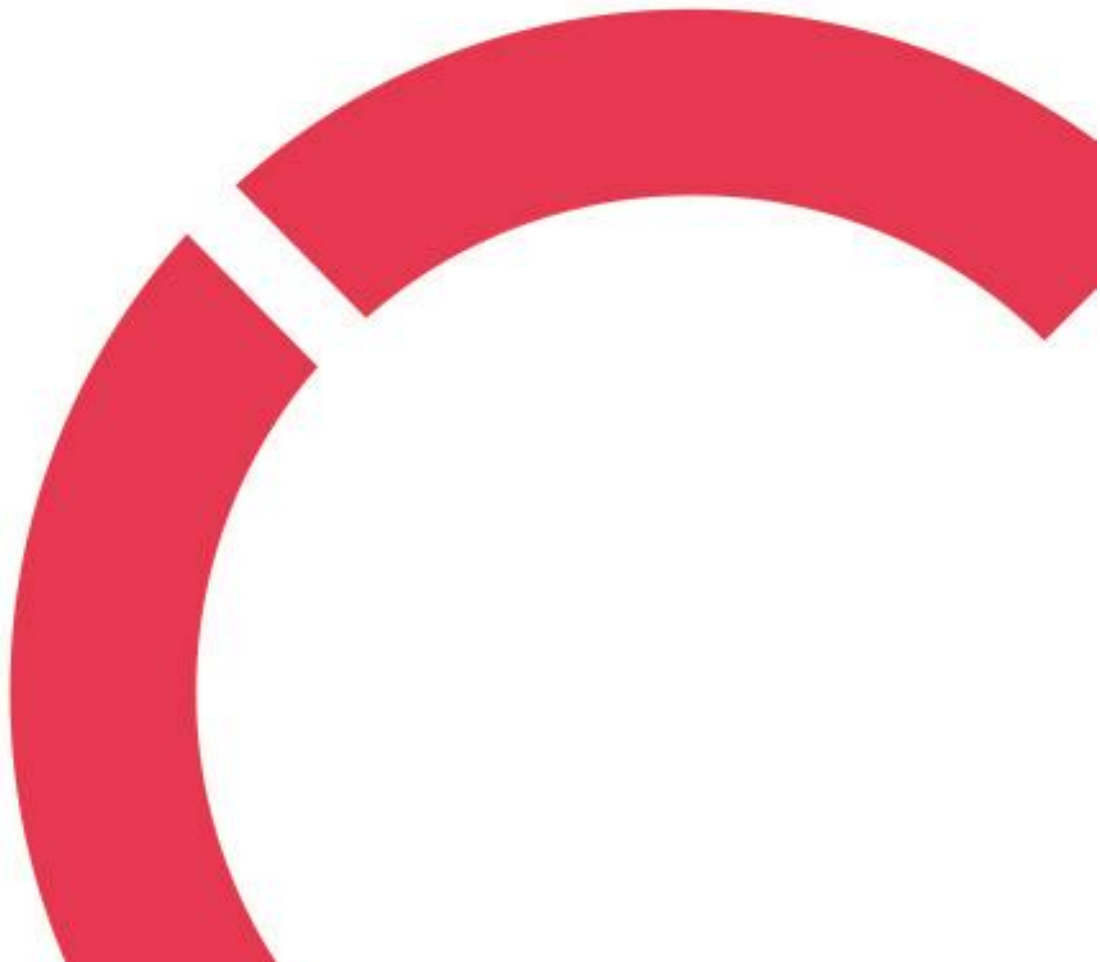


LIETETIHEYSMITTAUKSEN JA KAKUNPAKSUUSMITTAUKSEN HYÖDYNTÄMINEN JAROSIITIN NAUHASUODATTIMELLA

Boliden Kokkola Oy

**Opinnäytetyö
CENTRIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Kemiantekniikan koulutus
Huhtikuu 2022**



TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Centria-ammattikorkeakoulu	Aika Huhtikuu 2022	Tekijä/tekijät Noora Alapiha
Koulutus Prosessi-, materiaali- ja kemiantekniikka		<input checked="" type="checkbox"/> AMK <input type="checkbox"/> YAMK
Työn nimi LIETETIHEYSMITTAUKSEN JA KAKUNPAKSUUSMITTAUKSEN HYÖDYNTÄMINEN JA-ROSIITIN NAUHASUODATTIMELLA, Boliden Kokkola Oy		
Työn ohjaaja Risto Puskala		Sivumäärä 43 + 5
Työelämäohjaaja Jussi Ruokanen		
<p>Opinnäytetyö tehtiin Boliden Kokkolalle keväällä 2022. Työssä arvioitiin vertailumittauksiin perustuen lietetiheysmittauksen ja kakunpaksuusmittauksen toimintaa jarosiitin nauhasuodattimella. Työn tavoitteena oli lietetiheys- ja kakunpaksuusmittauksia hyödyntäen löytää keino, jolla jarosiitin nauhasuodatuksen päivittäistä prosessiajtoa voitaisiin helpottaa suodatuksen pääasialliset tavoitteet huomioiden.</p> <p>Jarosiitin suodatuksen pääasialliset tavoitteet huomioiden tässä opinnäytetyössä on rakennettu suositus lietetiheysmittauksen ja kakunpaksuusmittauksen hyödyntämisestä. Suosituksen perusteella opinnäytetyöprosessin aikana rakennettiin automaattinen säätöpiiri lietetiheyden hallintaan. Opinnäytetyössä hyödynnettiin kokeellista tutkimusotetta. Säätöpiirin toimintaa käytännössä havainnoitiin koeajoilla ja mittalaitteiden toimintaa arvioitiin erillisillä vertailumittauksilla. Tulokset taulukoitiin ja käsiteltiin. Jarosiitin nauhasuodattimia on Boliden Kokkola Oy:lla käytössä 6 kpl, mutta tämä opinnäytetyö on rajattu tarkastelemaan yhtä suodatinta. Suosituksen on tarkoitus hyödyttää koko laiteryhmää.</p> <p>Teoriaosuuden keskiössä on nauhasuodatuksen liittyvät tekijät. Automaatiojärjestelmien hyödyntäminen osana teollisuutta sekä eri säätömenetelmät on myöskin pääpiirteittäin käyty läpi.</p> <p>Lietetiheysmittauksen ja kakunpaksuusmittauksen toimintaa osana suodatusprosessia tutkittiin käytännössä ja eri ohjelmistoja hyödyntämällä. Työn loppuosassa on esitelty suositus mittauksien hyödyntämisestä, yhteenveto opinnäytetyön kokeellisesta osuudesta sekä kehitysideat tulevaisuuteen.</p>		
Asiasanat Lietetiheys, kakunpaksuusmittaus, säätöpiiri, vakuuminauhasuodatus		

ABSTRACT

Centria University of Applied Sciences	Date April 2022	Author Noora Alapiha
Degree programme Chemical Engineering		
Name of thesis UTILIZATION OF SLUDGE DENSITY MEASUREMENT AND CAKE THICKNESS MEASUREMENT ON JAROSITE HORIZONTAL VACUUM FILTER, Boliden Kokkola Oy		
Centria supervisor Risto Puskala		Pages 43 + 5
Instructor representing commissioning institution or company Jussi Ruokanen		
<p>In this thesis, the comparison of results were evaluated based on the sludge- and cake thickness measurement operations on the jarosite belt filter. The main objectives of jarosite filtration were taken into account in this thesis, and based on that, a recommendation was constructed on utilizing both the sludge- and cake thickness measurement methods. There is a total of six jarosite belt filtration units in Boliden Kokkola Oy, but this thesis was limited into surveying just one filtration unit. Nevertheless, the aim is that the recommendation will be used for the whole line of units.</p> <p>The subject of this thesis, the current situation and the objectives, along with its limitations were presented the beginning of the thesis report. The research methods used in the thesis were introduced. The belt filtration related subjects are the main focus on the theory section. The utilization of automation system in the industry, as well as different adjustment procedures were reviewed on the main features.</p> <p>The operation of the sludge thickness measurement and the cake thickness measurement as a part of the filtration process were inspected in practice and by exploiting different software. Comparison measurements were conducted on the sludge- and cake thickness measurements, and the comparison results were charted and addressed. At the end of this thesis, there is a recommendation on utilizing the measurements and how to even further improve the system. Based on the recommendation, the control circuit was introduced during the thesis process. The operation of the control circuit built on the basis of the recommendation was evaluated in practice. The results and conclusion of the work are presented at the end of this thesis.</p>		
Key words Adjustment strategy, cake thickness measurement, sludge density, vacuum filtration		

KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY

ALITE

Sakeuttimen pohjalle laskeutuva kiintoainepitoinen liete

DCS-JÄRJESTELMÄ

Laajasti käytettävä ohjausjärjestelmä

FLUIDI

Yleisnimitys tarkasteltavalle aineelle, joka yleensä on neste- tai kaasuvirtaus

JAROSIITTI

Tuotannon sivutuote, rautasakka

KERASAOSTUS

Usean alkuaineen samanaikainen saostuminen

NAS

Nauhasuodatin

VJS

Jarosiitin välisäiliö

WEDGE

Prosessidataa keräävä analysointityökalu

YLITE

Sakeutuksesta saatava kirkas, selkeytynyt neste

**TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY
SISÄLLYS**

1 JOHDANTO	1
2 TYÖN TAVOITTEET JA LÄHTÖKOHDAT	2
3 TUTKIMUKSEN TEKEMINEN JA MITTAUSTEKNIikka	4
3.1 Tutkimuksen reliabelius ja validius	4
3.2 Kvalitatiivinen ja kvantitatiivinen tutkimus	5
4 SUODATUKSEN TEORIAA	6
4.1 Suodatuksen mekanismit.....	7
4.2 Darcyn laki.....	8
4.3 Suodatinväliaineet	9
4.4 Kakkusuodatus.....	10
4.5 Nauhasuodatus	10
4.6 Nauhasuodatuksen vaikuttavat tekijät.....	12
5 BOLIDEN KOKKOLA OY	14
5.1 Sinkintuotantoprosessin vaiheet	14
5.2 Sinkintuotantoprosessi.....	15
6 JAROSIITIN POISTAMINEN LIUOSKIERROSTA	18
6.1 Jarosiitin sakeutus.....	18
6.2 Jarosiitin suodatus	19
6.3 Nykyinen ajotapa jarosiitin suodatuksessa.....	19
7 AUTOMAATIOJÄRJESTELMIEN HYÖDYNTÄMINEN TEOLLISUUDESSA	21
7.1 Sääto- ja ohjausperiaatteet.....	21
7.2 Säätopiirien ohjaustavat.....	23
8 SÄÄTÖMENETELMÄT	24
8.1 Kaksipistesääto	24
8.2 P-Sääto	24
8.3 PI-Sääto.....	25
8.4 PID-Sääto	25
9 VERTAILUMITTAUKSET LIETETIHEYS- JA KAKUNPAKSUUSMITTAUKSELLE.....	27
9.1 Lietetiheysmittaus	28
9.2 Kakunpaksuusmittaus	29
10 TULOSTEN KÄSITTELY, VERTAILUMITTAUKSET	32
11 SUOSITUS LIETETIHEYSMITTAUKSEN JA KAKUNPAKSUUSMITTAUKSEN HYÖDYNTÄMISESTÄ JAROSIITIN NAUHASUODATTIMELLA.....	34
11.1 Säätopiirin tavoite	34
11.2 Säätopiirin toimintaperiaate	34

12 SÄÄTIMEN TOIMINTAAN VAIKUTTAVIEN TEKIJÖIDEN OPTIMOINTI	36
12.1 Koeajo lietetiheydelle 25.2.2022	36
12.2 Koeajo lietetiheydelle 16.4.2022	38
13 YHTEENVETO	40
13.1 Työn kokeellisen osuuden yhteenveto	40
13.2 Kehitysehdotukset jatkoon	43
LÄHTEET	7
LIITTEET	
KUVIOT	
KUVIO 1. Sinkintuotantoprosessin eri vaiheet.....	15
KUVAT	
KUVA 1. Mittaukseen liittyvät osakokonaisuudet prosessin ohjauksessa ja hallinnassa.....	2
KUVA 2. Suodatuksen mekanismit	7
KUVA 3. Yksikuitulanka, monikuitulanka ja niistä tehdyt kankaat.....	10
KUVA 4. Kakkusuodatuksen periaate ja suodinkerroksen muodostuminen	11
KUVA 5. Horisontaali vakuuminauhasuodatin	12
KUVA 6. Raudan saostuminen jarosiitiksi	18
KUVA 7. Kenttä-, prosessi- ja valvomotaso osana automaatiojärjestelmää	21
KUVA 8. Säätojärjestelmä, jossa takaisin kytkentä	22
KUVA 9. Avoin ohjausjärjestelmä	23
KUVA 10. Suljettu ohjausjärjestelmä.....	23
KUVA 11. VJS:n tiheysmittausdata kuukauden ajalta	26
KUVA 12. Kakunpaksuustutka mittaa keskiarvopaksuutta 7° kulmassa tasoon nähden.....	29
KUVA 13. Johtokykymittausdata, NAS6 16.4-20.4.2022.....	39
KUVA 14. Johtokyky kokeen aikana	40
KUVA 15. Kiintoainekerroksen vahvuus jarosiitin nauhasuodattimella säätimen kanssa	41
KUVA 16. Jarosiitin nauhasuodatin lietetiheyden säädön kanssa	42
TAULUKOT	
TAULUKKO 1. Vertailumittaukset VJS:n lietetiheysmittaukselle	27
TAULUKKO 2. Vertailumittaukset kakunpaksuustutkalle (NAS6)	30
TAULUKKO 3. Koeajo säätimelle.....	36
TAULUKKO 4. Koeajon tulokset	37
KUVAAJAT	
KUVAAJA 1. VJS:n tiheysmittaus ja vertailumittausten tulokset	28
KUVAAJA 2. Kakunpaksuustutkan vertailumittausten tulokset.....	30
KUVAAJA 3. Koeajo säätimelle	36
KUVAAJA 4. Koeajon tulokset.....	38

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö on tehty Boliden Kokkolalle keväällä 2022. Työn tarkoituksena on arvioida kakunpaksuusmittauksen ja lietetiheysmittauksen hyödyntämistä jarosiitin nauhasuodattimella. Jarosiitin suodatus kuuluu tärkeänä osana Bolidenin sinkin liuotusprosessin kiintoainejätteen käsittelyyn, jossa poistetaan liuoskierrosta jarosiitti, eli rautasakka. Työn keskeisin tavoite on käytössä olevia lietetiheys- ja kakunpaksuusmittausta arvioimalla osana suodatusprosessia rakentaa suositus niiden hyödyntämisestä kyseisessä toimintaympäristössä suodatuksen pääasialliset tavoitteet huomioiden.

Jarosiitin nauhasuodattimilla keskeistä on kyetä poistamaan riittävä määrä kiintoainejätettä prosessikierrosta ja pestä suodatettu sakkakerros vedellä sinne jääneestä emäliuoksesta mahdollisimman täydellisesti. Toimintaa määrittelevät suodatettavien prosessilietteiden lisäksi yleiset vakuumisuodatukseen liittyvät tekijät.

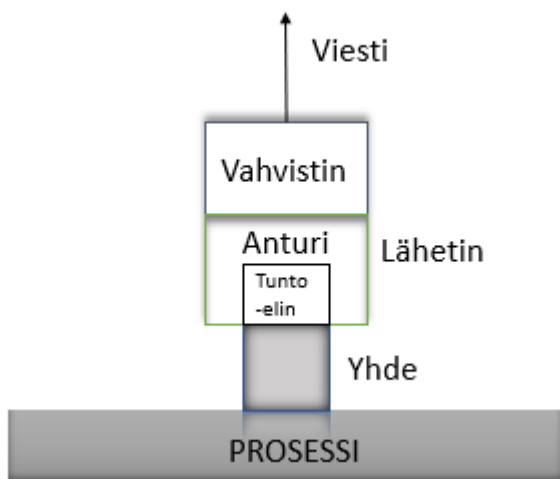
Tässä opinnäytetyössä rakennetaan jarosiitin suodatuksen pääasialliset tavoitteet huomioiden suositus lietetiheysmittauksen ja kakunpaksuusmittauksen hyödyntämisestä. Suosituksessa mittalaitteita hyödynnetään takaisinkytketyn säätöpiirin avulla. Mittauksista saadut tiedot kytketään syötönohjauksen säätöpiiriin, jonka tarkoituksena on tasata syötelietteen kiintoainepitoisuus ja näin tasata kiintoainekerroksen vahvuus jarosiitin nauhasuodattimella. Säätöpiirin tavoite on mittalaitteita hyödyntämällä saavuttaa tasaisempi toiminta suodattimella, joka edesauttaa optimaalisen kapasiteetin ja pesutuloksen saavuttamisessa koko suodatinryhmälle. Lietetiheysmittaukselle tehdään vertailumittauksia, koska mittauksen luotettavuuden todentaminen on yksi työn kulmakivistä suosituksen ja säätöpiirin osalta. Vertailumittauksia tehdään myös kakunpaksuustutkalle. Suosituksen perusteella rakennetaan automaattinen säätöpiiri lietetiheyden tasaamiseksi opinnäytetyöprosessin aikana. Säätöpiirin toimintaa käytännössä tarkastellaan erillisissä koeajoissa.

Opinnäytetyön tukena käytetään laajasti lähdekirjallisuutta koskien suodatusta ja erityisesti nauhasuodatuksen liittyviä tekijöitä. Merkittävimmät lähteet lienevät Wakemanin ja Tarletonin (2005) opukset, joihin työssä on viitattu runsaasti. Työn kirjallisessa osassa esitellään myöskin pääpiireittäin työn tilaaja, Boliden Kokkola Oy ja sen sinkintuotantoprosessi. Tarkemmin käsitellään jarosiitin poistaminen liuoskierrosta. Lisäksi säätö- ja mittaustekniikkaa käsitellään työn teoriaosuudessa lyhyesti. Prosessidataa tutkittaessa käytetään Wedge-ohjelmistoa ja ABB-järjestelmää. Työn tulokset ja kehitysideat jatkoon esitellään yhteenvedossa työn lopussa.

