

Janne Haavisto

OIKOSULKUTYÖN KEHITTÄMINEN

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

2019

OIKOSULKUTYÖN HELPOTTAMINEN

Haavisto, Janne
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Marraskuu 2019
Ohjaaja: Nolvi, Leena (SAMK)
Valvoja: Latostenmaa, Petri (Boliden Harjavalta Oy)
Sivumäärä: 27
Liitteitä: 0

Asiasanat: kuparielektrolyysi, katodi, anodi, oikosulku, menetelmä, kehitys

Työn tarkoitus oli pohtia vaihtoehtoisia työmenetelmiä Boliden Harjavallan Porin kuparielektrolyysin oikosulkutyölle. Nykyinen työmenetelmä on fyysisesti raskasta, joten toimeksiantajan puolelta haluttiin selvittää minkälaisia erilaisia ja vaihtoehtoisia menetelmiä soveltuisi työhön.

Työssä tutkittiin erilaisia soveltuvia menetelmiä työvaiheen helpottamiseksi. Menetelmiä kehitettiin aloituspalaverin keskustelun pohjalta. Soveltuvia menetelmiä jaoteltiin osiin, sekä tutkittiin niiden tuomia haasteita ja etuja.

Työn tuloksena saatiin erilaisia konsepteja, joiden avulla oikosulkutyötä voitaisiin kehittää. Vaihtoehtoisia konsepteja ovat, automaattiset- ja puoliautomaattiset koneet, kaupalliset apuvälineet, rihtaustyön apuvälineet ja nykyisen oikosulkuraudan kehittäminen.

Työssä huomattiin, että vaihtoehtoiselle työmenetelmälle oikosulkutyöhön olisi kysyntää kuparielektrolyysissä.

SHORT CIRCUIT WORK FACILITATING

Haavisto, Janne

Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Mechanical and Production Engineering

December 2019

Supervisor: Nolvi, Leena (SAMK)

Supervisor: Latostenmaa, Petri (Boliden Harjavalta Oy)

Number of pages: 27

Appendices: 0

Keywords: copper electrolysis, cathode, anode, short-circuit, method, development

The purpose of this thesis was to consider alternative working methods for Boliden Harjavalta Pori copper electrolysis short circuit eliminating work. The current working method is physically demanding, so the client wanted to find out what different and alternative methods would be suitable for the job.

The work investigated various suitable methods to facilitate the work phase. The methods were developed on the basis of a discussion in the starting meeting. Applied methods were subdivided into challenges and benefits.

As a result of this work, various concepts were developed to develop short-circuit work. Alternative concepts include, automatic and semiautomatic machines, commercial tool, cathode alignment tools and the development of the current short circuit tool.

It was noticed that there would be a demand for an alternative working method for short-circuit work in copper electrolysis.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	BOLIDEN	5
2.1	Boliden-konserni.....	5
2.2	Boliden Harjavalta	6
2.3	Kuparielektrolyysi.....	7
2.4	Boliden Harjavallan tuotantomääriä	7
3	KUPARIELEKTROLYYSIN TUOTANTO NYKYISELLÄÄN	8
3.1	Kuparin elektrolyyttinen puhdistus.....	8
3.2	Kuparikatodituotannon jaksojärjestelmä	9
4	OIKOSULKUTYÖ	11
4.1	Oikosulkujen syntyminen ja niiden havaitseminen	11
4.2	Oikosulkujen syntymiseen vaikuttavat tekijät	12
4.2.1	Rihtausvirheet	13
4.2.2	Anodien laatu	13
4.2.3	Virtahyötysuhde	14
4.2.4	Virrantiheys	15
4.2.5	Kontaktipinnat	16
5	MENETELMÄTUTKIMUS	16
5.1	Oikosulkutyön kehittämisen tarpeellisuus	16
5.2	Menetelmän kehittämiseen vaikuttavat tekijät.....	17
6	SOVELTUVIEN MENETELMIEN TARKASTELU	18
6.1	Patentoitu laite oikosulkujen poistamiseksi	18
6.2	Automatisoitu oikosulunpoisto	20
6.3	Puoliautomatisoitu oikosulunpoisto.....	22
6.4	Markkinoilta löytyvät ratkaisut.....	23
6.5	Nykyisen oikosulkuraudan kehittäminen.....	24
6.6	Rihtaustyön apuvälineet.....	24
7	POHDINTA.....	25
8	YHTEENVETO	26
	LÄHTEET.....	27

1 JOHDANTO

Tämän työn tarkoituksena on selvittää vaihtoehtoisia työmenetelmiä oikosulkutyölle sen helpottamiseksi. Työssä keskitytään suurempiin kokonaisuuksiin, eikä niitä pyritty suunnittelemaan yksityiskohtaisesti. Työssä luodaan kuparielektrolyysiin soveltuvia vaihtoehtoisia menetelmiä ja samalla pohjustetaan niiden toimintaperiaatteita ja näin ollen tuodaan ilmi nyky menetelmän haasteita ja etuja.

