

Hannu Isoaho & Timo Karsikas

**OUTOTEC LAROX CC 30 CERAMIC
JATKUVATOIMISEN SUODATTIMEN OPTIMOINTI
Pyriitin tuotannon tehostaminen**

**Opinnäytetyö
CENTRIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Kemiantekniikan koulutusohjelma
Elokuu 2020**

TIIVISTELMÄ

Centria-ammattikorkeakoulu	Aika Elokuu 2020	Tekijä/tekijät Timo Karsikas ja Hannu Isoaho
Koulutusohjelma Kemiantekniikka		
Työn nimi OUTOTEC LAROX CC 30 CERAMIC JATKUVATOIMISEN SUODATTIMEN OPTIMOINTI		
Työn ohjaaja Laura Rahikka	Sivumäärä 37+2	
Työelämäohjaaja Hannu Pääskynen		
<p>Opinnäytetyön tilaajana toimi Pyhäsalmi Mine Oy, joka halusi tehostaa pyriitin tuotantoa. Opinnäytetyön tavoitteena oli löytää pyriitin suodatuksessa käytettävien Outotec Larox Ceramic-suodattimien optimaaliset suodatusparametrit. Opinnäytetyön alussa esitetään suodatuksen teoriaa ja suodatuksen kannalta tärkeitä suodatusyhtälöitä. Lisäksi esitetään erilaisia suodatuslaitteistoja ja niiden toimintaperiaatteita. Teoriaosan lopussa esitetään tarkemmin Outotecin keraamisen suodattimen toimintaperiaatetta ja prosessivaiheita. Lähdekirjallisuutena toimivat Pyhäsalmi Mine Oy:n ja Outotec Oyj:n sisäiset materiaalit sekä kemian- ja prosessiteollisuuden kirjallisuus.</p> <p>Koeajossa käytettiin pohjana Outotecin kehittämää suodatusparametrien optimointiohjelmaa. Kokeellisessa osassa tutkittiin rummun pyörimisnopeuden, sekoittajan nopeuden, altaan pinnankorkeuden ja käyntijakson pituuden vaikutusta suodattimen kapasiteettiin. Kapasiteetin kasvatusta rajoittavat rikasteen laatuvaatimukset, kuten kakun kosteus. Kokeellisessa osassa suodattimelta mitattiin ja kirjattiin ylös kakun paksuutta ja rikasteen kosteutta. Rummun pyörimisnopeuden, sekoittajan nopeuden ja altaan pinnankorkeuden vaikutusta tutkittiin jokaista viisi vuorokautta. Käyntijakson pituuden vaikutusta tutkittiin kaksi vuorokautta. Rummun pyörimisnopeuden vaikutusta tutkittiin maksiminopeudesta välillä 50–90 % kymmenen prosenttiyksikön muutoksella. Sekoittajan pyörimisnopeuden vaikutusta tutkittiin maksiminopeudesta välillä 55–95 % kymmenen prosenttiyksikön muutoksella. Altaan pinnankorkeuden vaikutusta tutkittiin välillä 40–80 % kymmenen prosenttiyksikön muutoksella. Viimeisenä tutkittiin käyntijakson vaikutusta kapasiteettiin kuuden ja kymmenen tunnin käyntijaksoilla.</p> <p>Rummun pyörimisnopeus on suoraan verrannollinen suodattimen kapasiteettiin. Rummun pyörimisnopeuden koeajon perusteella todettiin, että paras kapasiteetti saavutettiin 70 % pyörimisnopeudella. Pyörimisnopeutta ei voi kasvattaa yli 70 %, koska rikaste ei täyttäisi kosteuden osalta laatuvaatimusta. Sekoittajan pyöriessä 55 % nopeudella suodattimen kapasiteetti laski lietteen luokittumisen seurauksena. Koeajon mittaustulosten perusteella todettiin, että sekoittajan nopeutta voi muuttaa välillä 65–85 %. Lietepinnan korkeuden vaikutusta tutkittaessa havaittiin liete-pinnan muutoksen vaikuttavan suodattimen kapasiteettiin ja kakun kosteuteen. Koeajojen perusteella todettiin, että paras kapasiteetti kakun kosteuden suhteen saavutettiin 70 % pinnan asetuksella. Suodattimen käyntiaste on suoraan verrannollinen käyntijakson pituuteen. Tämän perusteella todettiin, että optimaalisin käyntijakson pituus on 9 tuntia. Tällä käyntijakson pituudella suodattimen käyntiaste on 90 % ja kakun kosteus täyttää sille asetetut laatuvaatimukset.</p>		

TIIVISTELMÄ

Asiasanat

Ceramic, jatkuvatoimiset suodattimet, keraaminen suodin, Outotec, optimointi, Pyhäsalmi Mine Oy, suodatus

ABSTRACT

Centria University of Applied Sciences	Date August 2020	Author Timo Karsikas & Hannu Isoaho
Degree programmer Chemical Engineering		
Name of thesis OUTOTEC LAROX CC 30 CERAMIC CONTINUOUS FILTER OPTIMIZATION		
Instructor Laura Rahikka	Pages 37+2	
Supervisor Hannu Paaskynen		
<p>The thesis was commissioned by Pyhäsalmi Mine Oy, which wanted to increase the efficiency of pyrite production. The aim of the thesis was to find the optimal driving parameters of Outotec Larox Ceramic filters used in pyrite filtration. At the beginning of the thesis the theory of filtration and filtering equations important for filtration were explained. In addition, various filtration equipment and their operating principles were presented. At the end of the theoretical part, the operating principle and process steps of Outotec ceramic filter is presented in more detail. The source material was Pyhäsalmi Mine Oy and Outotec Oyj internal material as well as chemical and process industry literature.</p> <p>The selection for the test run is based on the filtration parameter optimization program developed by Outotec. The experimental section involved investigating the effect of drum and mixer rotation speed, pool surface height, and change of washing interval on filter capacity. Increasing of capacity is limited by quality requirements, such as cake moisture. In the experimental part, the thickness of the cake and the moisture of the concentrate were measured and documented from the filter. The investigations of drum and mixer rotation speed and basin surface height effect last each for five days. The effect of the wash interval investigation last for two days. The effect of drum rotation speed was investigated with a maximum operation between 50–90 % with a ten percent change. The effect of agitator rotation speed was investigated with a maximum operation between 55–95 % with a ten percent change. The effect of pool level was investigated between 40–80 % with a ten percent change. Finally, the effect of the washing interval was investigated between six- and ten-hours washing interval.</p> <p>The speed of rotation of the drum is directly proportional to the capacity of the filter. Based on the drum rotation speed test run it was found that the best capacity was achieved at 70 % rotation speed. The rotation speed cannot be increased by more than 70 % because the concentrate moisture would increase over the quality requirement for moisture. As the mixer rotated 55 %, the filter capacity decreased due to sludge classification. Based on the measurement results of the test run, it was found that the speed of the mixer can be changed between 65 % and 85 %. While examining the slurry surface height, it was found that changing of slurry surface affects the filter capacity and the moisture of the cake. Based on the test runs, it was detected that the best capacity of cake moisture terms was achieved with a 70 % slurry surface. The occupancy rate of the filter is directly proportional to the length of the wash interval. Based on this, it was detected that the optimal washing interval setting is 9 hours. With this washing interval setting, the filter is 90 % running and the moisture content of the cake meets the quality requirements set for it.</p>		

Lyhenteet ja symbolit

SR1	rikkirikaste 1
SR2	rikkirikaste 2
CC6SK	pyriitin suodatuspiirin suodin
kg	kilogramma
l	litra
PK	pumppukaivo
SK	rikinkuivaus
m	metri
s	sekunti
t	tonni
h	tunti
D.S	kuiva-aine
Hz	hertsi

**TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY
SISÄLLYS**

1 JOHDANTO	1
2 PYHÄSALMEN KAIVOS	2
3 PYHÄSALMEN KAIVOKSEN RIKKIRIKASTEET	4
4 TYÖN TAVOITTEET JA LÄHTÖKOHDAT	5
5 SUODATUKSEN TEORIAA	6
5.1 Kakkusuodatuksen tärkeys	8
5.2 Kakkusuodatus	9
5.3 Jatkuvatoiniset vakuumisuodattimet	9
5.4 Outotec Larox Ceramic keraaminen suodatin	13
5.4.1 Suodatusyhtälöt	14
5.4.2 Prosessivaiheet	15
5.4.3 Suodattimen parametrit	18
6 KERAAMISET SUODATTIMET PYHÄSALMEN KAIVOKSELLA	19
6.1 Suodatuksen lietevirrat	20
6.2 Suodattimen pesu	21
7 TYÖN KOKEELLINEN OSUUS	22
7.1 Suodatusparametrien optimointi	23
7.2 Lietetiheys	23
7.3 Rummun pyörimisnopeuden muutos	25
7.4 Sekoittajan nopeuden muutos	27
7.5 Lietepinnan korkeuden muutos	30
7.6 Käyntijakson pituuden muutos	32
8 YHTEENVETO	35
9 JATKOTOIMENPIDE-EHDOTUKSET	38
10 LÄHTEET	

1 JOHDANTO

Pyhäsalmi Mine Oy tunnetaan kupari- ja sinkkirikastetta tuottavana kaivoksena. Kaivoksen malmivarantojen ehtyessä tuotannon painopiste siirtyy yhä enemmän pyriittirikasteen tuotantoon. Kaivoksen maanalaisen louhinnan loppuessa toiminta jatkuu rikastushiekka-alueelle varastoidun pyriittipitoisen rikastushiekan puhdistusvaahdotuksella. Kannattavuus heikkenee siirryttäessä pelkästään pyriittirikasteen tuottamiseen, mikä aiheuttaa tarpeen toimintojen tehostamiselle.

Tämän opinnäytetyön aiheena on Ceramic-suotimien kapasiteetin ja kakun kosteuden optimointi. Optimoinnissa tutkittavia parametreja ovat rummun pyörimisnopeus, sekoittajan pyörimisnopeus, lietepinnan korkeus ja käyntijakson pituus. Optimoinnin tarkoituksena on hakea Ceramic-suotimelle ajoparametrit, joilla kapasiteetti saadaan mahdollisimman suureksi rikasteen kosteuden pysyessä alhaisena. Työn pohjana käytämme Outotec Oy kehittämää keraamisten suotimien optimointiohjelmaa.

Työn kokeellinen osuus suoritettiin Pyhäsalmen kaivoksen rikastamossa Outotec Larox CC 30 Ceramic-suotimella. Koeajossa tutkittiin rummunpyörimisnopeuden, sekoittajan nopeuden ja lietepinnan korkeuden muutosten vaikutusta kutakin viisi vuorokautta. Käyntijakson pituuden vaikutusta tutkittiin kaksi vuorokautta. Koeajon aikana mitattiin kakun paksuutta ja kosteutta neljältä laatalta.

2 PYHÄSALMEN KAIIVOS

Pyhäsalmen kaivos sijaitsee Pohjois–Pohjanmaalla Pyhäjärvellä. Kaivos tunnetaan yhtenä Euroopan syvimpänä perusmetallikaivoksena (KUVA 1). Malmio löytyi sattumalta 22. elokuuta 1958, kun paikallinen maanviljelijä kaivoi pihalleen kaivoa ja silmiin pisti mielenkiintoinen kivi, joka osoittautui malmikiveksi. Kaivoksen rakentaminen alkoi Outokumpu Oy:n toimesta vuonna 1959, ja tuotanto kaivoksella aloitettiin vuonna 1962. Kaivoksella rikastetaan kuparia, sinkkiä ja pyriittiä. Tuotannon alussa louhinta toteutettiin avolouhintana. Maanalainen louhinta aloitettiin vuonna 1967 avolouhinnan rinnalla. (Oertel 2012; Mining 2013.)



KUVA 1. Pyhäsalmen kaivos (Mikola 2009)

Kaivoksen syvyys on 1 450 metriä maan pinnasta, joka saavutettiin vuonna 2001. Silloinen omistaja Outokumpu Oy toteutti niin sanotun uuden kaivoksen hankkeen, jolloin kaivos syveni 1 410 metriin. Hankkeen valmistumisen jälkeen Outokumpu Oy myi kaivoksen kanadalaiselle kaivosyhtiölle Inmet Mining Corporationille. Malmin esimurskaus tapahtuu 1 400 metrissä maan alla, josta malmi nostetaan hanketta varten rakennetulla hissillä maanpintaan. Kivikapan kapasiteetti on noin 21,5 t, hissien nopeus malmin nostolla on noin 15 m/s ja nostokapasiteetti 275 t/h. Vuonna 2013 Inmet Mining Corporationin omistus siirtyi osake-enemmistöllä kanadalaisen kaivosyhtiön First Quantum Minerals Ltd:n omistukseen, josta tuli Pyhäsalmen kaivoksen uusi omistaja. (Mining 2013, Oertel 2012, Huuskonen & Karjalainen & Pekkala 2008.)

Pyhäsalmen malmiesiintymän lasketaan kuuluvan vulkaanisiin massiivisiin sulfidimalmeihin. Malmion pituus maanpinnalla on noin 600 metriä. Karkearakeinen, poimuttunut ja metamorfinen malmi jatkuu 1 400 metrin syvyyteen ja sen paksuus on 10–80 metriä. Päämalmimineraalit ovat rikkikiisu eli pyriitti (66 %), sinkkivälke (4 %), kuparikiisu (3 %) ja magneetikiisu (2 %). Yleisimpiä sivukivimineraaleja ovat karbonaatit ja baryytti. (Huuskonen ym. 2008.)

3 PYHÄSALMEN KAIVOKSEN RIKKIRIKASTEET

Rikkirikasteen laadun kannalta oleellisia tekijöitä ovat rikin, sinkin, kuparin, arseenin ja fluorin pitoisuus rikasteessa. Lisäksi tärkeimpiä laatutekijöitä ovat rikasteen kosteus ja magneettikiisun (FeS) pitoisuus. Magneettikiisun osalta on määritetty tarkat pitoisuusrajat. SR1–rikasteen FeS-pitoisuuden ylittäessä 7 %:n rajan täytyy rikaste ohjata SR2–rikasteeksi. SR2–rikasteen FeS-pitoisuuden ylittäessä 12 %:n rajan ohjataan rikaste erilliseen kasaan, koska rikaste on myyntikelvotonta ja se täytyy käytännössä rikastaa ja suodattaa uudelleen. Rikasteen hinta määräytyy suurimmaksi osaksi rikkipitoisuuden perusteella. Edellä mainitut haittatekijät voivat asiakkaan mukaan aiheuttaa sakkoa yhtiölle, ja siihen vaikuttaa huomattavan paljon rikasteen kosteus. (Pääskynen 2020.)