2 TYÖN TAVOITTEET JA LÄHTÖKOHDAT

Työn keskeisenä tavoitteena on lietetiheysmittauksen ja kakunpaksuusmittauksen hyödyntäminen jarosiitin nauhasuodattimella. Lietetiheysmittaus on VJS:ään asennettuna jo ennestään. Kakunpaksuus-tutka on myös valmiina jarosiitin nauhasuodattimilla. Lietetiheysmittausta tai kakunpaksuusmittausta ei ole aikaisemmin hyödynnetty jarosiitin nauhasuodattimella, mutta ne ovat olleet tarkkailtavina parametreina ABB:lla, joten dataa niiden toiminnasta löytyi hyvin Wedgestä ja ABB:lta. Jarosiitin nauhasuodattimia opinnäyteprosessin aikana Bolidenilla oli käytössä kuusi samanlaista. Tämä opinnäytetyö on rajattu tarkastelemaan vain yhtä nauhasuodatinta.

VJS:n tiheysmittaus koostuu anturista ja vahvistimesta. Tiheysmittaus mittaa värähtelytaajuutta säiliössä. Värähtelytaajuuden muutokset analysoidaan ja muutetaan kytkentäsignaaleiksi. Mittaus toimii luotettavasti, vaikka sitä käytettäisiin turbulentsissa olosuhteissa. Mittaukseen eivät vaikuta virtaus, vaahto tai kaasukuplat. Anturin mitta on 1400 mm. Tiheysmittari soveltuu käytettäväksi -50 °C... $+150$ °C lämpötiloissa ja sitä voidaan käyttää jopa 40 baarin paineessa. Mittaustarkkuus tiheydelle on jopa $0,5 \text{ g/cm}^3$. Luotettavasti mittaus toimii VJS:ssä, kun pinnankorkeus on 85 % tai yli. (Enderess + Hauser; Karjula 2022.) Kuvassa 1 on esitelty jatkuvatoimiseen mittaukseen liittyvät osakokonaisuudet prosessin hallinnassa ja ohjauksessa.



KUVA 1. Mittaukseen liittyvät osakokonaisuudet prosessin ohjauksessa ja hallinnassa (Mukaiillen Knowpulp 2021)

Kakunpaksuustutkassa anturi lähettää jatkuvaa korkeataajuista signaalia antennin läpi. Signaali heijastuu tuotteen pintaan, josta anteeni vastaanottaa kaiun. Signaali heijastuu 7° :n kulmassa tasoon nähden. Tutka-anturi mittaa paksuutta lähetetyn ja vastaanotetun signaalin eroa hyväksikäyttäen. Paksuus ilmoitetaan keskiarvona signaalin heijastamalta pinta-alalta. Tarkkuus tutkassa on ± 1 mm ja tutka voi mitata jopa 30 metriin saakka. (Vega 2022; Karjula 2022.)

Tämän opinnäytetyön keskeisenä tavoitteena on siis löytää keino, jolla näitä mittauksia voidaan hyödyntää päivittäisessä prosessijossa niin, että jarosiitin nauhasuodattimilta suodoksena saatavaan arvokkaaseen liuokseen olisi emäliuoksesta peseytynyt mahdollisimman täydellisesti mm. vesiliukoinen sinkki ja vastaavasti sulfidointiin lähtevässä jarosiittisakassa sitä olisi mahdollisimman vähän. Tässä opinnäytetyössä on päätetty hyödyntää lietetiheysmittausta automaattisen säätöpiirin avulla. Mittauksia ei ole aikaisemmin hyödynnetty automaattisen säätöpiirin avulla. Kakunpaksuusmittausta ei suositeltu osaksi säätöpiiriä.

3 TUTKIMUKSEN TEKEMINEN JA MITTAUSTEKNIikka

Tutkimuksia voidaan tehdä useaa eri menetelmää käyttäen. Yleisimpinä pidetään diskurssianalyysiä, etnografista tutkimusta, toimintatutkimusta ja elämäkertatutkimusta. Kvantitatiivisissa tutkimuksissa yleisimpiä ovat kokeelliset tutkimukset eri lajeineen. (Hirsijärvi, Remes, Sajavaara 2007, 186–187.)

Mittaustekniikka on tieteenala, joka tutkii millaisilla laitteilla ja menetelmillä mittaukset voidaan tehdä, jotta mittausvirheen mahdollinen suuruus olisi tiedossa ja mittauksista saadut tulokset riittävän oikeita. Mittauksien tarkoitus on saada selville jonkin suureen arvo. Mittauksen kohdetta kutsutaan järjestelmäksi eli systeemiksi. Järjestelmä voi olla sähköinen tai mekaaninen laite, teollinen prosessi, lämmityskattila tai lähes mitä tahansa, minkä käyttäytymistä tutkitaan. Mittaustietojen käyttötarkoitus voi olla jokin seuraavista: kun halutaan määrittää järjestelmän tila, halutaan tutkia järjestelmän ominaisuuksia tai kun halutaan säätää järjestelmän käyttäytymistä. Järjestelmän käyttäytymistä voidaan automattisesti säädellä mittausten avulla. (Halko, Härkönen, Lähteenmäki, Välimaa 1998, 7–8.)

3.1 Tutkimuksen reliaabelius ja validius

Eri tutkimuksen luotettavuuden arvioinnissa käytetään yleisesti erilaisia mittaus- ja tutkimustapoja. Reliaabeliudella tarkoitetaan mittausten toistettavuutta. Kun mittauksesta tai tutkimuksesta puhutaan reliaabelina, on ajateltu, ettei mittaus anna sattumanvaraisia tuloksia. Tämä voidaan todeta tekemällä mittaukseen toistoja. Jos mittaukseen suoritettut toistot ovat tuloksiltaan yhdenmukaisia, voidaan tulosta pitää reliaabelina. Toisena käsitteenä tutkimuksen arvioinnissa voidaan pitää validiutta, eli pätevyyttä. Validius tarkoittaa mittarin tai valitun tutkimusmenetelmän kykyä mitata juuri sitä, mitä on tarkoituskin mitata. (Hirsijärvi ym. 2007, 226–227.)

3.2 Kvalitatiivinen ja kvantitatiivinen tutkimus

Kvantitatiivinen tutkimus kuvaa pääasiassa määrällistä tutkimusta ja kvalitatiivinen tutkimus puolestaan kuvaa laadullista tutkimusta. Usein näitä menetelmiä käytetään rinnakkain; usein kvalitatiivista vaihetta edeltää kvantitatiivinen vaihe. Yleisesti ajatellaan, että kvantitatiivinen käsittelee numeroita ja kvalitatiivinen merkityksiä. Mittaaminen sisältää kaikilla tasoilla nämä molemmat tutkimusmenetelmät. (Hirsjärvi ym. 1997, 131–133.)

4 SUODATUKSEN TEORIAA

Suodatus on kiinteiden hiukkasten poistamista nesteestä johtamalla neste suodatusväliaineen tai väli-seinän läpi, jolle kiinteät aineet kerrostetaan. Teollisuudessa suodatus voi vaihdella yksinkertaisesta siivilöimisestä erittäin monimutkaisiin erotuksiin. Erotettava fluidi voi olla joko kaasua tai nestettä. Suodattamalla saatu arvokas, haluttu tuote voi olla neste tai kiinteä aine, tai molemmat. Voi myös olla, ettei kumpikaan tuotteista ei ole haluttu tai arvokas, kuten silloin, kun kiinteät jätteet on erotettava jäte-nesteestä ennen hävittämistä. (McCabe, Smith, Harriot 2005, 1006.)

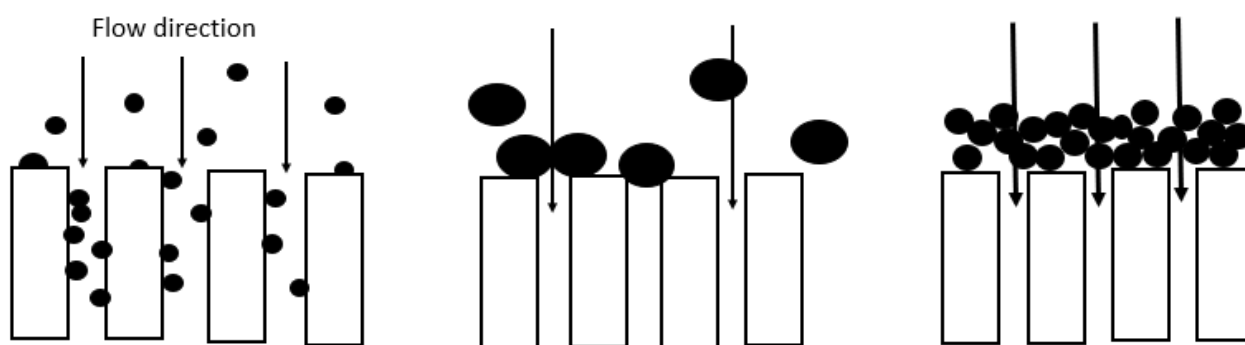
Kiintoaineen ja nesteen suodatuksen tarkoituksena on erottaa kiintoaine ja neste toisistaan suodattavan väliaineen avulla mahdollisimman hyvin. Väliaine läpäisee fluidin, mutta pidättää kiintoaineen. Suoda-tuksessa huokoisen kerroksen pinnalle syntyy tavallisesti kiinteiden osasten muodostama kerros. Kerros toimii synnytyään samalla suotoaineena ja kiinteät osaset kerrostuvat sen pinnalle kasvattaen sen paksuutta. Kerroksen läpi kulkevaa kirkasta nestettä kutsutaan suodokseksi. Teollisuudessa suodatus on tavallinen työmenetelmä, kun poistettavana on suuria määriä kiinteitä aineita. Jos kiinteitä aineita on vähän, puhutaan kirkastamisesta, selkeyttämisestä tai puhdistamisesta. (Pihkala 1998, 42–43.)

Teollisessa suodatuksessa syötteen kiintoainepitoisuus vaihtelee pienestä pitoisuudesta erittäin korkeaan kiintoainepitoisuuteen. Usein syöttöä esikäsitellään lisäämään suodatusnopeutta. Esikäsitely voi olla kuumentamista, uudelleenkiteyttämistä tai suodatusapuaineen lisäämistä. Teolliset suodatukset vaihtelevat yksinkertaisesta siivilöimisestä erittäin monimutkaisiin erotuksiin. Vaihtuvien prosessiolo-suhteiden ja suodatettavien materiaalien valtavan valikoiman vuoksi on kehitelty useita suodatintyypp-pejä. Suodattimet luokitellaan painovoimasuodattimiin, painesuodattimiin, imusuodattimiin ja linkoi-hin (Rahikka, 2018). Ilmakehänpaineita korkeampia paineita voidaan kehittää mm. pumpuilla ja keski-pakovoimalla. Ajava voima nesteen virtaukselle suodatinväliaineen läpi on paine-ero. Useimmat teolli-suussuodattimet ovat tyhjiösuodattimia, painesuodattimia tai keskipakoerotuslaitteita. Suodattimien toiminta voi olla joko jatkuvaa tai panostoimista, riippuen siitä, onko kiinteiden aineiden virtaus ta-saista vai ajoittaista. (McCabe ym. 2005, 1006.)

4.1 Suodatuksen mekanismit

Suodatinväliaineet pidättävät hiukkasia kahdella tavalla. Kun partikkelit ovat suurempia kuin suodatinväliaineen huokoskoko, ne jäävät suodatinväliaineen pinnalle kakuksi. Tällöin puhutaan kakkusuodatuksesta. Vastaavasti jos partikkelit ovat pienempiä kuin suodatinväliaineen huokoskoko, ne menevät joko suodatinväliaineen läpi suodokseen tai jäävät suodatinväliaineeseen. Jos partikkelit kerääntyvät suodatinväliaineeseen, puhutaan rakeissuodatuksesta (depth filtration). (Wakeman & Tarleton 2005, 10.)

Suodatuksen eri mekanismit on esitelty kuvassa alla (2). Kuvassa vasemmalta oikealle ovat rakeissuodatuksen periaate, huokosten täydellinen tukkeutuminen ja viimeisenä oikealla silloittuminen. Rakeissuodatuksessa partikkelien hiukkaskoot ovat pienempiä kuin suodatinväliaineen huokoskoot. Myös syöttökonsentraatio on alhainen. Partikkeleiden talteenotto tapahtuu pääasiallisesti väliaineen sisällä. Huokosten täydellinen tukkeutuminen (kuvassa keskellä) tapahtuu, kun partikkelikoko on suurempi kuin väliaineen huokoskoko. Kuvan oikeanpuoleisessa reunassa näkyy silloittuminen. Silloittumista tapahtuu, kun partikkelikoko on pienempi kuin huokoskoko ja syötön konsentraatio on suuri. Useat partikkelit yrittävät mennä samaan aikaan huokosiin, ja näin ollen tukkivat huokokset silloittuneella rakenteella. Silloittuneita rakenteita pyritään muodostamaan, kun halutaan, että suodatinväliainetta pienemmätkin partikkelit jäisivät kakuksi suodatinväliaineen päälle. Usein kakkusuodatukset tapahtuvat osittain huokosten tukkeutumisella ja partikkeleiden silloittumisella. Jos silloittuminen on ei-toivottua, voidaan rakenne murtaa muuttamalla virtauksen suuntaa tai virtausnopeutta. (Wakeman & Tarleton 2005, 10–11.)



KUVA 2. Suodatuksen mekanismit (Mukaiillen Wakeman & Tarleton 2005, 11)

4.2 Darcyn laki

Suodatusmallit perustuvat Darcyn lakiin. Laki kehitettiin alun perin vuonna 1855 kuvaamaan veden virtausta huokoisen hiekkapedin läpi. Darcy huomasi virtausnopeuden olevan verrannollinen painehäviöön. Darcyn laki pätee hyvin erityisesti pienillä virtausnopeuksilla, eli virtauksen tulee olla laminaarista. Tämä tarkoittaa, että Reynoldin luvun tulee olla alle 1. Alun perin Darcy ei sisällyttänyt viskositeettia yhtälöönsä. (Henley, Seader, Roper 2011, 866–867.) Viskositeetin kanssa Darcyn yhtälö muotoillaan seuraavasti:

$$J = -\frac{k}{\mu} \frac{dP}{dz} \quad (1)$$

jossa	J	nesteen virtausnopeus materiaalin läpi (m/s)
	k	materiaalin permeabiliteetti (m ²)
	dP	paine-ero kakun eri puolilla (Pa)
	μ	suodoksen viskositeetti (Pa s)
	dz	suodinkerroksen paksuus (m)

Suodatuksessa Darcyn lakia käytetään hieman sovelletusti. Suodatuksessa permeabiliteetti k korvataan ominaisvastuksella (the specific cake resistance) α ja painegradientti dP/dz korvataan dP/dW , joka kuvaa painehäviötä suodatinväliaineen pinnalle kertyneen kiintoaineen massan yli. Suodatuksessa Darcyn laki kirjoitetaan seuraavasti:

$$J = -\frac{1}{\mu\alpha} \frac{dP}{dW} \quad (2)$$

jossa dW on kuivan kakun massa / suodatusala, kg/m². (Henley ym. 2011, 866-867.)

Koska Darcyn laki pätee erityisesti laminaarisille virtauksille, on yhtälö, jolla virtausnopeus lasketaan hyvä tuntee. Reynoldsin yhtälö (Re) voidaan matemaattisesti kirjoittaa muotoon:

$$Re = \frac{\rho J x}{\mu} \quad (3)$$

jossa ρ on nesteen tiheys (kg/m^3) ja x partikkelikoko, (m). (Wakeman & Tarleton 2005, 27-28.)

4.3 Suodatinväliaineet

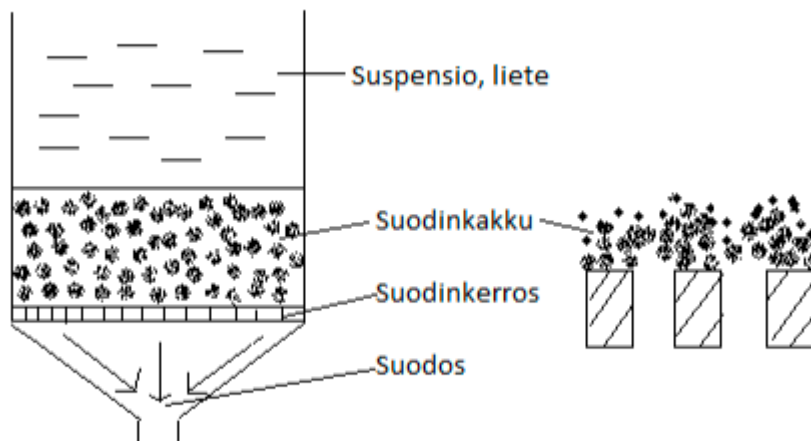
Wakemanin ja Tarletonin (2005) määritelmän mukaan suodatinväliaine on materiaali, joka päästää lävitseen nesteen, mutta pidättää kiintoaineen. Suodatinväliaineen päätehtävänä on erottaa hiukkaset, tai joissain tapauksissa muut komponentit fluidista mahdollisimman vähäisin energiakustannuksin. Suodatinväliaine on avainkomponentti suodatusjärjestelmässä – vika suodatinväliaineessa on yhtä kuin suodattimen vika, ja johtaa usein tuotehävikkiin ja seisokkeihin prosessissa. (Wakeman & Tarleton 2005, 6.)

