0.002	<0.002	<0.002	<0.003	0,003	<0.001	<0.0005

LIITE 2/5

Laboratorion näytetunnus	Tilaaajan näytetunnus	Cs %	La %	Ce %	Ta %	OxSumm %	Si %	Ti %	Cr %	V %
		180X	180X	180X	180X	180X	180X	180X	180X	180X
L16018175	A1,syöte	0,004	0,003	0,001	0,003	99,9	36,3	0,002	0,0012	<0,001
L16018176	A1,rikaste	0,005	0,002	<0,001	0,001	99,9	36,4	0,003	0,0015	<0,001
L16018177	A1,jäte	0,005	0,002	0,001	0,001	99,9	36,4	0,002	<0,001	<0,001
L16018178	B1,syöte	0,002	0,003	0,001	0,002	99,9	36,4	0,002	<0,001	<0,001
L16018179	B1,rikaste	0,002	0,003	<0,001	0,001	99,9	36,4	0,002	<0,001	<0,001
L16018180	B1,jäte	0,003	0,002	<0,001	<0,001	99,9	36,4	0,002	0,0012	<0,001
L16018181	A2,syöte	0,004	0,003	0,001	0,001	99,9	36,4	0,001	0,0016	<0,001
L16018182	A2,rikaste	0,004	0,001	0,001	0,001	99,9	36,5	<0,001	<0,001	<0,001
L16018183	A2,jäte	0,004	0,001	<0,001	0,002	99,9	36,4	0,002	<0,001	<0,001
L16018184	B2,syöte	0,002	0,002	<0,001	0,003	99,9	36,5	0,001	<0,001	<0,001
L16018185	B2,rikaste	0,004	0,004	<0,001	0,001	99,9	36,2	0,002	<0,001	<0,001
L16018186	B2,jäte	0,004	0,002	0,001	0,002	99,9	36,6	0,002	0,002	<0,001
L16018187	A3, syöte	0,003	0,003	0,001	<0,001	99,9	36,4	0,002	<0,001	<0,001
L16018188	A3,rikaste	0,004	0,002	<0,001	0,002	99,9	35,8	0,003	0,0012	<0,001
L16018189	A3,jäte	0,002	0,005	<0,001	0,001	99,9	37	0,001	0,0017	<0,001
L16018190	B3,syöte	0,003	0,003	<0,001	0,003	99,9	36,5	0,001	<0,001	<0,001
L16018191	B3,rikaste	0,002	0,005	0,001	0,001	99,9	36,5	0,001	0,001	<0,001
L16018192	B3,jäte	0,004	0,003	<0,001	0,001	99,9	36,4	0,002	0,0014	<0,001
L16018193	A4,syöte	0,004	0,003	0,001	0,003	99,9	36,4	0,001	0,0014	<0,001
L16018194	A4,rikaste	0,005	0,002	<0,001	<0,001	99,9	35,1	0,002	0,0011	<0,001
L16018195	A4,jäte	0,002	0,003	<0,001	0,001	99,9	38,7	0,001	<0,001	<0,001
L16018196	B4,syöte	0,002	0,002	0,001	0,002	99,9	36,5	0,002	0,0012	<0,001
L16018197	B4,rikaste	0,003	0,002	<0,001	0,001	99,9	34,9	0,002	0,0013	<0,001
L16018198	B4,jäte	0,003	0,002	<0,001	0,002	99,9	40	<0,001	0,0018	<0,001
L16018199	A5,syöte	0,002	0,001	<0,001	0,002	99,9	36,4	0,002	<0,001	<0,001
L16018200	A5,rikaste	0,007	0,003	<0,001	0,003	99,9	34,3	0,011	0,0027	<0,001
L16018201	A5,jäte	0,006	0,001	<0,001	0,001	99,9	36,9	<0,001	0,001	<0,001
L16018202	B5,syöte	0,003	0,002	<0,001	0,001	99,9	36,5	0,002	<0,001	<0,001
L16018203	B5,rikaste	0,003	0,002	0,001	0,003	99,9	36,3	0,005	0,001	<0,001
L16018204	B5,jäte	0,003	0,002	<0,001	0,001	99,9	36,4	<0,001	<0,001	<0,001
L16018205	A6,syöte	0,001	0,003	0,001	0,002	99,9	36,4	0,001	0,001	<0,001
L16018206	A6,rikaste	0,003	0,003	<0,001	0,003	99,9	35,8	0,003	0,0017	<0,001
L16018207	A6,jäte	0,002	0,003	<0,001	0,002	99,9	40,1	0,002	0,0018	<0,001
L16018208	B6,syöte	0,002	0,001	<0,001	0,002	99,9	36,5	0,002	0,0018	<0,001
L16018209	B6,rikaste	0,003	0,002	<0,001	0,002	99,9	35,9	0,002	0,0015	<0,001
L16018210	B6,jäte	0,002	0,002	<0,001	0,001	99,9	38,5	0,001	<0,001	<0,001

