



JULIUS NAUHA

Kuonarikasteen flokkuloinnin kehittäminen sakeutusprosessissa

Opinnäytetyö

KONETEKNIIKAN TUTKINTO-OHJELMA
2024

TIIVISTELMÄ

Nauha, Julius: Kuonarikasteen flokkuloinnin kehittäminen sakeutusproses-
sissa

Opinnäytetyö, AMK

Konetekniikan tutkinto-ohjelma

Toukokuu 2024

Sivumäärä: 45

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia Boliden Harjavalta Oy:n kupari-
kuivaamon sakeutusprosessin flokkulointia. Flokkulointia testattiin muutta-
malla flokkulantin syötön sijaintia ja polymeerin annostelumäärää. Sakeutti-
messa suoritettiin kolme testiajoa, joissa polymeerin annostelulle asetettiin
omat annostelumäärät. Testiajojen aikana otettiin näytteitä sakeuttimen ylit-
teestä.

Testiajojen tuloksissa verrattiin ylitenäytteiden kiintoainepitoisuuksia. Näytteet
analysoitiin Boliden Harjavalta Oy:n omassa laboratoriossa suodattamalla,
kuivaamalla ja punnitsemalla näytteiden kiintoaine.

Testiajojen tulosten perusteella todettiin, että flokkulointi oli tehokkaampaa,
kun flokkulanttia syötettiin alkuperäisen syöttöpisteen lisäksi noin 30 metrin
päähen sakeuttimen keskikaivosta.

Työssä tarkasteltiin flokkulantin annosteluun vaikuttavia tekijöitä ja rakennet-
tiin matemaattinen kaava tasaista annostelua varten. Kuivaamon flokkulantti-
laitteisto tulisi kytkeä prosessinohjausjärjestelmään tasaisen polymeerin an-
nostelun saavuttamiseksi.

Abstract

Nauha, Julius: Advancements in the thickening process and flocculation of slag concentrate
Bachelor's thesis
Machine engineering
May of 2024
Number of pages: 45

The purpose of this thesis was to study the flocculation in the thickening process at the copper drying plant of Boliden Harjavalta Oy. Flocculation was tested by changing the location of flocculant feed and polymer dosage. Three test runs were conducted in the thickener with different polymer dosages. Samples were taken from the overflow of the thickener during the test runs.

The solids concentration of the overflow samples was compared in the results of the test runs. The samples were analyzed in Boliden Harjavalta Oy's own laboratory by filtering, drying, and weighing the solids.

Based on the test run results, it can be concluded that flocculation was most efficient when flocculant was fed approximately 30 meters away from the feed-well in addition to the main flocculant feed.

The factors concerning the polymer dosage in the process were established and a mathematical equation was constructed. The flocculation feeding system in the thickening process should be connected to the process control system for consistent polymer dosing.

ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö tehtiin Boliden Harjavalta Oy:n kuparikuivamon osastolle. Haluan kiittää Satakunnan ammattikorkeakoulun lehtori Kati Kolehmaista työn ohjaamisesta sekä Boliden Harjavalta Oy:n kuparisulaton aluetyönjohtajaa Mikko Rimpistä avusta kuivamon uuden flokkulantin syöttölaitteiston käyttöönotossa. Lisäksi haluan kiittää Boliden Harjavalta Oy:n laboratorion ja kuonarikastamon henkilökuntaa avusta näytteiden ottamisessa ja niiden analysoinnissa.

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	6
2 BOLIDEN HARJAVALTA OY	7
3 KUPARISULATTO	8
4 KUONARIKASTAMON PROSESSI	11
5 KUONARIKASTEEN SAKEUTUS JA SUODATUS.....	13
5.1 Rikastelietteen pumppaus ja pumppausmäärät.....	14
5.2 Kuonarikasteen kiintoaineen erotus	15
6 RIKASTELIETTEEN SAKEUTUS	16
6.1 Sakeutus ja painovoimainen laskeutus.....	17
6.2 Flokkulaatio	19
6.3 Flokkien muodostuminen.....	20
6.4 Flokkien vahvuus ja hajoaminen	22
7 MITTAUSTEN VALMISTELEVAT TOIMENPITEET.....	22
7.1 Flokkulantin syöttölaitteisto.....	22
7.2 Kuivaamon flokkulanttilaitteiston testaus	23
7.3 Rikastelietteen kiintoainepitoisuus.....	25
7.4 Laskeutuskokeet	26
7.4.1 Laskeutuskoe minimaalisella tuotantoasteella.....	27
7.4.2 Laskeutuskoe maksimaalisella tuotantoasteella	29
7.5 Sakeuttimen ylitteen kiintoainepitoisuus ja haran momentti	31
8 MITTAUSJÄRJESTELYT JA MITTAUKSET	32
8.1 Flokkulantin syöttöpisteet	33
8.2 Näytteenottopisteet ja menetelmä	34
9 POLYMEERIN ANNOSTELU TUOTANNOSSA	36
10 TESTIAJOT.....	38
10.1 Testiajo 1 (syöttöpiste 1)	38
10.2 Testiajo 2 (syöttöpiste 1)	39
10.3 Testiajo 3 (syöttöpiste 1 ja 2).....	40
11 JOHTOPÄÄTÖKSET JA TULOSTEN TARKASTELU.....	40
12 KEHITYSEHDOTUKSET	42
LÄHTEET.....	43

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tavoitteena on kehittää Boliden Harjavalta Oy:n kuonarikasteen sakeutusprosessin flokkulointia kuivaamossa. Sakeutusprosessia tarkastellaan virtaavan tuotteen, prosessilaitteiden sijainnin ja prosessia tehostavien ratkaisujen näkökulmasta.

Työssä käydään läpi sakeutusprosessiin liittyvää teoriaa ja laitteistoa. Työ painottuu kuivaamon sakeuttimeen syötettävän kuonarikasteen flokkulointiin ja sen annosteluun. Työssä tutkitaan kuonarikasteen ominaisuutta laskeutua laskeutuskokeiden avulla. Flokkuloinnille määritellään myös kolmen testiajon perusteella parhaat syöttöarvot tuotantotilanteessa.

Aiheen valintaan vaikutti sakeutuksessa ongelmana ollut sakeuttimen ylitteen korkea kiintoainepitoisuus, uuden flokkulanttilaitteiston hankinnan ajoitus ja se, ettei kyseisestä prosessista ole tehty aikaisempaa tutkimusta.

2 BOLIDEN HARJAVALTA OY

Boliden Harjavalta Oy on Harjavallassa ja Porissa toimiva metallien sulatukseen erikoistuva yritys, jonka päätuotteina ovat kuparikatodi ja nikkelikivi. Harjavallan yksikössä sijaitsevat kupari- ja nikkelisulatto perustuvat liekkisulatusmenetelmään. Menetelmä on kehitetty ja otettu käyttöön Harjavallassa vuonna 1949. se on nykyään kuparirikasteiden sulatustavoista maailman yleisin (Boliden Harjavalta, n.d.).

Kuparisulaton prosessista valmistuva kuparianodilevy kuljetetaan Porin elektrolyysiin, jossa kupari erotetaan elektrolyytisesti muista metalleista. Kuparin lisäksi elektrolyysissä saadaan otettua talteen esimerkiksi kultaa ja hopeaa (Boliden Harjavalta, n.d.).

Harjavallassa sijaitseva nikkelisulatto on moderni, jatkuvasti kehittyvä prosessi. Sen rikkidioksidipäästöt ovat maailman muihin nikkelisulattoihin verrattuna alhaisimpia (Boliden Harjavalta, n.d.). Nikkelisulaton liekkiuunista ja sähköuunista otetaan talteen nikkelikivi, joka rakeistetaan ja myydään ilman jatkojalostusta. Liekkiuunin kuona panostetaan sähköuuniin, josta edelleen pelkistysvaiheessa erottuva kuona rakeistetaan ja myydään tai läjitetään (Halminen, 2021).

Vuonna 2022 Boliden Harjavalta Oy:n liikevoitto oli 181,1 miljoonaa euroa ja se työllisti 589 henkilöä (Asiakastieto, n.d.). Kupari- ja nikkelisulaton tuotantomäärät on esitetty alla olevassa kuvassa 1.

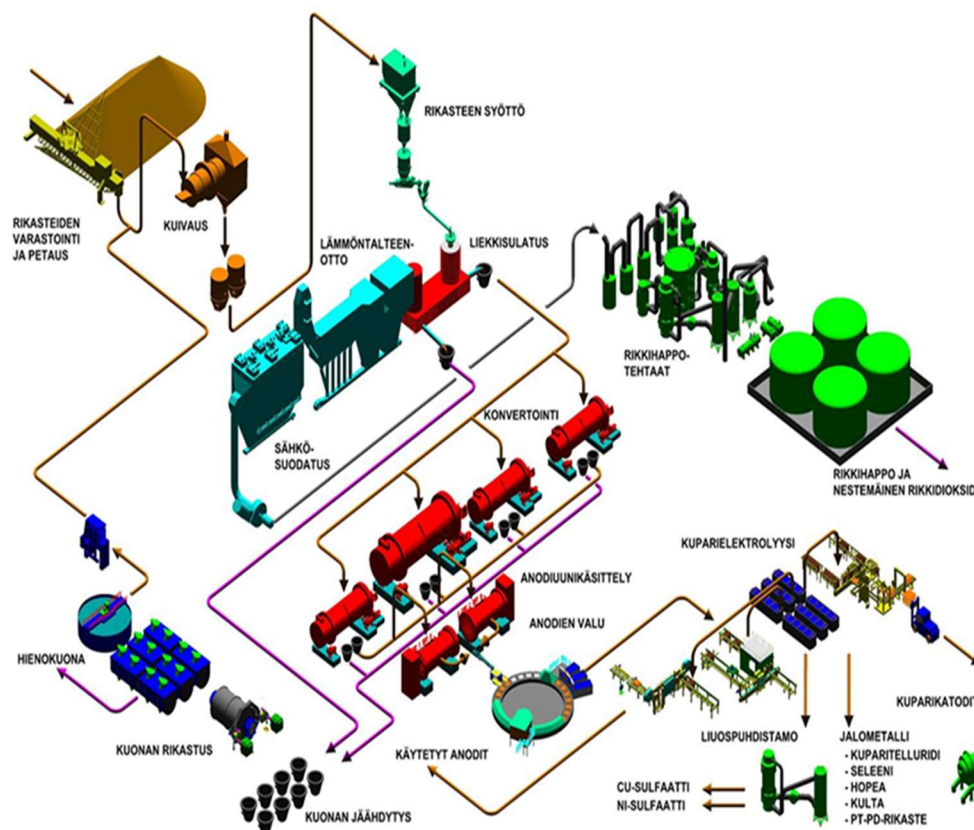
Boliden Harjavallan tuotantomäärät vuonna 2022	
Kupari	135 000 t
Nikkeli	26 000 t
Rikkihappo	720 000 t
Hopea	85 000 t
Kulta	9 000 t

Kuva 1. Kupari- ja nikkelisulaton tuotantomäärät vuonna 2022 (Boliden Harjavalta, n.d.).

Harjavallan suurteollisuuspuiston alueella Boliden Harjavalta tekee yhteistyötä monien eri alojen yritysten kanssa. Vuosihuoltoseisokin aikana sen työllistävä vaikutus on merkittävä, sillä tehdasalueelle saapuu vuosittain edustajia noin sadasta eri yrityksestä (Hallikainen, 2024).

3 KUPARISULATTO

Boliden Harjavallan kuparisulaton prosessi käynnistyy alla olevan kuvan (kuva 2) mukaisesti rikastevarastolla tarkkaan valituista rikasteista muodostetun rikasteseoksen luomisella. Varastoidut rikastelaadut sisältävät kosteutta, joka poistetaan kuparikuivaamossa sijaitsevan höyrykuivaimen avulla. Kuivausrummussa kuivattu rikasteseos kuljetetaan pneumaattisilla kuljettimilla vastaanottosiiloon ja rikastesiiloon, jossa rikasteseos on valmiina syötettäväksi liekkiuuniin (Lehtinen, 2023).



Kuva 2. Boliden Harjavallan kuparisulaton prosessikaavio (Boliden sisäinen verkko).

Rikastesiilosta seos syötetään syöttöruuvien avulla ilmaränniin, johon syötetään rikasteseoksen lisäksi murskaa ja prosessista talteen otettua pölyä. Ilmarännin fluidilevypohja kuljettaa materiaalit reaktiokuilun rikastepolttimelle. Rikastepoltin on liekkisulatusmenetelmän keskeisin laite, joka hajottaa rikasteen, murskan ja pölyn virtauksen happirikastetulla ilmalla. Happirikastettu ilma saadaan reagoimaan rikasteessa esiintyvien sulfidien kanssa. Hajotettu rikastevirtaus laskeutuu uuniin ja se muuttuu matkalla sulapisaroiksi. Palamisreaktiossa sulapisaroista muodostuu kiveä ja kuonaa. Palamisreaktiossa muodostuu myös rikkikaasuja, josta muodostetaan rikkihappoa myytäväksi tuotteeksi. Liekkiuuniin muodostuneesta kivistä on kuparia noin 65 %. Kuonan kuparipitoisuus on noin 1–3 %. Kivi on kuonaa painavampaa, jolloin se laskeutuu uunin pohjalle ja kuona jää pinnalle (Ruohonen, 2015, s. 8–9).

