

Tarmo Kivinen
Teemu Mihailov

**PYRIITTIRIKASTEEN LUOKITUKSEN TEHOSTAMINEN JA SÄÄ-
DÖN HELPOTTAMINEN**

Opinnäytetyö
CENTRIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Kemiantekniikan koulutusohjelma
Toukokuu 2021

TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Centria-ammattikorkeakoulu	Aika Toukokuu 2021	Tekijä/tekijät Tarmo Kivinen ja Teemu Mihailov
Koulutusohjelma Kemiantekniikka		
Työn nimi Pyriittirikasteen luokituksen tehostaminen ja säädön helpottaminen		
Työn ohjaaja Laura Rahikka		Sivumäärä 27+2
Työelämäohjaaja Maria Koffert		
<p>Tämän opinnäytetyön tilaajana toimi Pyhäsalmi Mine Oy. Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia ja kehittää Pyhäsalmen kaivoksen pyriittirikasteen luokitusta ja tehostaa pyriitin tuotantoa. Kaivoksen malmivarojen ehtyessä pyriitin tuotannon rooli on noussut tärkeäksi osaksi kaivoksen taloudellista kannattavuutta ja työn tilaaja halusi kehittää toimivaa prosessia entistä tehokkaammaksi. Työn teoriaosassa käydään läpi luokituksen perusteita, sakeutusta ja hydrosyklonin toimintaa.</p> <p>Työn kokeellisessa osassa tutkittiin koeajon avulla pyriittirikasteen vedenerotus-sykloneiden toimintaa ja kehitettiin niiden säätöä prosessin toiminnan tehostamiseksi. Koeajoissa pääasiallinen tutkimuskohde oli sykloneiden alitekappaleiden säädön vaikutus pyriitin suodatukseen ja rikinhienovaahdotuksen toimintaan. Tuloksia tarkastellessa huomattiin, että tutkittavat syklonit toimivat tehokkaimmin alitekappaleiden säätöpaineella 3,6–4,2 bar, jolloin aliteaukkojen halkaisija on 32–35mm. Tämä säätöpainealue todettiin toimivimmaksi ajettaessa kahdella syklonilla yhtäaikaisesti.</p> <p>Nykytilanteessa suodatukseen pumpattavan pyriittirikasteen lietetiheys vaihtelee välillä 1,5–2,5 kg/l, jolloin suotimet eivät toimi jatkuvasti parhaalla mahdollisella tavalla. Syklonoinnin tehostamisella oli tavoitteena löytää optimaalinen lietetiheys, joka on noin 2,1 kg/l aiempien tutkimusten perusteella. Lietetiheyden vakionti kyseiseen 2,1 kg/l arvoon oli haastavaa ja koeajojen jälkeen todettiin, että vakiointi täytyy tehdä suodattimien syöttöpumpppauksen toiminnan avulla. Paras tapa lietetiheyden säätämiseen on tauottaa Ceramec-suotimia lietetiheyden nostamiseen ja käynnistää jälleen Ceramec-suodin lietetiheyden noustessa yli 2,1 kg/l.</p> <p>Tuloksia tarkasteltaessa huomattiin rikin hienovaahdotuksesta jätteeseen päätyvän rikin olevan pienimmässä raekokoluokassa, jota ei käytössä olevalla vaahdotuksella ja suodatuksella voida saada talteen. Tavoitteena oli myös vähentää rikinhienovaahdotuksen pyriitin saantitappioita, johon löydettiin sopivin aliteaukkokokoko koeajojen aikana.</p>		
Asiasanat luokitus, kaivos, pyriitti, rikastamo, sakeutus, sykloni		

ABSTRACT

Centria University of Applied Sciences	Date May 2021	Author Tarmo Kivinen and Teemu Mihailov
Degree programme Chemical engineering		
Name of thesis ENHANCING CLASSIFICATION OF PYRITE CONCENTRATE AND FACILITATING ITS CONTROL		
Instructor Laura Rahikka		Pages 27+2
Supervisor Maria Koffert		
<p>This thesis was commissioned by Pyhäsalmi Mine Oy. The purpose of the thesis was to study and develop the classification of pyrite concentrations in the Pyhäsalmi mine and to enhance the production of pyrite. As the mine's ore resources are depleting, the role of pyrite production has emerged as an important part of the mine's financial viability and the commissioner wanted to develop a workable process to become even more efficient. The theory section of the work goes through the basics of classification, thickening, and hydrocyclone function.</p> <p>In the experimental part of the work, the operation of pyrite concentration-water separation cyclones was studied by a test run and their adjustment was developed to enhance the operation of the process. In test run, the main object of study was the effect of regulating cyclones' apexes on pyrite filtration and the operation of sulfur-fine foam. Looking at the results, it was noted that the cyclones being studied most efficiently operate at the control pressure of the apexes 3.6–4.2 bar, giving the diameter of the apexes 32–35mm. This control pressure area was found to be most functional when driving two cyclones simultaneously.</p> <p>Currently, the slurry density of the pyrite concentrate pumped for filtration varies between 1.5 and 2.5 kg/l, with filters not continuously working in the best way. Boosting classification cyclones had the goal of finding the optimal slurry density, which is about 2.1 kg/L, based on previous studies. The standard of slurry density to the value of 2,1 kg/l was challenging and after test runs it was established that the standardization must be carried out through the operation of filter input pumping. The best way to adjust the slurry density is to pause the CERAMEC filters to increase the slurry density and again launch the CERAMEC filters as slurry density increases above 2.1 kg/L.</p> <p>When examining the results, sulfur from sulfur-fine foaming was found to be in the smallest grain size class which cannot be recovered by current flotation and filtration. The aim was also to reduce the intake losses of sulfur-fine foaming pyrite, for which the most suitable apex size was found during test runs.</p>		
<p>Key words Classification, mine, enrichment plant, pyrite, thickening, cyclone</p>		

KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY

LP3–4SV	Lietepumput 3 ja 4 rikin vaahdotuksessa
PK3SK	Pumppukaivo 3 pyriitin suodatusprosessi
SC4–6SK	Luokittelusyklonit 4–6 pyriitin suodatusprosessissa
SS4SK	Sakeutussammio 4 pyriitin suodatusprosessissa
VK41–44SHV	Vaahdotuskennot 4–44 rikinhienovaahdotuksessa
VK71–74SV	Vaahdotuskennot 71–74 rikinvaahdotuksessa

TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY
SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
2 LUOKITUS	2
2.1 Luokituksen perusteita	2
2.2 Luokituksen tehokkuus	2
3 HYDROSYKLONI	4
3.1 Yleistä hydrosyklonista	4
3.2 Hydrosyklonin rakenne	4
3.3 Hydrosyklonin toiminta	5
3.4 Hydrosyklonin geometria	6
4 SAKEUTUS	9
4.1 Yleistä sakeutuksesta	9
4.2 Sakeutuksen teoria	9
4.3 Sakeutussammiot	10
4.4 Sakeutussammioiden rakenne ja toiminta	10
5 TUTKITTAVA PROSESSI	12
5.1 Prosessin nykytila	12
5.2 Tutkittavan piirin kehitysaskeleet	13
5.3 Lietetiheyden säätäminen	15
6 KOKEELLINEN OSUUS	17
6.1 Koeajon taustat	17
6.2 Koeajo suunnitelma	18
7 TULOSTEN TARKASTELEMINEEN	19
7.1 Sykloneiden alitekappaleiden säädön vaikutus rikinhienvaahdotuksen jätteeseen	19
7.2 Syklonin alitteen ja ylitteen tarkasteleminen	20
7.3 Sykloneiden alitekappaleiden säädön vaikutus lietetiheyteen	22
8 JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO	26
LÄHTEET	28
LIITTEET	
KUVIOT	
KUVIO 1. Hydrosyklonin rakenne	4
KUVIO 2. Kuvassa mallinnus syklonin sisäpuolisista virtauksista	6
KUVIO 3. Sakeutussammion rakenne	10
KUVIO 4. Kaaviokuva tutkittavasta prosessista	12

KUVIO 5. Kaaviokuva tutkittavan prosessin säätöpiiristä	16
KUVIO 6. Rikin hienovaahdotuksen peräventtiilin asento suhteessa jätteen rikkipitoisuuteen.....	20
KUVIO 7. Syklonin alitteen rikkipitoisuus eri painealueilla.....	21
KUVIO 8. Syklonin ylitteen rikkipitoisuus eri painealueilla.....	22
KUVIO 9. SS4SK-pumppaukerrat tunnissa koeajon aikana	23
KUVIO 10. Syklonien alitteiden ja ylitteiden lietetiheyksien muutokset.....	24
KUVIO 11. PK3SK-lietetiheyden muutokset koeajon aikana.....	25

KUVAT

KUVA 1. Kuvassa tutkinnan kohteena olleet hydrosyklonit SC4-6SK.....	12
KUVA 2. Kuvassa uusittua SC4-6SK alitekappaleiden säätötekniikkaa	14
KUVA 3. Kuvassa vasemmalla vanha peräventtiili ja oikealla uusi letkuventtiili.....	15

TAULUKOT

TAULUKKO 1. Rikin hienovaahdotuksen jätteen rikkipitoisuudet raekokoluokittain	19
--	----

1 JOHDANTO

Pyhäsalmen kaivos on monimetallikaivos, joka sijaitsee Pyhäjärven kunnassa, Pohjois-Pohjanmaalla. Louhittavia mineraaleja ovat kuparikiisu, sinkkivälke sekä rikkikiisu. Malmi löytyi sattumalta vuonna 1958, kun paikallinen maanviljelijä kaivoi pihalleen kaivoa. Löytyneet mielenkiintoisen näköiset kivi-näytteet tutkittiin Outokumpu Oy:ssä ja ne osoittautuivat rikkaaksi rikkikiisuksi. Tarkkojen geologisten tutkimusten jälkeen kaivostoiminta alkoi Outokumpu Oy:n aloitettua toiminnan vuonna 1962. (Huuskonen, Karjalainen & Pekkala 5.)

Avolouhintana alkanut kaivostoiminta siirtyi kokonaan maanalaiseksi louhinnaksi vuonna 1975. Syvimillään vanha kaivos ulottui noin 900 metrin syvyyteen. Malminetsintä tuotti tulosta vuonna 1999, kun syvyysjatkeita tutkiessa pora lävisti rikkaan malmiesiintymän. Vuonna 2001 avattiin uusi kaivos, jonka tiedossa olevat malmivarat riittävät vuoteen 2021. 1440 metriä syvän uuden kaivoksen vuosituotanto on 1,4 miljoonaa tonnia malmia. Samalla omistajaksi vaihtui kanadalainen Inmet Mining Corporation. Vuonna 2013 omistajaksi vaihtui Inmet Miningin Corporation ostanut, niin ikään kanadalainen kaivos-yhtiö First Quantum Minerals Ltd. (Huuskonen ym. 2008, 5.)

Malmivarojen ehtyessä ja rikastehiekka-altaan täytyessä on tullut entistä tärkeämmäksi pyriitinsaannin kehittäminen, jolla vähennetään rikastehiekka-altaan laajennustarvetta ja parannetaan pyriitin tuotannon taloudellista kannattavuutta. Tällä on nyt ja tulevaisuudessa tärkeä rooli kaivoksen malmivarojen hyödyntämisessä.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia ja tehostaa Pyhäsalmen kaivoksen rikastamon pyriitin suodatuksen vedenerotus-syklonointia. Nykytilanteessa suodatukseen pumpattavan pyriittirikasteen tiheys vaihtelee 1,5–2,5 kg/l välillä, jolloin suotimet eivät toimi jatkuvasti parhaalla mahdollisella tavalla. Aiempien tutkimustuloksien perusteella suotimien tuotto oli parhaimmillaan lietetiheyden ollessa noin 2,1 kg/l, joten yhtenä työn tavoitteena oli lietetiheyden vakiointi kyseiseen arvoon. Lietetiheyden vakioinnin lisäksi työn tavoitteena oli vähentää rikinhienovaahdotuksen saantitappioita ja tehostaa silikaatin poistamista pyriittirikasteesta. Tavoitteiden toteuttamiseksi kehitettiin työn ohessa syklonoinnin säätämistä helpottava säätöpiiri.