Pyhäsalmen kaivoksella tuotetaan pyriittirikastetta, joka jaetaan kahteen rikasteeseen SR1 ja SR2. Rikasteet erotellaan toisistaan niin sanotulla jakovaahdotuksella, jossa saadaan kaksi hie- man erilaatuista pyriittirikastetta. Jakovaahdotuksen ylitteenä saadaan SR1 ja alitteena SR2. Vaahdotusmenetelmä ei mahdollista täysin tasalaatuisia rikasteita, eli rikasteen pitoisuus ja rae- koko vaihtelevat pienissä määrin. SR1–rikasteen rikkipitoisuus on 52 % ja SR2–rikasteen 51 %. (Pääskynen 2020.)

Suurin ero rikasteiden välillä on niiden kosteus. SR1–rikasteen kosteusvaatimus on 6,4 % ja keskimäärin kosteus on 6,5 %. SR2–rikasteen kosteusvaatimus on 7,5–8,5 % ja keskimäärin kosteus on 8,0 %. Ulkomaille kuljetettavan SR1–rikasteen kosteusvaatimus on tiukempi, koska rikasteen kuljetus tapahtuu meriteitse. SR2–rikaste kuljetetaan rautateitse Yaran Siilinjärven tehtaalle rikkihapon valmistuksen raaka-aineeksi. Pyriittirikastetta tuotetaan nykyisin noin 35–40 kt kuukaudessa ja SR1/SR2 rikasteiden suhde vaihtelee varasto- ja toimintatilanteen mu- kaan. (Pääskynen 2020; Koffert 2020.)

4 TYÖN TAVOITTEET JA LÄHTÖKOHDAT

Pyhäsalmen kaivoksen tuotannon painopisteen siirtyessä pyriittirikasteen tuottamiseen aloitettiin rikastamalla pyriitin saannon nostamiseksi projekti. Projektin yksi osa on suodatuksen tehostaminen optimoimalla Ceramic-suotimien kapasiteetti ja kakun kosteus. Suodatuksen tehostamista tutkittiin suodatusparametrien muutoksen avulla. Työn tavoitteena oli löytää optimaalisimmat parametrit, joilla saavutetaan korkein mahdollinen kapasiteetti tuotteen laatumääräysten mukaisen kosteuden rajoissa. Tutkimus tehtiin pyriitin suodatuspiirin CC6SK-suodatimella. Koeajo suoritettiin tammikuussa 2020.

Tämän työn työpaikkaohjaajana toimii DI Hannu Pääskynen. Työn kokeellisen osuuden valmistelussa ja toteutuksessa apuna toimivat rikastamon ja tehdaspalvelun linjaorganisaatiot. Lisäksi teknisenä tukena on Outotec Oy:ltä Kari Vänttinen.

Koeajon aikana huomioon otettavia riskitekijöitä ovat rikasteen ajoittainen kosteuden nousu, kun etsitään optimaalisia suodatusparametreja. Kosteudelle on määritelty laatujärjestelmässä raja-arvot, joiden ylittäminen aiheuttaa yritykselle taloudellisia tappioita. Lisäksi on huomioitava, että tutkimustuloksia voivat vääristää koeajosta riippumattomat prosessihäiriöt.

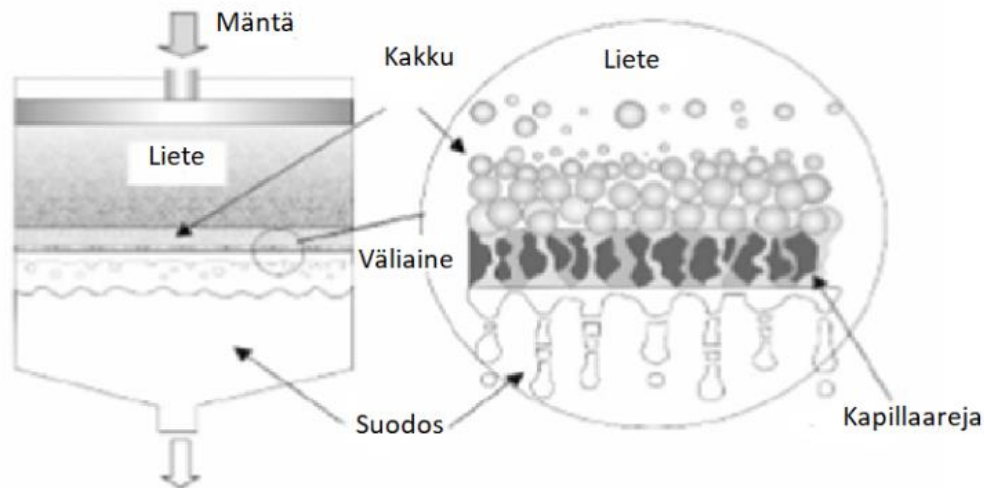
5 SUODATUKSEN TEORIAA

Suodatus on yksi yleisimmin käytetty ja laajasti tutkittu erotusmenetelmä. Sitä käytetään monilla eri aloilla. Teollisuuden suodatukset vaihtelevat yksinkertaisista suodattimista erittäin monimutkaisiin nesteiden ja kiintoaineiden erotuslaitteistoihin. Suodatintyyppiä on kehitelty useita, koska suodatettavia materiaaleja on paljon ja prosessiolosuhteet erilaisia. Kakkusuodatuksen teoreettinen analysointi alkoi Ruthin, Montillonin ja Montonnan toimesta 1930-luvulla, miltä pohjalta on luotu hyväksyty standardi suodatusteollisuuteen. Siitä lähtien monet tutkijat ovat tutkineet suodatuksen liittyviä ongelmia eri näkökulmista, tuloksena siitä on saatu laaja kokonaisuus eri suodatinmalleja, jotka tukevat suodatuksen teoriaa. (Ruth & Montillon & Montonna.1933; Ruth 1935; Walker & Svarovsky 1994.)

Kaivannaisteollisuudessa jauhatus- ja luokitteluprosessiin sisältyy suurten vesimäärien käyttö. Suurin osa vedestä on poistettava kiintoaineesta sen jatkokäsittelyä varten. Kiintoaineiden erottaminen nesteistä aloitetaan yleensä sakeutuksella. Hienoille hiukkasille tämä on hidas prosessi. Yleensä 75–80 % vedestä voidaan erottaa ja poistaa sakeuttamalla. Sakeutusprosessi voi olla panos- tai jatkuvatoiminen. Veden lisäpoistoon käytetään suodattimia, joilla voidaan poistaa yli 90 % vedestä. Myös suodatusoperaatio voi olla panos- tai jatkuvatoiminen. (Gupta & Yan 2006.)

Suodatus on menetelmä, jonka avulla nesteistä tai kaasuista erotetaan niihin sekoittuneet kiinteät osat. Suodatuksen tärkeimpänä tavoitteena on joko nesteiden tai kaasujen puhdistus, kiintoaineiden talteenotto tai molemmat. Menetelmää kutsutaan kirkastamiseksi, jos syötteessä kiinteitä osia on vähän ja tarkoituksena on saada mahdollisimman puhdas suodos. Suodattamisesta puhutaan silloin, kun kiinteitä aineita on paljon. Suodatustapahtumaan vaikuttava tekijä on suodatuksessa käytettävä paine-ero suodatusväliaineen yli. Lisäksi siihen vaikuttavat muodostuvan kakun paksuus, syötteen viskositeetti ja lämpötila, syötteen kiintoainepitoisuus, kiintoainahiukkasten koko sekä suodosväliaine. (Pihkala 2011.)

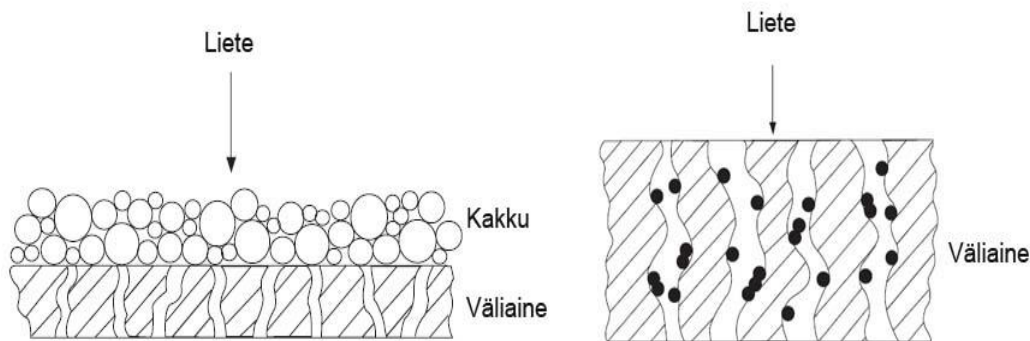
Suodatuksessa käytettävän suodosväliaineen pinnalle muodostuu kiinteiden osasten muodostama kiintoainekerros eli kakku (KUVA 2). Muodostunut kakku toimii myös suodatusväliaineena. Kakun pinnalle kerrostuu jatkuvasti kiintoainetta, jolloin kakun paksuus kasvaa. Suodatuskerrosten läpi kulkeutuvaa kirkasta fluidia kutsutaan suodokseksi. (Pihkala 2011.)



KUVA 2. Suodatusväliaineen toiminta (mukaiillen Gupta ym. 2006)

Yksi suodattimen pääkomponenteista on puoliläpäisevä väliaine, joka päästää nesteen läpi ja estää kiinteiden aineiden tunkeutumisen. Väliaine koostuu suuresta määrästä kapillaareja, jotka muodostuvat mutkikkaista kanavista, joista suurin osa on jatkuvia. Suodattavat väliaineet voidaan jakaa kahteen eri perustyyppiin, ohutkerroksisiin ja paksukerroksisiin väliaineisiin. Käytettäessä ohutkerroksista väliainetta puhutaan silloin myös pintasuodatuksesta. Ohutkerroksisia väliaineita ovat suodatinkankaat, suodatinverkot, viirat ja suodatinpaperit. (Pihkala 2011; Gupta ym. 2006.)

Pintasuodatusmenetelmää käytetään silloin, kun syötteen kiintoainepitoisuus on korkea (yli 1 %). Pintasuodatuksessa kakku muodostuu väliaineen pinnalle ja väliaineen läpi suodokseen pääsevät vain väliaineen aukkoja pienemmät partikkelit. Syötteen kiintoainepitoisuuden ollessa alhainen käytetään syväsuodatusmenetelmää (alle 1 %). Syväsuodatusmenetelmässä väliaineessa on raekokoon verrattavia huokosia ja erottumien tapahtuu väliaineen sisällä. Edellä mainittua menetelmää käytetään esimerkiksi jäähdytysvesien käsittelyssä sekä juomien ja nestemäisten polttoaineiden puhdistuksessa. Kuvassa 3 on esitetty pinta- ja syväsuodatusmenetelmät. (Oulun yliopisto 2014.)



KUVA 3. Pinta- ja syväsuodatus menetelmät (mukaiillen Svarovsky 2000)

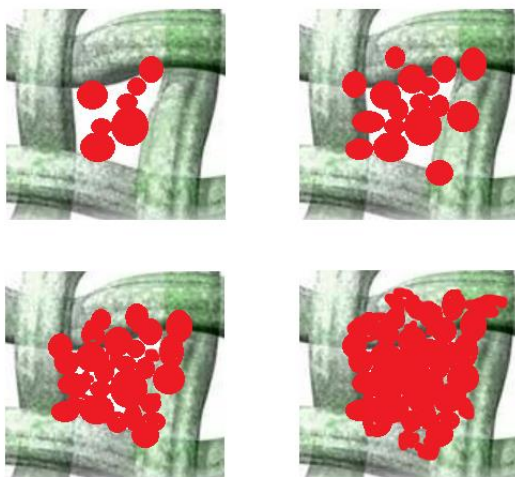
5.1 Kakkusuodatuksen tärkeys

Suodatus on todennäköisesti yksi kemiantekniikan vanhimmista osa-alueista. Se on kiinteiden hiukkasten poistamista nesteestä käyttäen apuna suodatusväliainetta, jonka pinnalle kiinteä aine kasaantuu ja neste kulkee sen läpi. Teollisessa prosessissa suodatustapahtuma vaihtelee yksinkertaisesta nesteen ja kiintoaineen erotuksesta aina monimutkaisien kaasujen ja kiintoaineiden erotteluun. Eroteltava komponentti voi olla neste tai kaasu, lisäksi arvokas virta suodattimesta voi olla neste tai kiinteä aine tai molemmat. Suodatintyyppjä on kehitetty useita erilaisia, koska suodatettavia materiaaleja on paljon ja prosessiolosuhteet ovat erilaisia. (McCabe & Smith & Harriott 1993; Shirato & Murase & Iritani & Tiller & Alciatore 1987.)

Suodatus on tärkeä prosessi, jonka juuret ulottuvat kauas antiikin aikaan. Vuosittain suodattamalla käsitellään erilaisissa prosesseissa miljoonia tonneja mineraaleja, kemikaaleja ja nestemäisiä jätteitä. Erityyppiset suodattimet suojaavat ympäristöä autojen ja teollisuuden pakokaasujen jätteiltä. Lisäksi pienet ja luotettavat suodattimet takaavat kehittyneiden navigointi- ja avaruuteen suuntautuneiden laitteiden suorituskyvyn. Toiset taas puhdistavat ilmasta bakteereja tai poistavat kiinteän aineen jäämiä kaasu- ja nestevirroista. Suodatusta käytetään myös monilla muilla aloilla, kuten lääketeollisuudessa, öljynjalostuksessa, puolijohdeteollisuudessa, sokeri-, olut- ja paperiteollisuudessa. (Dahlstrom 1987; Matteson & Orr 1987; Treffry-Goatley & Buchan & Renchen & Buckley 1987; Porter & Nelson 1972.)