Sulaa kiveä ja kuonaa lasketaan uunin laskurei'istä ulos. Kiveä lasketaan kivi-rei'istä kuparisia laskurännejä pitkin kivipatoihin. Hallinosturi kuljettaa sulan kiven padoissa konvertteriuuneihin. Konvertteriuunit ovat akselinsa ympäri

pyöriviä lieriömäisiä ja muurattuja uuneja, joissa sulan kupariprosenttia nostetaan hapen ja hiekan avulla. Happirikastettua ilmaa puhalletaan konvertteripanokseen, jolloin sulassa esiintyvä rikki saadaan poistettua. Konvertteriuuneihin lisätään hiekkaa, jonka tehtävänä on sitoa sulassa esiintyvä rauta ja muut epäpuhtaudet. Näin muodostetaan kuona, joka kaadetaan uunin suuaukosta ulospatoihin. Prosessi toistetaan, kunnes kuonaa ei enää kerry. Valmiin konvertteripanoksen sulaa kutsutaan raakakupariksi, jonka kuparipitoisuus on noin 98 % (Ruohonen, 2015, s. 9).

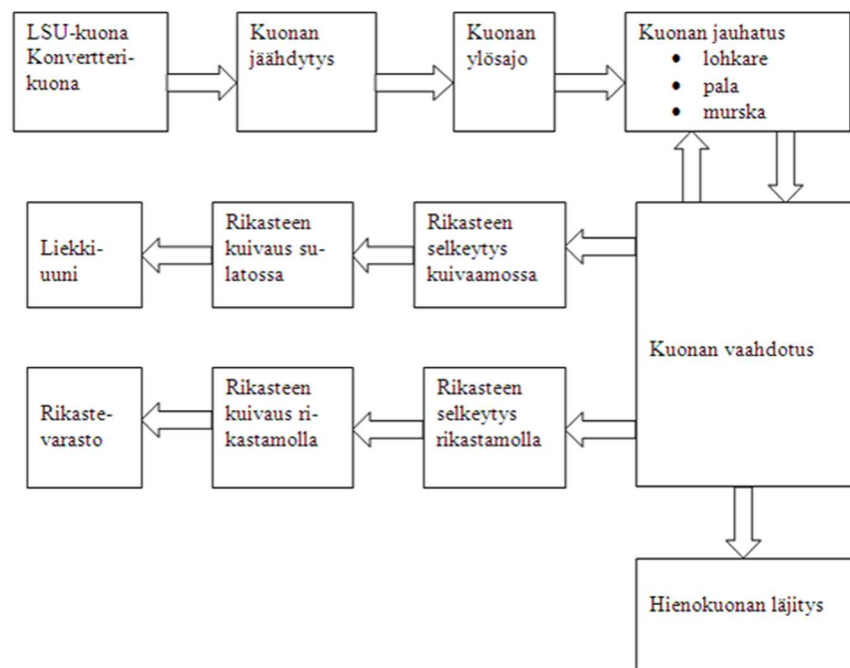
Konvertteriuunien jälkeen raakakupari siirretään anodiuuneihin, jotka ovat samankaltaisia muurattuja rakenteita. Propanin avulla sulasta pelkistetään edellisessä konvertointivaiheessa käytetty happi. Propanoinnin jälkeen valmiista anodiuunipanoksesta kaadetaan ulos kuona konvertoinnin tapaan, jonka jälkeen sula on valmis valettavaksi anodivalimossa (Myllykoski, 2008, s. 8).

Anodivalimossa sula kupari kaadetaan anodiuuneista laskurännejä pitkin karusellivalukoneelle, josta valetut anodit jäähdytetään ja varastoidaan. Valmiit tarkastetut anodilevyt nostetaan junavaunuihin ja lähetetään Porin elektrolyysiin jatkokäsittelyä varten (Myllykoski, 2008, s. 8).

Liekkiuunissa muodostuu kuonaa monin kerroin enemmän, kuin kiveä. Harjavallassa kuparisulatukselta muodostuva kuona rikastetaan kuonarikastamolla, jossa kuparin talteensaanti on parempi, kuin yleisesti sähköuuneilla (Pihkala, 2018, viitattu lähteessä Toivonen, 2021, s. 9). Sula kuona lasketaan kuonapatoihin ja kuljetetaan jäähdytyskentälle. Kuonapatoja jäähdytetään vesisuihkun alla 48 tunnin ajan, jonka jälkeen jäähtynyt kuona kipataan sille tarkoitetulle paikalle (Toivonen, 2021, s. 11).

4 KUONARIKASTAMON PROSESSI

Rikastamo on perustettu osaksi Boliden Harjavallan kuparisulaton prosessia vuonna 1965. Rikastamo ei ole välttämätön prosessi kuparin sulatuksessa, mutta se on iso osa tuotantoa. Rikastamon mahdollistama kiertotalous tekee toiminnasta kannattavampaa ja kestävämpää (Toivonen, 2021, s. 11). Rikastamo käsittelee kaiken sulatossa muodostuneen kuonan, rikastaa sen ja syöttää takaisin kuparisulaton prosessiin (Sahlman, 2015, s. 15). Toisin sanoen, rikastamon avulla kupariliikkiuunista lasketusta kuonasta saadaan uudelleen sulatettava tuote. Rikastamon prosessi nähdään alla esitetystä kuvasta (kuva 3).



Kuva 3. Kuonarikastamon prosessi. (Sahlman, 2015).

Kuonarikastamon prosessi alkaa kuonapatojen jäähdytyksestä. Vesisuihkujen alla jäähtynyt kuona murskataan ja syötetään kaatosuppilon ritilän läpi rikastamon ensimmäiselle hihnakuljettimelle eli patahihnalle. (Keskimäki, 2022, s. 13). Patahihnalle syötetty murskattu kuona lajitellaan kolmitasoseulan avulla lohcareiksi, paloiksi ja murskeeksi. Murske on lohcaremyllyihin pääsääntöisesti syötettävä partikkelikoko ja se varastoidaan sellaisenaan murskesiiloon. Keskimmäisen partikkelikoon omaavat palat murskataan erillisen

kartiomurskaimen avulla murskeen kokoiseksi. Lohkareilla on suurin partikkelikoko ja niitä syötetään sellaisenaan lohkaremyllyihin (Toivonen, 2021, s. 11–12).

Lohkaremyllyt 1 ja 2 ovat semi-autogeenisiä jauhatusmyllyjä, joiden tarkoituksena on jauhaa syötettävä materiaali haluttuun partikkelikokoon autogeenistä jauhatusmenetelmää hyödyntäen (Toivonen, 2021, s. 18–20). Lohkareet jauhavat lohkaremyllyihin syötettävän murskeen. Lohkareiden kuluessa ja jauhaantuessa myllyjen tehot laskevat, jolloin lohkareita syötetään lisää. Toisinaan lohkaravarastojen käydessä vähiin, voidaan niiden sijaan syöttää myllyihin rautaisia jauhatuskuulia. Lohkaremyllyihin syötetään prosessivesiä, joiden mukana jauhautuneet partikkelit läpäisevät myllyn peräpäässä sijaitsevan arinan. Arinan läpi kulkeutuva materiaali ja vesi sekoittuvat muodostaen lietteen. Liette putoaa kaivoon, josta se pumpataan hydrosykloniin, joka erottaa hienomat ja karkeammat partikkelit. Syklonin karkeampi alite päätyy takaisin lohkaremyllyyn ja hienojakoisempi ylite jatkaa matkaansa prosessin seuraavaan vaiheeseen eli vaahdotukseen (Sahlman, 2015, s. 17–18).

Rikastamo käyttää rikastusmenetelmänään flotaatiota, joka tapahtuu vaahdotuskennoissa. Kennojen pohjassa sijaitsevien sekoittajien roottoreihin syötetään ilmaa puhaltimen avulla, joka synnyttää kennon lietteessä ilmakuplia. Vaahdotuskennoissa käytetään kokoojakemikaalia, jonka tehtävä on koota kuparipartikkelit ja kiinnittää ne ilmakupliin. Kennoihin syötettävä vaahdotuskemikaali alentaa kennoissa olevan veden pintajännitystä, mikä parantaa partikkelien kiinnittymistä ilmakupliin. Kokoojakemikaali siis kokoaa kuparipartikkelit ja kiinnittää ne ilmakupliin, jotka nousevat kennon pinnalle. Pinnalle nousut materiaali kuoriutuu kennon päältä ylitekouruihin. Ylitekouruissa sijaitsevat vesisuihkut lopettavat vaahtoamisen rikkomalla ilmakuplat (Toivonen, 2021, s. 12–13).

Pinnalle nousseet partikkelit kulkeutuvat ylitteenä rikastekaivoon ja kennojen alite jatkaa matkaansa seuraavaan vaahdotuskennoon. Vaahdotuskennoilla esiintyvät partikkelit, jotka eivät kiinnity ilmakupliin, päätyvät alitteen mukana sekundäärijauhatukseen. Sekundäärijauhatuksessa palamylyt jauhavat

lohkaremyllyjen tapaan lietteen suuremmat partikkelit uudelleen. Palamylyissä jauhatus tapahtuu rautaisen jauhatuskuulien avulla. Palamylyjen jälkeän syklonin avulla erotettu hienompi materiaali palaa uudelleen vaahdotuksen esi- ja ripekennoille, joiden ylite johdetaan rikastekaivoon. Syklonin alite jää kiertämään palamylyihin (Toivonen, 2021, s. 13–14).

Rikastekaivoon ajetaan jokaiselta kennolta kerätyt partikkelit ylitteenä. Ylitteen kuparipitoisuus vaihtelee 20–30 %:n välillä. Vaahdotuskennoilta ylite kulkeutuu rikastekaivoon. Alitetta kierrätetään niin kauan, kunnes siinä ei ole enää kemikaaleihin reagoivaa materiaalia. Reagoimaton materiaali on kuonarikastamon jätettä ja sitä kutsutaan hienokuonaksi. Jäte johdetaan jätekaivoon ja sen kuparipitoisuutta seurataan Courier-analysointorin avulla. Jätteen kuparipitoisuutta pyritään pitämään mahdollisimman pienenä (Sahlman, 2015 s. 19–21).

Rikaste jatkaa matkaansa rikastelinjoja pitkin kohti kuparisulaton kuivaamoa. Tätä lietettä kutsutaan kuonarikasteeksi. Kuonarikasteen kiintoaine erotetaan sakeuttimessa, josta se pumpataan alitteena Larox-painesuodattimelle. Alitteesta erotetaan vesi Laroxin avulla ja kiintoaine jatkaa matkaansa takaisin kuivaimen (Toivonen, 2021, s. 14).

5 KUONARIKASTEEN SAKEUTUS JA SUODATUS

Kuonarikasteen sakeutus- ja suodatusprosessi alkaa kuonarikastamon rikastepumpuista. Rikastepumput 1 ja 2 kuljettavat lietemäisen rikasteen sakeuttimeen, jonka alite pumpataan painesuodattimelle (Toivonen, 2021, s. 14).

Painesuodattimena tässä prosessissa toimii Larox-painesuodatin. Larox tuottaa lietteen kiintoaineesta kuivan kakun ja tuote palaa takaisin liekkisulatusprosessiin (Toivonen, 2021, s. 14).

5.1 Rikastelietteen pumppaus ja pumppausmäärät

Rikastamon käydessä maksimaalisella tuotantoasteella on sen molempien lohkaremyllyjen oltava ajossa. Rikastetta pumpataan sulaton kuivaamon sakeuttimeen noin 50–60 m³ tunnissa. Haran moottorin suuresta momentista voidaan päätellä sakeuttimessa laskeutuneen sakkapatjan olevan korkealla, jolloin rikasteen pumppausta yleensä rajoitetaan (Boliden Harjavallan sisäinen verkko).

Rikastamon ja kuivaamon välillä on kaksi yli 600 metrin pituista putkilinjaa, joiden reitti on esitetty alla olevassa kuvassa (kuva 4). Rikaste pumpataan rikastekaivosta kuivaamon sakeuttimeen (Toivonen, 2021, s. 14). Lietettä pumpaavat rikastepumput 1–4 ovat tehokkaita keskipakopumppuja. Pumput 1 ja 3 ovat perättäisiä ja ne pumpaavat rikastetta rikastelietelinjaa 1 pitkin. Pumput 2 ja 4 pumpaavat vastaavasti linjaa 2 pitkin. Toisen linjan vikaantuessa otetaan toinen linja ja sen pumput ajoon (Keskimäki, 2022, s. 14–15).



Kuva 4. Rikastamon kuonarikastelinjojen etäisyys kuivaamon sakeuttimesta. (Google maps, 2024)

Kuivaamon sakeutus- ja suodatusprosessi sijaitsee kaukana rikastamon rikastekaivosta ja rikastepumpuista. Kuivaamon sakeuttimen tai Larox-suodattimen vikaantuessa rikastamo ottaa oman sakeutus- ja suodatusprosessinsa ajoon (Sahlman, 2015, s. 20).

5.2 Kuonarikasteen kiintoaineen erotus

Rikastekaivon liete on pumpattavassa olomuodossa. Rikasteen kiintoaine ja vesi erotetaan toisistaan ensin joko kuivaamon tai rikastamon sakeuttimella. (Keskimäki, 2022, s. 14).