2 BOLIDEN

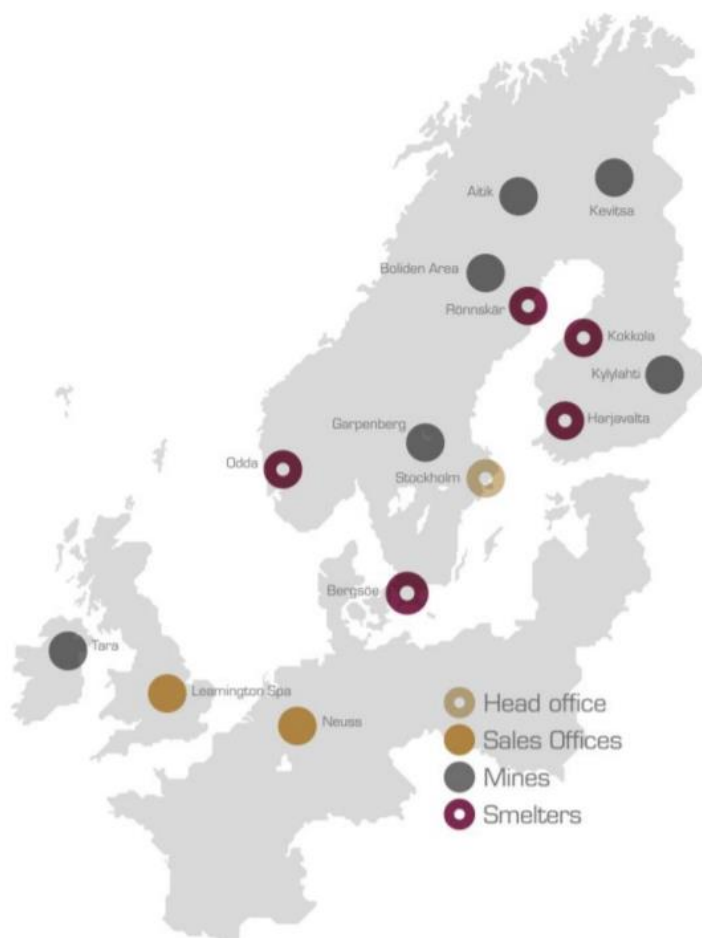
2.1 Boliden-konserni

Boliden on ruotsalainen kaivos- ja metallialan yritys, joka on keskittynyt malminetsintään, kaivos- ja sulattotoimintaan sekä metallien uusiokäyttöön. Yrityksen päätuotteita ovat kupari ja sinkki. Boliden jalostaa myös sivutuotteena kultaa, hopeaa ja lyijyä. Elektroniikkaromun kierrättäjänä konserni on yksi maailman suurimmista.

1920-luvulla Skellefteån kaupungin läheltä löydettiin kultamalmiesiintymä, jonka seurauksena perustettiin yritys Boliden AB vuonna 1924. Malmin jalostamiseksi perustettiin meren äärelle Rönnskärin sulatto, jossa tuotanto aloitettiin vuonna 1930.

Vuonna 2004 Outokumpu Oy fuusioitui ruotsalaisen metallialan yrityksen, Boliden AB:n kanssa, jolloin Outokumpu Oy:n ja Boliden AB:n sinkki- ja kuparitoiminnot yhdistyivät. Tällöin Outokumpu Harjavalta Metals Oy:n uudeksi nimeksi muodostui Boliden Harjavalta Oy.

Boliden-konsernilla on monia tuotantoyksiköjä Euroopassa. Sulattoja ja elektrolyyseyä on Ruotsissa, Suomessa, Norjassa ja Irlannissa. Kaivoksia on kuusi: Taran kaivos Irlannissa, Kevitsan ja Kylylahden kaivosalueet Suomessa, Garpenbergin, Bolidenin ja Aitikin kaivosalueet, jotka sijaitsevat Ruotsissa. Tuotantolaitokset ovat esitetty kuvassa 1 (Boliden-konsernin www-sivut 2019).



Kuva. 1. Boliden-konsernin tuotantolaitokset ja toimipisteet. (Boliden Harjavalta 2019)

Konsernilla on viisi sulattoa, joista Ruotsissa toimivat Rönnskärin ja Bergsöen sulatot. Suomessa toimivat sinkkisulatto Kokkolassa ja kuparisulatto Harjavallassa, sekä sinkkisulatto Norjan Oddassa. Konsernilla on markkinointitoimintoja Ruotsissa, Isossa-Britanniassa ja Saksassa. Konsernin pääkonttori on Tukholmassa (Boliden-konsernin www-sivut 2019).

2.2 Boliden Harjavalta

Boliden Harjavalta on ollut jo pitkään merkittävä osa Suomen teollisuushistoriaa. Kuparisulatto aloitti toimintansa Outokummun nimellä Imatralla vuonna 1936, mutta toisen maailmansodan aikana vuonna 1944 yritys ja sen henkilöstö muuttivat

Harjavaltaan. Kuparin valaminen alkoi uudelleen vuonna 1945 jo puolen vuoden kulluttua. Kuparin jalostaminen oli alkanut Porissa vuonna 1941.

Harjavallassa kehitettiin uusi, vallankumouksellinen ja energiatehokas kuparirikasteiden liekkisulatusmenetelmä. Se otettiin käyttöön vuonna 1949. Liekkisulatusmenetelmää on kehitetty vuosien kuluessa. Nykyään se on yleisin kuparirikasteille käytetty sulatusmenetelmä kaikkialla maailmassa.

Vuonna 2019 yrityksessä oli noin 530 työntekijää. Boliden Harjavallan tehtaat sijaitsevat Lounais-Suomessa tärkeällä paikalla lähellä satamaa. Päätuotteita ovat kupari, nikkeli, kulta ja hopea. Lisäksi yritys valmistaa sivutuotteena rikkihappoa (Boliden-konsernin [www-sivut 2019](#)).

2.3 Kuparielektrolyysi

Porin Väinölään perustettiin Outokumpu OY:n metallitehdas, joka valmistui vuonna 1941 puolustusvoimien tarpeisiin. Alkuvuosina jopa kolmannes tehtaan tuotannosta meni sotatarvikkeisiin. Vuodesta 1944 eteenpäin tehtaan raaka-aineet tulivat Outokummun Harjavallan sulatolta. Tehdas laajeni 1940-luvulla, jonka johdosta tehdasalueelle syntyi monia laitoksia, kuten esimerkiksi kuparielektrolyysi, jossa raakakuparista jalostetaan laadukkaita kuparikatodeita. Kuparielektrolyysin rinnalle perustettiin myös jalometallipuhdistamo, jossa rikasteista saadut kupari jalommat metallit puhdistettiin ([Porin kaupungin www-sivut 2019](#)).

2.4 Boliden Harjavallan tuotantomääriä

Kuparielektrolyysin päätuote on katodikupari, mutta sen lisäksi liuospuhdistamalla ja jalometallitehtaalla valmistetaan useita muita tuotteita. Taulukossa 1 on esitetty tuotantomääriä vuodelta 2018.

Taulukko 1. Boliden Harjavallan tuotantomäärät vuonna 2018 (Boliden-konsernin www-sivut 2019)

Katodikupari	139000 tonnia
kulta	3000 kg
Hopea	73000 kg
Rikkihappo	671000 tonnia
Nikkeliä nikkelikivessä	31 tonnia

3 KUPARIELEKTROLYYSIN TUOTANTO NYKYISELLÄÄN

3.1 Kuparin elektrolyyttinen puhdistus

Kuparin elektrolyyttinen puhdistus on tärkeä osa kuparinvalmistusprosessia. Porin kuparielektrolyysiin Harjavallan valimolta kuljetettavien kuparianodien kuparipitoisuus on noin 99%. Kuvassa 2 on esitetty kuparianodin valaminen, joka tehdään Boliden Harjavallan valimolla. Porin kuparielektrolyysissä kuparianodit käsitellään raffinointimenetelmällä, jossa kuparianodi liuotetaan sähköisesti elektrolyyttiliuokseen ja josta liuotettu kupari saostetaan puhtaana kuparikatodina. Menetelmällä tuotetaan kuparikatodeja, joiden kuparipitoisuus on noin 99,998% (Elovaara, H. 2016).