5.2 Kakkusuodatus

Suodatuksessa partikkelit pyrkivät yhdenaikaisesti kulkeutumaan suodatinväliaineen läpi. Osa pienemmistä partikkeleista pääsee väliaineeseen ja jää kiinni huokosiin muodostaen holvaavan huokosen. Tämän jälkeen muut partikkelit alkavat nopeasti kasaantua suodatinväliaineen huokosten päälle muodostaen kakkua. Holvaantuminen mahdollistaa kakun muodostuksen siten, että myös pienemmät partikkelit jäävät kakkuun mutta neste pääsee kulkeutumaan kakun ja väliaineen läpi. Holvaantumisen edellytyksenä on syötettävän lietteen riittävän suuri kiintoainemäärä. Syötön partikkelikoko tulisi olla suurimmaksi osaksi suodatusväliaineen huokoskoko pienempää. Huokoskoko suurempien tai yhtä suurien partikkeleiden sisältävän syöttölietteen suodatus johtaa huokosten tukkiutumiseen, jolloin nesteen läpäisevyys heikkenee huomattavasti. (Ni 2001.) Kuvassa 4 on esitetty kakun muodostumista.

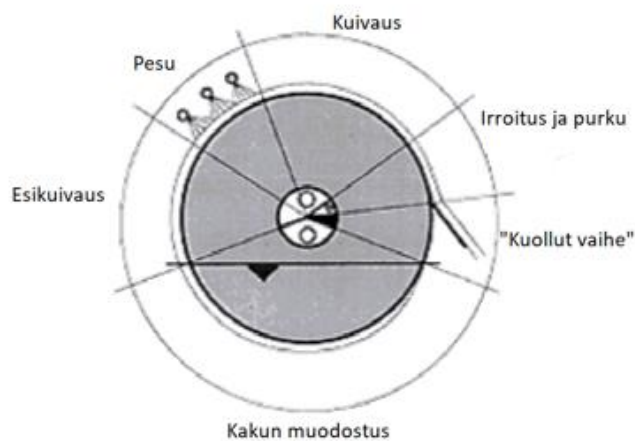


KUVA 4. Kakun muodostuminen (Mukaihen Lu & Tung & Hwang 1997)

5.3 Jatkuvatöimiset vakuumsuodattimet

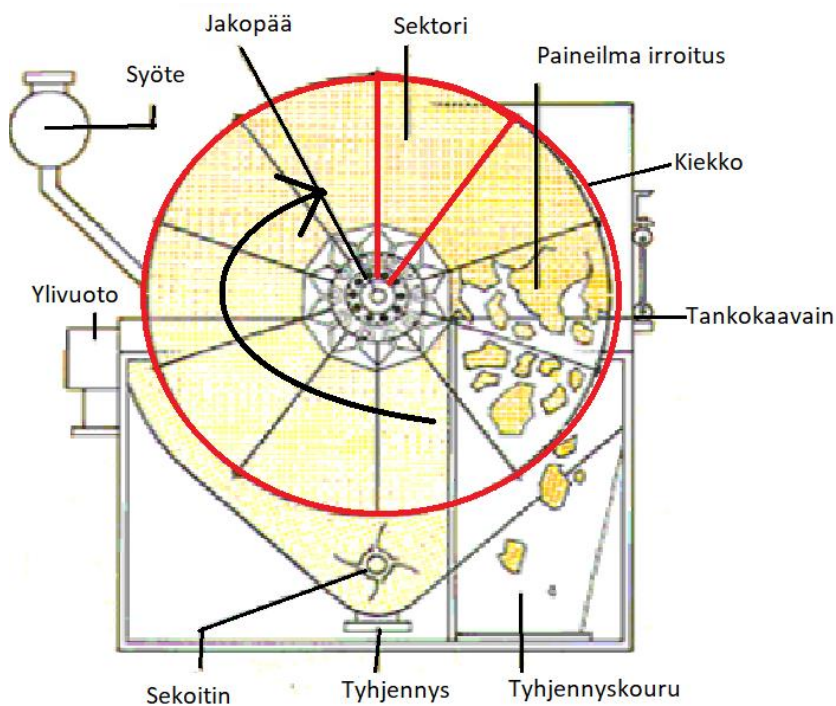
Jatkuvatöimiset vakuumsuodattimet on suunniteltu suurien lietemäärien käsittelyyn. Niitä käytetään laajalti mineraalien rikastuksessa sekä elintarvike- ja kemianteollisuudessa. Näiden suodattimien merkittävin etu on niiden jatkuvatöimisyys. Lisäksi niiden kiintoaineen talteenotto-kyky on hyvä ja kakun pesu on helppo toteuttaa vastavirtapesulla. Jatkuvatöimisessä suodatuksessa suodatusprosessia ei tarvitse pysäyttää muodostuneen kakun purkamiseen, kuten panostoimisessa suodatuksessa. Jatkuvatöimisiä suodattimia ovat esimerkiksi rumpusuodatin, kiekkosuodatin, nauhasuodatin ja keraaminen kiekkosuodatin. (Rahikka 2019; Kaiva 2014.)

Kuvassa 5 on esitetty rumpusuodattimen rakennetta. Rummun vaippa muodostuu vakuumikennnoista, jotka on päällystetty suodinkankaalla. Vakuumikennnot on yhdistetty jakoventtiiliin. Rummun altaassa on sekoitin, joka pitää lietteen tasalaatuisena. Rumpu pyörii akselinsa ympäri tasaisella nopeudella. Rummun pyörimisnopeutta muuttamalla voidaan säädellä kakun paksuutta. Kun rummun vaippa menee lietepinnan alapuolelle alkaa kakunmuodostusvaihe. Vaipan noustessa lietepinnan yläpuolelle alkaa esikuivausvaihe, jota seuraa pesu- ja kuivausvaihe. Rummun pyörimisnopeus on suoraan verrannollinen kakun pesu- ja kuivausaikoihin. Kakku irrotetaan vaipasta käyttäen jotain seuraavista vaihtoehdoista: kaavain, nauha, tela, ilma tai metallitanko. Poistotapa määräytyy kakun irtoamisominaisuuksien mukaan. Esimerkiksi kaavain sopii helposti irtoaville kakuille. (Rahikka 2019; Halberthal 2019.)



KUVA 5. Rumpusuodattimen toimintaperiaate ja rakenne (Mukaiillen Halberthal 2019)

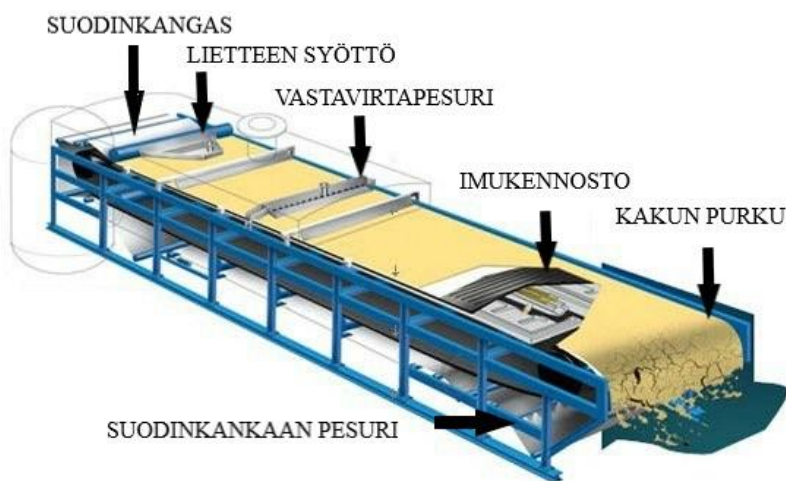
Toimintaperiaatteeltaan kiekkosuodin on samanlainen kuin rumpusuodatin. Rumpusuodattimessa suodinkangas on suoraan rummun kehällä, kun kiekkosuodattimessa se on kiekkoilla. Rumpusuodattimeen verrattuna kiekkosuodattimessa on suurempi suodatuspinta-ala. Kiekkosuodattimessa voi olla 1–15 kiekkoa. Kiekot koostuvat sektoreista, jotka on kiinnitetty yhteen levyn muodostamiseksi. Yhdessä kiekossa on useita sektorilaattoja, jotka on päällystetty suodatinkankaalla. Tälle kankaalle muodostuu kiintoaine eli kakku. Kakun muodostus alkaa, kun sektori on uppoutuneena lietteeseen. Kun sektori nousee pois lietteestä, käynnistyy kuivausvaihe, joka kestää purkuvaiheeseen asti. Kiekkosuodatuksessa ei ole pesuvaihetta. Kakku irrotetaan kaavaamalla metallitangolla tai esimerkiksi paksulla kuminauhalla, kuten Pyhäsalmen kaivoksella. Kakun irrotuksessa käytetään myös apuna paineilmaa. Ilmaa puhalletaan kankaan taakse, jolloin kakku irtoaa sektorista ja putoaa kiekkojen välisistä purkukaukaloista hihnakuljettimelle. Altaassa on sekoittaja, jonka tehtävänä on pitää liete mahdollisimman tasalaatuisena. (Rahikka 2019; Halberthal 2019, Kaiva 2014.) Kuvassa 6 on esitelty kiekkosuodattimen rakenne ja toimintaperiaate.



KUVA 6. Kiekkosuodattimen rakenne/ toimintaperiaate (Mukaiillen Rahikka 2019)

Vaakatasossa toimivia nauhasuodattimia käytetään laajasti teollisuudessa. Nauhasuodattimen käytettävyys johtuu sen toiminnan joustavuudesta ja soveltuvuudesta syövyttäviin lietteisiin ja hyvin suurien lietemäärien käsittelyyn. Nauhasuodatin on rumpu- ja kiekkosuodinta parempi vaihtoehto, kun kiintoaine halutaan saada mahdollisimman kuivaksi. Tämä johtuu sen joustavammasta kuivausajasta. Nauhasuodattimessa kuivausaikaa voidaan pidentää pidentämällä koneistoa. Nauhasuodatin on jatkuvatoiminen ja toimintaperiaate on yksinkertainen. Suodatin-nauha on yleensä kudottua polymeeriä ja se on asetettu vaakasuoraan imukennoston tai uritetun kumihihnan päälle. Kennostoja on erityyppisiä, esimerkiksi edestakaisin kulkeva imualusta, joka kulkee kakun mukana lietteen syötöstä aina kakun poistoon asti. Toisen tyyppinen nauhasuodin on esimerkiksi suodin, jossa on koko laitteiston mittainen imualusta, jonka päällä suodatusnauha pyörii. (Kaiva 2014; Rahikka 2019; Sparks & Chase 2016.)

Liete syötetään tasaisesti nauhan alkupäähän. Suodatus alkaa välittömästi ja jatkuu kakun irrotukseen asti. Nauhasuodattimessa hyödynnetään tarpeen vaatiessa kakun pesua tehokkaalla vastavirtapesulla, joka mahdollistaa vähäisen veden käytön. Kakku on myös mahdollista ilma-kuivata ja puristaa, jotta saadaan tuotettua kuivempaa kiintoainetta. Suodattimen loppupäässä kakku irrotetaan nauhalta kaavaimella tai jyrkällä käänöllä, jolloin kakku irtoaa painovoimaisesti. Kakun kaavaamisen jälkeen nauha kiertää laitteiston alle, jossa nauha pestään. (Kaiva 2014; Rahikka 2019; Sparks & Chase 2016.) Kuvassa 7 on esitetty nauhasuodattimen toimintaperiaate ja rakenne.



KUVA 7. Nauhasuodattimen rakenne (mukaillen Westech 2020)

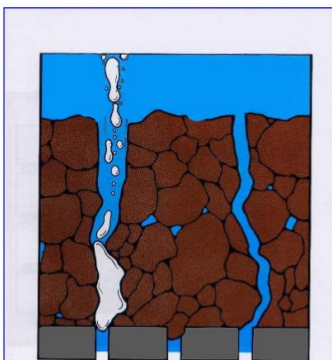
5.4 Outotec Larox Ceramic keraaminen suodatin

Suodattimen toiminta perustuu kapillaari-ilmiöön ja imukoneella luotuun paine-eroon. Keraamisten laattojen mikrohuokoinen rakenne sallii ainoastaan nesteen virtauksen suodatinväliaineen läpi, joka on voimakkaasti hydrofiilinen (veteen liukeneva). Kapillaarivaikutus luo mikrohuokoisessa materiaalissa korkean imun ilman suuria ja paljon energiaa kuluttavia imukoneita. Lisäksi keraamisten laattojen rakenne varmistaa erittäin kirkkaan suodoksen. Paine-eron vaikutuksesta suodos imeytyy keraamisen laatan läpi laatan ollessa lietepinnan alapuolella, jolloin kakku muodostuu laatan pinnalle. Kuvassa 8 on esitelty Outotecin keraaminen suodatin, jonka teoreettinen suorituskapasiteetti voi olla jopa 250 t/h. (Vänttinen 2019.)



KUVA 8. Outotec Larox Ceramic keraaminen suodatin (mukaiillen Vänttinen 2019)

Kapillaari-ilmiössä vesi virtaa helposti suodatinväliaineen läpi. Kapillaarivaikutus estää kaasun virtauksen heti kun vesi on kulkeutunut suodatinväliaineen läpi (KUVA 9). On tärkeää ymmärtää, että kapillaarivaikutusten ainoa tehtävä on estää kaasun virtaus märän suodatinaineen läpi. Kapillaarivaikutus ei osallistu itse vedenpoistoon esimerkiksi imemällä vettä lietteestä. Vedenpoiston tehostamiseen käytetään pienen kapasiteetin imukoneistoa, jotta lopputuote pystytään kuivaamaan haluttuun kosteuteen. (Vänttinen 2019.)