2 LUOKITUS

2.1 Luokituksen perusteita

Luokitus on yksi tärkeimmistä yksikköprosesseista teollisuudessa ja siinä lajitellaan erilaisia partikkelikokoja. Luokitus on kiinteiden materiaalien erotusprosessi, jossa partikkelit erotellaan painon tai koon mukaan eri jakeisiin. Luokituksessa käytetty perusominaisuus on partikkelien suhteellinen nopeus niitä kuljettavassa väliaineessa. Väliaine voi olla kaasua tai nestettä, luokiteltavan materiaalin mukaan. (Heiskanen 1987, 30.)

Luokiteltavien partikkelien nopeuteen väliaineessa vaikuttaa sekä kiihdyttäviä voimia, kuten keskipakovoima ja maan vetovoima, että vastustavia voimia, kuten väliaineen vastus ja noste. Joissakin teollisissa luokittimissa väliaineen nopeudet ovat niin suuria, että partikkelien liikkeeseen voi kohdistua myös turbulenssia. (Heiskanen 1987, 30.)

2.2 Luokituksen tehokkuus

Luokituksessa pyritään siihen, että syötemateriaali saadaan erotettua mahdollisimman tarkasti hienompiin ja karkeampiin partikkeleihin. Luokitus on sitä tehokkaampaa, mitä paremmin luokitin pystyy erottamaan raekokoluokat erilleen. Ideaalisessa luokituksessa luokitin jakaa syötemateriaalin partikkelit niin, että kaikki haluttua erotusrajaa hienommat partikkelit kulkeutuvat hienoon fraktioon ja kaikki haluttua erotusrajaa karkeammat kulkeutuvat karkeaan fraktioon. Käytännössä tällainen tarkka erotus hienoon ja karkeaan fraktioon on haastavaa ja partikkelien on mahdollista kulkeutua eri tuotteeseen. (Heiskanen 1987, 62.)

Luokituksen tehokkuus voidaan laskea massamäärän jakaantumisen suhteella hienoon ja karkeaan fraktioon. Erotustehokkuus voidaan laskea karkean fraktion massan suhteella syöteen massaan kaavan (1) mukaisesti:

$$E_u = M_u / M_f \quad (1)$$

jossa E_u on erotustehokkuus, M_u on massamäärä karkeassa fraktiossa eli alitteessa ja M_f on massamäärä syötteessä.

Erotustehokkuus voidaan myös laskea seula-analyysien perusteella seuloille jääneistä massafraktioista tai läpäisyprosenttien perusteella kaavan (2) avulla:

$$E_o = (f - t) / (c - t) \quad (2)$$

jossa E_o on hienon fraktion erotustehokkuus, f on fraktion massaprosentti syötteessä, t on fraktion massaprosentti karkeassa fraktiossa eli alitteessa, c on fraktion massaprosentti hienossa fraktiossa eli ylitteessä (Heiskanen 1987, 62).

Yleisesti käytetty luokituksen tehokkuuden mitta on myös erotusterävyys. Erotusterävyys on se luku, joka kertoo prosentteina, kuinka paljon syötteessä olevasta erotusrajaa hienommasta raekoosta on mennyt luokittimen ylitteeseen. Kahden tuotteen luokitinta käytettäessä se voidaan laskea kaavan (3) avulla:

$$R = c(f-t) / f(c-t) \quad (3)$$

jossa R on erotusterävyys kyseisessä raeluokassa %, f on fraktion massaprosentti syötteessä, t on fraktion massaprosentti karkeassa fraktiossa eli alitteessa ja c on fraktion massaprosentti hienossa fraktiossa eli ylitteessä. (Heiskanen 1987.)

3 HYDROSYKLONI

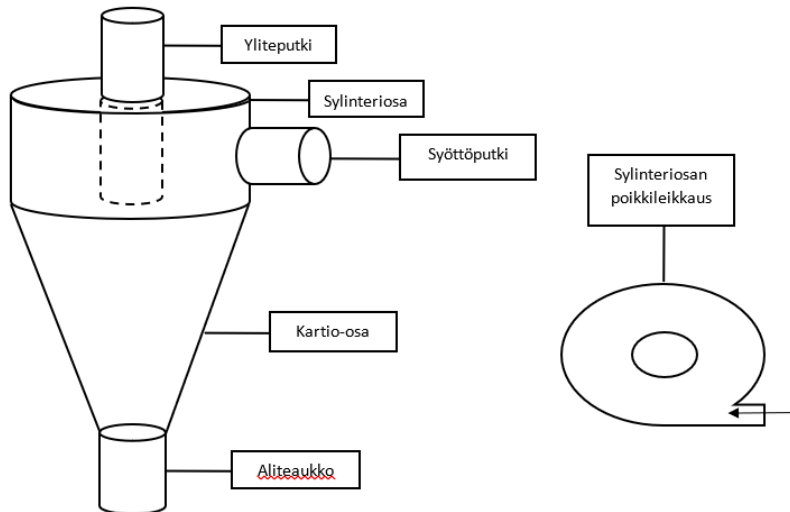
3.1 Yleistä hydrosyklonista

Hydrosykloni on laajalti käytetty jatkuvatoiminen erotus- ja luokituslaite mineraalinkäsittelyssä. Ensimmäinen patenti on vuodelta 1891, sen käyttö luokittelijana ja vedenpoistolaitteena tuli kuitenkin yleiseksi vasta 1940-luvulla kaivosteollisuudessa. Erityisesti kaivosteollisuudessa hydrosykloneita käytetään paljon prosessien eri vaiheissa. Hydrosykloni on korvannut mekaaniset luokittelijat monissa sovelluksissa ja sen etuna on yksinkertaisuus ja korkea kapasiteetti suhteessa kokoonsa. (Napier-Munn ym. 2005, 309.)

Rakenteeltaan hydrosyklonit ovat yksinkertaisia kartiomaisia laitteita. Yksinkertaisesta rakenteesta huolimatta hydrosyklonin toiminnan selittäminen ei ole niin yksinkertaista. Hydrosykloneiden optimaalista suorituskykyä on haastavaa seurata, eikä useinkaan ole ilmeisiä ja selkeitä syitä ryhtyä korjaaviin toimenpiteisiin hydrosyklonin suorituskyvyn heikentyessä (Napier-Munn ym. 2005, 309). Hydrosykloneita käytetään joko yksittäisinä laitteina osana prosessia tai useamman syklonin syklonipattereina. Suurempia virtausmääriä käsitellessä on tehokkaampaa käyttää useampaa syklonia (Will's & Napier-Munn 2006, 212).

3.2 Hydrosyklonin rakenne

Hydrosyklonit ovat pääpiirteittäin samankaltaisia kartiomaisia laitteita. Sykloneita on kuitenkin lukuisia eri kokoisia käyttötarkoituksen mukaan mitoitettua. Suuremmat hydrosyklonit valmistetaan yleensä teräksestä ja pienemmät on usein tehty polyuretaanista tai alumiinista. Kaikista pienimmät syklonit voidaan valmistaa keraamisista materiaaleista. Syklonit ovat sisäpuolelta yleensä kumilla tai jollakin muulla kulutusta kestäväällä materiaalilla vuorattuja. Kumivuoraus voi olla vulkanoitu syklonin rungon pintaan tai vuoraus voi olla vaihdettava. Kuviossa 1 on mallinnettu hydrosykloni ja sen osat.

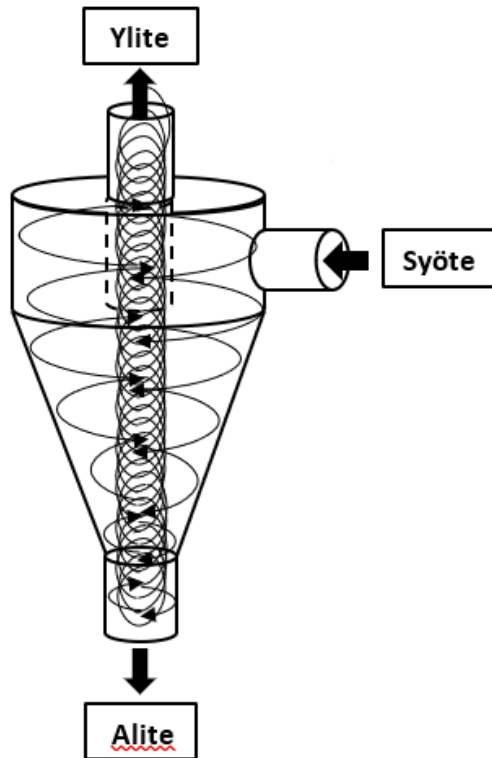


KUVIO 1. Hydrosyklonin rakenne (mukaillen Michaud 2015.)

Hydrosykloni koostuu sylinterimäisestä syklonin yläosasta, johon syöttöputki ja yliteputki on kiinnitetty. Syöttöputki voi olla muodoltaan suorakaiteen muotoinen tai pyöreä kuten kuvassa. Yliteputken alaosa täytyy ulottua syöttöputken alapuolelle, jotta syöte ei oikovirtaa suoraan yliteputkeen. Sylinteriosa on kiinnitetty kartiomaiseen kartio-osaan, joka kapenee syklonin alaosaan kohden. Syklonin alaosaan, kartion pohjaan, on kiinnitetty syklonin aliteputki. Aliteputken sisällä on aliteaukko, joka voi olla kiinteä tai säädettävä. (Heiskanen 1987, 104.)

3.3 Hydrosyklonin toiminta

Hydrosyklonin tarkoitus on luokitella syötettävä materiaali raskaampiin ja kevyempiin rakeisiin. Luokitus perustuu keskipakovoimaan ja paineeseen. Luokiteltava materiaali eli syöte syötetään sylinteriosaan tangentiaalisesti kovalla virtausnopeudella. Kovalla virtausnopeudella sykloniin syötetty syöte alkaa kiertämään syklonin seinämällä. Keskipakovoiman vaikutuksesta syöteen raskaammat rakeet eli karkeampi aines ajautuu syklonin seinämille ja päättyy kartio-osaan ja aliteaukkoa pitkin syklonin alitteeseen. Kevyemmät rakeet eli hienempi aines ajautuu syklonin keskelle, johon muodostuu paineen vaikutuksesta ylöspäin virtaava pyörre. Tätä ylöspäin virtaavaa pyörrettä pitkin kevyemmät rakeet, eli hienoaines, virtaavat yliteputken kautta syklonin ylitteeksi. Osa hienoaineksesta kuitenkin karkaa raskaampien partikkeleiden virtauksen mukana alitteeksi ja toisaalta osa karkeammasta aineksesta karkaa ylitevirtauksen mukana ylitteeksi (Gupta & Yan 2006, 378). Kuviossa 2 on mallinnettu syklonin sisäpuolisia virtauksia.



KUVIO 2. Kuvassa mallinnus syklonin sisäpuolisista virtauksista (mukaiillen Michaud 2015.)

Hydrosyklonin toimintaa säädetään pääasiassa alitekappaleen avulla. Alitekappaleen aliteaukon koko määrittää syklonin alitevirran lietetiheyden. Syklonoinnissa pyritään pääasiassa saavuttamaan mahdollisimman suuri alitteiden lietetiheys, koska alitteessa oleva ylimääräinen vesi kuljettaa luokittumatonta materiaalia. Aliteaukon kokoa pienentämällä saadaan nostettua alitteiden lietetiheyttä, kun taas aliteaukon kokoa suurentamalla lietetiheys laskee. Oikean kokoisen aliteaukon tunnistaa alitevirran muodosta. Alitevirran tulisi muodostaa noin 20-30 asteen suihku. Liian pienellä aliteaukolla alitevirta on kapea aliteaukon levyinen suihku ja liian suurella aliteaukolla alitevirran suihku on leveä ja sateenvarjomainen (Wills & Napier-Munn 2006, 220).