Suodattavat väliaineet vaikuttavat suodatukseen oleellisesti. Suodattavaa väliainetta on kahta eri tyyppiä: ohutkerroksien väliaine ja paksukerroksinen väliaine. Ohutkerroksinen väliaine voi olla esim. suodatinkangas, suodinverkko, viira tai suodatinpaperi. Väliaineen läpäisevät vain väliaineen aukkokokoaa pienemmät kiintoainehiukkaset. Hiekkapatja on esimerkki paksukerroksisesta väliaineesta. Paksukerroksisessa väliaineessa olevat aukot ovat kooltaan suurempia kuin suodatettavat kiintoainepartikkelit. Kiintoainehiukkaset voivat kulkea pitkiäkin matkoja väliaineen aukkojen muodostamassa verkostossa, ennen kuin ne pysähtyvät ahtaimpiin kohtiin verkkorakenteessa. Kun kiintoaineita erotetaan tällä tavalla, jakaantuvat ne tasaisesti paksuun väliainemassakerrokseen, eikä väliaine pääse sulkeutumaan ja estämään suodatusta. Väliaineen puhdistaminen tapahtuu vastavirtapesulla, kun suodatusta on jatkettu riittävän pitkään. (Pihkala 1998, 43–44; Rahikka 2018.)

Kirjallisuudessa on kiinnitetty paljon huomiota väliaineen rooliin suodatusprosesseissa, eikä sen merkitystä voida aliarvioida. Markkinoilla on suuri valikoima suodatinväliaineita; on kudottuja kankaita, kuitukankaita, kuitumateriaaleja, polymeerisiä ja keraamisia levyjä, sintrattuja metalleja ja rei'itettyjä levyjä. Tyhjiö-, paine- ja keskipakosuodattimissa yleisimmin käytettyjä on kudotut kangasmateriaalit, jotka ovat joko synteettisistä tai luonnonkuidusta valmistettuja. Luonnonmateriaaleina käytetään puuvillaa ja villaa, esimerkkinä synteettisestä materiaalista on polymeerit. Kankaan materiaalin ja sen sidontatyylin mukaan jokaiselle kankaalle määräytyvät omat ominaisuutensa, joita voidaan eri suodatusprosesseissa hyödyntää. (Wakeman & Tarleton 2005, 6; Rushton, Ward, Holdich 2000, 11.)

4.4 Kakkusuodatus

Kun kiintoainepitoisuus lietteessä on korkea ($> 1\%$), käytetään kakku- eli pintasuodatusta. Kakkusuodatuksessa huokoisen kerroksen, suotoaineen tai väliaineen, pinnalle syntyy kiinteiden osasten muodostama kerros tai kakku. Suodatuksen aikana suodinkerroksen läpi pyrkii menemään suodinkerrosta pienempiä hiukkasia. Tämä ilmiö kuitenkin poistuu, kun suodinkerroksen päälle jäävät isommat hiukkaset muodostavat tiukemman suodinkerroksen, jolloin myös pienemmät hiukkaset jäävät suodinkerroksen päälle. Edellytyksenä suodinkerroksen muodostumiselle on syötettävän lietteen riittävän suuri kiintoainemäärä. Suurimmaksi osaksi syötön partikkelikoon tulisi olla suodatusväliaineen huokoiskokoa pienempää, koska suodatusväliainetta suuremmat partikkelikoot johtavat huokoisten tukkeutumiseen, jolloin nesteen läpäisevyys heikkenee huomattavasti. Mitä paksumpi kakku on, sitä suuremman virtausvastuksen se aiheuttaa. Kerroksen läpi kulkeva kirkas neste on suodosta. (Rahikka, 2018.) Kuvassa 4 on esitelty suodatuksen periaate ja suodinkerroksen muodostuminen.



KUVA 4. Kakkusuodatuksen periaate ja suodinkerroksen muodostuminen (Pihkala 1998, 42)

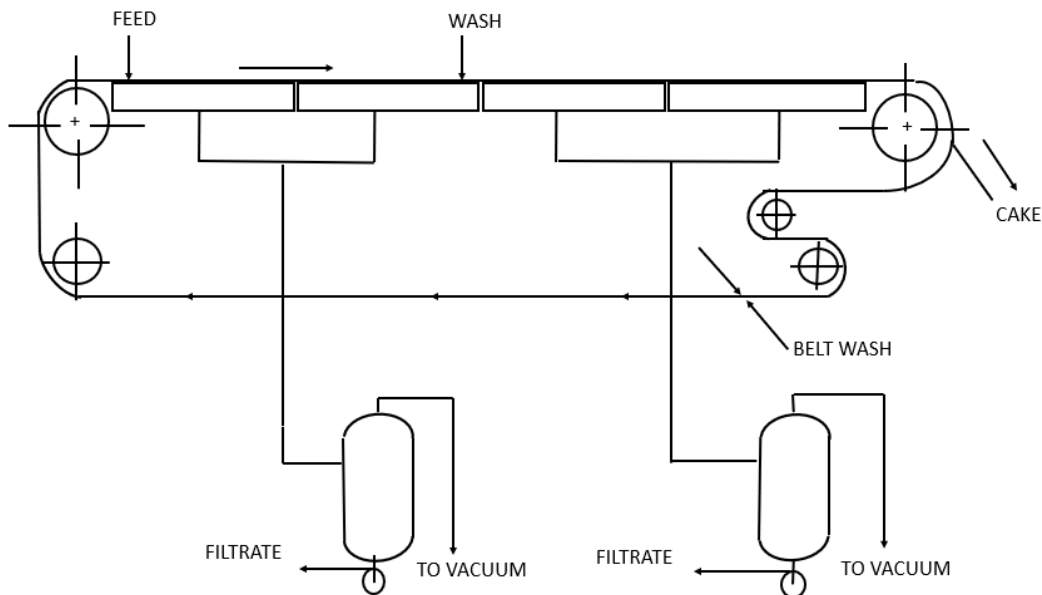
4.5 Nauhasuodatus

Suodatinlaitteistot luokitellaan painovoimasuodattimiin, painesuodattimiin, imusuodattimiin ja linkoihin (Rahikka, 2018). Tässä opinnäytetyössä keskitytään imusuodattimiin kuuluvaan horisontaali vakuuminauhasuodattimiin (horizontal belt vacuum filter).

Vakuumisuodattimissa suodatuksen ajava voima on paine-ero suodatinväliaineen ylä- ja alapuolella. Paine-eron luo suodatinväliaineen alapuolella olevat imut. Tähän kategoriaan kuuluvat ainoat, aidosti

jatkuvatoimiset suodattimet, jotka on rakennettu suurikokoisina ja jotka voivat täyttää prosessivaatimukset mm. pesun ja kuivauksen osalta. Useat tyhjiösuodattintyytit käyttävät vaakasuoraa suodatuspinta-alaa, jonka päälle muodostuu kakku. Näissä tyhjiösuodatinmalleissa kakun muodostumista voidaan hallita helposti. Suodatustapahtumaa voidaan muuttaa mm. pesuvesimäärien, hihnan nopeuden ja kuivauksen suhteen. (Svarovsky 2000, 409.)

Nauhasuodattimet ovat yleisiä teollisuuskäytössä. Ne ovat joustavia käytössä ja niiden kapasiteetti on suuri. Nauhasuodattimia voidaan käyttää myös syövyttävissä olosuhteissa. Nauhasuodattimen ydinosa koostuu päättymättömästä kuminauhasta, joka on rei'itetty ja uritettu. Nauhasuodattimen päällä on suodinkangas ja nauhan alapuolella on imulaatikot. (Rahikka, 2018.) Nauhasuodattimen rakenne ilmenee kuvassa 5.



KUVA 5. Horisontaali vakuuminauhasuodatin (Mukaiillen Svarovsky 2000, 416)

Nauhasuodatin on vaakasuuntainen suodatin. Nauhasuodattimen yläosaa käytetään suodatukseen, kakun pesuun ja kuivaamiseen, kun taas nauhan alaosassa tapahtuu kankaan ja maton pesu. Syöttö nauhasuodattimelle tapahtuu suodattimen toisesta päästä nauhan päälle; suodatettu ja pesty kakku poistetaan toisesta päästä. Kiintoaine muodostaa kakun kankaan päälle. Kakun muodostuttua, nauhasuodattimessa voi olla useita eri pesuvyöhykkeitä, joissa kakkua voidaan pestä. Pesuneste imetään alipaineen avulla kankaan alapuolelle. Kakkua voidaan kuivattaa alipaineella suodattimen loppupäässä pesunesteen poiston jälkeenkin. Nauhasuodattimet ovat erityisen hyödyllisiä jätteenkäsittelyssä, koska syöte sisältää usein hyvin laajasti eri partikkelikokoja. Nauhasuodattimet ovat jatkuvatoimisia suodattimia ja niitä on saatavilla useassa eri koossa. Suodatuspinta-ala nauhasuodattimella voi olla jopa 200 m² tai

enemmän. Nauhasuodattimia voidaan myöskin ajaa suurilla nopeuksilla, kun käsitellään nopeasti suodattuvia materiaaleja. Nopeus voi olla jopa 30 m/min. Svarovskyn (2000, 417) mukaan horisontaali vakuuminauhasuodattimet soveltuvat hyvin, kun pesuvaatimukset ovat prosessin kriittinen osa. (McCabe ym. 2005, 1013; Svarovsky 2000, 416–417.)

4.6 Nauhasuodatukseen vaikuttavat tekijät

Suodostapahtumaan vaikuttava tekijä on suodatukseen käytettävä paine-ero suodatusväliaineen yli. Suodastapahtumaan vaikuttavat lisäksi muodostuvan kakun paksuus, syötteen lämpötila ja viskositeetti, syötteen kiintoainepitoisuus, kiintoainehiukkasten koko ja suodatusväliaine. (Pihkala 1998, 45.)

Wakeman ja Tarleton (1999, 412–422) ovat käsitelleet kirjassaan nauhan nopeuden, vakuumin, lämpötilan ja partikkelikoon vaikutuksia jatkuvatoimisilla vakuuminauhasuodattimilla. Nauhan nopeuden muutoksella voidaan vaikuttaa kakun paksuuteen ja sen pesuominaisuuksiin. Kun nauhan nopeus on alhainen, muodostuu paksumpi kakku. Paksumman kakun pesuominaisuudet ovat paremmat kuin ohuemmalla, korkeammalla nauhan nopeudella muodostuneella kakulla. Myöskin ilmavirtaus kuivausvaiheessa on pienempi paksummalla kakulla, mikä kasvattaa hieman puretun kakun kosteuspitoisuutta. Suuremmat nauhan nopeudet mahdollistavat suuremman kiintoaineen tuotantoasteen. Kakku on tällöin ohuempi, mutta riski kanavoitumiseen kasvaa. Korkeammat nauhan nopeudet myöskin lisäävät sähkönkulutusta ja sillä voi olla epäedullisia vaikutuksia suodatinnauhojen ja suodatinväliaineiden käyttöön. (Wakeman & Tarleton 1999, 413)

Alipaineen nosto puolestaan lisää kiintoaineen tuotantoa. Nesteen läpivirtaus kakussa ei juurikaan muutu suodatusvaiheen aikana, mutta ilmavirtaus kakun läpi kasvaa ja kakun kosteuspitoisuus alenee. (Wakeman & Tarleton 1999, 413.)

Lämpötilan vaikutukset ovat monimutkaisia. Lämpötilan muutokset vaikuttavat aineiden fysikaalisiin ominaisuuksiin, kuten tiheyteen ja viskositeettiin. Suodatusnopeutta voidaan monissa tapauksissa kiihdyttää suhteellisen pienellä lämpötilan nostolla, mikä aiheuttaa viskositeetin laskun (Wakeman & Tarleton 1999, 13). Lämpötilan nosto kasvattaa kakun paksuutta, sillä viskositeetti laskee. Lämpötilan nostolla ei ole kuitenkaan vaikutusta kakun huokoisuuden tai kestävyuden vaihteluihin. Lietteen syöttölämpötilaa nostettaessa pesutehokkuus paranee hiukan. Lietteen syöttölämpötilaa nostettaessa myös

kakun kosteuspitoisuus kasvaa ja kiintoaineen tuotanto lisääntyy. Kokonaisilmavirta kakun läpi pienee. Jos taas pesuveden lämpötilaa nostetaan, ovat sen vaikutukset kakun kosteuspitoisuuteen ja kokonaisilmavirtaan päinvastaiset kuin syöttölämpötilaa nostamalla. Nämä vaikutukset kuitenkin riippuvat käytettävästä kiintoaineesta, nesteestä ja liuoksen muista ominaisuuksista. (Wakeman & Tarleton 1999, 417–418.)

Partikkelikoon kasvu taas suurentaa samassa suhteessa myös kakun paksuutta. Myöskin ilman läpäisy kasvaa samassa suhteessa partikkelikoon kanssa, heikentyneen vastuksen vuoksi. Kakun kosteus hie-
man vastaavasti laskee partikkelikoon kasvaessa. (Wakeman & Tarleton 1999, 421.)

5 BOLIDEN KOKKOLA OY

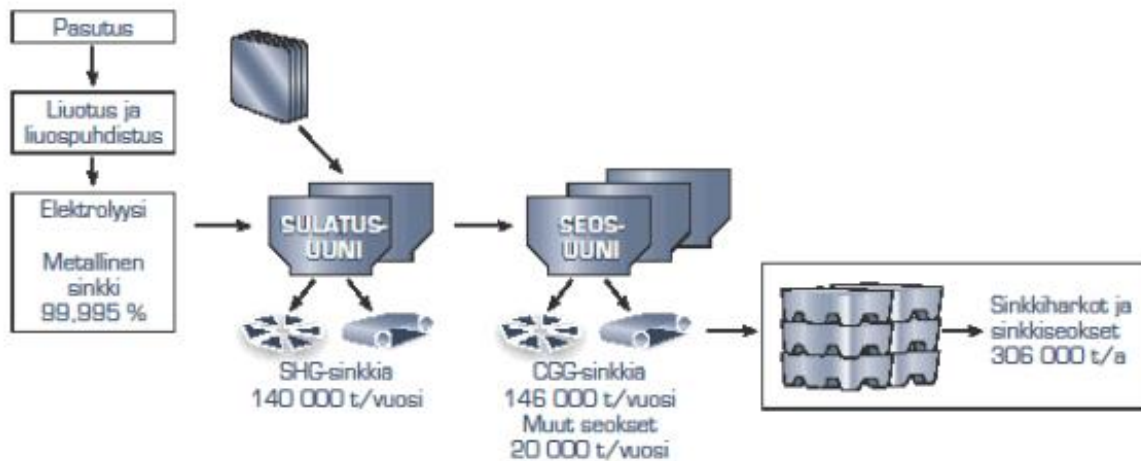
Boliden kokkola on Suomen itärannikolla sijaitseva Euroopan toiseksi suurin sinkkitehdas ja Kokkolan suurin teollinen työnantaja. Tuontanto Kokkolassa on alkanut vuonna 1969. Alun perin sinkkitehtaan perusti Outokumpu, jolta Boliden osti tuotantolaitoksen vuonna 2004. Samalla alueella sijaitsevan rikkihappotehtaan Boliden osti Kemiralta vuonna 2010. Osana sinkin tuotantoprosessia talteen on otettu myös sinkkirikasteessa oleva hopea vuodesta 2014. (Boliden Group, 2021.)

Bolidenilla tuotettua sinkkiä käytetään mm. autoihin, siltoihin, paristoihin ja rakentamiseen. Sinkki-tuotteita Bolidenin valikoimassa on yli 40; osa on asiakastarpeisiin räätälöityjä seostuotteita ja osa on puhdasta sinkkiä. Vuonna 2020 Boliden tuotti 297 000 tonnia sinkkiä ja 328 000 tonnia rikkihappoa. (Boliden Group, 2021.)

Tuotantolaitoksia Bolidenilla on Kokkolan lisäksi Harjavallassa, Rönnskärissä, Oddassa ja Bergsöessä. Kokkolaan tuodaan raaka-aineita eri puolelta maailmaa yli 600 000 tonnia vuodessa. Suurin osa tehtaasta tarvitsemasta sinkkirikasteesta tulee Bolidenin omilta kaivoksilta Ruotsista ja Irlannista. Osa sinkkirikasteesta hankitaan muilta kaivosyrityksiltä Euroopasta, Pohjois-Amerikasta ja Perusta. (Boliden Group, 2021.)

5.1 Sinkintuotantoprosessin vaiheet

Boliden Kokkola tuottaa sinkkiä elektrolyysiprosessilla. Sinkintuotantoprosessissa on viisi eri vaihetta, jotka ovat pasutus, liuotus, liuospuhdistus, elektrolyysi ja valu. Prosessivaiheet esiteltynä kuviossa 1. Tuotantoprosessi alkaa Pasutolla rikasteen käsittelystä ja loppuu Valimolle, jossa tuotettu sinkki vaelataan asiakkaiden toiveiden mukaisiksi harkoiksi. Pääraaka-aineet tuotantoprosessissa ovat sulfidiset sinkkirikasteet, joiden sinkkipitoisuus on noin 55 % ja rautapitoisuus noin 7 %. Tämän lisäksi rikasteet sisältävät muun muassa rikkiä ja useita muita alkuaineita. (Boliden Group, 2021.)



KUVIO 1. Sinkintuotantoprosessin eri vaiheet (Boliden Kokkola Oy. 2022a)

5.2 Sinkintuotantoprosessi

Osa rikasteista voidaan liuottaa sellaisenaan, mutta osa rikasteesta pasutetaan liuotuksen mahdollistamiseksi. Pasutolla rikasteet käsitellään helppoliukoisempaan muotoon. Rikastetta poltetaan ilman hapen kanssa 950°C sinkkioksidia ja sinkkiferriiniä sisältäväksi pasutteenksi. Pasutuksen yhteydessä syntyy lisäksi rikkidioksidikaasua. Reaktiossa syntyvä rikkidioksidi jäädytetään ja käytetään rikkihapon valmistukseen Bolidenin omalla rikkihappotehtaalla. Rikkidioksidikaasun luovuttama lämpö otetaan höyrynä talteen ja käytetään kaukolämmön ja sähkön tuotantoon. (Boliden Group, 2021; Boliden Kokkola Oy 2022a.)

