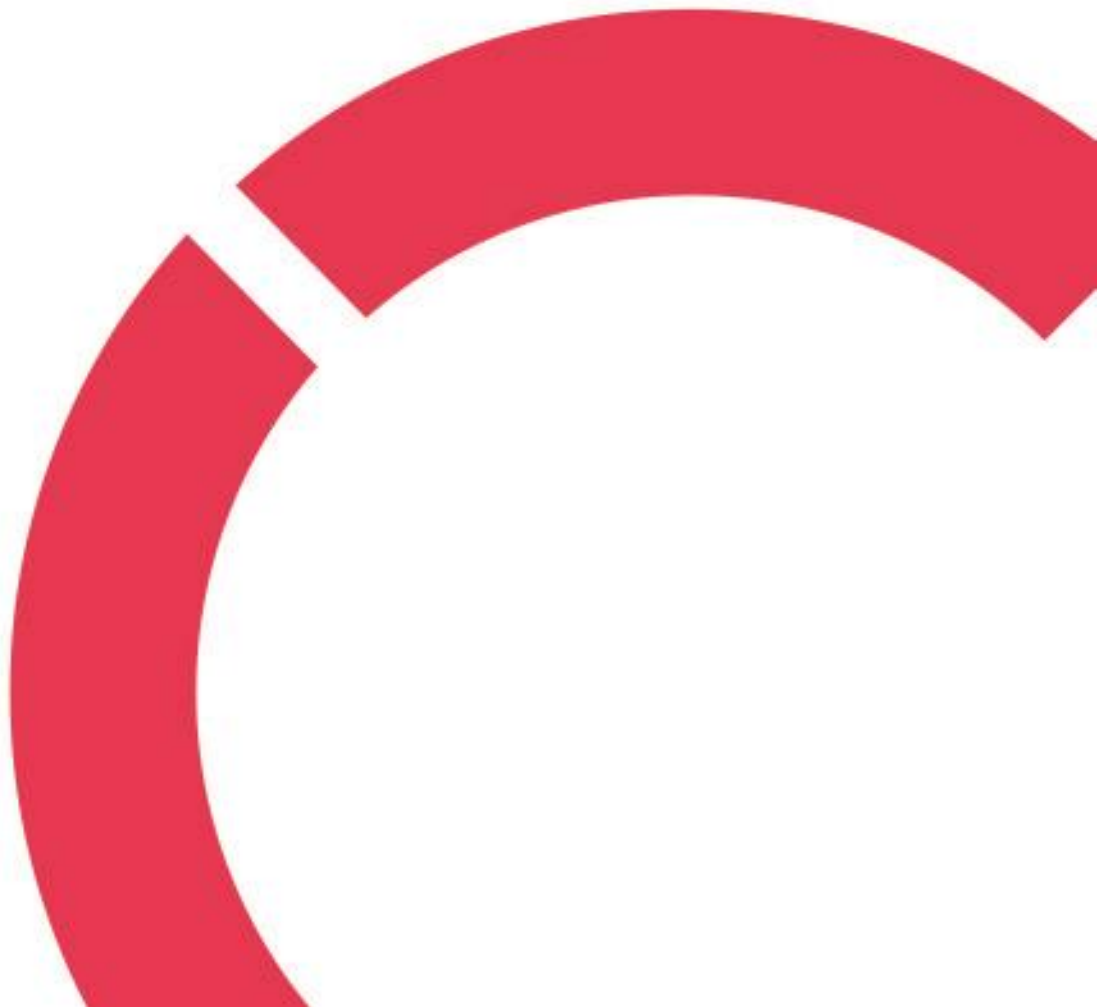


Tobias Tuomisalo

LER-TIIVISTEVEDEN KEHITYS

**Opinnäytetyö
CENTRIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Konetekniikan koulutus
Toukokuu 2024**



TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Centria-ammattikorkeakoulu	Aika Toukokuu 2024	Tekijä/tekijät Tobias Tuomisalo
Koulutus Insinööri (AMK), Konetekniikka	<input checked="" type="checkbox"/> AMK <input type="checkbox"/> YAMK	
Työn nimi LERTIIVISTEVEDEN KEHITYS		
Työn ohjaaja Ilkka Rasehorn	Sivumäärä 31	
Työelämäohjaaja Jani Koistila		
<p>Tässä opinnäytetyössä tehtiin Boliden Kokkola oy:n puhdistamo-osastolle tutkimus- ja kehitystyö, jossa tutkittiin leijupatjareaktorin pohjasekoittajan tiivisteiden ennenaikaista rikkoutumista. Tiivisteissä virtaa tiivistevesi, joka on mahdollinen syyllinen rikkoontumiselle. Tavoitteena oli tutkia ja selvittää mahdollisia kehityskohteita tiivistevedelle.</p> <p>Opinnäytetyössä perehdyttiin Boliden Kokkola Oy:n toimintaan ja tuotantoprosesseihin eri osastoilla. Leijupatjareaktorit sijaitsevat puhdistamo-osastolla, jossa erotetaan sinkkisulfaattiliuoksesta kadmium. Leijupatjareaktoreiden sekoittajat joudutaan aina huoltamaan perusteellisesti jokaisen tiivisteiden rikkoutumisen jälkeen ja huoltokustannukset ovat huomattavat.</p> <p>Tutkimuksessa käytettiin mittareita, jotka tarkkailivat tiivistevesilinjan paineen vaihtelua. Mittausten jälkeen analysoitiin tuloksia, joista ilmeni, ettei paineen vaihtelua havaittu kyseisellä mittausten aikavälillä. Kuitenkin aikaisemmin oli havaittu paineiden tippumista. Tästä voidaan päätellä, että paineen laskeminen vaikuttaa tiivisteiden toimintaan, mikä voi johtaa niiden vaurioitumiseen. Jos kehityskohteista jokin onnistuisi pidentämään tiivisteiden käyttöikä, niin kustannussäästöt olisivat merkittäviä pitkällä aikavälillä.</p>		
Asiasanat Ennakkohoolto, kunnossapito, leijupatjareaktori, tiivistevesi		

ABSTRACT

Centria University of Applied Sciences	Date May 2024	Author Tobias Tuomisalo
Degree programme Mechanical Engineering		
Name of thesis LER CONCENTRATE WATER DEVELOPMENT		
Centria supervisor Ilkka Rasehorn	Pages 31	
Instructor representing commissioning institution or company Jani Koistila		
<p>In this thesis, a research and development project was conducted for Boliden Kokkola Oy's purification department, focusing on investigating the premature failure of the sealings of a fluidized bed reactor's bottom agitator. The sealings carry sealing water, which is a potential cause for their failure. The aim was to examine and identify potential areas for improvement regarding the sealing water.</p> <p>The thesis provided an overview of Boliden Kokkola Oy's operations and production processes in various departments. Fluidized bed reactors are in the purification department, where cadmium is separated from zinc sulphate solution. The agitators of fluidized bed reactors always require thorough maintenance after each seal failure, incurring significant maintenance costs.</p> <p>The research utilized meters to monitor the pressure fluctuations in the sealing water line. After the measurements, the results were analyzed, revealing no pressure fluctuations during the measurement period. However, previous observations had indicated pressure drops. It can be inferred that pressure drops affect the operation of the seals, potentially leading to their damage. If any of the identified areas for improvement succeeded in extending the seal's lifespan, significant cost savings could be achieved in the long run.</p>		
Key words Fluidized bed reactor, maintenance, preventive maintenance, seal water		

KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY

Alite

Alite on prosessissa säiliöiden/reaktoreiden alaosaan kertyvää prosessiainetta, joka poistetaan säiliön/reaktorin alapäästä.

Adsorbentti

Adsorbentti on aine, joka adsorboi muita aineita pinnalleen. Kyseisessä prosessissa sinkkipatja toimii adsorbenttina ja se kerää pinnalleen kadmiumia.

Ehkäisevä kunnossapito

Ehkäisevällä kunnossapidolla on tarkoituksena ennaltaehkäistä vikoja, jotta prosessi ja tuotannon laitteiden käyttöaste säilyisi korkealla.

Kami

Kamilla tarkoitetaan jähmettynyttä prosessisakkaa, jota on kertynyt säiliön/putkiston seinämille.

Kunnossapito

Kunnossapidon tehtävänä on huoltaa, korjata, valvoa ja tehdä tarvittavia muutoksia koneisiin/laitteisiin, jotta tuotanto pyörii ja laitevaurioista koituisi minimaaliset haitat ja tappiot.

Kunnonvalvonta

Kunnonvalvonta sisältää mittauksia ja tarkastelua laitteissa, jotta voidaan reagoida mahdollisimman nopeasti, jos huomataan kulumista tai vaurioitumista koneissa.

LER

Leijupatjareaktori, jota käytetään kadmiumin sakeuttamiseen sinkkipatjan avulla.

Ylite

Ylite on prosessissa säiliöiden/reaktoreiden yläosaan kertyvää prosessiainetta, joka poistetaan säiliön/reaktorin yläpäästä.

