

**Matias Korvela**

**VAKUUMIJÄRJESTELMÄN OPTIMOINTI JAROSIITIN  
NAUHASUODATTIMILLA**

**Opinnäytetyö  
CENTRIA-AMMATTIKORKEAKOULU  
Kemiantekniikan koulutusohjelma  
Kesäkuu 2019**

**TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ**

<b>Centria-ammattikorkeakoulu</b>	<b>Aika</b> 2019	<b>Tekijä/tekijät</b> Matias Korvela
<b>Koulutusohjelma</b> Kemiantekniikka		
<b>Työn nimi</b> VAKUUMIJÄRJESTELMÄN OPTIMOINTI JAROSIITIN NAUHASUODATTIMILLA		
<b>Työn ohjaaja</b> Risto Alapiha		<b>Sivumäärä</b> 25+ 2
<b>Työelämäohjaaja</b> Laura Rahikka		
<p>Tämä opinnäytetyö tehtiin Boliden Kokkolalle. Opinnäytetyön aiheena oli jarosiitin nauhasuodattimien tyhjiöpumppujen operointimahdollisuuksien selvitys uuden prosessimuutoksen myötä. Nauhasuodattimet ovat prosessissa kuivaamassa jarosiittijätettä ja suodattamassa siitä kaiken mahdollisen sinkin takaisin prosessiin.</p> <p>Työhön kuului perehtymisvaihe, suunnitteluvaihe ja toteutusvaihe. Kahta nauhasuodatinta koeajettiin kolmena eri kertana mahdollisimman laajalla alipaineskaalalla, jonka jälkeen arvioitiin, miten se vaikutti suodatuksen tulokseen. Samalla tutkittiin syötteen laadun merkitystä suodatukseen ottamalla syötteestä näytteet koeajojen yhteydessä ja tekemällä näytteelle suodatuskokeen.</p> <p>Syötteen laadulla eli suodattavuudella huomattiin olevan suuri yhteys suodatuksen tulokseen ja alipaineen säätömahdollisuuksiin. Kokeista ei voitu määrittää yhtä oikeaa alipaineen arvoa, jolla suodatus toimisi parhaiten, vaan se vaihteli syötteen suodattavuuden mukaan. Kokeista pystyttiin kuitenkin päättelemään, että aikaisempi ajomalli, jossa pumppuja ajettiin täydellä teholla ei ollut tehokkain tapa suodattaa sinkkiä pois jarosiitti jätteestä. Alipaineen laskulla oli useita positiivisia puolia suodatuksen tulokseen.</p> <p>Opinnäytetyön pohjalta prosessin ajotapaan suositellaan muutoksia siten, että suodattimia ajetaan enemmän syötteen ja pumppujen tehon perusteella.</p>		
<b>Asiasanat</b> koeajo, nauhasuodatin, suodatus, vakuumi		

**ABSTRACT**

<b>Centria University of Applied Sciences</b>	<b>Date</b> 2019	<b>Author</b> Matias Korvela
<b>Degree programme</b> Chemical Engineering		
<b>Name of thesis</b> OPTIMIZATION OF JAROSITE VACUUM BELT FILTERS		
<b>Instructor</b> Risto Alapiha	<b>Pages</b> 25 + 2	
<b>Supervisor</b> Laura Rahikka		
<p>This thesis was made to Boliden Kokkola. The subject of the thesis was to get better results from horizontal belt filters using the new vacuum pump system. The meaning of horizontal vacuum belt filters in this process is to dry waste tailings and recover all zinc from it back to process.</p> <p>The work included familiarization phase, planning phase and test drive phase. Two of the six belt filters were used in the test drives on three different occasions. The idea was to use large scale of underpressure to find out how different underpressures affect to the filtration. At the same time I researched the impact of the feed quality to filtration by taking samples from the feed each time I did test drives. I did tests to feed samples to determine their filtration ability.</p> <p>After all tests drives I found out that the feed quality had major impact to the outcomes of filtration process and operating the underpressure to filters. Test drives didn't support one amount of vacuum which would be best to filtration, but it did show that the good vacuum amount would depend of the feed quality. I could however determine that compared to previous operating model where vacuum pumps were running on full power, smaller amount of vacuum thus smaller amount of suction needed from pumps is better to the filtration process. Reducing the underpressure on belt filters seemed to have multiple good, to the results and in financial costs.</p> <p>Based on this thesis I recommended changing the way to operate horizontal belt filters and vacuum pumps. The recommended way would be to drive the process depending what quality the feed is and with lower under pressure.</p>		

<p><b>Key words</b> filtration, horizontal vacuum belt filter, test drive, vacuum</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------

## **KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY**

**Permeabiliteetti = Nauhasuodattimien syötön suodattuvuutta kuvaava yksikkö muodossa  $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{h}$**

**NAS = Nauhasuodatin**

**WEDGE = analyysityökalu, joka kerää dataa prosessista**

**TIIVISTELMÄ**  
**ABSTRACT**  
**KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY**  
**SISÄLLYS**

<b>1 JOHDANTO .....</b>	<b>1</b>
<b>2 BOLIDEN KOKKOLA .....</b>	<b>2</b>
2.1 Pasutus .....	2
2.2 Liuotus.....	3
2.3 Puhdistus.....	4
2.4 Elektrolyysi .....	4
2.5 Valu.....	4
<b>3 SUODATUS.....</b>	<b>5</b>
3.1 Kakkusuodatus.....	6
3.2 Vakuumisuodatus.....	6
3.3 Kakun pesu .....	7
3.4 Nauhasuodattimet .....	7
3.4.1 Nauhasuodattimien vakuumijärjestelmä.....	8
<b>4 KOEAJOJEN SUUNNITTELU .....</b>	<b>10</b>
4.1 Permeabiliteettikoe .....	11
<b>5 KOEAJOJEN SUORITUS JA TULOKSET .....</b>	<b>12</b>
<b>6 TULOSTEN ARVIONTI .....</b>	<b>15</b>
<b>7 YHTEENVETO JA EHDOTUKSET .....</b>	<b>17</b>
<b>LÄHTEET .....</b>	<b>19</b>

## 1 JOHDANTO

Sain ehdotuksen tähän opinnäytetyöhön Bolidenilta sen jälkeen, kun lähestyin yritystä kysellen aiheesta. Innostuin työstä, koska se tarkoitti käytännönläheistä aihetta jota olin alun perin hakenut, kun opinnäytetyön tekemisestä tuli ajankohtaista. Työn lähtökohtana oli siis uusi osa prosessia, vakuumpumppujen toimintaperiaate. Vakuumpumppujen muutos oli tullut käyttöön tammikuussa 2019 ja hyväksyin opinnäytetyön helmikuussa 2019. Opinnäytetyö siis rajattiin siihen, miten vakuumpumppuja voitaisiin käyttää enemmän hyödyksi silloin, kun halutaan saada aikaan parempi suodatustulos. Aikaisemmin prosessissa 6 vakuumpumppua yhtyivät samaan jakotukkiin, josta alipainetta tuotettiin kaikille suodattimille. Uudessa mallissa jokainen suodatin sai oman pumppunsa ja tarpeen tullen jakotukkia pystyttäisiin käyttämään, jos jokin pumpuista rikkoutuisi.

Aloitin opinnäytetyön viikon mittaisella tutustumisella prosessiin iltavuoron mukana. Olin mukana katsomassa suodattimien ja pumppujen operointia ja pohdin samalla, miten hyödyntää tietoja opinnäytetyössä. Tutustumisen jälkeen suunnittelin koeajoja vanhan datan avulla, josta pääsin koeajosuunnitelman luomiseen. Suunnitelman jälkeen oli kyse enää koeajojen suorittamisesta ja sitten tuloksien tulkinnasta. Käytin koeajoissa kahta Bolidenin nauhasuodatinta kuudesta prosessin käydessä normaalisti, joka edellytti koeajoilta mahdollisimman realistisia operointiarvoja, jotta prosessista ei koidu suuria kuluja.

Koeajojen suoritus tapahtui maaliskuun 2019 aikana. Tein kolme koeajoa kahdella suodattimella samanaikaisesti. Koeajoissa pidin noin viikon väliä, jotta syöttöön saataisiin mahdollisimman suurta vaihtelua koeajojen aikana. Koeajojen yhteydessä otin näytteet syötteen laadusta verratakseni niitä suodatustuloksiin jälkeenpäin. Koeajojen tarkoitus oli selvittää suodattimille parempaa vakuumia, jolla suodattimet toimisivat paremmin. Varsinkin eri alipaineiden vaikutusta tietyn laatuksen syötön suodatukseen. Koeajojen aikana tarkkailtiin myös silmämääräisesti suodattimen toimintaa eri alipaineilla, jos jotakin hyvää tai huonoa ilmenisi uusilla alipaineilla ajettaessa.