KUVA 9. Kapillaari- ilmiö periaate suodatuksessa (mukaiillen Vänttinen 2019)

5.4.1 Suodatusyhtälöt

Darcin laki

Suodatuksen alussa suodatuksen vastuksen aiheuttaa väliaine, koska suodatuskakkua ei ole vielä muodostunut. Virtauksen oletetaan olevan laminaarinen väliaineen pienen huokoskoon vuoksi ja suodoksen alhaisen virtausnopeuden vuoksi. Virtaus on esitetty tunnetun Darcin lain mukaan.

$$\frac{dV}{dt} = \frac{B\Delta p A}{\mu l} \quad (1)$$

missä dV/dt on suodosvirtauksen nopeus (m^3/s), B on väliaineen läpäisevyys (m^2), Δp on paineero (Pa), A on suodatuspinta-ala (m^2), μ on suodoksen viskositeetti ($Pa \times s$) ja l on lietetiheys (m)

Yhtälö kirjoitetaan usein myös muotoon:

$$v = \frac{\Delta p A}{\mu R_m} \quad (2)$$

jossa R_m on väliaineen vastus

$$R_m = \left(\frac{1}{B}\right) (m - 1) \quad (3)$$

Suodatuksen toiminta perustuu kokonaispainehäviöön Δp , joka koostuu suodatuskakan ja väliaineen aiheuttamasta painehäviöstä. Jos otetaan huomioon suodatuskakan vastus, saadaan seuraavanlainen yhtälö:

$$V = \frac{\Delta p A}{\mu(R_m + R_C)} \quad (4)$$

jossa R_C on suoduskakan vastus

Suodattimen väliaineen vastuksen oletetaan yleensä olevan vakio. Käytännössä kuitenkin väliaineen pinta tukkeutuu suodatuksen aikana ja vastus kasvaa. Jos tukkeutumislmiö tapahtuu, tällöin väliaineen pintaan muodostuu ohut kalvo ja tätä voidaan pitää suodoskerroksena jo itsessään. Tämän kerroksen vastus voidaan kuvata samalla tavalla kuin suodatuksen väliaineen ja suodatuskakun vastus. Tässä tapauksessa yhtälö kirjoitetaan muotoon:

$$V = \frac{\Delta p A}{\mu(R_m + R_c + R_f)} \quad (5)$$

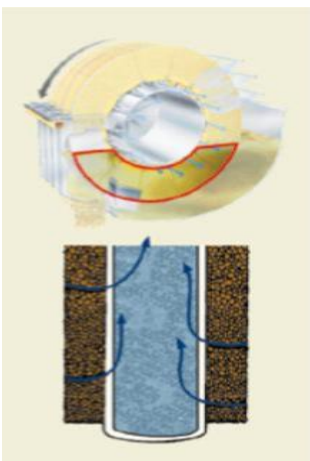
jossa R_f on tukkeutuneen kerroksen vastus

$$s = \frac{V}{At} \quad (6)$$

(Ekberg 1997.)

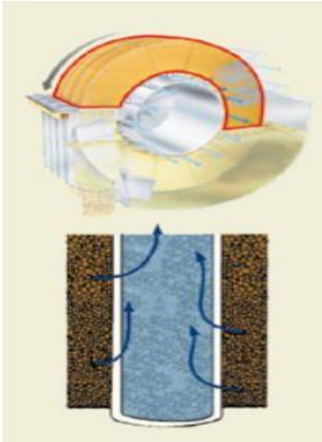
5.4.2 Prosessivaiheet

Rikastekakun muodostuminen tapahtuu suodoslaattojen ollessa lietepinnan alapuolella (KUVA 10). Alipainepumpun avulla aikaansaadun paine-eron ja kapillaari-ilmiön vaikutuksesta neste kulkeutuu laatan suodospinnan lävitse suodosvesiputkistoon. Laatan huokoinen pinta ei päästä kiintoainetta lävitse, jolloin laatan pinnalle muodostuu kiintoaineesta kakku. Suodattunut vesi johdetaan suodosvesisäiliön kautta suodosvesikaivoon. Prosessin ollessa normaalissa tilassa on suodosvesi kirkasta. Muodostunutta suodosvettä käytetään suodattimen käänteispesuvaiheessa laattojen huokosien avaamiseen. (Vänttinen 2019.)



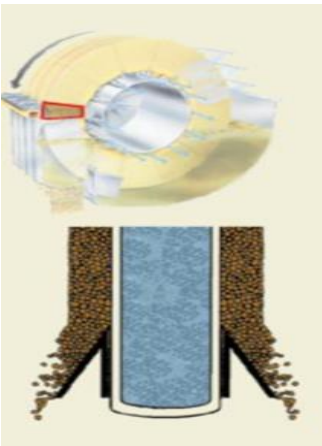
KUVA 10. Kakunmuodostus (mukaiillen Vänttinen 2019)

Suodskakun kuivausvaihe alkaa heti kun laatta nousee lietteestä (KUVA 11). Kuivausvaihe jatkuu keskeytyttä, kunnes kakusta on poistunut kaikki vapaa neste.



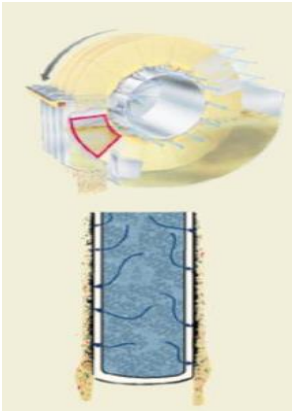
KUVA 11. Suodskakun kuivaus (mukaillen Vääntinen 2019)

Kakun irrotusvaiheessa keraamiset kaavaimet leikkaavat kakun irti laatasta (KUVA 12). Kaavaimet eivät saa koskettaa laatan pintaa, vaan ne jättävät laattaan noin 1 mm paksuisen kerroksen kiintoainetta. Irrotettu kakku putoaa suppilon alla kulkevalle kuljetinhihnalle, joka kuljettaa rikasteen varastoon. (Vääntinen 2019.)



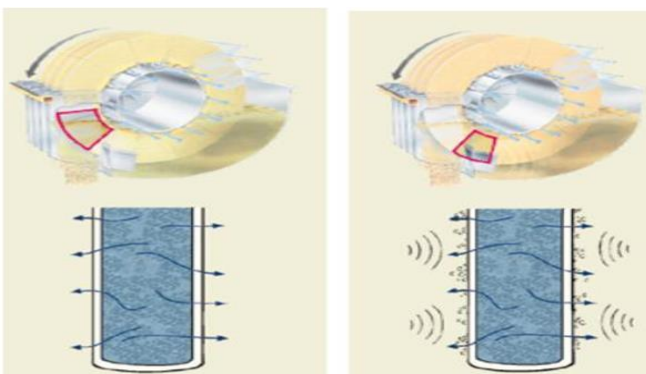
KUVA 12. Kakun irrotus (mukaillen Vääntinen 2019)

Kakun irrotuksen jälkeen laatta huuhdellaan käänteispesuvaiheessa (KUVA 13). Käänteispesuvaiheessa käytetään kakunmuodostus- ja kuivausvaiheessa syntynyttä suodosta hyväksi. Suodos johdetaan ylipaineella laatan sisään, jolloin laatan pintaan ja huokosiin jääneet kiintoainepartikkelit irtoavat. Laatta säilyttää kapasiteettinsa pidempään käänteispesun ansiosta. (Vänttinen 2019.)



KUVA 13. Käänteispesu (mukaillen Vänttinen 2019)

Pelkkä käänteispesu ei kuitenkaan takaa kapasiteetin ylläpitoa loputtomiin ja tästä syystä suodattimen laatat täytyy regeneroida säännöllisesti. Laattojen regenerointi suoritetaan pesulla (KUVA 14). Suodattimen käyntijakson pituus on valittavissa 6–12 tunnin väliltä ja se kestää yleensä 40–60 minuuttia. Pesuliuksena käytetään laimeaa rikki- tai typpihappoa, jonka konsentraation tulisi olla noin 1 %. (Vänttinen 2019.)



KUVA 14. Hap- ja ultraäänipesu (mukaillen Vänttinen 2019)

Pesun tehostamiseksi käytetään lisäksi ultraääntä, joka irrottaa laatan pinnalle pinttyneen kiintoainekerroksen. Ultraääneksi kutsutaan ääntä, joka ylittää 20 kHz:n taajuuden. Ultraäänen tehokkuus perustuu ääniaallon aiheuttamaan värähtelyyn, joka syntyy ääntä johtavassa väliaineessa. Tämä jatkuva värähtely yhdessä pesuhapon kanssa saa laatan pinnalle pinttyneen kerroksen irtoamaan. Outotecin keraamisen suodattimen ultraäänen nimellinen toimintataajuus on 20–40 kHz. (Vänttinen 2019; Variclean 2020.)

5.4.3 Suodattimen parametrit

Jotta suodatus toimisi mahdollisimman tehokkaasti, täytyy laitteiston olla kunnossa, mutta myös suodatuksen parametrien pitää olla optimoitu suodatettavalle aineelle mahdollisimman tarkasti. Suodatuksen kannalta yleisesti tärkeimmät parametrit ovat rummun pyörimisnopeus, sekoittajan nopeus, lietepinnan korkeus, lietteen tiheys ja käyntijakson pituus. (Vänttinen 2019.)

Suodatusaika on oleellinen silloin, kun lopputuotteelle on määritelty jokin tietty kosteusvaatimus. Suodatusaikaa pystytään pidentämään tai lyhentämään muuttamalla pinnan asetusta ja rummun pyörimisnopeutta. Suodatusaika on suoraan verrannollinen pinnan korkeuteen ja rummun pyörimisnopeuteen. Mitä hitaammin rumpu pyörii, sitä pidempi on suodatusaika, ja mitä matalampi pinnan asetus on, sitä pidempi kuivausaika. (Vänttinen 2019.)

Tämän lisäksi rummun pyörimisnopeuden muutoksella pystytään vaikuttamaan suodattimen kapasiteettiin. Kun rumpu pyörii hitaimmalla nopeudella, on laatta kauemman aikaa lietteessä, jolloin sillä on myös kauemman aikaa kerätä kiintoainetta. Hitaimmalla nopeudella suodin tuottaa paksumpaa kakkua ja kapasiteetti nousee, mutta vastaavasti kakun kosteuspitoisuuskin nousee. Kun rumpu pyörii nopeimmalla asetuksella, on laatan viipymäaika lietteessä lyhyt, eikä kakkua kerkeä muodostua paljon. Tällöin myös kakun kosteuspitoisuus on selvästi pienempi, vaikka suodatusaika on lyhyt. (Vänttinen 2019.)

6 KERAAMISET SUODATTIMET PYHÄSALMEN KAIVOKSELLA

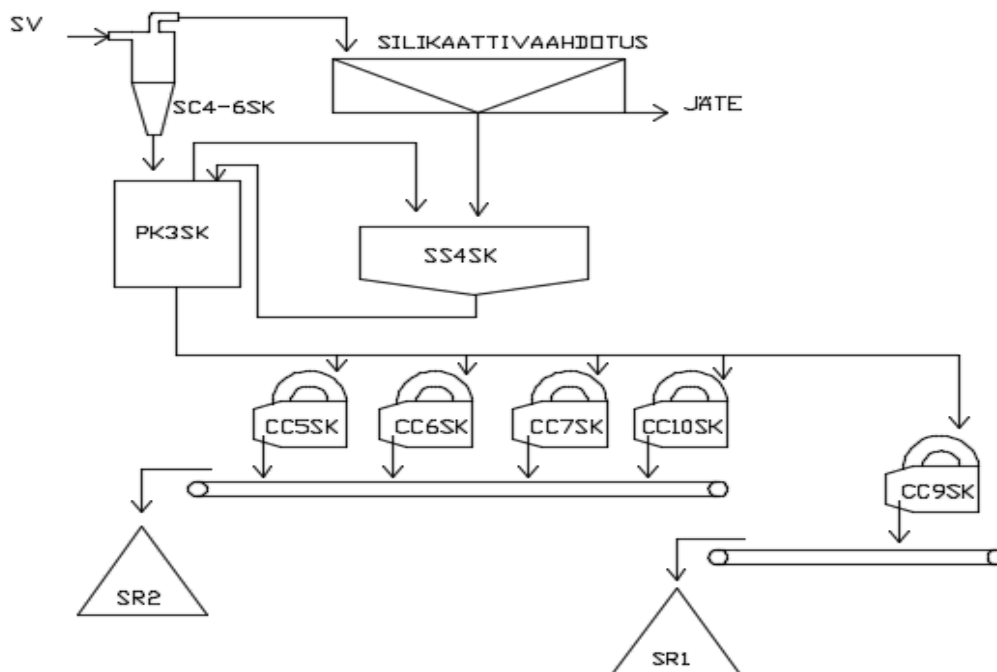
Pyhäsalmen kaivoksen tuottaman SR2-pyriittirikasteen suodatus on toteutettu kokonaisuudessaan Outotec Larox CC keraamisilla suodattimilla. Rikasteen suodatuksessa käytetään kolmea CC-30 ja kahta CC-45 mallin suodatinta. CC-30 ja CC-45 suodattimet ovat rakenteeltaan samanlaisia, mutta niiden suodatuspinta-ala on eri. CC-30 suodattimen suodatuspinta-ala on 30 m². Pinta-ala muodostuu kymmenestä kehästä ja jokaisella kehällä on kaksitoista keraamista laattaa. CC-45 suodattimessa suodatuspinta-ala on 45 m², joka muodostuu viidestätoista kehästä, jokaisella kehällä on kaksitoista keraamista laattaa. Yhteensä suodatuspinta-alaa SR2-pyriittirikasteen suodatuspiirissä on 180 m². (Huuskonen ym. 2008.)

SR2-pyriittirikasteen keskimääräinen tuotanto on 67 t/h, kun käytössä on yksi painesuodin ja keraamiset suotimet. Suodatuspinta-alasta on tällöin käytössä 105 m². Keskimääräinen tuotanto pinta-alaa kohden on 638 kg/m²/h. SR2-pyriittirikasteen tuotanto voi vaihdella välillä 0–120 t/h. Laskennallisesti maksimaalinen tuotanto koko pinta-alalla on 134 t/h. SR2-suodatuspiirin maksimaalista tuottoa rajoittaa kuljetinhihnojen kapasiteetti, joka on 120 t/h. (Huuskonen ym. 2008.)