Sakeuttimessa lietteen kiintoaine laskeutuu sakeuttimen pohjalle, josta se pumpataan Laroxin syöttösäiliöön ja edelleen Larox -painesuodattimeen. Painesuodattimen tehtävänä on erottaa sakeuttimen alitteesta kiintoaine ja vesi toisistaan mahdollisimman tehokkaasti. Syöttösäiliön jälkeisen syöttöpumpun avulla alite pumpataan Laroxissa olevien pakkojen väliin, jotka näkyvät alla olevassa kuvassa (kuva 5). Laite erottaa veden puristamalla suodattimen pakat yhteen. Pakkojen ollessa toisissaan kiinni, pumpataan niiden välissä oleviin kalvoihin vettä, jolloin veden erotus tehostuu. Lopuksi Larox kuivaa pakkojen väliin jäävän sakan puhaltamalla paineilmaa pakkojen läpi. Valmis tuote ajetaan Laroxin pakkojen välistä kiertävää hihnaa pyörittämällä pudotussuppiloihin ja sieltä hihnakuljettimella edelleen kuparikuivaamon kuivaimeen (Torvela, 2023, s. 16–20).



Kuva 5. Metso Larox PF filter. (Metso, n.d.)

Jos kuparisulatolla ilmenee ongelmia, jotka johtavat kuivauksen ja sen myötä kuivaamon Laroxin tuotannon katkeamiseen, käännetään rikastelietteen pumppaus rikastamon omaan sakeuttimeen. Rikastamon sakeutin on

samankaltainen, mutta kooltaan pienempi sakeutin, ja sen alite pumpataan rikastamon omalle Larox-suodattimelle (Toivonen, 2021, s. 14).

Koska rikastamon Larox on kooltaan pienempi, ei siinä ole kapasiteettia käsittelemään rikastamon korkeita tuotantomääriä. Tällöin pumppauksen virtausta lasketaan ja rikastamon laitteilla sakeutettu sekä suodatettu sakka läjitetään. Myöhemmin kuivaamon Laroxin tuotannon uudelleen käynnistyessä, käännetään rikastelietteen pumppaus takaisin kuivaamon sakeuttimeen. Rikastamalla läjitetty sakka syötetään takaisin prosessiin rikastevaraston kautta (Keskimäki, 2022, s. 37–38).

Kuonarikasteen tilavuudesta suurin osa on rikastamon prosessista peräisin olevaa vettä. Vesi palautuu kuparikuivaamon sakeuttimen pinnalta ylitekouruihin, joista se valuu palautusvesisäiliöön. Palautusvesisäiliöstä vesi pumpataan takaisin rikastamolle käsiteltäväksi (Boliden Harjavallan sisäinen verkko).

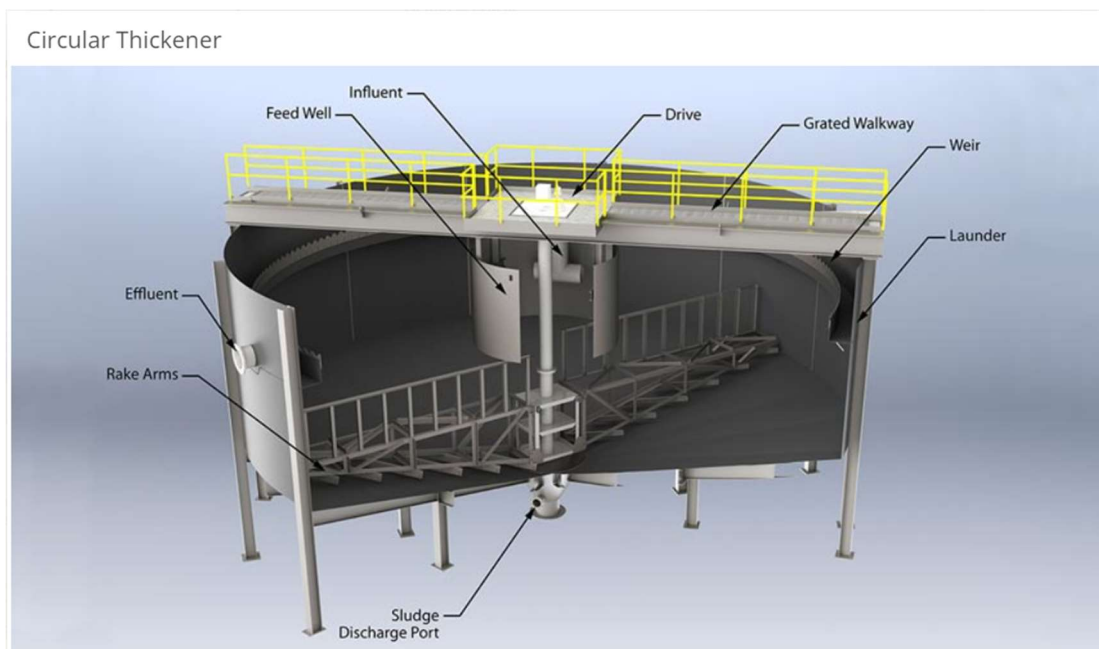
6 RIKASTELIETTEEN SAKEUTUS

Boliden Harjavallan kuparituotannossa rikastelietteellä tarkoitetaan liekkiuunin kuonasta rikastamalla rikastetun kiintoaineen ja veden suspensiota. Teollisuudessa lietteellä tarkoitetaan nestemäistä seosta, johon on sekoittunut hienojakoista ainesta suurina määrinä (Tilastokeskus, n.d.).

Kiintoaineen erotuksessa pyritään erottamaan neste ja hienojakoinen aines toisistaan. Tämän vaiheen toimiessa täydellisesti, neste virtaa yhteen suuntaan ja kiinteä aines toiseen. Mikään kiintoaineen erotusmenetelmä ei kuitenkaan toimi täydellisesti, vaan kiintoainetta saattaa kulkeutua nesteen mukana (Svarovsky, 1981, s.1).

6.1 Sakeutus ja painovoimainen laskeutus

Sakeutus suoritetaan yleensä alla olevan kuvan (kuva 6) mukaisessa lieriön mallisessa sakeuttimessa. Sakeutus perustuu lietteen kiintoaineen laskeutukseen eli sedimentointiin. Siinä lietteen hiukkaset laskeutuvat painovoiman vaikutuksesta esimerkiksi sakeuttimen pohjalle. Neste jää pinnalle ja poistuu reunoilla olevien ylittekourujen kautta. Sakeuttimissa käsitellään yleensä korkean kiintoainepitoisuuden omaavaa syötettä ja niiden tavoitteena on saavuttaa paksu alite. Laskeutumisen tehostamiseksi käytetään usein flokkuloivia aineita, joista kerrotaan lisää kohdassa 6.2 (Svarovsky, 1981, s.4 ja s.126).

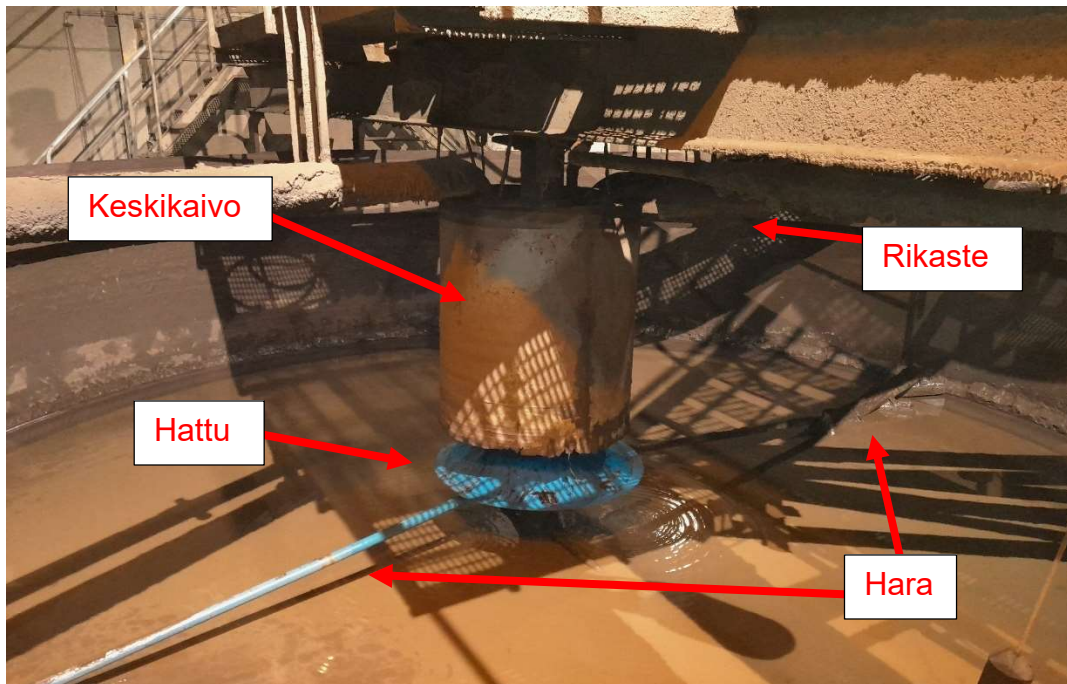


Kuva 6. Lieriönmallinen sakeutin (Monroe Environmental).

Boliden Harjavallassa käytetään sakeuttimia monessa prosessissa. Sakeuttimiin ajetaan kiintoainepitoisia nesteitä ja pohjalle laskeutuva kiintoaine otetaan talteen. Kuparikuivaamon sakeutin on tilavuudeltaan noin 300 m³. Sen avulla kerätään noin 10–15 tonnia kuparipitoista sakkaa tunnissa riippuen kuonarikasteen pumppauksen virtauksesta ja kiintoainepitoisuudesta (Boliden Harjalvalta sisäinen verkko).

Kuivaamoon tulevat rikastelietelinjat päättyvät kuivaamon sakeuttimen keskikaivoon, joka näkyy alla olevassa kuvassa (kuva 7). Keskikaivo on

lieriömäinen pohjaton rakenne, joka sijaitsee sakeuttimen keskellä ja jonka yläosa on sakeuttimen pinnan yläpuolella. Kaivoon pumpattu liete kulkeutuu kaukalon ali sakeuttimeen. Kaukalon alapuolella oleva kartion muotoinen ”hattu” levittää pumpatun lietteen kauemmas sakeuttimen keskiöstä. Keskikaivon tarkoituksena on rauhoittaa ja tasata lietteen virtaus ja mahdollistaa kiintoaineen tasaisen leviämisen sakeuttimeen (Westech, n.d.).



Kuva 7. Kuivaamon sakeuttimen keskikaivo ja ”hattu” (Boliden Harjavalta Oy, 2024)

Sakeuttimen pohjalla sijaitsee jatkuvasti pyörivä hara, jonka tehtävänä on kuljettaa sakeuttimen pohjalle laskeutuva kuparipitoinen sakka lähemmäs sakeuttimen keskiötä. Hara koostuu kahdesta siivekkeestä, joihin on kiinnitetty laippoja viistoon siivekkeeseen nähden. Näin sakka saadaan kuljetettua sakeuttimen keskiössä sijaitsevaa pohjakartiota kohti, josta sakka pumpataan alitepumpun avulla valmentimeen (Savona Equipment, 2018).

Sakeuttimen laskeutusmenetelmä on painovoimainen, jonka avulla raskaampi kiintoaine laskeutuu sakeuttimen pohjalle. Laskeutumista tehostetaan lietteen esikäsitteilyllä, jossa käytetään erilaisia kemikaaleja kuten flokkulanteja ja coagulantteja. Sakeuttimen toimintaa voidaan arvioida esimerkiksi ylitteen kirkkaudesta ja alitteen tiheydestä. Yleensä samea ylitte kertoo huonosta

kiintoaineen laskeutumisesta, jolloin partikkelien yhdistyminen jää vajavaiseksi (Westech, n.d.).

Kuivaamon sakeuttimen laskeutusprosessi on jatkuvatoiminen. Sakeuttimen mittalaitteet mittaavat haran pyöritysmoottorin kuormaa, haran momenttia, alitteen tiheyttä sekä alitepumpun kuormaa. Haran momentin seuranta on tärkeää, sillä sakeuttimen alaosaan keräytyvän aineksen tiheys voi olla rajoittavana tekijänä kiintoaineen poistossa (Knight, 2017).

6.2 Flokkulaatio

Termit 'flokkulaatio' ja 'koagulaatio' ymmärretään usein tarkoittavan samaa asiaa. Kuitenkin vesienkäsittelyyn liittyvässä terminologiassa nämä kaksi ovat erinäisiä prosesseja. Koagulaatiota käytetään lietteissä niiden hiukkasten laskeutumiseen, jotka ovat niin pieniä, ettei ne laskeudu painovoiman vaikutuksesta. Koagulaatiossa hienojen hiukkasten varauksia pienennetään, minkä ansiosta hiukkaset voivat lähestyä toisiaan. Flokkulaatio tarkoittaa suurempien ryhmittymien eli flokkien muodostumista, kun lietteeseen lisätään polyelektrolyyttejä (Svarovsky, 1984, s. 64, 76 ja 80).