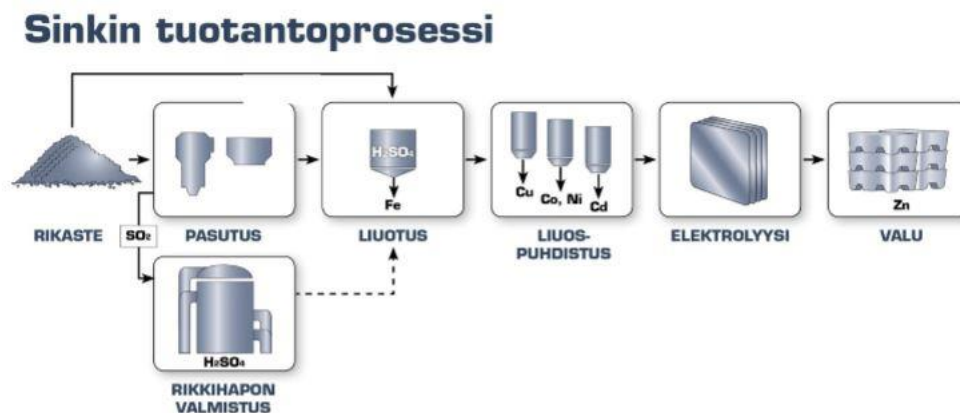
Tulokset opinnäytetyöstä olivat mielestäni erittäin positiivisia prosessin jatkokehityksen kannalta. Niitä voi soveltaa eri ratkaisuihin suodattimien ongelmien korjaamiseksi niin prosessin kuin operoinnin puolella.

## 2 BOLIDEN KOKKOLA

Boliden Kokkola on Euroopan toiseksi suurin sinkkitehdas. Tehdas tuli osaksi Bolidenin konsernia vuonna 2004, mutta sinkkitehtaan toiminta yltää 1969 vuoteen asti. Boliden Kokkola työllistää noin 540 henkilöä ja sen vuosittainen tuotantokapasiteetti on 315 000 tonnia.

(Boliden Kokkola. 2019. Www-dokumentti.)

Prosessi koostuu viidestä vaiheesta:



KUVA 1. Yksinkertaistettu prosessikuva (Boliden Kokkola. QF-ohje.)

- Pasutus
- Liuotus
- Puhdistus
- Elektrolyysi
- Valu

### 2.1 Pasutus

Pasutukseen tuleva rikaste tuodaan suurimmaksi osin Bolidenin omilta kaivoksilta. Rikastetta tulee tehtaalle useaa eri laatua, joista sekoitetaan sopiva syöttöseos parhaimman lopputuloksen takaamiseksi. Osa rikasteesta kelpaa liuotettavaksi sellaisenaan, mutta osa pasutetaan, jotta liukeneminen on mahdollista. Pasutuksessa rikasteen sinkkisulfidi palaa sinkkioksidiksi leijupetiuneissa noin 950°C:ssa. Pasutuksessa sivutuotteena syntyy rikkidioksidikaasua ja höyryä. Höyry käytetään kaukolämmön ja

sähkön tuotantoon, kun taas rikkidioksidikaasusta tehdään rikkihappoa Bolidenin omassa rikkihappotehtaassa.

(Boliden Kokkola. QF-ohje.)

## 2.2 Liutus

Prosessin seuraava vaihe on liutus, jossa sinkkioksidin saanti pyritään maksimoimaan kolmivaiheisessa liutuksessa; neutraaliliutus > vahvahappoliutus > supervahvahappoliutus. Liuosväkevyydet riippuvat liuoskierron vahvuudesta ja liutusvaiheesta. Neutraaliliutus sisältää viisi reaktoria ja kolme sakeutinta. Reaktoreihin ajetaan pasute, paluuhappo elektrolyysistä ja yhden sakeuttimen ylite (suoraliuotuksen viimeinen sakeutin). Liutukseen syötetään happea raudan hapettamiseksi. Neutraaliliuotuksen liuennut ja kirkastunut sinkkisulfaattiliuos ajetaan puhdistuksen kautta elektrolyysiin. Neutraaliliuotuksen aikana liukenematon aines jää alitteeseen, joka ajetaan vahvahappoliuotukseen. Vahvahappoliuotukseen kuuluu neljä reaktoria ja sakeutin. Reaktoreihin ajetaan siis neutraaliliuotuksen alite, paluuhappoa, supervahvahappoliuotuksen ylite ja rikkihappoa.

Vahvahappoliuotuksen tavoitteena on parantaa liuotussaantia, parantaa sakan laatua supervahvaliuotusta ja hopean talteenottoa varten, tasata liuosväkevyyttä väkevällä rikkihapolla ja BOHA -hapolla. Seuraava vaihe eli supervahvahappoliutus sisältää kaksi reaktoria ja sakeuttimen. Viimeisen liuotuksen tavoitteena on parantaa saantia, liuottaa vaikeimmat yhdisteet kuten sinkkiferriitti, kupari- ja kadmiumyhdisteet, estää sinkin ja raudan pääsy hopearikasteeseen ja mahdollisimman hyvä hopeasaanti. Syötteenä reaktoreihin tulee vahvahappoliuotuksen alite ja paluuhappoa tarpeen mukaan. Sakeuttimen ylite palaa vahvahappoliuotukseen ja alite otetaan hopean talteenoton syötöksi.

Rikasteen liutus on vaihe, joka tarkoittaa ”puhtaan” sinkkirikasteen lietta ja liuotusta. Prosessi sisältää rikasteen syöttölaitteiston, kaksi liettoreaktoria ja kymmenen liutusreaktoria kahdessa linjassa. Rikasteen liuotuksen tavoitteena on hyvä sinkkisaanti ja valmistaa hyvä liuos neutraaliliuotusta varten (poistaa suurin osa raudasta jarosiittina). Reaktoreiden syöttö koostuu siis rikasteesta, paluuhaposta ja vahvahappoliuotuksen ylitteestä. Reaktoreiden jälkeen liuos erotaan sakeuttimissa kirkkaaksi liuokseksi ja jarosiitiksi. Kirkas liuos pumpataan neutraaliliuotukseen ja jarosiitti alitteena pumpataan suodatettavaksi nauhasuodattimille.

(Boliden Kokkola. QF-ohje.)



### 2.3 Puhdistus

Neutraaliliuotuksesta poistuva ylite puhdistetaan ennen elektrolyysiä. Puhdistusprosessin kuuluu kloorin, kuparin, koboltin ja kadmiumin poisto. Puhdistukseen käytetään sinkkipölyä, koska kaikki puhdistettavat metallit ovat sinkkiä jalompia. Puhdistus on jatkuva kolmiasteinen prosessi, jossa sinkkipölyä lisätään joka vaiheen välissä saostumisen onnistumiseksi. Puhdistuksen jälkeen liuos on sinkkisulfaattiliuosta. Kloridia poistetaan sivuvirrasta kuparin poistossa syntyvän kuparioksiduulin avulla.

(Boliden Kokkola. QF-ohje.)

### 2.4 Elektrolyysi

Puhdistettu sinkkisulfaattiliuos pumpataan elektrolyysiin, jossa sähkövirran ja rikkihapon avulla muodostetaan sinkkilevyjä (1). Sinkki kerääntyy alumiinisen katodilevyn pinnalle, josta se irrotetaan irroituskoneilla. Elektrolyysissä käytetty rikkihappo muodostaa paluuhapon liuotukseen.



(Boliden Kokkola. QF-ohje.)

### 2.5 Valu

Puhdas sinkki siirretään valimolle, jossa se sulatetaan induktiouneissa ja valetaan haluttuun harkkokokoon. Valimolla tuotetaan myös sinkkipölyä puhdistusvaiheen tarpeiden mukaan. Valulta sinkkiharkot jatkavat matkaa satamaan, josta se lastataan toimituksia varten. Kotimaisille asiakkaille sinkki toimitetaan junien avulla.

### 3 SUODATUS

Suodatusta voidaan kuvata kiinteiden partikkeleiden erouksella fluidista ajamalla seos nesteen läpäisevän materiaalin läpi, joka erottaa kiinteän aineksen. Jotta neste virtaa erottavan materiaalin läpi tarvitaan sille jokin ajava voima korvaamaan paineenmenetyksensuodatuksen aikana. Näitä ajavia voimia voi olla neljää erilaista.