Pyriittirikasteen tuotantoa voidaan suodattaa myös kahdella painesuotimella, jolloin SR2-pyriittirikasteen tuotanto on keskimäärin 12 t/h. Tässä ajomallissa CC9SK-suotimen tuottama rikaste ohjataan SR1-pyriittirikasteen sekaan. CC9SK:n keskimääräinen tuotanto on 30 t/h. Tällä tuotantomäärällä SR1-pyriittirikasteen magneettikiisupitoisuus (FeS) pysyy laatuvaatimusten mukaisina. (Pääskynen 2020.)

6.1 Suodatuksen lietevirrat

Suodatuspiirin syöte tulee pyriittivaahdotuksen jakovaahdotuksesta, josta erotellaan SR1- ja SR2-rikasteet. Syöte pumpataan lietepumpulla syklonipatteristolle (SC4–6SK) ja rikaste syklonoidaan alitteeksi ja ylitteeksi. Syklonien alite johdetaan pumppukaivolle (PK3SK) yhdessä sakeutetun ylitteen kanssa, josta se pumpataan lietepumpulla keraamisille suodattimille. Pumpaus on jatkuvatoiminen, joka kiertää lopulta takaisin pumppukaivolle PK3SK. Jokaisella suodattimella on edellä mainitun pumpun paineputkessa oma t–haara ja syöttöventtiili, jota ohjaa suodattimen altaan lietevirta. Kun lietevirta tavoittaa määritetyn alarajan, syöttöventtiili aukeaa. Kun lietevirta tavoittaa määritetyn ylärajan, venttiili sulkeutuu. Syklonien ylite johdetaan silikaatin vaahdotuspiiriin, jossa lietteestä poistetaan silikaatteja. Ylite johdetaan sakeutussammioon (SS4SK), jonka alite pumpataan suodattimien syöttökaivolle (PK3SK). Silikaatin vaahdotuspiiriin alite ohjataan tilanteen mukaan joko jätteelle tai kaivostäytteeksi. Kuvassa 15 on esitetty pyriittirikasteen SR2 vedenpoiston prosessikaavio. (Huuskonen ym. 2008; Pääskynen 2020.)



KUVA 15. Pyriittirikasteen SR2 vedenpoiston prosessikaavio (mukaan Huuskonen ym. 2008.)

Syöttökaivossa (PK3SK) on lietetiheysmittari, jonka avulla suodatuspiirin lietetiheyttä voidaan seurata. Suodattimien syötteen lietetiheydelle on määritetty alaraja (1,85 kg/l) ja yläraja (2,10 kg/l). Syötteen lietetiheyttä hallitaan ensisijaisesti säätämällä rikinvaahdotuksen SR1–rikasteen virtausasetusta. Tällä säädöllä on kuitenkin hidaskäyttö vaikutus PK3SK:n lietetiheyteen, sitä käytetäänkin ennakoivassa säätämisessä. Lietetiheyden nopeampaan hallintaan käytetään suodattimien tauottamista. (Huuskonen ym. 2008; Pääskynen 2020.)

6.2 Suodattimen pesu

Ceramic-suodattimilta tuleva suodosvesi johdetaan SWP–kaivon kautta käänteispesuvesisäiliöön. Käänteispesuvesin paine tuotetaan 10 m korkeuseron avulla Ceramic-suodattimiin nähden. (Huuskonen ym. 2008.)

Suodattimen pesu Pyhäjärven kaivoksella tapahtuu 8 tunnin välein ja pesuliuksena käytetään laimeaa rikkihappoa. Väkevä rikkihappo (95 %) laimennetaan ennen suodattimelle pumppaamista. Happo annostellaan mittausäiliöön, josta se johdetaan sekoitussäiliöön yhdessä veden kanssa. Sekoitussäiliöstä valmis 2,5 prosenttinen liuos johdetaan edelleen annostelusäiliöön. Annostelusäiliöstä pesuhappo pumpataan suodattimille annostelupumpulla. Kuvassa 16 on esitelty pesuhapon sekoituslaitteisto. (Huuskonen ym. 2008.)



KUVA 16. Pesuhapon sekoituslaitteisto.

7 TYÖN KOKEELLINEN OSUUS

Koeajot suoritettiin pyriittirikasteen suodatuspiirin keraamisella suotimella CC6SK. Koeajot alkoivat suodatuspiirin valmistelulla koeajoa varten. Syöttökaivon PK3SK–lietetiheysmittari kalibroitiin ja kunnossapito asensi suodattimelle suodosveden ja käänteispesuveden virtausmittarit. Koeajon suorittamisen ajan PK3SK:n lietetiheys pidettiin arvossa 2,0 kg/l.

Koeajot kestivät 17 vuorokautta, jonka aikana tutkittiin neljän eri parametrin vaikutusta suodattimen kapasiteettiin. Koeajoissa tutkittiin rummun pyörimisnopeuden, sekoittajan nopeuden, lietepinnan korkeuden ja käyntijakson pituuden vaikutusta suodattimen kapasiteettiin. Rummun pyörimisnopeuden, sekoittajan nopeuden ja lietepinnan tutkimukset kestivät kukin 5 vuorokautta. Ennen koeajoa mittasimme rummunpyörimisnopeudet, jotka on esitetty taulukossa 1. Käyntijakson pituuden tutkimukset kestivät kaksi vuorokautta. Liitteessä 1 on esitetty näytteenotto-ohje, johon täytettiin mittaustulokset.

TAULUKKO 1. rummun pyörimisnopeudet

Rummun pyörimisnopeudet	
%	r/min
50	0.63
60	0.77
70	0.91
80	1.03
90	1.15

Koeajon aikana näytteet otettiin aina samoilta laatoilta, jotka merkittiin selvästi ennen koeajon aloitusta (KUVA 17). Suodattimelta merkittiin kaksi koelaattaa kehiltä 2 ja 9, sekä kaksi uutta referenssilaattaa samalta riviltä kehiltä 3 ja 8. Laatoilta mitattiin kakun paksuutta ja rikasteen kosteutta. Rikastekakun paksuus mitattiin työntömitalla laatan keskeltä ja kosteus määritettiin Sartorius MA150C kosteuspiitoisuusvaa’alla. Näytteet otettiin yksi tunti ennen ja jälkeen suodattimen pesua. Näytteenotto suoritettiin erillisen näytteenotto-ohjeen mukaan (LIITE 2).



KUVA 17. Koeajolaattojen merkinnät CC6SK-suodattimen kehillä 2 ja 3

7.1 Suodatusparametrien optimointi

Koeajossa tutkittiin neljän eri parametrin vaikutusta suotimen kapasiteettiin ja kakun kosteuteen. Tutkittavia parametreja olivat rummun pyörimisnopeus, sekoittajan nopeus, lietepinnan korkeus ja käyntijakson pituus.

7.2 Lietetiheys

Koeajon aikana syötteen lietetiheys pidettiin arvossa 2,0 kg/l PK3SK-kaivon lietetiheysmittauksen avulla. Lietetiheyteen vaikutettiin pyriittivaahdotuksen jakovaahdotuksella. Jakovaahdotuksen SR1:n virtausasetuksen arvoa muuttamalla prosessiautomaattikka lähtee säätämään jakovaahdotuskennon peräventtiilin asentoa, jotta asetettu virtausarvo toteutuu. Lisäksi lietetiheyteen vaikutettiin tauottamalla suodattimia.

Ennen koeajon aloitusta kalibroitiin lietetiheysmittari. PK3SK-kaivo täytettiin vedellä, jolloin saatiin asetettua lietetiheysmittarille nolla-kohta. Kalibrointinäytteet otettiin LP22SK-pumpun paineputken näytteenottimella 1 m³ konttiin, joka punnittiin (KUVA 18). Ensimmäisen kalibrointinäytteen lietetiheys oli 1,75 kg/l ja lietetiheysmittarin lukema näytteenottohetkellä oli 2,10 kg/l. Lietetiheysmittarille tehtiin 0,36 kg/l tasokorjaus. Tasokorjauksen jälkeen otettiin uusi kalibrointinäyte. Uuden kalibrointinäytteen lietetiheys oli 1,87 kg/l ja lietetiheysmittarin lukema näytteenottohetkellä oli 1,94 kg/l. Tasokorjauksella päästiin riittävään tarkkuuteen lietetiheydessä. Koeajon aikana otettiin yksi tarkistusmittaus lietetiheydestä. Lietetiheys oli tässä mitauksessa 1,93 kg/l ja tiheysmittarin lukema näytteenottohetkellä oli 1,94 kg/l.



KUVA 18. SR2-kalibrointinäytteen näytteenotin

7.3 Rummun pyörimisnopeuden muutos

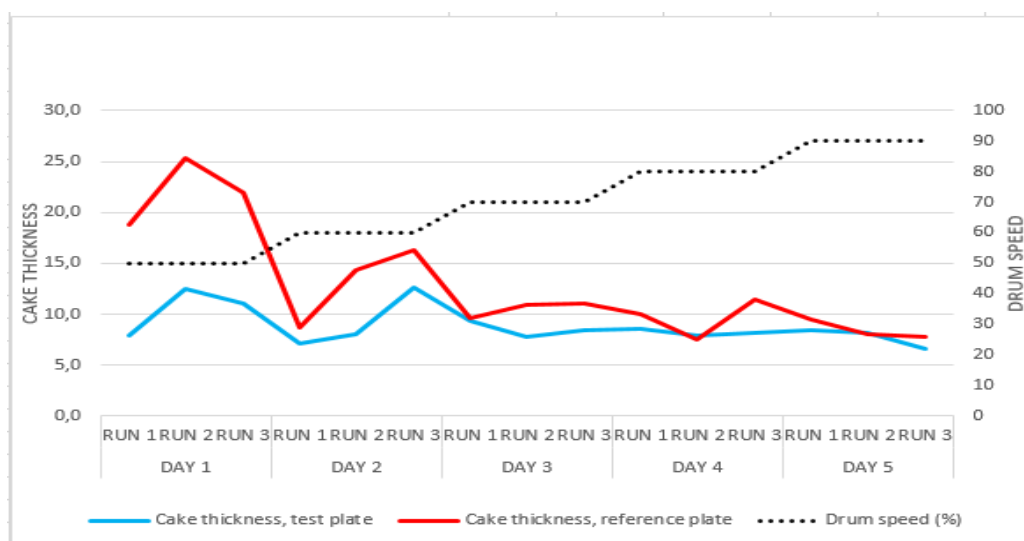
Tässä koeajovaiheessa rummun pyörimisnopeutta muutettiin välillä 50–90 % maksiminopeudesta. Muutokset tehtiin 10 prosenttiyksikön askelin. Koeajo aloitettiin hitaimmalla pyörimisnopeudella 50 %. Jokaista nopeusaluetta tutkittiin yhden vuorokauden ajan, jonka aikana suoritettiin määritetyt mittaukset.

Rummun pyörimisnopeudella 50 % suoduskakun paksuus oli suurin, koska laatan viipymäaika lietepinnan alla oli pisin. Taulukossa 2 on esitetty suoduskakkujen paksuuksien keskiarvot (mm) koelaatoilta 1 ja 2 sekä referenssilaatoilta 1 ja 2. Muutos oli silmin nähtävissä suodattimella.

TAULUKKO 2. suoduskakkujen paksuuden (mm) keskiarvot

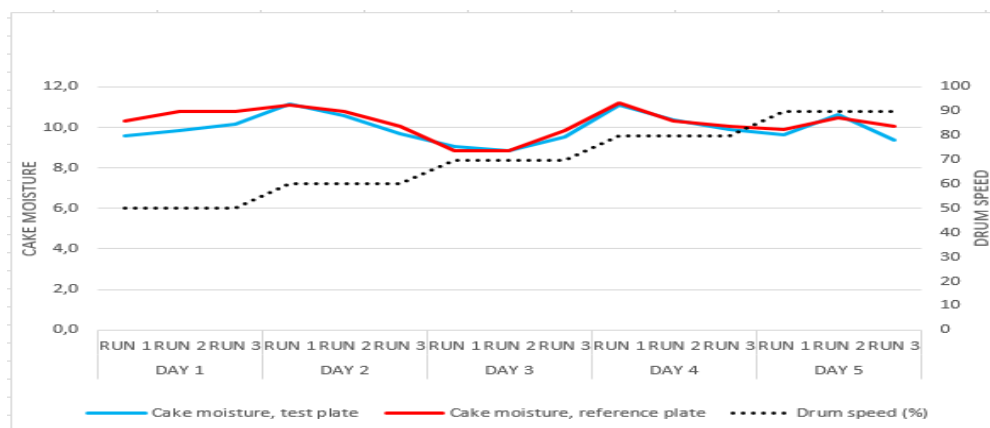
Nopeus (%)	50	60	70	80	90
Keskiarvo (mm)	16,2	10,5	9,5	8,9	8,1

Kakun paksuuden muutos kokeen hitaimmalla nopeudella näkyy selvästi myös tarkasteltaessa tuloksia kaaviosta 1. Kaaviosta voidaan havaita, että rummun pyörimisnopeuden kasvaessa vastaavasti kakun paksuus pienenee. Tämän ilmiön selittää laatan viipymäajan lyheneminen lietepinnan alla rummun pyörimisnopeuden kasvaessa.



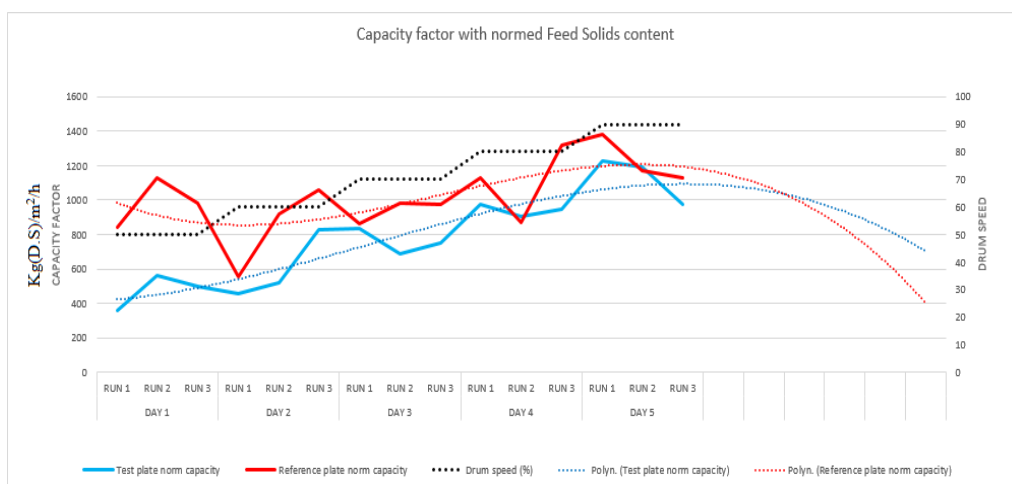
KAAVIO 1. Kakun paksuus (mm) rummun pyörimisnopeuden mukaan

Tarkasteltaessa pyörimisnopeuden muutosta kakun kosteuteen havaittiin kakun kosteuden laskevan selvästi pyörimisnopeuden noustessa 50 % nopeudesta 70 % nopeuteen. Kaaviossa 2 erityisesti 50 % ja 60 % pyörimisnopeudella kakun paksuus oli selvästi suurempi. Kuten kaava 4 osoittaa, suodatuskakun paksuuden kasvu nostaa virtausvastusta, jolloin kakun kosteus kasvaa. Pyörimisnopeuden nostaminen 80 % maksimista vaikutti merkittävästi kosteuden nousuun, koska kuivausaika oli huomattavasti lyhempi.