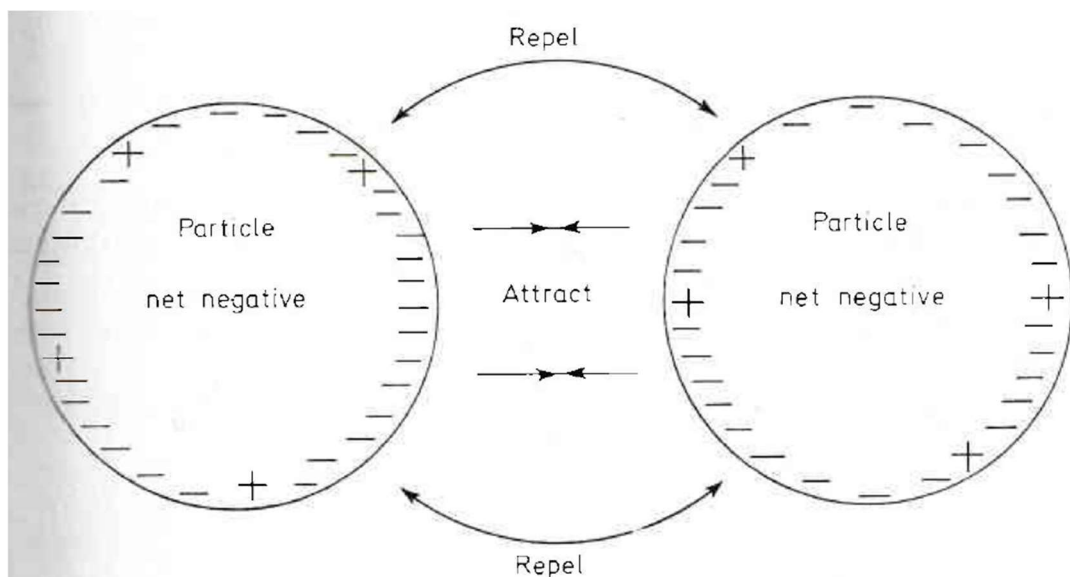
Flokkulaatio on prosessi, jossa suspension partikkelikokoa pyritään kasvattamaan. Partikkelit yhdistyvät muodostaen flokkeja, jonka vaikutuksena kiintoaineen laskeutumisnopeus suspensiossa kasvaa (Svarovsky, 1984, s.80). Stokesin lain mukaan partikkelin koko ja tiheys vaikuttavat laskeutumisnopeuteen (Pikkarinen, 2017, s. 8–9, viitattu lähteessä Pihkala, 1998, s. 37).

Flokkulaatio tapahtuu jo sakeuttimen keskikaivossa, jonka tehtävänä on rauhoittaa tulevan lietteen virtaus ja ohjata se vertikaalisesti sakeuttimeen horisontaalisen virtauksen sijaan. Keskikaivo mahdollistaa lietteen kiintoaineen flokkulaation ja laskeutumisen (Johnson & Accioly, 2017, s.1).

6.3 Flokkien muodostuminen

Flokkulantin tehtävä on muodostaa lietteen hiukkasista suurempia ryhmittymiä eli flokkeja. Kuonarikastelietteen partikkelit ovat sähkömagneettiselta varaukseltaan negatiivisia, jolloin kationinen flokkulantti osittain neutralisoi partikkelien pintavarausta (Svarovsky, 1981, s.65).

Kirjallisuudessa käytetään erilaisia termejä flokkulaatioissa partikkelien välillä tapahtuville mekanismeille. Yleensä flokkulaatioissa kuitenkin viitataan kahteen eri mekanismiin, jotka ovat partikkelien neutraloituminen ja silloitus. Partikkelien neutraloitumisessa pääosin negatiivisen varauksen omaavan partikkelin pinnalle muodostuu yksittäisiä positiivisia varauksia (Hogg, 2013, s. 3). Partikkelien välinen toisiaan hylkäävä poistovoima pienenee ja samalla partikkelien välille kehittyy toisiaan puoleen vetäviä voimia alla olevan kuvan (kuva 8) mukaisesti (Svarovsky, 1981, s.65).

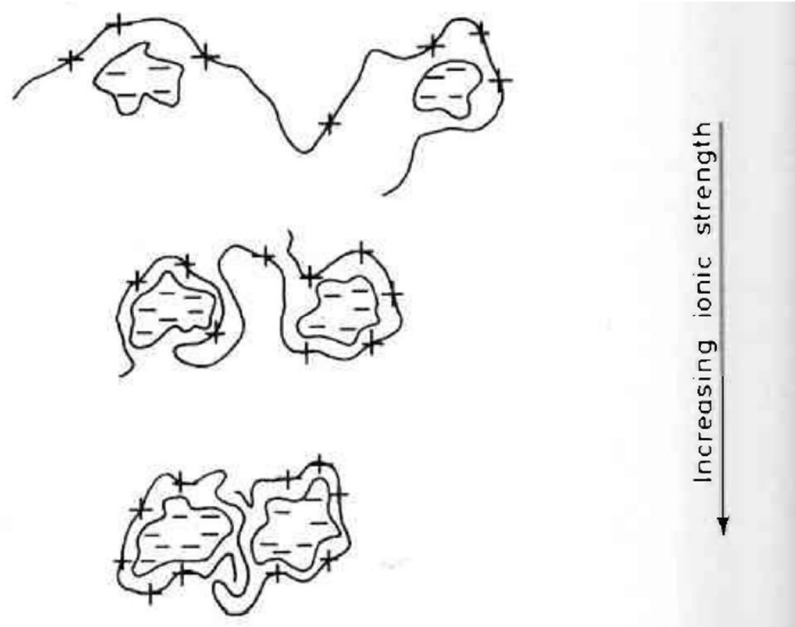


Kuva 8. The approach of two like-charged particles (Svarovsky, 1981, s. 65).

Partikkelien neutraloituminen saa aikaan yleensä vain pieniä flokkeja. Silloitusta tapahtuu silloin, kun polymeerimolekyylin kiinnittyy useampia partikkeleita samanaikaisesti muodostaen suurempia flokkeja (Hogg, 2013, s. 39).

Flokkulaatio koostuu sekä partikkelin pintavarausten neutraloitumisesta että silloituksesta. Jotta pintavarausta voidaan neutralisoida, on tärkeää valita

oikean varauksen omaava polyelektrolyytti (Svarovsky, 1981, s. 82). Alla olevassa kuvassa (kuva 9) esitetään, miten flokkulaatio toimii pintavarausten neutraloitumisen ja silloituksen avulla.



Kuva 9. Flocculation by charge neutralization and bridging (Svarovsky. 1981, s. 82).

Silloituksessa käytetään normaalisti suuren molekyyli­massan omaavia polymeerejä. Nämä polymeerit ovat tavallisesti polyakryyliamideja (Hogg, 2013, s. 3).

Jotta flokit voivat muodostua, on partikkelien ja polymeerimolekyylien törmäiltävä toisiinsa. Käytännössä tämä tarkoittaa flokkulantin ja suspension sekoittumista keskenään. Tutkimuksissa on havaittu polymeerimolekyylien levittäytyvän paremmin suspensiossa esiintyvien partikkelien ympärille sekoituksen voimakkuutta nostaessa. Ylimääräisestä sekoittamisesta tai siitä johtuvista liian suurista leikkausvoimista havaittiin olevan haittaa, sillä flokkien heikot liitokset ovat niille alttiita (Weir & Moody, 2002, s. 2–4).

6.4 Flokkien vahvuus ja hajoaminen

Flokin vahvuus riippuu sen rakenteesta ja koosta. Flokkulaatiossa pyritään kasvattamaan flokin kokoa parantaakseen tämän laskeutumista sakeuttimessa. Tuotannossa on erilaisia voimia esimerkiksi pumpuissa, joiden leikkaavat voimat voivat vaikuttaa negatiivisesti suurempiin flokkeihin. Flokki rikkoutuu, jos siihen kohdistuva leikkaava voima on suurempi, kuin flokkia kassassa pitävät voimat (Boller & Blaser, 1998, viitattu lähteessä Jarvis, 2005, s. 2). Mekaaninen hajoaminen on rajallista, kun polyakryyliamidin virtausnopeudet ovat alhaisia. Hajoamisen pitäisi olla suurempaa, kun virtausnopeudet ovat huomattavasti suurempia (Gumpenberger, 2012, viitattu lähteessä, Xiaong ym., 2018, s. 3.)

Ympäristöjärjestelmissä käytetty polyakryyliamidi on erittäin korkeamolekyylinen. Tiedetään, että se voi hajota monilla eri mekanismeilla. Hajoaminen voi mahdollisesti johtaa akryyliamidimonomeerin vapautumiseen, joka on tunnettu toksiini ja mahdollinen karsinogeeni. (Xiaong ym., 2018, s. 3).

Tällä hetkellä on kuitenkin suhteellisen vähän tietoa saatavilla hajoamistuotteiden yksityiskohtaisista kemiallisista ominaisuuksista, joita syntyy polyakryyliamidin mekaanisen hajoamisen yhteydessä (Xiong ym., 2018, s. 6)

7 MITTAUSTEN VALMISTELEVAT TOIMENPITEET

7.1 Flokkulantin syöttölaitteisto

Tuotannossa flokkulanttia syötetään erillisten syöttölaitteistojen avulla. Ne ovat kokonaisuuksia, joissa voidaan valmistaa flokkulanttipanos halutulla liuoksen kiintoainepitoisuudella. Flokkulantin syöttölaitteistoja on erilaisia, mutta tässä työssä käsitellään laitteistoa, joka käyttää polymeeria jauhemaisessa muodossa. Flokkulantin syöttölaitteistosta puhutaan tässä työssä nimellä flokkulanttilaitteisto. Alla olevassa kuvassa (kuva 10) nähdään kuivaamon

flokkulanttilaitteiston kaltainen laitteisto, joka sijaitsee Boliden Harjavallan kuorarikastamolla.



Kuva 10. Flokkulanttilaitteisto rikastamolla (Boliden Harjavalta Oy)

Kuivaamon flokkulanttilaitteiston toiminta perustuu toistuvaan sekvenssiin. Sekvenssi alkaa ylimmäisen säiliön eli yläsäiliön täytöllä. Syöttöveden pumppu käynnistyy ja yläsäiliöön virtaa vettä. Tietyn rajan saavutettuaan käynnistyy polymeerin syöttöruuvi, joka syöttää polymeerijauhetta jauhesäiliöstä syöttövesilinjaan. Yläsäiliössä sijaitsee sekoittaja, joka varmistaa polymeerin liukemisen veteen. Kun yläsäiliö on täynnä, aloittaa flokkulanttipanos kypsymisen. Panoksen kypsymisaika on tyypillisesti 45–90 minuuttia (SNF, 2024).

Yläsäiliön tyhjennysventtiili avautuu, kun asetettu kypsymisaika päättyy ja alasäiliön pinta saavuttaa alarajan. Valmis flokkulanttipanos tyhjenee alasäiliöön ja se on valmis syötettäväksi prosessiin. Kun yläsäiliön tyhjennysventtiiliin menee kiinni, aloittaa laitteisto automaattisesti uuden panoksen tekemisen.

7.2 Kuivaamon flokkulanttilaitteiston testaus

Ennen kuivaamon flokkulanttilaitteiston testausta ilmeni erillisiä ongelmia. Useiden laitteiston komponenttien huomattiin olevan vaurioituneita talven

jäljiltä. Flokkulanttilaitteisto oli sijoitettu omaan varastotilaan. Tilan lämmitystä oli tarve tehostaa, jotta varsinainen testaus päästiin aloittamaan. Vaurioituneet komponentit uusittiin ja kaikkien liitosten tiiveys testattiin. Pienillä muutoksilla saatiin flokkulanttilaitteisto toimimaan automaattisesti.

Flokkulanttilaitteiston jauhosäiliö täytettiin uudella flokkulantilla, avattiin syöttöveden käsiventtiilit ja käynnistettiin automaattinen sekvenssi. Sekvenssi käynnistyi ongelmitta ja ensimmäinen flokkulanttipanos saatiin syötettyä rikastelietelinjaan.

Polymeerijauheen syöttöruuvi puhdistettiin ja sen syöttömäärä tarkastettiin. Panoksen kiintoainepitoisuus asetettiin haluttuun arvoon eli 0,2 %:iin, jolloin syöttöruuvi syöttää 2 grammaa polymeerijauhetta litraan vettä. Kuivaamon flokkulanttilaitteiston panoksen suuruudeksi asetettiin 385 litraa, jolloin syöttöruuvin pitäisi syöttää 770 grammaa polymeerijauhetta käynnistyessään. Sekvenssi käynnistettiin ja jauhe otettiin talteen, jonka jälkeen se punnittiin. Syöttöruuvi syötti kyseisen sekvenssin aikana 700 grammaa polymeerijauhetta, jolloin valmiin flokkulantin kiintoainepitoisuudeksi määräytyi 0,18 %.

Syöttöveden lämpötila testattiin asettamalla lämpötilamittaus laitteiston syöttövesiputkiston avoimeen päähän. Syöttöveden lämpötilamittausten keskiarvoksi saatiin +29 celsiusastetta yhden panoksen valmistumisen aikana.

Kuivaamon flokkulanttilaitteiston virtausmittauksen avulla laskettiin syötettävän polymeerin määrä suhteessa virtaavaan rikasteeseen. Rikastamon laitteistossa ei ole virtausmittausta, joten tässä työssä käytettiin jo olemassa olevaa aineistoa laitteiston pumppujen virtauksista. Alla olevasta taulukosta (taulukko 1) nähdään rikastamon flokkulanttilaitteiston pumpun virtaukset tietyllä ohjauksella.