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
2 BOLIDEN KOKKOLA OY:N ESITTELY	2
2.1 Pasutto	3
2.2 Rikkihappo	4
2.3 Puhdistamo	5
2.4 Elektrolyysi	6
2.5 Valimo	7
3 LEIJUPATJAREAKTORI	8
3.1 Prosessikuvaus	8
3.2 Reaktori rakenne	12
3.3 Mekaaninen tiiviste	15
3.4 Sekoittajan huolto	18
3.5 Ennakkohuolto	22
4 TUTKIMUSKOHDDE	23
4.1 Mittaukset	27
4.2 Kehitysideat	29
5 POHDINTA	30
LÄHTEET	32
KAAVAT	
KAAVA 1. Pasutuksen kemiallinen reaktio	3
KAAVA 2. Rikkihappo prosessin kemiallinen reaktio	4
KAAVA 3. Rikkihappo prosessin kemiallinen reaktio	4
KAAVA 4. Liuotuksessa tapahtuva kemiallinen reaktio	5
KAAVA 5. Sinkin saostuminen katodilla	6
KAAVA 6. Anodilla tapahtuva reaktio	6
KAAVA 7. Liuoksessa tapahtuva reaktio	6
KAAVA 8. Liuoksessa tapahtuva reaktio	6
KUVAT	
KUVA 1. Boliden Kokkola oy ilmakehän kuva	2
KUVA 2. Pasutusprosessin vaiheet	3
KUVA 3. Rikkihappoprosessin vaiheet	4
KUVA 4. Puhdistamon prosessin vaiheet	5
KUVA 5. Elektrolyysin prosessin vaiheet	6
KUVA 6. Valimon prosessin vaiheet	7
KUVA 7. LER reaktorit	9
KUVA 8. Varastosäiliö VS9 ja hydrosyklonit	10
KUVA 9. Hydrosykloni	11
KUVA 10. Ler reaktorin pohjakartio ja sekoittaja paikoillaan	13
KUVA 11. LER reaktori säiliö	14

KUVA 12. LER reaktorin kansi.....	15
KUVA 13. Mekaaninen tiiviste.....	16
KUVA 14. Tiivisteiden leikkauskuva.....	16
KUVA 15. Spiraltrac estämässä partikkeleita pääsemästä tiivisteeseen.....	18
KUVA 16. Tiiviste ilman spiraltracia.....	18
KUVA 17. Työtilaus rikkoontuneesta tiivisteestä.....	19
KUVA 18. Reaktorista irroitettu sekoittaja.....	21
KUVA 19. Huollossa oleva sekoittaja.....	22
KUVA 20. Huollossa oleva sekoittaja.....	22
KUVA 21. Ennakkohuolto työtilaus.....	23
KUVA 22. Poksivesivartija.....	25
KUVA 23. Spiraltrac virtausmittari.....	26
KUVA 24. Laskukaava putkilinjasta.....	27
KUVA 25. Tiivisteveden jakotukki.....	28
KUVA 26. Jakotukkiin liitetty painemittari.....	29
KUVA 27. Mittauspöytäkirja.....	30

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tutkia Boliden Kokkola Oy:n puhdistamo osastolla sijaitseviin LER-pohjasekoittajien tiivistevesiongelmiin. Työn tarkoituksena oli selvittää mahdolliset ongelmat tiivistevesissä ja esittää mahdollisia kehityskohteita.

Opinnäytetyön alussa tutustutaan Boliden Kokkola Oy:n tehtaan toimintaan ja sen tuotantoon eri osastoilla pääpiirteittäin. Seuraavaksi perehdyttiin tarkemmin ongelmaan, joka sijaitti puhdistamo-osastolla CD-hallissa, missä leijupatjareaktorit eli LER:t sijaitsevat. Reaktoreiden pohjasekoittajan tiivisteissä on ongelmana niiden kesto, kun tiivisteiden käyttöikä pitäisi olla arviolta 6 kk ja todellinen käyttöikä vaihtelee yhdestä viikosta noin kuukauteen. Mikä tämän aiheuttaa? Riittävätkö tiivisteveden määrä ja paine ylläpitämään kaikkien sekoittajien tiivisteitä? Näitä asioita opinnäytetyössä tarkastellaan ja keksitään kehityskohteita.

2 BOLIDEN KOKKOLA OY:N ESITTELY

Boliden Kokkola Oy, Euroopan toiseksi suurin sinkintuottaja, aloitti toimintansa vuonna 1969, kunnes se siirtyi Outokummun omistukseen. Vuonna 2004 Boliden-konserni osti Kokkolan toimipisteen itselleen (KUVA 1). Lisäksi vuonna 2010 Boliden osti Kemiralta rikkihappotehtaan, joka sijaitsee lähellä sinkkitehdasta. Vuodesta 2014 lähtien tuotantoprosessissa on otettu talteen hopeaa sinkkirikasteesta. (Boliden Kokkola Oy.)

Yritys työllistää noin 560 ammattilaista eri aloilta. Liiketulos oli noin 1,4 miljardia Ruotsin kruunua, mikä vastaa noin 123 miljoonaa euroa vuonna 2022. Vuonna 2022 tuotantolaitos tuotti 294 000 tonnia sinkkiä ja 322 000 tonnia rikkihappoa. Boliden Kokkola Oy korostaa arvoissaan vastuullisuutta, joka on ollut keskeinen osa tehtaan toimintaa vuosikymmenien ajan. Tämä vastuullinen toimintatapa on luonut vahvat edellytykset tehtaan jatkuvaa kehittymistä varten. (Boliden Kokkola Oy.)

Vuonna 2024 Boliden konserni täyttää 100-vuotta. Juhlaa vietetään eri tapahtumien ja tempauksien merkeissä Bolidenin eri yksiköissä.



Kuva 1 Boliden Kokkola Oy:n ilmakekuva (Boliden Kokkola Oy. 2023)

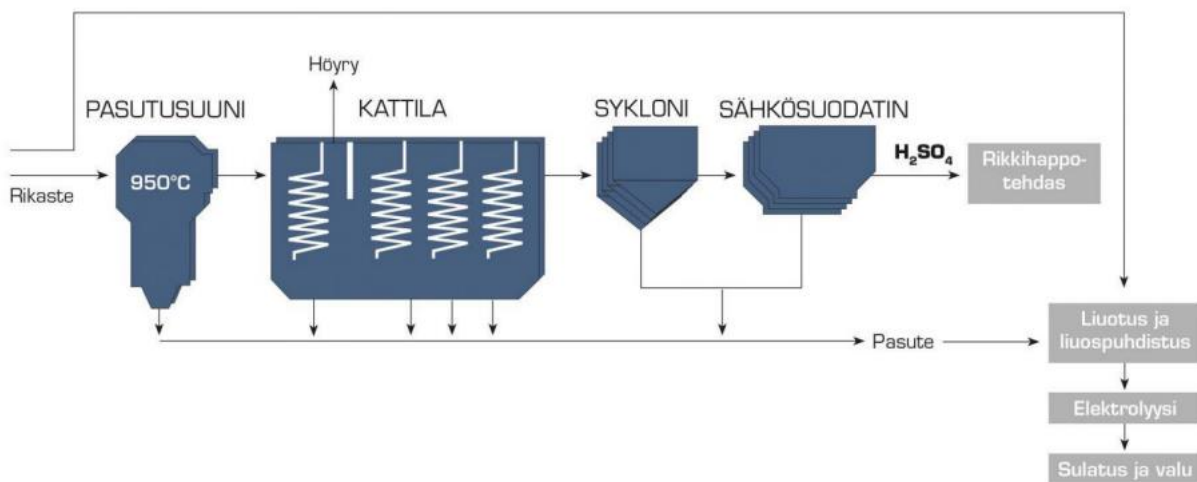
Boliden Kokkola Oy:n ilmakekuvassa on numeroituna seuraavat paikat:

1. Laboratorio
2. Huoltola/HR-rakennus
3. Teräsvarasto
4. Korjaamo/varasto
5. Elektrolyysin osasto
6. Valimon osasto
7. Puhdistamon osasto
8. Pasuton osasto
9. Rikkihappotehtaan osasto

2.1 Pasutto

Boliden Kokkolan tuotantoprosessi käynnistyy pasutuksella, jossa sinkkirikaste käy läpi esikäsitteilyn ennen kuin se on valmis liuotukseen. Pasutus toteutetaan kahdella lähes identtisellä tuotantolinjalla, joiden on tarkoitus muokata sinkkirikastetta eli sinkkisulfidia siten, että se muuttuu helpommin liukenevaksi sinkkioksidiksi (KUVA 2). Tämä prosessi tapahtuu massiivisten leijupetiunien avulla, joiden lämpötila on noin 950 astetta. Pasutuksen sivutuotteena syntyvä rikkidioksidikaasu jäähdytetään ja siitä otetaan talteen lämpö höyryn muodossa, ja se ohjataan voimalaitokselle energiantuotantoa varten. Jäähdytetty rikkidioksidikaasu suunnataan putkien kautta rikkihappotehtaalle, jossa siitä valmistetaan rikkihappoa. (Boliden Kokkola Oy.)

Pasutus



Kuva 2 Pasutusprosessin vaiheet (Boliden Kokkola Oy)

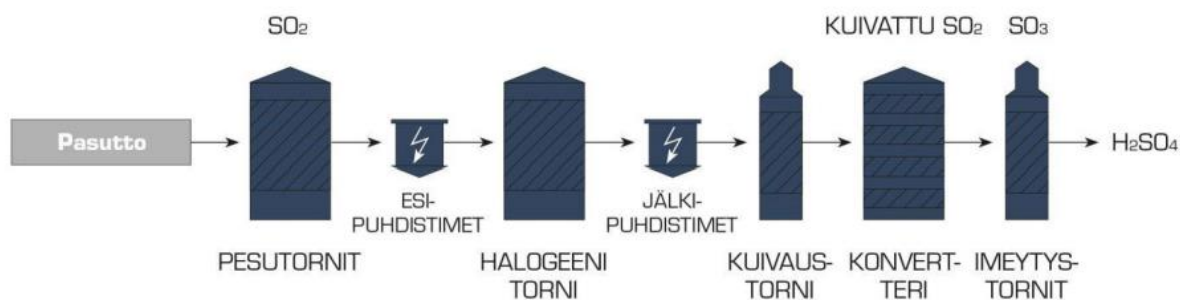
Pasutuksessa tapahtuu kemiallinen reaktio, joka esitetään kaavassa 1, missä sinkkisulfaatti palaa muodostaen sinkkioksidia ja rikkidioksidia.