Kuva. 2. Kuparianodin valaminen. (Boliden-konsernin www-sivut, 2019)

Raffinointiprosessin etuna on myös arvokkaiden kuparia jalompien, kuten kullan, palladium-platinan ja hopean tehokas talteenotto.

Kuparia jalommat alkuaineet ja yhdisteet, kuten kulta ja telluuri eivät liukene elektrolyyttiliuokseen, vaan muodostavat anodiliejun, joka käsitellään jalometalliosastolla. Kuparia epäjalommat alkuaineet ja yhdisteet liukenevat elektrolyyttiliuokseen. Elektrolyyttiliuosta kontrolloidaan liuospuhdistamalla, jossa liuennetta epäpuhtauksia erotetaan prosessista (Elovaara, H. 2016).

3.2 Kuparikatodituotannon jaksojärjestelmä

Kuparikatodeja kasvatetaan tyypillisesti 6-8:n vuorokauden jaksoissa. Yksi anodijakso käsittää kolme katodijaksoa. Anodijaksojen välissä allasryhmä pestään (kuva 3). Kuparielektrolyysit toimivat normaalisti 14-21 vuorokauden rytmeissä siten, että pesu- tai katodinvaihtovaiheita on yhdessä tai kahdessa allasryhmässä kerrallaan (Elovaara, H. 2016).



Kuva. 3. Ronnskärin kuparielektrolyysi. (Boliden. www-sivut, 2019)

Rautateitse Harjavallan sulatolta tuleville kuparianodeille tehdään ensimmäiseksi silmämääräinen tarkistus. Tarkistuksella pyritään poistamaan fysikaalisesti huonolaatuiset anodit heti prosessin alkuvaiheessa. Junanvaunun kyydistä tarkastetut anodit nostetaan siltanosturilla valmiiksi lämmitettyihin altaisiin, jotta ne eivät laskisi elektrolyytin lämpötilaa tuotantoaltaissa. Altaista anodit syötetään anodinkäsittelykoneeseen, jossa ne punnitaan, korvien suoruus tarkistetaan ja prässätään haluttuun muotoon tarvittaessa. Näiden vaiheiden lisäksi anodin korvien alapuolet jyrksitään taiseksi, jotta anodin kontaktipinta olisi puhdas ja tasainen. Toimiakseen anodin ja altaan virtakiskon välinen kontakti tulee olla hyvä. Anodinkäsittelykone jaottelee anodit oikeille etäisyyksille, joten automaattinosturin nostaessa niiden jako pysyy oikeana.

Prosessi alkaa aina kolmannen katodijakson jälkeen alusta, jolloin allasryhmälle suoritetaan allaspesu. Allasryhmä kytketään pois virroista ja pesu aloitetaan ryhmän uloimmista altaista ja sitä jatketaan keskelle päin. Uloimmista tuotantoaltaista nostetaan nosturin avulla anodit sekä katodit pois, jonka jälkeen allas tyhjenetään irrottamalla pohjatulppa. Allas tyhjenee elektrolyytistä ja anodiliejusta painovoimaisesti kellariin, josta se pumpataan edelleen liuospuhdistamolle. Altaan tyhjentyessä loput anodiliejut kolataan altaan pohjalta sekä allas pestään lauhdevedellä ja virtakiskot harjataan puhtaiksi. Näiden toimien jälkeen pohjatulppa asetetaan takaisin paikoilleen ja allas täytetään elektrolyyttiliuoksella. Pestyyn altaaseen jaotellaan anodit sekä haponkestävästä teräksestä valmistetut kestokatodit. Edellisen altaan valmistuessa

siirrytään seuraavaan altaaseen ja jatketaan pesua, kunnes kaikki altaat ryhmässä ovat pestyjä.

Yhden anodijakson tuotannossa olleet käytetyt anodit pestään anodiliejusta ja pakataan nipuiksi tai lastataan junanvaunuun. Nipuiksi pakatut ja vaunuun lastatut kuparianodit kuljetetaan sulatolle. Kuparikatodit stripataan eli ne erotetaan kestopatodeista ja punnitaan katodinkäsittelykoneella, jossa niille myös määritetään luokitus sekä pakataan asiakkaalle lähteväksi (Elovaara, H. 2016).

Boliden Harjavallan valmistama katodikupari täyttää LME:n (London Metal Exchange) tiukat Grade A -laatuvaatimukset. LME on listannut sivuillaan hyväksytyt metallintuottajat, joihin Boliden Harjavalta Oy lukeutuu (London Metal Exchange www-sivut 2019).

4 OIKOSULKUTYÖ

4.1 Oikosulkujen syntyminen ja niiden havaitseminen

Oikosulku syntyy tilanteessa, jossa kuparianodin ja -katodin välinen etäisyys pienenee, jolloin levyjen väliin kasvaa oikosulkukasvannainen. Elektrodit ovat elektrolyysialtaissa rinnankytkettyinä -joten suuri osa syötetystä virrasta kulkee alhaisimman vastuksen eli tässä tapauksessa oikosulkukasvannaisen kautta. Tämä johtaa tilanteeseen, jossa rinnankytketty elektrodipari kuumenee ja elektrodiparin välinen jännite laskee (Pudas, H 2017).

Oikosulkutyötä edeltää aina elektrolyysialtaiden tarkastaminen sekä oikosulkujen mittaaminen eli niiden havaitseminen, johon on kehitetty erilaisia laitteita, jotka perustuvat oikosulussa olevan katodin lämmön mittaamiseen ja elektrolyysialtaan jännitteen tarkkailuun (Davenport, King, Schlesinger & Biswas 2002, 336).

Yksi tapa seurata kuparituotantoa on tarkkailla tuotantoaltaiden virtahyötysuhdetta. Kesällä 2017 Porin kuparielektrolyysissä otettiin käyttöön virtahyötysuhdeseuranta

osana päivittäistä oikosulkutyötä. Seurannalla pyritään priorisoimaan oikosulkutyötä vaativat allasryhmät virtahyötysuhteen perusteella. Oikosulkuja poistetaan poistamalla katodin pintaan muodostunut kasvannainen oikosulkukoukulla, joka on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4. Oikosulkutyössä käytettävä oikosulkurauta.