Taulukko 1. Rikastamon flokkulanttilaitteiston pumpun ohjaus (Boliden Harjavallan sisäinen verkko)

Pumpun ohjaus (%)	Testi 1 (s)	Testi 2 (s)	Ka (s)	Tuotto (m ³ /h)
0	111	112	112	0,323
10	95	97	96	0,375
20	80	82	81	0,444
40	62	62	62	0,581
60	50	50	50	0,720
80	43	43	43	0,837
90	39	37	38	0,947
100	35	34	35	1,043

Rikastamon flokkulanttilaitteiston pumput ovat ruuvipumppuja ja niiden virtaus on merkittävästi suurempi flokkulanttia pumpatessa veteen verrattuna. Pumpun virtaus nousee pumpattavan aineen viskositeetin kasvaessa tiettyyn pisteeseen saakka.

7.3 Rikastelietteen kiintoainepitoisuus

Rikastelietteen kiintoainepitoisuus selvitettiin Boliden Harjavallan laboratorion toimesta. Taulukoista (taulukot 2 ja 3) nähdään tuotantoasteen vaikutus rikastelietteen kiintoainepitoisuudessa. Alla olevassa taulukossa (taulukko 2) on esitetty rikastelietteen kiintoainepitoisuus ja lohkaremyllyjen tehot rikastamon käydessä minimaalisimmalla tuotantoasteella.

Taulukko 2. Rikastelietteen kiintoainepitoisuus ja lohkaremyllyjen tehot 25.04.2024 (Boliden Harjavallan laboratorio ja DNA-prosessinohjausjärjestelmä).

näyte	LM2 teho (kW)	LM1 teho (kW)	kiintoainepitoisuus (g/L)
näyte 1	826	-	77,4
näyte 2	840	-	76,4
näyte 3	823	-	114,7
näyte 4	830	-	82,8
näyte 5	833	-	74,9
näyte 6	830	-	88,2
ka	830	-	85,7

Alla olevassa taulukossa (taulukko 3) on esitetty rikastelietteen kiintoainepitoisuus ja lohkaremyllyjen tehot rikastamon tuotannon käydessä maksimaalisella tuotantoasteella. Lohkaremyllyn 2 tehot ovat pienemmät, kuin lokaremyllyn 1, sillä se on kooltaan pienempi. Lohkaremyllyjen tehot laskevat, kun myllyyn syötettävä kuona jauhaantuu ja poistuu myllystä. Tehojen laskiessa ne nostetaan ohjausarvoon syöttämällä myllyyn lisää kuonaa.

Taulukko 3. Rikastelietteen kiintoainepitoisuus ja lohkaremyllyjen tehot 03.05.2024 (Boliden Harjavallan laboratorio ja DNA-prosessinohjausjärjestelmä).

näyte	LM2 teho (kW)	LM1 teho (kW)	kiintoainepitoisuus (g/L)
näyte 7	842	850	230,7
näyte 8	822	853	219,4
näyte 9	828	852	194,3
näyte 10	829	866	197,5
näyte 11	850	846	236,0
näyte 12	827	862	202,8
ka	833,0	854,8	213,4

Taulukkoja 2 ja 3 verrattaessa keskenään voidaan huomata, että rikastelietteen kiintoainepitoisuus on lähes 2,5 kertainen kun molemmat lohkaremyllyt ovat käynnissä. Molemmista taulukoista nähdään myös, ettei lohkaremyllyjen tehoissa ollut huomattavaa vaihtelua näytteenoton aikana.

7.4 Laskeutuskokeet

Rikasteliettele tehtiin laskeutuskokeet tuotetoimittajan toimesta keväällä 2024. Laskeutuskokeet suoritettiin kirkaassa tilavuudeltaan yhden litran astiassa. Flokkulanttina toimi prosessissa jo käytössä oleva tuote.

Ensin rikastelietettä otettiin rikastamon rikastelinjasta kymmenen litran ämpäriin. Flokkulanttia ei ollut mukana rikastelietenäytteessä. Seuraavaksi puhtaan ja kirkaaseen näytteenottolasiin lisättiin ämpäristä rikastelietettä, jonka sekaan annosteltiin flokkulanttia kiintoainepitoisuudeltaan 0,2 % eli 2000 g/m³. Testin tavoitteena oli löytää flokkulantin oikea annostelumäärä tietyllä

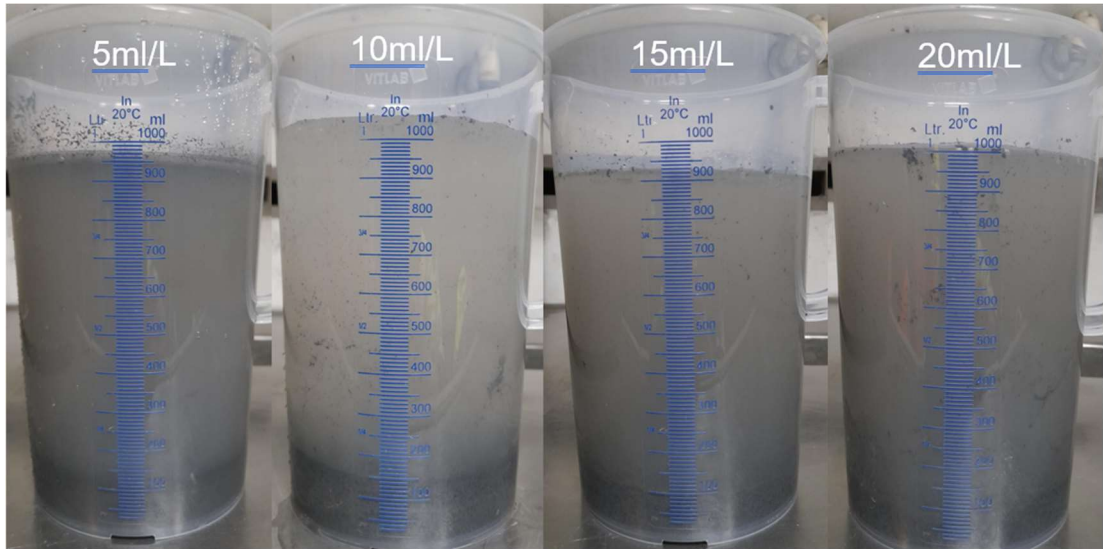
kiintoainepitoisuudella. Koe toistettiin lisäämällä flokkulantin määrää, kunnes flokkulantti alkoi reagoimaan. Lopputuloksena saatiin vahva flokki ja kirkas ylite, kun flokkulantin annostelumäärä oli 5 L/m^3 rikastelietettä. Edeltä mainituissa laskeutuskokeissa käytettiin rikastelietteen näytettä, joka oli otettu suoraan rikastelietelinjasta rikastamon tuotannon käydessä minimaalisella tuotantoasteella. Kokeista havaittiin, että käytössä oleva on sopiva rikastamon rikastelietteen laskeuttamiseen.

Flokkulantin annostelu selvitettiin laskeutumiskokeiden avulla erikseen rikastamon tuotannon käydessä minimaalisella ja maksimaalisella tuotantoasteella. Tuotannon ollessa minimissä, syötettiin murskattua kuonaa vain yhteen lohkaremylyyn (LM2). Maksimaalisen tuotannon aikana molempiin lohkaremylyihin syötettiin murskattua kuonaa ja rikastekaivoon syötettiin myös kahta muuta kiintoainepitoista lietettä. Laskeutuskokeet suoritettiin tuotantotiloissa ja lohkaremylyjen tehot kirjattiin ylös sekä rikastelietteen kiintoainepitoisuus analysoitiin Boliden Harjavallan laboratorion toimesta.

7.4.1 Laskeutuskoe minimaalisella tuotantoasteella

Ensimmäisenä suoritettiin laskeutumiskokeet minimaalisella tuotantoasteella. Laskeutuskokeet suoritettiin samalla menetelmällä, kuin keväällä 2023. Kokeet tehtiin lisäämällä kirkkaaseen yhden litran astiaan rikastelietettä ja valmista kiintoainepitoisuudeltaan 0,2 %:sta flokkuanttia. Flokkulantin kiintoainepitoisuus analysoitiin Boliden Harjavallan laboratoriossa.

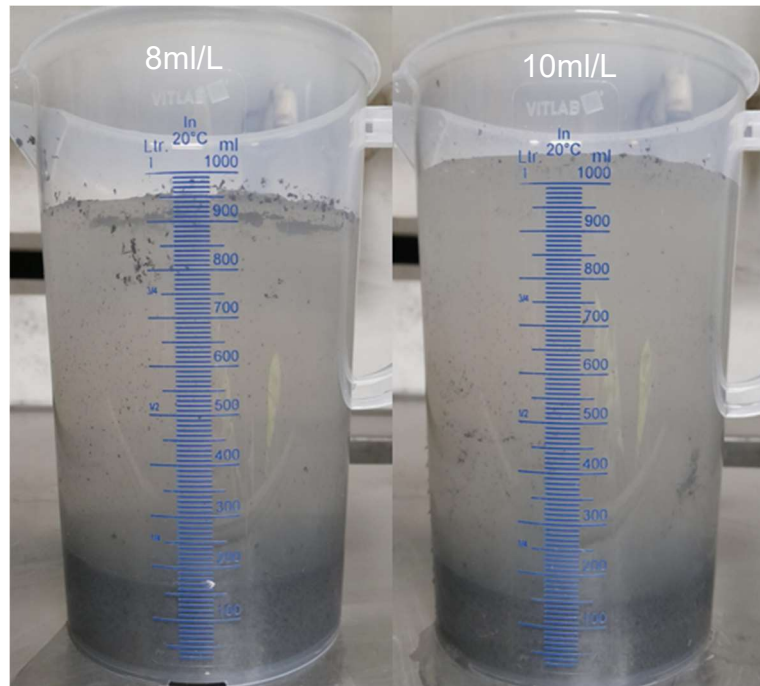
Rikastelietteen ja flokkulantin lisäyksen jälkeen astian sisältö kaadettiin toiseen astiaan ja tämä toimenpide toistettiin viisi kertaa. Näin varmistettiin polymerin molekyylien ja suspension partikkelien sekoittuminen keskenään. Astiasta otettiin kuva kolmen minuutin kuluttua sekoittamisesta. Alla olevassa kuvassa (kuva 11) oli vasemmalla olevaan astiaan lisätty 5 ml flokkulanttia, jolloin annostus oli 5 L/m^3 . Sama toimenpide tehtiin neljä kertaa nostaen flokkulantin annostusta aina 5 millilitralla.



Kuva 11. Yhden lohkaremyllyn (LM2) rikastelietteen laskeutuskokeet 25.4.2024 flokkulantin eri annostuksilla (Boliden Harjavalta Oy).

Kuvasta 11 voidaan nähdä, että ylite oli kirkkaimmillaan ja rikastepatja selvimmmin havaittavissa flokkulantin annostuksen ollessa 10 L/m³. Laskeutuskokeesta havaittiin myös, että ylite oli sameampaa flokkulantin annostuksen ollessa yli 10 L/m³.

Flokkulantin annostelua vähennettiin kymmenestä millilitrasta kahdeksaan millilitraan ja vertailtiin tuloksia keskenään. Alla olevasta kuvasta (kuva 12) voidaan todeta, että kahdeksan millilitran annostuksella ylite on kirkkaampaa.

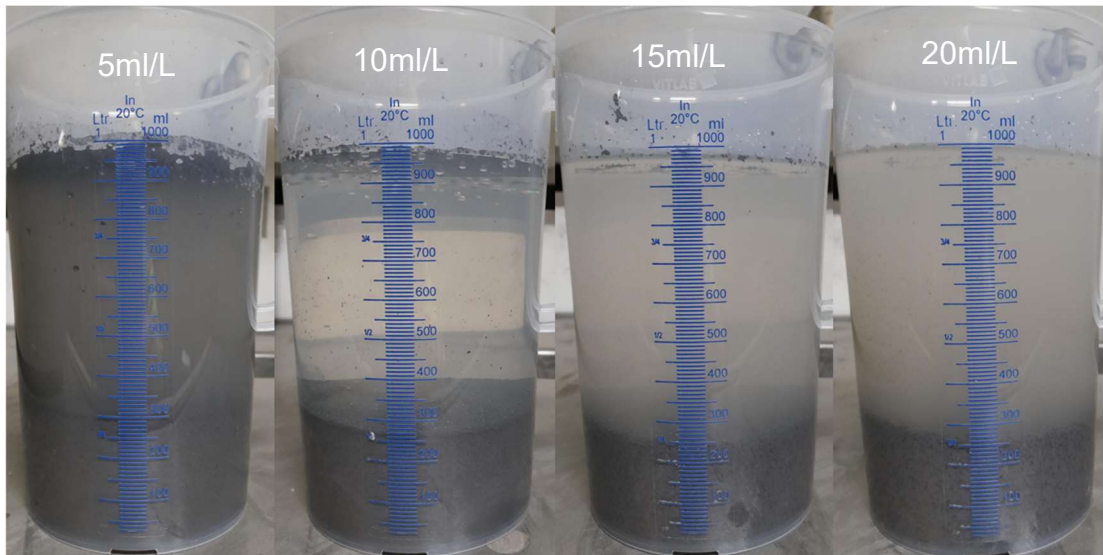


Kuva 12. Yhden lohkaremyllyn (LM2) rikastelietteen laskeutuskokeet 25.4.2024 flokkulantin annostuksilla 8 L/m³ ja 10 L/m³.

Flokkulantin kiintoainepitoisuudella 0,2 % ja annostuksella 8 L/m³ syötettiin rikastelietteeeseen 16 grammaa polymeerijauhetta yhtä kuutiometriä rikastelietettä kohden. Polymeerin optimaaliseksi annostelumääräksi määräytyi 26 g/m³.

