



Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

PATRIK UUSITALO

Pumpun tiivisteveden aiheuttamat häviöt

ENERGIA- JA YMPÄRISTÖTEKNIIKAN
KOULUTUSOHJELMA
2021

Tekijä Uusitalo, Patrik	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä huhtikuu 2021
	Sivumäärä 34	Julkaisun kieli suomi
Julkaisun nimi Pumpun tiivisteveden aiheuttamat häviöt		
Tutkinto-ohjelma Energia- ja ympäristötekniikka		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyössä tarkasteltiin Bolidenin kuparielektrolyysitehtaan pumppujen poksivesistä eli tiivistevesistä aiheutuvia häviötä. Työtä ennen oli havaittu, että poksien kautta prosessiin pääsevä ylimääräinen vesi aiheuttaa altailla haihduttamistarpeen. Anodikierroissa 1 ja 2 olevien ryhmien altaat tulisi olla peitettynä, mutta haihdutustarpeen takia ne ovat usein peittämättä.</p> <p>Työn sisältöön kuului selvitys Elektrolyysissä ja Jalometallissa käytössä olevista pumppuista. Mittaukset vesipoksillisten pumppujen tiivistevesistä sekä niiden aiheuttamista energiahäviöistä ja kustannuksista. Lisäksi ongelmaan pyrittiin löytämään parannusehdotuksia ja mahdollisia ratkaisuja.</p> <p>Pumppuista tehtiin taulukko, josta löytyy pumppujen laitepaikat sekä suurimmaksi osaksi laitenumerot. Poksivesien määrää mitattiin manuaalisesti astiamitalla. Veden haihduttamiseen ja liuoksen lämmitykseen kuluvat energiahäviöt laskettiin. Energiahäviöistä aiheutuvat kustannukset arvioitiin laskennallisesti.</p> <p>Työtä tehdessä havaittiin rotametrien huonokuntoisuus ja epäpuhtaan tiivisteveden huumuksen aiheuttamat tukokset. Mittauksissa todettiin, että tiivistevesien virtaus oli heikko. Vähäinen poksiveden virtaus saattaa aiheuttaa kulumaa ja rikkoutumista tiivisteellä, mutta on toisaalta perusteltua liuoksen vesitaseen säilyttämiseksi. Poksivedestä koituvat energia- ja kustannushäviöt todettiin mittaviksi. Parannusehdotuksilla poksiveden joutuminen prosessiin pystyttäisiin estämään. Työssä ehdotetut parannusvaihtoehdot maksaisivat itsensä takaisin nopeimmillaan jopa kuukausien kuluessa.</p>		
Asiasanat Vesipoksi, tiivistevesi, pumppu, keskipakopumppu, energiahäviöt, haihtuminen		

Author Uusitalo, Patrik	Type of Publication Bachelor's thesis	Date April 2021
	Number of pages 34	Language of publication: Finnish
Title of publication Losses Caused by Pump Sealing Water		
Degree Program Energy and Environmental Engineering		
Abstract <p>The sealing water of Boliden copper electrolysis factory's pumps were examined in the thesis. There was an observation before the thesis that the excess water entering the process through the sealings causes the need to evaporate in the pools. The group of the pools that are undergoing the first and second anode period should be covered, but are often left uncovered due to the need for evaporation.</p> <p>The thesis included a study of pumps that are used in Electrolysis and Precious Metal. It also included the measurements of the sealing water included in the pumps and the energy losses and costs caused by them. In addition, there was an aim to find improvements and possible solutions for the problem.</p> <p>A table was made of the pumps, which includes the location of the pump's equipment and most of the device numbers. The amount of sealing waters was measured manually with a measuring dish. The energy losses required to evaporate the water and to heat the solution was calculated. The estimated costs caused by energy loss were also calculated.</p> <p>The condition of the rotameters and the blockages caused by the humus of impure sealing waters was noticed during the thesis. A weak flow of sealing water was observed during the measurements. A minor flow of sealing water can cause wear and breakage in the seal but on the other hand this is justified to maintain the water balance of the process. The energy losses and costs caused by sealing water was found to be significant. It could be possible to prevent sealing water from entering the process by following the improvement suggestions. The improvement options proposed in the thesis would pay themselves back even within months.</p>		
<u>Key words</u> water box, seal water, pump, centrifugal pump, energy losses, evaporation		

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO	5
2 BOLIDEN GROUP.....	6
2.1 Boliden Harjavalta, Kuparielektrolyysi	6
3 PUMPUT JA PUMPUN VALINTA.....	8
3.1 Keskipakopumpun toiminta	9
3.2 Virtaustekniikkaa	10
4 AKSELIN TIIVISTÄMINEN.....	11
4.1 Dynaamiset tiivisteet.....	11
4.2 Punostiivisteet	12
4.3 Mekaaniset tiivisteet.....	13
4.4 Vesipoksi.....	14
5 ELEKTROLYYSIPROSESSIN PUMPUT	16
5.1 Pumpusto.....	16
5.2 Poksiveden mittaukset.....	17
6 ENERGIAHÄVIÖT	20
6.1 Lämmittämiseen kuluva energia	20
6.2 Höyrystymiseen kuluva energia.....	21
6.3 Häviöiden aiheuttamat kustannukset.....	21
7 KEHITYSMAHDOLLISUUDET.....	23
7.1 NonFlow Sulkunestelaite	23
7.2 SealCooler™ Termosifonijärjestelmä.....	25
7.3 Magneettivetoinen keskipakopumppu	26
7.4 Haihdutus alipaineistamalla	28
8 POHDINTAA	30
9 YHTEENVETO	31
LÄHTEET	
LIITTEET	

1 JOHDANTO

Opinnäytetyössä tarkasteltiin Boliden Harjavallan Elektrolyysitehtaan pumppujen poksivesistä eli tiivistevesistä aiheutuvia häviöitä. Työtä ennen tehtaalla oli havaittu, että poksien kautta prosessiin pääsevä ylimääräinen vesi aiheuttaa altailla haihduttamistarpeen. Anodikierrossa 1 ja 2 olevien ryhmien altaat tulisi olla peitettynä, mutta haihdutustarpeen takia ovat usein peittämättä.

Työssä käydään läpi pumppujen eri malleja ja akselitiivistysvaihtoehtoja. Elektrolyysitehtaalta löytyvät pumput ovat suurimmaksi osaksi mekaanisella liukurengastiivisteellä varustettuja keskipakopumppuja. Tehtaalta löytyy yhteensä 100 pumppua, joista 40 on tiivistevedettä käyttäviä. Prosessiin pääsevälle tiivistevedelle lasketaan energiahäviöt ja niistä aiheutuvat kustannukset.

Tiivistevedestä aiheutuvalle ongelmalle pyrittiin löytämään mahdollisia ratkaisuja. Ratkaisujen löytämiseksi konsultoitiin pumppujen tiivistykseen ja liuosten väkevöintiin erikoistuneita yrityksiä. Ratkaisumahdollisuuksien takaisinmaksuajat laskettiin haihdutustarpeen aiheuttaman vuotuisen energiahävikin mukaan.

2 BOLIDEN GROUP

Boliden Group on ruotsalainen korkean teknologian metallialan yritys. Yrityksellä on omat kaivoksensa ja sulattonsa, jotka takaavat pitkällä aikavälillä perusmetallien ja jalometallien kuten malmin (mineraalien) tuoton yhteiskunnan käyttötarpeisiin sekä korkealaatuisten metallien louhinnan, jalostuksen ja toimituksen metallialan tuotannon tarpeisiin. Boliden on omien kaivostensa ansiosta sitoutunut kestävään metallintuotantoon ympäristöystävällisellä tavalla huomioiden tuotannossaan luonnon, ihmiset ja yhteiskunnan. (Boliden Group 2020)

Bolidenin korkea tuottavuus perustuu kokemukseen, innovaatioihin ja edistyneeseen teknologiaa, jotka on kehitetty yhteistyössä pohjoismaisten teknologia- ja suunnittelu-yritysten kanssa. Bolidenilla on toimintaa Ruotsissa, Norjassa, Irlannissa ja Suomessa sekä Kokkolassa että Harjavallassa. Pääkonttori sijaitsee Tukholmassa ja yhteensä Boliden konserni työllistää noin 5800 henkilöä. (Boliden Group 2020)

Bolidenin päätuotteita ovat sinkki- ja lyijyharkot, kuparikatodit, kultaharkot ja hopearakeet. Sivutuotteena syntyy rikkihappoa. Suurin osa metalleista kuljetetaan rautateitse tai meriteitse teollisuusasiakkaille kaikkialla Eurooppaa. Tuotteiden kaksi tärkeää loppukäyttäjää ovat rakennus- ja autoteollisuus. Boliden on myös markkinajohtaja elektroniikan kierrätyksessä ja auton akkujen lyijyn talteenotossa. (Boliden Group 2020)

2.1 Boliden Harjavalta, Kuparielektrolyysi

Boliden Harjavallan alaisuudessa työskentelee 550 henkilöä, joista noin 100 Porissa Elektrolyysitehtaalla. Elektrolyysitehdas koostuu kolmesta osasta. Hallin/altaiden puoli, jossa itse kuparinkasvatus tapahtuu. Lisäksi jalometallin ja liuospuhdistamon osastoista, joissa nimensä mukaisesti käsitellään anodista irtoavat jalometallit sekä liuoksen ainetaseet. (Boliden, Harjavalta 2020)