- Painovoima
- Vakuumi
- Paine
- Keskipakoinen.

(Svarokvsky 2000, 317–320.)

Suodatus voidaan jakaa useaan eri ryhmään, riippuen siitä miten se jaetaan. Kakkusuodatus on tapa, jossa ns. pintasuodatusta käyttäen kerätään ohutta kalvoa erottamaan kiinteät partikkelit nesteestä. Ne kerätään kiinteän aineksen kakuksi, joka tekee suurimman osan suodattuksesta. Toinen tapa on ns. syväsuodatusta, jossa on paksu kiinteän aineen sisäänsä keräävä materiaali. Kiinteät partikkelit siis kerääntyvät suodattavan materiaalin sisällä nesteen läpäistessä sen.

(Svarokvsky 2000, 317–320.)

Pintasuodatusta käytetään yleensä, kun erotettavassa aineessa on korkea kiintoainepitoisuus ja määrät ovat suuria. Siinä on pienempi paineen pudotus suodatuksen aikana, joten se ei tarvitse valtavaa ajavaa voimaa paine-eron korvaamiseksi. Syväsuodatuksessa kiinteät partikkelit ovat pienempiä kuin kalvo, jonka ne läpäisevät, joten ne pääsevät paksun erottavan materiaalin sisälle kerääntyen sinne, kun taas neste ei. Tässä suodatusmenetelmässä paine-ero voi kasvaa hyvin suureksi verrattuna pintasuodattamiseen. Tätä menetelmää käytetään usein nesteille, joissa kiintoainepitoisuus on pieni ja partikkelit pieniä. Siksi sen suosituimpia käyttökohteita on kirkastus prosessit. Kakkusuodatus on yleisempi suodatustapa, sillä sen soveltuvuus on huomattavasti suurempi teollisissa prosesseissa.

(Svarokvsky 2000, 317–320.)

Tässä opinnäytetyössä käytettiin vakuuissa toimivaa nauhasuodatinta, jonka suodatusmenetelmä luokitellaan kakkusuodattukseksi.

### 3.1 Kakkusuodatus

Kakkusuodatus vaatii kiintoainetta syötteestä muodostamaan kakun ja kankaan, jonka päälle kakku muodostuu, joiden läpi neste pääsee suodattumaan. Kun kakku on muodostunut kerää, se itseensä lisää kiintoainetta, jonka takia kakku pitää kerätä pois välillä. Tämän takia useat kakkusuodatuskäyttävät prosessit eivät ole jatkuva toimisia, mutta nauhasuodatin on tästä poikkeus. Jatkuvassa kakkusuodatusprosessissa kakun paksuus ei pääse kasvamaan eikä kakun vastus siis kasva prosessin aikana, ellei syöte sitä aiheuta. Yleisemmin käytetyssä kakkusuodatusmenetelmässä painesuodattamisessa kakun paksuus kasvaa, joten sen vastuksen kasvaminen täytyy ottaa huomioon ja siksi ajaa panosprosessina. Kakkusuodatuksessa paineenlasku tulee ottaa huomioon, jotta suodatus toimii. Tietämällä osa paineista voidaan laskea kokonaispaineenpudotus. Kokonaispaineenpudotus on aina kaikkien paineiden pudotusten summa. Kun  $p_a$  on alkupaine,  $p_b$  lähtöpaine ja  $p'$  on paine kakun ja suodinkankaan välissä voidaan muodostaa kokonaispaineenpudotukselle kaava:

$$\Delta p = p_a - p_b = (p_a - p') + (p' - p_b) = \Delta p_c + \Delta p_m \quad (1)$$

jossa  $\Delta p$  = kokonaispaineenmuutos

$\Delta p_c$  = paineenpudotus kakun läpi

$\Delta p_m$  = paineenpudotus suodatuskankaan läpi

(Harriott, McCabe & Smith 1993, 1016.)

### 3.2 Vakuumisuodatus

Vakuumisuodatuksessa ajava voima saadaan imemällä ilmaa suodatinkankaan toiselta puolelta, jonne puhdas suodos kertyy. Jos syötteen hienojakoisten partikkeleiden määrä on alhainen, voidaan kohtuullisen pienellä vakuumilla päästä yhtä hyviin suodatustuloksiin kuin painesuodattimilla. Tämä suodatustapa tarjoaa myös ainoan aidosti jatkuvan suodatusmenetelmän teollisessa mittakaavassa, jossa kakun pesu, kuivaus ja muut tarpeet saadaan suoritettua yhdellä prosessivaiheella.

Vakuumisuodattimia on olemassa useaa eri tyyppiä; ne ovat yleensä joko panos- tai jatkuvatoimisia suodattimia. Suurin osa vakuumisuodattimista on vaakatasossa toimivia suodattimia, jossa kakku pääsee muodostumaan kankaan päälle. Vaakatasossa toimivien vakuumisuodattimen etuja verrattaessa muihin

vakuumisuodin tyypeihin on suuret kapasiteetit, kakun pesu- ja kuivausmahdollisuudet, painovoima auttaa suodatuksessa vakuumin lisäksi, pienten partikkeleiden läpipääseminen on siedettävää, sillä suodos voidaan kierrättää ja suodattimet tarjoavat yleensä monipuoliset vaihtoehdot kakun muodostumisen säätämiseen.

(Svarokvsky 2000, 424–427.)

### **3.3 Kakun pesu**

Kakun pesun merkitys on kasvanut suodatusprosesseissa nykypäivänä. Sillä saadaan parannettua suodatuksen saantia ja vähennettyä hävikkiä, joka on hyväksi myös ympäristön kannalta. Ympäristöön liittyvät prosessiratkaisut ovat tärkeitä nykypäivänä jokaiselle tehtaalle niiden tärkeyden noustessa. Kakun pesulla pyritään huuhtomaan kaikki neste, jota suodatuksella pyritään puhdistamaan, pois kakusta ja takaisin prosessiin. Pesussa tulee ottaa kuitenkin huomioon kakun haluttu kosteus poistovaiheessa, sillä liiallinen pesu saattaa johtaa märkään kakkuun, mikäli kuivumiselle ei ole tarpeeksi aikaa. Liiallinen pesuveden käyttö on myös turha kuluerä tehtaalle, kun puhutaan suurteollisuus mittakaavan prosesseista. (Harriott, McCabe, Smith 1993, 1029.)

Kakun kuivumista ennen pesua pidetään pesua parantavana tekijänä. Sillä on kuitenkin vaaransa, sillä kuivuminen saattaa aiheuttaa kakun halkeilua, joka taas heikentää pesun vaikutusta. Tämän takia pesun optimointi riippuu hyvin paljon prosessista ja tehdään yleensä prosessikohtaisesti kokeiden perusteella. (Svarokvsky 2000, 335–337.)

### **3.4 Nauhasuodattimet**

Nauhasuodattimet sopivat erityisen hyvin, kun kakun pesu on tärkeää, on kiintoaine sitten nopeasti tai hitaasti kuivuvaa. Nauhasuodattimet koostuvat ylä- ja alaosa (KUVA 2). Yläosassa tapahtuu syötön suodatus, pesu ja kuivaus, kun taas alaosa hoitaa maton ja kankaan pesun, jotta se on puhdas kierroksen mentyä ympäri. Nauhasuodattimia on saatavilla useassa eri koossa aina laboratoriomittakaavasta 200 neliömetrin suodatuspinta-alaan asti. Niitä voidaan ajaa jopa 30 m/min nopeudella, joka takaa suurten kapasiteettien käsittelyn, mikäli se on mahdollista. Niiden suurin haittapuoli on asennuspinta-alan tarve ja mattojen ja kankaiden vaihdon kulut.

(Svarokvsky 2000, 416–418.)

Jarosiitin nauhasuodattimet sijaitsevat prosessissa liuotuksen jälkeen. Nauhasuodattimien syöttö tulee kolmen sakeuttimen alitteista, joka on noin 75 m<sup>3</sup>/h. Suodattimien tarkoitus on suodattaa emäliuos, joka

sisältää liuenneen sinkin ja muita metalleja pois läjitysalueelle menevästä jätteestä, jotta hävikiltä ja turhalta neutraloinnilta vältyttäisiin. Nauhasuodattimia on rinnan 6 kappaletta ja jokaisen kapasiteetti on noin 15m<sup>3</sup>/h. Syötön laadusta riippuen niitä pystytään kuitenkin ajamaan jopa 20 m<sup>3</sup>/h kapasiteetilla.