Pasutuksesta syntynyt pasute ja suoraliuotusmenetelmällä käsiteltävä rikaste liuotetaan rikkihappoon liuospuhdistusta varten. Liuotuksen johdosta saadaan sinkkisulfaattia, mutta myös useita muita sulfaatteja, kuten kupari-, koboltti-, kadmium ja magnaanisulfaatteja.

Pasutteen liuotus koostuu kolmivaiheisesta prosessista, jossa sinkkioksidin liuotussaanti pyritään maksimoimaan. Kolmivaiheinen liuotusprosessi koostuu neutraaliliuotuksesta, vahvahappoliuotuksesta ja supervahvahappoliuotuksesta. Kolmivaiheinen prosessi etenee niin, että jokaisessa vaiheessa liuoksen väkevyyttä lisätään rikkahapolla liuotussaannin parantamiseksi. Jokaisen liuotusvaiheen ylite, eli liuennut ja kirkastunut sinkkisulfaattiliuos, ajetaan puhdistuksen kautta elektrolyysiin. Liukenematon alite jatkaa seuraavaan liuotusvaiheeseen, jossa liuoksen väkevyyttä edelleen lisätään rikkihappolla.

Liuksessa olevaa rautaa hapetetaan syöttämällä happea liuotukseen. Hapetuksen johdosta kaksiarvoinen rauta (Fe^{2+}) hapettuu kolmiarvoiseksi raudaksi (Fe^{3+}). Hapettamisen tarkoituksena on saostaa liuksessa oleva rauta. Rauta saostuu hydroksina ja raudan mukana saadaan kersaostettua myös muita epäpuhtauksia, kuten germanium, antimoni, alumiini ja pii. Supervahvahappoliuotuksen ylite palaa vahvahappoliuotukseen ja alite ohjataan hopean talteenottoon, jossa myös lyijy otetaan talteen. Vahvahappoliuotuksen ylite jatkaa rikasteenliuotukseen. Neutraaliliuotuksen päätarkoituksena on tuottaa liuospuhdistukseen mahdollisimman matalat Ge- ja Sb- pitoisuudet omaava sinkkisulfaattiliuos, eli raakaliuos. (Boliden Kokkola Oy 2021b.)

Suoraliuotukseksi kutsutaan menetelmää, jossa rikastetta liuotetaan ilman pasutusta. Suoraliuotuksen tavoitteena on mahdollisimman hyvä sinkkisaanti rikasteesta ja hyvä liuos neutraaliliuotusta varten. Suurin osa liuksen sisältämästä raudasta poistetaan jarsiittina. Syöttö reaktoreihin koostuu rikasteesta, paluuhaposta sekä vahvahappoliuotuksen ylitteestä. Reaktoreista liuos syötetään sakeuttimille, joiden alite jatkaa suodatukseen ja ylite, eli kirkas liuos pumpataan neutraaliliuotukseen. Neutraaliliuotuksesta ylite jatkaa puhdistukseen. (Boliden Kokkola Oy 2022.)

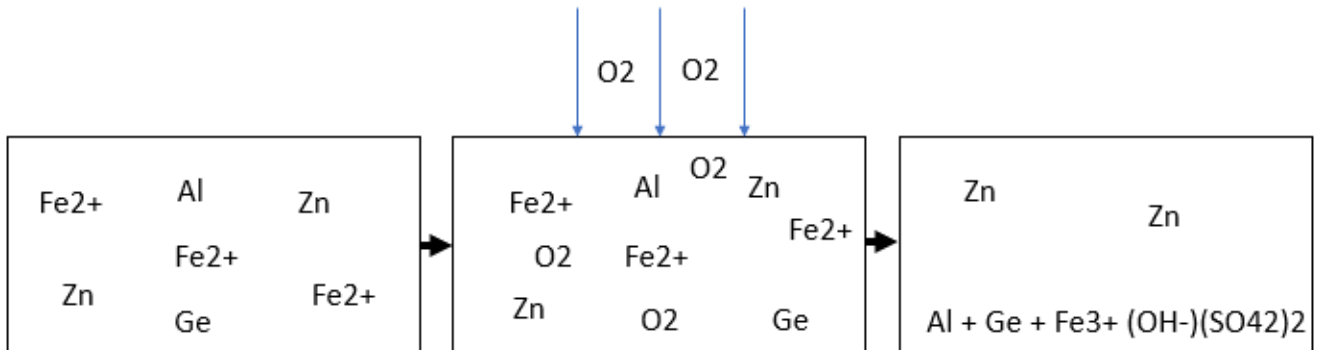
Liuoksen puhdistus on kolmivaiheinen, jatkuvatoiminen liuoksen puhdistusprosessi, jossa jokaiseen vaiheeseen lisätään sinkkipulveria. Puhdistuksen tarkoituksena on poistaa liuksesta kloori, kupari, koboltti ja kadmium. Ensimmäisessä puhdistusvaiheessa kupari saostetaan liuksesta. Toisessa liuospuhdistusvaiheessa koboltti, nikkeli ja arseeni. Viimeisessä puhdistusvaiheessa poistetaan kadmium. Kaikki ei-toivotut metallit ovat sinkkiä jalompia, joten sinkkipulveria lisäämällä liuokseen saadaan sementoitua sakkaan sinkkiä jalommat metallit ja sinkki korvautuu niiden tilalle. Kloridia saostetaan kuparinpoiston yhteydessä ja lipeäliuotuksen jälkeen se poistetaan prosessista vesienkäsittelyn kautta. Liuospuhdistuksesta saatavaa liuosta kutsutaan neutraaliliuokseksi, ja se sisältää sinkkiä noin 150 g/l. Neutraaliliuos pumpataan jäähdytyksen kautta elektrolyysiin. (Boliden Kokkola Oy. 2021, d.)

Elektrolyysin tavoitteena on tuottaa katodisinkkiä korkealla käyttöasteella ja pienellä ominaisenergian kulutuksella. Elektrolyysissä sinkkisulfaattiliuos jäähdytetään 37 °C asteeseen ja pumpataan elektrolyysin allaskiertoon. Sinkki saostetaan alumiiniselle katodilevyille sähkövirran avulla. Sinkkilevyä kasvatetaan katodin pinnalla neutraaliliuoksessa n. 35–36 tuntia, jonka jälkeen levyt nostetaan liuksesta ja saostunut sinkki irrotetaan katodilevyistä automaattisten irrotuskoneiden avulla. Tässä vaiheessa prosessia metallinen sinkki on 99,995 prosenttista. Tuotannossa käytetty neutraaliliuos palautetaan takaisin puhdistamolle, ja sitä käytetään liuotuksessa niin kutsuttuna paluuhappona. Metalliset sinkkilevyt ajetaan prosessin viimeiseen vaiheeseen Valimolle. Valimon tehtävänä on sulattaa elektrolyysillä

valmistettu katodisinkki, ja valaa siitä asiakkaan tarpeisiin soveltuvia sinkkituotteita laatu- ja aikatauluodotusten mukaisesti. Valimolla katodisinkit sulatetaan induktiouuneissa ja valetaan asiakkaan vaatimusten mukaisiksi harkoiksi. Valmiit tuotteet kuljetetaan asiakkaille laivoilla ja junilla. (Boliden Group 2021; Boliden Kokkola Oy 2022a.)

6 JAROSIITIN POISTAMINEN LIUSKIERROSTA

Osa sinkkirikasteen sisältämistä metalleista on rautaa. Rauta poistetaan liuoskierrosta saostamalla se jarosiitiksi. Raudan saostaminen tapahtuu syöttämällä happea, (O_2) liuotusprosessiin. Saostamisen yhteydessä keraosaostuu myös muita ei-toivottuja metalleja, (KUVA 6). (Boliden Kokkola Oy 2021e.)



KUVA 6. Raudan saostaminen jarosiitiksi

6.1 Jarosiitin sakeutus

Rikasteen liuotuksesta rautapitoinen alite syötetään jarosiitin sakeutukseen. Jarosiitin sakeutus käsittää kolme sakeutinta, joiden tarkoituksena on erottaa yhteisjätteen kiintoaine liuoksesta, eli rikki ja jarosiitti. Kaksi sakeutinta toimii rinnan, ja yksi sakeuttimista toimii kirkastussakeuttimena. Jarosiittisakeuttimien syöte on yhteisjätettä, joka tulee rikasteenliuotuksen loppupäästä. Rinnan toimivien sakeuttimien kiintoainepitoinen alite syötetään jarosiitin nauhasuodattimille, joita tällä hetkellä käytössä 6 kpl, NAS1-6. Kirkastussakeuttimen alite syötetään välisäiliön kautta takaisin liuoskiertoon niin kutsuttuna siemenkiertona ja kiintoainevapaa ylite jatkaa neutraaliliuotukseen. (Boliden Kokkola Oy 2021e.)

6.2 Jarosiitin suodatus

Liukenematon ainesosa ja syntyvä jarosiitti suodatetaan ja pestään jarosiitin nauhasuodattimilla. Jarosiitin suodatuksen tavoitteena on erottaa loppu emäliuos kiintoaineesta ja palauttaa vesiliukoiset metallit takaisin prosessikiertoon ja tuottaa näin sulfidointikelpoista jarosiittia. Sulfidoinnin jälkeen yhteisjäte jatkaa kaksoissuodatukseen/varastoalueelle.

Tärkein tehtävä jarosiitin suodatuksessa on pestä mahdollisimman suuri osa vesiliukoisesta sinkistä pois nauhasuodattimien jarosiittijätteestä ja palauttaa se suodosveden mukana takaisin liuoskiertoon. Kakunpesuvettä tarvitaan ohjeen mukaan noin $1,5 \text{ m}^3/\text{jarosiittitonni}$, jotta päästään toivottuihin tuloksiin vesiliukoisen sinkin suhteen. Suodatuksessa tärkeää on, että ensimmäien kakunpesuvesialue on täysin veden peitossa. Toisessa kakunpesuvesivaiheessa vettä syötetään laskennan perusteella niin, että $1,5 \text{ m}^3/\text{jarosiittitonni}$ täyttyy.

Sakeuttimista alitetta poistetaan jatkuvasti niiden toiminnan kannalta tarpeellinen määrä. Ohjeellinen arvo on $75 \text{ m}^3/\text{h}$ ja vaihteluväli ohjeen mukaan $50 - 90 \text{ m}^3/\text{h}$. Jarosiittisakeuttimien alite syötetään välisäiliö VJS:n kautta jarosiitin nauhasuodattimille. Prosessinohitaja säätelee syötönohjausta ja nauhan nopeutta. Varsinainen suodos poistetaan imukoneen avulla nauhasuodattimien suodossäiliöön, jonne myös jarosiittisakeuttimien ylite johdetaan. Suodossäiliöstä liuos pumpataan takaisin liuoskiertoon. Pesuvedenä nauhasuodattimilla käytetään liuotusreaktoreiden sekoittajien ja tyhjiöpumppujen tiivisteveisiä sekä lisävedenä suolatonta vettä. (Boliden Kokkola Oy 2021d.)

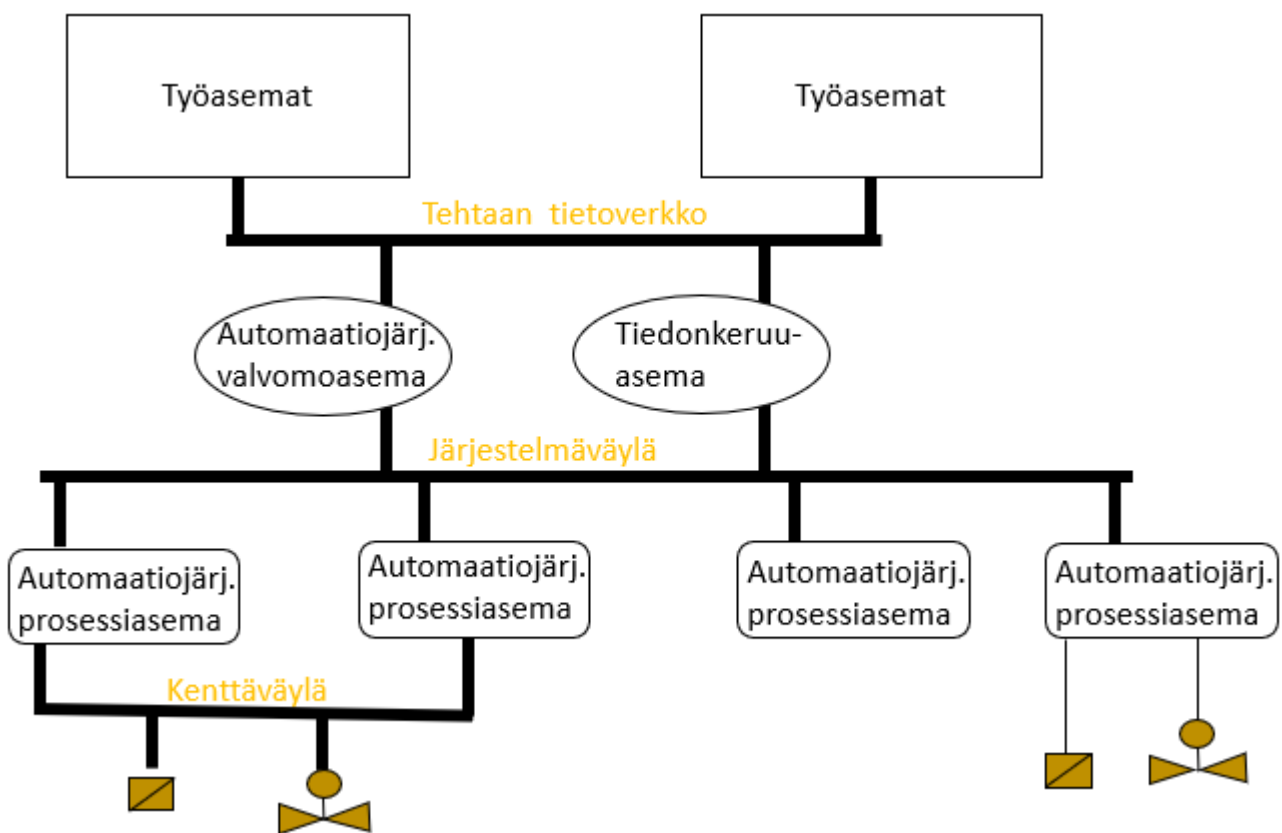
6.3 Nykyinen ajotapa jarosiitin suodatuksessa

Käytössä on kuusi samanlaista nauhasuodatinta. Yhden nauhasuodattimen pinta-ala on 51 m^2 . Tavoitteena on prosessitilanteen niin mahdollistaessa, että kaikkia nauhoja ajetaan samanaikaisesti. Syöttöliete pumpataan VJS:stä yhden pumpun avulla nauhojen syöttökaukaloon. Prosessia ohjaava henkilö voi määritellä syöttölietteen virtauksen (m^3/h). VJS:n pinnansäätö huolehtii osaltaan, että lietettä poistuu yhtä paljon kuin reaktoriin sakeuttimilta sitä yhteensä tulee. Operaattori säätää silmämääräisesti imut ja kakunpesuvedet 1 ja 2 pesuvaiheessa. Myöskin operaattori muuttaa tarvittaessa nauhan nopeutta. Tällä hetkellä vain NAS6 on käytössä automaattinen säätöpiiri pesuvesiohjaukseen. Säätöpiiri huolehtii, että pesuvettä ajetaan nauhalle $1,5 \text{ m}^3/\text{jarosiittitonni}$. Tätä kuitenkin ei operaattorien mukaan yleensä käytetä, koska tilanne nauhalla muuttuu jatkuvasti eikä vakiona pidetty pesuvesimäärä

luo siten optimaalista olosuhdetta nauhalla. Näytteitä jarosiitin nauhasuodattimilta otetaan 1 kerran kahdessa päivässä. Näytteistä analysoidaan vesiliukoinen Zn ja H₂O. Nauhasuodattimilta mitataan poistuvasta kakunpesuvedestä johtokykyä. Johtokyky on sitä suurempi, mitä enemmän pesuvedessä on vesiliukoista sinkkiä. Kakunpaksuustutka on nauhan kuivauspäässä. Kakunpaksuustutka mittaa kakunpaksuutta 0,0001287 m² pinta-alalta. Koko nauhasuodattimen kuivauspään pinta-ala on 12 m². Kakunpaksuustutkan mittaamaa keskiarvoa operaattori voi seurata ABB:ltä. Operaattorilla on ajettavana siis 6 jarosiitin nauhasuodatinta, joissa pitää jokaisessa erikseen määritellä syöteliikkeen nopeus/määrä, imut pesu- ja kuivauspäässä, kakunpesuvedet 1. ja 2. pesuvaiheessa ja pyörimisnopeus. Huomioon tulee lisäksi ottaa muut vakuumisuodattimeen liittyvät tekijät ja mahdolliset muuttujat. Nauhasuodattimia ajetaan myös pitäen silmällä sakeuttimien kuormia. Suodatettavan jarosiitin laatu ja määrä myöskin vaihtelee käytössä olevan rikasteen ja prosessitilanteen mukaan. Voidaan todeta, että muuttuvia ja tarkkailtavia parametreja jarosiitin nauhasuodatuksessa on paljon.

7 AUTOMAATIOJÄRJESTELMIEN HYÖDYNTÄMINEN TEOLLISUUDESSA

Automaatiojärjestelmiä hyödynnetään tuotantoprosesseissa laajalti. Automaatiojärjestelmän päätehtävänä on automaattinen mittaaminen, valvonta ja ohjaaminen. Prosessista saadaan reaaliaikaisesti tietoa jatkuvasti mm. venttiilien ja moottorien tilatiedoista. Mittareita saatavat mittaustiedot välitetään DCS järjestelmään ja prosessi-informaatio esitetään käyttäjille valvomonäyttöille. Valvomonäyttöiltä käyttäjä voi seurata, valvoa ja ohjata prosessia. Kuvassa 7 on esitelty automaatiojärjestelmään sisältyvät tasot, joita teollisuudessa hyödynnetään laajasti. (Puskala, 2021.)