3.4 Hydrosyklonin geometria

Sykloneiden suunnittelussa on lukuisia eri mahdollisuuksia mitoittaa syklonin eri osia. Syklonin ja sen osien mitoituksessa on kuitenkin tiettyjä teoreettisia geometrisiä sääntöjä ja tieteellisesti hyväksi havait-

tuja seikkoja, jotka kannattaa huomioida syklonin suunnittelussa. Syklonin mitoituksessa on hyvä huomioida syklonin eri osien mitoittamisen vaikutus syklonin toimintaan. Seuraavassa listassa on mainittu syklonin suunnittelussa huomioitavia muuttujia (Heiskanen 1987, 132):

- Syklonin halkaisijan kasvattaminen
 - Lisää kapasiteettia
 - Suurentaa erotusrajaa
 - Parantaa luokituksen terävyyttä

- Syklonin yliteaukon halkaisijan kasvattaminen
 - Lisää kapasiteettia
 - Suurentaa erotusrajaa

- Syklonin aliteaukon halkaisijan kasvattaminen
 - Lisää kapasiteettia
 - Pienentää erotusrajaa

- Syklonin syöttöaukon halkaisijan kasvattaminen
 - Lisää kapasiteettia
 - Pienentää erotusrajaa
 - Huonontaa luokituksen terävyyttä

- Syklonin vapaan pituuden kasvattaminen
 - Lisää kapasiteettia
 - Parantaa luokituksen terävyyttä
 - Suurentaa erotusrajaa

- Syötteen lietetiheyden kasvattaminen
 - Lisää kapasiteettia
 - Suurentaa erotusrajaa

Syklonin halkaisija on tärkein muuttuja syklonin mitoituksessa, koska se vaikuttaa sekä luokituksen erotusrajaan, että kapasiteettiin. Kapasiteettiin vaikutetaan yleensä sykloneiden määrällä ja, syklonin halkaisija määräytyy halutun erotusrajan mukaan. (Heiskanen 1987, 132.)

4 SAKEUTUS

4.1 Yleistä sakeutuksesta

Sakeutus on yksi käytetyimmistä vedenerotusmenetelmistä mineraalitekniikassa. Se on suhteellisen halpa suuren kapasiteetin vedenerotusmenetelmä ja sitä käytetään yleensä ensimmäisenä vaiheena vedenerotuksessa ennen suodatusta. Sakeutuksen päätarkoituksena on nostaa rikasteiden kiintoainepitoisuutta n. 50–65 %:iin, mikä tekee rikasteet suodatuskelpoisiksi. (Lukkarinen 1987, 293; Wills 2006, 417.)

Sakeutuksella poistetaan liikavettä välituotteesta ja estetään näin tarpeeton veden kierto prosessissa. Sakeutuksen jälkeen rikasteiden vedenerotusta voidaan vielä tehostaa ja nostaa rikasteen kiintoainepitoisuutta suodatuksella ja kuivauksella jopa noin 90–95 %:iin. Sakeutuksella voidaan myös erottaa jätteestä vettä ja vähentää näin ollen jätealueelle pumpattavan lietteen määrää. (Lukkarinen 1987, 293; Wills 2006, 417)

4.2 Sakeutuksen teoria

Sakeutus perustuu mineraalirakeiden ja niiden muodostamien flokkien vajoamiseen väliaineessa. Väliaine on vettä tai veden ja hienoaineksen sekoitus. Sakeutuksen tehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat mm. lietetiheys, raemuodot, raekokojakauma, kiintoaineen tiheys sekä lietteen viskositeetti. (Lukkarinen 1987, 293; Wills 2006, 417)

Karkean tuotteen ja raskaan mineraalin sakeuttaminen on helppoa. Tehtävä vaikeutuu lietteen sisältäessä kevyttä hienojakoista materiaalia. Tällöin luonnolliseen selkeytymiseen saattaa kulua viikkoja tai jopa vuosia. Tämän vuoksi rikastamoilla käytetään sakeutuksen nopeuttamiseksi flokkuloivia aineita, jotka ovat pääasiassa polyakryyliamideja. Flokkulanttien polyelektronimolekyylit kietovat mineraalirakeet sisälleen ja muodostavat flokkeja, jotka laskeutuvat yksittäistä pientä rautaa nopeammin. (Lukkarinen 1987, 294.)

4.3 Sakeutussammiot

Sakeutussammion toiminta perustuu kiintoaineen laskeutumiseen ja kerrostumiseen lieriömäisen sammion pohjalle. Liete syötetään sammion keskelle, josta selkeytyminen alkaa. Sammion sisällä pyörivä hara siirtää pohjalle kerrostuneen tuotteen (alite) kohti sammion keskellä sijaitsevaa pohjakartiota. Kartiosta alite pumpataan eteenpäin alitepumpulla, joka on yleensä varustettu taajuusmuuttajalla lietetiheyden säädön helpottamiseksi. Lietteestä selkeytynyt vesi (ylite) puolestaan johdetaan sammion yläosassa olevan keruuputkiston avulla pois sammioista. (Lukkarinen 1987, 300.)

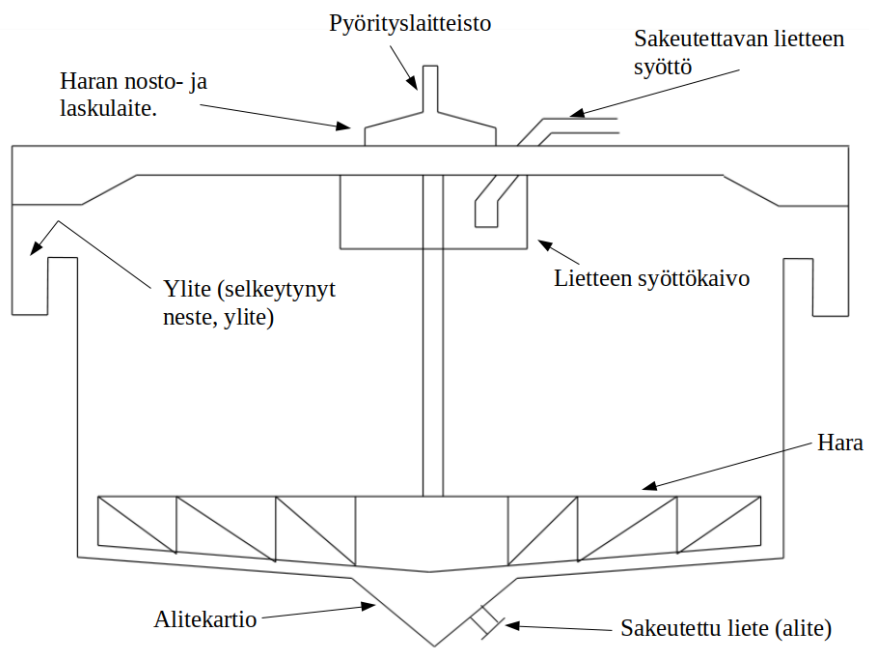
Sakeuttimen ylite on harvoin täysin kirkasta ja se sisältääkin aina jonkin verran kiintoainetta. Kiintoaineen määrä kasvaa sakeuttimen ylikuormittumisen myötä. Sakeuttimen haran ylikuormittumisen estämiseksi haranpyörityskojeistossa on yleensä korkeudensäätö. Kiintoainepitoisuuden noustessa haran vääntömomentti kasvaa ja haraa nostetaan ylöspäin vaurioiden välttämiseksi. (Lukkarinen 1987, 301.)

4.4 Sakeutussammioiden rakenne ja toiminta

Sakeutussammiot voidaan pääasiassa jakaa kolmeen ryhmään haran käyttömekanismin mukaan: siltatyypiseen sakeutussammioon, keskipilarisakeutussammioon ja kehävetoiseen sakeutussammioon (Schoenbrunn ym. 2019, 1069.) Yleensä sakeuttimet valmistetaan teräsbetonista tai -levystä ja ne ovat muodoltaan pystysuoria, sylinterimäisiä sammioita. Sammion läpimitta vaihtelee muutamista metreistä jopa 200 metriin saakka ja korkeus vaihtelee 1–7 metriin. (Lukkarinen 1987, 301.)

Sakeutussammion pohjalla on hiljaisella nopeudella pyörivä haralaitte, jonka tarkoituksena on siirtää pohjalle kerrostunut materiaali sammion keskellä sijaitsevaan pohjakartiioon. Haralaitteen pyörimisnopeus on normaalisti noin 8 m minuutissa, eli noin 10 kierrosta tunnin aikana. Hitaan pyörimisnopeuden ansiosta haralaitteen energiankulutus on alhainen ja esimerkiksi 60 metriä halkaisijaltaan oleva haralaitte voi vaatia vain 10 kW sähkömoottorin haran pyöritysmoottoriksi. (Wills & Napier-Munn 2006, 423.)

Siltatyypisessä sakeutussammiossa käyttölaitteisto on sijoitettu keskelle sammiota, joko kannen tai kulkusillan päälle. Käyttölaitteistoon kuuluvat haran pyöritysmoottori, haran nosto-/laskumoottori, vääntömomentin mukaan säätävä kytkin, ruuvivaihteisto, sekä vaihteistosta alaspäin kohti sammion pohjaa lähtevä akseli. Akselin alapäässä on itse hara. Kuviossa 3 on mallinnettu sakeutussammion rakennetta. Haran nosto/lasku tapahtuu automaattisesti vääntömomentin ohjaamana. (Lukkarinen 1987, 302.)



KUVIO 3. Sakeutussammion rakenne (mukaiillen Lukkarinen 1987, 303.)

5 TUTKITTAVA PROSESSI

5.1 Prosessin nykytila

Opinnäytetyö keskittyy pyriittirikasteen vedenerotus-syklonoinnin tutkimiseen ja kehittämiseen. Kyseinen prosessialue on rikastamon prosessin loppuvaiheessa ennen pyriitin suodatusta. Nykytilanteessa PK3SK-pumppukaivon (Ceramec-suodattimien syöttökaivo) tiheys vaihtelee 1,5-2,5 kg/l välillä, jolloin suotimet eivät toimi jatkuvasti parhaalla mahdollisella tavalla. Prosessin haasteena on ollut myös SS4SK-sakeutussammion satunnainen oireilu kiintoainepitoisuuden noustessa liian suureksi, mikä johtaa pumppausongelmiin PK3SK:lle. Syklonoinnin tehostamisella on myös tavoitteena vähentää nykyisiä rikin hienovaahdotuksen pyriitin saantitappioita. Kuvassa 1 on esitetty opinnäytetyössä tutkittavat syklonit.

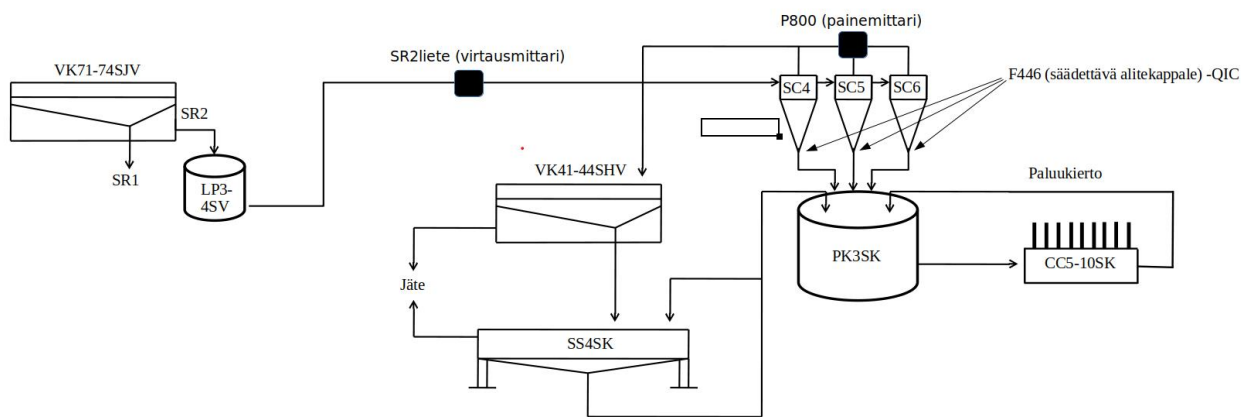


KUVA 1. Kuvassa tutkinnan kohteena olleet hydrosyklonit SC4–6SK

Oheisessa prosessikaaviossa kuvio 4 on mallinnettu nykyinen prosessialue, johon tutkimus keskittyy. Kaaviossa lähdetään liikkeelle rikkivaahdotuksen jakovaahdotuksesta VK71–74SV, jonka peräventtiilin

kautta osa rikkirikasteesta johdetaan LP3–4SV- pumppukaivoon. LP3–4SV-pumppukaivosta rikkirikaste pumpataan SC4–6SK-vedenerotus-sykloneille. Sykloneiden alite johdetaan PK3SK-pumppukaivoon, josta se pumpataan Ceramec-suotimien syötteenä. Sykloneiden ylite johdetaan rikinhienovaahdotuspiiriin (VK41–44SHV), jossa tapahtuu silikaatin poisto rikasteesta. Silikaatti on prosessille haitallinen sivutuote, joka muun muassa tukkii Ceramec-suotimien laattoja ja huonontaa näin suotimien tuottoa.