Syöttö nauhasuodattimelle tapahtuu nauhan alkupäästä. Syöttö tulee syötönjakajaan, jonka tehtävä on jakaa syöte koko kankaan leveydelle tasaisesti. Kankaan alla on kangasta kuljettava matto, jonka keskellä on aukkoja, josta vakuumi imetään. Maton aukoista lähtee uria sivulle, jotta vakuumi on tasainen koko kankaan leveydellä. Syötönjakajan jälkeen liete suodattuu matkan x vakuumin avulla, kun kakku kankaan päällä on kuiva, tulee 1.pesuvaihe, jossa kakkua pestään vedellä niin paljon, että se ei ehdi liikaa kuivua ennen 2.pesuvaihetta. Toisessa pesuvaiheessa kakkua pestään taas sen verran, että se kuivuu ennen hihnan loppumista ja kakun putoamista. Pesuilla pyritään saamaan kaikki mahdolliset emäliuoksen jäämät kakusta irti ja pesuveden määrä on yleensä kriittinen tekijä suodatuksen tuloksessa. Pesuveden ohjearvo Bolidenilla on 1,5 m<sup>3</sup>/h pesuvettä per kiintoainetonni.

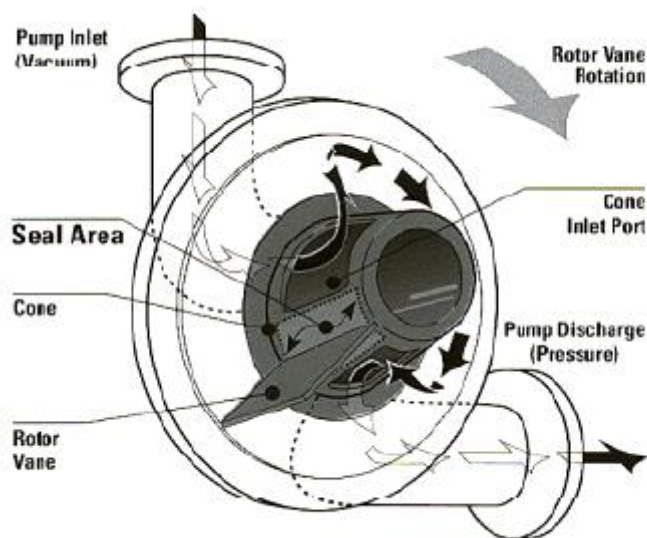
Kakun irtoamisen jälkeen kantohihna ja kangas pestään prosessivedellä samalla, kun ne palaavat takaisin syötönjakajalle. Välissä on myös kiristin, joka pitää kankaan koko ajan kireällä. Nauhasuodattimien tärkeitä säätöparametreja, jotka vaikuttavat suodatuksen laatuun ja kapasiteettiin ovat lietteen syöttömäärä, nauhan nopeus, vakuumi, pesuveden määrä ja pesualueiden jaottelu.

### **3.4.1 Nauhasuodattimien vakuumijärjestelmä**

Nauhasuodattimien vakuumijärjestelmä koostuu kuudesta tyhjiöpumpusta. Aikaisemmin kaikkien pumppujen imulinjat yhtyivät ennen suodattimia, minkä vuoksi yksittäiset alipaineen säädöt eivät olleet mahdollisia. Täydellisessä tilanteessa ongelmia ei ollut, mutta paineen katoaminen yhdessä suodattimessa vaikutti tässä tapauksessa kaikkien suodattimien alipaineeseen. Uudistuksen myötä, jokaiselle nauhasuodattimelle on oma pumppu, jotta alipaineen määrää voidaan operoida. Pumpun vikatilanteessa vanhoja linjoja voidaan kuitenkin vielä käyttää, jolloin muiden pumppujen tehoja nostetaan korvatakseen käytöstä pois olevan pumpun.

Pumput toimivat nestekierrolla, joka on yleensä vettä tai öljyä (KUVA 3). Roottori pyörii epäkeskisen, pyöreän rungon sisässä ilman kosketusta metalliin. Roottorin lavat ovat kiinni siten, että ne muodostavat keskelle kammioita. Nesterengas muodostuu pumpun sisälle, kun juoksupyörä pyörittää nestettä. Tiivisteväsi liikkuu sykleissä roottorin edetessä, ensin epäkeskiseen pesään tyhjentäen roottorin

kammion ja kun roottori etenee edelleen pakottaa se tiivistenesteen takaisin kammioon. Tämä sykli toimii männän tavalla pumpulla. Tiivistenesteen virratessa ulos kammioista, ottaa kammiot ilmaa imuaukosta, ilma kompressoituu ja poistuu syklin loppuvaiheessa ulostuloaukosta samalla kun tiivisteneste sen työntää pois. Tämä toistuu jokaisella pumpun kierroksella luoden tyhjiötä imupuolelle. (CNN model manual, 3–4.)



KUVA 3. Cutes Europe CNN mallin tyhjiöpumppu (CNN model manual. Cutes Europe.)

#### 4 KOEAJOJEN SUUNNITTELU

Koeajojen suunnittelu oli ensimmäinen vaihe opinnäytetyössäni prosessilaitteistoon tutustumisen jälkeen. Suunnitteluja varten puhdistamolla oli onneksi otettu sakkanäytteitä nauhasuodattimilta lokakuusta 2018 lähtien. Käyttäen Wedge-ohjelmaa yritin löytää yhteyttä hyvien ja huonojen tulosten välillä muihin suodattimien ajoarvoihin. Mitään täysin toisiin vaikuttavia arvoja ei tällä tavalla löytynyt, vaan se tuntui olevan monen asian summa, joista kaikkiin ei tässä opinnäytetyössä pääsisi edes vaikuttamaan. Jos jonkin arvon nostaisin esiin tästä tutkimisesta, niin se oli huomio, että pesuveden niukkuus aiheutti oikeastaan poikkeuksetta nesteliukoisen sinkin osuuden nousua sakassa.

Kun selvästi yhteneviä tekijöitä ei löytynyt, täytyi kokeelle löytää uusi lähestymistapa. Seuraavaksi etsin kahta mahdollisimman samalla tavalla reagoivaa nauhasuodatinta, sillä nauhasuodattimien erot tuloksissa olivat suuria, vaikka ajoparametrit olisivat samoja. Tämä johtui operaattoreiden mukaan suodatinkankaan ja pesualueiden eroista. Päädyin valitsemaan kokeille nauhasuodattimet 4 ja 5. Näiden pesualueet olivat lähes identtiset, sillä ne olivat vierekkäin prosessissa, joka saattaa hieman vaikuttaa syötteen tasaisuuteen ja toimivat muutenkin ilman merkittäviä eroja.

Tiesin, että alipaineen merkitys prosessiin on pääasia, jota haen, joten sen tuli olla koeajoissa muuttuva arvo. Laadin siis pienet ohjeet operaattoreille tulevia kokeita varten, jossa kerroin koeajojen idean. Lopulliseksi suunnitelmaksi siis tuli se, että nauhasuodattimien 4 ja 5 syötöt asetetaan samaan esim. 20 m<sup>3</sup>/h, jonka jälkeen hihnan nopeus sellaiseksi, että kakun paksuus pysyy alle 10 mm. Pesuvedet säädettiin sopivaksi suodattimille erikseen, koska täysin identtiset tilanteet eivät olisi olleet realistisia. Tämän säädön jälkeen haettiin ensimmäinen sopiva alipaine päivästä riippuen. Alipaineet valittiin siten, että kun pumput kävivät 100% teholla vaikka 0,38 bar:n alipaineella, kun prosessi säädettiin kohdilleen, otettiin ensimmäiseksi arvoksi 0,35 bar ja lähdettiin siitä alaspäin 0,05 bar:n erotuksella (TAULUKKO 1).

TAULUKKO 1. Esimerkki suunnitteluvaiheessa laaditusta taulukosta

Syöttö (m <sup>3</sup> /h)	Hihna (cm/s)	Kiintoaine (g/l)	Pesuvesi (m <sup>3</sup> /h)	Alipaine (bar)	Pumppu (%)	Kakun paksuus (mm)	Permeabiliteeti (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /h)	H <sub>2</sub> O (%)	Zn vl (%)
20				0,20					
20				0,25					
20				0,30					

#### 4.1 Permeabiliteettikoe

Jokaisen koeajon yhteydessä otettiin näyte nauhasuodattimien syötteestä. Halusin selvittää syötteen suodattavuuden sinä ajankohtana, kun koeajo tehtiin, jos tällä olisi mitään suoraa yhteyttä nauhasuodattimen toimintaan.