2.2 Rikkihappo

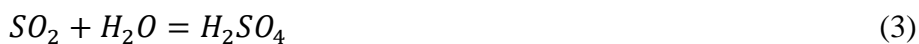
Pasutolla tapahtuvasta prosessista syntyy rikkidioksidikaasua, joka otetaan talteen ja ohjataan rikkihappotehtaalle linjaa pitkin. Happotehtaalla rikkidioksidikaasu hapotetaan konverterissa rikkiatrioksidiksi. Rikkiatrioksidi ajetaan imeytystorniin, jossa kaasu imeytetään väkevään rikkihappoon, joka kiertää tornissa. Tässä yhteydessä rikkiatrioksidi reagoi vettä sisältävän väkevän rikkihapon kanssa tuottaen lisää rikkihappoa (KUVA 3). Prosessista muodostunut lämpöenergia otetaan talteen kaukolämpönä. Kokkolan tehdasalueella käytetään rikkihappoa useissa eri tuotannoissa, joten rikkihappotehtaan tuotantoa myydään muille tehtaille myös. (Boliden Kokkola Oy.)

Rikkihapon tuotanto



Kuva 3 Rikkihappoprosessin vaiheet (Boliden Kokkola Oy)

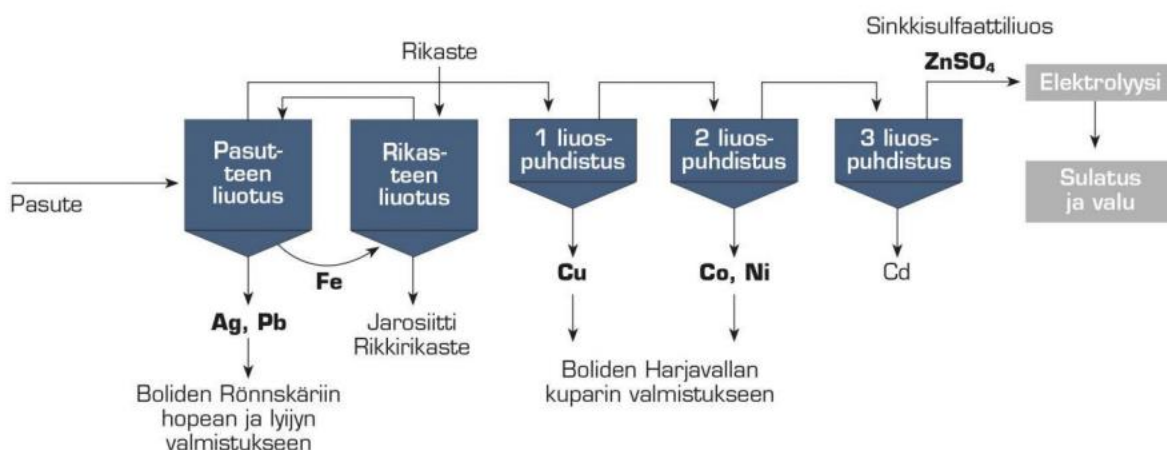
Rikkihappotehtaan prosessissa tapahtuvat kemialliset reaktiot on esitetty kaavoissa 2 ja 3.



2.3 Puhdistamo

Tuotannon seuraava vaihe on pasutteen liuotus ja liuospuhdistus. Pasutolta tulee kuljetinta pitkin esikäsitelty pasute, joka liuotetaan rikkihappoliuokseen yhdessä suoraliuotukseen syötetyn sinkkirikasteen kanssa. Paluuhapoksi kutsuttu rikkihappoliuos palautuu elektrolyysin liuoskierrosta. Paluuhapon vaikutuksesta sinkki liukenee sinkkisulfaatiksi, josta poistetaan puhdistamalla hopea, lyijy, rauta, kupari, koboltti, nikkeli ja kadmium. Erotetut aineet jatkojalostetaan Bolidenin konsernin muilla toimipaikoilla lukuun ottamatta rautaa ja kadmiumia. Pasutettaessa syntyvä pasute ja suoraliuotusmenetelmällä käsiteltävä rikaste liuotetaan rikkihappoliuoksessa, jota saadaan elektrolyysistä niin sanottuna paluuhappona. Rauta saostetaan ja suodatetaan pois prosessista jarosiittina. Liuotuksessa syntyy sinkkisulfaattiliuosta, josta hopea saadaan talteen. Liuotuksen jälkeen sinkkisulfaattiliuoksessa on pieniä määriä sinkin mukana liuenneita epäpuhtauksia, jotka täytyy poistaa ennen elektrolyysiä kolmivaiheisella prosessilla (KUVA 4). Puhdistuksen kolmannen vaiheen jälkeen sinkkisulfaattiliuos sisältää noin 155 g/l sinkkiä. Liuospuhdistuksen jälkeen puhdas liuos jäädytetään ja pumpataan elektrolyysiin. (Boliden Kokkola Oy.)

Liuotus ja liuospuhdistus



Kuva 4 Puhdistamon prosessin vaiheet (Boliden Kokkola Oy)

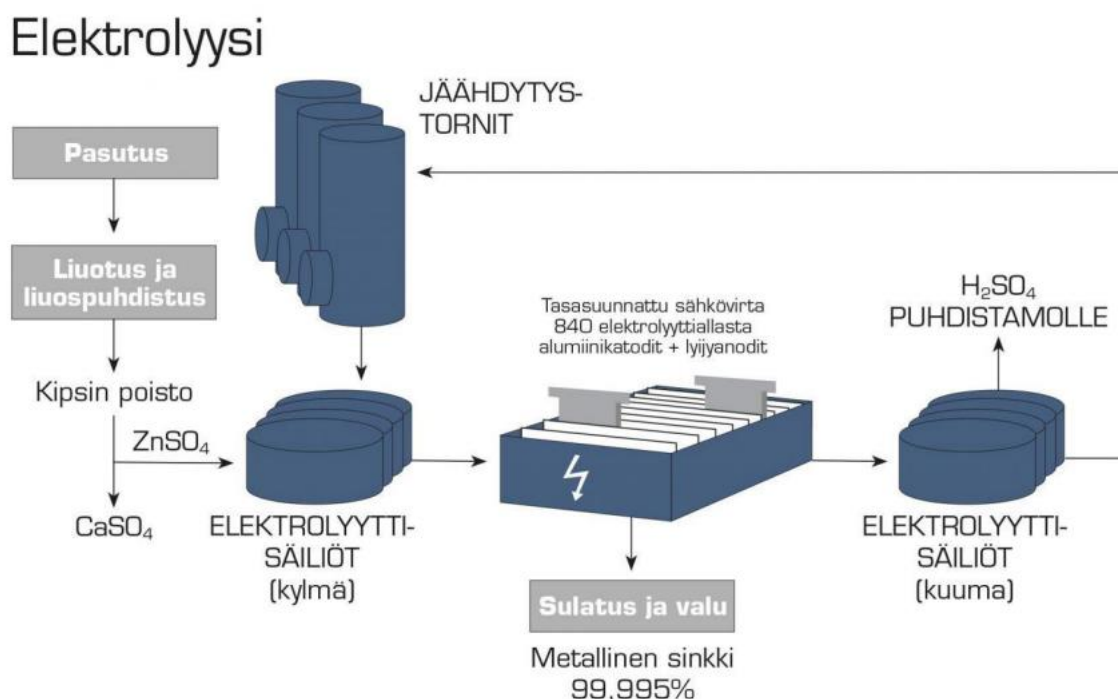
Liuotuksessa tapahtuva kemiallinen reaktio, jossa sinkkidioksidi liuotetaan rikkihappoon, esitetään kaavassa 4.



2.4 Elektrolyysi

Elektrolyysin osastolla tapahtuu sinkin saostuminen saostusaltaissa. Elektrolyysillä on yhteensä 840 allasta. Sinkkisulfaattiliuos pumpataan altaisiin, joissa on 44 alumiinista katodia ja 45 lyijyanodia. Altaisiin syötetään sähkövirtaa, joka mahdollistaa sähkökemiallisen reaktion, jossa sinkki saostuu katodin pinnalle. Saostuminen kestää 35 tuntia, jonka jälkeen katodilevyt nostetaan puolipukkinostimen avulla irrotuskoneelle, joka poistaa katodilevyn pintaan kasvaneen sinkin (KUVA 5).

(Boliden Kokkola Oy.)

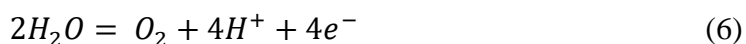


Kuva 5 Elektrolyysin prosessin vaiheet (Boliden Kokkola Oy)

Sinkin saostuminen katodilla kaava 5.



Anodilla tapahtuva reaktio kaava 6.