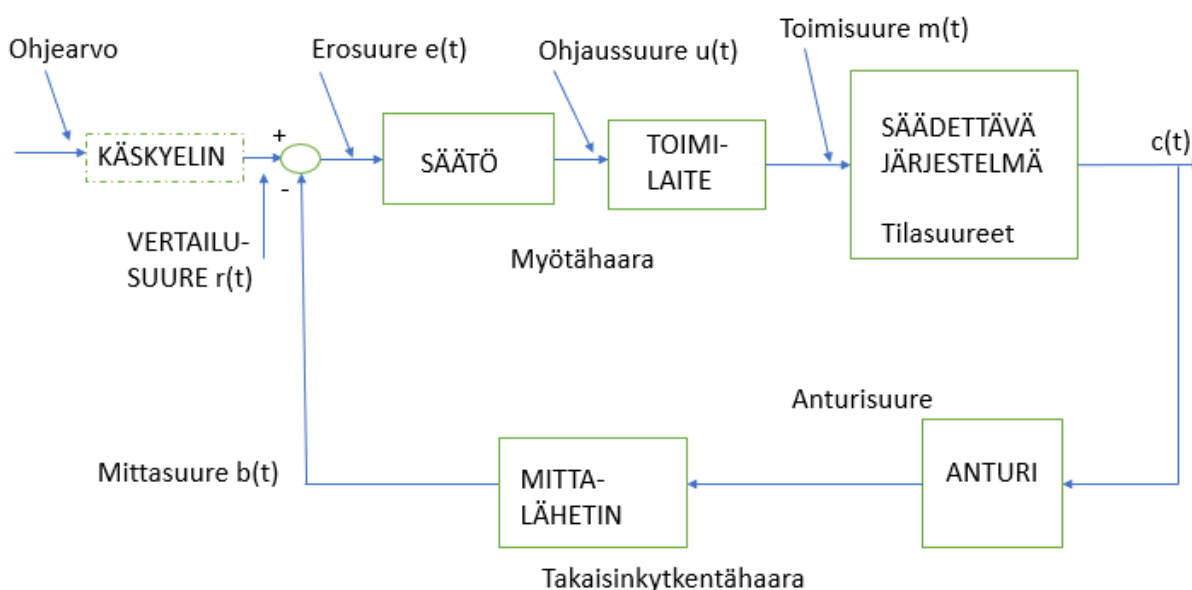
KUVA 7. Kenttä-, prosessi- ja valvomotaso osana automaatiojärjestelmää (Mukaiillen Knowpulp, 2021)

7.1 Sääto- ja ohjausperiaatteet

Säätötekniikassa tarkastellaan tehtäviä, joissa jokin fysikaalisessa tai kemiallisessa järjestelmässä esiintyvä suure, esim. paine, lämpötila, pyörimisnopeus, jännite tms., on saatava pysymään vakiona tai

vaihtoehtoisesti muuttumaan annetun ohjeen mukaiseksi häiriöistä huolimatta. Ohjaus ja säätö ovat kaksi säätötekniikassa käytettyä, eri periaatteella toimivaa tapausta, joilla tällaisia tehtäviä voidaan joissakin tapauksessa suorittaa. Säädön tehtävänä on säädetyn suureen havaitseminen, mittaaminen ja mittaustuloksen sekä käyttäjän asettaman arvon vertailu. Jos arvossa on poikkeamaa, säädin yrittää korjata säätöpoikkeaman. Säättöjärjestelmien vaikutus kiertää laitteiden määräämään suuntaan. Ohjauksessa sen sijaan vaikutus kulkee laitteiden muodostamassa avoimessa ketjussa päätyen ohjattuun suureen. (Jotuni, Ryti, Pyöhönen 1981, 266.)

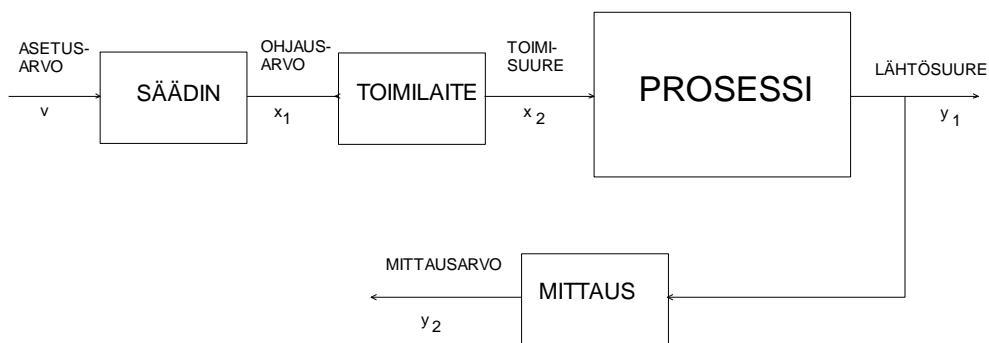
Säättöjärjestelmän (KUVA 8) tarkoituksena on saada säädettävä järjestelmä toimimaan sille määriteltyjen ohjeiden mukaan. Automaattinen säätöjärjestelmä toimii monen tekijän summana. Säättöjärjestelmässä anturin tehtävänä on tunnustella järjestelmän lähtösuuren muutoksia ja muodostaa niistä anturisuure, jonka mittalähetin muuttaa mittasuureksi. Mittasuure on jokin yleensä ennalta sovittu standardiviesti. Säädettävä suure on pääsääntöisesti aina nimenomaan mittasuure. Ohjearvo ilmoittaa säätöjärjestelmälle, mikä asetusarvo säätösuurelle on määritelty. Käskyelin muuttaa sille tulevan ohjesuureen vertailusuureksi, jonka tulee olla yhteismitallinen mittasuureen, eli standardiviestin kanssa. Eroelimen tehtävänä on vähentää vertailusuureesta mittasuureen ja välittää muodostunut erosuure säätölohkolle. Säättölohko muodostaa saamastaan erosuuresta määrättyjen, usein ohjelmoitavien menetelmien mukaisesti ohjaussuureen ja välittää sen toimilaitteelle, joka sitten ohjaa säädettävää järjestelmää toimitukseen avulla. Säätimen muodostaa käskyelimen, eroelimen ja säätölohkon muodostama kokonaisuus. (Savolainen & Vaitinen 2003, 14–15.)



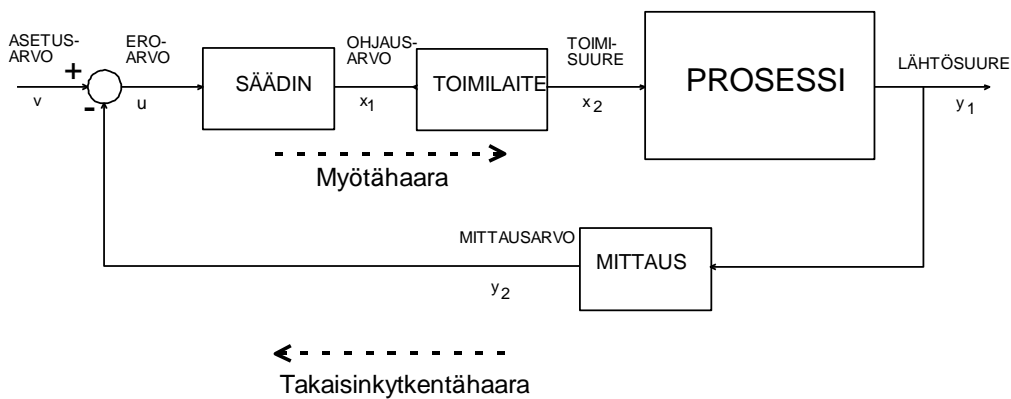
KUVA 8. Säättöjärjestelmä, jossa takaisin kytkentä (Mukaiillen Savolainen & Vaitinen 2003, 14)

7.2 Säätiöpiirien ohjaustavat

Säätiöpiirien ohjaustavat jaetaan avoimeen- ja takaisinkytkettyyn säätiöjärjestelmään (KUVA 9 & 10). Jos säätiöjärjestelmässä ei ole takaisinkytkentää, puhutaan avoimesta säätiöpiiristä. Tällöin mitatut suu-reet eivät vaikuta ohjaukseen. Jos säätiöjärjestelmässä on takaisinkytkentähaara, puhutaan suljetusta takaisinkytketystä säätiöpiiristä. Tällöin informaatio kulkee säätiösuureesta mittauksen ja eroelimen kautta säätiölohkolle. (Savolainen & Vaitinen 2003, 14-15.)



KUVA 9. Avoin ohjausjärjestelmä (Puskala, 2021)



KUVA 10. Suljettu ohjausjärjestelmä (Puskala, 2021)

8 SÄÄTÖMENETELMÄT

Säätömenetelmiä on erilaisia ja ne valitaan aina tapauskohtaisesti säädettävän systeemin mukaan. Sää-
tölohko sisältää valitun säätöalgoritmin eli -menetelmän, jonka avulla toimilaitteelle menevää ohjausta
muutetaan niin, että säätösuure pysyisi ohjausarvossaan. (Savolainen & Vaittinen 2003, 33.) Prosessin
yhtä lähtömuuttujaa voidaan hallita myös kahdella sisäkkäin olevalla säätöpiirillä. Tällöin puhutaan
kaskadisäädöstä. (Kippo & Tikka 2008, 136.)

8.1 Kaksipistesäätö

Kaksipistesäätö on kaikkein yksinkertaisin säätömenetelmä, jossa säätösuureen ohjearvo annetaan sal-
littuna alueena ala- ja ylärajan avulla. Tarkoituksena on pitää säätösuure näiden ennalta asetettujen ra-
jojen välissä. Toimilaitteelle säätölohkosta lähtevä ohjaus voi saada kahta toisensa pois sulkevaa ar-
voa; yleisimpinä käytettyjä ovat ON/OFF, AUKI/KIINNI jne. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että
säätösuure vaihtelee jatkuvasti ala- ja ylärajansa välillä tehden eräänlaista sahanteräliikettä. Ohjauk-
sessa toimilaitte puolestaan saa vuorotellen käynnistys- ja pysäytyskäskyjä. (Savolainen & Vaittinen
2003, 33.)

8.2 P-Säätö

P-säätö aiheuttaa offset virheen prosessin lähtömuuttujalle. Takaisinkytketyssä säätöjärjestelmässä P-
säätö muuttaa toimilaitteelle menevää ohjausviestiä verrannollisesti erosuureeseen nähden. P-säätimen
toimintaperiaate on yksinkertainen. Säädin vahvistaa prosessin asetusarvoa ja mittausarvon eroarvoa ja
asettaa vahvistuskertoimella kerrotun eroarvon säätimen ohjausarvoksi. Välttämätöntä on kertoa sääti-
men eroarvo vakiolla, sillä säätimen eroarvo muodostuu ennen pitkää niin pieneksi, ettei säädin pysty
ohjaamaan toimilaitetta. Vahvistuskerrointa suurettamalla säädettävän järjestelmän muutosnopeutta on
mahdollista muuttaa. Kun säätösuureen arvo jää pienemmäksi kuin ohjearvo, tarkoittaa se, että säätö-
järjestelmään jää pysyvä säätöpoikkeama. Säätöpoikkeama on sitä pienempi, mitä suuremmaksi P-sää-
dön vahvistus viritetään. Kuitenkin P-säätö jättää yleensä pysyvän poikkeaman, eikä kyseistä säätö-
muotoa valita, mikäli siitä on haittaa. P-säätimen ohjearvo voidaan laskea kaavalla 4.

$$u(t) = K_p e(t) + u_0 \quad (4)$$

jossa;

$u(t)$ =ohjausarvo

K_p = säätimen vahvistus

$e(t)$ =erosuure ajanhetkellä t . (Savolainen & Vaittinen 2003, 34-37; Kippo & Tikka 2008, 130-131.)

8.3 PI-Säätö

Jos offset säätöpoikkeamasta on haittaa, valitaan PI-säätö. PI-säätimellä voidaan saavuttaa hyvä tarkkuus prosessiin, koska säätö ottaa huomioon muuttuvan eroarvon ajan funktiona. PI-säädin käyttää hyväkseen integrointiaikaa; mitä suurempi integrointiaika on, sitä pienempi kasvunopeus säätimen ohjausarvon muutoksella on. Integrointiaika on se aika, jonka säätimen ulostulo tarvitsee muuttuakseen I-säädön vaikutuksesta yhtä paljon kuin se muuttui P-säädön vaikutuksesta. PI-säätimen ohjausarvoon vaikuttavat säätöpoikkeaman suuruus ja säätimelle asetettu integrointiaika. PI-säätö on yleisimmin käytetty säätömuoto. Ohjausarvo lasketaan kaavalla 5. (Savolainen & Vaittinen 2003, 38-40; Puskala 2021.)

$$u(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt \right] \quad (5)$$

jossa: $u(t)$ = ohjausarvo

K_p = vahvistuskerroin

$e(t)$ = säätöpoikkeaman arvo

$1/T_i$ = integrointiaika (Savolainen & Vaittinen 2003, 38.)

8.4 PID-Säätö

Kun säätimeltä vaaditaan välitöntä, erittäin voimakasta reagointia, valitaan PID-säädin. PID-säätimessä on lisätty derivoiva termi säätöalgoritmiin, joka muuttaa säätimeltä lähtevää ohjausta $u(t)$ suhteessa erosuureen $r(t)$ aikaderivaattaan eli muutosnopeuteen. PID-säädin toimii ennakoivasti ohjaten järjestelmää oikeaan suuntaan. Yleisesti käytetyin PID-algoritmi kirjoitetaan muotoon:

$$u(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt + T_d \frac{d}{dt} e(t) \right] \quad (6)$$

jossa T_d on derivointiaikavakio ja d/dt on säätöpoikkeaman muutosnopeus. (Savolainen & Vaitinen ym. 2003, 40.)

9 VERTAILUMITTAUKSET LIETETIHEYS- JA KAKUNPAKSUUSMITTAUKSELLE

Opinnäytetyöprosessin alussa olin tutustumassa suodattajan työhön puhdistamalla. Tutustumisjakson aikana perehdyin lietetiheysmittauksen toimintaan ja siihen vaikuttaviin tekijöihin. Arvioin myös kakunpaksuusmittauksen toimintaa ja siihen vaikuttavia tekijöitä. Mittausdataa analysoin Wedgen ja ABB:n avulla. Suodattajien lisäksi arvokasta tietoa antoi Bolidenin automaatioasiantuntija. Lietetiheysmittausta tutkiessani tulin siihen johtopäätökseen, että mittauksista olisi hyvä ottaa vertailunäytteitä ennen koeajoa. Lietetiheysmittaus vaihteli VJS:ssä paljon (KUVA 11), eikä selkeää vakiolietetiheyttä mittauksista löytynyt.



KUVA 11. VJS:n tiheysmittausdata kuukauden ajalta (ABB-järjestelmä, 2022)

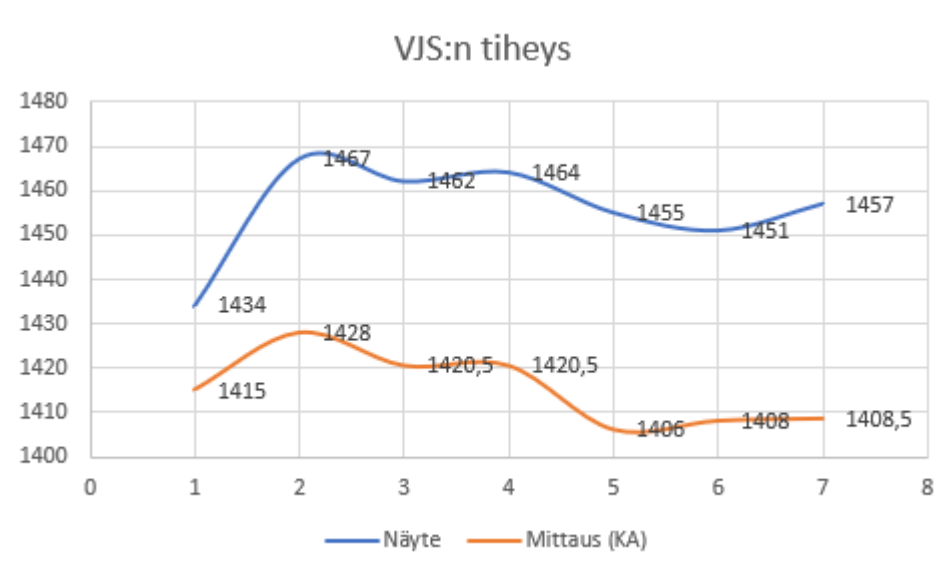
Säätöpiiriin kuuluvia prosessilaitteita ohjailaan mittausten avulla takaisinkytketyssä säätöpiirissä. Tämän vuoksi käytössä olevien mittalaitteiden käyttökelpoisuus säätöpiiriä varten oli tärkeää varmistaa erikseen tekemällä vertailumittauksia. Myös mittalaitteiden tarkkuus ja mahdolliset tasoerot ilmenevät vertailumittauksilla. Erityisesti lietetiheysmittauksen oikeellisuuden katsoin tärkeäksi tekijäksi säätöpiirin hyödyllisyydessä tulevaisuudessa.