4.2 Oikosulkujen syntymiseen vaikuttavat tekijät

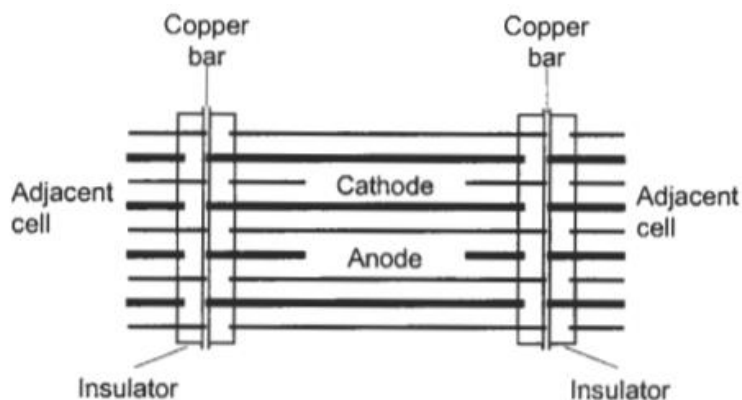
Oikosulkuihin vaikuttaa seuraavat tekijät:

- Rihtaus eli kuparikatodien ja -anodien välinen etäisyys ja asema toisiinsa nähden. Rihtausvirheet aiheuttavat epätasaisen virranjakautuman, jolloin oikosulkuja syntyy.

- Huonolaatuiset kestokatodit, jotka ovat vääntyneitä tai vioittuneiden korvien takia eivät roiku suorassa elektrolyysialtaassa aiheuttavat epätasaisen virranjakautuman ja synnyttävät oikosulkuja.
- Fysikaalisesti huonolaatuiset anodit tai vioittuneiden korvien takia eivät roiku suorassa aiheuttavat epätasaisen virranjakautuman.
- Liian korkea virrantiheys
- Väärät lisäainemäärät

4.2.1 Rihtausvirheet

Rihtausvirheillä tarkoitetaan elektrodien väärää asemaa tai asemointia altaassa. Kuvassa 5 on esitetty katodi- ja anodilevyjen välinen asemointi sekä virtakiskot ja eristeet elektrolyysialtaassa. Tällaiset rihtausvirheet aiheuttavat epätasaisen virranjakautuman ja johtavat oikosulkuihin (Davenport, King, Schlesinger & Biswas 2002, 282).



Kuva 5. Kuparianodien ja kestokatodien asemointi toisiinsa nähden elektrolyysialtaassa (Davenport, King, Schlesinger & Biswas 2002, 267).

4.2.2 Anodien laatu

Huonolaatuiset kuparianodit johtaa oikosulkukasvannaisten muodostumiseen katoilla, joka huonontaa elektrolyysin virtahyötysuhdetta. Kuparianodit kulkee prepin eli 'preparation machine' -käsittelylinjaston läpi. Linjastolla on anodin punnitusta, prässäystä ja korvien kontaktipintojen jrsintää varten laitteisto sekä myös epäkurrenttien

kuparianodien hylkylinja. Näin ollen kaikki käytettävät kuparianodit tarkistetaan ennen syöttöä elektrolyysialtaaseen (Davenport, King, Schlesinger & Biswas 2002, 256).

Anodien kemiallisella laadulla tarkoitetaan niiden kemiallista rakennetta ja niiden sisältämiä epäpuhtauksia. Suuri osa elektrolyytin epäpuhtauksista ovat peräisin anodista, joten anodien tulee sisältää mahdollisimman vähän epäpuhtauksia, koska niiden kemiallinen laatu on ratkaiseva osa toimivaa elektrokemiallista puhdistusprosessia (Pudas, H 2017).

4.2.3 Virtahyötysuhde

Virtahyötysuhde elektrolyysissä tarkoittaa todellisen punnitun kuparin massan ja samalla virralla teoreettisesti saostetun kuparin massan suhdetta (cathode current efficiency, %). Mitä suurempaa virtaa käytetään, sen enemmän kuparia saadaan tuotettua. Moderneissa kuparielektrolyyseissä virtahyötysuhde vaihtelee ~93–98 % välillä (Davenport, King, Schlesinger & Biswas 2002, 282).

Tekijät, jotka vaikuttavat virtahyötysuhteen vaihteluihin:

- virrantiheys
- elektrodien rihtaus
- anodien ja katodien fysikaalinen ja kemiallinen laatu
- elektrolyyttiliuoksen lisäaineet
- oikosulkujen havaitsemisen ja niiden poistamisen laatu
- elektrolyyttiliuoksen puhtaus

Kuparielektrolyysin sähkökemiallinen puhdistusprosessi vaatii tarkat toleranssit. Tuotantoaltaiden kuparikatodien sekä anodien eli elektrodien välinen etäisyys toisistaan on tarkasti laskelmoitu, jotta haluttu virrantiheystaso voidaan saavuttaa (Elovaara, H 2016).

Aiemmin kuparielektrolyyseissä käytettiin monin paikoin siemenlevyjä katodeina, mutta nykyään varsinkin Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa ollaan siirrytty

käyttämään haponkestäviä teräskestokatodeita. Kestokatodimenetelmää hyödyntämällä voidaan kestokatodit uusiokäyttää. Katodijakson lopputuotteena saadaan kuparikatodi, joka pestään ja irrotetaan koneellisesti eli strippaamalla haponkestävästä kestokatodista. Kuvassa 6 on näytetty elektrolyysialtaasta nostetut katodilevyt, jotka siirretään noston jälkeen strippauskoneelle. Tämän strippausprosessin jälkeen kuparikatodit ovat valmiita pakattavaksi. Kestokatodit tarkistetaan ja otetaan uudestaan käyttöön (Elovaara, H 2016).



Kuva 6. Haponkestävästä teräksestä valmistetun kestokatodin päälle saostettua kuparia. (Vajragroup www-sivut 2019)

Kestokatoditekniikka antaa mahdollisuuden korkeampien virrantiheyksien käytölle, jolloin elektrolyysin virranjakauma on tasaisempi kuin käyttäessä perinteisiä siemenlevyjä. Näin voidaan hallita paremmin oikosulkujen määrää elektrolyysissä (Davenport, King, Schlesinger & Biswas 2002, 273).

4.2.4 Virrantiheys

Virrantiheys elektrolyysiprosessissa määritellään yleisesti katodisena virrantiheytenä (cathode current density, A/m^2). Virrantiheydellä tarkoitetaan katodilevyn elektrolyyttiliuoksen pinnan alle jäävän pinta-ala suhdetta käytetyn virran määrään. Modernissa

kuparielektrolyysissä virrantiheydet ovat 280–340 A/m² luokkaa (Davenport, King, Schlesinger & Biswas 2002, 330).