Boliden Harjavaltaan saapuu lähes miljoona tonnia rikasteita eri kaivoksista Suomesta sekä ulkomailta. Hiekkaa muistuttava raaka-aine jalostetaan puhtaiksi metalleiksi. Jalostettuja metalleja ovat kupari, nikkeli, hopea ja kulta sekä muut sivutuotteet. Rikastuksen jälkeen kupari jatkaa matkaansa liekkisulatukseen. Liekkisulatus keksittiin toisen maailmansodan lopulla ja on edelleen yksi historian merkityksellisimmistä metallurgian keksinnöistä ja se on palkittu arvostetulla ASM Historical Landmark tunnuksetta. Liekkisulatuksessa kupari kuumennetaan 1300 °C:een, jonka jälkeen sula kupari kuljetetaan konverttereihin, joissa se hapettuu ja entisestään rikastuu. Tämän jälkeen kuparisula valetaan kuparianodeiksi. (Boliden, Harjavalta 2020)



Kuva 1. Elektrolyysitehtaalla tuotettua lähes täysin puhdasta kuparikatodia. Kuva: Boliden Harjavalta

Kuparianodit, joiden puhtaus on n. 99 %, kuljetetaan junalla Poriin elektrolyysitehtaalle sähkökemiallista puhdistusta varten. Kuparin puhdistus-/siirtymisreaktio tapahtuu sähköä johtavissa happoaltaissa. Kuparianodien väliin asetetaan katodilevyt. Kupari siirtyy anodista katodiin sähköä johtavan elektrolyysihapon avulla. Anodista liukenevat jalometallit, kuten hopea ja kulta, laskeutuvat sakkana elektrolyysialtaan pohjalle, josta ne anodien vaihtuessa johdetaan Jalometallin käsittelypuolelle ja otetaan talteen. Sivutuotteina niistä valmistetaan hopearakeita sekä kultaharkkoja. Yksi anodijakso kestää 20 vuorokautta ja sinä aikana katodilevyt vaihdetaan kolmesti. Elektrolyysin nykyinen nimelliskapasiteetti on 155 000 t katodikuparia/vuosi. Puhdistetun kuparikatodin pitoisuus on 99,99+ %. Lopuksi kuparikatodit ja muut metallit toimitetaan asiakkaille ympäri maailmaa jatkomuokkausta varten. (Boliden, Harjavalta 2020)

3 PUMPUT JA PUMPUN VALINTA

Pumpputyyppejä on tarjolla useita erilaisia ja eri käyttötarkoituksiin soveltuvia. Ensimmäisestään pumppu valitaan sen toimintapisteen eli tuottovaatimuksen ja nostokorkeuden mukaan. Valintaan vaikuttavat myös pumpattavan nesteen fysikaalis-kemialliset ominaisuudet, eli onko fluidi likaavaa ja aiheuttaako se eroosiota tai korroosioita. Muut vaativat olosuhteet kuten happojen ja kiintoainetta sisältävien nesteiden pumpaaminen vaativat rakenteeltaan siihen tarkoitettua pumpun. Erilaisia pumppuja ovat mm. mäntä-, kalvo-, letku-, hammasratas- ja lohkoroottoripumput.

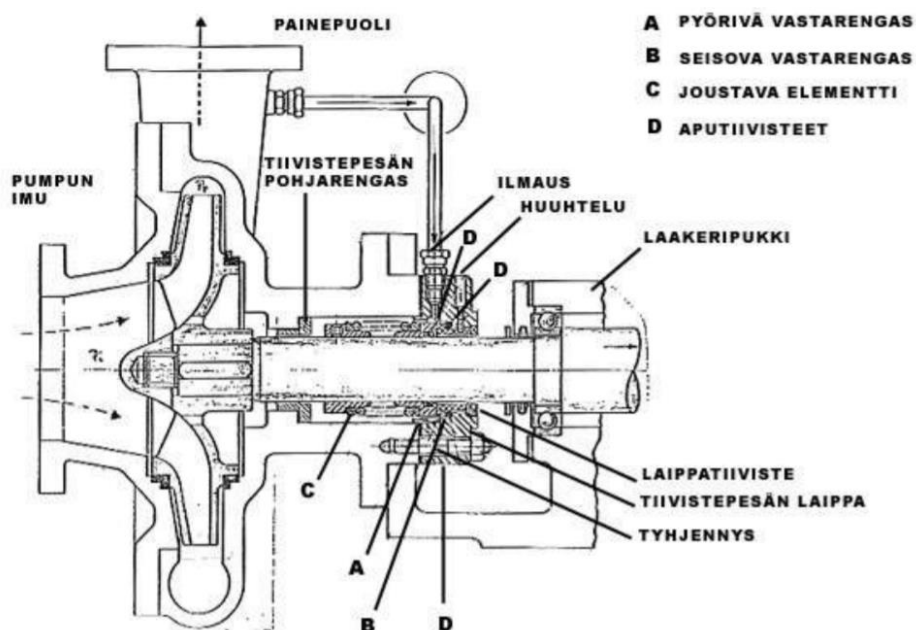
Mäntäpumppu toimii nimensä mukaan mäntämäisesti. Mäntäpumppu soveltuu hyvin korkean viskositeetin nesteiden pienien määrien pumppaamiseen suurta painetta vastaan. Iskutiheyttä ja iskupituutta muuttamalla säädellään mäntäpumpun tuottoa. Kalvopumppu toimii mäntäpumpun tavoin, mutta männän sijasta liikkuvana elimenä toimii kalvo. Kalvopumppu soveltuu niin ikään likaavien ja korkean viskositeetin omaavien nesteiden siirtoon.

Hammasrataspumpun toiminta määräytyy nesteen siirtämiseen hammaspyörien välissä. Neste, esimerkiksi hydraulikkaöljy ikään kuin pakotetaan eteenpäin hammaspyörien välissä. Hammasrataspumppu sopii jähmeiden nesteiden tarkkaan annosteluun. hammaspyörien koon ja pyörimisnopeuden muutoksilla säädellään pumpun tuottoa. Lohkoroottoripumpun toimintamalli on sama kuin hammasrataspumpussa, mutta hampaiden määrä on pienempi, esimerkiksi kolme hammasta. Lohkoroottoripumppua käytetään hammasrataspumpun tavoin jähmeiden ja tahnamaisten nesteiden siirrossa.

Ylivoimaisesti keskeisin ja eniten käytetty pumppumalli prosessiteollisuudessa on kuitenkin keskipakopumppu. Keskipakopumppu sopii monipuolisuutensa ansiosta hyvin prosessitekniikan vaativimpiinkin käyttötarkoituksiin. Keskipakopumpun toimintaan keskitytään lisää seuraavassa kappaleessa.

3.1 Keskipakopumpun toiminta

Keskipakopumput soveltuvat suurten nestemäärien jatkuvaan pumppaukseen silloin, kun ei edellytetä kovin suuria paine-eroja. Keskipakopumput toimivat laajalla alueella tasolta 10 l/min jopa yli 1 m³/s. Keskipakopumpulla pumpataan raakavettä, juomavettä ja jätevetä sekä mitä erilaisimpia kemikaaliliuoksia, jotka ovat ”vesimäisiä”, eli joiden viskositeetti on matala ja jotka eivät ole liian lietemäisiä tai ”tahmaavia”. Keskipakopumppu on ylivoimaisesti eniten käytetty pumpputyyppejä kemian- ja prosessiteollisuudessa. Esimerkiksi nykyaikaisissa prosessitehtaissa saattaa olla satoja jatkuvasti toimivia keskipakopumppuja.



Kuva 2. Keskipakopumpun rakenne. (Moodle virtaustekniikan materiaali)

Pumppu ottaa tehonsa sähkömoottorista, joka voi olla kiinni itse pumpussa tai se on siitä erillään. Pumpun tulee voittaa virtaussysteemin painehäviö ja sen tulee antaa riittävä tilavuusvirta, eli tuotto. Neste tulee imupuolelta pyörivän juoksupyörän keskustaan, josta se sinkoutuu keskipakovoiman vaikutuksesta tangentiaalisesti ulos. Juoksupyörän siivekkeet muotoillaan niin, että painehäviö siipien välisessä solassa minimoituu. Siivekkeitä on kiinnitetty akseliin useita ja juoksupyörä voi olla avoin tai suljettu. Varsinkin suuremmissa pumpeissa vähennetään kitkaa voitelemalla ja jäähdyttämällä akselintiivistystä ulkopuolisella paineistetulla vedellä, ns. poksivedellä.