KAAVIO 2. Kakun kosteus rummun pyörimisnopeuden mukaan

Rummun pyörimisnopeuden ja suodattimen kapasiteetin todettiin olevan suoraan verrannollisia toisiinsa (KAAVIO 3). Kuten kaaviosta 1 todettiin, rummun nopeuden kasvattaminen pienensi suoduskakun paksuutta. Kaaviosta 3 todettiin kierrosnopeuden kasvattamisen nostavan suotimen kapasiteettiä.



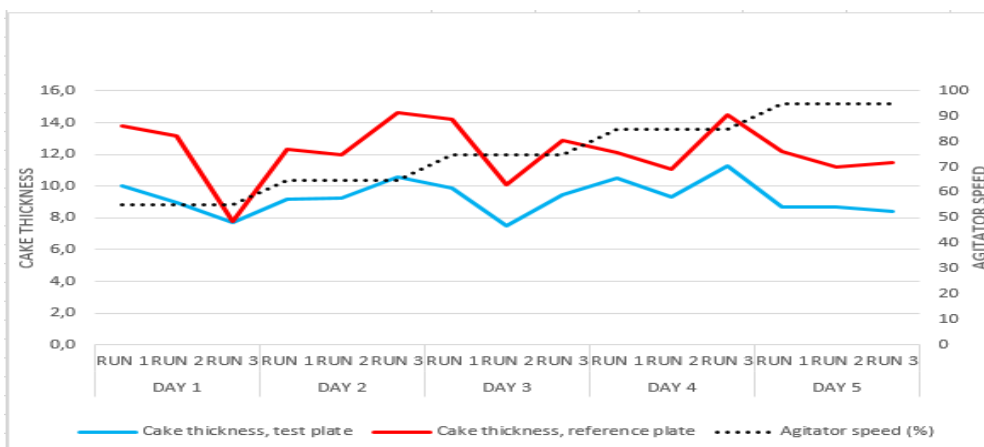
KAAVIO 3. Suotimen kapasiteetti (kg(D.S)/m²/h) rummun pyörimisnopeuden mukaan

Seurattaessa koeajoa rummun hitaimmilla nopeuksilla näytti siltä, että kapasiteetti olisi ollut suurin. Tämä vaikutelma syntyi, koska kakku oli huomattavan paksu. Rummun hidas kierrosnopeus alensi kuitenkin kapasiteettia, vaikka kakun paksuudessa oli suuri ero hitaimman ja nopeimman kierrosnopeuden välillä. Nopein kierrosnopeus oli lähes kaksinkertainen hitaimpaan verrattuna, kuten taulukosta 1 nähdään.

7.4 Sekoittajan nopeuden muutos

Tässä koeajovaiheessa sekoittajan nopeutta muutettiin maksiminopeudesta välillä 55–95 % kymmenen prosenttiyksikön muutoksin. Koeajo aloitettiin hitaimmalla nopeudella 55 %. Jokaisesta nopeusalueesta tutkittiin yhden vuorokauden ajan ja tarvittavat mittaukset tehtiin koeajosuunnitelman mukaan.

Sekoittajan nopeuden muutoksella ei ollut huomattavaa vaikutusta mittaustuloksiin. Hitaimmalla nopeudella 55 % suodoskakun paksuus pieneni koeajon edetessä tasaisesti (KAAVIO 4). Testilaattojen kakun paksuuden keskiarvon muutos sekoittajan nopeudella 55 % oli noin -2 mm ja vastaavasti referenssilaatoilla noin -6 mm. Tämä oletettavasti johtui lietteen luokittumisesta suotimen altaassa sekoittajan liikkeiden välissä. Karkeammat jakeet painuivat pohjaan hienojen jäädessä pintaan. Laatan tukkeentuminen hienoaineksesta esti kakun paksuuden kasvamisen.



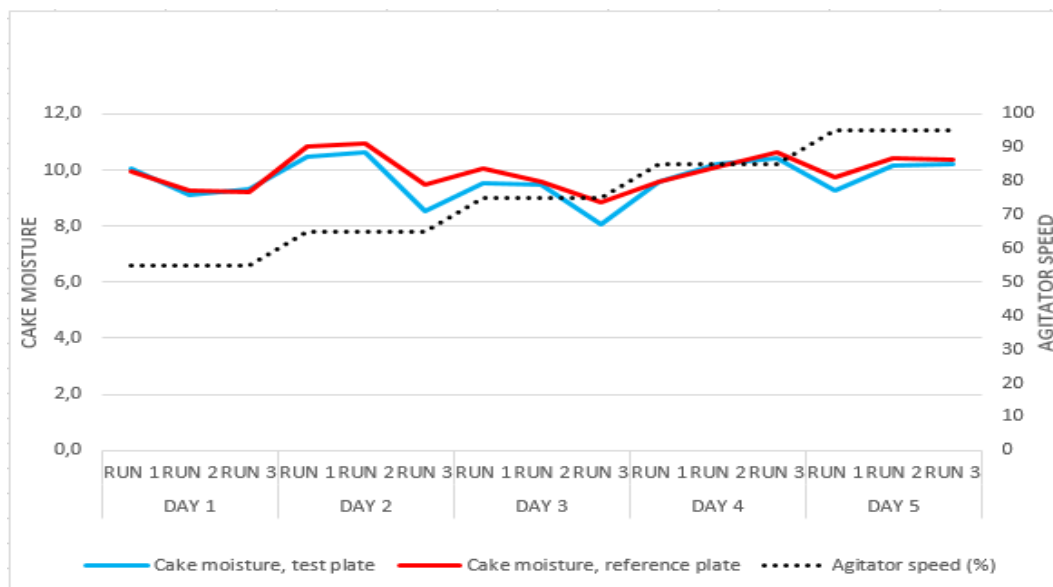
KAAVIO 4. Kakun paksuus (mm) sekoittajan pyörimisnopeuden mukaan

Sekoittajan nopeuden ollessa 65–85 % kakun paksuudessa ei ollut havaittavissa suuria muutoksia. Sekoittajan suurimmalla nopeudella 95 % havaittiin selvä muutos suodoskakussa ja liete-pinnassa. Suodoskakun paksuus oheni ja kakun pinnalla oli nähtävissä roiskeita (KUVA 19). Seikoittajan suuri nopeus sai aikaan lietealtaassa aaltoja, jotka roiskivat lietettä kuivausvaiheessa oleviin laattoihin.



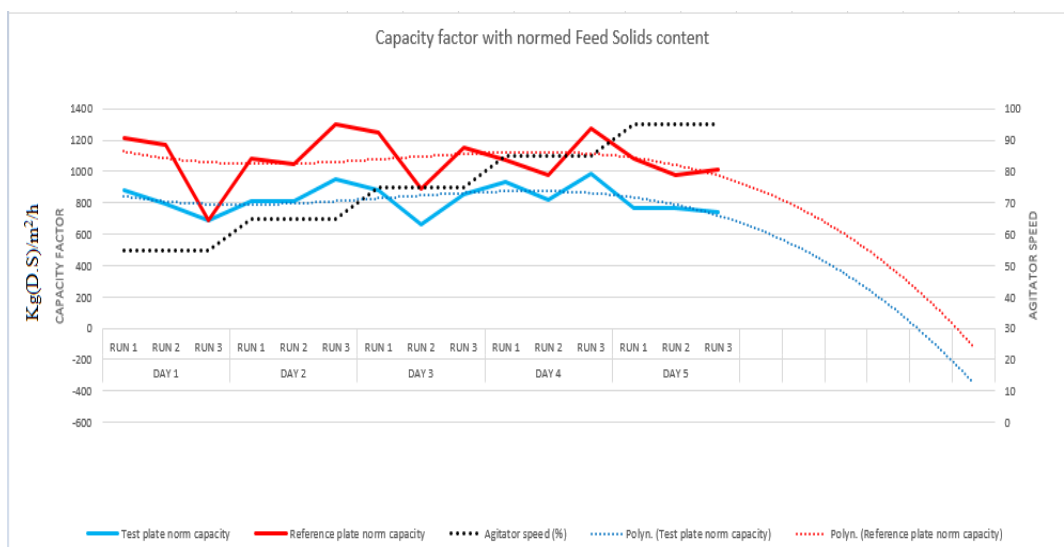
KUVA 19. Suodoskakun roiskeet 95 % sekoittajan nopeudella

Tarkasteltaessa sekoittajan nopeuden muutoksen vaikutusta kosteuteen havaittiin (KAAVIO 5), että sekoittajan nopeus ei vaikuttanut suoduskakun kosteuteen. Suurimmalla nopeudella suoduskakku oli märkää roiskeiden kohdalta.



KAAVIO 5. Kakun kosteus sekoittajan nopeuden mukaan

Kaaviosta 6 havaittiin, että sekoittajan nopeudella ei ollut kapasiteettiin merkittäviä vaikutuksia nopeuden ollessa alle 95 %. Sekoittajan suurimmalla nopeudella kapasiteetti kääntyi laskuun. Suotimen altaassa olevan lietteen ja keraamisen laatan kohtaamisnopeus kasvoi liian suureksi, jolloin kakun paksuus jäi pieneksi.

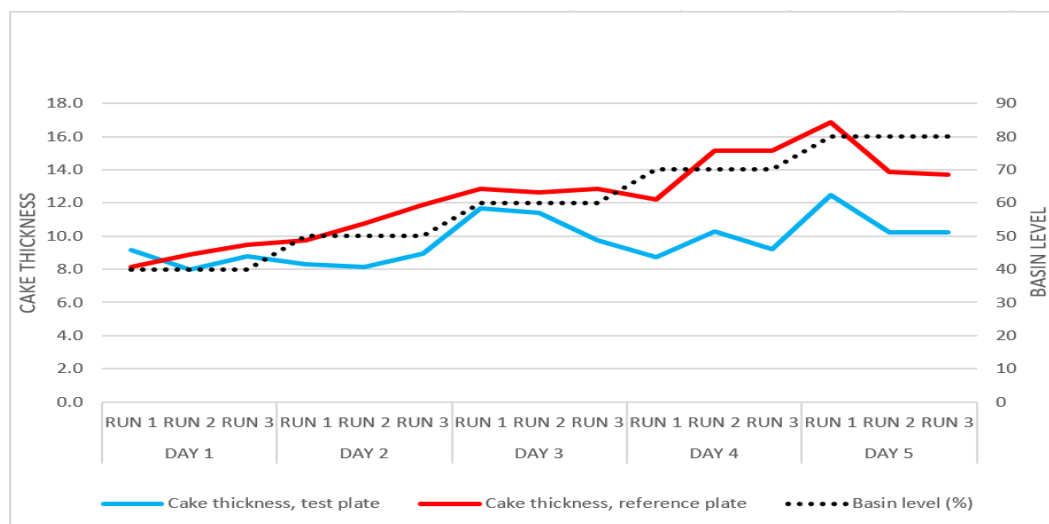


KAAVIO 6. Suotimen kapasiteetti (kg(D.S)/m²/h) sekoittajan nopeuden mukaan

7.5 Lietepinnan korkeuden muutos

Tässä koeajovaiheessa suotimen altaan lietepinnan tasoa muutettiin 40–80 % välillä. Lietepintaa nostettiin koeajojen edetessä 10 prosenttiyksikön muutoksin. Jokaista pinnanasetusarvoa tutkittiin yhden vuorokauden ajan ja tarvittavat mittaukset tehtiin koeajosuunnitelman mukaan.

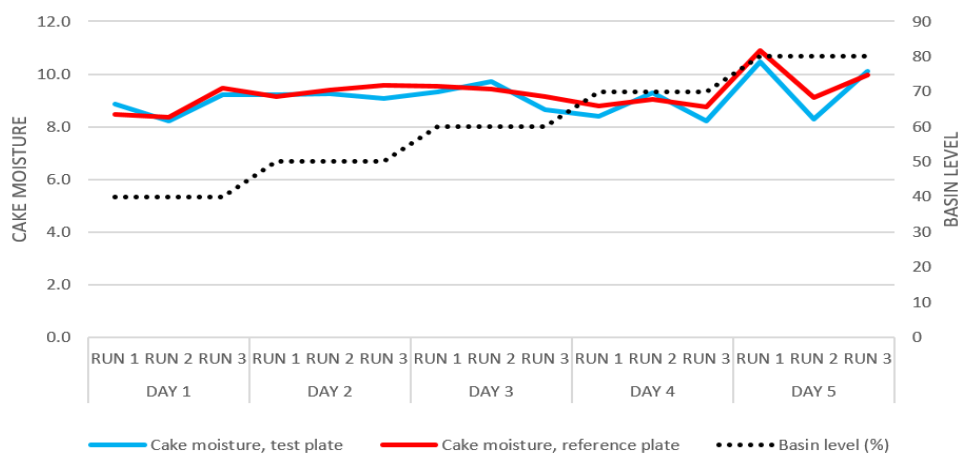
Koeajot aloitettiin 40 % lietepinnalla. Tällä lietepinnalla laatat eivät uponneet kokonaan lietteeseen kakunmuodostusvaiheessa. Kaaviosta 7 voidaan nähdä 40 % lietepinnan aiheuttaneen suodoskakun muodostumisen ohueksi. Suotimen imutehosta osa menetettiin, koska laatat eivät uponneet kokonaan lietepinnan alapuolelle.