Laboratorion näytetunnus	Tilaaajan näytetunnus	Fe %	Mn %	Mg %	Ca %	Ba %
		180X	180X	180X	180X	180X
L16018175	A1,syöte	0,1	0,004	<0.01	0,082	0,002
L16018176	A1,rikaste	0,12	0,004	0,01	0,085	0,005
L16018177	A1,jäte	0,11	0,003	0,01	0,092	0,003
L16018178	B1,syöte	0,1	0,004	0,02	0,132	0,006
L16018179	B1,rikaste	0,1	0,003	0,02	0,127	0,007
L16018180	B1,jäte	0,12	0,005	0,03	0,131	0,004
L16018181	A2,syöte	0,11	0,005	<0.01	0,079	<0.002
L16018182	A2,rikaste	0,08	0,003	<0.01	0,076	0,002
L16018183	A2,jäte	0,11	0,004	<0.01	0,079	0,004
L16018184	B2,syöte	0,1	0,003	0,02	0,129	0,003
L16018185	B2,rikaste	0,11	0,004	0,02	0,125	0,006
L16018186	B2,jäte	0,12	0,006	0,04	0,141	0,004
L16018187	A3, syöte	0,1	0,004	<0.01	0,078	0,004
L16018188	A3,rikaste	0,13	0,004	<0.01	0,081	0,003
L16018189	A3,jäte	0,11	0,005	<0.01	0,085	0,004
L16018190	B3,syöte	0,1	0,003	0,02	0,128	0,005
L16018191	B3,rikaste	0,09	0,002	0,02	0,128	0,005
L16018192	B3,jäte	0,11	0,005	0,03	0,132	0,005
L16018193	A4,syöte	0,1	0,005	<0.01	0,079	0,004
L16018194	A4,rikaste	0,14	0,004	<0.01	0,078	0,002
L16018195	A4,jäte	0,09	0,003	<0.01	0,068	0,002
L16018196	B4,syöte	0,1	0,004	0,02	0,127	0,004
L16018197	B4,rikaste	0,12	0,004	0,01	0,127	0,005
L16018198	B4,jäte	0,11	0,007	0,05	0,119	0,004
L16018199	A5,syöte	0,11	0,005	<0.01	0,083	0,003
L16018200	A5,rikaste	0,39	0,021	0,06	0,112	0,004
L16018201	A5,jäte	0,04	<0.001	<0.01	0,093	0,002
L16018202	B5,syöte	0,1	0,004	0,02	0,126	0,003
L16018203	B5,rikaste	0,21	0,011	0,04	0,14	0,006
L16018204	B5,jäte	0,04	<0.001	0,01	0,117	0,004
L16018205	A6,syöte	0,1	0,004	<0.01	0,079	0,002
L16018206	A6,rikaste	0,13	0,004	0,01	0,084	0,003
L16018207	A6,jäte	0,1	0,004	0,04	0,1	<0.002
L16018208	B6,syöte	0,1	0,004	0,02	0,127	0,006
L16018209	B6,rikaste	0,11	0,004	0,02	0,126	0,004
L16018210	B6,jäte	0,09	0,003	0,03	0,111	0,003