3.2 Virtaustekniikkaa

Pumpun pitää tuottaa ulkoisella sähköenergialla sellainen paine-ero, että se voittaa kolme eri virtausta estävää paine-eroa:

$$\Delta P_{\text{stat}} = P_2 - P_1 = \text{staattinen paine(häviö)} = \text{paine-ero}$$

$$\Delta P_{\text{hydro}} = \rho g (h_2 - h_1) = \text{hydrostaattinen painehäviö}$$

$$\Delta P_{\text{dyn}} = \frac{1}{2} \rho v^2 (\xi D/L + \Sigma \zeta) = \text{dynaaminen painehäviö}$$

Kokonaispainehäviö, jonka pumpun tulee siis voittaa:

$$\Delta P_{\text{TOT}} = \Delta P_{\text{STAT}} + \Delta P_{\text{HYDRO}} + \Delta P_{\text{DYN}}$$

Pumppu muuntaa sähköenergiaa mekaaniseksi liike-energiaksi. Pumpun ottama sähköteho voidaan laskea kaavasta (3.1)

$$P = \frac{\dot{V} \Delta P}{\eta} \quad (3.1)$$

jossa P = sähköteho, W

\dot{V} = tilavuusvirta, m³ /s

ΔP = painehäviö, Pa

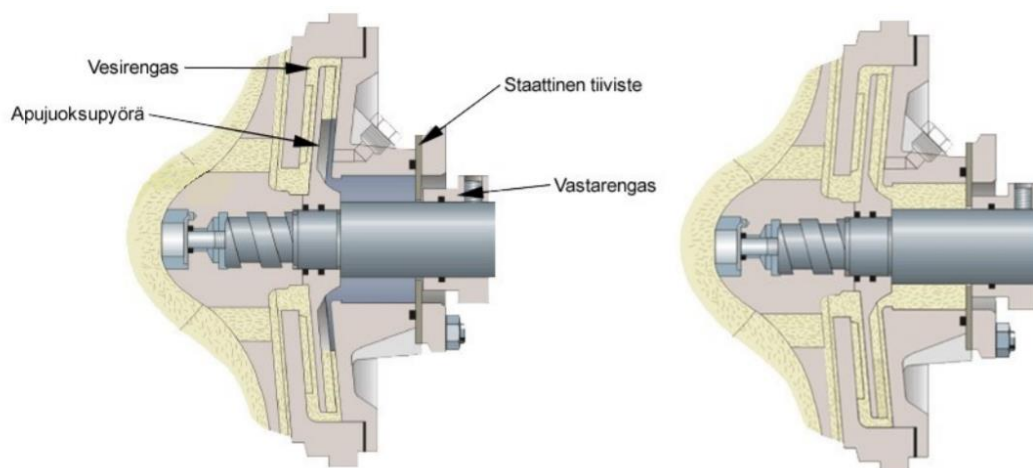
η = pumpun hyötysuhde

4 AKSELIN TIIVISTÄMINEN

Perinteinen teollisuuspumppu varustetaan huomattavan usein akselitiivisteellä. Tiivisteelliset pumput soveltuvat moneen eri käyttöön, sillä akselitiivistyksiä on monia eri vaihtoehtoja aina käyttökohteesta riippuen. Akselintiivistyksen vaihtoehtoja ovat dynaamiset, mekaaniset ja punostiivisteet. Akselitiivisteellinen pumppu ei ole koskaan täysin tiivis vaan pieni molemminpuolinen vuoto sallitaan. Tuotetta virtaa siis ulos pumpusta ja akselitiivisteelle käytettävää voiteluvettä pääsee tuotteeseen.

4.1 Dynaamiset tiivisteet

Dynaaminen tiiviste on vaihtoehtoista ehkä kallein ja monimutkaisin, mutta tarjoaa myös monia etuja. Tämä tiivistemalli on yleistynyt teollisuuskäytössä paljon, sillä tiiviste ei vaadi ollenkaan ulkoista tiivistenestettä eikä juurikaan huoltoa, josta seuraa suoraan suuria säästöjä käyttö- ja kunnossapitokustannuksissa. Kitkaton ja voiteluvapaa tiivistin tarjoaa kulutusta kestävästi tiivistinratkaisun, joka soveltuu hyvin erilaisille tiivistettäville aineille. Pumpattava neste jäädyttää ja voitelee tiivisteeseen, ja tiiviste ei periaatteessa vuoda. Toisaalta tämä malli ei sovi pienempiin pumppuihin, koska se osaltaan ottaa suuren osan sähkömoottorin tehosta. Dynaamista tiivistettä käytetään usein silloin, kun pumpataan nestettä, jolla on suuri tiheys tai viskositeetti. (Saku 2010, 14)



Kuva 3. Dynaamisen tiivisteiden rakenne (Kanto 2019, 17 ; Knowpap 2019)

Dynaamisen tiivisteiden käytölle on myös rajoitteita. Pääasiassa pumpattavan nesteen laatu, lämpötila ja tulopaineen taso ovat määrääviä tekijöitä. On todella tärkeää huomioida, että ympäristölle vaarallisia nesteitä tiivistettäessä dynaamisen tiivisteiden käyttäminen pätevyys on varmistettava. Tiivistettävä neste pääsee nimittäin kosketuksiin ilman kanssa, sillä tiivistin ratkaisu on avoin. Pumpattavan nesteen tulee olla myös sen kiehumispisteen alapuolella ja sallittava tulopaineen arvo taas riippuu tiivistimen pyörimisnopeudesta ja apujuoksupyörän halkaisijasta. (Kanto 2019, 17)

4.2 Punostiivisteet

Punostiiviste on erittäin vanha tiivisteratkaisu. Punostiivisteet valmistetaan kasvi-, grafiitti- tai lasikuidusta sekä synteettisestä kuidusta. Punokset on yleensä kyllästetty täyteaineella, joka toimii myös voiteluaineena. Kyllästysaineena voidaan käyttää esimerkiksi öljyä tai rasvaa. Punostiivistykseen, jota kutsutaan myös poksiksi, kuuluu 3-8 punosrengasta. (Vilppola 2018, 14)



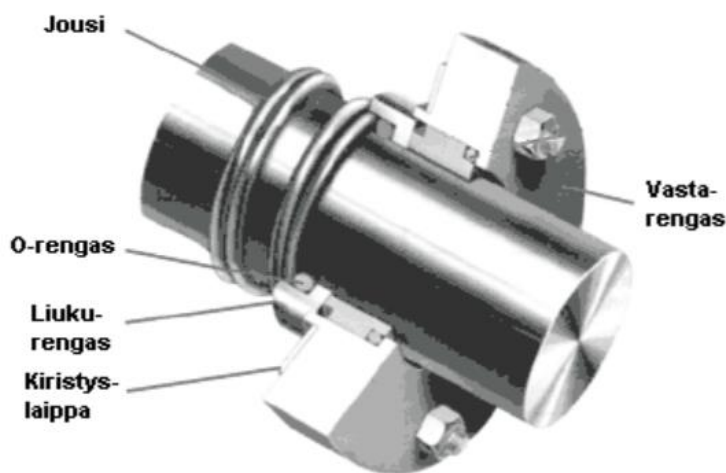
Kuva 4. Pellavapohjainen punostiiviste kolmella punoksella (Klinger 2021, K1 punostiiviste)

Punostiiviste on sinällään halpa ratkaisu, sillä punostiivisteiden asennus ja huolto on helpompaa kuin esimerkiksi mekaanisen tiivisteiden. Mekaaniseen tiivisteiden huoltoon verrattuna pumppua ei tarvitse purkaa. Punostiivisteelle ja sen toiminnalle pieni vuoto on

tärkeää. Pienen vuodon ansiosta tiivistettävä neste voitelee ja jäädyttää tiivistettä ja estää poksia hajoamasta. Vaikka punostiivisteet ovat helppoja asentaa ja huoltaa, niissä on kuitenkin omat haasteensa Tiivisterikko tai tiivistyksen jälkikiristyksen tekemättä jättäminen johtaa vuodon suurenemiseen, joka taas laimentaa prosessiin pumppattavaa nestettä. Punostiivisteet eivät myöskään ole kovinkaan pitkäikäisiä, mikä taas johtaa lisääntyneeseen huollon ja kunnontarkkailun tarpeeseen ja varaosien hankintaan. Hajotessaan asennusvirheherkät punostiivisteet vaurioittavat myös akselin ja akseliholkin pintaa, joiden uusiminen on kallista. (Vilppola 2018, 15)

4.3 Mekaaniset tiivisteet

Laajan käyttöalueen ja erilaisten sovitteiden ansiosta mekaanisen tiivisteiden käyttö pyörimisliikkeen tiivistäjänä on erittäin yleistä. Mekaaninen tiiviste takaa turvallisen toiminnan vaativissakin pumppausolosuhteissa. Keskipakopumpuissa mekaaninen akselitiiviste eli liukurengastiiviste on käytetyin malli akselitiivisteistä, koska se sopii erilaisten sovitteiden ansiosta moneen käyttöön. Liukurengastiivisteessä on yksinkertainen rakenne ja se on kustannustehokas, eikä se kuluta pumpun akselia tai holkkia. Näin säästytään kalliilta huollonpiteiltä. (Saku 2019, 16)



Kuva 5. Yksitoiminen liukurengastiiviste. (Goulds Pumps 2007.)(Peltola 2007, 9)

Mekaanisen akselitiivisteiden rakenne koostuu kahdesta renkaasta, joista toinen pysyy paikallaan itse tiivisteessä ja toinen rengas pyörii pumpun akselin mukana. Tiivisteessä olevan nestepaineen ja jousen avulla nämä kaksi rengasta hankaavat toisiaan vasten.

Hankauksen takia mekaanisessa tiivisteessä pumpattava neste jäädyttää tiivisterenkaita; siksi liukurengastiiviste vuotaa aina hiukan. Mekaanista tiivistettä voidaan jäädyttää myös ulkopuolisen tiivisteveden avulla. Mekaanisen tiivisteiden etuina ovat edullisuus ja käyttövarmuus, soveltuminen vaikeimpiinkin käyttökohteisiin tai olosuhteisiin ja pieni pumpulta ottava tehohäviö. (Saku 2019, 17)

4.4 Vesipoksi

Akselitiivisteiden jäädyttämiseen ja voiteluun käytetään yleisesti John Cranen tiivistenestejärjestelmiä. Akselitiivisteiden voitelu on järjestettävä siten, että tiivisteellä on aina voiteluainetta pumpun toimintapisteestä huolimatta. Akselitiivisteelle virtaavan nesteen määrän pitäisi olla noin 3 litraa minuutissa ja paineen vähintään 2 bar:ia suurempi tiivistettävään tuotteeseen verrattuna. Kuivakäynti, josta on usein merkinä vinkkuääni, aiheuttaa ylikuumentumista ja naarmuuntumista, mikä johtaa tiivisteiden voutamiseen tai tiivisteiden lyhentyneeseen käyttöikänsä. Sulzerin pumppuoppaan mukaan tiivistenesteessä olevien partikkelien tulisi olla kooltaan maksimissaan 50 µm ja kiintoainemäärä tiivistenesteessä saa olla 2 enintään mg/l. (Sulzer käyttäjän käsikirja 2020, sivu ISO G)



Kuva 6. Tiivistevesijärjestelmän rakenne. (Tecnika Industriale, John Crane smartflow)

Kuvassa (6) on Elektrolyysitehtaallakin käytössä oleva John Cranen Smartflow järjestelmä. Voiteluvesi syötetään aukinaista venttiiliä pitkin tiivisteelle, josta ylijäämävesi valuu pois esimerkiksi kaivoon, kuvassa tämä on havainnollistettu suppilolla. Voitelunesteen painetta ja virtausta seurataan rotametrin avulla. Rotametrin avulla siis vesivirtaus kuristetaan tiivisteelle sopivaksi. John Cranen tarjoamat rotametrit ovat esimerkiksi Safeunit™ ja Safeunit™ Ultima nimisiä.