Näytteenoton jälkeen näytteelle siis tehtiin suodattavuuskoe. Kokeesta oli tarkoitus saada selville permeabiliteetti eli kuinka näyte suodattuu. 300 ml näytettä kaadettiin suodattimelle, jolloin ajanotto aloitettiin, vakuumpumppu käynnistettiin ja 60 sekunnin päästä suodattunut neste kirjattiin ylös. Tällä tavalla jokaisesta syötteestä saatiin arvo m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/h, joka kuvastaa kuinka hyvin sakan läpi neste suodattuu. Permeabiliteetti laskettiin siis itse keksityllä kaavalla:

$$1 \div A \times l \times 60 \div 1000 \quad (2)$$

A = Suodatuspinta-ala

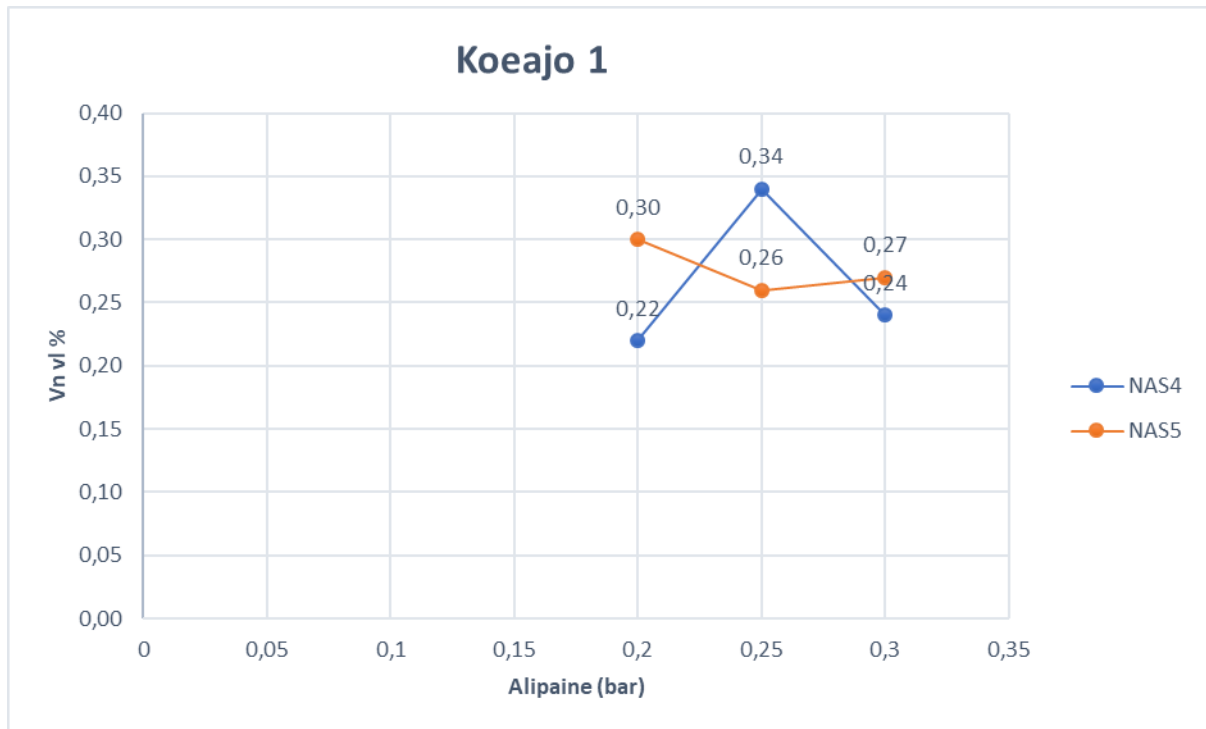
l = suodattunut neste minuutissa



## 5 KOEAJOJEN SUORITUS JA TULOKSET

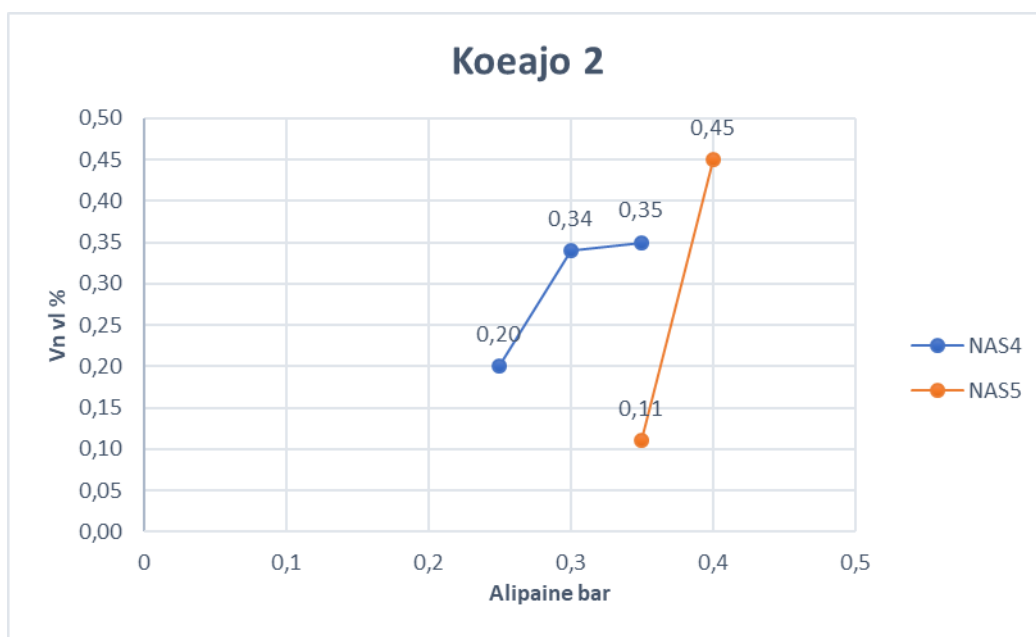
Koeajojen suoritus meni odotetusti. Suodattimien syötöt ajettiin samoiksi nostaen toisen ja laskemalla toisen syöttöä, hihnan nopeus ja pesuvesien määrä säädettiin paikan päällä tehtyjen arvioiden perusteella rikkomatta yleisiä ajo-ohjeita ja ensimmäistä sopivaa alipainetta alettiin hakemaan. Kun haluttu alipaine saavutettiin ja prosessi oli tasainen, otettiin kakusta näyte, jonka jälkeen alettiin hakemaan seuraavaa alipainetta ja prosessia toistettiin, kunnes päästiin pumpun ylä- ja alarajoille. Näitä koeajoja suoritettiin kolme kappaletta noin viikon välein ja jokaisella kerralla prosessi saatiin käymään tasaisesti ja otettua näytteet 2–3 eri alipaineen arvolla. Syötön kiintoainepitoisuus ja permeabiliteetti vaihteli reilusti koeajojen välissä, joka oli hyvä asia, sillä sitä, saatiin verrattua kokeiden tuloksiin mahdollisimman laajalla mittakaavalla. Tarkemmat tiedot koeajojen tuloksista ja arvoista löytyy liitteestä 1.

Koeajojen aikana saatiin tehtyä paljon havaintoja suodattimien toiminnasta eri alipaineissa ja siitä riippumattomissa asioissa. Suodattimista löytyi pieniä ongelmia, jotka vaikuttavat suodatustulokseen ja olisivat korjattavissa. Syöttökaukaloiden parannuksilla voitaisiin välttää sen osittainen tukkiutuminen parantaen kakun tasaisuutta. Pesuvesi ei jokaisessa suodattimien pesuvaiheessa tule kakulla aivan tasaisesti, joka hieman heikentää kakun pesua. Pesussa olisi tärkeintä saada pesuvesi kulkemaan läpi jokaisesta kakun kohdasta.