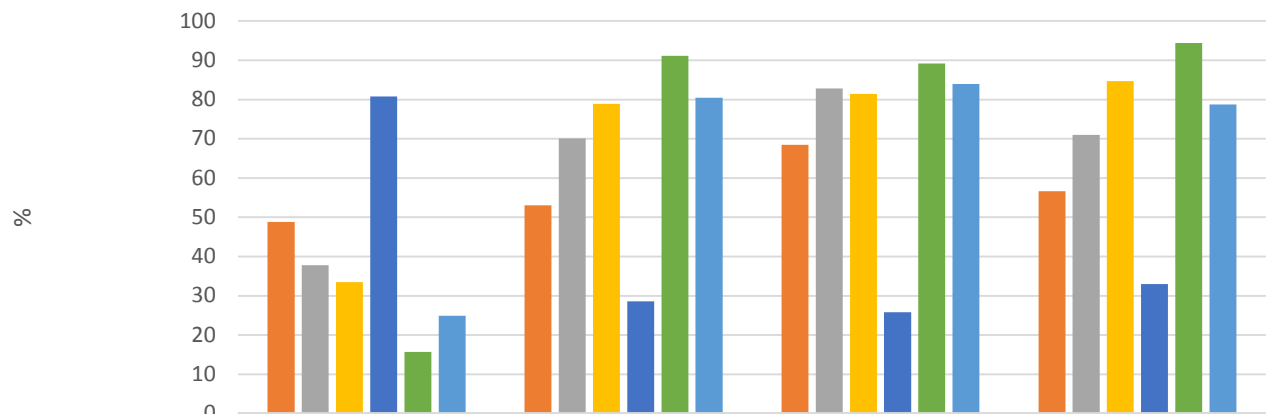
LIITE 3

AutoRietweld analyysi						
XRD-mittaus piinapilla olevasta näytteestä, joka oli raaputettu XRF-näytteestä						
	kvartsi	albiitti	mikrokliini	muskoviitti	spodumeeni	yht.
A4 syöte	40,5	39,1	18,9	0,8	0,7	100,0
A4 jäte	53,5	30,5	14,5	0,7	0,9	100,1
A4 rikaste	34,6	42,3	21,3	1,5	0,3	100,0
A6 syöte	41,2	41,5	15,9	1,0	0,5	100,1
A6 jäte	65,7	23,5	10,4	0,0	0,4	100,0
A6 rikaste	37,9	41,3	19,6	0,7	0,5	100,0
B4 syöte	40,3	41,5	17,1	0,1	1,1	100,1
B4 jäte	63,3	26,5	8,0	0,0	2,1	99,9
B4 rikaste	29,9	49,4	19,7	0,7	0,3	100,0

LIITE 4

Laboratorion näytetunnus	Tilaajan näytetunnus	SiO2	Al2O3	Na2O	K2O	Saanti R	Saanti R	Saanti R	Saanti R
		%	%	%	%	SiO2	Al2O3	Na2O	K2O
		180X	180X	180X	180X				
L16018175	A1,syöte	77,8	13,3	4,83	3,51	0	0	32,78122843	0
L16018176	A1,rikaste	77,8	13,2	4,75	3,49				
L16018177	A1,jäte	77,8	13,2	4,87	3,44				
L16018178	B1,syöte	77,9	13,1	5,15	3,17	0	0	100	0
L16018179	B1,rikaste	77,8	13,2	5,15	3,23				
L16018180	B1,jäte	77,8	13,2	5,1	3,21				
L16018181	A2,syöte	77,8	13,2	4,81	3,48	0	0	35,94594595	0
L16018182	A2,rikaste	78,1	13	4,94	3,37				
L16018183	A2,jäte	78	13,2	4,74	3,43				
L16018184	B2,syöte	78	13	5,11	3,16	75,192308	0	44,52054795	47,09733741
L16018185	B2,rikaste	77,4	13,3	5,2	3,32				
L16018186	B2,jäte	78,2	13	5,04	3,03				
L16018187	A3, syöte	77,8	13,3	4,8	3,49	48,802057	53,0075188	68,47222222	56,61458615
L16018188	A3,rikaste	76,6	14,1	4,93	3,74				
L16018189	A3,jäte	79,1	12,5	4,54	3,21				
L16018190	B3,syöte	78,1	13	5,1	3,16	0	100	0	0
L16018191	B3,rikaste	78,1	13	5,16	3,1				
L16018192	B3,jäte	78	13,1	5,13	3,09				
L16018193	A4,syöte	77,8	13,2	4,84	3,48	37,763834	70,11605416	82,82401179	70,97514554
L16018194	A4,rikaste	75,1	15	5,12	4,09				
L16018195	A4,jäte	82,7	10,3	3,83	2,55				
L16018196	B4,syöte	78	13	5,12	3,16	33,49359	78,92818082	81,43446181	84,71894443
L16018197	B4,rikaste	74,7	15	5,7	3,9				
L16018198	B4,jäte	85,5	8,67	3,54	1,54				
L16018199	A5,syöte	77,8	13,3	4,79	3,51	80,755498	28,53725222	25,77128277	32,94299751
L16018200	A5,rikaste	73,5	16,7	4,04	4,45				
L16018201	A5,jäte	78,9	12,3	5,12	3,18				
L16018202	B5,syöte	78	13	5,13	3,15	0	13,17307692	34,21052632	0
L16018203	B5,rikaste	77,6	13,7	4,68	3,16				
L16018204	B5,jäte	77,9	12,9	5,4	3,28				
L16018205	A6,syöte	77,9	13,2	4,81	3,49	15,71612	91,09614665	89,17517344	94,40283928
L16018206	A6,rikaste	76,6	14	5,09	3,67				
L16018207	A6,jäte	85,7	8,33	3,31	1,91				
L16018208	B6,syöte	78	13	5,13	3,15	24,909091	80,41958042	83,94395295	78,75457875
L16018209	B6,rikaste	76,7	13,8	5,36	3,44				
L16018210	B6,jäte	82,2	10,5	4,19	2,4				