Kuva 7. John Crane Safeunit™ rotametri. (John Crane)

Kuvan (7) rotametrilla asetetaan nesteelle vastalaitteen vaatima paine ja virtaus kahta etummaista painiketta säätämällä. Rotametrin mittausyksikön voidaan puhdistamaan tukkeutuneesta liasta sivussa olevalla painikkeella. Safeunit™ rotametri on valtaosassa kuparielektrolyysin pumpeissa.

5 ELEKTROLYYSIPROSESSIN PUMPUT

Pumppujen selvitys lähti käyntiin kiertämällä hallin kellaria huollon esimiehen Ari-Pekka Kiven kanssa. Halli on sinänsä tuttu paikka minulle, mutta kellarissa oli tullut käytyä hyvin harvoin, enkä ollut juurikaan kiinnittänyt huomiota, missä pumpput sijaitsevat. Kartoitimme Kiven kanssa alussa pumppujen potentiaalisia paikkoja, ja lopun selvityksen pumpuista suoritin itse.

Pumppujen etsiminen ja kartoittaminen alkoi tammi- helmikuun vaihteessa. Suurin osa pumpuista löytyi helposti kulkemalla kiertoliuossäiliöltä toiselle. Pumppujen toimipaikkoja ja tehtäviä jouduin välillä hieman enemmän selvittämään, sillä osasta pumppujen hätäkytkimiä puuttui laitteen toiminimi ja muut yleiset tiedot. Tarvittavat tiedot saatiin seuraamalla putkilinjoja sekä katsomalla prosessin seurantaohjelmasta, Wedgestä. Hallin puolelta pumppuja löytyi yhteensä 100 kpl, joista poksivettä käyttäviä 40kpl. Jalometallin puolelta löytyy muutama pumppu lisää, mutta ne ovat käynnissä vain panostuksen ajan, esimerkiksi kuparireaktoripumppu on käynnissä noin 15 min päivässä. Elektrolyysin ja Jalometallin pumpput löytyvät liitteistä (1).

5.1 Pumpusto

Jokaisesta kiertoliuossäiliöstä lähtee kaksi syöttöpumppua, jotka on kytketty rinnan. Vain toista pumppua käytetään toisen ollessa huollossa. Pääsääntöisesti poksiveden hana on suljettuna pumpun huollon ajan. Tiivistevesilinjat on suljettava käsin, sillä linjastoon ei ole asennettu magneettiventtiiliä, joka sulkeutuisi pumpun pysähtyessä.

Jokaiseen kiertoon tehdään myös lisäaineet. Lisäainepumppuja on kaksi kappaletta. Lisäaineet syötetään aina vuorokauden välein. Sillä välin, kun toinen lisäainepumppu pumppaa toisesta kattilasta lisäainetta kiertoon, pestään ja täytetään toinen lisäainekattila valmiiksi seuraavaa päivää varten. Kiertosäiliöihin liittyy myös sekoituspumppu sekä poistopumppu. Poikkeuksena 1. kierrosta poistopumpun puuttuminen, jota ei tarvita, koska rikkihapposäiliöt ovat aivan vieressä. 6. kierrossa ei ole ollenkaan sekoituspumppua, sillä 5. ja 6. kiertoliuossäiliön välissä sijaitsee kaksi siirtopumppua.

Jokaisella kierrolla on myös oma liejukaivonsa. Liejukaivoilla 1-4 on jokaisella kaksi liejukaivopumppua. Liejukaivosta 5 eteenpäin pumppuja on vain yksi. Sivukaivopumppuja löytyy kaksi kappaletta. Molemmat sivukaivopumput sijaitsevat 7. liuoskierron alueelta. Hallin kellarista löytyy myös 13 lattiakaivoa, joihin kaikkien pumppujen myös liejukaivopumppujen poksivedet johdetaan. lattiakaivosta vedet pumpataan varastosäiliö 2:een.

Lisäksi kellarista löytyi pumppuja, jotka tuskin ovat kierrossa enää käytössä. Osaan näistä pumppuja johdettiin silti poksivettä, noin 2-4 dl/min. Sulkemalla tai poistamalla turhat voitelulinjat vältetään turhat hävikit.

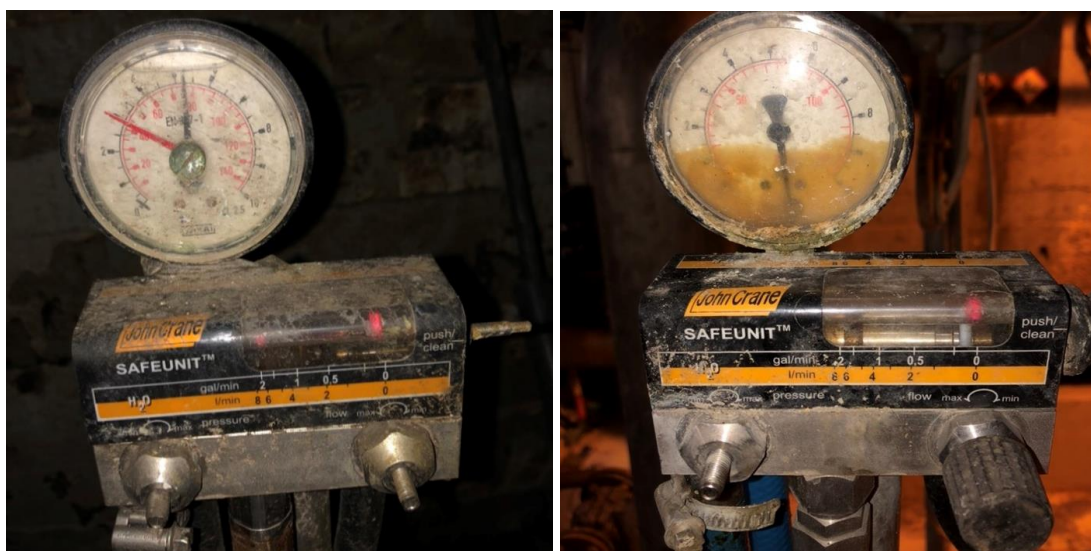
5.2 Poksiveden mittaukset

Poksivesien mittaukset aloitettiin 1. päivä helmikuuta. Olin jo aikaisemmin pumppujen laitepaikkoja selvittäessäni katsellut poksivesiä silmämääräisesti. Poksiveden mittaukset suoritettiin 1-2. helmikuuta, 7-8. helmikuuta ja 10. helmikuuta. Virtausmäärien tarkkailu jatkui vielä maaliskuun puolelle, jolloin suoritettiin pistemittauksia. Mittauksessa käytettiin litran mittaa, josta näki desilitroitain veden määrän.



Kuvat 8 ja 9. Poksiveden mittaustapahtuma litran mittauskannua käyttäen. Kuvat: Boliden Harjavalta

Kuvissa (8 & 9) on työssä käytetty mittauskannu. Kuvat on otettu samalta pumpulta. Ensimmäinen kuva on otettu 7.2, jossa virtaus on 5 dl/min. Toinen kuva on otettu 10.2, jolloin virtaus on ollut vain vajaa 2 dl/min. Tarkkaa syytä poksiveden vähenemiselle en täysin tiedä. Mahdollisesti pumppuhuollon tekemä rotametrin kuristus, lian tukkeutuminen tai tiivisteiden vuotaminen. Akselitiivisteiden pieni molemmin puolinen vuoto on tiivisteiden ominaispiirre, mutta rotametrien epätarkkuuden takia tiivisteiden kautta vuotavan veden määrää kiertoon on mahdoton määrittää. Voidaan kuitenkin olettaa, että pientä vuotoa tapahtuu. Tiivisteiden rikkoutuessa paine putoaa ja tällöin vuotoa aiheutuu huomattavasti enemmän.



Kuvat 10 ja 11. Hallin pumppujen rotometrejä. Kuvat: Boliden Harjavalta

Mittauksia vaikeutti rotametrien huonokuntoisuus. Suuri osa rotometreistä oli humusta ja likaa täynnä, eikä puhdistaminkaan auttanut. Suodatuksen ollessa rikki pumpattava jokivesi kerryttää rotometriin likaa ja humusta tukkien veden virtauksen rotometrissa. Keskustellessani huollon kanssa selvisi, että hallin puolen pumppujen voiteluv veden virtausta pidetään tarkoituksella alhaisella, jotta vesitase ei horjuisi kierrossa liikaa. Likainen ja vähäinen poksiveden käyttö taas saattaa kuluttaa akselitiivistystä, joka johtaa lisääntyneeseen huollon tarpeeseen. Suodatuksen puuttuminen lisää veden mukana tulevien epäpuhtauksien määrää kiertoon. Tiivisteiden kunnonvalvontaa vaikeuttaa virtaus- ja paineantureiden puuttuminen. Tällä hetkellä rikkoutuneesta tiivisteestä ei saada minkäänlaista hälytystä tietokantaan vaan rikkoutuminen on havaittava paikan päällä.