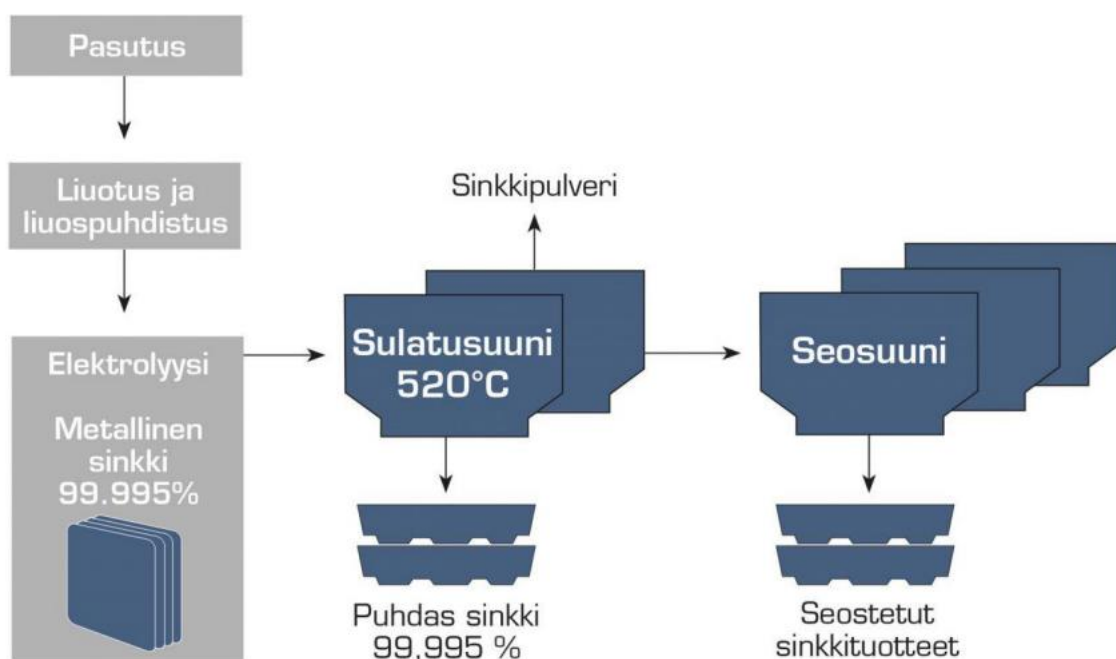
Liouksessa tapahtuvat reaktiot kaavoissa 7 ja 8.



2.5 Valimo

Valimon prosessi alkaa siitä, kun elektrolyysiltä saapuu sinkkilevyjä ja niitä aletaan sulattamaan valimon induktiouuneissa noin 450–500 asteessa. Sinkkisula valetaan asiakkaan tilausta vastaaviin tuotteisiin, joita ovat 25 kilon harkot tai 1400–4000 kilon jumbot. Tuotteet valetaan joko 99.995 % puhtaaksi sinkiksi tai asiakkaan tilauksen mukaisesti seostuotteiksi. Valmiit tuotteet toimitetaan satamassa sijaitsevalle tuotetoimistolle, josta sinkkiharkot ja -jumbot lähetetään maailmalle laivalla. Boliden Kokkolasta lähtee 52 laivaa vuoden aikana eli 1 laiva per viikko (KUVA 6). (Boliden Kokkola Oy.)

Sulatus, seostus ja valu



Kuva 6 Valimon prosessin vaiheet (Boliden Kokkola Oy)

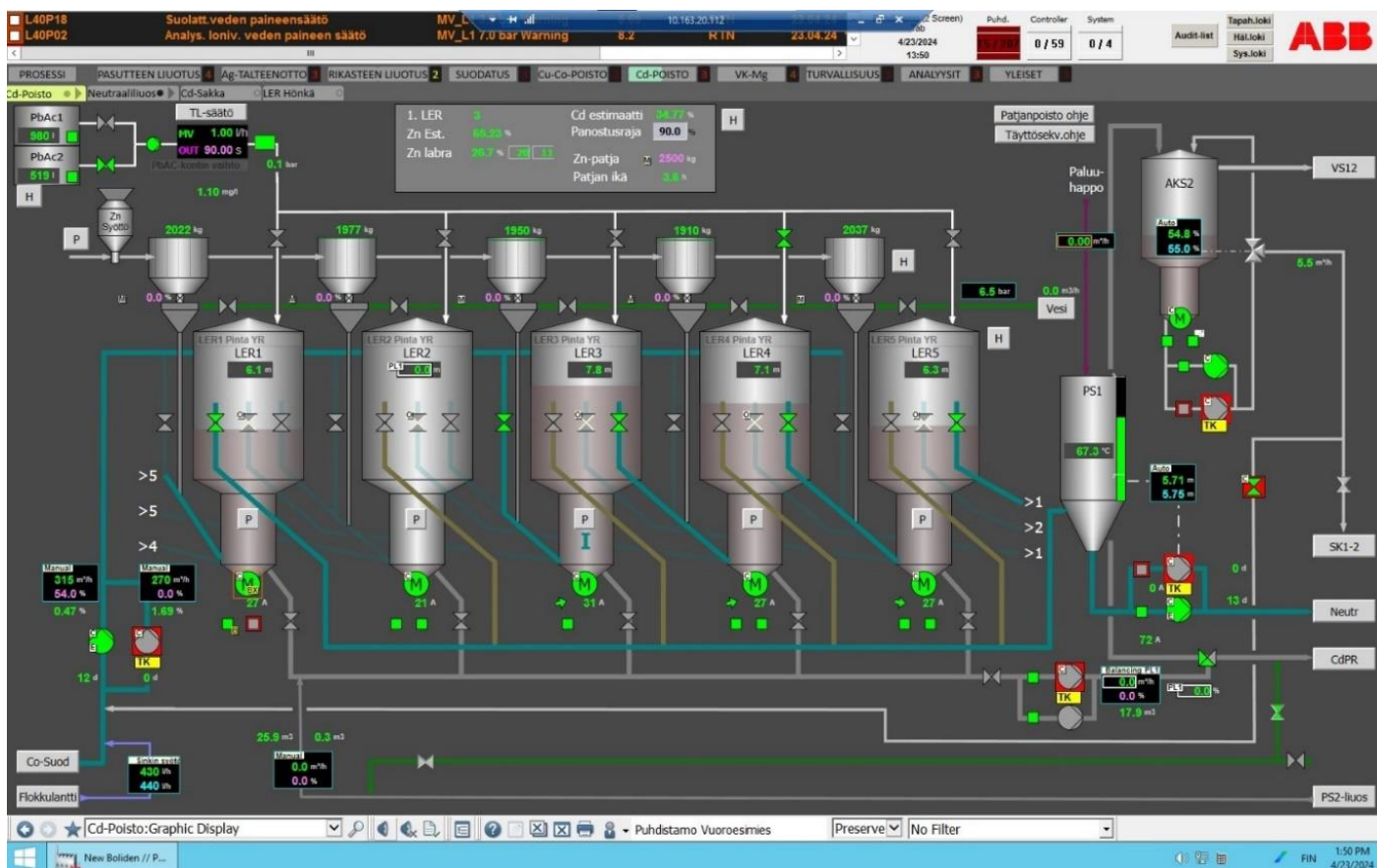
3 LEIJUPATJAREAKTORI

Leijupatjareaktori on laite, joka käyttää leijupetitekniikkaa kemiallisten reaktioiden tai prosessien toteuttamiseen. Leijupetitekniikassa kiinteät partikkelit (katalyytit) pidetään ilmassa virtaavan kaasun tai sekoittajan luoman turbulenssin avulla. Leijupatjareaktoria käytetään polttoaineiden valmistuksessa, kemikaalien tuotannossa ja ympäristön puhdistuksessa. Reaktorin yksi etu on sen lämmön- ja massansiirto, joka tekee monenlaisten kemiallisten reaktioiden toteuttamisesta tehokasta. (sciencedirect.) Boliden Kokkolassa reaktoria käytetään kadmiumin sakeuttamiseen prosessiliuoksesta.