Elektrodit ovat rinnankytkettyinä elektrolyysialtaissa, joten sähkövirta pyrkii kulkemaan sieltä, missä vastus on alhaisin. Virrantiheyden vaihtelu johtuu usein huonolaatuisista kuparianodeista ja katodilevyistä tai kuparianodien passivoitumisesta. Myös rihtausvirheet, epäpuhtaat virtakiskot tai huonot kontaktit saattavat johtaa virrantiheyden vaihteluun. Matala virrantiheys hidastaa kuparin saostumista, kun taas korkea virrantiheys nopeuttaa sitä. Liian nopea saostuminen aiheuttaa oikosulkukasvannaisten syntymisen katodilla (Davenport, King, Schlesinger & Biswas 2002, 282).

4.2.5 Kontaktipinnat

Elektrolyysissä elektrodikontaktit ovat anodien ja katodien korvien ja virtakiskon välillä. Allaspesujen aikana on aina tarkistettava virtakiskon kunto ja tarvittaessa se on puhdistettava, jotta vältetään huonolta elektrodien ja virtakiskojen väliseltä kontaktilta. Huono kontaktien kunto aiheuttaa epätasaisen virranjakautuman, josta seuraa oikosulkuja (Elovaara, H 2016).

5 MENETELMÄTUTKIMUS

5.1 Oikosulkutyön kehittämisen tarpeellisuus

Menetelmätutkimus on työtapaan kohdistuvaa tutkimusta, jonka päämääränä on turvallisen ja tehokkaan työtavan kehittäminen. Tutkimuksessa on kyse työvaiheen optimoinnista, jonka tavoite on lisätä työturvallisuutta sekä tuotantomääriä (Ahokas, Neuvonen, Suikki & Tiihonen. 2011, 6).

Teknologisesta näkökulmasta selvitetään muun muassa soveltuvan tekniikan ja menetelmän hyödyntämismahdollisuudet sekä uusien, vaihtoehtoisten välineiden ja prosessien mahdollisuudet. Työntekijän näkökulmasta selvitetään muun muassa työntekijän

ergonomia ja turvallisuus. Työntutkimuksessa selvitetään, onko työssä väsyttäviä, monotonisia, vaarallisia tai epäkäytännöllisiä vaiheita (Ahokas ym. 2011, 6).

Työntutkimukseen sisältyy usein neljä eri osa-aluetta:

- 1) menetelmätutkimus eli turvallisen ja tehokkaan työmenetelmän kehittäminen,
- 2) työn standardisointi eli sen vakiinnuttaminen,
- 3) työhön perehdyttäminen eli soveltuvan menetelmän opastus työntekijöille sekä
- 4) työnmittaus eli työhön tarvittavan ajan selvittäminen.

Yleisimpiä syitä työvaiheen tai menetelmän kehittämiseen:

- Tuotantomäärien riittämättömyys
- Laatuvaatimukset eivät täyty
- Korkeat materiaali- ja työkustannukset
- Työ on raskasta

Ylläolevasta listauksesta viimeisinänä mainittu syy on yksi suuri tekijä halulle kehittää oikosulkutyötä. Työ on raskasta ja se aiheuttaa työntekijälle suurta fyysistä kuormaa.

5.2 Menetelmän kehittämiseen vaikuttavat tekijät

Oikosulkupoistomenetelmän kehittämiseen vaikuttavat useat osatekijät. Menetelmätutkimuksessa on tärkeää tunnistaa työvaiheen ja menetelmän tuomat haasteet, sekä tutkia mitä mahdollisia vaikutuksia vaihtoehtoisilla eri menetelmillä voi olla kuparikatodituotannossa. Tutkimuksessa tulee huomioida, mitä vaatimuksia valittu työmenetelmä asettaa työympäristölle. On otettava myös huomioon, mitä kaikkea menetelmä vaatii toimiakseen. Menetelmä voi olla hyvinkin kriittinen esimerkiksi lattiapinta-alan, operaattorin tai lisälaitteiden suhteen. Työntekijänäkökulman osat tutkimuksessa ovat työturvallisuus ja ergonomian asiat. Näitä ovat mahdolliset epämuukavat työtavat, työn sisältämä vaarallisuus, työn monotonisuus eli työntekijän suorittamien samanlaisten liikkeiden toistuvuus sekä työn yleinen kuormittavuus, joka aiheuttaa liiallista fyysistä kuormaa.

Menetelmän valintaan vaikuttaa suuresti menetelmän investoinnin kustannusarvio sekä taloudelliset tekijät. Kehittämisen perimmäisenä periaatteena on, että kehitys, joka saadaan aikaan uudella menetelmällä, maksaa itsensä takaisin.

6 SOVELTUVIEN MENETELMIEN TARKASTELU

6.1 Patentoitu laite oikosulkujen poistamiseksi

Mahdollista menetelmää sekä laitetta oikosulkujen havainnoimiseksi ja niiden poistamiseksi elektrolyysialtaassa on tutkittu verrattain pitkään. Tämä voidaan todeta todeksi vuonna 1975 Suomen Patentti- ja Rekisterihallitukselle jätetystä patenttihakemuksesta n:o 751086, jossa esillä oleva keksintö kohdistuu suunniteltuun menetelmään sekä laitteeseen oikosulkujen poistamiseksi (Pat. FI53463 1978, 1).

Keksinnön perusajatus on siinä, että ensin mittaamalla todetaan altaassa esiintyvät oikosulkutilat ja sen jälkeen vaihdetaan kaikki oikosulkutilassa olleet levyt automaattisesti liikuteltavan levynvaihtolaitteen eli robotin avulla, joka voi liikkua levyriviä pitkin ja jossa on välineet katodilevyn poistamiseksi altaasta sekä varastosta -tuodun uuden levyn laskemiseksi poistetun tilalle (Pat. FI53463 1978, 1). Kuvissa 7-9 on esitetty kaaviomaisesti keksityn kuvan toiminnallisuus sekä osat.

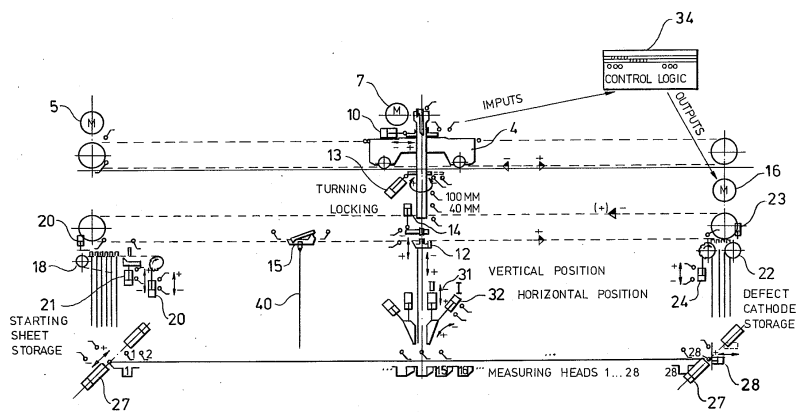


Fig. 1

Kuva. 7. Kuvio 1 esittää kaaviomaisesti keksinnön mukaista laitetta sekä sen toimintaperiaatteen.