7.4.2 Laskeutuskoe maksimaalisella tuotantoasteella

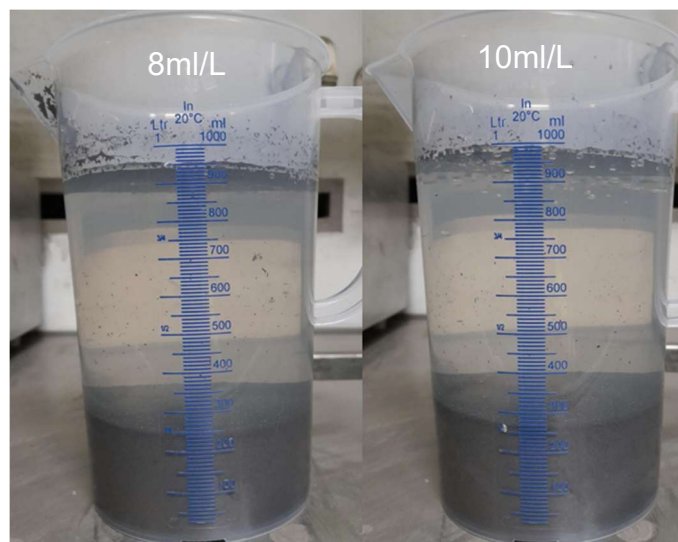
Seuraavaksi laskeutuskoe suoritettiin maksimaalisella tuotantoasteella. Koe suoritettiin samalla menetelmällä kuin edellinenkin. Flokkulantin kiintoainepitoisuus analysoitiin Boliden Harjavallan laboratorion toimesta ja tulokseksi saatiin 0,3 %. Tuotannon ollessa maksimissa sisältää laskeutettava rikasteliete molempien lohkaremyllyjen 1 ja 2 lietteet sekä muut kiintoainepitoiset lietteet, jotka syötetään rikastamon rikastekaivoon. Alla olevassa kuvassa (kuva 13) on vasemmalla olevaan astiaan lisätty 5 ml flokkulanttia. Sama toimenpide tehtiin neljä kertaa nostaen flokkulantin annostusta aina 5 millilitralla.



Kuva 13. Kahden lohkaremyllyn (LM1 ja LM2) rikastelietteen laskeutuskokeet 3.5.2024 flokkulantin eri annostuksilla.

Ylite oli kirkkaimmillaan ja rikastepatja on selvimmin nähtävissä, kun flokkulantin annostus oli 10 L/m³. Kuvasta 13 voidaan tehdä sama havainto kuin kuvasta 7. Ylite oli sameampaa, kun flokkulantin annostus ylitti sen optimin.

Flokkulantin annostelua vähennettiin kymmenestä millilitrasta kahdeksaan millilitraan ja vertailtiin tuloksia keskenään. Alla olevasta kuvasta (kuva 14) voidaan todeta, että astioiden ylitteet ovat yhtä kirkkaita.



Kuva 14. Kahden lohkaremyllyn (LM1 ja LM2) rikastelietteen laskeutuskokeet 3.5.2024 flokkulantin annostuksilla 8 L/m³ ja 10 L/m³ (Boliden Harjavalta Oy).

Laskeutuskokeen perusteella flokkulantin annostelun optimiarvoksi asetettiin 8 L/m^3 . Flokkulantin kiintoainepitoisuudella $0,3 \%$ ja annostuksella 8 L/m^3 syötettiin rikastelietteeseen 24 grammaa polymeerijauhetta yhtä kuutiometriä rikastelietettä kohden. Polymeerin optimaaliseksi annostelumääräksi määräytyi 26 g/m^3 .

Laskeutuskokeiden tuloksista voidaan todeta, että ylite on sameampaa, kun flokkulantin annostelu ylittää sen optimin. Huomioitavaa on se, että laskeutuskokeissa flokkulantti tehosi paremmin rikastelietteeseen, jonka kiintoainepitoisuus oli suurempi.

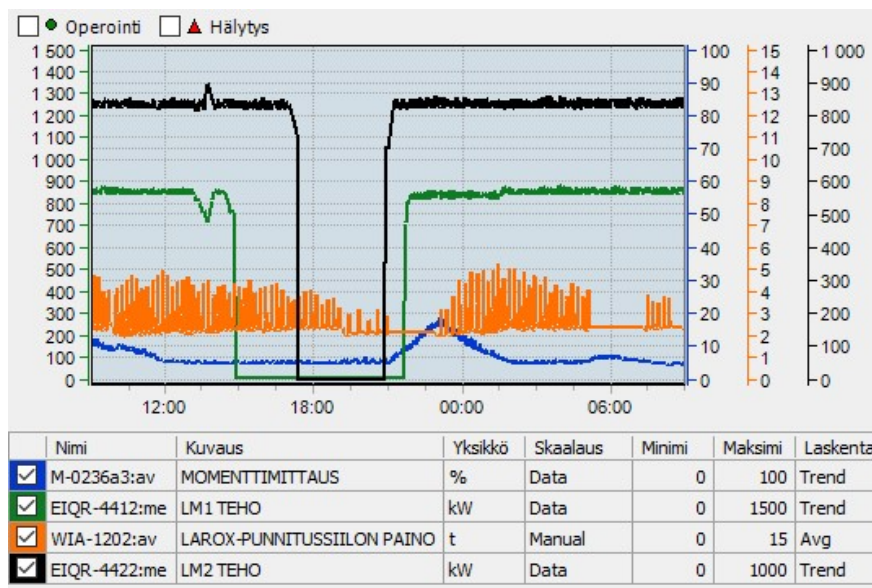
Tuotetoimittajan suorittamassa laskeutuskokeessa polymeerin optimaalinen annostus oli 10 g/m^3 . Tämän työn laskeutumiskokeessa, jossa tuotanto kävi minimaalisella tuotantoasteella, päästiin parhaaseen lopputulokseen annostuksella 16 g/m^3 . Optimaalisten annostusten eroon saattoi vaikuttaa esimerkiksi rikasteen kiintoainepitoisuuksien erot.

7.5 Sakeuttimen ylitteen kiintoainepitoisuus ja haran momentti

Sakeuttimen ylitteestä pyritään saamaan mahdollisimman kirkasta, jolloin laskeutuminen on optimaalista. Laskeutuminen on optimaalista, kun sakeuttimeen syötettävän suspension kiintoaine laskeutuu sakeuttimen pohjalle, eikä sitä kulkeudu ylitteen mukaan. Ylitteen kirkkautta voidaan arvioida silmämääräisesti tai analysoimalla sen kiintoainepitoisuutta.

Alitteen tiheys määräytyy sakeuttimeen syötettävän rikastelietteen kiintoainepitoisuudesta ja poistuvan alitteen virtauksesta. Korkeampi kiintoainepitoisuus rikasteessa aiheuttaa kiintoaineen määrän nousun sakeuttimessa, joka näkyy alitteen tiheydessä. Tämän opinnäytetyön tuloksissa ei oteta huomioon alitteen tiheyttä, sillä sen mittaus reagoi flokkulantin syötön muutoksiin viiveellä, eikä mittauksen tarkkuudesta voida olla täysin varmoja.

Alla olevaa kuvaajaa (kuvaaja 1) tarkastellessa voidaan todeta, että lohkaremylyjen 1 ja 2 käynnistyessä kuivaamon sakeuttimen haran momentti nousee, sillä sakeuttimeen virtaa kiintoainepitoista rikastelietettä. Momentin noustessa saadaan Larox-painesuodattimelle kiintoainetta ja Laroxin kakkujen paino kasvaa. Laroxin punnitussiilon paino kertoo kakun koosta. Laskeutunut kiintoaine siirtyy sakeuttimen pohjasta kohti Laroxia ja sakeuttimen haran momentti laskee.



Kuva 15. Sakeuttimen haran momentti (Boliden Harjavalta DNA-prosessinohjausjärjestelmä, 4.5.2024)

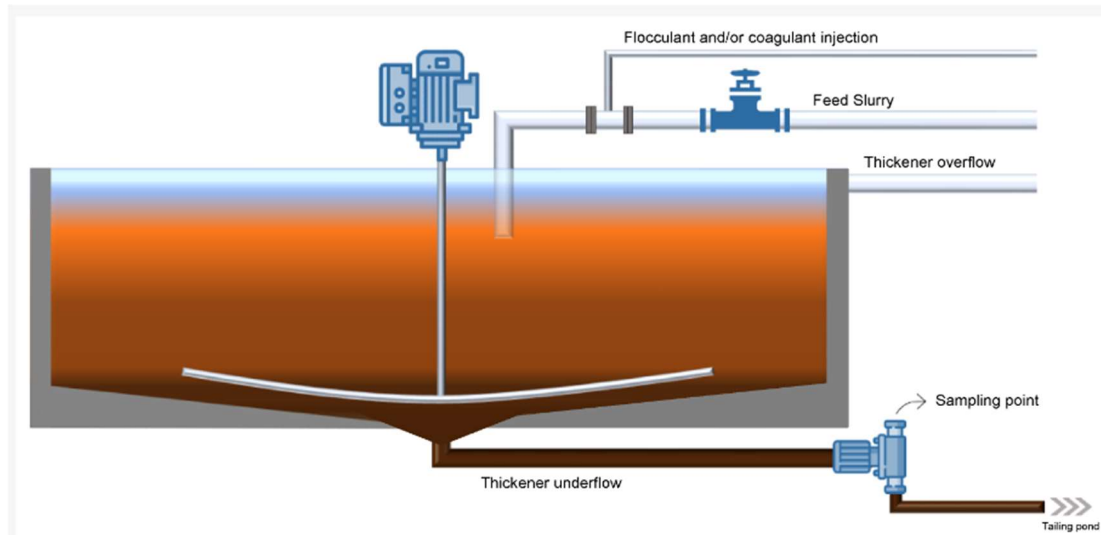
Tasaisen rikastelietteen kiintoainepitoisuuden ja tasaisen Laroxin tuotannon lisäksi kiintoaineen laskeutumisen ja flokkulantin annostelun on oltava kohdallaan. Kuten laskeutumiskokeista havaitsimme, niin liian suuri flokkulantin annostus häiritsi laskeutumista ja ylitteeseen jäi enemmän kiintoainetta.

8 MITTAUSJÄRJESTELYT JA MITTAUKSET

Kuivaamon sakeuttimella tehtiin kolme testiajoa, joiden aikana otettiin näytteitä. Testiajojen avulla oli tarkoitus selvittää, miten syöttöpisteet ja polymeerin annostelu vaikuttavat ylitteen kiintoainepitoisuuteen.

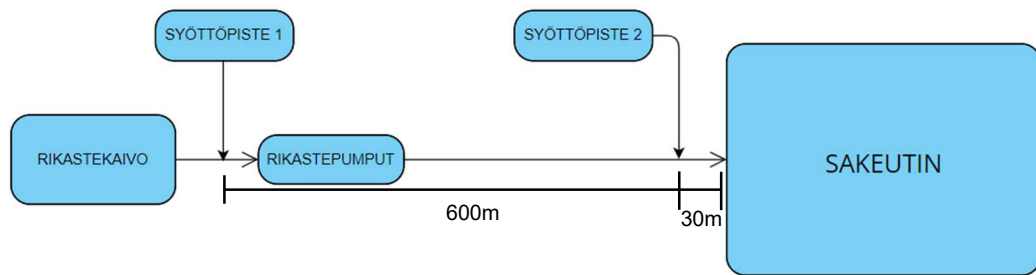
8.1 Flokkulantin syöttöpisteet

Tuotannossa flokkulantti syötetään usein alla olevan kuvan (kuva 16) mukaisesti sakeuttimeen syötettävän lietteen linjaan. Kuvassa ei näy lietelinjan pumppua, joten voidaan olettaa, että kuvan flokkulantin linja yhtyy lietelinjaan vasta lietepumpun jälkeen.



Kuva 16. Sakeutinkaavio (Zago ym., 2023, s. 3).

Flokkulanttia syötetään rikastelieteputkistoon jo rikastamalla rikastepumppujen imupuolelle. Rikastepumput ja yli 600 metriä pitkä putkilinja oletettavasti vaikuttaa flokkulantin kykyyn muodostaa flokkeja putkistossa. Olettamus perustuu lähinnä kokemuseräiseen ajotyylisiin, jossa flokkulanttia syötetään putkistoon lähtökohtaisesti enemmän, kun rikastetta pumpataan sulattoon. Laskeutuskokeista kuitenkin havaitsimme, että ylite on sameampaa, kun flokkulantin annostelu ylittää sen optimin. Alla olevassa kuvassa (kuva 17) esitetään testiajoissa käytettyjen syöttöpisteiden sijainnit.

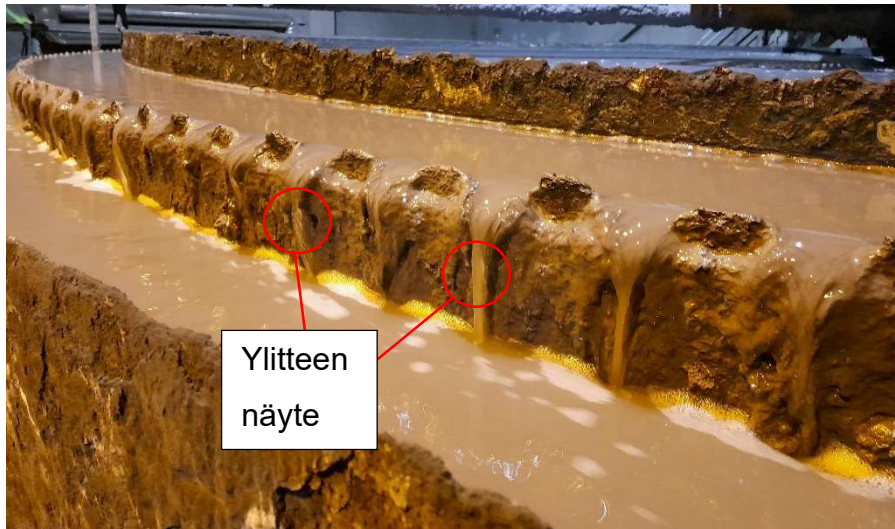


Kuva 17. Kuivaamon flokkulantin syöttöpisteet.