3.1 Prosessikuvaus

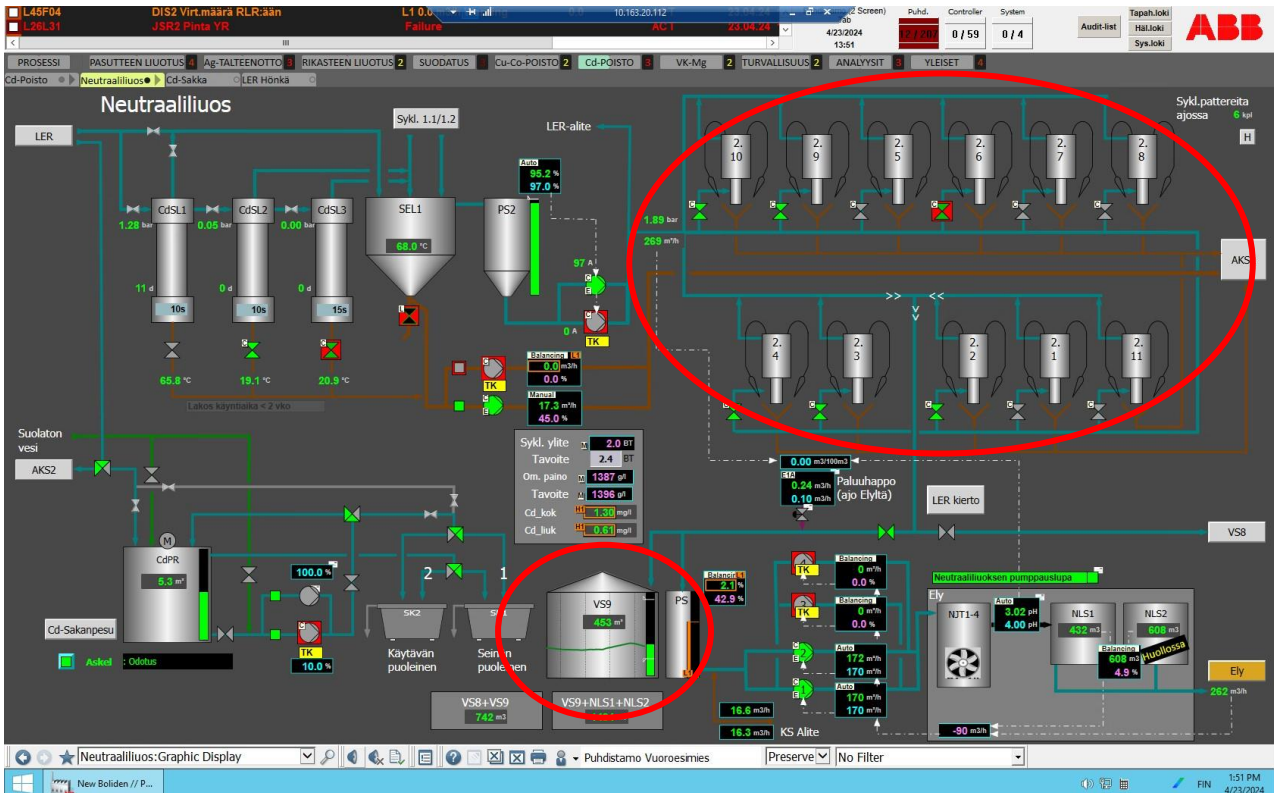
Kadmiuminpoisto on ajotavaltaan jatkuvatoiminen prosessi, jossa reaktorit ovat sarjaan kytkettyjä. Jatkuvatoimisella prosessilla tarkoitetaan prosessia, jonka normaalitilanteessa liuosvirtaus ei keskeydy. Prosessia ajetaan viidellä LER-reaktorilla, jotka on kytketty sarjaan. Viidessä peräkkäisessä reaktorissa on erivahvuiset liuokset, mikä tarkoittaa, että ensimmäisessä reaktorissa on korkein kadmiumpitoisuus ja viimeisestä reaktorista lähtee puhdas sinkkisulfaatti. Leijupatjareaktorin avulla sinkinvalmistusprosessissa erotetaan prosessiliuoksesta kadmium, jotta saadaan puhtaampi sinkkisulfaattiliuos syötettyä prosessissa eteenpäin elektrolyysiä kohti. Reaktorissa käytetään sinkkipatjaa, joka toimii adsorbenttina kadmiumin saostamisessa. Ensimmäiseen reaktoriin syötetään lisäksi flokkulanttiliuosta, jolla saadaan sinkkipatja pysymään kuohkeana. Liuosvirtauksen nopeus sekä sekoittimen toiminta luovat turbulenssin sinkkipatjan alla, nostavat patjan ylös ja pitävät sinkkipartikkelit leijumassa. Tämä mahdollistaa sinkkipartikkelien ja kadmiumin reagoimisen keskenään. Reaktiossa kadmium saostuu ja sinkkipartikkelit muuttuvat liukoisiksi, jolloin raskaampi kadmiumsakka voidaan erottaa liuoksesta reaktorin alitteena ja kevyempi sinkkisulfaattiliuos jatkaa matkaansa ylitteenä reaktorista seuraavaan LER-reaktoriin. Kadmiumin saostaminen toistetaan useamman kerran, jotta saadaan mahdollisimman puhdas sinkkisulfaattiliuos. Kuvassa 7 reaktorit valvomo ohjelmistossa.

(Boliden Kokkola Oy.)



Kuva 7 LER-reaktorit (Boliden kokkola Oy)

Leijupatjareaktorien jälkeen sinkkisulfaattiliuos syötetään keskipakoerotimen kautta hydrosykloneille, joiden tarkoituksena on erottaa mahdollinen kiintoaine sinkkisulfaattiliuoksesta (KUVA 9). Prosessin jälkeen puhdas sinkkisulfaattiliuos (lopputuote) varastoidaan varastosäiliöön (VS9), josta se pumpataan prosessissa seuraavalle osastolle elektrolyysille. Kuvassa 8 syklonit ja säiliö punaisella ympyröitynä sekä myöhemmässä kuvassa tuotantotilassa otettu kuva syklonista.



Kuva 8 Varastosäiliö VS9 ja hydrosyklonit (Boliden Kokkola Oy)



Kuva 9 Hydrosykloni, jolla erotetaan kiintoaine sinkkisulfaatista

3.2 Reaktori rakenne

Reaktori koostuu 68 m³ säiliöstä, joka on valmistettu lasikuidusta (KUVA 11). Reaktori on muotoiltu syklonimainen. Kun reaktori on pohjasta kapeampi, silloin virtausnopeus pohjalla on korkeampi kuin reaktorin yläosassa, joka on halkaisijaltaan suurempi. Tämä johtaa virtausnopeuden rauhoittumiseen reaktorin yläosassa, minkä tarkoituksena on pitää kiintoaine reaktorissa. Reaktorin pohjassa on sekoittaja, joka luo turbulenssin reaktorin pohjalle leijuttaen sinkkipatjaa. Sekoittajassa on tiiviste, joka tiivistää sekoittajan akselin, jotta prosessiliuos ei pääse karkaamaan reaktorista. Sekoittajaa pyörittää sähkömoottori, jonka voima välittyy kiilahihnojen avulla sekoittajan akselille (KUVA 10).



Kuva 10 LER-reaktorin pohjakartio ja sekoittaja paikallaan



Kuva 11 LER-reaktori 68 m³ säilö, jossa 60 m³ prosessiaineita



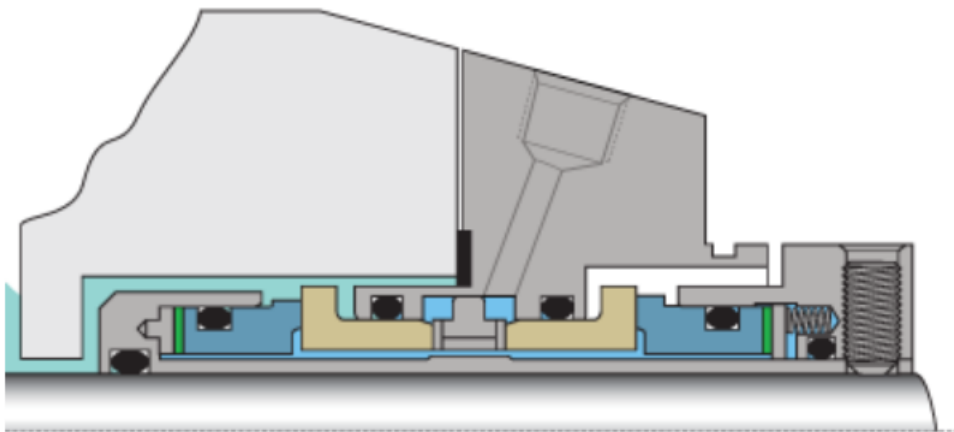
Kuva 12 LER-reaktorin kansi, jossa pinnanmittausanturit paikoillaan

3.3 Mekaaninen tiiviste

Sekoittajan akselilla on mekaaninen tiiviste, jonka toiminta perustuu tiivisteveteen. Vettä syötetään virtaavana tiivisteeseen sisälle tietyllä paineella, jolloin hiilipinnat tiivistyvät toisiinsa ja prosessiliuos pysyy halutusti säiliön sisällä. Jos tiivistevesipaineessa tai virtauksessa on ongelmia tai tiivistevedessä on epäpuhtauksia, tiiviste ei toimi oikein (KUVA 13).

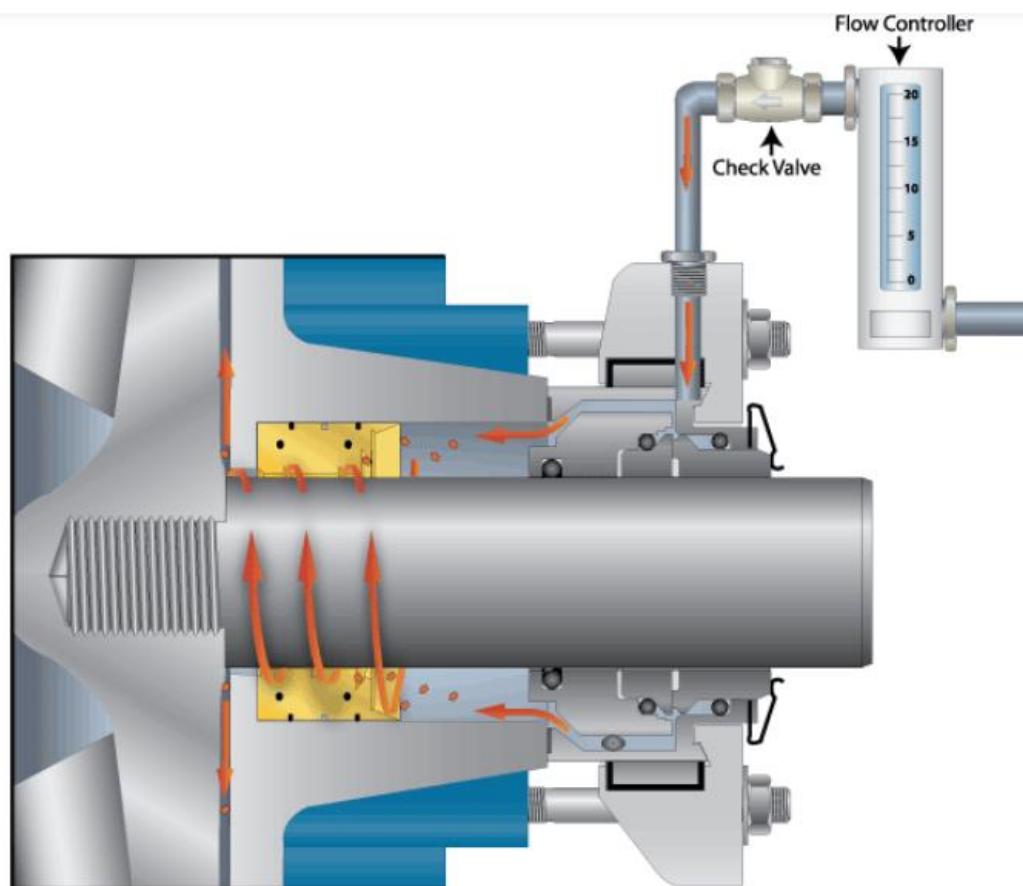


Kuva 13 Mekaaninen tiiviste 280M SA TC S FPM 60MM (chesterton)