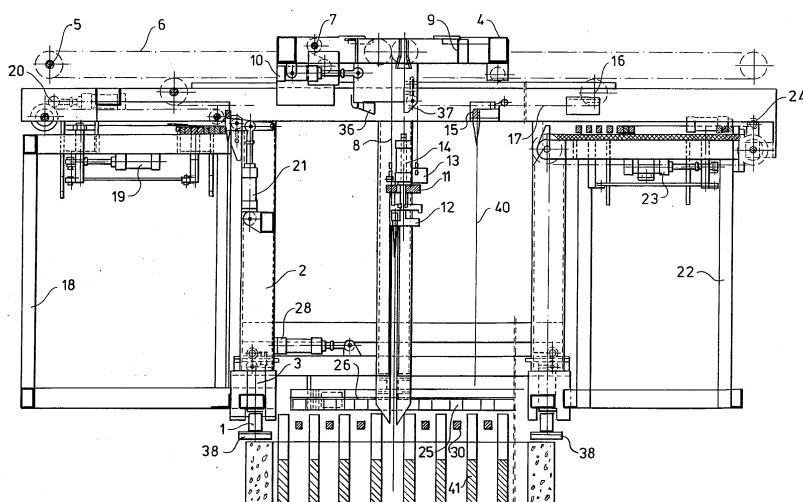


Fig. 2

Kuva. 8. Kuvio 2 esittää osittain leikattuna keksinnön mukaista laitetta sivulta katsottuna.

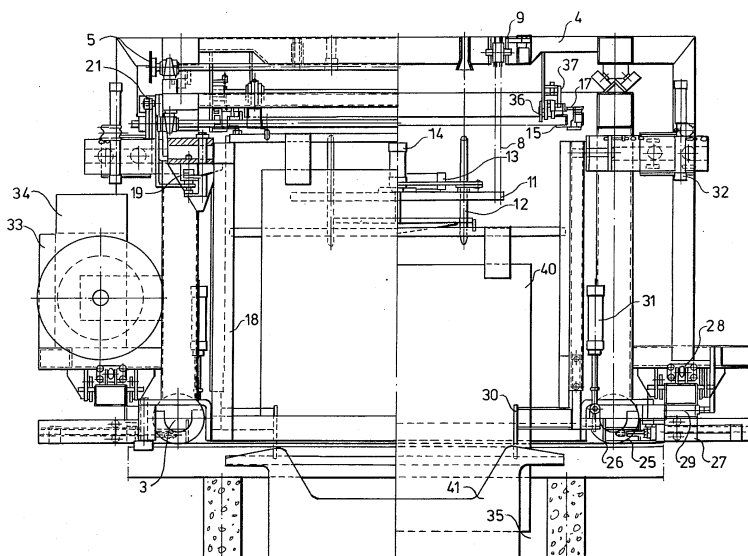
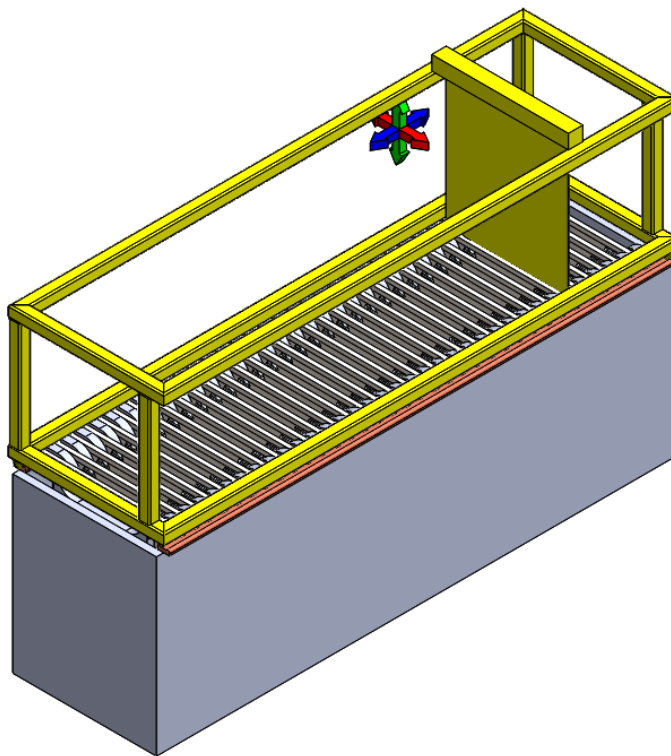


Fig. 3

Kuva. 9. Kuvio 3. esittää samaa laitetta päästä katsottuna.

6.2 Automatisoitu oikosulunpoisto

Kuparianodien koko sekä anodien korvien muoto ja koko vaikuttavat suuresti anodien sekä kestokatodien väliseen etäisyyteen, jotka asettavat omat rajoitteensa menetelmän kehittämiseksi. Menetelmää varten suunniteltava automaattinosturin yhteyteen liitettävä lisälaitte, jossa on pystysuunnassa edestakaisin liikkuva leikkuuterä. Automatisoitua oikosulunpoistoa voidaan käyttää yhdessä automaattisen virtahyötysuhde-seurannan tai aktiivisen lämpökuvauksen rinnalla, joten menetelmää on mahdollista hyödyntää työaikojen ulkopuolella- aikana, jolloin oikosulkutyötä ei tehdä. Kuparia ei saostu kestokatodin pinnalle silloin, kun katodin ja anodin välille syntyy oikosulku, joten menetelmä sopisi erinomaisesti kasvattamaan kuparin tuotantomäärää. Kuva 10 havainnollistaa laitteen konstruktion. Kyseessä on karkea luonnos menetelmästä, jossa on esitetty elektrolyysiallas, virtakiskot, kuparianodit ja -katodit sekä nosturin lisälaitte oikosulkujen poistoon.



Kuva 10. Karkea 3D-malli automaattinosturin lisälaitteesta oikosulkujen poistoa varten

Nosturi paikoittuu tarkasti halutun elektrolyysialtaan ylle esimerkiksi vastakartiotapein, joka estää nosturin virheasennon suhteessa elektrolyysialtaaseen. Laitte koostuu karkeasti rungosta, X-, Y- ja Z-suuntaisten liikkeiden komponenteista.