Vaahdotuskokeiden A3, A4, B4, A5, A6 ja B6 saannot



	SiO2	Al2O3	Na2O	K2O
	Saanti R (jäte)	Saanti R (rikaste)	Saanti R (rikaste)	Saanti R (rikaste)
A3 saantoprosentti	48,80205656	53,0075188	68,47222222	56,61458615
A4 saantoprosentti	37,76383439	70,11605416	82,82401179	70,97514554
B4 saantoprosentti	33,49358974	78,92818082	81,43446181	84,71894443
A5 saantoprosentti	80,75549843	28,53725222	25,77128277	32,94299751
A6 saantoprosentti	15,71611957	91,09614665	89,17517344	94,40283928
B6 saantoprosentti	24,90909091	80,41958042	83,94395295	78,75457875

Kokoojakemikaali	Lähde (artikkeli)
AERO 801	Bayat, O. Arslan, V. & Cebeci, Y. 2005. Combined application of different collectors in the flotation concentration of Turkish feldspars.
AERO 825	Bayat, O. Arslan, V. & Cebeci, Y. 2005. Combined application of different collectors in the flotation concentration of Turkish feldspars.
AERO 3030C	Bayat, O. Arslan, V. & Cebeci, Y. 2005. Combined application of different collectors in the flotation concentration of Turkish feldspars.
Armoflote 64	Sekulic, Z. Canic, N. Bartulovic, Z. & Dakovic, A. 2003. Application of different collectors in the flotation concentration of feldspar, mica and quartz sand.
Flotigam DAT	Sekulic, Z. Canic, N. Bartulovic, Z. & Dakovic, A. 2003. Application of different collectors in the flotation concentration of feldspar, mica and quartz sand.
Armac C	Sekulic, Z. Canic, N. Bartulovic, Z. & Dakovic, A. 2003. Application of different collectors in the flotation concentration of feldspar, mica and quartz sand.
E 526	Gaied, M.E. & Gallala, W. 2011. Benefication of feldspar ore of application in the ceramic industry: Influence of composition on the physical characteristics.
Cutusamine 9007	Gaied, M.E. & Gallala, W. 2011. Benefication of feldspar ore of application in the ceramic industry: Influence of composition on the physical characteristics.
G-TAP	Karaguzel, C. Gulgonul, I. Demir, C. Cinar, M. & Celik, M.S. 2006. Concentration of K-feldspar from a pegmatitic feldspar ore by flotation.
Armac T	Bulatovic, Srdjan M. 2015. Handbook of Flotation Reagents: Chemistry, Theory and Practice : Flotation of Industrial Minerals.