KAAVIO 7. Kakun paksuus (mm) lietepinnan korkeuden mukaan

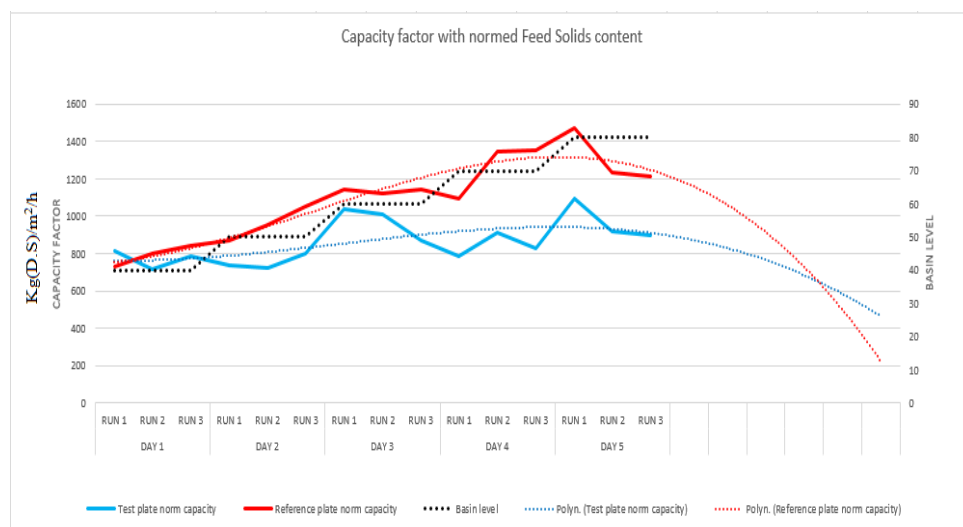
Sama ilmiö oli nähtävissä osittain myös 50 prosentin lietepinnalla, vaikka laatta näytti juuri ja juuri uppoavan kokonaan lietepinnan alapuolelle. Kakun paksuudessa tapahtui selkeä nousu 60 prosentin lietepinnalla. Laatat upposivat tällä lietepinnalla kokonaisuudessaan pinnan alapuolelle, jolloin koko imuteho oli käytettävissä kakun muodostamiseen. Suodoskakun paksuus kasvoi suhteessa lietepinnan korkeuteen, koska laatan viipymäaika lietepinnan alla kasvoi.

Suodskakun kosteuden muutokset lietepinnan korkeuden olleessa 40–70 % olivat merkityksettömiä (KAAVIO 8). Suodskakun kosteus nousi selvästi, kun lietepinnan asetukseksi muutettiin 80 %. Tällä lietepinnalla kakun kuivausaika jäi lyhyeksi ja vastaavasti kakunmuodostusvaihe oli pidempi. Korkea lietepinta kasvatti suodskakun paksuutta ja virtausvastusta sekä lyhensi kuivausaikaa. Näiden seurauksena suodskakun kosteuden keskiarvo nousi noin 1,2 prosenttiyksikköä.



KAAVIO 8. Kakun kosteus lietepinnan korkeuden mukaan

Lietepinnan vaikutus suotimen kapasiteettiin oli suoraan verrannollinen lietepinnan korkeuteen (KAAVIO 9). Lietepinnan nostamisen seurauksena kakun muodostumisaika kasvoi, jolloin myös kapasiteetti kasvoi.

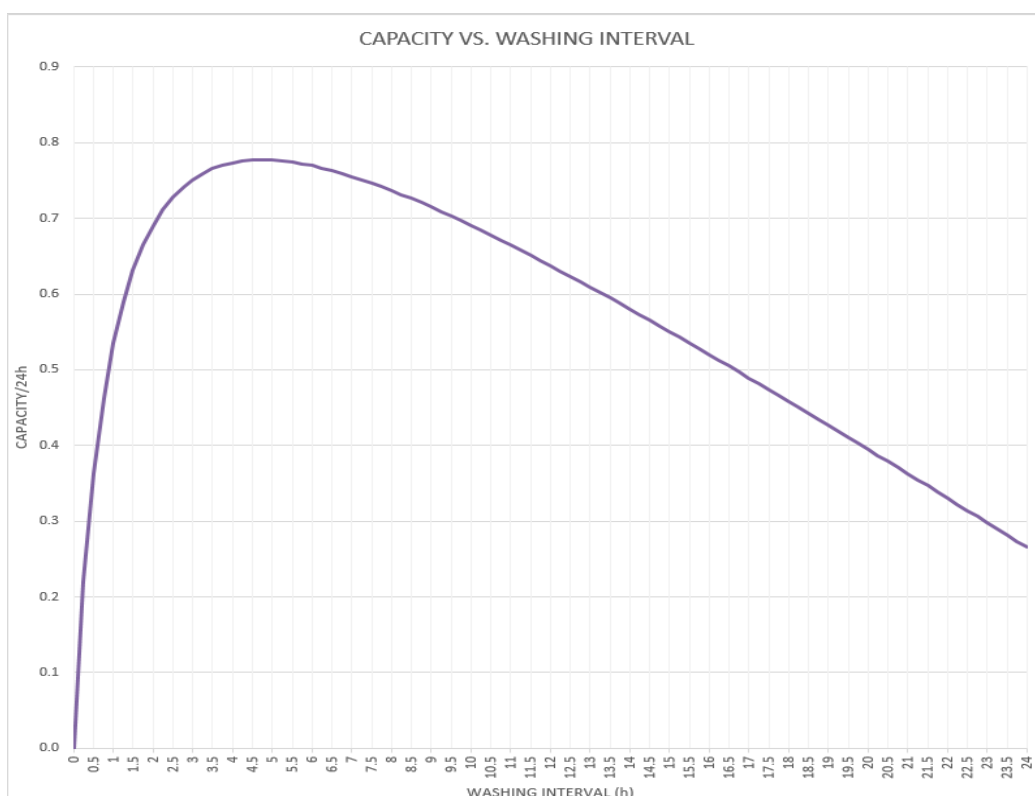


KAAVIO 9. Suotimen kapasiteetti (kg(D.S)/m²/h) lietepinnan mukaan

7.6 Käyntijakson pituuden muutos

Käyntijakson pituuden muutoksen koeajovaiheessa suotimen käyntijakson asetusarvoa muutettiin välillä 6–10 tuntia. Koeajo aloitettiin 10 tunnin asetusarvolla ja toisessa vaiheessa 6 tunnin asetusarvolla. Kummallakin asetusarvolla ajettiin yksi vuorokausi, jonka aikana suoritettiin koeajosuunnitelmassa määritetyt mittaukset.

Kaaviosta 10 nähdään, että kapasiteetin kannalta tehokkain käyntijakson pituus on 4,75 tuntia. Oletuksena 24 tunnin laskentakäyrässä on, että laatan tukkeuma on lineaarista ja suorituskyky palautuu täydellisesti pesussa. Suotimen tuotto tällä pesuajalla oli $0,7775 \text{ t(D.S)/m}^2/24\text{h}$. Suodokakun kosteuden nousu tuli kuitenkin esteeksi lyhyelle käyntijaksolle.



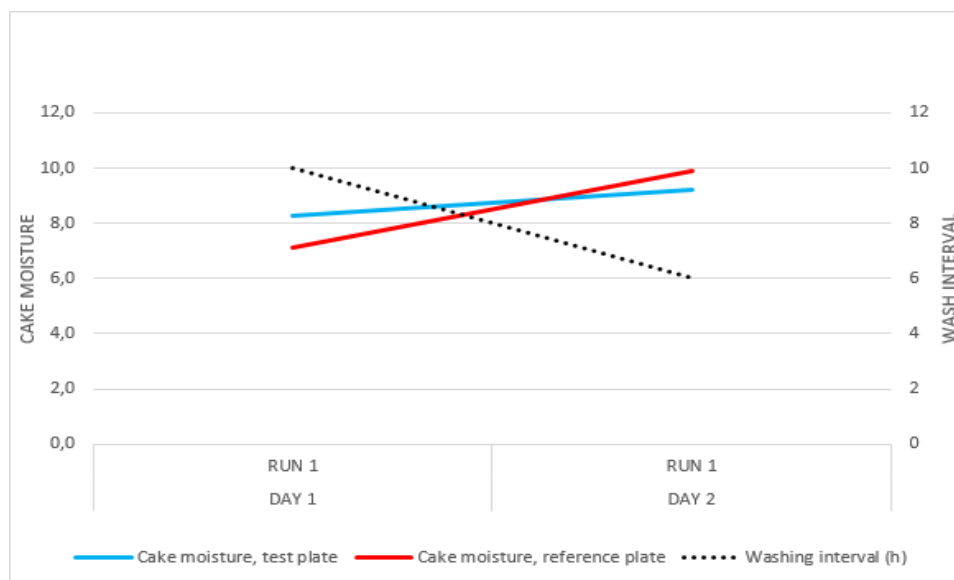
KAAVIO 10. Suotimen kapasiteetin ($\text{t(D.S)/m}^2/24\text{h}$) muutos käyntijakson pituuden mukaan

Taulukosta 3 voidaan havaita, kuinka suotimen vuorokautinen kapasiteetti putoaa suhteessa käyntijakson pituuteen.

TAULUKKO 3. käyntijakson pituuden vaikutus kapasiteettiin

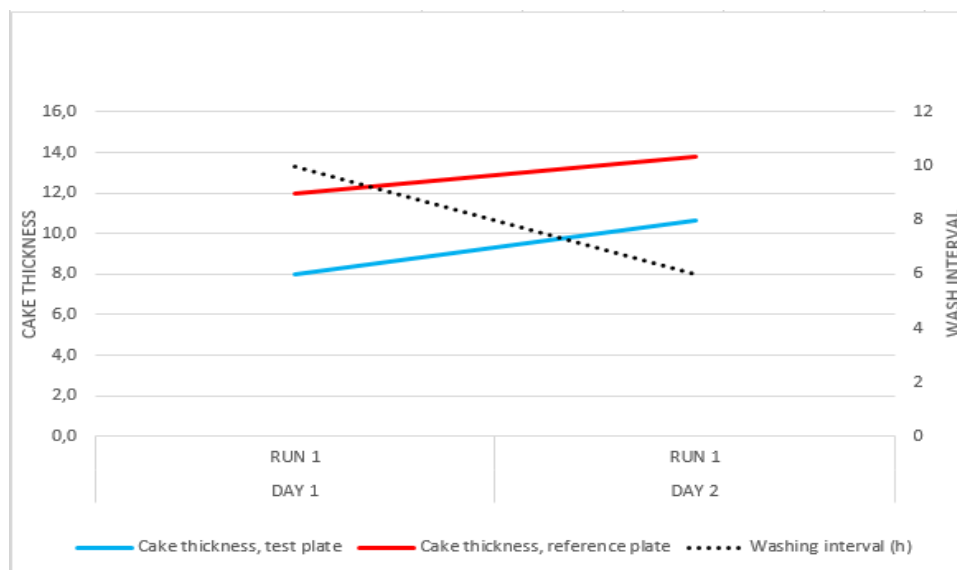
Kapasiteetti (ton/24h/m ²)	Käyntijakso	Todellinen sykliäika	Kapasiteetti (ton/sykli/m ²)
0.774	4	5	0.161
0.778	4.75	5.75	0.186
0.770	6	7	0.225
0.756	7	8	0.252
0.737	8	9	0.276
0.715	9	10	0.300
0.691	10	11	0.320
0.665	11	12	0.332
0.638	12	13	0.345

Kaaviosta 11 nähdään, että käyntijakson lyhentäminen kuuteen tuntiin nosti suodoskakun kosteuden keskiarvoa testilaatoilla noin 1 prosenttiyksikköä ja referenssilaatoilla noin 2,7 prosenttiyksikköä.



KAAVIO 11. Kakun kosteus käyntijakson pituuden mukaan

Kaaviosta 12 nähdään, että kakun paksuun on kääntäen verrannollinen käyntijakson pituuteen. Kakun paksuuden keskiarvo kasvoi 10 tunnin käyntijaksosta 6 tunnin käyntijaksoon noin 3 mm. Erityisesti 1 tunti ennen pesua suoritettussa mittauksessa ero oli huomattava. 10 tunnin käyntijaksolla laattojen tukkeentuminen oli huomattavaa. Lyhemmällä 6 tunnin käyntijaksolla laatat eivät vielä merkittävästi olleet tukkeentuneet, joten kakun paksuus säilyi hyvänä seuraavaan pesuun asti.



KAAVIO 12. Kakun paksuun (mm) käyntijakson pituuden mukaan

8 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli parantaa pyriitin saantoa tehostamalla suodatusta Pyhäsalmen kaivoksella. Työssä käytiin läpi neljä eri suodatusparametria. Optimaalisia suodatusparametreja tutkittiin mittaamalla suotimen kapasiteettia ja rikasteen kosteutta. Ennen kokeellisen osuuden aloittamista kalibroitiin PK3SK:n lietetiheysmittarin. Kalibroinnin seurauksena havaittiin, että tiheysmittari näytti 0,36 kg/l korkeampaa lukemaa. Lietetiheysmittarin poikkeama korjattiin. Poikkeaman korjauksella lietetiheys PK3SK-kaivolla saatiin nousemaan tavoite tiheyteen. Tämän ansiosta yksittäisen suodattimen kapasiteetti nousi ja suodatuspiiri tuotti saman tonnimäärän pienemmällä suodatin kapasiteetillä.