Rikinhienovaahdotuksen rikaste johdetaan SS4SK-sakeutussammioon, josta se pumpataan PK3SK-pumppukaivolle ja sitä kautta Ceramec-suotimille. Rikinhienovaahdotuksen jäte johdetaan peräventtiiliin ja jätepumppujen kautta rikastushiekka-altaalle tai vaihtoehtoisesti kaivostäyttöön. Osa pyriittirikasteesta karkaa rikinhienovaahdotuksen kautta jätteelle ja heikentää saantia. Saannin parantamiseksi pyritään säätämään ja tehostamaan SC4–6SK- syklonien toimintaa.

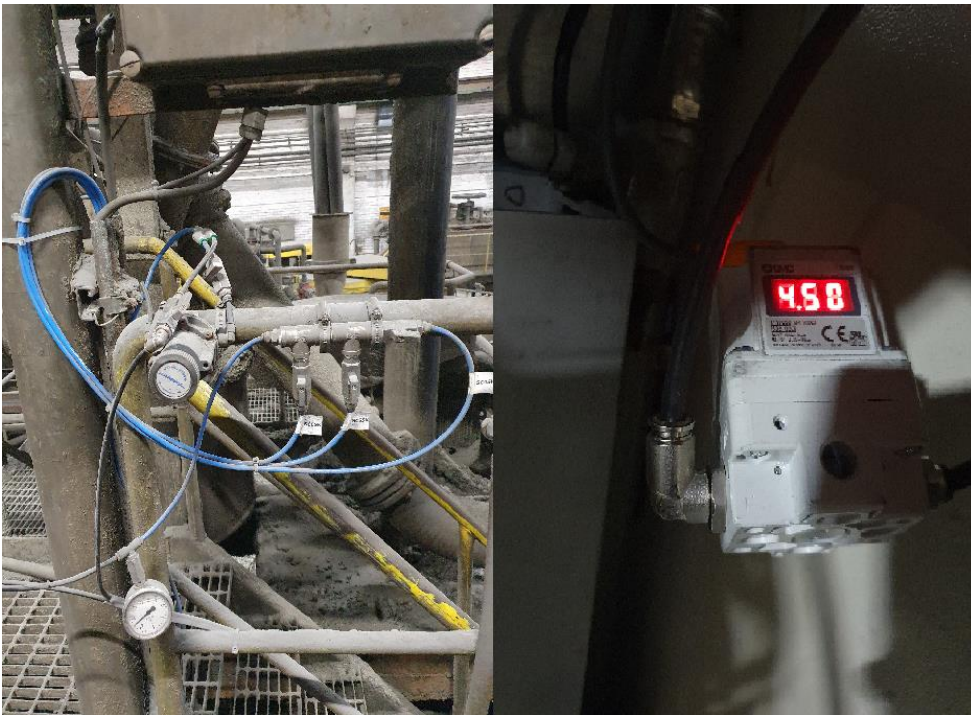


KUVIO 4. Kaaviokuva tutkittavasta prosessista (mukaiillen Huuskonen ym. 2008.)

5.2 Tutkittavan piirin kehitysaskeleet

Työn tavoitteena oli kehittää tutkittavan syklonoinnin säätöä joustavamiksi prosessiolosuhteita myötäillen. Kehittäminen aloitettiin piirin alkupäästä, eli syöttöpumppauksesta. Ongelmana on ollut epätaustainen syklonien syöttövirtaus, joka osaltaan on vaikeuttanut syklonoinnin optimaalista toimintaa. Syöttövirtauksen säädön helpottamiseksi syöttölinjaan asennettiin virtausmittari, jotta virtauksia pystyttiin tarkemmin seuraamaan ja pumpausta säätämään.

Syklonipatteriston säädettävien alitekappaleiden säätämistä täytyi myös kehittää. Aikaisemmin alitekappaleiden säätö tapahtui manuaalisesti paikan päältä ruuvaamalla. Tätä kehittääksemme tilasimme automaattisen paineensäätimen, joka kytkettiin osaksi Procon-automaatiojärjestelmää. Tämän kehitysaskeleen myötä alitekappaleiden säätäminen helpottui ja nopeutui huomattavasti, mikä edesauttoi prosessin optimointia. Kuvassa 2 on esitetty SC4–6SK alitekappaleiden säätötekniikkaa.



KUVA 2. Kuvassa uusittua SC4–6SK alitekappaleiden säätötekniikkaa

Syklonoinnin seuraavaa vaihetta, eli rikin hienovaahdotusta, kehitettiin myös ennen koeajoa. Ongelmana oli vaahdotuksen hienosäätämisen vaikeus ja pinnankorkeuden säätäminen. Vaahtopinnan kasvattamiseksi vaahdotuspiirin kahdelle ensimmäiselle akselille asennettiin korotuslaitat, mikä mahdollisti vaahtopatjan kasvattamisen ja korkeuseron saavuttamisen kahden ensimmäisen ja kahden viimeisen akselin välille. Pinnansäätöä kehitettiin vaihtamalla vanha ns. ”kurttuputki”-peräventtiili nykyaikaisempaan automaattiseen letkuventtiiliin, jotka on esitetty kuvassa 2. Tämän avulla peräventtiilin asennon seuraaminen helpottui ja saantitappioiden minimointia pystyttiin kehittämään.



KUVA 3. Kuvassa vasemmalla vanha peräventtiili ja oikealla uusi letkuventtiili

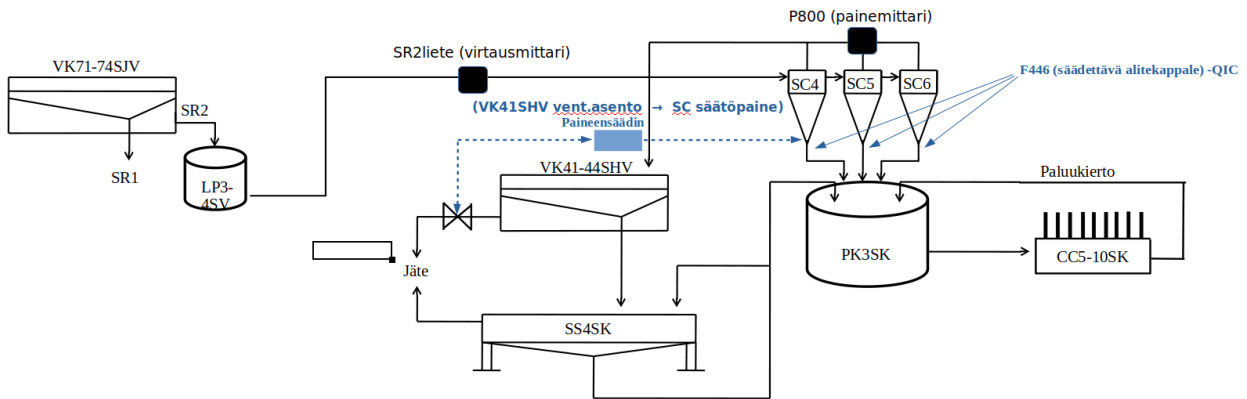
5.3 Lietetiheyden säätäminen

Työn yhtenä tavoitteena oli kehittää P3SK-pumppukaivon lietišeyden säätämistä ja sen vakiointia arvoon 2,1 kg/l. Lietetiheyden vakiointiin ei riitä pelkästään syklonoinnin optimointi, vaan huomioon oli otettava SS4SK-sakeutussammio, joka pumppaa sakeutuneen rikinhienovaahdotuksen pyriittirikasteen PK3SK-pumppukaivoon. Lietetiheyden seuraamiseksi SS4SK-sakeutussammion alitepumppauslinjaan asennettiin tiheysmittaus. Lisäksi Procon-automaatiojärjestelmään tehtiin käyntilaskuri alitteen pump-paukselle, jotta alitteen pumpptausta kaivolle pystyttiin seuraamaan. Pumpptaus on kytketty PK3SK-pin-nansäätöön, eli alitepumppu käynnistyy, kun pinta pumppukaivossa laskee määrätyle tasolle.

Näiden laitehankintojen ja prosessimuutosten myötä piirin säätäminen ja seuraaminen helpottui merkittävästi. Tehtyjen muutosten myötä piirin säätäminen nopeutui ja koeajot pystyttiin toteuttamaan.

Alitekappaleen säädön automatisointia kehitettiin myös. Piirin toimintaa tarkastellessa päädyttiin tulokseen, että alitekappaleen kokoa pienennettäessä syklonien ylitteen virtausmäärä kasvaa. Tällöin lisääntyy myös SHV-piiriin syötettävän lietteen määrä. Liian suuren virtausmäärän jälkeen vaahdotuskennolla ei pysty enää vaahdottamaan riittävästi pyriittiä vaan pyriittiä alkaa vääjäämättä päätyämään enenevissä määrin myös jätteeseen. Tällöin VK41SHV-peräventtiilin asentotieto suurenee ja venttiilin kautta jät-teelle virtaavan lietteen määrä kasvaa. Päätettiin hyödyntää tätä venttiilin asentotietoa ja käyttää tätä arvoa syklonin alitekappaleen paineensäätöön. Näin venttiilin asennon suurentuessa ja jätteeseen pääty-vän pyriitin määrän kasvaessa syklonin säätöpainetta lasketaan, jolloin syklonin ylitteen virtaus puoles-

taan vähenee ja vaahdotuskennon kapasiteetti ei ylity. Vastaavasti venttiilin asennon pienentyessä syklonin alitekappaleen säätöpainetta suurennetaan ja näin syklonin ylitteen virtausta saadaan lisättyä. Kuviossa 5 on mallinnettu kaaviokuvana tutkittavaan prosessiin tehty säätöpiiri.



KUVIO 5. Kaaviokuva tutkittavan prosessin säätöpiiristä (mukaiillen Huuskonen ym. 2008.)

6 KOKEELLINEN OSUUS

6.1 Koeajon taustat

Työn kokeellisen osan tavoitteena oli tutkia pyriittirikasteen vedenerotus-sykloneiden toimintaa ja kehittää niiden säätöä toiminnan tehostamiseksi. Tavoitteena oli minimoida rikinhienovaahdotuspiirin saantitappioita ja tehostaa silikaatin poistamista rikasteesta. Koeajoissa tutkitaan sykloneiden alitekappaleiden säätämisen vaikutusta rikin hienovaahdotuksen toimintaan. Löytämällä optimaalinen lietevirtaus rikin hienovaahdotukseen voidaan rikin saantitappioita saada pienemmäksi ja samalla suodattimien kapasiteettia kasvatetuksi.

Prosessin luonteesta johtuen syklonipatterin säätäminen tapahtuu aliteaukkojen halkaisijoita säätelemällä. Nykytilassa prosessiolosuhteet vaativat käyttämään kahta sykklonia samanaikaisesti ja alitekappaleiden säätö on täysin manuaalinen. Säätö tapahtuu muuttamalla alitekappaleiden painetta paikallisesti paineensäätimestä.