Toisenlainen vaihtoehtoinen automaattinen menetelmä oikosulkujenpoistoon on hyödyntää nykyaikaisia robotteja yhdessä itsenäisesti kulkevan vaunun kanssa, jolloin laite ei ole riippuvainen automaattinosturista. Vaunussa voidaan käyttää nykyaikaisia akkukomponentteja, jotka toisivat osaltaan myös synergiaa robottien vaatimaan sähköenergiatarpeeseen. On myös mahdollista toteuttaa vaunun liike lattiaan sijoitettavan virtakiskon avulla, joten vaunu ja robotti sekä sen anturoinnit ja oheislaitteet toimisivat suoralla sähkövirralla aina ollessaan kontaktissa virtakiskon kanssa. Oikosulkujen poistamiseen käytettävään robottiin integroitavan lämpökameran avulla laitetta on mahdollista käyttää myös oikosulkujen havainnointiin. Robotin tekemälle

työlle on monia eri vaihtoehtoja, mutta työhöni olen valinnut kaksi erilaista mentelmää oikosulkujen poistoa varten.

Ensimmäinen vaihtoehto on, että robotti nostaa elektrolyysialtaasta oikosulussa olevan kuparikatodin ylös ja käyttää sen jyrsimen lävitse, jolloin voidaan saavuttaa katodilevyn haluttu tasomaisuus. Katodilevyn kasvannaisten poistamista varten vaunuun suunnitellulla jyrsimellä rouhitaan katodilevyjen molemmat uloimmat pinnat. Jyrsintää varten laite tulee varustella tarvittavalla mittauskalustolla, jotta kone voi jyrsiä kuparikatodien pinnalta ainostaan oikosulkukasvannaiset eikä itse kestokatodin pinnalle saostunutta tasomaista kuparipintaa. Jyrsimen käyttö tapahtuu myös automaattisesti, joten vaiheessa jossa robotti tuo katodin jyrsimen suuaukolle suorittaa laite tarvittavat mittaukset sekä säätää terien etäisyydet oikeaksi toisiinsa nähden. Laite varustetaan esimerkiksi kahdella leveällä vastakkaisiin suuntiin pyörivällä terällä ja katodin syöttäminen tapahtuu ylhäältä alaspäin terien välistä, jolloin kuparikatodilevyjen jyrsintä suoritetaan haluttuun mittaansa. Toimenpiteen jälkeen katodilevyn paikalleenlaitto toimii käänteisessä järjestyksessä.

Toinen menetelmä käyttäessä modernia robottia on varustella robotti leikkuterällä oikosulun poistamiseen sekä lämpökameralla niiden havainnointiin. Tällöin robotin puomin päähän sijoitettavan leikkuterän vaatiman leikkuuliikkeen suorittamiseen voidaan käyttää esimerkiksi hydraulisylinteriä, joka saisi käyttövoimansa sähkömoottorista.

6.3 Puoliautomatisoitu oikosulunpoisto

Oikosulkujen poistoon suunniteltu ja kehitetty laite, jonka ohjausta operoidaan paikallisesti, mutta itse työn suorittaa kone. Koneen tulisi olla helposti liikuteltava al-lasryhmien välillä, joka tuo haasteita itse koneen suunnittelussa. Perinteistä oikosulunpoistomenetelmää voidaan kehittää hyödyntämällä erilaisia apuvälineitä, kuten akukäyttöisiä leikkureita tai iskeviä koneita. Perinteisen oikosulkutyön etuna on sen työvälineen keveys, sekä sen heikkoutena on raskas fyysinen kuorma työntekijälle. Kun taas apuvälinettä käyttäessä sen edut ja heikkoudet ovat juuri päinvastaiset perinteisen menetelmän rinnalla.

Vaihtoehtoisena menetelmänä on käyttää keventimellä varustettua oikosulkurautaa, joka olisi periaatteeltaan vastaavan kaltainen kuin ensimmäisen menetelmän automaattinen oikosulkulaite. Tällä menetelmällä voidaan käyttää leikkuuterää, jonka massaa kannattelee rataan kiinnitetty kevennin. Työntekijä voisi näin ollen käsitellä melko raskastakin laitetta käsin. Työ suoritetaan ohjaamalla leikkuuterä katodin ja anodin väliin, jonka jälkeen työnnetään laitetta alaspäin, jolloin laitteen omamassa sekä työntekijän suorittama liike alaspäin voittaisi keventimen tukivoiman ja näin ollen leikkuuliike olisi turvallinen ja kevyt, mutta riittävän tehokas poistamaan kuparikatodiin muodostuneen oikosulun. Menetelmä vähentäisi huomattavasti fyysisen työn aiheuttamaa kuormaa.

Edellämainittu menetelmä voidaan myös toteuttaa nosturin lisälaitteeksi, joskin tällöin menetelmä vaatii toimiakseen nosturikuljettajan ajamaan nosturia sekä operaattorin, joka operoi oikosulkulaitetta. Oikosulkulaitteen leikkuuterän vaatima lineaariliike voidaan tuottaa esimerkiksi hydraulisilla sylintereillä. Operaattorin tehtäväksi jää terän asettelu katodin ja anodin väliin. Tällöin kone suorittaa leikkuuliikkeen ja leikkaa oikosulkukasvannaisen irti katodilevystä.

6.4 Markkinoilta löytyvät ratkaisut

Oikosulkutyössä voidaan käyttää kevyttä akkukäyttöistä Hiltin valmistamaa TE 500-A36 -piikkausvasaraa, joka esitetty kuvassa 11. Kyseinen akkukäyttöinen työkalu ei suoraan sovellu työhön kaupallisten terien kanssa, vaan se vaatisi yksilöllisen ja erikoisvalmistetun oikosulkutyöhön suunnitellun terän. Suunniteltava terä tulisi olla tarpeeksi pitkä, jotta sen avulla pystyttäisiin poistamaan oikosulku kuparikatodin alareunasta. Piikkauskoneen kaltainen apuväline helpottaisi työtä siinä määrin, ettei työntekijän tarvitsisi suorittaa oikosulun mekaanista poistoa, vaan piikkausvasaran edestakaisen lineaariliikkeen avulla voidaan poistaa kuparikatodiin kasvanut oikosulku tehokkaasti sekä hallitusti. Haasteena kaupallisten työkalujen valinnassa on työkalujen omamassa, joka kasvaisi huomattavasti verrattuna nykyiseen titaanista tai ruostumattomasta teräksestä valmistettuun oikosulkurautaan.



Kuva 11. Hiltin valmistama akkutoiminen piikkausvasara.