9.1 Lietetiheysmittaus

Tein vertailumittauksia VJS:n lietetiheysmittaukselle 26.1.2022. Ennen vertailumittausten suorittamista mittari puhdistettiin ja kalibroitiin. Huoltotoimenpiteet suoritettiin työn tilaajan puolesta. Työtä suoritettaessa huomattiin, että VJS:n sekoittaja oli ollut pysähtyneenä jonkin aikaa, mahdollisesti muutamia kuukausia. Hälytystä sekoittajan pysähtymisestä ei tule valvomoon. Sekoittajan pysähtyminen voi osaltaan selittää, miksi lietetiheysmittausdata vaikutti epäluotettavalta. Jotta liete saadaan homogeeniseksi säiliössä, on siihen sekoitus erittäin oleellinen tekijä. Vertailumittaukset suoritettiin, kun sekoittaja oli toimintakunnossa jälleen. VJS:n pintaa on pidetty 70-80 %:ssa, joten mittausdataan ei voinut senkään puolesta täysin luottaa. Mittari toimii luotettavasti tutkan lyhyiden vuoksi vasta, kun VJS:n täyttöprosentti on vähintään 85 %. VJS:n täyttöprosenttia mittaavaa mittalaitetta ei voitu tarkistaa/kalibroida ennen vertailumittausten suorittamista, mutta ABB:ltä asetusarvoksi asetettiin 85 %. Pinnan nosto 70 % -> 85 % vaikutti tiheyteen sitä nostavasti. Vertailumittaukset tehtiin erillisen suunnitelman mukaan (LIITE 2). Tulokset on esitetty alla taulukossa 1 ja tiedoista on tehty havainnollistava kuvaaja 1. Taulukossa näytteellä tarkoitetaan vertailunäytettä ja mittauksella tarkoitetaan VJS:n automaattista mittausta. Koska mittaus VJS:ssä tapahtuu jatkuvana, on mittaustuloksista kerätty minimi- ja maksimiarvot ja niiden keskiarvotiheyttä on käytetty vertailumittauksen vertailuarvona. Myöskin lämpötilan vaikutus tarkistettiin viimeisen näytteen kohdalla (näyte 7, taulukko 5.) Näytteenlämpötilan ollessa 80 °C tiheys oli 1457 g/l. Tiheys 25,6 °C asteen lämpötilassa oli 1454 g/l. Eroa lämpimän ja kylmän lietteen välillä oli siis 3 g/l.

TAULUKKO 1. Vertailumittaukset VJS:n lietetiheysmittaukselle

NÄYTE	AIKA	NÄYTE (g/l)	VAIHTELU- ALUE MIT- TAUKSESSA	KA (g/l)	ERO (g/l)
Näyte 1	11:34	1434	1409-1421 g/l	1415	19
Näyte 2	12:07	1467	1416-1440 g/l	1428	39
Näyte 3	13:32	1462	1408-1433 g/l	1420,5	41,5
Näyte 4	13:03	1464	1411-1430 g/l	1420,5	43,5
Näyte 5	13:35	1455	1396-1416 g/l	1406	49
Näyte 6	13:59	1451	1396-1421 g/l	1408	43
Näyte 7	15:26	1457	1396-1421 g/l	1408,5	48,5



KUVAAJA 1. VJS:n tiheysmittaus ja vertailumittauksen tulokset

9.2 Kakunpaksuusmittaus

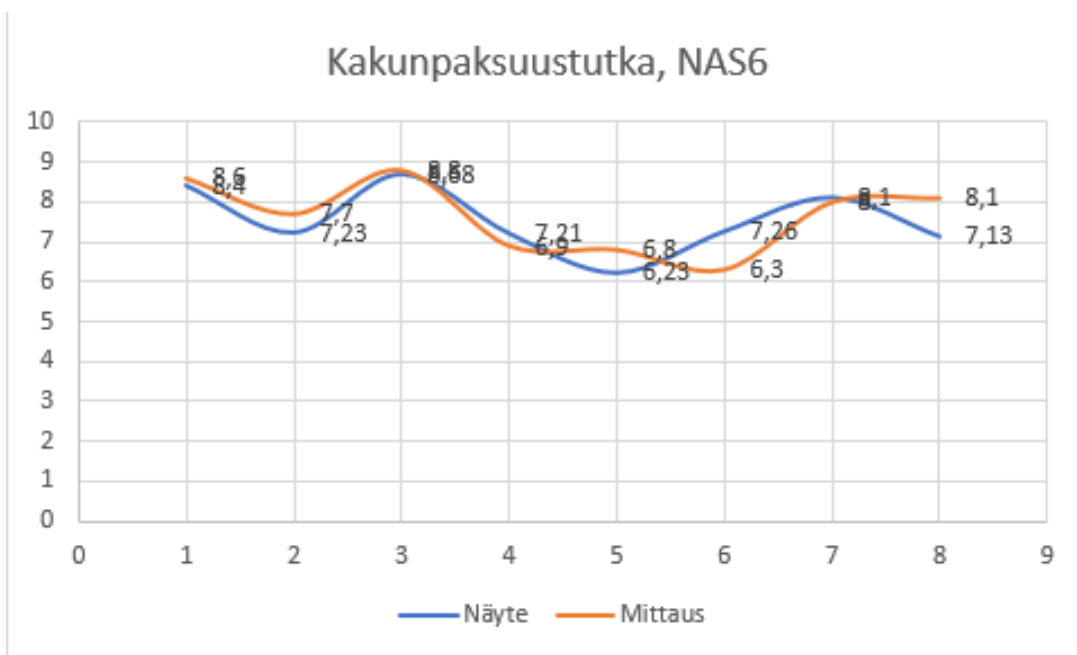
Kakunpaksuusmittaukselle ei ole suoritettu vertailumittauksia aiemmin ja myöskin niille nähtiin tarve. Kakunpaksuudelle vertailumittauksia NAS6:lla tehtiin yhteensä 8 kpl. Kakunpaksuusmittaus mittaa jarrusiihtin nauhasuodattimelta kakun paksuutta 7° kulmassa. Etäisyys nauhasta on n. 0,58 m. Kakunpaksuusmittaus mittaa keskiarvopaksuutta siis 128,7 cm² alalta. Pinta-ala on laskettu trigonometriaa apuna käyttäen, laskutoimitus on nähtävillä liitteissä 1. Kakunpaksuusmittauksen tarkkuus on - + 1 mm valmistajan mukaan. Keskiarvotulos ilmenee ABB:llä sekunnin tarkkuudella. Huomioitavaa on, että kakunpaksuus ei edusta koko kuivauspään paksuutta, jos syöteliete ei jakaannu tasaisesti nauhalle, kiintoainepitoisuuden vaihtelu nauhallalla on suurta tai kakkua tasoittavien kumilipareiden alta pääsee paikoitellen kakku tulemaan paksumpana läpi (KUVA 12). Kakunpaksuusmittaus puhdistettiin edeltävästi työn tilaajan toimesta. Tulokset on esitelty taulukossa 2. Tuloksista on tehty havainnollistava kuvaaja 2. Mittaukset suoritettiin työntömitalla ja mittapaperilla tarkasti tutkan alta. Vertailumittaukset suoritettiin erillisen mittausohjeen mukaan (LIITE 2). Näytteellä tarkoitetaan taulukossa itsemitattua kakunpaksuutta ja mittaus tarkoittaa kakunpaksuusmittauksen mittaamaa kakunpaksuutta.



KUVA 12. Kakunpaksuustutka mittaa keskiarvopaksuutta 7 asteen kulmassa tasoon nähden

TAULUKKO 2. Vertailumittaukset kakunpaksuustutkalle (NAS6)

NAS6, NÄYTE	AIKA	NÄYTE (mm)	MITTAUS (mm)	ERO (mittausnäyte)
1	14:43:12	8,4	8,6	0,2
2	16:01:24	7,23	7,7	0,47
3	16:18:14	8,68	8,8	0,12
4	16:29:40	7,21	6,9	-0,31
5	16:37:20	6,23	6,8	0,57
6	16:46:28	7,26	6,3	-0,96
7	16:58:55	8,1	8	-0,1
8	17:09:57	7,13	8,1	0,97



KUVAAJA 2. Kakunpaksuustutkan vertailumittausten tulokset

10 TULOSTEN KÄSITTELY, VERTAILUMITTAUKSET

Tutkimusmenetelmät koostuvat niistä tavoista ja käytännöistä, joilla havaintoja kerätään. Tässä opin-
näytetyössä on tehty päätös hyödyntää kokeellista menetelmää tavoitteiden saavuttamiseksi. Arvioitiin,
että perinteinen kyselylomake tai haastattelu ei palvele opinnäytetyön tarkoitusta, jonka vuoksi työ on
rakennettu teorian, havainnoinnin ja kokeellisten tulosten perusteella.

Mittausten reliaabelius varmistettiin tekemällä molemmista vertailumittauksista useita toistoja. Ennalta
oli tiedossa, että tiheys ei pysy säiliössä vakiona. Säiliössä olevan tiheyden vaihtelevuuden vuoksi
myöskin mittausten välillä on hieman eroja. Näytteiden tulokset pysyvät silti samassa linjassa, eivätkä
niiden tulokset ole sattumanvaraisia. Tutkimuksen validius huomioitiin valitsemalla tarkasti tutkimuk-
siin soveltuvat menetelmät. Myöskin laitteiden kalibroinnit huomioitiin niin mittauskohteessa kuin
mittavälineissä. Kakunpaksuutta mitattaessa vertailumittaus suoritettiin kahta menetelmää käyttäen
(LIITTEET 3/1 ja 3/2) luotettavuuden lisäämiseksi.

Kuten luvun 9 kuvaajasta 1 nähdään, VJS:n lietetiheysmittauksessa on otettuihin näytteisiin pieni ta-
soero. Aiemmin todettiin luvussa 9, että ei ole varmuutta siitä, kuinka korkealla tuo 85 % todellisuus-
dessa säiliössä on, koska pinnanmittausta ei ollut mahdollista tämän opinnäytetyön aikaresursseissa
tarkistaa. Pinnanmittaus tulee tarkistaa säiliön ollessa tyhjä, koska työtä ei muutoin ole turvallista suo-
rittaa. Lietetiheysmittaus toimii luotettavasti anturin lyhyden vuoksi vasta, kun pinta on 85 % tai yli
säiliössä. Jos lietetiheysmittaus olisi säiliössä huomattavasti alempana, eroa otettuihin näytteisiin olisi
mittauksissa todennäköisesti vähemmän. Tätä puoltaa se, että kun VJS:n pintaa nostetaan, nousee liete-
tiheys säiliössä automaattisen mittauksen mukaan. Lietetiheyden noustessa säiliössä myöskin tasoero
otettuihin näytteisiin kaventuu. Muuten mittaukset korreloivat oikein hyvin ja trendiivat mukailevat
toisiaan tasoerosta huolimatta.

Kakunpaksuusmittauksista ei ole aiemmin tehty vertailumittauksia millekään jaroitiin nauhasuodatti-
melle. Näiden otettujen mittausten perusteella voidaan todeta, että kakunpaksuustutka pitää paikkaansa
hyvin mittauskohdissa. Pieniä eroja mittauksessa on, mutta ne johtunevat siitä, että tutka mittaa 128,7
cm² pinta-alalta kakun paksuutta, ja ABB:ltä otettu arvo edustaa näiden mittausten keskiarvoa. Kakun-
paksuusmittauksen tarkkuudeksi on ilmoitettu +/-1 mm. Otettujen vertailumittausten perustella voidaan
todeta, että jos kiintoaine saadaan levittymään nauhalle tasaisesti, voisi mittauskohta edustaa koko nau-
hasuodattimen kuivauspään kakunpaksuutta. Päivittäisessä ajossa lisäksi tärkeää tarkistaa, että nauhan

syöttöpää on puhdas ja liete pääsee levittymään tasaisesti koko nauhan leveydeltä. Myöskin pesuvesi tulee levitä nauhalle tasaisesti. Nauhaa tasoittavien kumilipareiden tulee olla ehjät, eikä niissä tulisi olla kohoumia, joiden alta kakku pääsee tulemaan paksumpana läpi.

11 SUOSITUS LIETETIHEYSMITTAUKSEN JA KAKUNPAKSUUSMITTAUKSEN HYÖDYNTÄMISESTÄ JAROSIITIN NAUHASUODATTIMELLA

Suosittelen hyödyntämään lietetiheysmittausta jarosiitin nauhasuodattimella automaattisen säätöpiirin avulla, jota ohjataan lietetiheysmittausdatan avulla. Tähän tarkoitukseen suosittelen PI- tai PID-säätöä, jotta säädin automaattisesti ohjaa järjestelmää oikeaan suuntaan reaaliaikaisesti. PID-säätimen etuna olisi, että se toimisi jo ennakoivasti ohjaten järjestelmää oikeaan suuntaan.

11.1 Säätöpiirin tavoite

Säätöpiirin tavoitteena on pitää VJS:n lietetiheys vakiona, jotta jarosiitin nauhasuodattimen toiminta olisi tasaisempaa ja kiintoainekerroksen vahvuus suodattimella mahdollisimman tasainen. Kiintoainekerroksen tasaantuessa muuttujien määrä päivittäisessä prosessiajossa vähenee, joten jarosiitin suodatusta on helpompi optimoida. Suodattimen toiminnan tasaamisella myöskin pesutulosta saadaan parannettua.

11.2 Säätöpiirin toimintaperiaate

Lietteen tiheys pidetään vakiona lisäämällä tarvittaessa vettä säiliöön automaattisen säätöpiirin avulla. Lietetiheyttä säädeltäisiin hyödyntämällä jo valmiina olevaa suodosvesilinjaa tai vaihtoehtoisesti käyttämällä V2 säiliön vettä, josta myöskin tulee suora linja VJS:ään. Lietetiheysmittaus antaa tietoa säädölle, joka ohjaa vesilinjan pumppua. Optimaalinen lietetiheys VJS:ssä arvioidaan erillisiin tutkimuksiin perustuen ja ne toteutetaan säätöpiirin valmistuttua, mikäli se päädytään ottamaan käyttöön.

Jarosiittipitoisen lietteen lietetiheyden laskeminen vedellä perustuu jarosiittilietteen ja veden tiheuseroihin. Jarosiittilietteen tiheys on keskimäärin 1440 g/l kuten vertailumittauksista voidaan todeta. Veden tiheys on noin 998 g/l. Kun veden tilavuutta kasvatetaan säiliössä, lietteen kokonaistiheys laskee. Jos lietetiheys nousee ennalta asetetun rajan yläpuolelle, käynnistyy vesipumppu automaattisesti ja lisää vettä VJS:ään niin kauan, että lietetiheys palautuu, takasin ennalta määriteltyjen asetusarvojen sisäpuolelle. Jos huojuntaa on toiseen suuntaan, eli lietetiheys tippuu asetusarvon alapuolelle, ei tilannetta

voi korjata säädöllä. Lietetiheyden lasku asetusarvon alapuolelle näkyy kakunpaksuudessa todennäköisesti aiempaa ohuempana kakkuna. Ehdotan, että kakunpaksuustutkaa ei kuitenkaan liitetä automaattiseen säätöpiiriin. Perustelen ehdotukseni sillä, että jos säätöpiiriä ohjataan myös kakunpaksuusmittauksen avulla, voi ohjaus ajaa prosessiajota virheellisesti heikentäen suodatuksen laatua. Darcyn laissa todetaan (Henley ym. 2011, 866–867), että suodatustapahtumaan vaikuttaa suodinkerroksen paksuus. Myöskin suodatettavan lietteen partikkelikokojakauma vaikuttaa suodatustapahtumaan kuten teoriassa kohdassa suodatuksen mekanismit kuvalla 2 havainnollistettiin. Jos syöteliete sisältää paljon suuria partikkeleita, on muodostuva kakku huokeampaa. Kuten Wakeman & Tarleton (1999) toteavat, vaikuttaa partikkelikoon kasvu samassa suhteessa suoraan verrannollisesti kakun paksuuteen. Kakun paksuuden kasvaessa myöskin ilman läpäisy kasvaa samassa suhteessa partikkelikoon kasvun kanssa sen heikentyneen vastuksen vuoksi, kun taas kakun kosteus hieman vastaavasti laskee. (Wakeman & Tarleton 1999, 421).

Liuotettavan rikasteen laatu vaihtelee, joten myöskään suodatettavan jaroisiin laatu ei ole tasalaatuista. Jos siis kakun korkeus ohjaisi osaltaan säätöpiiriä, ei sen pesutulosta tai kapasiteettia voisi optimoida. Tämän vuoksi ehdotan, että kakunpaksuustutka on seurattava parametri ABB:llä edelleen.

12 SÄÄTIMEN TOIMINTAAN VAIKUTTAVIEN TEKIJÖIDEN OPTIMOINTI

Suosituksen perusteella päädyttiin rakentamaan automaattinen säätöpiiri lietetiheyden tasaamiseksi opinnäytetyöprosessin aikana. Lietetiheyden säädössä otetaan huomioon moni tekijä, mutta yksi tärkeimmistä tekijöistä oli löytää optimaalinen alue lietetiheydelle, eli lietetiheys, jossa pesutulos vesiliukoisen sinkin osalta on paras. ABB:lle asetetaan haluttu lietetiheys, jonka mukaan säädin toimii. Jos lietetiheys nousee ennalta määriteltyjen raja-arvojen yläpuolelle, käynnistyy vesipumppu automaattisesti.

Vertailumittauksissa todettiin, että yhden minuutin aikana lietetiheys automaattisen mittauksen mukaan vaihteli jopa 40 g/l. Lietetiheysmittauksen suodatusaikaa pidennettiin 2 minuuttiin, jotta vaihtelu mittauksessa vähenee. Tällöin säätö ei reagoi jokaiseen pieneen muutokseen mittauksessa, joka puolestaan vakiinnuttaa säätimen toimintaa ja säästää energiaa, kun pumppu ei käynnisty ja sammu vuorotellen pienien muutosten johdosta. Lietetiheyden ollessa vakiona halutussa arvossa, suodatustapahtumaa jarosiitin nauhasuodattimella havainnoitiin. Pesuvesimäärä ja nauhan nopeus pidettiin vakiona kokeen aikana. Koe suoritettiin NAS6, koska 1,5 m³/jarosiittitonni kakunpesuvettä -säätö toimi kyseisellä nauhasuodattimella opinnäytetyöprosessin aikana.