Koeajoa varten syklonipatterin kaikki kolme sykklonia purettiin osiin ja mitattiin sykloneiden eri osat. Sykloneissa jo käytössä olleet säädettävät alitekappaleet tarkistettiin ja alitekappaleiden pneumatiikan paineilmalinjat uusittiin. Sykloneiden aliteaukkojen halkaisijat mitattiin säätöalueen paineilla asteittain (0–5,4 bar). Syklonien syöttölinjaan asennettiin koeajoa varten virtausmittaus sekä painemittaus. AP8SK-painelinjaan asennettiin virtausmittaus sekä tiheysmittaus. Rikinhienovaahdotuspiirin peräventtiili vaihdettiin nykyaikaisempaan automaattiseen letkuventtiiliin vanhan “kurttuputki-venttiilin” tilalle säädön helpottamiseksi.

Mittareiden asentamisen jälkeen prosessin säätö ja muutoksien seuraaminen helpottui. Sykloneitten alitekappaleita mitattaessa huomattiin, että SC5SK ja SC6SK säädettävät alitekappaleet olivat lähes identtiset eri painealueilla. SC4SK:n alitekappale poikkesi näistä kahdesta muusta syklonin alitekappaleesta mitoiltaan, joten koeajoon valittiin SC5SK- ja SC6SK-syklonit. SC5SK- ja SC6SK-sykloneiden aliteaukkojen maksimihalkaisija on paineettomana noin 50 mm ja minimihalkaisija 5,4 bar paineella noin 27 mm.

Ennen varsinaisia koeajoja kartoitettiin alitekappaleiden paineen säätöaluetta. Tällä varmistettiin millä säätöalueella koeajot voitaisiin suorittaa ilman prosessin vakavaa häiriintymistä. Kartoitus aloitettiin

suurimmalla säätöpaineella. Heti haarukoinnin aluksi tuli selväksi, että suurimmalla paineella syklonin ylitteen määrä kasvoi liian suureksi ja rikinhienovaahdotuskennon kapasiteetti ylittyi. Samalla puolestaan alitteen määrä vähentyi, mikä johtaa suotimien laattojen nopeaan tukkeutumiseen. Karkeaa haarukointia jatkettiin pudottamalla säätöpainetta 0,5 bar kerrallaan ja samalla seurattiin prosessissa tapahtuvia muutoksia noin 30 minuutin ajan. Säätöpaineen lähestyessä 3 bar alkoi prosessissa ilmentyä ongelmia, jotka johtuivat liian suuresta alitteen määrästä. Tästä johtuen pumppausmäärät sammiosta vähentyivät ja sammio alkoi täyttymään kiintoaineesta. Tämän haarukoinnin perusteella valitsimme koeajossa käytettäväksi painealueeksi 3–4,5 bar, joka tarkoittaa sykloneiden aliteaukkojen halkaisijoita 31–37 mm. Koeajo päätettiin suorittaa yhden vuorokauden aikana, koska koeajon pidentyessä prosessissa mahdollisesti tapahtuvat heilahdukset voivat vääristää oleellisesti tuloksia ja johtaa harhaan lopputuloksissa.

6.2 Koeajo suunnitelma

Koeajo aloitettiin pienimmällä syklonin aliteaukon asetuksella ja suurimmalla paineella (31 mm / 4,5 bar). Prosessin annettiin tasoittua 2 tuntia aliteaukon säätämisestä, jonka jälkeen prosessista otettiin tarvittavat näytteet ja kirjattiin tiedot ylös. Näytteenoton jälkeen asetusta muutettiin jälleen, jonka jälkeen odotettiin prosessin tasoittumista. Koeajon viimeinen vaihe tehtiin suurimmalla aliteaukon asetuksella ja pienimmällä paineella (37 mm / 3,0 bar).

Koeajon aikana prosessin tilaa seurattiin ja havainnot kirjattiin ylös mittauspöytäkirjaan. Koeajon aikana kaikki muutokset prosessissa yritettiin minimoida. Sykloneiden syöttöpumppu asetettiin manuaalitilaan, jolloin pumppu pyöri vakiokierroksilla ja virtaus oli mahdollisimman tasaista. AP8SK pidettiin normaalisti automaattitilassa ja katkokäynnillä, käyntikertoja seurattiin käyntilaskurin avulla. Vaahdotuskennojen pinta-asetukset sekä ilmamäärät pidettiin vakiona. Koeajojen aikana prosessista näytesankoihin kerättävät lietenäytteet toimitettiin rikastamon laboratorioon tutkittaviksi. Näytteistä määritettiin rikki-pitoisuus, raekokojakauma ja rikki-pitoisuus raekokoluokittain. Tämä tieto yhdistettynä muuhun tutkimusaineistoon, pystyttiin laatimaan tarkka kuva siitä, kuinka prosessi toimi ja miten materiaalivirrat prosessin eri vaiheissa käyttäytyivät. Tutkimusten perusteella pystyttiin suunnittelemaan tarvittavia muutoksia prosessinohjaukseen ja säätöpiiriin, nykyisen tilanteen parantamiseksi.

7 TULOSTEN TARKASTELEMINE

7.1 Sykloneiden alitekappaleiden säädön vaikutus rikin hienovaahdotuksen jätteeseen

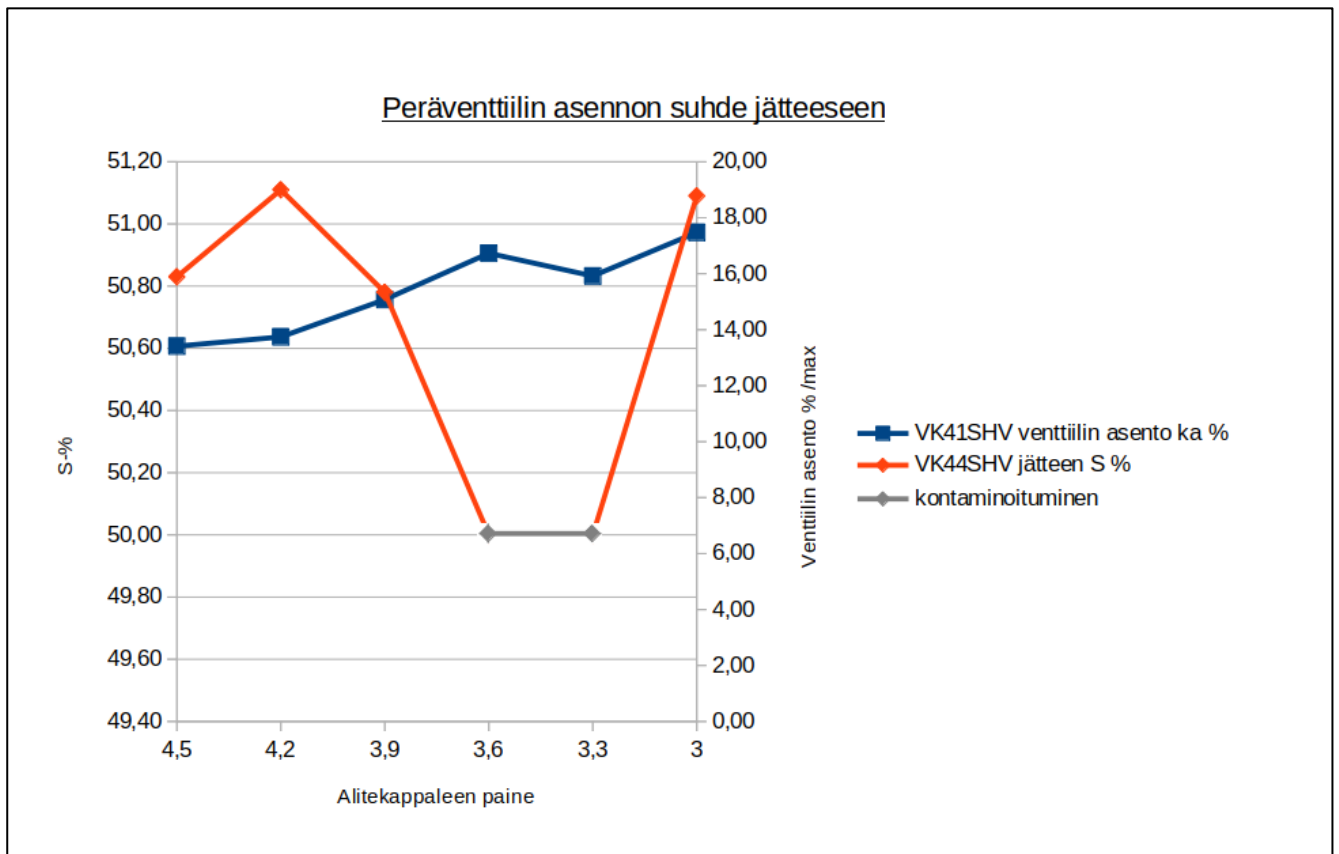
Koeajotuloksia tarkasteltiin laboratorioanalyysien sekä prosessista saatujen tietojen pohjalta. Prosessista kerätyistä näytteistä analysoitiin rikastamon laboratoriossa näytteiden sisältämä rikkiipitoisuus, ominaispaine sekä rikkiipitoisuus raekokoluokittain. Näiden tietojen pohjalta tehtiin analyysi prosessissa koeajojen aikana tapahtuneista muutoksista.

Tuloksia tarkasteltaessa huomattiin rikin hienovaahdotuksesta jätteeseen päätyvän rikin olevan pienimmässä raekokoluokassa, jota ei käytössä olevalla vaahdotuksella ja suodatuksella voida saada talteen. Taulukosta 1 nähdään, kuinka raekokoluokkia karkeasta hienompaan ainekseen mentäessä rikkiipitoisuus kasvaa ja suurin osa jätteen rikistä on raekokoluokassa alle 0,020 mm.

TAULUKKO 1. Rikin hienovaahdotuksen jätteen rikkiipitoisuudet raekokoluokittain

Näyte	Paine (bar)	S %	S-%/jako						
			0.210mm	0.149mm	0.105mm	0.074mm	0.038mm	0.020mm	-0.020mm
4.0	4,5	20,55	0,0	0,0	0,0	1,4	4,1	10,7	82,1
4.1	4,2	19,96	0,0	0,0	0,0	1,1	3,1	12,2	81,2
4.2	3,9	19,16	0,0	0,0	0,0	0,8	3,9	15,5	74,1
4.5	3,0	19,59	0,0	0,0	0,0	0,2	1,2	6,3	86,2

Koeajoissa tutkittiin alitekappaleiden säädön vaikutusta rikin hienovaahdotuksen peräventtiilin asennon muutokseen ja jätteeseen. Seuraavassa kuviossa 6 on esitetty peräventtiilin asennon muutoksia suhteessa jätteen rikkiipitoisuuteen. Kuvioista voidaan todeta, että syklonin alitekappaleiden säätöpainetta alentaessa 4,5 bar → 3,9 bar eli aliteaukon halkaisijaa suurentaessa 31mm → 34 mm, jätteen rikkiipitoisuus laski. Tämän jälkeen säätöpainetta alentaessa ja aliteaukon halkaisijaa suurentaessa jätteen rikkiipitoisuus lähti nousuun. Kuvioista 6 voidaan todeta, että säätöpaine 3,9 bar näyttäisi olevan optimaalinen rikin hienovaahdotuksen jätteen rikkiipitoisuuden kannalta. Laboratoriossa sattui näytteiden analysointivaiheessa näytteiden 4.3 ja 4.4 kontaminoituminen ja ne jouduttiin jättämään pois tarkastelusta.