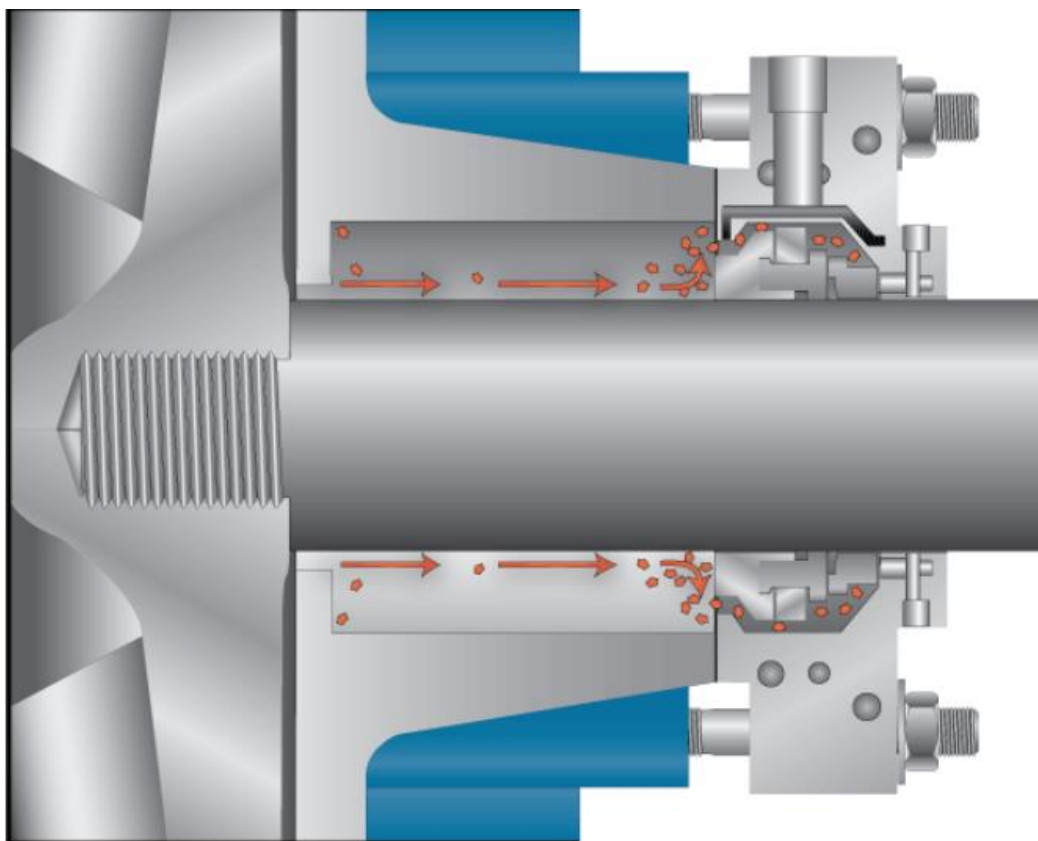


Kuva 14 Tiivisteiden leikkauskuva (chesterton)

Ennen tiivistettä on spiraltrac-niminen komponentti, jonka tarkoituksena on pitää tiivisteeseen pyrkivät partikkelit erossa liukurengastiivisteestä. Kyseessä on veden virtaamiseen perustuva menetelmä, jossa spiraltracin sisälle syötetään vettä. Spiraltracin muoto nimensä mukaan on spiraali, joka muodostaa pyörteen virtaavassa vedessä, jolloin vesi pyrkii työntämään partikkeleja pois tiivisteestä. Seuraavissa kuvissa esitetään spiraltracin toimintaa. Ensimmäisessä spiraltrac on keltainen osa, joka suojaa tiivistettä partikkeleilta (KUVA 15). Toisessa kuvassa spiraltracia ei ole ja partikkelit pääsevät tiivisteeseen liukurenkaille (KUVA 16). (enviroseal.)



Kuva 15 Spiraltrac estämässä partikkeleja pääsemästä tiivisteeseen (enviroseal)



Kuva 16 Tiiviste ilman spiraltracia (enviroseal)

3.4 Sekoittajan huolto

Sekoittaja huolletaan aina, kun se vaurioituu. Yleensä vaurioituminen johtuu tiivisteiden rikkoontumisesta, jolloin prosessiliuosta pääsee vuotamaan reaktorin ulkopuolelle tai tiivisteiden vesi vuotaa reaktorin sisälle. Toinen huollon tarpeeseen vaikuttava tekijä on sekoittajan pohjassa oleva reikä kadmiumpatjan poistoa varten, joka tukkeutuu silloin tällöin. Huollon tarvetta seurataan kunnonvalvonnalla. Kun valvontakierroksella todetaan huollon tarve, niin prosessinhoitaja tekee työtilauksen kohteesta (KUVA 17).

Tehtävännumero	4091468964
Tehtävätyyppi	Häiriökorjaus
Tehtävän tila	Odottaa suoritusta
Tilaaaja *	Kähkölä Sami SXX
Kohde	5020192510 - LER1 LEIJUPATJAREAKTORI
Kohteen kriittisyys	B
Tehtävälaji	Välitön häiriökorjaus
Otsikko *	Ler1 sekottimen poksivesi pääsee pesästä reaktoriin.
Kuvaus *	Ler1 sekottimen poksivesi pääsee pesästä reaktoriin. Muissa reaktoreissa 5 litraa virtausta näyttää, mutta Ler1:ssä kun virtausta yrittää nostaa 3:sta ylöspäin, niin ei nouse.
Työlaji *	Mekaaninen
Vastaanottaja *	PUKUPI Puhdistamo mekaaninen kunnossapito
Deadline *	1/14/24
Laskentatunniste *	4090201925 LEIJUPATJAREAKTORIT PUMPPUINEEN JA PUTKI

Kuva 17 Työtilaus rikkoontuneesta tiivisteestä (Boliden Kokkola Oy)

Työtilauksen jälkeen prosessissa käydään tarkastelu, jossa selvitetään missä kohtaan voidaan huolto tehdä, jotta minimoidaan prosessitappiot. Yhden reaktorin huolto tarkoittaa käytännössä kahden reaktorin alas ajoa, jotta huolto voidaan toteuttaa. Alas ajettavat reaktorit ovat huollettava reaktori ja siitä seuraava reaktori. Syy kahden reaktorin alas ajamiseen huollon ajaksi, johtuu turvallisuussyistä. Huollon aikana ei tule tuotannon menetyksiä, koska ajovauhti pystytään pitämään samana. Tämä johtuu siitä, kun huollettava reaktori voidaan erottaa prosessista pysäyttämättä prosessia. Ainoa vaikutus prosessiin on se, että siitä jää yksi sinkkipatja pois välistä, mikä voi vaikuttaa lopullisen liuoksen puhtauteen.

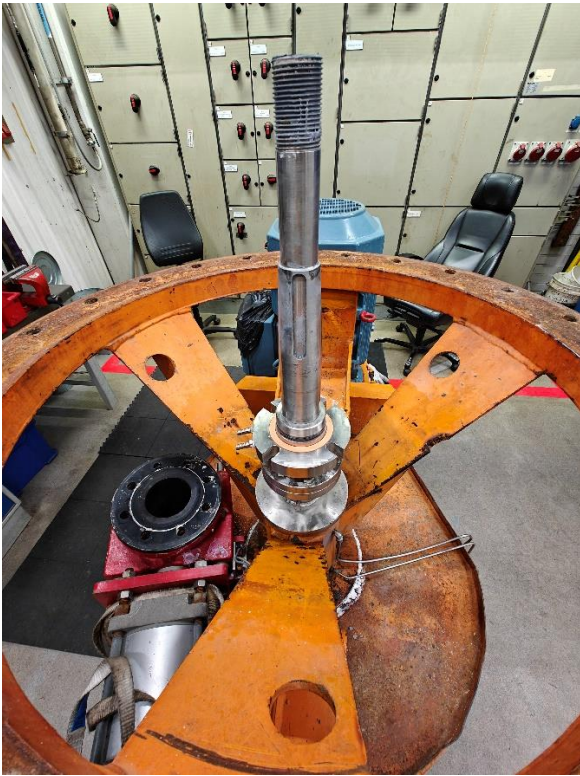
Kun huolto on suunniteltu sopivaksi prosessille, tehdään työtilaus kunnossapidolle. Ennen huollon aloittamista prosessinhoitajan täytyy ajaa reaktorit oikeaan järjestykseen, jotta erotettavat reaktorit ovat turvallisia. Reaktoreiden linjat tulpataan ja säiliöt tyhjennetään. Turvallistamisen jälkeen kunnossapito-tiimin koneasentajat ryhtyvät purkamaan sekoittajaa irti reaktorista.