Kuivaamon flokkulanttilaitteiston avulla olisi mahdollista syöttää flokkulantti lähempänä sakeutinta. Tämänhetkisen laitteiston avulla se ei ole mahdollista, sillä pumpun kapasiteetti ei riitä.

8.2 Näytteenottopisteet ja menetelmä

Sakeuttimen ylitteestä otettavat näytteet olisi hyvä ottaa palautusvesisäiliöstä, jonne ylitteet ajetaan. Haasteena tässä on se, että kuivaamon palautusvesisäiliöön ajetaan muitakin vesiä, jotka laimentaisivat näytteiden tuloksia. Tämän takia kuivaamon sakeuttimen ylitenäytteet otettiin alla olevan kuvan (kuva 18) mukaisesti sakeuttimen ylittekourun ja sakeuttimen reunan välistä. Näytteenottomenetelmä on suunniteltu niin, että näytteet olisivat mahdollisimman edustavia.



Kuva 18. Sakeuttimen ylitteen näytteenottopiste (Boliden Harjavalta Oy)

Ylite virtaa sakeuttimelta ylittekouruun monesta kohdasta, joten edustavampi näyte saatiin, kun näytteenottopisteet kiersivät sakeuttimen ympäri. Näytteenottopisteet suunniteltiin alla olevan kuvan (kuva 19) mukaisesti.



Kuva 19. Sakeuttimen ylitteen näytteenottopisteet (Boliden Harjavalta Oy)

Ennen näytteenoton alkamista asetettiin flokkulantin annostelu tiettyyn arvoon ja annettiin muutosten vaikuttaa 30 minuuttia. Vaikutusajan jälkeen sakeuttimen ylitteestä otettiin 12 näytettä 15 minuutin välein. Analysointiin kuluvan ajan pienentämiseksi otettiin aina kaksi 0,5 litran näytettä yhteen

tilavuudeltaan yhden litran näyteastiaan. Näin saatiin otettua 12 näytettä ja analysoitavaksi kertyi vain 6 näyteastiaa.

9 POLYMEERIN ANNOSTELU TUOTANNOSSA

Flokkulantin annostelua ei pystytä tällä hetkellä ohjaamaan automaattisesti Boliden harjavallan rikasteen sakeutusprosessissa. Automaattisesti ohjautuvaa flokkulantin annostelua varten rakennettiin matemaattinen kaava (kaava 1). Prosessissa lähdettiin tutkimaan tekijöitä, jotka vaikuttavat polymeerin annostelun. Prosessissa rikasteen virtaus muuttuu jatkuvasti, eikä siihen voida vaikuttaa. Rikasteen virtauksesta tehtiin vakio tietyssä tilanteessa, jonka paikalle voidaan sijoittaa virtauksen arvo kyseisellä hetkellä. Polymeerin annostelun säädössä tärkein muuttuja on flokkulantin virtaus, jota voidaan säätää esimerkiksi pumpun kierrosnopeuden avulla.

Polymeerin annostelu tulkittiin rikasteessa esiintyneen polymeerin määränä. Polymeerin optimaalinen määrä haettiin laskeutuskokeiden avulla. Tässä työssä suoritettujen laskeutuskokeiden avulla selvitettiin rikasteelle optimaalinen polymeerin annostelu. Kaavan avulla pystyttiin laskemaan tarvittava flokkulantin virtaus, kun flokkulantin kiintoainepitoisuus, rikasteen virtaus ja polymeerin annostelu olivat vakioita. Alla on kaava yleisessä muodossa.

$$(1) \text{ Polymeerin annostelu} = \frac{\text{Polymeerin määrä flokkulantissa} \times \text{Flokkulantin virtaus}}{\text{Rikasteen virtaus}}$$

Yleisen kaavan tekijöille annettiin nimet ja yksiköt:

$$\text{Polymeerin annostelu} = P_R \text{ g/m}^3$$

$$\text{Polymeerin määrä flokkulantissa} = P_F \text{ g/m}^3$$

$$\text{Flokkulantin virtaus} = Y_F \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Rikasteen virtaus} = X_R \text{ m}^3/\text{h}$$

Tekijät sijoitettiin yleiseen kaavaan:

$$(2) P_R \frac{g}{m^3} = \frac{P_F \frac{g}{m^3} \times Y_F \frac{m^3}{h}}{X_R \frac{m^3}{h}}$$

Tuotannosta otettiin käsittelyyn sellainen tilanne, jossa tuotanto kävi maksimaalisella tuotantoasteella. Tällaisessa tilanteessa rikasteen virtaus vaihteli välillä 50 m³/h ja 60 m³/h, joten kaavassa käytettiin näiden keskiarvoa. Tämän työn laskeutuskokeiden perusteella polymeerin optimaalinen annostelu rikasteeseen oli tällaisessa tilanteessa 26 g/m³. Flokkulantin kiintoainepitoisuutena käytettiin tuotetoimittajan suosittelemaa arvoa 2000 g/m³. Yleistä kaavaa muokattiin niin, että flokkulantin virtaus jää tuntemattomaksi.

Kaavaa muokattiin tuotantoon soveltuvaksi:

$$(3) Y_F \frac{m^3}{h} = \frac{P_F \frac{g}{m^3} \times X_R \frac{m^3}{h}}{P_R \frac{g}{m^3}}$$

Tunnetut arvot sijoitettiin kaavaan ja laskettiin tarvittava flokkulantin virtaus:

$$(4) Y_F \frac{m^3}{h} = \frac{26 \frac{g}{m^3} \times 55 \frac{m^3}{h}}{2000 \frac{g}{m^3}} = 0,715 \frac{m^3}{h}$$

Yleisen kaavan avulla todistettiin, että flokkulantin virtauksen arvolla 0,715 m³/h, rikasteen virtauksen arvolla 55 m³/h ja flokkulantin kiintoainepitoisuudella 2000 g/m³ saadaan polymeerin annosteluksi 26 g/m³.

$$(5) \frac{2000 \frac{g}{m^3} \times 0,715 \frac{m^3}{h}}{55 \frac{m^3}{h}} = 26 \frac{g}{m^3}$$

10 TESTIAJOT

Testiajot suoritettiin tuotannon käydessä maksimaalisella tuotantoasteella, jolloin molempien lohkaremyllyjen oli oltava käynnissä. Rikastelietteen pump-pauksen virtaus vaihteli välillä 50 ja 60 m³.

Syöttöpiste 1 kuvaa rikastamon flokkulanttilaitteistoa, joka syöttää flokkulantin rikstelinjan keskipakopumppujen imupuolelle. Syöttöpiste 2 kuvaa kuivaamon flokkulanttilaitteistoa, joka syöttää flokkulantin rikastelietelinjan keskipako-pumppujen painepuolelle. Syöttöpiste 2 sijaitsee lähellä kuivaamon sa-keutinta.

10.1 Testiajo 1 (syöttöpiste 1)

Ensimmäisen testin ajaksi asetettiin flokkulantin syöttöpisteen 1 eli rikastamon flokkulantin ohjaus 100 %:iin. Sitä on pidetty 100 %:ssa tuotannon käydessä maksimaalisella tuotantoasteella. Sadan prosentin ohjauksella rikastamon flokkulantin virtaus on noin 1,044 m³/h. Kaavan 1 mukaan jauhemaista poly-meeriä ajetaan rikastelietelinjan rikasteeseen noin 39 g/m³ rikasteen virtauk-sen ollessa 55 m³/h. 100 %:n ohjauksella flokkulantin annostus on 1,5 kertai-nen verrattuna tämän työn laskeutuskokeiden optimiin, joka oli 26 g/m³. Alla olevassa taulukossa (taulukko 4) on esitetty sakeuttimen ylitenäytteiden kiin-toainepitoisuudet ja prosessin ajoarvot ensimmäisen testiajon aikana.

Taulukko 4. Sakeuttimen ylitteen kiintoainepitoisuus testiajon 1 aikana 07.05.2024 (Boliden Harjavallan laboratorio ja DNA-prosessinohjausjärjestelmä).

Testiajo 1						Flokkulantti		Syöttöpiste 1	Syöttöpiste 2
7.5.2024 Sakeuttimen ylitteen kiintoainepitoisuus						Flokkulanttipumppujen ohjaukset		100 %	0 %
						Flokkulantin kiintoainepitoisuus		2000 g/m ³	-
Näyte	LM2 teho (kW)	LM1 teho (kW)	Kuonarikaste sakeuttimeen (m ³ /h)	Syöttöpisteen 1 virtaus (m ³ /h)	Syöttöpisteen 2 virtaus (m ³ /h)	Syöttöpisteen 1 Flokkulantin annostelu (g/m ³)	Syöttöpisteen 2 Flokkulantin annostelu (g/m ³)	kiintoainepitoisuus (g/L)	
Ylite 1	822	829	50,8	1,044	-	41,1	-	0,69	
Ylite 1	836	846	51,7	1,044	-	40,4	-	0,69	
Ylite 2	825	866	52,3	1,044	-	39,9	-	0,69	
Ylite 2	823	867	58,2	1,044	-	35,9	-	0,69	
Ylite 3	827	858	52,8	1,044	-	39,7	-	0,63	
Ylite 3	792	820	52,3	1,044	-	39,5	-	0,63	
Ylite 4	712	738	56,4	1,044	-	37,0	-	0,71	
Ylite 4	661	679	57,7	1,044	-	36,2	-	0,71	
Ylite 5	739	725	58,3	1,044	-	35,8	-	0,63	
Ylite 5	774	759	58,1	1,044	-	35,9	-	0,63	
Ylite 6	803	787	57,6	1,044	-	36,3	-	0,62	
Ylite 6	826	833	60,4	1,044	-	34,6	-	0,62	
ka	786,5	800,6	55,6	1,044	-	37,6	-	0,66	

10.2 Testiajo 2 (syöttöpiste 1)

Toisen testin ajaksi asetettiin flokkulantin syöttöpisteen 1 ohjaus 60 %:iin. 60 %:n ohjauksella on rikastamon flokkulantin virtaus noin 0,720 m³/h. Kaavan 1 mukaan jauhemaista polymeeriä ajetaan rikastelietelinjan rikasteeseen noin 26 g/m³ rikasteen virtauksen ollessa 55 m³/h. 60 %:n ohjauksella flokkulantin annostus on sama, kuin tämän työn laskeutuskokeiden optimi. Alla olevassa taulukossa (taulukko 5) on esitetty sakeuttimen ylitteenäytteiden kiintoainepitoisuudet ja prosessin ajoarvot toisen testiajon aikana.

Taulukko 5. Sakeuttimen ylitteen kiintoainepitoisuus testiajon 2 aikana 07.05.2024 (Boliden Harjavallan laboratorio ja DNA-prosessinohjausjärjestelmä).

Testiajo 2						Flokkulantti		Syöttöpiste 1	Syöttöpiste 2
7.5.2024 Sakeuttimen ylitteen kiintoainepitoisuus						Flokkulanttipumppujen ohjaukset		60 %	0 %
						Flokkulantin kiintoainepitoisuus		2000 g/m ³	-
Näyte	LM2 teho (kW)	LM1 teho (kW)	Kuonarikaste sakeuttimeen (m ³ /h)	Syöttöpisteen 1 virtaus (m ³ /h)	Syöttöpisteen 2 virtaus (m ³ /h)	Syöttöpisteen 1 Flokkulantin annostelu (g/m ³)	Syöttöpisteen 2 Flokkulantin annostelu (g/m ³)	Ylitteen kiintoainepitoisuus (g/L)	
Ylite 7	831	841	57,2	0,72	-	25,2	-	0,62	
Ylite 7	837	849	57,4	0,72	-	25,1	-	0,62	
Ylite 8	829	857	57,6	0,72	-	25,0	-	0,66	
Ylite 8	830	853	57,4	0,72	-	25,1	-	0,66	
Ylite 9	836	849	57,9	0,72	-	24,9	-	0,67	
Ylite 9	835	849	57,7	0,72	-	25,0	-	0,67	
Ylite 10	840	846	58,1	0,72	-	24,8	-	0,76	
Ylite 10	825	858	57,6	0,72	-	25,0	-	0,76	
Ylite 11	830	847	56,3	0,72	-	25,6	-	0,64	
Ylite 11	826	862	57,6	0,72	-	25,0	-	0,64	
Ylite 12	832	847	58,1	0,72	-	25,8	-	0,71	
Ylite 12	826	854	59,1	0,72	-	24,4	-	0,71	
ka	831,4	851	57,7	0,72	-	25,1	-	0,68	

10.3 Testiajo 3 (syöttöpiste 1 ja 2)

Kolmannen testin ajaksi asetettiin flokkulantin syöttöpisteen 1 ohjaus 40 %:iin ja syöttöpisteen 2 ohjaus 100 %:iin. Syöttöpisteen 1 ohjauksella 40 % on flokkulantin virtaus noin 0,582 m³/h ja syöttöpisteen 2 ohjauksella 100 % noin 0,12 m³/h. Syöttöpisteiden yhteenlaskettu flokkulantin virtaus on 0,694 m³/h. Kaa-
van 1 mukaan jauhemaista polymeeriä ajetaan rikastelietelinjan rikasteeseen noin 25 g/m³ rikasteen virtauksen ollessa 55 m³/h. Alla olevassa taulukossa (taulukko 6) on esitetty sakeuttimen ylitenäytteen kiintoainepitoisuudet ja prosessin ajoarvot kolmannen testiajon aikana.