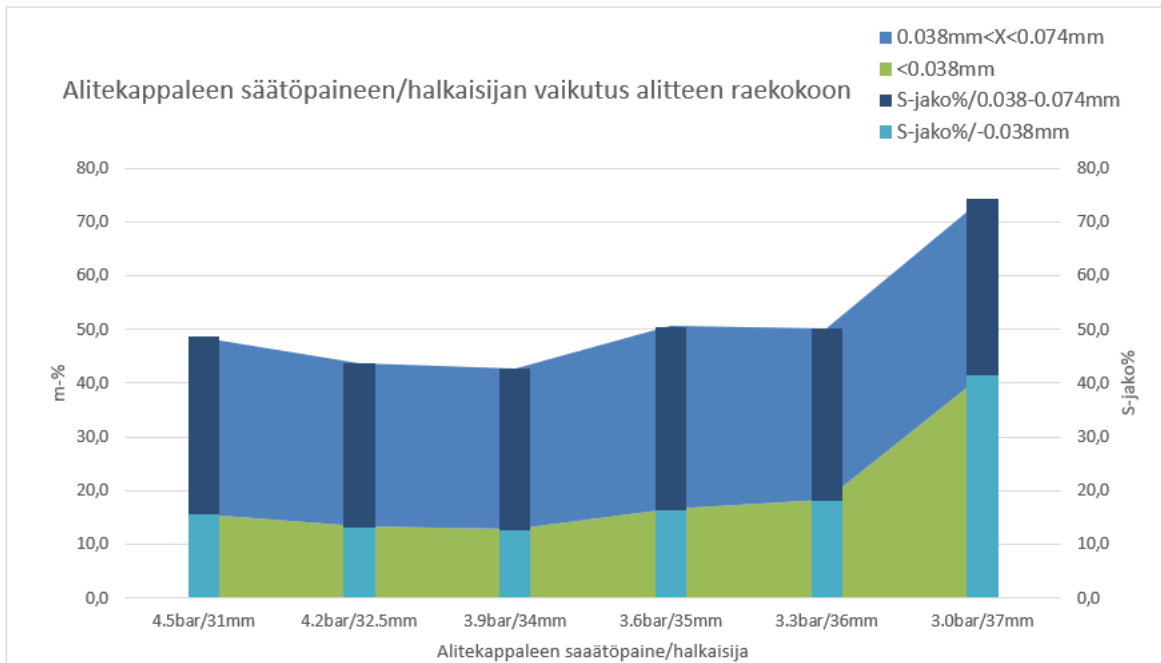
KUVIO 6. Rikin hienovaahdotuksen peräventtiilin asento suhteessa jätteen rikkipitoisuuteen

7.2 Syklonin alitteen ja ylitteen tarkasteleminen

Koeajoissa tarkasteltiin myös syklonien alitekappaleiden säädön vaikutusta syklonin alitteen ja ylitteen raekoon muutoksiin. Koeajoista kerättyjen näytteiden ja niistä tehtyjen laboratorioanalyysien avulla syklonin alitteen ja ylitteen raekokomuuotoksia pystyttiin tarkastelemaan koko koeajon ajalta. Analyysistä piirrettiin kuvaajat selventämään raekokomuuotoksia aliteaukon halkaisijan muuttuessa.

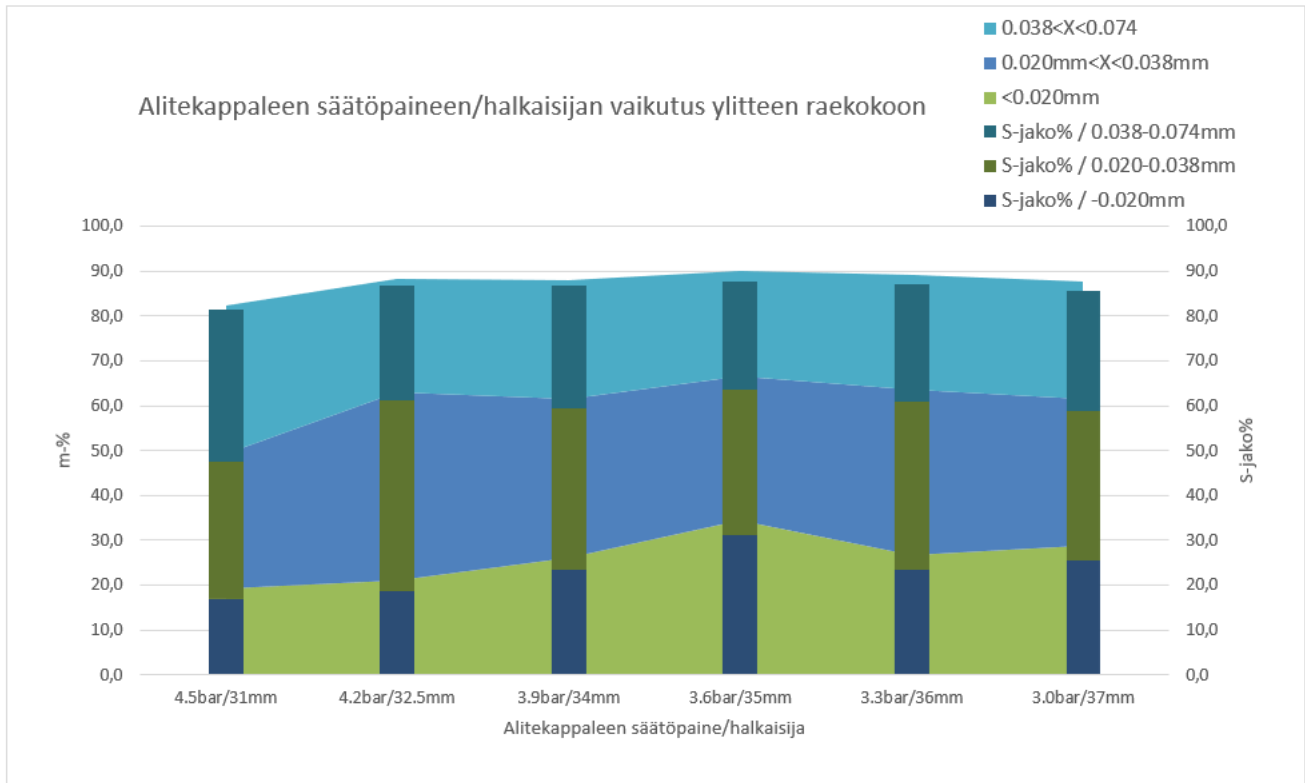
Syklonin alitteen raekoonmuutokset on esitetty kuviossa 7. Kuvaajaan on koottu alitteen raekoko muutokset ja rikin jaukautuminen pienimpiin raekokoluokkiin alitekappaleen halkaisijan muuttuessa. Kuvaajasta nähdään selkeästi, kuinka alitteen rikin jakaantuminen seuraa raekokojakauman muutosta. Kuvaajasta voidaan myös todeta, että alitekappaleen halkaisijan kasvaessa liian suureksi, alkaa hienojakoinen ylitteeksi tarkoitettu raekoon alle 0,038 mm rikki kulkeutumaan syklonin alitteen mukana alitteeksi, mikä ei ole suotuisaa suodatuksen optimaalisen toiminnan kannalta. Tämä nähdään kuvaajassa

jyrkkänä nousuna aliteaukon halkaisijan kasvaessa yli 36 mm. Pienimmillään, hienojakoinen raekoon alle 0,038 mm rikki, oli aliteaukon halkaisijalla 32,5–34 mm.



KUVIO 7. Alitekappaleen säätöpaineen ja halkaisijan vaikutus alitteen raekokoon

Alitekappaleiden säätämisen vaikutusta syklonin ylitteen raekokoon seurattiin myös koeajossa. Ylitteen raekokojakauman seuraaminen koeajossa oli oleellista, koska yhtenä tavoitteena oli selvittää, millä aliteaukon halkaisijalla suurin osa suodatukselle kelpaamattomasta ja hienojakoisimmasta raekoon alle 0,020 mm materiaalista saadaan luokituksella ohjattua rikinhienvaahdotukseen. Kuviossa 8 on esitetty kuvaajan avulla alitekappaleen säädön vaikutusta syklonin ylitteen raekokoon.



KUVIO 8. Alitekappaleen säätöpaineen ja halkaisijan vaikutus ylitteen raekokoon

Kuvion 8 kuvaajasta voidaan todeta, että korkeimmalla syklonin alitekappaleen säätöpaineella 4,5 bar ja pienimmällä aliteaukon halkaisijalla 31 mm ajettaessa, karkeampaa raekoon 0,038–0,074 mm rikkiä luokituu ylitteeksi. Voidaan siis todeta, että aliteaukon halkaisija 31 mm on liian pieni optimaalisen luokittelun kannalta. Syklonin aliteaukon halkaisijaa kasvatettaessa raekoon 0,038–0,074 mm rikin osuus lähti vähenemään ja karkeampaa materiaalia luokitui alitteen mukana alitteeksi.

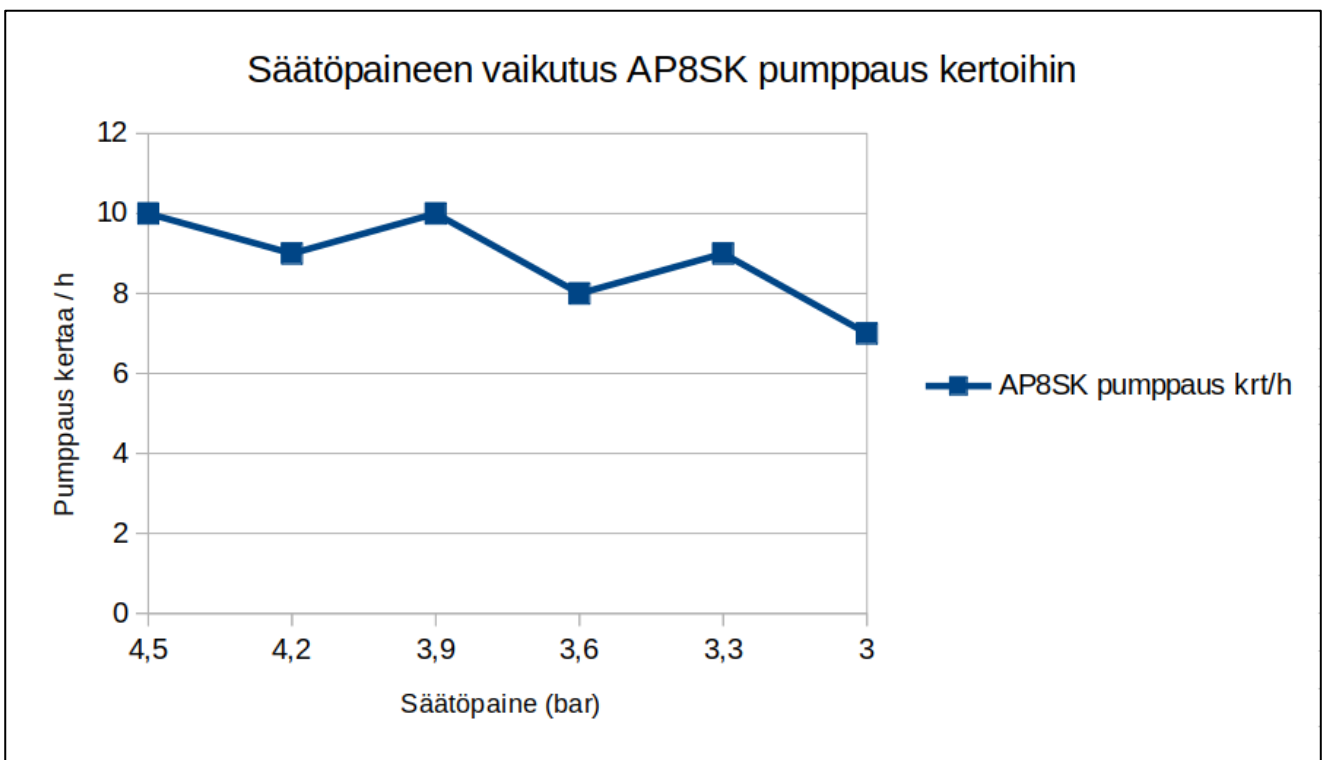
Kuvaajasta nähdään myös, että syklonin ylitteen hienojakoinen raekoossa alle 0,020 mm oleva materiaali nousi koeajossa tasaisesti aliteaukon halkaisijaa kasvatettaessa aina 35 mm saakka, jolloin se oli korkeimmillaan. Aliteaukon halkaisijalla 35 mm ajettaessa, myös karkean materiaalin eli raekoon 0,038–0,074 mm osuus oli pienimmillään koeajon aikana.

7.3 Sykloneiden alitekappaleiden säädön vaikutus lietetiheyteen

Koeajoissa tutkittiin myös sykloneiden aliteaukkojen säätämisen vaikutusta PK3SK-pumppukaivon lietetiheyteen. PK3SK-lietetiheyteen vaikuttavia tekijöitä ovat SC4–6SK-alitteen lietetiheys ja SS4SK-alitteen lietetiheys. Lisäksi PK3SK:n lietetiheyteen vaikuttaa suoraan Ceramec-suotimien käyttäoste.