Sekoittaja on pulttikehällä kiinnitettynä säiliössä. Pultit löysäämällä sekoittaja lasketaan alas ja toimitetaan huoltoon korjaamolle (KUVA 18). Säiliö pestään ja tyhjennetään mahdollisista kameista. Sekoittajia on varastossa valmiiksi huollettuina. Kun rikkinäinen sekoittaja irrotetaan ja toimitetaan korjaamolle, voidaan uusi huollettu sekoittaja toimittaa varastosta kohteelle ja asentaa paikoilleen mahdollisimman rivakasti.

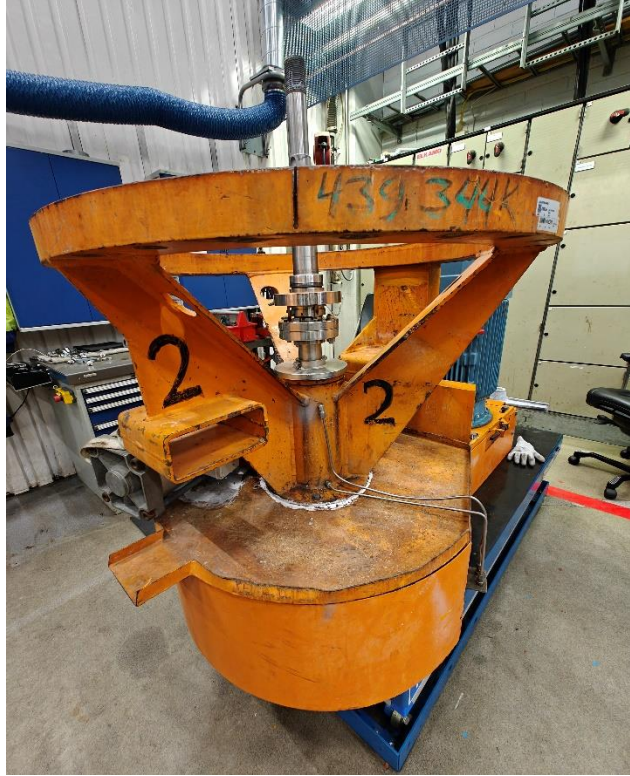


Kuva 18 Reaktorista irrotettu sekoittaja

Korjaamolla sekoittaja pestään ja puretaan. Sekoittajaan vaihdetaan uudet kiilahihnat, tiiviste sekä akselin laakerit. Korjaamon kustannukset sekoittajalle ovat noin 3000 e, josta 1000 e koostuu tuntiveloitustyöstä ja 2000 e sekoittajan varaosista. Huollettu sekoittaja kuljetetaan varastoon odottamaan seuraavaa asennusta (KUVA 20).



Kuva 19 Huollossa oleva sekoittaja



Kuva 20 Huollossa oleva sekoittaja

3.5 Ennakkohuolto

Ennakkohuollon tarkoituksena on ennaltaehkäisevästi ylläpitää laitteen toimintakuntoa. Ennakkohuollot toteutetaan säännöllisesti kuukauden välein kaikille viidelle LER-pohjasekoittajille. Ennakkohuolto auttaa vähentämään odottamattomia seisakkeja ja pidentää laitteiden käyttöikää. Ennakkohuollosta on työtilaus, joka uusiutuu automaattisesti joka kerta, kun tehtävä kuitataan tehdyksi (KUVA 21).

Ennakkohuollon aikana tarkistetaan sekoittajasta:

- Moottorin ja sekoittajan laakeriäänet
- Kiilahihnat ja pyörät
- Poxsin tiiveys ja poksivesijärjestelmä
- Laipan vuodot
- Moottorin tuuletusritilän puhdistus
- Tarkastetaan ettei sekoittaja heilu (kamia sekoittajan siivekkeissä) ja aiheuta vaurioita lasikuitusäiliölle.

Tehtävännumero	409E466132
Tehtävätyyppi	Ehkäisevä kunnossapito
Tehtävän tila	Suorituksessa
Tilaaaja *	MaintALMA Käyttäjä
Kohde	5020192510 - LER1 LEIJUPATJAREAKTORI
Kohteen kriittisyys	B
Tehtävälaji	Jaksotettu kunnossapito
Ennakkohuollon tyyppi	Määräaikaishuolto
Otsikko *	LER1-5 SEKOITTAJA
Kuvaus *	Eh-työmääräin kaikille LER sekoittimille TARKASTETAAN: - Moottorin ja sekoittajan laakeriäänet - Kiilahihnat ja pyörät. Vaihetaan tarvittaessa. - Poxsin tiiveys ja poksivesijärjestelmä. - Laipan vuodot. - Moottorin tuuletusritilän puhdistus - Katsotaan ettei sekoittaja heilu(kamia sekoittajassa) ja aiheuta vaurioita lasikuituputkille
Työlaji *	Mekaaninen
Vastaanottaja *	PUKUPI Puhdistamo mekaaninen kunnossapito
Deadline *	1/25/24
Laskentatunniste *	4090201925 LEIJUPATJAREAKTORIT PUMPPUINEEN JA PUTKI
	<input type="checkbox"/> Vaatii pysäytyksen
Työn suunnittelija (Siirtyy SAPIin)	
Suunniteltu työn kesto h	8
Suunniteltu henkilömäärä kpl	1
Suunniteltu kokonaistuntimäärä h	8
Aloitusaika	1/11/24
Lopetusaika	1/11/24

Kuva 21 Ennakkohuolto työtilaus (Boliden Kokkola Oy)

4 TUTKIMUSKOHDE

Ongelma leijupatjareaktoreissa on se, että niiden sekoittajat alkavat vuotamaan prosessiliuosta ulos säiliöstä, koska tiiviste on rikkoutunut jostakin syystä. Tutkimuksessa epäillään mahdollisesti sekoittajien tiivistepokseissa kulkevan veden määrää ja painetta. Veden virtaus on joko riittämätön tai paine liian matala ja tämä aiheuttaa sen rikkoutumisen. Tiivisteelle tulee vesi V2-säiliöstä, josta kulkee vettä myös monille muille pumppujen tiivistepokseille.

Tiivistepokseille tulevaa tiivistevesilinjaa on tutkittu aikaisemmin Swecon puolesta ja linjoista tehdyn laskelman mukaan putkilinja pitäisi olla riittävä tiivistevedelle. Laskelmasta selviää, että V2-säiliöstä jakaantuu monta linjaa ennen LER-tiivisteitä. Linjoissa on muita pumppuja ja sekoittajia, joiden tiivisteet käyttävät samaa vettä toimiakseen (KUVA 24). Voiko tämä vaikuttaa LER-tiivisteiden toimintaan kuitenkin? On huomattu, että V2-säiliöstä muille pumppuille ja sekoittajille menevä tiivistevesi ei ole koitunut ongelmaksi samalla tavalla kuin LER-sekoittajilla. Painemittauksilla pyrittiin selvittämään, vaikuttaako muiden laitteiden käyttö vedenpaineen romahtamiseen LER-tiivisteillä.

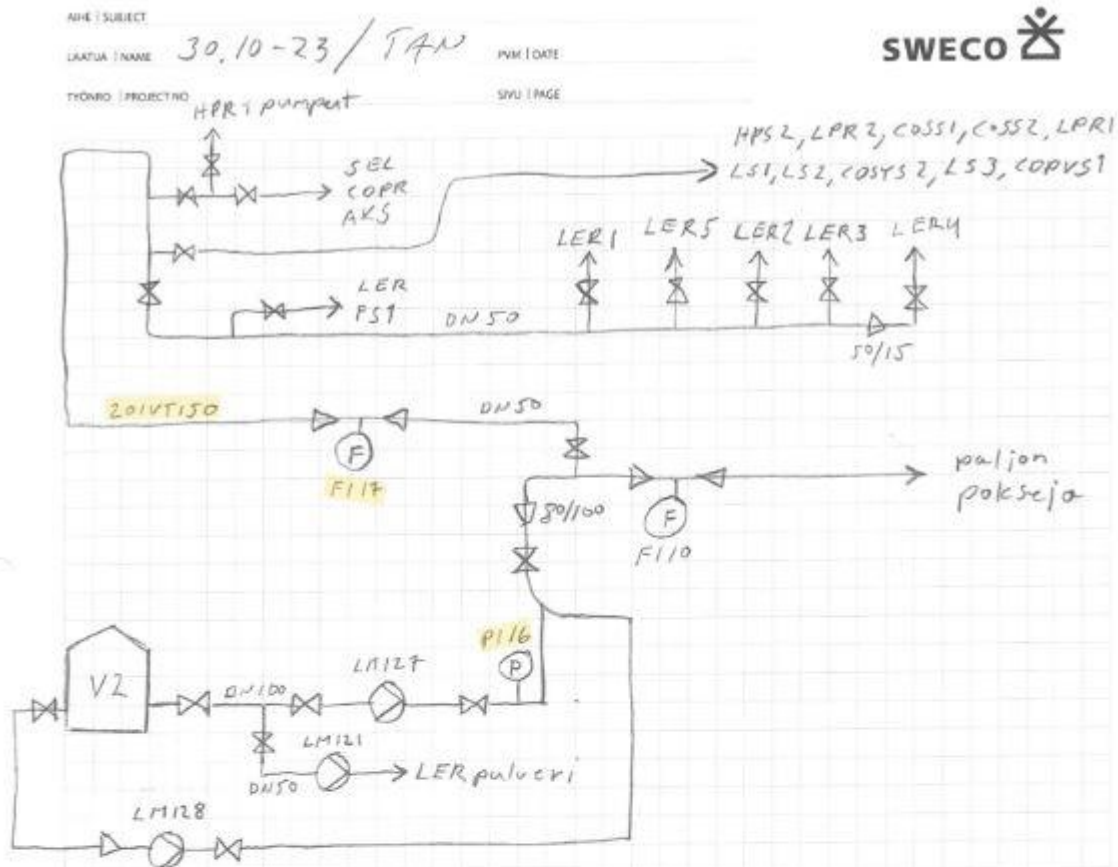
LER-pohjasekoittajassa on itsessään niin sanottu poksivesivartija, joka seuraa tiivisteiden vedenpainetta ja virtausta sekä ilmoittaa paineen tippumisesta tai virtauksen vähenemisestä (KUVA 22). Poksivesivartijasta voidaan säätää painetta ja virtausta tiivisteessä. Myös jokaisella spiraltracilla on virtausmittari, joka on manuaalinen. Spiraltraceille pyritään syöttämään noin 5 l vettä minuutissa, jolloin sen toimivuus pitäisi olla parhaimmillaan (KUVA 23). Spiraltracilla ja poksivesivartijalla on ongelmana niiden säätö, kun molemmille tulee vesi samasta linjasta haaroitettuna. Kun toista säätää, niin toisessa romahtaa virtaus ja paine. Tästä voidaan päätellä, että veden määrä on ihan ääri rajoilla koko ajan. Johtopäätöksenä ylimääräinen painenvaihtelu runkolinjassa vaikuttaa varmasti LER-tiivistevesipaineisiin.