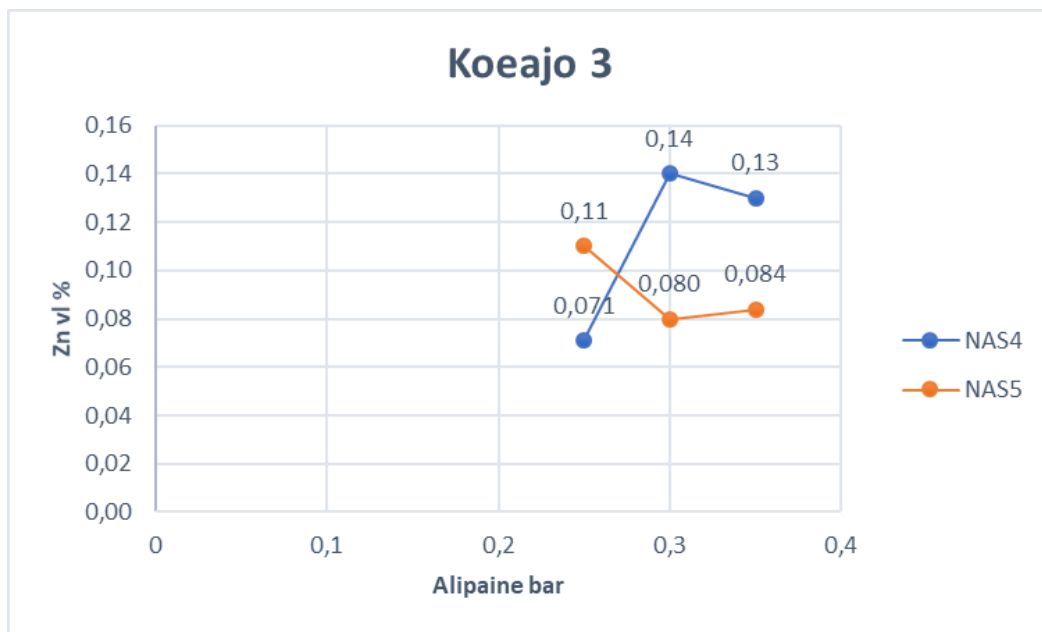
KUVA 4. Ensimmäisen koeajon tulokset

Ensimmäinen koeajo onnistui suunnitelmien mukaan. Kokeiden laajuuden (painealueen) määritti sillä hetkellä vallitseva permeabiliteetti ja sen vaikutus pumppujen tehoon. Tässä koeajossa siis 0,2 bar oli pienin mahdollinen paine, jonka pumppu pystyi ylläpitämään tasaisena, kun taas 0,3 bar oli suurin mahdollinen alipaine, jonka pumput tuottivat (KUVA 4).



KUVA 5. Toisen koeajon tulokset

Toinen koeajo onnistui muuten hyvin, mutta NAS5 suodattimella ei päästy 0,35bar alipainetta pienemille arvoille. Isommalla paineella ei lähdetty näiden koeajojen aikana yrittämään, sillä permeabiliteetti oli huono, jolloin suurempi paine teki kakusta liian tiiviin. Tämän koeajon aikana huomasin omin silmin, miten paljon paineen lasku vaikutti. Kakku tasoittui huomattavasti ja halkeamat katosivat melkein täysin. Kakusta tuli huomattavasti kosteampi, mutta se sentään osoitti, että pesuvesi pääsi menemään koko kakun läpi eikä kanavoitunut (KUVA 5).



KUVA 6. Kolmannen koeajon tulokset

Viimeisessä koeajossa saatiin sinkkipitoisuuden puolesta loistavia tuloksia johtuen permeabiliteetista. Syöttö oli huokoista eikä kakku halkeillut niin helposti. Hyvin suodattuva syöttö antaa paljon enemmän anteeksi myös alipaineen suhteen (KUVA 6).

## 6 TULOSTEN ARVIONTI

Koeajojen tuloksista tärkein päätelmä on se, että pienemmällä alipaineella ajaminen ei huononna tuloksia ja se on mahdollista tuotantokapasiteettia laskematta. Vakuumin laskeminen vaikutti hieman kakun kosteuteen, mutta ei niin, että sillä olisi jatko prosessille negatiivisia vaikutuksia. Tuloksista ei voida päätellä suoraan, mikä vakuumin määrä olisi paras prosessille vaan, se on riippuvainen syötteen permeabiliteetista. Helposti suodattuva syöttö antaa enemmän anteeksi vakuumin heilumista, mutta kun syöttö on huonosti suodattuvaa eli omaa alhaisen permeabiliteetin vaikuttaisi alhaisella alipaineella ajaminen olevan parempi vaihtoehto, jos katsoo toisen koeajon tuloksia.

Koeajojen aikana huomasin, että omilla silmillä tehdyt havainnot osoittautuivat oikeastaan arvokkaammaksi kuin näytteiden tuloksista pääteltävät tulokset. Koeajoihin alkaessani pumpput kävivät 100%:n kierroksilla aina kun saavuin paikalle. Pumpun tehoja tiputtaessa, jotta päästiin haluttuun painemäärään kakun halkeilu vähentyi huomattavasti. Kun kakku ei halkeile, vaan pysyy ehjänä levynä, toimii kakun pesu paljon tehokkaammin, sillä kanavoitumista ei pääse tapahtumaan. Mahdollisimman pienelle alipaineelle siirtyessä molemmat suodatuksen pesuvaiheet alkoivat yleensä tulvimaan (vettä kertyi kakun pinnalle, eikä kakku kerennyt kuivua pesujen välissä). Tämän on epäilty pilaavan suodatuksen ja huonontavan tuloksia, mutta kyseinen ilmiö ei vaikuttanut tuloksiin. Vesipatsas kakun päällä myös tuntui ehkäisevän kanavoitumista, sillä pienet halkeamat kakussa eivät laajentuneet, kun pumppu ei päässytäkään imemään halkeaman kautta ilmaa ja kasvattanut sen takia kierroksia. Huomasin myös jokaisen kokeen päätyttyä, kun suodattimia alettiin ajamaan takaisin ennen koetta välliniseihin arvoihin, että jos aikaisemmin täydellä pumpun teholla saatiin 0,3 bar alipaine, niin nyt siihen riitti noin 90%:n teho. Tästä voidaan päätellä, että suodattimilla tapahtuu paljon kakun halkeilua, jonka vuoksi pumpun teho nousee alipaineen ylläpitämiseksi. Pumpun käydessä pienemmällä teholla saadaan tehtyä säästöä niin energiankulutuksen kuin kulumisen kannalta, joka voi pitkällä aikavälillä osoittautua suureksikin summaksi.

Pesun ja kakun levittymisen ongelmat olisivat korjattavissa pienillä projekteilla ja niiden vaikutuksia voi testata väliaikaisella ratkaisulla. Kakun levittäytymiseen voidaan vaikuttaa uusilla kaukalon osilla tai syötteen laimentamiseen itse syöttökaukalossa. Pesuveden jakautuminen tasaisemmin parantaisi pesun tulosta ja myös ehkäisisi kakun halkeilua estämällä tiettyjen kohtien kuivumisen kakussa.

Permeabiliteetti vaihteli noin  $45\text{-}60\text{m}^3/\text{m}^2/\text{h}$  välillä kokeiden aikana. Kiintoaineen määrällä syötteessä on vaikutusta permeabiliteettiin, mutta se ei ole yksin selittävä tekijä niin kuin tuloksista käy ilmi (LIITE1). Permeabiliteetti on kuitenkin suurin vaikuttava tekijä suodatuksen alipaineen määrittämiseen, jonka takia sen mittausmahdollisuuksia tulisi tutkia, sillä se olisi hyödyllinen arvo operaattoreille suodatuksien ajamisessa.

Koeajojen aikana neutraloinnissa käytettävän lipeän kulutuksessa huomattiin myös huomattavaa laskua, joka viittaa siihen, että sinkin määrä kakussa väheni vakuumia laskiessa ja prosessin säätämisessä silmämääräisesti kohdilleen (LIITE2). Jos lipeän laskua saadaan tällä tavalla alas prosessin säätämisen avulla, voi sillä saada aikaan suuria taloudellisia säästöjä vuosittain neutralointikulujen laskiessa.

## 7 YHTEENVETO JA EHDOTUKSET

Työssä pyrittiin selvittämään onko mahdollista saada parempia tuloksia jarsiitin suodatuksen nauhasuodattimilla vakuumin määrää muuttamalla, jonka uusi prosessimuutos sallii. Tarkoituksena oli huomioida samalla muitakin mahdollisia vaihtoehtoja suodattimien operoinnin parantamiseksi, mikäli sellaisia esiintyisi.

Työssä tutustutaan Boliden Kokkolan prosessiin kokonaisuudessaan, jotta prosessin tarkoitus ja tärkeys tulee selväksi. Teoriaosiossa avataan hieman suodatuksen periaatteita, mutta laskennallisen osuuden vähyyden vuoksi se ei ole laajaa. Opinnäytetyö keskittyi alusta lähtien teollisuuden mittakaavassa toteutettaviin koeajojen ja niiden tulosten tulkintaan.