Taulukko 6. Sakeuttimen ylitteen kiintoainepitoisuus testiajon 3 aikana 07.05.2024 (Boliden Harjavallan laboratorio ja DNA-prosessinohjausjärjestelmä).

Testiajo 3						Flokkulanti			Syöttöpiste 1	Syöttöpiste 2
9.5.2024 Sakeuttimen ylitteen kiintoainepitoisuus						Flokkulanttipumppujen ohjaukset (%)			40 %	100 %
						Flokkulantin kiintoainepitoisuus			2000 g/m ³	2000 g/m ³
Näyte	LM2 teho (kW)	LM1 teho (kW)	Kuonarikaste sakeuttimeen (m ³ /h)	Syöttöpisteen 1 virtaus (m ³ /h)	Syöttöpisteen 2 virtaus (m ³ /h)	Syöttöpisteen 1 annostelu (g/m ³)	Syöttöpisteen 2 annostelu (g/m ³)	Syöttöpisteiden 1 ja 2 yhteenlaskettu annostelu (g/m ³)	Ylitteen kiintoainepitoisuus (g/L)	
Ylite 19	831	838	50,3	0,582	0,108	20,1	4,3	24,4	0,38	
Ylite 19	844	843	55,7	0,582	0,108	20,9	3,9	24,8	0,38	
Ylite 20	846	840	55,5	0,582	0,108	21,0	3,9	24,9	0,40	
Ylite 20	836	843	58,2	0,582	0,102	20,0	3,7	23,7	0,40	
Ylite 21	823	844	53,1	0,582	0,108	21,9	4,1	26,0	0,59	
Ylite 21	830	852	51,0	0,582	0,108	22,8	4,2	27,0	0,59	
Ylite 22	840	842	52,6	0,582	0,114	22,1	4,1	26,2	0,52	
Ylite 22	833	850	51,7	0,582	0,108	22,5	4,2	26,7	0,52	
Ylite 23	836	842	51,9	0,582	0,108	22,4	4,2	26,6	0,51	
Ylite 23	831	854	53,0	0,582	0,108	22,0	4,1	26,1	0,51	
Ylite 24	825	860	49,8	0,582	0,108	23,4	4,3	27,7	0,50	
Ylite 24	823	858	52,5	0,582	0,108	22,2	4,1	26,3	0,50	
ka	833,2	847,2	52,9	0,582	0,108	21,8	4,1	25,9	0,48	

11 JOHTOPÄÄTÖKSET JA TULOSTEN TARKASTELU

Tämän työn tavoitteina oli tarkastella ja kehittää sakeutusprosessin flokkulointia Boliden Harjavallan kuparisulaton kuivaamossa. Työssä selvitettiin polymeerin annostuksen ja flokkulantin syöttöpisteteen muutosten vaikutusta sakeuttimen ylitteen kiintoainepitoisuuteen. Työssä suoritettiin flokkulantin syöttölaitteiston testaus ja tutkittiin flokkulantin toimivuutta ja toimintaa tuotannossa. Sakeuttimen ylitteen kiintoainepitoisuuden muutosta tarkasteltiin kolmen testiajon avulla.

Kaikki testiajot pyrittiin suorittamaan mahdollisimman samankaltaisessa tuotannon tilanteessa. Kun testiajojen tuloksia verrattiin keskenään, todettiin, että flokkulantin syötön sijainti vaikutti kuivaamon sakeuttimen ylitteen kiintoainepitoisuuteen.

Testiajon 1 aikana ylitteen kiintoainepitoisuus oli 0,66 g/L. Flokkulanttia syötettiin vain syöttöpisteestä 1 ja sen annostelun keskiarvo testin aikana oli 37,6 g/m³ (taulukko 4).

Testiajon 2 aikana ylitteen kiintoainepitoisuus oli suurin eli 0,68 g/L. Flokkulanttia syötettiin vain syöttöpisteestä 1 ja sen annostelun keskiarvo oli testin aikana 25,1 g/m³ (Taulukko 5).

Testiajon 3 aikana ylitteen kiintoainepitoisuus oli pienin eli 0,48 g/L. Flokkulanttia syötettiin molemmista syöttöpisteistä 1 ja 2. Syöttöpisteiden yhteenlaskettu annostelun keskiarvo oli testin aikana 25,9 g/m³ (taulukko 6).

Testiajoja 1 ja 2 verrattaessa keskenään voidaan todeta, että parhaaseen lopputulokseen ei päästä laskeutuskokeissa määritetyllä flokkulantin annostelulla. Sakeuttimen ylitteen kiintoainepitoisuus oli pienempi suuremmalla flokkulantin annostelulla.

Testiajoa 3 verrattaessa kahteen muuhun testiajoon voidaan todeta, että parhaaseen lopputulokseen päästiin käyttämällä syöttöpisteen 1 lisäksi syöttöpistettä 2. Testiajon 2 ja 3 flokkulantin annostelun keskiarvojen erotus oli vain 0,8 g/m³. Tarkemmin tarkasteltuna voidaan todeta myös, että vaikka polymeerin annostelu oli lähes sama verrattuna testiajoon 2, niin sakeuttimen ylitteen kiintoainepitoisuus laski merkittävästi testiajossa 3.

Tämän työn johtopäätöksenä voidaan todeta sakeuttimen flokkuloinnin olevan tehokkaampaa, kun flokkulanttia syötetään kauemman syöttöpisteen lisäksi myös lähempänä sakeutinta.

12 KEHITYSEHDOTUKSET

Testiajojen perusteella sakeuttimen ylitteen kiintoainepitoisuus väheni, kun flokkulanttia syötettiin myös lähempänä sakeutinta. Kuivaamon flokkulanttilaitteiston syöttöpumpun virtaus ei riitä, jos flokkulanttia halutaan syöttää vain syöttöpisteestä 2. Ehdotan nostamaan syöttöpumpun tehokkuutta, jotta flokkulantin annostelu voidaan suorittaa kokonaan kuivaamon flokkulanttilaitteistolla.

Tässä työssä suoritettujen laskeutuskokeiden avulla määritettiin polymeerin annostelun optimaalinen määrä kuonarikasteen laskeutumiselle. Flokkulantin kiintoainepitoisuudella on myös suuri merkitys polymeerin annostelussa. Rikastamalla syötetyn flokkulantin kiintoainepitoisuutta analysoidaan kerran viikossa. Tässä työssä suoritetuista laskennoista havaitaan, että polymeerin annostelu voi vaihdella merkittävästi flokkulantin kiintoainepitoisuuden muuttuessa 0,1 prosenttiyksikön verran. Ehdotan, että flokkulantin kiintoainepitoisuus analysoidaan useammin, kuin kerran viikossa, sillä flokkulantin kiintoainepitoisuus vaikuttaa sakeutusprosessin flokkulaatioon.

Taulukoista 4, 5 ja 6 voidaan nähdä, että kuonarikasteen ja flokkulantin virtaukset vaikuttavat polymeerin annosteluun. Ehdotan, että kuivaamon flokkulanttilaitteiston syöttöpumppu kytketään dna-prosessinohjausjärjestelmään niin, että sen tuottamaa virtausta voidaan säätää automaattisesti kuonarikasteen virtauksen mukaan. Prosessinohjausjärjestelmässä voidaan käyttää hyväksi aiemmin laskettua kaavaa (kaava 3). Rikasteen virtaus voidaan sijoittaa kaavaan paikalle X_R , jolloin vastaukseksi saadaan tietylle polymeerin annostukselle tarvittava flokkulantin virtausmäärä. Kaavan tulos voidaan kiinnittää flokkulantin virtausmittauksen pyyntiarvoksi, jolloin flokkulanttipumppu säätää sen tehoa jatkuvasti rikasteen virtauksen muuttuessa hallitsemattomasti. Näin taataan polymeerin tasainen annostelu flokkuloinnissa.

LÄHTEET

Asiakastieto. (n.d.). Boliden Harjavalta yleiskuva. Haettu 12.3.2024 osoitteesta <https://www.asiakastieto.fi/yritykset/fi/boliden-harjavalta-oy/15917399/yleis-kuva>.

Boliden Harjavalta. (n.d.). Sulatto, jolla on pitkät perinteet. Haettu 12.3.2024 osoitteesta <https://www.boliden.com/operations/smelters/boliden-harjavalta/>

Google. (n.d.). [Google maps etäisyyden mittaus]. Haettu osoitteesta <https://www.google.com/maps>

Hallikainen, S. (2024). Boliden Harjavallan tehtailla käynnistyy vuosihuolto. <https://www.suurteollisuuspuisto.com/yleinen/boliden-harjavallan-tehtailla-kaynnistyy-vuosihuolto-2/>

Halminen, R. (2021) Nikkelisulaton prosessikuvaus. (Boliden Harjavallan sisäinen verkko).

Hogg, R. (2013). Bridging flocculation by polymers. <https://doi.org/10.14356/kona.2013005>

Jarvis, P. (2005). A review of floc strenght and breakage. Water research (volume 39, s. 3121–3137). <https://doi.org/10.1016/j.watres.2005.05.022>

Johnson, J. & Accioly, A. (2017). Feedwell is the heart of a thickener. https://doi.org/10.36487/ACG_rep/1752_03_Johnson

Knight, K. 2017. THICKENERS: How they operate. Verkkoaineisto. Mainland Machinery. Haettu 12.5.2024 osoitteesta <https://mainland-machinery.com/thickeners-how-they-operate/>

Lehtinen, M. (2023). Rikastealue ja kuivaamoiden työhjeet. (Boliden Harjavallan sisäinen verkko).

Metso. (n.d.). Larox PF Filter. Haettu 28.4.2024 osoitteesta <https://www.metso.com/portfolio/larox-pf-pressure-filter/>

Monroe Environmental. (n.d.). Circular Thickeners. Haettu 23.3.2024 osoitteesta <https://www.monroenvironmental.com/water-and-wastewater-treatment/circular-clarifiers-and-thickeners/circular-thickeners/>.

Myllykoski, J. (2008). Konvertterikaasulinjan säätö [AMK-opinnäytetyö, Satakunnan ammattikorkeakoulu]. Theseus. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-200809293311>

Pikkarinen, J. (2017). Jätevedenpuhdistamon kuormitusmuutokset.

Ruohonen, J. (2015). Kuparisulaton pölykierto [AMK-opinnäytetyö, Satakunnan ammattikorkeakoulu]. Theseus. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2015062913770>

Sahlman, A. (2015). Primäärikenno 3:n koeajo vaahtokameralla [AMK-opinnäytetyö, Satakunnan ammattikorkeakoulu]. Theseus. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2015052911356>

Savona Equipment (nimimerkki). 2018. Verkkoaineisto. Thickeners — Types, Working Principle & Applications. Medium. Haettu 12.5.2024 osoitteesta https://medium.com/@marianna_56839/thickeners-types-working-principle-applications-3d92a3725e8a

SNF. (2024). XXXXXXXXXX, Tekninen tiedote.

Svarovsky, L. (1981). Solid-liquid separation (second edition). Butterworth & Co.

Tiastokeskus. (n.d.). Lietteen määritelmä 1. Haettu 12.3.2024 osoitteesta <https://www.asiakastieto.fi/yritykset/fi/boliden-harjavalta-oy/15917399/yleis-kuva>

Toivonen, R. (2021). Lohkaremyllyn heittokaaren ja täyttöasteen määrittäminen [AMK-opinnäytetyö, Satakunnan ammattikorkeakoulu]. Theseus. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2021122290439>

Torvela, V. (2023). Laroxien ennakkohuoltosuunnitelma ja kunnonvalvonta [AMK-opinnäytetyö, Satakunnan ammattikorkeakoulu]. Theseus. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-202305037430>

Weir, S & Moody, G. (2003). The importance of flocculant choice with consideration to mixing energy to achieve efficient solid/liquid separation. Minerals Engineering (s. 109-113) [https://doi.org/10.1016/S0892-6875\(02\)00175-9](https://doi.org/10.1016/S0892-6875(02)00175-9)

Westech. (n.d.). Advanced Feedwell Design Improves Thickener and Clarifier Performance. Haettu 12.5.2024 osoitteesta <https://www.westech-inc.com/products/evenflo-feedwell>

Xiaong, B., Loss, R., Shields, D., Pawlik, T., Hochreiter, R., Zydney, A., Kumar, M. (2018). Polyacrylamide degradation and its implications in environmental systems. Npj Clean Water. <https://doi.org/10.1038/s41545-018-0016-8>

Zago, G., Giudici, R., Soares, P. (2023). Exploring Alternatives to Polyacrylamide: A Comparative Study of Novel Polymers in the Flocculation and Dewatering of Iron Ore Tailings. Polymers, 15, 3019. <https://doi.org/10.3390/polym15143019>