Poksivettä käyttävien pumppujen lukumäärä hallin puolella on 40. Voiteluveden määrän vaihtelun takia tarkkaa arvoa on vaikea määrittää, mutta mittausten mukaan voiteluvettä valui pokseista ulos 3-7 dl/min. Keskiarvona yhdeltä pumpulta johdetun voiteluveden määränä voidaan pitää 5 dl minuutissa. Poikkeuksena uudisrakennettu 7. kierto, jossa vesimäärät olivat hieman suurempia, esimerkiksi toisen sivukaivopumpun tiivisteveden virtaus oli 2,8 l/min.

Tiivisteiden läpi pääsevää vettä selvitin maaliskuussa pistemittauksin. Mitatut arvot olivat noin 1 dl/min vähemmän kuin rotametrin virtausmittarin mukaan. Rotametreissä virtausasteikko on epätarkka, joten selvittäminen on hieman hankalaa. Laitevalmistajien mukaan ehjän tiivisteiden läpi pitäisi päästä kuitenkin vain millilitroja minuutissa. Tiivisteellä ja pinnoilla tapahtuu haihtumista, joka voi selittää myös pienen heiton mittarissa ja mittauskannun välillä.

Mutta kuten mittauksista nähdään, voiteluveden määrä on huomattavasti pienempi kuin Sulzerin pumppuoppaan sekä John Cranen ohjeen mukainen 3 l/min. Tällä hetkellä veden säästö on silti ymmärrettävää ja jopa kannattavaa. Veden haihduttamiseen kuluvan energiahävikin määrä saadaan näin pysymään huomattavasti pienempänä. Viileä poksivesi aiheuttaa kiertävälle liuokselle joka tapauksessa myös lämpöhäviötä. Lisää liuoksen lämmittämiseen ja veden haihduttamiseen kuluvasta energian määrästä seuraavassa kappaleessa.

6 ENERGIAHÄVIÖT

Poksiveden pääseminen kiertoon aiheuttaa kahdenlaista energiahävikkiä. Ensimmäinen energiahävikki johtuu veden lämpötilasta. Viileä poksivesi, jonka lämpötila on n. 20 °C-asteista, jäädyttää 65 °C-asteista kiertoliuosta, mikä lisää liuoksen lämmitystarvetta. Toinen energiahävikki syntyy liuoksen laimenemisesta, jolloin ylimääräinen vesi on poistettava kierrosta. Tällä hetkellä veden poistaminen onnistuu ainoastaan altaiden kautta, jolloin haihdutus itsessään sekä haihdutettava vesi vievät mukanaan ison osan lämpöä ja energiaa. Haihdutettavaa vettä ei myöskään pystytä ottamaan talteen, vaan se poistuu poistopuhaltimien kautta ulos ja osakseen rännin kautta takaisin kellarin ja lattiakaivon kautta jälleen haihdutettavaksi.

Koska täysin tarkkaa määrää tiivistevedelle on mahdoton määrittää, lasketaan häviöille mitatun keskiarvon mukaan minimiarvo eli 5 dl/min pumppua kohden. Lasketaan myös arvio, johon lisätään kellarista löytyneiden vuotolinjojen vesimäärät sekä ränniä pitkin palaava lauhtunut haihdutusvesi. 40 vesipoksillista pumppua kuluttaa siis yhteensä 20 litraa tiivisteveettä minuutissa. Arvio, johon lasketaan mukaan vuotolinjat ja rännivedet, voidaan arvioida kokonaisuudessaan 5 l/min suuremmaksi eli vaihteluväli on tällöin 20 – 25 l/min

Vettä pääsee prosessiin siis 1200 litraa eli 1,2 m³ tunnissa. Vuorokaudessa haihduttamistarve on tällöin 28,8 m³ ja vuodessa jopa tasolla 10 500 m³.

6.1 Lämmittämiseen kuluva energia

Vettä lämmittäessä sitoutuu siihen lämpömäärä ΔQ , joka saadaan kaavasta (6.1)

$$\Delta Q = c m \Delta t \quad (6.1)$$

, jossa c = veden ominaislämpökapasiteetti, kJ/kg °C

m = veden massa, kg/s

Δt = veden lämpötilaero °C

Käytetään 0,333 kg/s massavirtaa sekä 65 °C asteisen kiertoliuoksen ja 20 °C asteisen poksiveden lämpötilaeroa

Lämpöhäviötä syntyy:

$$\Delta Q = 0,333 \text{ kg/s} * 4,2 \text{ kJ/kg} * 45 \text{ °C} = \mathbf{63 \text{ kW}}$$

Vuorokaudessa tämä tekee **1512 kWh** ja vuodessa **552 000 kWh = 552 MWh**

6.2 Höyrystymiseen kuluva energia

Aineen höyrystämiseen tarvittava energia E voidaan laskea kaavalla (6.2)

$$\dot{q} = r \dot{m} \quad (6.2)$$

, jossa r = ominaishöyrystymislämpö kJ/kg

\dot{m} = aineen massa kg/s

Käytetään 0,333 kg/s massavirtaa sekä 65 °C asteisen veden höyrystymisentalpiaa.

Höyrystymishäviötä syntyy:

$$\dot{q} = 0,333 \text{ kg/s} * 2346 \text{ kJ/kg} = \mathbf{782 \text{ kW}}$$

vuorokaudessa vastaava höyrystymishäviö olisi: **18 768 kWh**

vuodessa häviö olisi peräti tasolla: **6 850 320 kWh = 6 850 MWh**

6.3 Häviöiden aiheuttamat kustannukset

Lämpöhäviötä syntyy 63 kW ja höyrystymishäviötä 782 kW. Yhteensä tiivisteveden aiheuttamaa energiahäviötä syntyy siis 845 kW.

Rännivedet ja muut erillisvuodot (n. 5 L/min) lisäävät häviötä tasolle 1014kW.

Suuren energiankäytön takia Elektrolyysitehtaan maksama kaukolämmön eli prosessihöyryn hinta on kuitenkin alhainen. Käytetään energian hintana 5 snt/kWh. (Tilastokeskus 2020)

Kustannuksia syntyy:

Tunnissa: $0,05 \text{ e/kWh} * 845 \text{ kWh} = \mathbf{42,25e}$

Vuorokaudessa: **1 014e**

Vuodessa: **370 110e**

Vuodessa poksivesistä koituu vähintään 370 000e häviöt. Summa on siis hyvinkin merkittävä ja ongelman poistamiseksi on nyt oikea aika ryhtyä. Voidaan myös huomioida, että summa on absoluuttinen miniarvo. Häviöihin on laskettu mukaan vain pumpuista mitatut ulos tulevat poksivedet eli 20 l/min. Häviöiden määrä voi olla hyvinkin paljon enemmän, jopa 1,2–1,5-kertainen, jos mukaan lasketaan erillisvuodot ja rännejä pitkin palaava lauhtunut vesi.

Kyseistä summaa eli 370 000e, käytetään ratkaisuehdotuksien takaisinmaksuajan laskeamisessa.

7 KEHITYSMAHDOLLISUUDET

Tällä hetkellä ylimääräistä vettä pystytään poistamaan ainoastaan avonaisilla altailla haihduttaen. Avonainen haihdutus on menetelmistä yksinkertaisin, mutta valitettavasti myös tehottomin. Tavanomainen yksivaiheinen haihdutin kuluttaa primäärienergiaa, eli höyryä, yhtä paljon, kuin liuoksesta haihdutetaan. Kuten aiemmista energiahäviölaskusta nähdään, lämpöhäviöistä ja liuoksen esilämmityksestä johtuen höyryn tarve on hieman jopa suurempikin. Veden höyrystämiseen kuluu siis valtavasti energiaa. Toki, tämä sama energiamäärä vapautuu höyryn lauhtuessa, mutta lauhtuessa syntyvää energiaa ei avonaisella haihdutuskierrolla pystytä kuitenkaan hyödyntämään.

Ylimääräisen veden, tässä tapauksessa pumppujen tiivistevesien aiheuttamaa teho- tonta haihduttamista voidaan kuitenkin parantaa tai jopa ehkäistä monin eri tavoin. Liuospuhdistamon puolella ongelma on jo ratkaistu siten, että poksivedet kerätään talteen ja pumpataan takaisin jokeen. Ratkaisu on ilmeisin ja mahdollisesti myös tehok- kain. Ratkaisulla on kuitenkin omat haasteensa. Liuospuhdistamo on alueena suhteel- lisen kompakti. Hallin haittapuolena on sen laajuus. Vesiä olisi kerättävä 400 metrin matkalta, jolloin putkistolle tulisi huomattava määrä mittaa ja pumppuja saatettaisiin tarvita useita. Lisäksi tiivistevuodoille tarvittaisiin vielä erilliset valvontalaitteet.