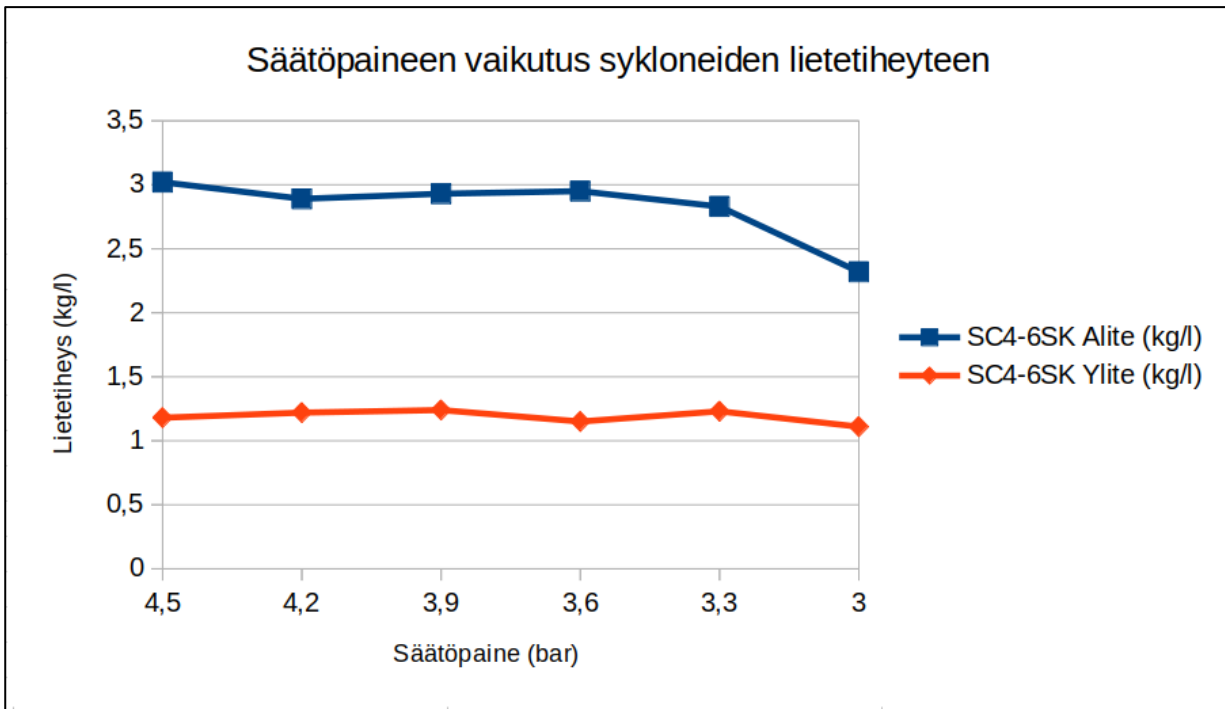
Koeajoissa SC4–6SK-alitteen lietetiheyttä seurattiin käsin, litrapainoa mittaamalla. SS4SK-alitteen lietetiheyttä ja vaikutusta seurattiin AP8SK-tiheysmittauksen ja pumppauskerta-laskurin avulla. SS4SK-alitteen seuraaminen pumppauskerta-laskurin avulla on oleellista SS4SK-sakeutussammion sujuvan toiminnan kannalta, jotta nähdään pumppauskertoja tulevan riittävästi tukkeutumisvaaran välttämiseksi.

Koeajojen aikana SS4SK-alitteen pumppauskerrat vaihtelivat 7–10 pumppauskertaan tunnissa. Mitä suuremmaksi alitekappaleiden halkaisijoita kasvatettiin, sitä vähemmän pumppauskertoja oli tunnin aikana. Tämä selittyy sillä, että sykloneiden alitemäärän kasvaessa PK3SK pysyy riittävän täynnä pelkällä sykloneiden alitteilla, eikä pumppaustarvetta sammioista kaivon täyttämiseksi tule. Oheisessa kuviossa 8 on esitetty SS4SK-pumppauskerrat tunnissa koeajon aikana.



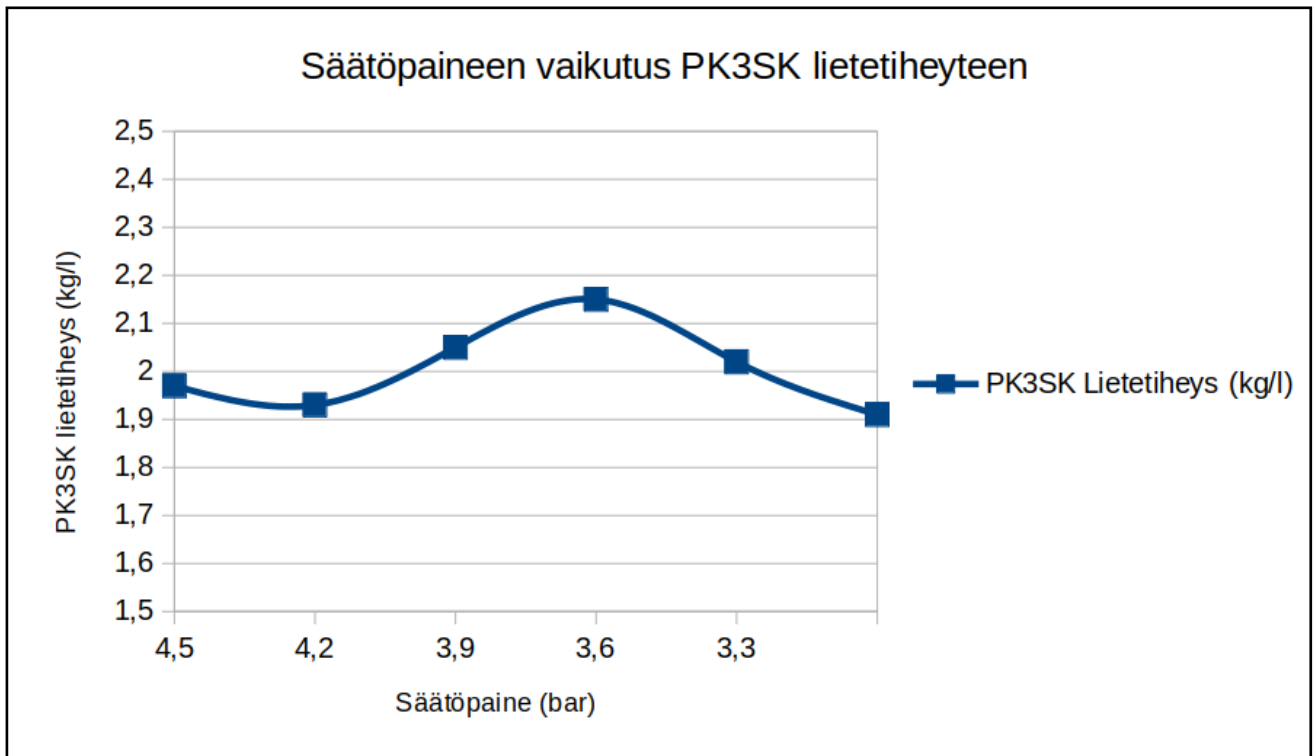
KUVIO 9. SS4SK-pumppauskerrat tunnissa koeajon aikana

Sykloneiden alitteiden ja ylitteiden lietetiheyksiä mitattaessa huomattiin, että syklonin alitteen lietetiheys pysyi lähes vakiona laskettaessa painetta aina 3,6 bar asti eli aliteaukon halkaisijan ollessa 35 mm. Tämän jälkeen aliteaukon halkaisijaa edelleen kasvatattaessa alitteen lietetiheys lähti laskuun. Seuraavassa kuviossa 9 on mallinnettu syklonin alitteiden ja ylitteiden lietetiheyden muutosta koeajon aikana.



KUVIO 10. Syklonien alitteiden ja ylitteiden lietetiheyksien muutokset

Koeajon aikana PK3SK-pumppukaivon lietetiheys vaihteli välillä 1,9- 2,15 kg/l. Tavoitteena koeajon aikana oli pitää yhtä Ceramec-suodinta jatkuvasti tuotannossa muutosten minimoimiseksi lietetiheyden vaihtelussa. Tämä ei kuitenkaan aivan onnistunut ja Ceramec-suotimen tuotannossa oli katkos koeajon puolivälin jälkeen, alitekappaleen säätöpaineen ollessa 3,9 bar. Ceramec-suotimen tuotantokatkos nähdään lietetiheyden seurannassa selvänä lietetiheyden nousuna. Seuraavassa kuviossa 10 esitetään karkeasti PK3SK-pumppukaivon lietetiheyden muutokset.



KUVIO 11. PK3SK-lieteitiheyden muutokset koeajon aikana

8 JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO

Kokeellinen osuus eli varsinainen koeajo suoritettiin noin 15 tunnin koeajona, joka todettiin riittäväksi prosessin kokoluokan ja muutosnopeuden takia. Koeajot itsessään onnistuivat lähes suunnitelmien mukaan, eikä suurempia häiriöitä ilmaantunut. Kokeellisen osuuden tuloksia tarkasteltaessa huomattiin, että alitekappaleiden säätöpaineeksi optimaalisin luokittelun kannalta olisi 3,6–4,2 bar painealue. Tällä painealueella alitekappaleen halkaisija on 32–35 mm, mikä todettiin toimivimmaksi ajettaessa kahdella syklonilla yhtäaikaaisesti. Toimivuuteen vaikuttavat tietenkin sen hetkinen sykloneiden syöttövirtaus ja malmin rikkipitoisuus. Tulosten tarkastelua hankaloitti hieman laboratorioanalyysija tehtäessä sattunut kahden näytteenottoastian kontaminoituminen ja ne jouduttiin jättämään pois tarkastelusta.

Tuloksia tarkasteltaessa havaittiin, että sykloneiden aliteaukkojen halkaisijoiden ollessa välillä 31–34 mm, pysyi rikin hienovaahdotuksen jätteen rikkipitoisuus pienimmillään. Halkaisijaa tästä suurennettaessa alkoi jätteen rikkipitoisuus nousemaan. Samalla havaittiin rikin hienovaahdotuksesta jätteeksi päätyvän rikin olevan pienimmässä raekokoluokassa alle 0,020 mm. Aliteaukon halkaisijan kasvaessa liian suureksi, alkoi hienojakoinen, ylitteeksi tarkoitettu raekoon alle 0,038 mm rikki luokittumaan syklonin alitteeseen.

Syklonin alitteita ja ylitteitä tarkasteltaessa havaittiin, että rikin jakautuminen seuraa raekokojakauman muutosta. Yhtenä työn tavoitteena oli selvittää millä aliteaukon halkaisijalla mahdollisimman suuri osa suodatukseen kelpaamattomasta hienojakoisesta, alle 0,020 mm raekoon materiaalista, saadaan luokituksella ohjattua rikin hienovaahdotukseen. Parhaaseen tulokseen päästiin syklonin aliteaukkojen halkaisijoiden ollessa 35 mm, säätöpaineen ollessa 3,6 bar. Aliteaukkojen halkaisijoiden ollessa 31 mm, karkeampaa alitteeksi tarkoitettua, raekokoluokan 0,038–0,074 mm rikkiä luokitui ylitteeksi, joka osoittautui liian pieneksi aliteaukon halkaisijaksi. Aliteaukon halkaisijan ollessa 35 mm vastaavan raekoon osuus ylitteessä oli pienimmillään koeajon aikana, tällä asetuksella luokitus toimi optimaalisimmalla tavalla, eikä karkeaa materiaalia luokitunut ylitteeksi.