Opinnäytetyö koostui neljästä osasta. Prosessiin tutustumisesta, koeajosuunnitelman luomisesta, koeajojen suorittamisesta ja tulosten analysoinnista. Onnistuneen prosessiin tutustumisenkin johdosta koeajosuunnitelman luominen tuotti haasteita projektissa. Suodattimet eivät ikinä toimi identtisesti osien kulumisen vuoksi ja koeajotilanteet suoritettiin prosessin olevan normaalisti linjassa, joten ääriolosuhteita ei pystytty testaamaan. Turvallisen koeajosuunnitelman jälkeen koeajot sujuivat kuitenkin odotetusti ja niiden aikana saatiin odotettua enemmän havaintoja suodattimien toiminnasta eri alipaineilla.

Vaikka työn pohjalta ei voida määrittää ideaalista alipainearvoa suodattimille, voidaan todeta, että alkuperäiseen ajotapaan verrattuna prosessia voidaan ajaa pienemällä alipaineella säästäten pumppuja niin kulumiselta ja energiankulutukselta. Veden kertyminen ensimmäisessä ja toisessa pesuvaiheessa ei myöskään aiheuttanut suodattumisen heikentymistä mikä oli aikaisemmin oletus. Syöttökaukaloissa oli säännöllisesti ongelmia syötön levittymisen kanssa, jonka perusteella kiinteä pesuvesilinja syöttökaukaloon voisi olla toimiva ratkaisu. Sillä saataisiin lisättyä myös syötön laimennusta syötön ollessa huonosti suodattuvaa.

Permeabiliteetti osoittautui todella vaihtelevaksi syötteessä kuten oletettiin, koska siitä suodattimen monet ongelmat alkuperäisen oletuksen mukaan myös johtuivat. Kiintoaineen määrä syötteessä toki vaikuttaa permeabiliteettiin, mutta se ei suodatuskokeiden perusteella ollut ainoa vaikuttava tekijä. Tämän vuoksi permeabiliteetin mittaaminen olisi hyödyllistä vakuumpumppujen ajamista varten. Jos operaattori saisi luotettavan tiedon syötön laadun muutoksesta, olisi pumppuja ja suodattimia helppo operoida ennen ongelmien syntyä.

Ehdottaisin opinnäytetyön pohjalta, että pumppuja ei ajettaisi täydellä teholla vaan niihin asetettaisiin ylähälytysraja edes 95%:in. Tällöin operaattori huomaisi, että pumppu joutuu ajamaan täydellä teholla alipaineen pitämiseksi, joka ei olisi enää suositeltavaa. Haluttua alipainetta voitaisiin laskea suodattimella, jolloin mahdolliset halkeamat tai liian tiiviin kakun ongelmat korjautuisivat itsestään. Vielä parempi muutos olisi, jos permeabiliteettia saataisiin mitattua säännöllisesti, jota taas voitaisiin käyttää pumppujen ja suodattimien operoinnissa. Tämä vaatii enemmän vaivaa, mutta olisi sen arvoista. Ohjaamon operointikuvien muuttaminen auttaisi myös operaattoreita huomaamaan helpommin vakuumpumpun vaikutuksen suodatukseen. Jokaisen suodattimen operointikuvaan voisi liittää sen suodattimen pumpun, joka helpottaisi alipaineen mukaan ajamista.

## LÄHTEET

Boliden Kokkola. QF-ohje. Saatavissa sisäisestä verkosta.

Harriott P, McCabe W, Smith J. 1993. Unit Operations of Chemical Engineering. Fifth Edition. United States of America: McGraw-Hill, Inc.

Svarokvsky L. 2000. Solid-Liquid Separation. Fourth Edition. Oxford: Butterwoth Heinemann.

CNN model manual. Cutes Europe. Saatavissa sisäisestä verkosta,

Henley Ernest J, Seader J.D, Roper D.K. 2011. Separation Process Principles. Second Edition. Hoboken New Jersey: Wiley cop.

Chemical Processing. 2003. The many faces of horizontal vacuum belt filters. Www-dokumentti. Saatavissa: <https://www.chemicalprocessing.com/articles/2003/329/>

Boliden Kokkola. 2019. Www-dokumentti. Saatavissa: <https://www.boliden.com/fi/operations/smel-ters/boliden-kokkola>



LIITE 1

1. Sarja	5.3.2019 NAS 4										
Syöttö (m3/h)	Hihna (cm/s)	Kiintoaine (g/l)	Pesuvesi (m3/h)	Imupaine (bar)	Pumppu (%)	H2O (%)	Zn vl (%)	Permeabiliteetti	Kakun paksuus	Laimennus (m3/h)	Ka
20	7	300	2+4,9	0,2	37	46,2	0,22	51,84	9mm	8	280,49
20	7	300	2,3+4,9	0,25	79	46,7	0,34	51,84	9mm	8	280,49
20	7	300	2,3+4,9	0,3	100	47,2	0,24	51,84	9mm	8	280,49

1. Sarja	5.3.2019 NAS 5										
Syöttö (m3/h)	Hihna (cm/s)	Kiintoaine (g/l)	Pesuvesi (m3/h)	Imupaine (bar)	Pumppu (%)	H2O (%)	Zn vl (%)	Permeabiliteetti	Kakun paksuus	Laimennus (m3/h)	Ka g/l
20	7	300	1,5+4,9	0,2	33	49,1	0,30	51,84	9mm	8	280,49
20	7	300	1,9+4,9	0,25	59	48,3	0,26	51,84	9mm	8	280,49
20	7	300	1,9+4,9	0,3	91,5	46,3	0,27	51,84	9mm	8	280,49

	Permeabiliteetti			
ml/min	108		l	51,84 m3/m2/h
suodatusaika	168 s			
Pinta-ala	125mm2			
Syöttö	300ml			

## LIITE 1/2

2. Sarja	13.3.2019 NAS 4										
Syöttö (m3/h)	Hihna (cm/s)	Kiintoaine (g/l)	Pesuvesi (m3/h)	Imupaine (bar)	Pumppu (%)	H2O (%)	Zn vl (%)	Permeabiliteetti	Kakun paksuus	Laimennus (m3/h)	Ka
18,5	7	407	2,1+3,7	0,35	92	43,9	0,35	45,6	9	6	381,295
18,5	7	407	2,1+3,7	0,3	65	42,6	0,34	45,6	9	6	381,295
18,5	7	407	2,1+3,7	0,25	46	45,7	0,20	45,6	9	6	381,295

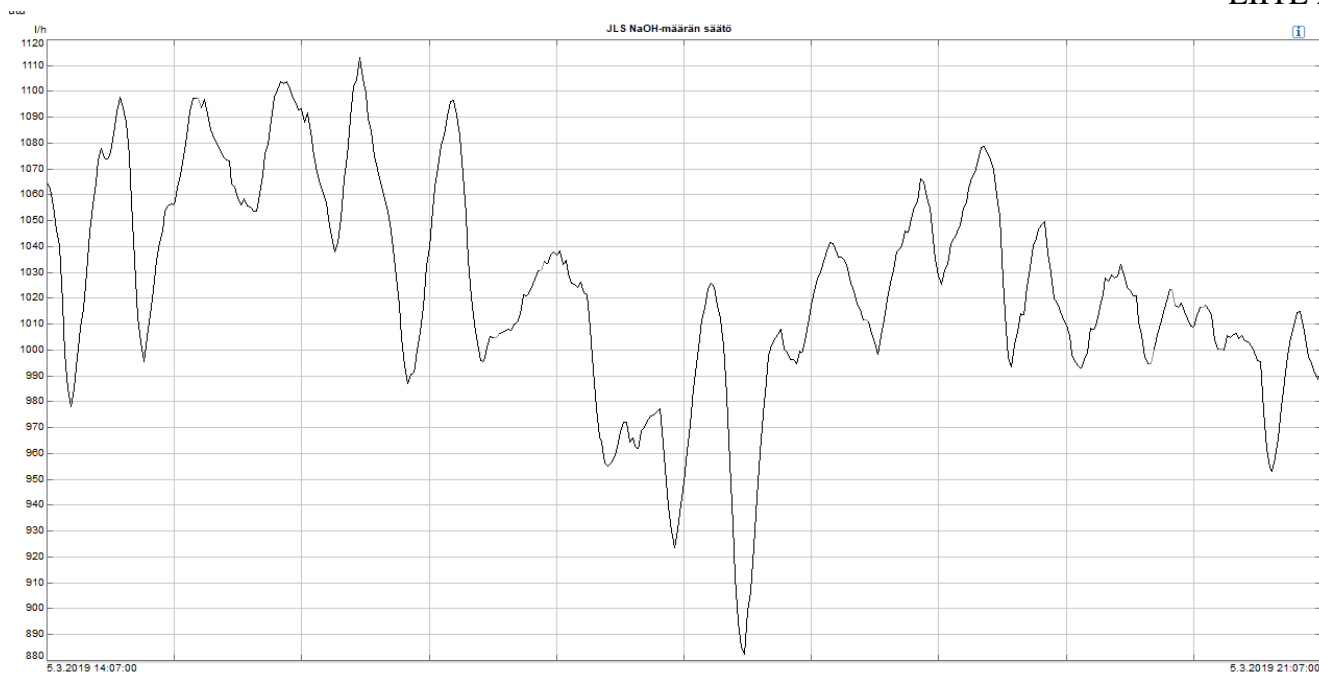
2. Sarja	13.3.2019 NAS 5										
Syöttö (m3/h)	Hihna (cm/s)	Kiintoaine (g/l)	Pesuvesi (m3/h)	Imupaine (bar)	Pumppu (%)	H2O (%)	Zn vl (%)	Permeabiliteetti	Kakun paksuus	Laimennus (m3/h)	Ka
18,5	7	407	1,8+5,9	0,4	68,5	43,9	0,45	45,6	9	6	381,295
18,5	7	407	1,8+5,9	0,35	52,5	45,9	0,11	45,6	9	6	381,295