Rummun pyörimisnopeutta tutkittaessa havaittiin, että kapasiteetti oli suoraan verrannollinen pyörimisnopeuteen. Pyörimisnopeuden ollessa 60 % tai pienempi kakun paksuus kasvoi suureksi ja kosteus nousi. Kakun paksuus oli 50–60 % nopeuksilla 12,5–25,3 mm ja kakun kosteus 9,6–11,2 %. Tämän aiheutti pitkä kakun muodostusvaihe. Nopeuden nosto 70 %:iin pienensi kakun paksuuden keskiarvoa 50 % nopeuteen verrattuna referenssilaatoilla 11,4 mm ja testilaatoilla 2 mm. Kakun kosteuden keskiarvo laski tällöin referenssilaatoilla 1,5 prosenttiyksikköä ja testilaatoilla 0,6 prosenttiyksikköä. Pyörimisnopeuden nosto 80 % nopeuteen nosti kakun kosteuden keskiarvon 70 % pyörimisnopeuteen verrattuna referenssilaatoilla 1,4 prosenttiyksikköä ja testilaatoilla 1,3 prosenttiyksikköä. Pyörimisnopeuden nostaminen 90 % nopeuteen kasvatti edelleen kakun kosteutta. Kosteuden nousu 80 % ja 90 % nopeuksilla oli seurausta lyhentyneestä kuivausajasta. Korkein kapasiteetti saavutettiin 90 % pyörimisnopeudella, mutta kakun kosteus nousi liian suureksi. Koeajojen perusteella pyörimisnopeutta ei voi kasvattaa yli 70 %, koska kakun kosteus nousee liian korkeaksi. Tällä nopeudella kakun kosteuden keskiarvo oli 9,15 %.

Sekoittajan nopeutta tutkittaessa havaittiin nopeuden muutoksen vaikuttavan vain suodattimen kapasiteettiin. Vaikutus kapasiteettiin näkyi 55 % ja 95 % nopeuksilla. Hitaimmalla 55 % nopeudella kakun paksuus pieneni koeajon edetessä.

Laatat näyttivät tukkeentuvan hienoaineksesta. Liete oletettavasti luokittui altaassa sekoittajan liikkeiden välissä hienoaineksen jäädessä pintaan ja karkeampien jakeiden painuessa pohjaan. Suodatuksen kannalta paras tilanne on silloin, kun kaiken kokoiset jakeet ovat lietteessä sekaisin. Silloin laatan huokosien päälle pääsee muodostumaan holvikaaria, jotka mahdollistavat

suodoksen kulkeutumisen laatan sisään. Sekoittajan nopeuden ollessa välillä 65–85 % kapasiteetissä ei ollut havaittavia muutoksia. Sekoittajan nopeuden nostaminen 95 % nopeuteen laski suodattimen kapasiteettia. Sekoittajan liikkeet olivat tällä nopeudella niin nopeita, että altaassa tapahtui lietteen aaltoilua ja roiskumista. Lietteen virtausnopeus altaassa kasvoi, jolloin suotimen imuteho ei enää riittänyt kunnollisen kakun muodostamiseen. Lisäksi suuri virtausnopeus huuhtoi laatoilta osan muodostuneesta kakusta irti. Lietteen roiskuminen altaassa aiheutti kuivausvaiheessa oleviin kakkuihin märkiä roiskeita. Sekoittajan nopeus koeajojen perusteella voi olla 65–85 %.

Lietepinnan korkeuden vaikutusta tutkittaessa havaittiin lietepinnan muutoksen vaikuttavan suotimen kapasiteettiin ja kakun kosteuteen. Lietepinnan ollessa 40 % arvossa kakun muodostusaika oli lyhyt ja kuivusaika pitkä. Tämän seurauksena kakku oli kuivaa, mutta kapasiteetti alhainen. Tällä lietepinnalla laatat eivät kokonaan uponneet lietteeseen, mikä laski suodattimen kapasiteettia. Lietepinnan nostaminen 60 % korkeuteen nosti kakun paksuuden keskiarvoja 40 % korkeuteen verrattuna referenssilaatoilla 3,9 mm ja testilaatoilla 2,3 mm. Kakun kosteuden keskiarvot nousivat referenssilaatoilla 0,5 prosenttiyksikköä ja testilaatoilla 0,4 prosenttiyksikköä. Lietepinnan nostaminen 70 % korkeuteen laski kosteuden keskiarvoja 60 % nopeuteen verrattuna referenssilaatoilla 0,5 prosenttiyksikköä ja testilaatoilla 0,6 prosenttiyksikköä. Lietepinnan nostaminen 80 % ei nostanut suotimen kapasiteettia, mutta vastaavasti kakun kosteus nousi jyrkästi. Tällä lietepinnalla kakun kuivusaika jäi lyhyeksi. Koeajon perusteella voidaan todeta, että paras kapasiteetti kakun kosteuden suhteen saavutettiin 70 % pinnan asetuksella. Kakun kosteuden keskiarvo 70 % pinnan asetuksella oli 8,7 %.

Käyntijakson pituuden koeajoissa kapasiteetin kannalta tehokkain käyntijakson pituus on 4,75 tuntia. Koeajossa tutkittiin 6 ja 10 tunnin käyntijakson pituutta ja havaittiin, että 6 tunnin käyntijaksolla kakun kosteus oli korkea. Käyntijakson pituuden nostaminen 10 tuntiin laski kakun kosteuden laatuvaatimusten tasolle. Vastaavasti pitkä käyntijakso aiheutti laattojen tukkeentumisen. Myös suotimen käyntiaste on suoraan verrannollinen käyntijakson pituuteen tutkitulla alueella. Tämän perusteella voidaan todeta, että optimaalisin käyntijakson pituus oli 9 tuntia. Tällä käyntijakson pituudella suotimen käyntiaste oli 90 % ja kakun kosteus oli 8,2 %.

Tämän kaltaisia tutkimuksia ei ollut löydettävissä, mutta materiaalia oli niin sähköisesti kuin kirjallisesti riittävästi saatavilla. Teoriaosuuden kirjoittaminen oli haastavaa, koska materiaaleista suurin osa oli englanninkielistä ja teknisten lauseiden kääntäminen suomen kielelle vei aikaa. Työn kokeellisen osuuden tekemisessä ja kirjoittamisessa oli hyötyä vuosien työkokemuksesta suodatuksen parissa.

9 JATKOTOIMENPIDE-EHDOTUKSET

Työn kokeellisen osuuden perusteella suosittelemme lietetiheysmittareiden säännöllistä kalibrointia. Tällä varmistetaan suotimien kapasiteetin maksimaalinen hyödyntäminen. Suotimien syötteen tasaisuuden varmistamiseksi ehdotamme, että prosessinohjausjärjestelmään rakennetaan suotimien automaattinen ohjaus PK3SK–lietetiheyden mukaan.

LÄHTEET

Dahlstrom, D. A. 1987. Filtration in the Mineral Industry in Filtration: Principles and Practice. Marcel Dekker, Inc, 447-494.

Ekberg, B. 1997. Filtration theory. Ceramic. Training course in Ceramic CC-Filters. Outo-kumpu.

Gupta, A., Yan, D.S. 2006. Mineral processing design and operation. Netherlands: Elsevier Ltd.

Halberthal, J. 2019. Engineering Aspects in Solid-Liquid Separation. Vacuum filters. Saatavissa: <http://www.solidliquid-separation.com/VacuumFilters/vacuum.htm>

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

Kaiva. 2014. Koulutus ja työ. Työelämä ja ammatit. Tuotantoprosessit. Vedenpoisto. Saatavissa: https://kaiva.fi/wp-content/uploads/2014/12/Vedenpoisto_Kaiva.pdf. Viitattu: 24.6.2020

Koffert, M. 2020. Henkilökohtainen tiedonanto. sähköposti. 23.1.2020

Lu, W-M. Tung, K-L. Hwang, K-J. 1997. Effect of woven structure on transient characteristics of cake filtration. Chemical Engineering Science. Vol 52.

Matteson, M. J. Orr, C. 1987. Filtration: Principles and Practices. Yhdysvallat: Marcel Dekker Inc.

McCabe, W. L. Smith, J. C. ja Harriott, P. 1993. Unit Operations of Chemical Engineering. Fifth edition. Yhdysvallat: McGraw-Hill Education.

Mikola. 2009. Maailman nykyaikaisin ja tehokkain kaivos. Julkaistu 26.1.2009. Saatavissa: <http://www.profiilimedia.fi/maailman-tehokkain-ja-nykyaikaisin-kaivos/>

Mining. First Quantum takes over Inmet Mining Corporation: a new copper giant is born. Julkaistu 22.3.2014. <https://www.mining.com/first-quantum-takes-over-inmet-a-new-copper-giant-is-born-54827/> Viitattu 22.1.2020

Ni, L. 2001. Modelling and Simulation of Cake Formation in Cake Filtration Process. The University of New South Wales. Väitöskirja. Saatavissa: <http://unsworks.unsw.edu.au/fapi/datastream/unsworks:45015/SOURCE01?view=true>

Oertel, A. 2012. Malmisuoni löytyy. Teoksessa Pyhäsalmen kaivos. Saarijärvi.

Oulun Yliopisto. 2014. 477011P Prosessi- ja ympäristötekniikan perusta 1 / Kuitu- ja partikkelitekniiikan laboratorio. Saatavissa: <https://www oulu.fi/sites/default/files/content/PYP%20I%202014%20Teema%202.pdf>

Pihkala, J. 2011. Prosessitekniikka prosessiteollisuuden yksikkö- ja tuotantoprosessit. Helsinki: Opetushallitus.

Porter, M. C. Nelson, L. 1972. Ultrafiltration in the Chemical, Food Processing, Pharmaceutical and Medical Industries. L, Po. Recent Developments in Separation Science. Cleveland: CRC Press. 219-260.

Pääskynen, H. 2020. Henkilökohtainen tiedonanto, sähköposti/ keskustelu. 25.3.2020

Rahikka, L. 2019. Henkilökohtainen tiedonanto, sähköposti. 25.11.2019.

Ruth, B. F. 1935. Studies in Filtration III. Derivation of General Filtration Equations. Industrial and Engineering Chemistry. 708-723.

Ruth, B. F. Montillon, G. H. ja Montonna, R. E. 1933. Studies in Filtration Part I. Critical Analysis of Filtration Theory. Industrial and Engineering Chemistry. 25, 76-82.

Shirato, M. Murase, T. Iritani, E. Tiller, F. M. Alciatore, A. F. 1987. Filtration in the Chemical Process Industry. M.J, Mattesson. C, Orr. Filtration: Principles and Practices. Yhdysvallat: Marcel Dekker, Inc, 299-423

Sparks, T. Chase, G. 2016. Filters and Filtration handbook. Sixth edition. Yhdysvallat: Elsevier Ltd.

Svarovsky, L. 2000. Solid-Liquid Separation. Neljäs painos. Britannia: Butterworth-Heinemann.

Treffry-Goatly, K. Buchan, M. I. Renchen, G. E. Buckley, C. A. 1987. The Dewatering of Sludges Using a Tubular Filter Press. N, Hilal. Desalination. Proceedings of the third world congress on desalination and water reuse. Yhdysvallat: Elsevier Ltd. 467-479.

Variclean. Theory of ultrasonic technology. Saatavissa: <https://www.variclean.eu/site/theory-ultrasonic-technology> Viitattu: 17.8.2020

Vänttinen, K. Henkilökohtainen tiedonanto, haastattelu/ sähköposti. 21.5.2019.

Walker, A. J. Svarovsky, L. 1994. Development of a Computer Model for Predicting the Filtration Characteristics of a Suspension. Filtration & Separation. 31, 57-65.

Westech. 2020. Horizontal Belt Filter. Saatavissa: <http://www.westech-inc.com/en-usa/products/horizontal-belt-filter>

LIITTEET

LIITE 1. NÄYTTEENOTTOPOYTÄKIRJA

LIETTEEN OMINAISUUDET	PÄIVÄ 1		PÄIVÄ 2		PÄIVÄ 3	
Lietetiheys (kg/l)						
	PÄIVÄ 4		PÄIVÄ 5			
Lietetiheys (kg/l)						

SUODATTIMEN PARAMETRIT

PAIVA NRO	1	2	3	4	5
Rummun pyörimisnopeus (%)	40	50	60	70	80
Sekoittajan nopeus (%)	70				
Pinnan asetus (%)	80				
Pesuintervalli (h)	8				

Näytteet DAY RUN1

Rummun nopeus (%)		
Näytteenotto:	ennen pesua	pesun jälkeen
Kakun paksuus (mm)		
Testi laatta 1		
Testi laatta 2		
Referenssi laatta 1		
Referenssi laatta 2		
Kakun kosteus (%)		
Testi laatta 1		
Testi laatta 2		
Referenssi laatta 1		
Referenssi laatta 2		
Suodosveden virtaus (m³/h)		
Käanteispuesveden virtaus (m³/h)		

LIITE 2. CC6SK NÄYTTEENOTTO-OHJE

CC6SK:lla suoritetaan koeajoja opinnäytetyötä varten ajalla 15.–31.1.2020. Suodinta on tarkoitus pitää koko koeajon ajan normaalissa tuotannossa (**HUOM! CC6SK PESUAJAN SIIRTÄMINEN EHDOTTOMASTI KIELLETTY!!**). Jos suotimia täytyy jostain syystä tauottaa, tehdään jollakin muulla tuotannossa olevalla suodattimella. PK3SK:n lietetiheys pyritään pitämään 2.0 kg/l koeajon ajan. Tämä toteutetaan käytännössä rikkipiirin tasaisella vaahdotuksella, ennakoivalla jakovaahdotuksella, edellä mainitulla suodattimien tauottamisella. **Syklonipaineiden säätäminen koeajon aikana kielletty, ellei toisin määrätä.**

CC6SK:lle on merkattu neljä laattaa yhdeltä riviltä. **Näiltä laatoilta otetaan näytteet 1 tunti ennen ja jälkeen pesun.** Laatoilta mitataan kakun paksuus ja kosteus.

1. KTM4 pysäyttää suotimen "PAUSE" napilla juuri ennen kuin koelaattarivi osuu kaavareihin
2. Ohjaamo merkkää mittauspöytäkirjaan suodosveden- ja käänteispesuveden virtauksen sekä PK3SK lietetiheyden
3. KTM4 mittaa kakkujen paksuudet merkittyjen laattojen keskeltä ja ilmoittaa paksuudet ohjaamoon
4. KTM4 ottaa, jokaisesta koelaatasta näytteen näytekauhalla kunkin omaan astiaan, mittaa laboratorion kosteudenmääritys vaa'alla kosteuden ja ilmoittaa lukemat ohjaamoon