PK3SK-pumppukaivon lietetiheyden vakiointi haluttuun 2,1 kg/l oli haastavaa. AP8SK-alitepumpun epäsäännöllinen pumppaus PS3SK-pumppukaivoon hankaloitti lietetiheyden vakiointia. Koeajoissa seurattiin alitekappaleiden säätämisen vaikutusta PK3SK-lietetiheyteen ja AP8SK-käyntilaskurin muutoksia. Kuten oletettiin korkeimpaan syklonin alitteen lietetiheyteen 3,02 kg/l päästiin 4,5 bar paineella ja aliteaukon halkaisijalla 31 mm. Alitekappaleiden säätö itsessään ei kuitenkaan riittänyt lietetiheyden

säätämiseen, koska AP8SK epäsäännöllisen pumppauksen vaikutus lietetiheyteen oli sen verran suuri. Todettiin, että paras tapa PK3SK-lietetiheyden säätämiseen on tarvittaessa tauottaa Ceramec-suotimia lietetiheyden nostamiseen ja taas toisaalta käynnistää Ceramec-suodin lietetiheyden noustessa yli 2,1 kg/l. Tulevaisuudessa Ceramec-suotimien tauottaminen tulisi lietetiheyden tasoittamiseksi toteuttaa automatiikan avulla. Lietetiheyden noustessa asetusarvon yli käynnistyisi suodin taukotilasta automaattisesti ja lietetiheyden laskiessa alle asetusarvon suodin siirtyisi jälleen taukotilaan.

Koeajoja valmistellessa ja tutkittavia sykloneita SC4-6SK mittailtaessa huomattiin, että yhden syklonin yliteputki oli vaurioitunut, eikä kyseinen sykloni toiminut oikein. Syklonin yliteputki korjattiin ennen koeajoa. Lisäksi koeajoja ennen huomattiin, että tutkittavan piirin vaahdotuskennojen kaikki akselit eivät olleet kunnossa, aiheuttaen sähkömoottoreiden ylikuumentumista. Tämäkin vika korjattiin ennen koeajoa. Jatkotoimenpiteenä suositellaankin sykloneiden ja akselien tarkistusta tietyin väliajoin, esimerkiksi korjausseisakeissa, jotta tällaiset vauriot huomattaisiin riittävän ajoissa ja prosessin toiminta olisi varmempaa.

Tästä työstä aikaansaadut parannukset liittyivät pääasiassa tutkittavan piirin säädön helpottumiseen ja optimaalisimman aliteaukkokoon löytämiseen. Yhteistyössä Pyhäsalmen kaivoksen automaatio-osajien, instrumentti- ja kunnossapitoasentajien kanssa saatiin aikaan säätöpiiri, jota on huomattavasti helpompi säätää ja seurata. Manuaalisesti säädettävien alitekappaleiden automatisointi, VK41–44SHV-peräventtiilin nykyaikaistaminen, LP3–4SV-pumppukaivon virtausmittaus ja SS4SK-alitteen tiheysmittaus mahdollistavat yhdessä Proscon-automatiojärjestelmän kanssa entistä tehokkaamman säätöpiirin.

LÄHTEET

Gupta, A & Yan, D. 2006. Mineral processing design and operation: An introduction. Oxford: Elsevier

Heiskanen, K. 1987. Classification handbook. Larox. Lappeenranta: Etelä-Saimaan kustannus Oy

Huuskonen, J., Karjalainen, H., Pekkala, T. 2008. Pyhäjärvi. Pyhäsalmi Mine Oy Rikastusprosessi. Ei saatavilla.

Lukkarinen, T. 1987. Mineraalitekniikka osa 2: Mineraalien rikastus. Insinööritieto Oy. Helsinki: Painomerkki Oy

Michaud, D. 2015. Hydrocyclone working principle. 911 Metallurgist. Saatavissa: <https://www.911metallurgist.com/blog/hydrocyclone-workingprinciple>

Napier-Munn, T., Morell, S., Morrison, R. & Kojovic. 2005. Mineral comminution circuits: Their operation and optimisation. Indooroopilly: Julius Kruttschnitt mineral research centre

Schoenbrunn, F., Laros, T., Henriksson, B. & Arbuthnot, I. 2019. SME Mineral processing & extractive metallurgy handbook, volume one. Englewood: Society for mining, metallurgy & exploration

Wills, B. & Napier-Munn, T. 2006. Wills' mineral processing technology: An introduction to the practical aspects of ore treatment and mineral recovery. Oxford: Butterworth-Heinemann

LITTEET

Liite 1

Liitteessä 1 näytenuumeroinnit: 1.0-1.5 syöte ja 2.0-2.5 syklonin alite eri alitekappaleen säätöpaineella.

Näyte	Kiintoaine m-%	S %	Omp. g/cm ³	paino-%					
				0.210mm	0.149mm	0.105mm	0.074mm	0.038mm	-0.038mm
1.0	36,3	51,4	5,1	0,0	1,1	6,0	15,3	28,0	49,6
1.1	51,6	51,5	5,0	0,0	3,2	14,2	25,3	27,6	29,7
1.2	42,8	51,7	5,2	0,0	2,0	10,6	20,2	26,3	40,9
1.3	46,7	51,2	4,9	0,0	1,7	10,1	22,6	30,1	35,5
1.4	46,5	51,4	4,9	0,0	2,5	12,4	23,1	28,0	34,0
1.5	41,8	51,2	4,9	0,0	2,2	9,0	19,1	27,7	42,0
2.0	79,7	51,7	5,1	0,0	4,3	18,3	28,9	32,9	15,6
2.1	80,6	51,8	5,0	0,0	4,4	19,9	32,1	30,3	13,3
2.2	80,7	51,9	5,0	0,0	4,5	21,0	31,8	29,8	12,9
2.3	80,4	52,1	5,0	0,0	2,7	14,7	31,9	34,0	16,7
2.4	79,1	52,1	5,0	0,0	3,8	18,1	28,0	31,9	18,2
2.5	66,0	51,3	5,0	0,0	1,3	6,4	18,1	32,7	41,5

Näyte	Kiintoaine m-%	S %	Omp. g/cm ³	S-%					
				0.210mm	0.149mm	0.105mm	0.074mm	0.038mm	-0.038mm
1.0	36,3	51,4	5,1		47,1	52,1	52,6	52,3	50,6
1.1	51,6	51,5	5,0		50,6	52,1	52,2	52,2	50,7
1.2	42,8	51,7	5,2		49,5	52,1	52,2	52,2	50,6
1.3	46,7	51,2	4,9		48,6	52,0	52,1	52,1	50,7
1.4	46,5	51,4	4,9		49,6	52,4	52,1	52,0	50,7
1.5	41,8	51,2	4,9		47,7	51,8	52,0	52,1	50,8
2.0	79,7	51,7	5,1		49,7	52,2	52,1	52,3	51,3
2.1	80,6	51,8	5,0		49,9	52,5	52,4	52,2	51,1
2.2	80,7	51,9	5,0		51,0	52,3	52,1	52,1	51,1
2.3	80,4	52,1	5,0		49,5	52,2	52,2	52,1	51,3
2.4	79,1	52,1	5,0		49,7	52,1	52,3	52,3	51,6
2.5	66,0	51,3	5,0		42,6	51,0	51,8	51,8	51,1

Näyte	Kiintoaine m-%	S %	Omp. g/cm ³	S-%/jako					
				0.210mm	0.149mm	0.105mm	0.074mm	0.038mm	-0.038mm
1.0	36,3	51,4	5,1	0,0	1,0	6,1	15,7	28,5	48,9
1.1	51,6	51,5	5,0	0,0	3,1	14,4	25,7	28,0	29,3
1.2	42,8	51,7	5,2	0,0	1,9	10,7	20,4	26,6	40,0
1.3	46,7	51,2	4,9	0,0	1,6	10,3	23,0	30,6	35,1
1.4	46,5	51,4	4,9	0,0	2,4	12,6	23,4	28,3	33,6
1.5	41,8	51,2	4,9	0,0	2,0	9,1	19,4	28,2	41,7
2.0	79,7	51,7	5,1	0,0	4,1	18,5	29,1	33,3	15,5
2.1	80,6	51,8	5,0	0,0	4,2	20,2	32,5	30,5	13,1
2.2	80,7	51,9	5,0	0,0	4,4	21,2	31,9	29,9	12,7
2.3	80,4	52,1	5,0	0,0	2,6	14,7	32,0	34,0	16,4
2.4	79,1	52,1	5,0	0,0	3,6	18,1	28,1	32,0	18,0
2.5	66,0	51,3	5,0	0,0	1,1	6,4	18,3	33,0	41,3

Liitteessä 2 näytenumeroinnit 3.0-3.5 syklonin ylite ja 4.0-4.5 VK41SHV-jäte.

Liite 2

Näyte	Kiintoaine m-%	S %	Omp. g/cm ³	paino-%						
				0.210mm	0.149mm	0.105mm	0.074mm	0.038mm	0.020mm	-0.020mm
3.0	37,55	50,83	4,82	0	0	3,3	14,4	33	30,1	19,2
3.1	29,03	51,1	4,92	0	0	2,3	9,3	25,3	41,9	21,2
3.2	28,62	50,66	4,92	0	0	2,4	9,5	26,5	35,5	26,1
3.3	25,68	50,75	4,9	0	0	1,3	8,7	23,5	32	34,5
3.4	29,47	51	4,91	0	0	1,7	9,2	25,6	36,8	26,7
3.5	28,7	50,88	4,93	0	0	1,9	10,4	26,1	32,8	28,8
4.0	2,32	20,55	3,24	0	0	0	1,6	4,5	17,2	76,7
4.1	2,25	19,96	3,15	0	0	0,3	1,7	3,9	18	76,1
4.2	2,41	19,16	3,2	0	0	0,2	1,2	4,7	22,6	71,3
4.3	1,4	20,1	3,19	0	0	0	0,7	4		95,3
4.4	2,29	21,06	3,19	0	0	0,2	1	4,2		94,6
4.5	1,9	19,59	3,18	0	0	0	0,4	2,6	16,2	80,8

Näyte	Kiintoaine m-%	S %	Omp. g/cm ³	S-%						
				0.210mm	0.149mm	0.105mm	0.074mm	0.038mm	0.020mm	-0.020mm
3.0	37,55	50,83	4,82			50,1	51,9	52,3	51,7	44,8
3.1	29,03	51,1	4,92			51,7	52,1	52,1	51,6	45,2
3.2	28,62	50,66	4,92			51,8	52,2	52	51,4	45,7
3.3	25,68	50,75	4,9			52	52,4	52,3	51,4	45,8
3.4	29,47	51	4,91			50,6	52,8	52,2	51,8	45
3.5	28,7	50,88	4,93			51,5	52,3	52	51,6	45,2
4.0	2,32	20,55	3,24				18,2	18,9	12,8	22
4.1	2,25	19,96	3,15				12,8	16,1	13,5	21,3
4.2	2,41	19,16	3,2				12,9	16,1	13,1	19,9
4.3	1,4	20,1	3,19							
4.4	2,29	21,06	3,19							
4.5	1,9	19,59	3,18				9,8	8,8	7,6	20,9

Näyte	Kiintoaine m-%	S %	Omp. g/cm ³	S-%/jako						
				0.210mm	0.149mm	0.105mm	0.074mm	0.038mm	0.020mm	-0.020mm
3.0	37,6	50,8	4,8	0,0	0,0	3,3	14,7	34,0	30,6	16,9
3.1	29,0	51,1	4,9	0,0	0,0	2,3	9,5	25,8	42,3	18,8
3.2	28,6	50,7	4,9	0,0	0,0	2,5	9,8	27,2	36,0	23,5
3.3	25,7	50,8	4,9	0,0	0,0	1,3	9,0	24,2	32,4	31,1
3.4	29,5	51,0	4,9	0,0	0,0	1,7	9,5	26,2	37,4	23,6
3.5	28,7	50,9	4,9	0,0	0,0	1,9	10,7	26,7	33,3	25,6
4.0	2,3	20,6	3,2	0,0	0,0	0,0	1,4	4,1	10,7	82,1
4.1	2,3	20,0	3,2	0,0	0,0	0,0	1,1	3,1	12,2	81,2
4.2	2,4	19,2	3,2	0,0	0,0	0,0	0,8	3,9	15,5	74,1
4.3	1,4	20,1	3,2							
4.4	2,3	21,1	3,2							
4.5	1,9	19,6	3,2	0,0	0,0	0,0	0,2	1,2	6,3	86,2