	Permeabiliteetti	45,6	m3/m2/h
ml/min	95		
Suodatusaika	182s		
Halkaisija	125mm		
Syöte	300ml		

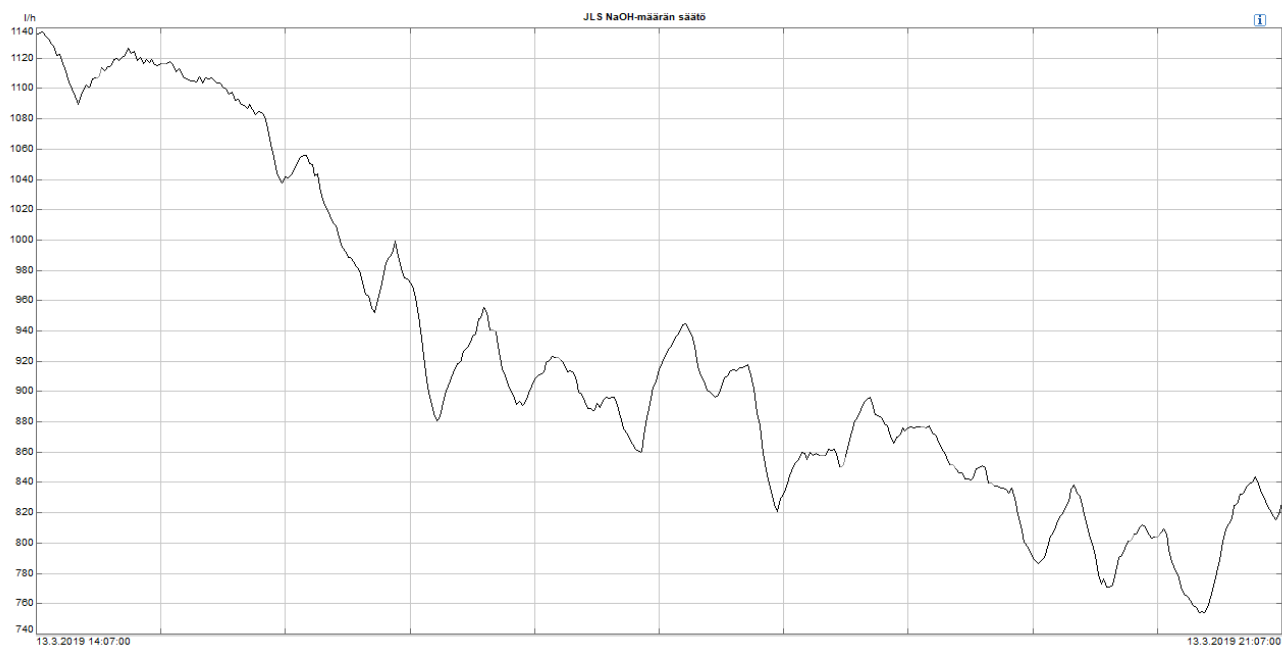
3. Sarja		22.3.2019		NAS 4								
Syöttö (m3/h)	Hihna (cm/s)	Kiintoaine (g/l)	Pesuvesi (m3/h)	Imupaine (bar)	Pumppu (%)	H2O (%)	Zn vl (%)	Permeabiliteetti	Kakun paksuus	Laimennus (m3/h)	Ka	
17,5	7	360	3,4+4,2	0,35	92	45,3	0,13	59,52	8	13	312,24	
17,5	7	360	3,4+4,2	0,3	75	45,2	0,14	59,52	8	13	312,24	
17,5	7	360	3,4+4,2	0,25	50	46,4	0,071	59,52	8	13	312,24	

3. Sarja		22.3.2019		NAS 5								
Syöttö (m3/h)	Hihna (cm/s)	Kiintoaine (g/l)	Pesuvesi (m3/h)	Imupaine (bar)	Pumppu (%)	H2O (%)	Zn vl (%)	Permeabiliteetti	Kakun paksuus	Laimennus (m3/h)	Ka	
17,5	7	360	2,5+5,3	0,35	80	45,6	0,084	59,52	8	13	312,24	
17,5	7	360	2,5+5,3	0,3	52	46,0	0,080	59,52	8	13	312,24	
17,5	7	360	2,5+5,3	0,25	45	46,8	0,11	59,52	8	13	312,24	

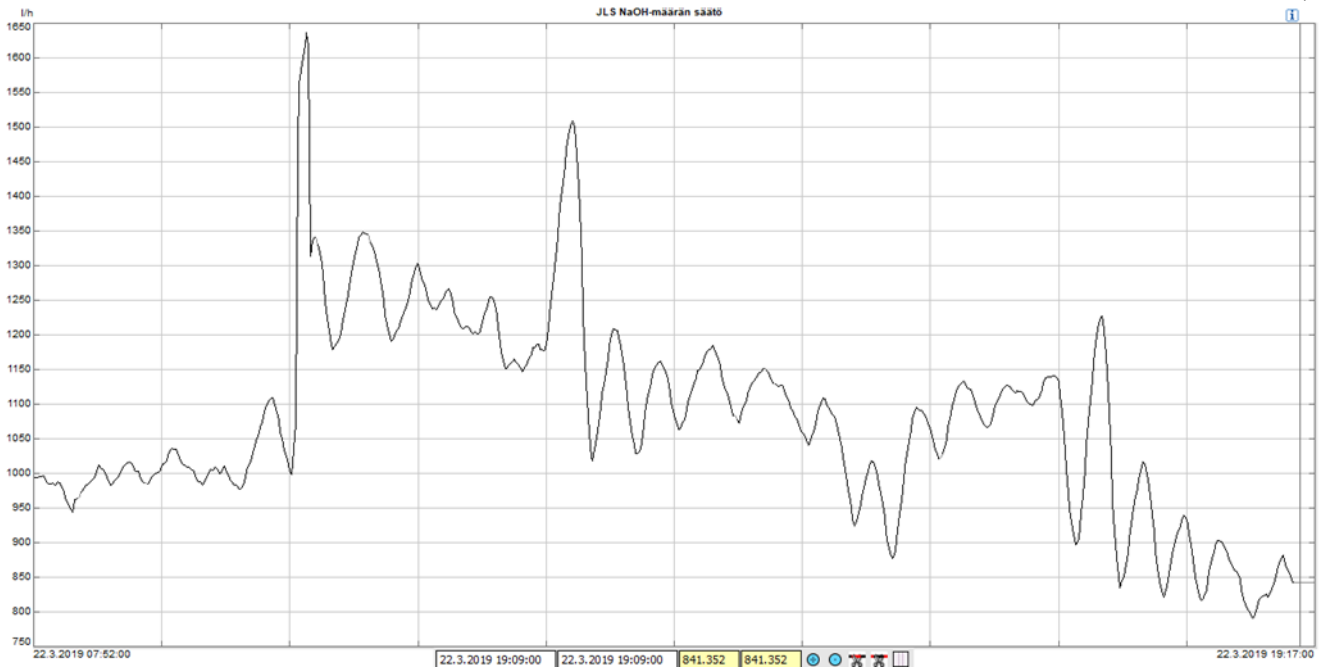
Näyte	300ml		
Suodos 60sek	124		
Suodatusaika	152		
Halkaisija	125		
Pinta-ala			
Permeabiliteetti		59,52	m3/m2/h



1.koeajo



2. koeajo



3. koeajo