7.1 NonFlow Sulkunestelaite

Tiivistetekniikka Oy tarjoaa NonFlow sulkunestelaitteen, jota käyttämällä voidaan ko- konaan luopua ulkoisesta tiiviste- ja voiteluvedestä. Laitteen toiminta perustuu saman tiivisteveden kierrättämiseen tiivisteessä. Vettä kuluu käytössä ainoastaan millilitroja. Vuodessa vedenkulutus on maksimissaan 50 litraa. Koska veden tarve on hyvin pieni, voidaan tiivistevetenä käyttää mahdollisimman puhdasta vettä. Tekniikka evää myös ulkoisten partikkeleiden pääsyn tiivisteveden sekaan. Tällä tekniikalla säästetään en- nen kaikkea vedenkulutuksessa, pumppauksessa ja raakaveden mahdollisessa suoda- tuksessa. Puhdas tiivistevesi edesauttaa myös itse tiivisteiden pitkäikäisyyteen. Lait- teessa oleva painekku tasaa tiivistevesilinjan paineen vaihtelut. Esimerkiksi jos tiivis- tevesilinja tukkeutuu, pitää painekku sulkunesteen paineistettuna jopa päivien ajan. (Sippel D. 2021, Tiivistetekniikka Oy 2021)



Kuva 13. NonFlow sulkunestelaite. (Tiivistetekniikka Oy)

NonFlow™-järjestelmä lisää siis tiivisteiden käyttövarmuutta. Laitteen avulla myös kunnonvalvonta helpottuu ja tiivisteellä tapahtuvat vuodot saadaan kuriin. Laitteeseen on asennettu takaiskuventtiili, joka pitää tiivistevesilinjan paineen tasaisena tiivisteellä. Takaiskuventtiili aukeaa ainoastaan, jos tiivisteveden määrä kierrossa vähenee. Takaiskuventtiili ei myöskään altista tiivistettä mahdollisille linjassa tapahtuville paineiskuille. Laitteeseen on mahdollista asentaa paine- ja virtausanturit. Virtausanturin avulla tiivistystä pystytään valvomaan. Kun virtausanturille tulee virtaus, tiedetään tiivisteellä olevan letkurikko tai tiivisteiden itsessään vuotavan. (Sippel D. 2021)

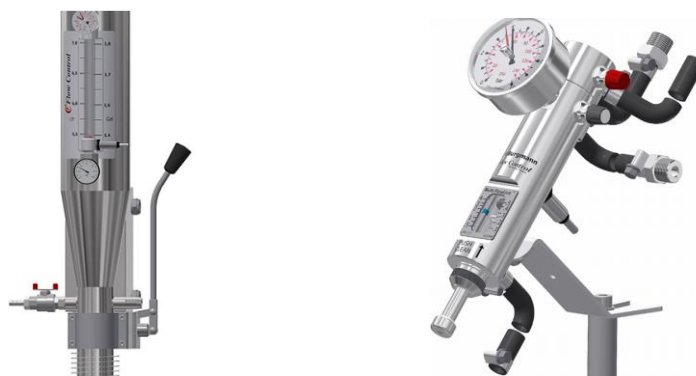
NonFlow sulkuneste-järjestelmää ei sovellu käytettäväksi pumppuihin, jotka pumpaavat yli 100C ja 8bar liuosta/tuotetta. Laite kestää siis 10barin paineen, sillä riittää kun sulkunesteessä on 2baria ylipainetta verrattuna pumpattavaan liuokseen/tuotteeseen. NonFlow sulkunestelaitteen hinta on karkeasti noin 800 euroa. Jokainen pumppu vaatii oman sulkunestelaitteen. Lisäksi laite vaatii toimiakseen Tiivistetekniikan oman liukupoksi-tiivisteiden. Anturit ovat lisävarusteena eivätkä kuulu hintaan. Antureiden asentaminen helpottaisi kunnonvalvontaa huomattavasti. (Sippel D. 2021)

Jos kaikkiin 40 vesipoksilliseen pumppuun asennettaisiin NonFlow sulkunestelaite, kertyisi hinnaksi 32 000e, paine- ja virtausantureiden kanssa mahdollisesti hieman enemmän. Haihdutustarpeen vuorokausikohtainen energiahäviö on 1014e, joten sulkunestelaitteet maksaisivat itsensä takaisin lähes kuukaudessa. Työtä tehdessä selvisi, että Liuospuhdistamoon on juuri asennettu yksi NonFlow laite testiin. Mikäli laite on todettu toimivaksi, olisi niiden asentaminen luontevaa myös Elektrolyysin puolelle.

7.2 SealCooler™ Termosifonijärjestelmä

Flow Control Oy on suomalainen paperi-, sellu- ja kemianteollisuudelle sekä alan laitevalmistajille virtausmittareita ja kiertovoitelujärjestelmiä valmistava yritys. Heidän tarjoamaa SZ8 SealCooler termosifonijärjestelmää on toimitettu paljon esim. Sulzerille. Se on toiminnaltaan hyvin samantyyppinen kuin Tiivistetekniikan tarjoama Non-Flow sulkunestelaite. Myös SealCoolerin avulla ulkoisesta tiivistevedestä pystytään irtautumaan kokonaan, jolloin säästöt ovat samat kuin NonFlow sulkunestelaitteella.

Järjestelmän nestepintojen korkeuserot tiivistellä sekä termosifonijärjestelmässä ovat perinteistä järjestelmää suuremmat. Järjestelmä on kokonaisuudessaan n. 2 m korkea. Tämä parantaa luonnollista kiertoa järjestelmässä. Lisäksi tiivisteliityntöjä ja letkujen halkaisijoita on kasvatettu suuremmiksi parantaen tiivisteiden jäähdytystehoa ja vähentäen tukkeutumisvaaraa järjestelmässä. SealCoolerissa on myös itsessään virtauksen vuodonilmaisin, joka ilmaisee vuodon joko tuotteeseen tai ulos. Vuodonilmaisin on todella herkkä, sillä tiivisteiden vuotaessa jo n. 0,1 litraa, alkaa vuodonilmaisimessa näkymään punainen merkkikuula. Vuodon lisääntyessä lopuksi n. 1 l/min. kuula on ns. katossa. SealCoolerin etuna on sen soveltuvuus useammalle tiivisteelle. Laitteen hinnoittelu tulee kysyä erikseen Flow Control:ta (Huhtala T. 2021)



Kuvat 14 ja 15. SealCooler ja Multi FlowUnit™. (Flow Control Oy)

Flow Control Oy tarjoaa myös kuvassa (15) nähtävän Multi FlowUnit™ tiivisteveden virtausmittarin/valvontalaitteen, jolla pystytään havaitsemaan tiivisteiden vuotaminen. Mikäli poksivedet päädyttäisiin lopulta keräämään Liuospuhdistamon tavoin talteen, voisi Multi FlowUnit™ tällöin toimia nykyisten rotametrien apuna pelkkänä tiivisteiden vuotovahtina ilman säätöventtiiliä tai painemittaria. (Huhtala T. 2021)

7.3 Magneettivetoinen keskipakopumppu

Poksiveden käyttö on täysin vältettävissä, mikäli pumppujen laitekantaa päädyttäisiin uudistamaan. Magneettivetoinen keskipakopumppu saattaisi olla oiva vaihtoehto. Tiivistetön eli magneettivetoinen pumppu ei ole enää mikään uusi keksintö, mutta sen kehitys on edennyt suurin harppauksin viimeisen 10-15 vuoden aikana. Magneettivetoisia pumppuja pystytään käyttämään lähes kaikkiin puhtaiden nesteiden pumppaamiseen. Partikkeleita sisältäviä nesteiden pumppaaminen onnistuu myös, joskin rajoitetusti, ja tällöin pumput ovat erikoismallisia ja suunniteltu käyttökohdetta varten. Magneettivetoisia pumppuja käytetään kohteissa, joissa pumpattava liuos on ympäristölle ja käyttäjille vaarallista, haitallista tai ärsyttävää. Esimerkiksi BPI-Chempumps tuotepäälükön Joni Nordströmin mukaan heidän tarjoamilla magneettivetoisilla keskipakopumppuillaan 93 % rikkihappoliuoksen pumppaaminen onnistuu, kunhan valikosta valitaan vain oikeanlainen kohteeseen soveltuva pumppu. (Nordström J. 2021)

Magneettivetoisen keskipakopumpun toiminta perustuu siihen, että pumpun pesän takapää on erotettu ympäristöstään niin sanotulla takapesällä. Pumppu ei siis sisällä minikäänlaista akselitiivistettä. Pumpussa sähkömoottori pyörittää magneetikytken ulkomagneettia, joka pyörii moottorin mukaista pyörimisnopeutta. Pumpun sisäiseen, juoksupyörää pyörittävään akseliin asennetaan niin sanottu sisämagneetti, joka pyörii samaa nopeutta kuin ulkomagneetti. Juuri tätä sisä- ja ulkomagneetin yhdistelmää voidaan kutsua magneetikyttimeksi. (BPI-Chempump Oy 2021)



Kuva 16. Magneettivetoinen pumppu. (M Pumps, magnetic drive pump)

Pumppuun asennetaan myös aiemmin mainittu takapesä, joka toimii nesteen rajoittavana elementtinä. Takapesä tekee pumpusta vuotamattoman. Takapesä asennetaan sisä- ja ulkomagneetin väliin. Vaikkakin takapesä aiheuttaa hieman magneettihäviöitä, niin se ei silti vaikuta pumpun pyörimisnopeuteen, vaan tämän vaikutus heijastuu lähinnä moottorin teholliseen mitoitukseen. Tästä syystä magneettivetoisessa pumpussa saattaa joissakin tapauksissa joutua valitsemaan hieman isomman sähkömoottorin, jos verrataan akselitiivisteellisen. Tämä johtuu juuri magneettikytkimen tehohäviöstä. (Nordström J. 2021)