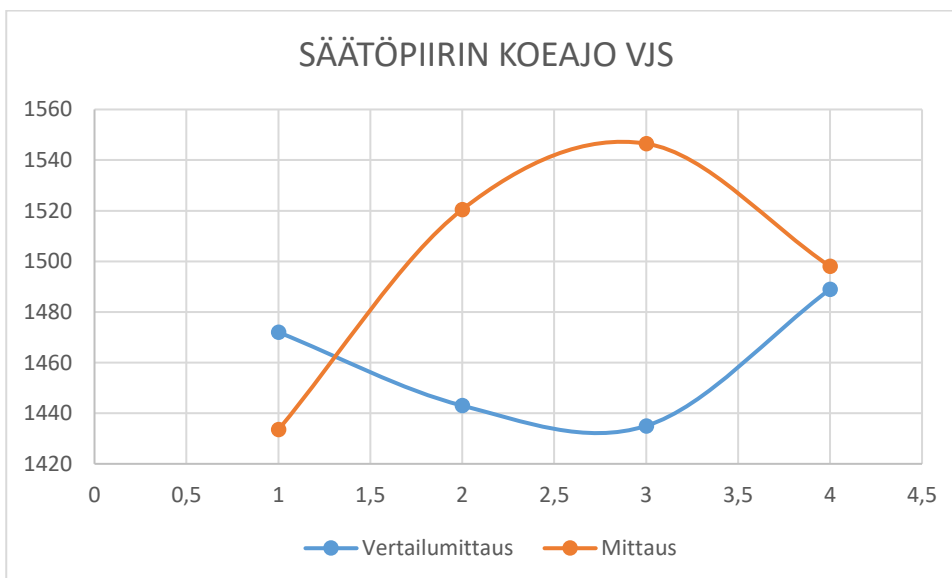
12.1 Koeajo lietetiheydelle 25.2.2022

Säätimen toimintaa tarkasteltiin koeajossa perjantaina 25.2.2022. Koeajosuunnitelma esitelty liitteessä 4/1. Koeajon aikana huomattiin nopeasti, että säätöpiiri ei toimi halutusti.

Tutkimuksen alussa suoritettiin vertailumittauksia VJS:n lietetiheydelle. Vertailumittausten tulosten mukaan tasoero oli keskimäärin 40 g/l, joka oli linjassa aiemmin tehtyjen vertailumittausten kanssa. Koeajo aloitettiin asettamalla säätöpiiriin lietetiheydeksi 1410 g/l. Tiheys lähti välittömään nousuun automaattisen mittauksen mukaan, ad. 1530 g/l. Kokeen aikana suoritettiin useita vertailumittauksia, joiden perusteella tiheys lähti VJS:ssä laskuun, kuten haluttiinkin. Koeajon aikana tasoero kasvoi sitä suuremmaksi automaattisen mittauksen ja vertailumittauksen välillä, mitä enemmän vettä VJS:ään ajettiin. Näytteitä tässä koeajossa ei otettu, koska säädin ei toiminut halutusti. Taulukossa 3 ja kuvajassa 3, joissa esitellään koeajon tulokset, klo 8.57 ja 12.52 vettä lisätään VJS:ään.

TAULUKKO 3. Koeajon säätimelle

AIKA	NÄYTE (g/l)	VAIHTELU- ALUE MIT- TAUKSESSA	KA (g/l)	ERO (g/l)
7:57	1472	1415-1452 g/l	1433,5	38,5
8:57	1443	1511-1530 g/l	1520,5	-77,5
12:52	1435	1544-1549 g/l	1546,5	-111,5
13:34	1489	1496-1500 g/l	1498	-9



KUVAAJA 3. Koeajo säätimelle

Ensimmäistä koeajoa ei voitu suorittaa loppuun, koska säädin ei toimi halutusti silloin, jos lietteen tiheys nousee korkeammaksi lietetiheysmittausdatan mukaan, kun VJS:ään lisätään vettä. Veden lisäys perjantain 25.2. koeajossa nosti mittauksen mukaan tiheyttä, joka olisi koeajon edetessä johtanut siihen, että vettä olisi ajettu ylen määrin VJS:ään eikä haluttua tiheyttä olisi saavutettu ollenkaan. Koeajon aikana huomattiin myös, että kun VJS:n pintaa nostettiin 98 % ilman veden lisäystä, ei säiliö tullut yli. Kun pinta nostettiin 98 % veden kanssa, säiliö tuli reippaasti yli. Tulokset dokumentoitiin erilliselle lomakkeelle. Tulosten perusteella myöhemmin VJS:ään vaihdettiin pinnanmittaus hydrostaattista painetta mittaavasta tutkasta pinnan korkeutta mittaavaksi tutkaksi. Pinnankorkeutta mittaava tutka pitää pinnan säiliössä vakiona, vaikka tiheys säiliössä muuttuisi.

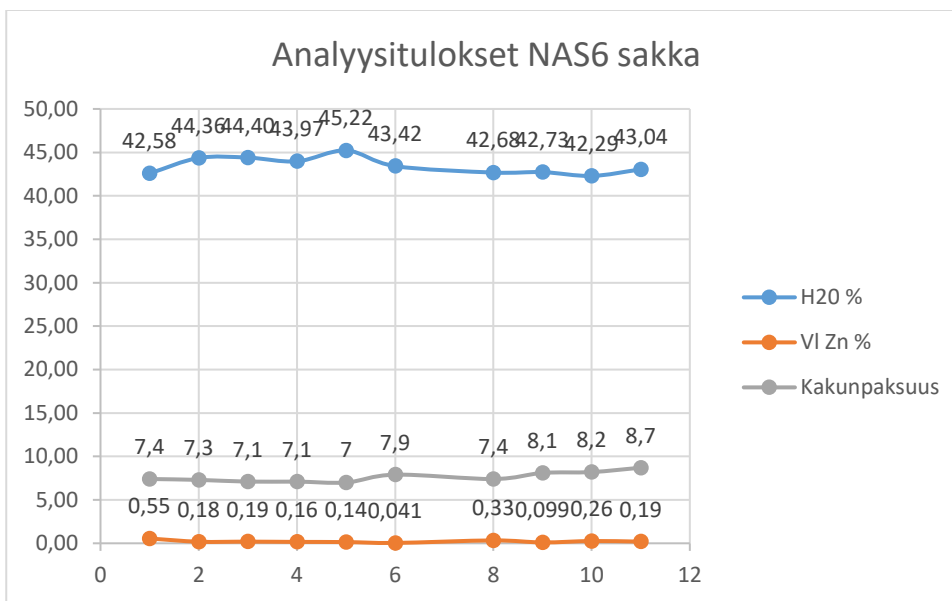
12.2 Koeajo lietetiheydelle 16.4.2022

Kun VJS:än pinnankorkeutta säätelevä tutka oli vaihdettu, suoritettiin uusi koeajo. Koeajossa hyödynnettiin suunnitelmaa, joka esitelty liitteessä 4. Kokeen alussa VJS:n pinta asetettiin 90 %. Ennen kokeen aloitusta suoritettiin vertailumittaukset, joiden tuloksien perusteella tasoeroa näytteen ja vertailumittauksen välillä enää ei ollut. NAS6 kunto tarkistettiin. Pesuvesikaukalot puhdistettiin, syöttökaukalo puhdistettiin, nauhalla olevat kumilipareet tarkastettiin ja huollettiin. Pesuvesimäärät asetettiin säädölle niin, että 1,5 m³/jarosiittitonni toteutuu. Koeajohetkellä nauhoja oli ajossa 5 kpl, mutta tarkastelu rajattiin NAS6 nauhasuodattimeen. Lietteen tiheys koeajopäivänä oli 1460 g/l. Koeajo suoritettiin 1410 g/l, 1430 g/l ja 1450 g/l. Säädin toimi halutusti. Haluttuun tiheyteen päästiin kohtalaisen nopeasti, ja lietetiheys pysyi annetussa asetusarvossa. Säätimelle asetettiin vesimääränsäädön ylärajaksi 22 m³/h. Kokeessa vettä tarvittiin virtausmittauksen mukaan 6–18 m³/h, jotta halutut lietetiheydet saavutettiin. Ensimmäisestä tiheydestä, 1410 g/l, näytteitä otettiin yhteensä 5 kpl. Kahdesta seuraavasta tiheydestä näytteitä otettiin 3 kpl/tiheys. Yksi purkki (Näyte 7, tiheydelle 1430 g/l) oli avautunut matkalla laboratorioon, eikä sitä voitu analysoida. Jokaisen tiheyden kohdalla todettiin tiheys erikseen vertailumittauksen avulla. Kakunpaksuus kirjattiin ylös näytteenoton ajanhetkeltä. Koeajon tulokset on esitelty alla taulukossa 4 ja havainnollistettu kuvaajassa 4.

TAULUKKO 4. Koeajon tulokset

LIETETI- HEYS	KELLON- AIKA	KAKUNPAK- SUUS	H ₂ O %	VI Zn %	VERTAILU- MITTAUS
1410 g/l Näyte 1	12:28	7,4	42,58	0,55	1415 g/l
1410 g/l Näyte 2	12:30	7,3	44,36	0,18	1412 g/l
1410 g/l Näyte 3	12:32	7,1	44,40	0,19	
1410 g/l Näyte 4	12:51	7,1	43,97	0,16	
1410 g/l Näyte 5	13:05	7,0	35,22	0,14	

1430 g/l Näyte 6	14:00	7,9	43,42	0,041	1432 g/l
1430 g/l Näyte 8	14:35	7,4	42,68	0,33	1435 g/l
1450 g/l Näyte 9	15:09	8,1	42,73	0,099	1460 g/l
1450 g/l Näyte 10	15:21	8,2	42,29	0,26	1455 g/l
1450 g/l Näyte 11	15:47	8,4	43,04	0,19	



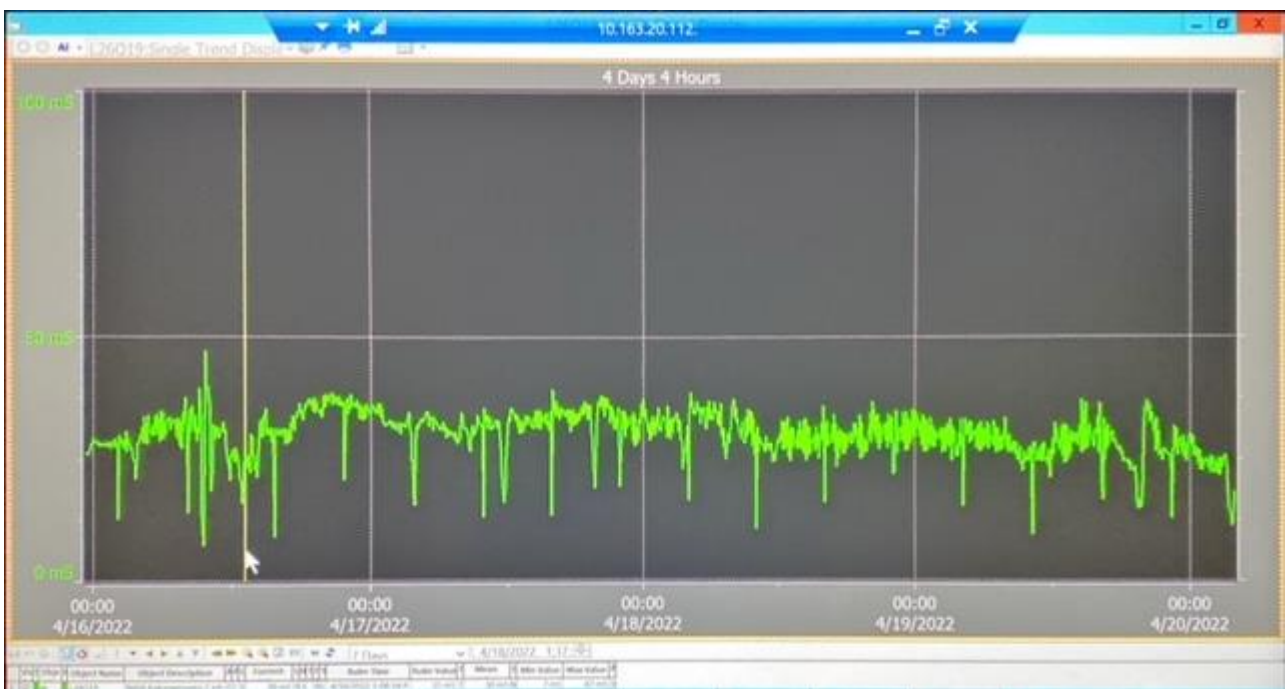
KUVAAJA 4. Koeajon tulokset

13 YHTEENVETO

Tutkimuksissa on hyödynnetty kokeellista tutkimusotetta. Koeajoissa tutkimuksiin on suoritettu useita toistoja, jotta voidaan varmistaa tutkimuksen reliiäbelius. Tutkimusten validius on otettu huomioon valitsemalla tarkasti tutkimuksiin soveltuvat menetelmät. Myös mittalaitteiden/välineiden kalibroinnit ja puhdistukset suoritettiin ennen kokeita.

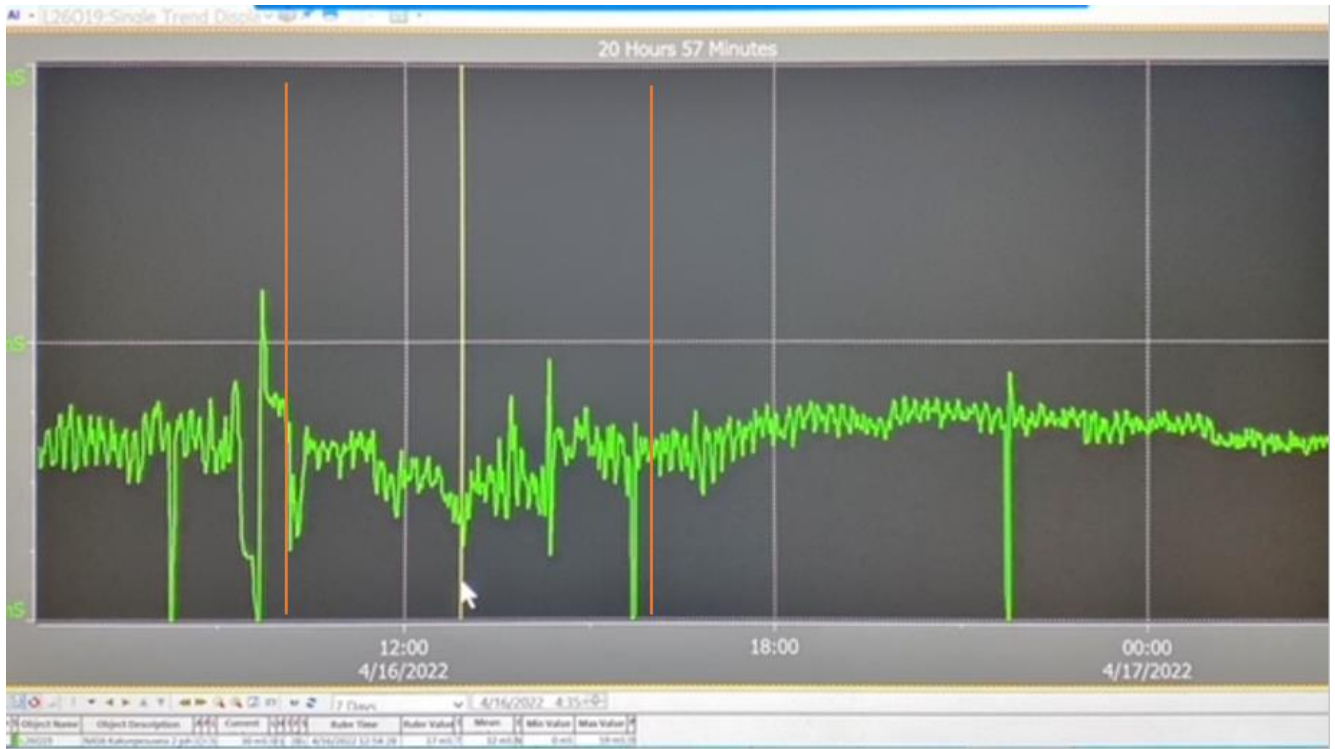
13.1 Työn kokeellisen osuuden yhteenveto

Työn alussa perehdyttiin lietetiheys- ja kakunpaksuusmittauksen toimintaan käytännössä ja teoriassa. Mittausten luotettavuus todennettiin erillisillä vertailumittauksilla. Vertailumittausten, teorian tiedon ja käytännön tarpeen mukaan luotiin suositus mittausten hyödyntämisestä jorosiitin nauhasuodattimella. Suosituksen perusteella automaattinen PID-säädin otettiin käyttöön lietetiheyden säädössä. Lietetiheydelle suoritettiin erillinen koeajo (11.2 Koeajo lietetiheydelle 16.4.2022). Kuvassa 13 ilmenee NAS6 automaattisen johtokykymittauksen dataa ennen koeajon suoritusta, sen ajalta ja koeajon jälkeen. Kurssi on asetettu kuvassa koeajon ajalle, pienimmän lukeman kohdalle. Johtokyky on sitä suurempi, mitä enemmän poistuvassa pesuvedessä on vesiliukoista sinkkiä.



KUVA 13. Johtokykymittausdata, NAS6 16.4-20.4.2022

Johtokykymittauksen perusteella koeajon aikana johtokyky oli matalampi muuhun dataan verrattuna. Kuvassa (14) tarkemmin koeajon aikainen trendi nähtävillä. Punaisella merkityn alueen sisäpuolella on suoritettu koeajot lietetiheydelle.