6.5 Nykyisen oikosulkuraudan kehittäminen

Erialaisten räätälöityjen koneiden, laitteiden sekä työkalujen lisäksi vaihtoehtona oikosulkutyön helpottamiselle on myös nykyisen käytössä olevan oikosulkuraudan modernisointi ja erityisesti tulee ottaa huomioon työergonomia sekä työn monotonisuus. Työmenetelmiä suunniteltaessa tulee välttää liikkeen aiheuttamia nivelten ääriasentoja ja monotonista kuormitusta. Pitkäkestoisesti samanlaisena toistuva työasento voi aiheuttaa lihaskireyttä ja sen seurauksena voi syntyä oireita ja kipuja (Työturvallisuuskeskuksen www-sivut 2019).

Oikosulkuraudasta löytyy vielä kehitettävää, joten mm. työvälineen pituussäädöllä saavutetaan työntekijän parantunut työasento. Vaihtoehtoisesti työntekijälle varta vasten yksilöidyt työvälineet ajavat saman asian.

6.6 Rihtaustyön apuvälineet

Tuotantoaltaiden kuparikatodien sekä anodien välinen etäisyys toisistaan on tarkasti laskelmoitu, jotta haluttu virrantiheystaso voidaan saavuttaa. Kuitenkin työn suorittava allasoperaattori suorittaa rihtauksen silmämääräisesti rihtausraudan avulla, joten työsuorite on altis virheille.

Työtä helpottamaan suunnitellaan joko rihtauskampa - jonka avulla voidaan esimerkiksi tarkastaa kerralla kaikki yhden altaan kuparianodien sekä -katodien asemointi

toisiinsa nähden – tai rihtausliuska, joka toimii ikään kuin rakotulkkinä levyjen välissä. Näin ollen voidaan välttyä virheelliseltä rihtaukselta sekä ennaltaehkäistä oikosulkujen syntymistä.

7 POHDINTA

Menetelmät oikosulkutyön helpottamiseksi voidaan jakaa työn tuloksien perusteella neljään eri kategoriaan; automaattiset ja puoliautomaattiset laitteet, käsityökalut sekä kuparikatodien ja -anodien tarkka rihtaus.

Automaattisten laitteiden etuna on koneiden millimetrin tarkkuudella tekemä työ. Automaattinen oikosulkuseuranta yhdistettynä automaattiseen oikosulkujen poistoon vähentäisi huomattavasti työntekijöiden fyysistä työkuormaa. Vähentynyt raskas työkuorma vähentää työntekijöiden sairauspoissaoloja sekä parantaa usein työntekijöiden motivaatiota työtä kohtaan, joka taas usein näyttäytyy parempina työsuorituksina.

Automaattinen oikosulkupoistolaitte tulisi olemaan suuri kokonaisuus, jolloin investointina se olisi suuri. Hanke vaatisi paljon alustavaa esiselvitystä, komponenttivalmistajien konsultointia sekä puhdasta mekaniikka- ja automaatio suunnittelua. 3D-mallinnuksen avulla voidaan mallintaa suuria kokonaisuuksia, joten suunnitteluprosessin aikana pystytään simuloimaan suunniteltavan koneen toiminnallisuutta hyvin pitkälle.

Puoliautomaattisten laitteiden osalta allasoperaattorin työ tulisi kevenemään huomattavasti eikä työssä välttämättä vaadittaisi suurta määrää oikosulkutyöntekijöitä.

Käsityökalut, jotka soveltuvat oikosulkujen poistoon ja joita löytyy suoraan markkinoilta, ovat hyvin harvassa. Esimerkiksi kustomoiduilla terällä voidaan löytää työhön soveltuva kombinaatio jolla saavutetaan haluttu tulos.

Rihtausvirheiden vähentämiseksi apuvälineiden kehittäminen sekä sen myötä niiden käyttö vähentäisi osaltaan oikosulkujen syntyä. Perusajatuksena voidaan pitää, että kuparianodi etäisyys katodista olisi toleroitu vakio. Menetelmässä voitaisiin käyttää aiemmin kohdassa 6.5 mainittuja apuvälineitä, kuten kampaa tai liuskaa, joiden avulla rihtaus suoritetaan.

8 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli selvittää mahdollisia vaihtoehtoja oikosulkutyön helpottamiseksi. Työ vaati paljon selvitystyötä eri lähteistä, joka osoittautui haasteelliseksi valmiiden työhön soveltuvien menetelmien puutteiden takia. Opinnäytetyö sekä työ kupari-elektrolyysissä on osoittanut, ettei kirjallisuudesta tai julkaisuista ole löytynyt tähän päivään mennessä varteenotettavaa vaihtoehtoista menetelmää tai laitetta oikosulkujen poistamiseksi. Allasmiehen suorittama oikosulkutyö on monin paikoin fyysisesti kuormittavaa, mutta menetelmänä se on tehokas sekä nopea. On kuitenkin huomioitavaa, että kehitettävän laitteen ja/tai menetelmän myötä kuparielektrolyysin kupari-katodituotannon tuotantomäärissä piilee selvä kasvupotentiaali, jolloin voidaan todeta työn tarpeellisuuden olevan huomattava sekä ajankohtainen. Työn tuloksia tarkastellessa sanottakoon, että mahdollisuudet ovat todella laajat.

LÄHTEET

Ahokas, P., Neuvonen, J., Suikki, M & Tiihonen, J. 2011, Työntutkimuksen käsitteitä, menettelytapoja ja käyttökohteita. Helsinki: Teknologiateollisuus ry. Viitattu 18.11.2019

Boliden-konsernin www-sivut. Viitattu 18.11.2019. www.boliden.com

Davenport, W. G., King, M., Schlesinger, M. & Biswas, A. K. 2002. Extractive Metallurgy of Copper. 4. painos. Oxford: Pergamon.

Elovaara, H. 2016. Kuparielektrolyysin teoriakoulutus. Boliden Harjavalta Oy.7

Henni, P. 2017. Kuparielektrolyysin teoriakoulutus. Boliden Harjavalta Oy.

London Metal Exchange www-sivut. Viitattu 19.11.2019. <https://www.lme.com/en-GB/Trading/Brands/Approved-brands>

Pat. FI53463. 1978. METHOD AND APPARATUS FOR DETECTING AND ELIMINATING SHORT-CIRCUITS IN AN ELECTROLYTIC TANK. Outokumpu Oy, Helsinki, Finland. Kapanen, A, A. & Rautimo, P. J. Viitattu 18.11.2019. <https://tinyurl.com/vmxykyb>

Porin kaupungin www-sivut. Viitattu 16.11.2019. www.pori.fi

Työturvallisuuskeskuksen www-sivut. Viitattu 18.11.2019. www.ttk.fi