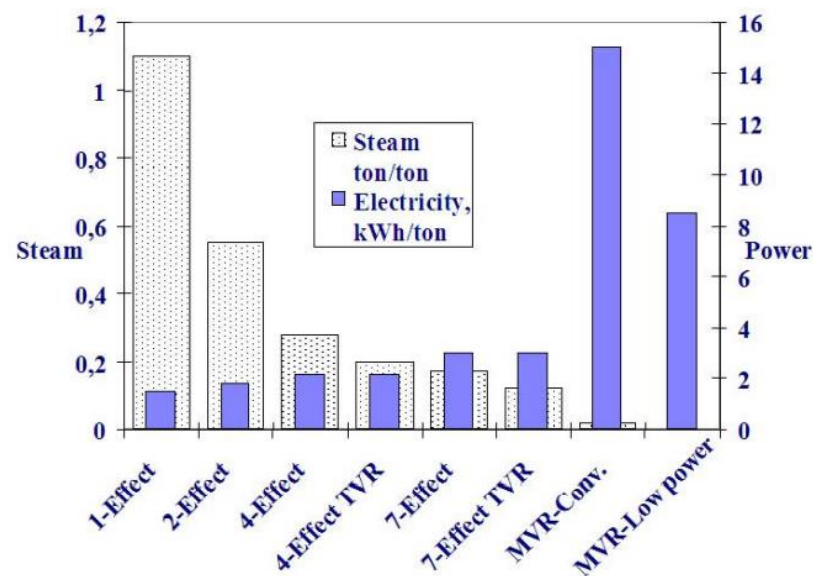
Käyttökustannuksia miettiessä magneettivetoinen pumppu osoittautuu tiivisteellistä halvemmaksi vaihtoehdoksi. Magneettivetoisen pumpun hankintahinta on noin 15% korkeampi kuin akselitiivisteellisen, johtuen juuri magneettikytkimen hinnasta. Käyttö- ja huoltokustannuksiltaan magneettivetoinen taas on akselitiivisteellistä huomattavasti halvempi. Säästöjä tulee mm. tiivisteiden vaihdosta, tiivistevedestä sekä sen pumppaamisesta ja raakaveden mahdollisesta suodatuksesta. Edellä mainitut kustannuserät voidaan poissulkea magneettivetoisen pumpun tarpeista. Magneettivetoisessa pumpussa joutuu lähinnä vaihtamaan liukulaakereita, jotka nekin nykyaikaisen kehityksen myötä kuluvat hyvin harvoin. Kehityksen myötä suurin osa magneettivetoisista pumpuista pystytään toimittamaan ns. lyhytrakenteisina. Lyhytrakenteisuus sitä, että juoksupyörä on saatu tuettua hyvin läheltä. Lyhytrakenteista pumppua ei tarvitse linjata moottorin kanssa, vaan pumppu on moottorin kanssa kompakti paketti. Magneettivetoisen pumpun asennustavoille ja -kohteille jää tällöin myös enemmän vaihtoehtoja. (Nordström J. 2021)

Magneettivetoisille pumpuille ei pystytä tässä määrittämään tarkkaa hintaa, koska laiteoimittajan olisi käytävä tehtaalla suunnittelemassa oikeanlaiset pumput käyttötarkoituksiin. Takaisinmaksuajasta voidaan kuitenkin todeta sen verran, että vuotuisella energiahäviöllä eli 370 000e luultavasti korvattaisiin vesipoksilliset pumput kokonaan magneettivetoisiksi. Kuten aiemmin on todettu, käyttöönoton jälkeen magneettivetoisilla pumpuilla vältettäisiin tiivisteveden käyttö kokonaan, jolloin säästettäisiin sekä suodatus että pumppauskuluissa

7.4 Haihdutus alipaineistamalla

”Haihdutusteknologian kehityksessä energiantarpeen vähentäminen on ollut tärkeässä asemassa. Veden höyrytämiseen kuluu siis valtavasti energiaa, mutta onneksi sama energiamäärä vapautuu höyryn lauhtuessa. Tämän lämmön hyödyntämiseksi on kehitetty useita menetelmiä, kuten monivaihehaihdutus (ME), termokompressorihaihdutus (TVR) ja mekaaninen höyryn komprimointi (MVR).

Haihduttimen investointikustannus on yleensä korkea, johtuen ensisijaisesti siitä, että lämmönsiirtopintana joudutaan käyttämään kalliita materiaaleja korroosion hallitsemiseksi. Tämä on rajoittanut haihdutuksen laajempaa käyttöä esimerkiksi jätevesien käsittelyssä, jossa klorideja usein on läsnä.” (Ramm-Schmidt L. & Holmberg H. 2017)



Kuva 17. Haihdutuksen energiankäyttö haihdutintyyppin mukaan.

”MVR-haihduttimessa käytetään kompressoria korottamaan sekundäärihöyryn painetta ja vastaavasti lauhtuslämpötilaa, niin että se saadaan lauhtumaan saman vaiheen lämmityspuolella (lämpöpumppperiaate). MVR-haihdutin ei täten tarvitse yhtään ulkopuolista höyryä käynnistystä lukuun ottamatta, eikä myöskään erillistä lauhtutinta ja jäähdytysvettä. MVR-haihduttimet ovat yleisimmin yksivaiheisia, ja täten ne on helppo ohjata. Energian käyttö (joka MVR:llä on sähkö) voi parhaimmissa matalaenergiahaihduttimissa vastata 100-vaiheista haihdutusta. MVR-haihduttimen investointikustannus on yleensä korkeampi kuin perinteisen ME-haihduttimen, mutta alhaisempi energian käyttö tekee siitä useimmiten kokonaistaloudellisemman. MVR-

haihduttimen haittapuolena voi olla kompleksi kompressori, jonka käyttö ja huolto on vaativaa. Matalaenergiahaihduttimien kohdalla voidaan käyttää puhallintyyppisiä kompressoreita, jolloin ongelma on vähäisempi.” (Ramm-Schmidt L. & Holmberg H. 2017)



Kuva 18. EPCOVAP-MVR haihdutin. (Epcon compact evaporators)

EPCON Evaporation Technology AS on erikoistunut energiatehokkaihin vedenpoistoprosesseihin. Heidän päätuotteenaan ovat mm. energiatehokkaat MVR-haihduttimet, tislauksen- ja dehydratointiyksiköt, teolliset MVR-lämpöpumput, flash-jäähdyttimet, ja SHS-kuivurit. Ajon Apu Oy edustaa Eponia Suomessa ja Baltian maissa. Kuvassa (16) EPCOVAP-MVR haihdutin, josta löytyy 6 eri koko vaihtoehtoa. Haihturin koosta riippuen se poistaa vettä kapasiteetilla 100 – 4000 kg/h, energiankulutuksen ollessa 15 – 50 kWh/t haihdutettua vettä kohden. Ajon Apun vientivastaavan Simo Ajon mukaan MVR-haihdutin, jonka kapasiteetti on 1,5 m³/h maksaa karkeasti arvioiden noin 400 000e. (Epcon 2018, Ajo S. 2021)

Haihduttimen hankintahinta (n. 400 000e) on kallis verrattuna muihin vaihtoehtoihin. Lisäksi 1,5 m³/h kapasiteetin haihturi kuluttaa sähköä noin 20 - 25 kWh. Alipaine menetelmillä saavutetaan normaalisti 80 - 98 % energiansäästö. Haihdutin maksaisi itsensä takaisin reilussa vuodessa, mutta on kenties liian järeä pelkästään poksivesien haihdutustarkoitukseen. Jos prosessista halutaan poistaa jatkossa myös jotain muuta ylimääräistä vettä, voidaan haihduttimen käyttöä tällöin tarkastella.

8 POHDINTAA

Elektrolyysitehtaalta löytyy poksivesi ongelman ohella myös muita haihtumiseen liittyviä tekijöitä. Kiertoliuoksen ollessa 60 - 65 °C asteista tapahtuu altailla myös luonnollista haihtumista. Haihtumista pyritään estämään pitämällä altaat peiteltyinä. Pres-sun kattavuus ja materiaalin tiheys vaikuttavat suuresti veden haihtumiseen.

Veden haihtumisen ollessa keskiössä, tarkasteluun on syytä ottaa mukaan poistoilman lämmön talteenotto eli LTO. Tällä hetkellä kostea lämmin ilma poistetaan huippuimurien kautta ulos. LTO:n avulla haihtuva lämpöenergia pystyttäisiin uusiokäyttämään Elektrolyysitehtaalla esimerkiksi prosessihöyrynä, lauhdevetenä tai muissa prosessin lämmitystarpeissa. LTO järjestelmä olisi myös osana Boliden konsernin vihreiden arvojen tavoittelua. Esimerkkinä energiatehokkaasta poistoilman käytöstä on Advenin Oy:n suunnittelema suljettu kierto Nammon ruutitehtaalle. Suljetun kierron myötä ruutitehtaalla säästetään jopa puolet veden kulutuksessa ja tuotetaan 250 omakotitalon verran lämpöä lähialueen kaukolämpöverkoston. (Adven 2021)



Kuva 19. Elektrolyysialtailta haihtuvaa vesihöyryä. Kuva: Boliden Harjavalta

Liuoksen väkevöintiin ja tehokkaampaan veden suodatukseen olisi mahdollista tarkastella membraanisudatusta. Membraanitekniikka käytetään esim. jätevedenkäsittelyssä ja se jaetaan erotettavan partikkelin koon mukaan mikro-, ultra- ja nanosuodatuksen sekä käänteisosmoosiin. Esimerkiksi käänteisosmoosissa liuos johdetaan puoliläpäisevän kalvon läpi osmoottisesti väärään suuntaan eli väkevämmästä liuoksesta laimeampaan. Vesi erottuu kalvon läpi ja muu liuos jatkaa konsentraattina. Materiaalipintoja kuluttava happo saattaa kuitenkin olla liemen väkevöinnin estävänä tekijänä.