Kuva 22 Poksivesivartija



Kuva 23 Spiraltrac virtausmittari



FI10 $10 \text{ m}^3/\text{h}$

FI17 $1 \text{ m}^3/\text{h}$, pokseja n. 20 kpl

PI16 9 bar

LM127, A22-32, 9 bar $\rightarrow 32 \text{ m}^3/\text{h}$ max

virtaus 201VT150 $1 \text{ m}^3/\text{h} \Rightarrow 0,11 \text{ m/s}$

$1 \text{ m}^3/\text{h} = 16,7 \text{ l/min}$. $16,7 \text{ l/min} / 20 \text{ pokseja} = 0,8 \text{ l/min/poksi}$

virtaus/poksi = $0,5 - 3 \text{ l/min}$ (KVS sekoitin sulzer)

min paine 1-2 bar + paine pokseilla

putket LER sek. DN15, DN15 $3 \text{ l/min} \Rightarrow 0,22 \text{ m/s}$

DN15, $23 \text{ l/min} \Rightarrow 1,5 \text{ m/s}$

$30 \text{ l/min} \Rightarrow 2,0 \text{ m/s}$ on vielä OK mitoitussarvo vedelle

Kuva 24 Laskukaava putkiliinjasta (Boliden Kokkola oy)

4.1 Mittaukset

LER-tiivistevesilinjan jakotukkiin asennettiin painemittari seuraamaan paineen vaihtelua tietyllä ajanjaksolla (KUVA 25). Mittari sijoitettiin linjan loppupäähän juuri ennen kuin linjasta haarautuu LER-tiivisteille lähtevät linjat. Mittarin avulla saatiin mitattua kahden työvuoron aikana tapahtuvia muutoksia jakotukissa, sekä sekoittajien omien tiivistevesi painemittareiden avulla tiivisteiden paineet kyseisellä hetkellä (KUVA 26).



Kuva 25 Tiivisteveden jakotukki



Kuva 26 Jakotukkiin liitetty painemittari

Mittauksesta saatiin seuraavat tulokset:

		Jakotukki	Ler 1 tiiviste	Ler 2 tiiviste	Ler 3 tiiviste	Ler 4 tiiviste	Ler 5 tiiviste
26.4.2024	klo 10.00	8 bar	2.5 bar	4.5 bar	6.2 bar	7.1 bar	5.5 bar
26.4.2024	klo 11.30	7.8 bar	2.5 bar	4.5 bar	6.2 bar	7.1 bar	5.5 bar
26.4.2024	klo 12.55	7.9 bar	2.5 bar	4.5 bar	6.2 bar	7.1 bar	5.5 bar
26.4.2024	klo 14.15	7.9 bar	2.5 bar	4.5 bar	6.2 bar	7.1 bar	5.5 bar
26.4.2024	klo 15.50	8 bar	2.5 bar	4.5 bar	6.2 bar	7.1 bar	5.5 bar
29.4.2024	klo 8.00	7.7 bar	2.5 bar	4.5 bar	6.2 bar	7.1 bar	5.5 bar
29.4.2024	klo 9.20	7.9 bar	2.5 bar	4.5 bar	6.2 bar	7.1 bar	5.5 bar
29.4.2024	klo 10.15	8 bar	2.5 bar	4.5 bar	6.2 bar	7.1 bar	5.5 bar
29.4.2024	klo 11.20	8 bar	2.5 bar	4.5 bar	6.2 bar	7.1 bar	5.5 bar
29.4.2024	klo 12.10	7.9 bar	2.5 bar	4.5 bar	6.2 bar	7.1 bar	5.5 bar
29.4.2024	klo 13.20	7.8 bar	2.5 bar	4.5 bar	6.2 bar	7.1 bar	5.5 bar
29.4.2024	klo 14.30	7.9 bar	2.5 bar	4.5 bar	6.2 bar	7.1 bar	5.5 bar
29.4.2024	klo 15.00	8 bar	2.5 bar	4.5 bar	6.2 bar	7.1 bar	5.5 bar

Kuva 27 Mittauspöytäkirja

Mittauksissa kahden työvuoron aikana seuratuissa tuloksissa ei juurikaan huomata paineenvaihtelua tiivisteissä, mutta jakotukilla paine seilaa pienissä määrin. Paineenvaihtelu mitatulla ajanjaksolla ei tue epäilyksiä paineen romahtamisesta, mutta tilannetta

jäädään seuraamaan jatkossa, koska paineen romahduksia on havaittu aikaisemmin. Mittausten aikana voitiin huomata, että LER 1:llä oli erittäin matala paine tiivisteessä, mikä osoittautui tiivisteiden rikkoutumiseksi. Sekoittaja otettiin huoltojonoon seuraavaksi (KUVA 27).

4.2 Kehitysideat

-Lisätään LER:lle oma säiliö ja paineenkorotuspumppu tulevaa tiivistepoksivettä varten, jotta saataisiin vedenpaine ja -virtaus pysymään riittävänä.

-Nykyinen tiivistevesiputkisto pitäisi piiskata ja puhdistaa mahdollisesta kamista, jotta saataisiin veden virtaavuutta kasvamaan ja vettä kulkisi tiivistepokseille paremmin.

-Tiivistevesilinjaan asennettaisiin suodatus, jotta tiivistepokseille tuleva vesi olisi puhtaampaa eikä tukkisi poksien kanavia.

5 POHDINTA

Tämän opinnäytetyön tutkimuksen tulokset tarjoavat Boliden Kokkola Oy:lle mahdollisuuksia leijupatjareaktorien tiivistevesiongelmien ratkaisemiseen. Tutkimuksen läpikäynnin perusteella on selvää, että tiivisteiden rikkoutuminen on merkittävä huolenaihe, joka voi vaikuttaa prosessin tehokkuuteen ja kustannuksiin.

Tulosten arvioinnin perusteella ei voida suoranaisesti osoittaa yhtä tiettyä syytä tiivisteiden rikkoontumiselle. Kuitenkin tutkimuksessa havaitut ilmiöt ja poikkeamat tarjoavat tietoa ja ymmärrystä leijupatjareaktorien toiminnasta ja tiivistevesiongelmista. Nämä havainnot ovat tärkeitä lähtökohtia jatkotutkimukselle ja kehitystyölle.

Tulevaisuudessa voidaan hyödyntää tutkimuksessa esiin nousseita havaintoja ja tietoa suunnitellussa seuraavissa testeissä ja kokeissa, joiden avulla pyritään pidentämään tiivisteiden käyttöikä. Kokeiden avulla voidaan tunnistaa ja ratkaista tiivisteongelmiin liittyviä tekijöitä ja kehittää parempia ratkaisuja. Kehitysideoiden avulla voidaan saavuttaa edistystä tiivisteiden käyttöiän pidentämisessä. Pidemmät käyttöiät tiivisteille vähentävät tarvetta tiivisteiden vaihtoon ja huoltoon, mikä puolestaan johtaa huoltokustannusten vähenemiseen. Pitkällä aikavälillä nämä kustannussäästöt voivat olla merkittäviä ja edistää organisaation taloudellista kestävyyttä ja kilpailukykyä.

Tutkimuksen perusteella ja syvällisen ymmärryksen avulla voidaan suunnata tulevaisuuden toimenpiteitä kohti kestävämpiä ja kustannustehokkaampia ratkaisuja leijupatjareaktoreiden tiivistevesiongelmien.

LÄHTEET

Boliden Kokkola Oy. Maailmanluokan sinkkitehdas. Saatavissa: <https://www.boliden.com/fi/operations/smelters/boliden-kokkola> Viitattu: 5.12.2023.

Sciencedirect. Fluidized Bed Reactor. Saatavissa: <https://www.sciencedirect.com/topics/chemical-engineering/fluidized-bed-reactor> Viitattu: 15.2.2024

Enviroseal. Spiraltrac for seals. Saatavissa <https://www.enviroseal.ca/spiraltrac/seal> Viitattu: 25.4.2024

Chesterton. Chesterton 280 Cartridge Double Mechanical Seal. Saatavissa <https://chestertonrotating.chesterton.com/en-us/Products/Pages/280.aspx> Viitattu: 25.4.2024