KUVA 14. Johtokyky kokeen aikana

Pienimmät johtokyvyn lukemat ovat ajalla 12–13, eli kun koeajoa on suoritettu lietetiheydelle 1410 g/l. Lietetiheyden koeajossa 1410 g/l tiheydellä sakka-analyysitulokset olivat: 0,55 %, 0,18 %, 0,19 %, 0,16 % ja 0,14 %. Sakkanäytteistä 1–3 on otettu peräkkäin nauhasuodattimelta, jotta nähdään näytteiden välistä hajontaa. Näytteistä 4 ja 5 on otettu 20 min kuluessa toisistaan, jotta nähdään ajan tuomaa hajontaa näytteissä. Ennen ensimmäistä näytteenottoa ei huomattu puhdistaa näytteenottokauhaa. Muiden näytteiden välissä näytekauha puhdistettiin huolellisesti.

Kakunpaksuus kyseisellä lietetiheydellä oli n. 7 mm. Vesiliukoisen sinkin määrän väheneminen sulfidointiin lähtevässä jarsiittisakassa vähentää kemikaalin kulutusta myöhäisemmissä prosessivaiheissa ja parantaa sinkin talteensaantia. Pesutulos näyttäsi parantuneen, kun lietetiheyttä säädettiin veden avulla. Pesutuloksen paraneminen osittain johtui myös kuormituksen muutoksesta. Veden lisäyksen johdosta liete oli normaalia laimeampaa. Sakeuttimien kiintoainepitoista alitetta veden lisäyksen johdosta tuli VJS:ään hieman normaalia vähemmän, joten kuormitus väheni. Koeajossa nauhasuodattimia

oli ajossa 5 kpl. Säätimen kanssa mahdollisuus olisi normaaliin alitteenottoon, jos kaikki kuusi nauhasuodatinta olisi ajossa.

Etua lietetiheysmittauksen hyödyntämisestä jarosiitin nauhasuodattimella saadaan päivittäiseen prosessiajoon ja sen optimointiin. Kiintoainekerroksen tasaantuessa jarosiitin nauhasuodattimella pesuvesimäärä on helpompi optimoida, jonka vuoksi pesutulosta saadaan parannettua, eli emäliuoksesta pestyä mahdollisimman täydellisesti vesiliukoinen sinkki. Muuttujien määrä vähenee kiintoainekerroksen tasaantuessa, eikä tilanne nauhalla muutu jatkuvasti, joka helpottaa operaattorin työtä. Silmämääräiset havainnot tukevat tuloksia (KUVAT 15 & 16).



KUVA 15. Kiintoainekerroksen vahvuus jarosiitin nauhasuodattimella säätimen kanssa



KUVA 16. Jarosiitin nauhasuodatin lietetiheyden säädön kanssa

13.2 Kehitysehdotukset jatkoon

Koska lietetiheysmittaus toimii luotettavasti vasta, kun VJS:n pinta on vähintään 85 %, olisi hyvä vaihtaa VJS:n lietetiheysmittaus alemmaksi reaktorissa, tai vaihtaa kokonaan uusi, pidempi lietetiheysmittari VJS:ään. VJS:n tiheysmittaukselle olisi hyvä tehdä vertailumittauksia säännöllisesti, jotta säätimen toimintaa voidaan jatkossakin arvioida. VJS:n sekoittajan mahdollinen pysähtyminen tulisi näkyä ABB:lla hälytyksenä. Myöskin VJS:n lämpötilan olisi hyvä tehdä hälytystä ABB:lle, mikäli sen raja-arvot ylittyvät/alittuvat. Lietetiheysmittauksen puhdistus ja kalibrointi olisi hyvä lisätä myös säännölliselle huoltolistalle. Jarosiitin nauhasuodattimella olevia kumilipareita olisi hyvä vaihtaa myöskin säännöllisin väliajoin.

LÄHTEET

ABB-järjestelmä. 2022. Yrityksen sisäinen ohjausjärjestelmä. Ei saatavilla.

Boliden Group. 2021. Boliden Kokkola. Saatavissa: <https://www.boliden.com/fi/operations/smelters/boliden-kokkola>. Viitattu 13.1.2022.

Boliden Kokkola Oy. 2021, a. Rikasteesta metalliksi- sinkintuotantoprosessi. Yrityksen sisäinen perehdytysmateriaali. Ei saatavilla.

Boliden Kokkola Oy. 2021, b. Neutraaliliuotus. Yrityksen sisäinen työohje. Ei saatavilla.

Boliden Kokkola Oy. 2022. Rikasteen liuotus. Sisäinen työohje. Ei saatavilla.

Boliden Kokkola Oy. 2021, d. Cu-, Co- ja Cd-POISTO. Yrityksen sisäinen työohje. Ei saatavilla.

Boliden Kokkola Oy. 2021, e. Jarosiitin sakeutus ja suodatus. Yrityksen sisäinen ohje. Ei saatavilla.

Endress + Hauser. Vibronic Point level detection Liquiphant FTL51C. Saatavissa: <https://www.fi.endress.com/fi/tuotteet/pintamittaus/Vibronic-Liquiphant-FTL51C?t.tabId=product-overview>. Viitattu 7.2.2022.

Halko, P., Härkönen, S., Lähteenmäki, I., Välimaa, T. 1998. Teollisuuden mittaustekniikka. Perusmittauksia. 6.-7. painos. Opetushallitus. Helsinki: Edita.

Henley E.J., Seader, J.D., Roper D. Keith. 2011. Separation Process Principles. Third Edition. Hoboken: Wiley.

Hirsijärvi, S., Remes, P., Sajavaara, O. 2007. Tutki ja kirjoita. 13.-14., osin uudistettu painos. Helsinki: Otava.

Jotuni, P., Ryti, H., Pöyhönen, O. 1981. Tekniikan käsikirja. Kahdeksas, uusittu ja lisätty painos. Jyväskylä: Gummerus.

Karjula M. 2022. Henkilökohtainen tiedonanto. Keskustelu/sähköposti. 5.1.2022 & 2.2.2022.

Kippo, A.K., Tikka, A. 2008. Automaatiotekniikan perusteet. Helsinki: Edita.

Knowpulp, 2021. Sellun valmistuksen oppimisympäristö. Miksi automatisoidaan? Saatavissa: http://www.knowpulp.com/www/suomi/automation/instrumentation/1_basics/frame.htm. Viitattu 23.3.2021.

McCabe, W.L., Smith, J.C., Harriott, P. 2005. Unit Operations of Chemical Engineering. Seventh Edition. New York: McGraw-Hill Education.

Pihkala J. 1998. Prosessitekniikan yksikköprosessit. Muuttumaton 2. painos. Helsinki: Opetushallitus.

Puskala, R. 2021. Prosessiautomaatio. Kurssimateriaali. Centria-ammattikorkeakoulu.

Rahikka, L. 2018. Mekaaniset prosessit. Kurssimateriaali. Centria-ammattikorkeakoulu.

Rushton A., Ward, A.S., Holdich, R.G. 2000. Solid-Liquid Filtration and Separation Technology. Second, Completely Revised Edition. New York: WILEY-VCH.

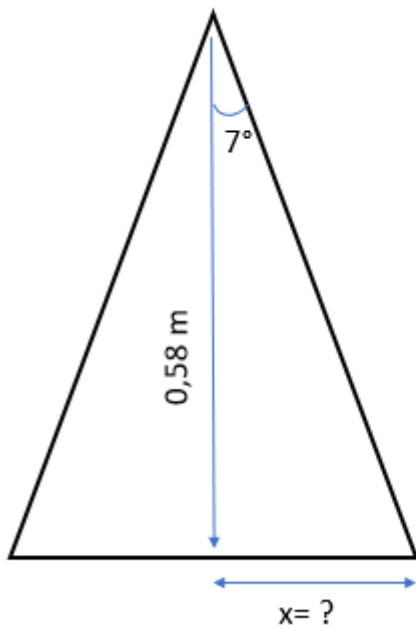
Savolainen, S., Vaittinen, R. 2003. Sääntötekniikan perusteet. Viides tarkistettu painos. Helsinki: Opetushallitus.

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

Vega. Vegapuls 64. Saatavissa: <https://www.vega.com/en/products/product-catalog/level/radar/vegapuls-64>. Viitattu 7.2.2022.

Wakeman, R.J., Tarleton, E.S. 1999. FILTRATION: Equipment Selection, Modelling and Process Simulation. First Edition. Oxford: Elsevier Advanced Technology.

Wakeman, R.J., Tarleton, E.S. 2005. Solid-Liquid Separation: Principles of Industrial Filtration. First Edition. Oxford: Elsevier Advanced Technology.



1. Lasketaan vastaisen kateetin pituus.

$$\text{TAN } 7^\circ = x/0,58 \text{ m} \quad | \cdot 0,58$$

$$x = \text{TAN}(7) \cdot 0,58 \text{ m}$$

$$x = 0,064 \text{ m} \approx 6,4 \text{ cm}$$

2. Lasketaan ympyrän pinta-ala A, kaavalla πr^2

$$A = \pi \cdot 0,064^2$$

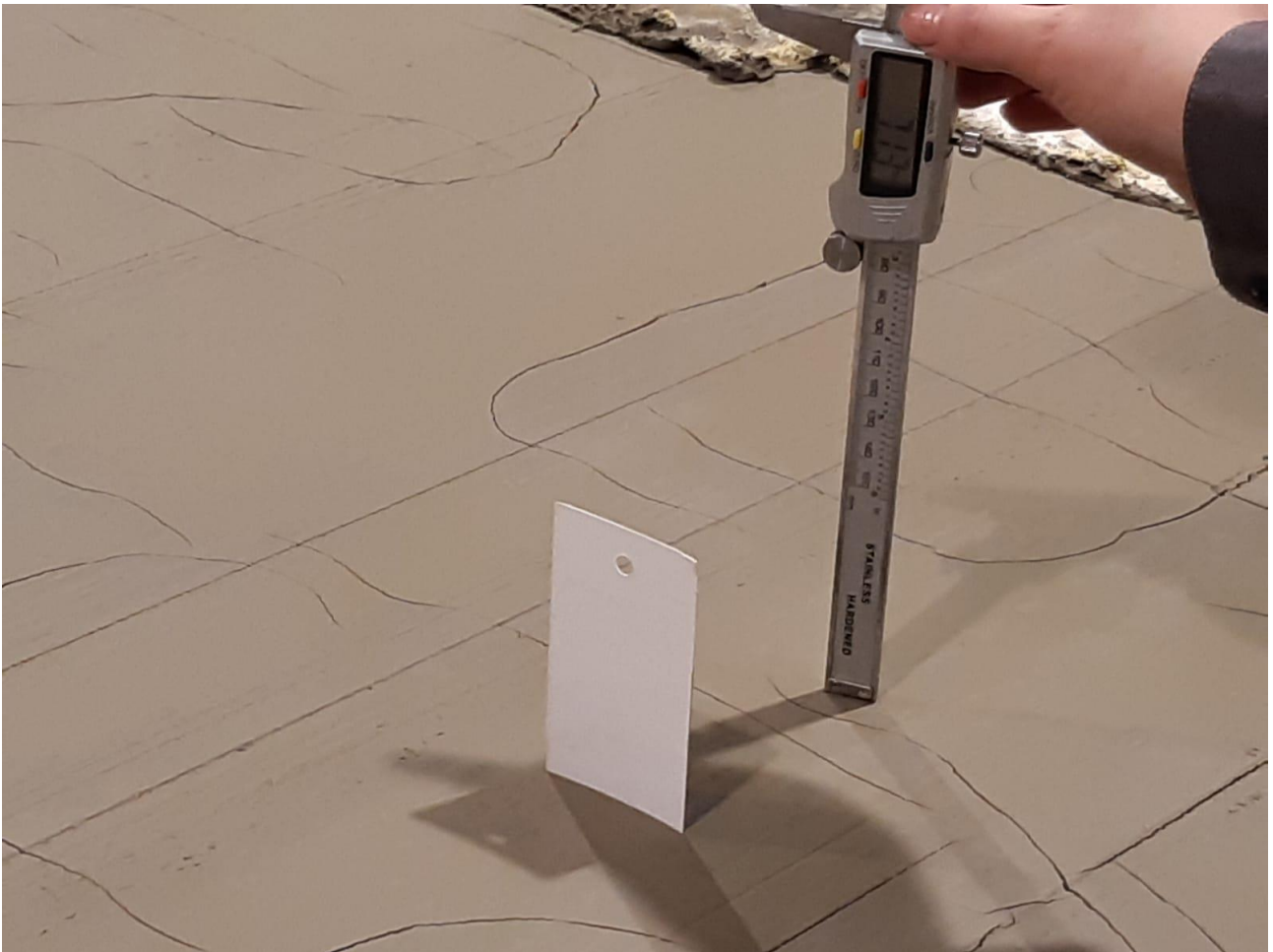
$$A = 0,01287 \text{ m}^2 \approx 128,7 \text{ cm}^2$$

VERTAILUMITTAUKSET TIHEYS- JA KAKUNPAKSUUSMITTAUKSELLE

TYÖN TARKOITUS: Työn tarkoituksena on selvittää, vastaako VJS:n tiheysmittaus ja NAS6 kakunpaksuustutka mitattuja tuloksia. Mittaukset pyritään tekemään niin, että mittavirheen mahdollisuus jää mahdollisimman pieneksi.

TYÖN SUORITUS, TIHEYS: Kunnossapito kalibroi ja puhdistaa VJS:n tiheysmittarin edeltävästi. Myös NAS6 kakunpaksuustutka tarkistetaan. Tämän jälkeen työn suorittaja aloittaa työn tarkistuspuunnitsemalla vaa'an siihen tarkoitettulla punnuksella. Työvälineet kerätään valmiiksi. Työvälineet on vaa'an lisäksi 100 ml mittalasi ja ½ l näyteastia. Kun välineet ovat valmiina, kirjataan ylös VJS:n lämpötila ja täyttöprosentti (nostetaan ad 85 % jos ei jo ole). Tarkistetaan, että oma kello on samassa ajassa ABB:n kellon kanssa. Haetaan ensimmäinen näyte niin, että päästetään VJS:n pumpun imupuolen venttiilistä lietettä lattialle niin kauan, että liete tulee suoraan säiliöstä. Sen jälkeen näyteastia täytetään huomioiden turvallinen työkäyttäytyminen. Täyttökohdasta kirjataan ylös. Näyte ripeästi puhdistamon käyttölaboratorioon, jotta lämpötila ei kerkeä laskea. Näytettä sekoitetaan sekoitusohjeen mukaisesti ja kaadetaan 100 ml mittalasiin. Paino kirjoitetaan ylös. Mittauspöytäkirjaan kirjoitetaan kellonaika, punnitustulos, VJS:n tiheysmittauksen tulos ja punnitustuloksen ja mittauksen erotus. Puolen litran astia valitaan, jotta näyte ei ehdi jäähtyä ennen punnitusta. Mittaus toistetaan ja lopuksi jäljet siivotaan.

TYÖN SUORITUS, KAKUNPAKSUUS: Kakunpaksuutta ei ole aikaisemmin mitattu käsin. Vertailumittauksille nähtiin tarve, joten työn suorittaja mittaa työntömitalla ja mittapaperilla NAS6 kakunpaksuutta. Kakunpaksuus mitataan niin, että työn suorittaja on NAS6 nauhan vieressä. Apuna on vuorossa oleva suodattaja. Työn suorittaja pyytää radiopuhelimen kautta suodattajaa pysäyttämään nauhan. Kun nauha pysähtynyt, suodattaja kirjaa kakun paksuuden ja pysäytysajankohdan ABB:ltä ylös. Työn suorittaja ottaa samaan aikaan nauhalta välittömästi pysäytyksen jälkeen tutkan alta työntömitalla ja mittapaperilla kakunpaksuuden. Tutkan mitta-alue huomioidaan, joka noin 7astetta. Vertailumittauksia toistetaan.





KOEAJO VJS:N LIETETIHEYDEN SÄÄDÖN KANSSA

Säätöpiiri luotiin opinnäytetyöprosessin aikana VJS:n lietetiheydelle Bolidenin automaatioinsinöörin toimesta. Lietetiheyttä säädellään V2 veden avulla. Jos lietetiheys nousee ennalta asetetun arvon yläpuolelle, käynnistyy V2 pumppu ja säätää tiheyttä takaisin haluttuun lietetiheyteen. Syötteen lietetiheys on pääasiallisesti n. 1430 g/l. Veden tiheys on n. 998 g/l. VJS:n lietetiheysmittaus säätää ohjauspiiriä mittaustulosten perusteella. Säädön tarkoituksena oli vakiinnuttaa haluttuun tiheyteen lietetiheys VJS:ssä. Koeajon tarkoituksena oli löytää optimaalinen alue lietetiheydelle, jossa suodatuksen pääasialliset tavoitteet toteutuvat parhaiten analyysien ja silmämääräisten havaintojen perusteella. Koeajossa tarkoituksena oli tutkia säätöpiirin toimintaa käytännössä. Koeajoon valittavat lietetiheydet määriteltiin VJS:n lietetiheysmittausdatan perusteella. Mittausdatan perusteella valittiin kolme lietetiheyttä, jotka edeltävien laskelmien perusteella ovat mahdollisia vesisäädöllä toteuttaa.

Koeajot kolmelle lietetiheydelle suoritetaan erikseen. Jokaisesta koeajosta otetaan sakkanäytteitä, joista analysoidaan vI Zn ja H_2O . Näytteet otetaan niin, että kun ensimmäinen lietetiheys on säädössä, otetaan perättäisiä näytteitä kolme nauhalta, jotta voidaan määrittellä näytteiden välistä hajontaa. Tämän jälkeen otetaan n. 20 min kuluttua seuraava näyte samalta lietetiheydeltä, jotta voidaan arvioida ajan tuomaa hajontaa näytteissä. Tämän jälkeen vielä otetaan yksi sakkanäyte noin 20 minuutin kuluttua ensimmäiseltä lietetiheydeltä. Jokaiselta valitulta lietetiheydeltä otetaan vähintään kolme näytettä n. 20 min välein jarsiitin nauhasuodattimelta. Tuloksia käsitellään, arvioidaan ja niistä etsitään optimaalisin alue lietetiheydelle. Tuloksia arvioidaan lisäksi silmämääräisten havaintojen perusteella.