9 YHTEENVETO

Lopputuloksena voidaan todeta, että poksivedet ovat tehtaalle merkittävä kuluerä. Mitatuilla poksivesien määrillä energiahäviötä syntyy vuodessa 7 402 MWh, mikä tarkoittaa tehtaan maksamalla energian hinnalla 370 000 euron vuotuisia kuluja. Kuluja syntyy mahdollisesti vielä enemmän, koska osa haihdutetusta vedestä palaa lauhtuesaan ränniä pitkin takaisin prosessiin. Poksivesien virtauksen säätöä tapahtuu koko ajan, joten haihdutettavan veden määrä vaihtelee prosessissa aina virtauksien mukaan. Lisäksi rotametrien huonokuntoisuus sekä virtaus- ja paineanturien puuttuminen vaikeuttavat kunnonseurainta, mikä altistaa lisääntyneille tiivistevuodoille.

Parannusehdotuksia poksivesien aiheuttamalle ongelmalle löytyi useita. Parannusehdotukset ovat toisistaan erilaisia ja niiden paremmuutta voidaan tarkastella halutunlaaisesti. Tiivistetekniikan ja Flow Control:n tarjoamat sulkunestelaitteet kuluttavat tiivistevettä vain murto-osan nykyisestä ja estävät täysin veden pääsyn prosessiin. Laitteiden asennus poksivesillisiin pumppuihin onnistuisi nopeasti ja esim. Tiivistetekniikan sulkunestelaite maksaisi itsensä takaisin reilun kuukauden kuluessa. Mikäli pumppukantaa päädyttäisiin uusimaan, tilalle olisi mahdollista tarkastella magneettivetoisia pumppuja. Magneettivetoisilla pumpuilla poksiveden käytöstä pystytään irtautumaan kokonaan, jolloin säästöä kertyy tiivistevedestä, sen pumppauksesta ja suodatuksista sekä itse tiivisteiden vaihdosta. Näin ollen magneettivetoisen pumpun elinkaarikustannukset olisivat kokonaisuudessaan halvemmat kuin tiivisteellisen pumpun.

Alipaineistaminen ja membraanisuodatus ovat ainoita keinoja, joilla liuosta pystytään väkevöimään. Membraanitekniikan soveltuminen itse rikkihappoliuoksen väkevöintiin on epävarmaa, mutta veden suodatuksen parantamiseen tekniikka olisi hyödyllinen. MVR-haihduttimella taas olisi mahdollista väkevöidä liuosta muidenkin kuin vain poksivesivuotojen osalta. Haihduttimen hinta on kuitenkin moninkertainen muihin vaihtoehtoihin verrattuna, joten sen sopivuutta on syytä tarkastella.

Itse päätyisin valitsemaan NonFlow- tai SealCooler laitteistojen asentamisen tai mahdollisen tiivisteveden keruuverkoston rakentamisen. Sulkunestelaitteiden etuna olisi helppo asennus ja anturit, joiden avulla tiivisteiden vuodot pystyttäisiin havaitsemaan.

Lähdeluettelo

Adven Oy 2021. Suljettu kierto. Viitattu 29.3.2021

[Nammon vedenkulutus puolittui Advenin energiaratkaisulla | Adven](#)

Ajon Apu Oy 2021. Alipainehaihturit. Viitattu 11.3.2021

<http://ajonapu.com/>

Ajo, S. 2021. Epcon Compact Evaporators Suomen Vientivastaava. Henkilökohtainen tiedonanto/sähköposti. 8.3.2021

Boliden Group 2020. Viitattu 3.2.2021

<https://www.boliden.com/>

BPI-Chempump Oy 2021. Magnettivetoinenpumppu. Viitattu 9.2.2021

<https://www.bpi-chempump.fi/pumput/magneettivetoiset-pumput>

Epcon 2018. Compact Evaporators. Viitattu 11.3.2021

https://www.epcon.org/uploads/4/6/3/5/46351051/epcon_products_services_brochure.pdf

Flow Control Oy 2021. SealCooler Termosifoni ja Multi Flow. Viitattu 30.3.2021

<https://flowcontrol.fi/en/front-page/>

Hannelius T. 2019. Virtaustekniikan moodle kurssimateriaali. Viitattu 13.2.2021

Huhtala, T. 2021. CEO, Flow Control Oy. Muurame. Henkilökohtainen tiedonanto sähköposti/Puhelinhaastattelu 28.3.2021

Kanto, J. 2019. Akselitiivistämisestä ja sulkuaineen käytöstä prosessiteollisuudessa. Oulun Yliopisto. Viitattu 28.1.2021

[Akselitiivistämisestä ja sulkuaineen käytöstä prosessiteollisuudessa \(oulu.fi\)](#)

M Pumps 2018. Magnetic drive pump. Viitattu 16.2.2021

<https://industry.mpumps.it/our-career/>

Nordström, J. 2021. Tuotepäällikkö, Pumput, BPI-Chempumps. Sipoo. Henkilökoh-
tainen tiedonanto/Puhelinhaastattelu. 11.2.2021

Peltola, P. 2007. Mekaaninen akselitiiviste ja sen toimintaympäristö keskipakopum-
pussa. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Viitattu 28.1.2021

[https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/36092/Kandi_PPeltola.pdf?se-
quence=1&isAllowed=y](https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/36092/Kandi_PPeltola.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Ramm-Schmidt, L & Holmberg, H. 2017. Kuivatus- ja haihdutusprosessit teollisuu-
dessa. Viitattu 9.3.2021.

Saku, S. 2010. Keskipakopumpun huolto ja korjaus. Satakunnan ammattikorkeakoulu.
Viitattu 28.1.2021

https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/13321/Salla_Saku.pdf?sequence=1

Sippel, D. 2021. Myynti-insinööri, Tiivistetekniikka Oy. Vantaa. Henkilökohtainen
tiedonanto MS Teams palaveri. 11.2.2021

Sulzer käyttäjän käsikirja 2020. Viitattu 29.1.2021

Sulzer pumput. 2020. Viitattu 29.1.2021

<https://www.sulzer.com/fi-fi/finland>

Tecnica Industriale 2010. Vesipoksi. Viitattu 8.2.2021

http://www.tecnicaindustriale.net/seal_support_systems_2.htm

Tiivistetekniikka Oy 2021, NonFlow sulkunestelaite. Viitattu 11.2.2021

<https://tiivistetekniikka.fi/product/nf-go/#tuote>

Tilastokeskus 2020. Energian hinta. Viitattu 30.3.2021

<https://www.stat.fi/til/index.html>

Vilppola, V. 2018. Hiomon tiivistevesilinjan kartoitus. Lapin ammattikorkeakoulu.

Viitattu 28.1.2021

[Lapin AMK opinnäytetyön malli \(theseus.fi\)](#)

LIITE 1

ELEKTROLYYSIN JA JALOMETALLIN TIIVISTEVEDELLISET PUMPUT

Alue	Pumppu	Vesipoksi	Laitepaikka	Laitenumero
Jalometalli	Seleenin suodatuspumppu	x	860-20-10-280	23429
	Seleenin kiertoliuospumppu	x	860-20-10-270	23228
	Varastosäiliö 1 Siirtopumppu	x		
	Varastosäiliö 2 Poistopumppu	x	820-30-15-220	
	Vakitointisäiliö 1 pumppu	x		
	Pikatäyttöpumppu	x		
1. kierto	Kiertosäiliöpumppu 1A	x	820-30-10-120	29254
	Kiertosäiliöpumppu 1B	x	820-30-10-140	29255
	Sekoituspumppu	x	820-30-10-150	29577
2. kierto	Kiertosäiliöpumppu 2A	x	820-30-10-220	29714
	Kiertosäiliöpumppu 2B	x	820-30-10-240	29715
	Sekoituspumppu	x	820-30-10-250	29716
	Poistopumppu	x	820-30-10-255	29717
3. kierto	Sekoituspumppu	x	820-30-10-350	29726
	Poistopumppu	x	820-40-10-355	29727
4. kierto	Kiertosäiliöpumppu 4A	x	820-30-10-420	29723
	Kiertosäiliöpumppu 4B	x	820-30-10-440	29734
	Poistopumppu	x	820-30-10-450	29792
	Pikatäyttöpumppu	x	820-30-10-457	
	Siirtopumppu 5-->6	x	820-30-?	
	Siirtopumppu 5-->6	x	820-30-?	
	Tiourea poistopumppu	x	840-30-40-450	
7. kierto	Kiertosäiliöpumppu 7A	x	820-30-10-720	
	Kiertosäiliöpumppu 7B	x	820-30-10-740	
	Sekoituspumppu --> vak. 2	x	820-30-10-750	21171
	Sekoituspumppu --> kiteyttimen s	x	820-30-10-752	21174
	Pikatäyttöpumppu	x	820-30-10-755	21173
Sivukaivot	Sivukaivopumppu 12.1	x	820-40-15-720	21051
	Sivukaivopumppu 13.1	x	820-40-15-760	21052
Liejukavot	Liejukaivo 1 pumppu A	x	820-40-10-140	29927
	Liejukaivo 1 pumppu B	x	820-40-10-160	29928
	Liejukaivo 2 pumppu A	x	820-40-10-240	29933
	Liejukaivo 2 pumppu B	x	820-40-10-260	29934
	Liejukaivo 3 pumppu A	x	820-40-10-340	29935
	Liejukaivo 3 pumppu B	x	820-40-10-360	29936
	Liejukaivo 4 pumppu A	x	820-40-10-440	29937
	Liejukaivo 4 pumppu B	x	820-40-10-460	29938
	Liejukaivo 5 pumppu	x	820-40-10-540	29941
	Liejukaivo 6 pumppu	x	820-25-50-340	
	Liejukaivo 7 pumppu	x	820-40-10-740	