

Hanna Rajala

**ELEKTRODIEN KOON MUUTOKSEN VAIKUTUS SINKIN KAS-
VUUN ELEKTROLYYSISSÄ**

Boliden Kokkola OY

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

TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Centria-ammattikorkeakoulu	Aika Lokakuu 2019	Tekijä/tekijät Hanna Rajala
Koulutusohjelma Kemiantekniikka		
Työn nimi Elektrodien koon muutoksen vaikutus sinkin kasvuun elektrolyysissä		
Työn ohjaaja Staffan Borg	Sivumäärä 24 + 1	
Työelämäohjaaja Ville Kattilakoski		
<p>Työn toimeksiantajana toimi Kokkolan Bolidenin elektrolyysiosasto. Tämän työn tavoitteena oli selvittää, miten pidennetyt katodit vaikuttavat sinkin kasvuun elektrolyysissä. Tässä työssä tutkittiin virtahyötysuhteita, energiankulutusta sekä sinkkien painoja ja arvioitiin visuaalisesti sinkin laatua. Tuloksissa vertailtiin pidennettyjen ja normaalimittaisten katodien tuloksia toisiinsa oletetuilla sekä todennukaisilla kasvuajoilla.</p> <p>Elektrolyysissä sinkki saostetaan sähkövirran avulla. Elektrolyysin tehokkuutta mitataan eri tavoin. Tälle työlle ominaisia tehokkuuden mittareita olivat virtahyötysuhde ja energian kulutus sekä sinkin laadun arviointi visuaalisesti. Näiden avulla voidaan arvioida, miten tuotantokapasiteettiä on hyödynnetty.</p> <p>Tehtyjen testien perusteella pidennetyillä katodeilla virtahyötysuhde oli parempi kuin normaalimittaisilla katodeilla. Myös energiankulutus oli pidennetyillä katodeilla vähäisempää kuin normaalimittaisilla. Visuaalisesti katsottuna sinkin laadulla ei ollut havaittavissa suurempia eroja pidennettyjen ja normaalimittaisten katodien välillä. Painollisesti pidennetyt katodit tuottivat enemmän sinkkiä, niin kuin pitikin. Pidennetyt katodit olisivat kannattavat tuotannolle.</p>		

Asiasanat Energiankulutus, katodi, virtahyötysuhde (VHS)
--

ABSTRACT

Centria University of Applied Sciences	Date October 2019	Author Hanna Rajala
Degree programme Chemical engineering		
Name of thesis Effect of electrodes size change on zinc growth in electrolysis		
Instructor Staffan Borg	Pages 24+ 1	
Supervisor Ville Kattilakoski		
<p>The commissioner of the work was Boliden Kokkola electrolysis department. The aim of the work was to investigate how lengthened cathodes affect the growth of zinc in the electrolysis. The zinc quality was visually evaluated before it goes through further examination like current efficiency and energy consumption. Zinc weights were also checked. The research results have been compared with the normal cathodes.</p> <p>In electrolysis zinc is deposited by electric current. The efficiency of electrolysis is measured in different ways. For this thesis characteristic efficiency indicators were current efficiency and energy consumption, as well as the visual evaluation of zinc quality. These are used to evaluate how production capacity has been utilized.</p> <p>Based on the tests, the extended cathodes had better current efficiency than the normal cathodes. Energy consumption was also lower for extended cathodes than for normal length cathodes. Visually, there was no significant difference in the quality of the zinc between the extended and normal-length cathodes. Extended cathodes produced more zinc as was predicted. Extended cathodes would be profitable for production.</p>		

<p>Key words Cathode, current efficiency, energy consumption</p>

KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY

Elektrodi = virtapiirin osa, josta virta johtuu

Katodi = negatiivinen elektrodi

Anodi = positiivinen elektrodi

Elektrolyytti = on aine, joka johonkin liuottimeen liuenneena tai sulassa tilassa johtaa sähköä ja jonka sähkövirta hajottaa kemiallisesti

Dendriitti = nestemäisestä aineesta sen jähmettyessä ensimmäisenä muodostuva puumainen kide, tässä tapauksessa sinkin seassa oleva lyijy, joka on jähmettynyt raerajoille pallomaisina pisaroina.

Virtahyötysuhde (VHS) = kuvaa, kuinka paljon käytetystä virrasta on kulunut haluttuun katodireaktioon eli sinkin saostamiseen.

Liuostasku = pullottavaa sinkkiä, tapahtuu kun happoa päässyt sinkin ja katodin väliin.

Neulareikä = sinkin pinnalla oleva pieni reikä, joka on kooltaan noin nuppineulan pään kokoinen.

TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY
SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
2 BOLIDEN-KONSERNI	2
3 BOLIDEN KOKKOLA OY	3
4 SINKIN TUOTANTOPROSESSI	4
4.1 Pasutus	5
4.2 Rikkihapon tuotanto	5
4.3 Liuotus ja liuospuhdistus.....	5
4.4 Elektrolyyysi	6
4.5 Sulatus, seostus ja valu	6
5 SINKIN ELEKTROLYYSI JA PROSESSIN TEHOKKUUS	7
5.1 Sinkin elektrolyyysi.....	7
5.2 Lämpötilan vaikutus elektrolyyysiin	8
5.3 Epäpuhtauksien vaikutus sinkin kasvuun ja laatuun.....	8
5.4 Virrantiheys	8
5.5 Virtahyötysuhde	9
5.6 Energiankulutus	9
5.7 Hyvän sinkin ominaisuudet.....	10
5.8 Kasvuaika.....	10
6 KOKEIDEN SUUNNITTELU, RAJOITUS JA TAVOITTEET	11
7 KOKEIDEN TOTEUTUS.....	12
8 TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU.....	13
8.1 Visuaaliset havainnot	13
8.2 Sinkkien painot.....	15
8.3 Virtahyötysuhde	16
8.4 Energiankulutus	19
8.5 Tulosten arviointia	21
9 YHTEENVETO	22
LÄHTEET	24
LIITTEET	
KUVAT	
KUVA 1. Boliden-konserni	2
KUVA 2. Rikasteesta metalliksi, sinkin tuotantoprosessi	4
KUVA 3. Elektrolyyysin prosessi.....	6
KUVA 4. VHS prosentti kuvaaja oletetuilla kasvuajoilla	17

KUVA 5 VHS prosentti kuvaaja todenmukaisilla kasvuajoilla.....	19
KUVA 6. Energiankulutukset testeille oletetuilla kasvuajoilla	20
KUVA 7. Energiakulutukset testeille todenmukaisilla kasvuajoilla.....	21

TAULUKOT

TAULUKKO 1.Sinkkien kasvuajat ja niiden painot ja painoerot	16
TAULUKKO 2.Testien virtahyötysuhteet oletetuilla kasvuilla	17
TAULUKKO 3 Testin virtahyötysuhteet todenmukaisilla kasvuajoilla.....	18
TAULUKKO 4 Testien aikaiset energiankulutukset oletetulla kasvuajoilla.....	19
TAULUKKO 5 Testien aikaiset energiankulutukset todenmukaisilla kasvuajoilla	20

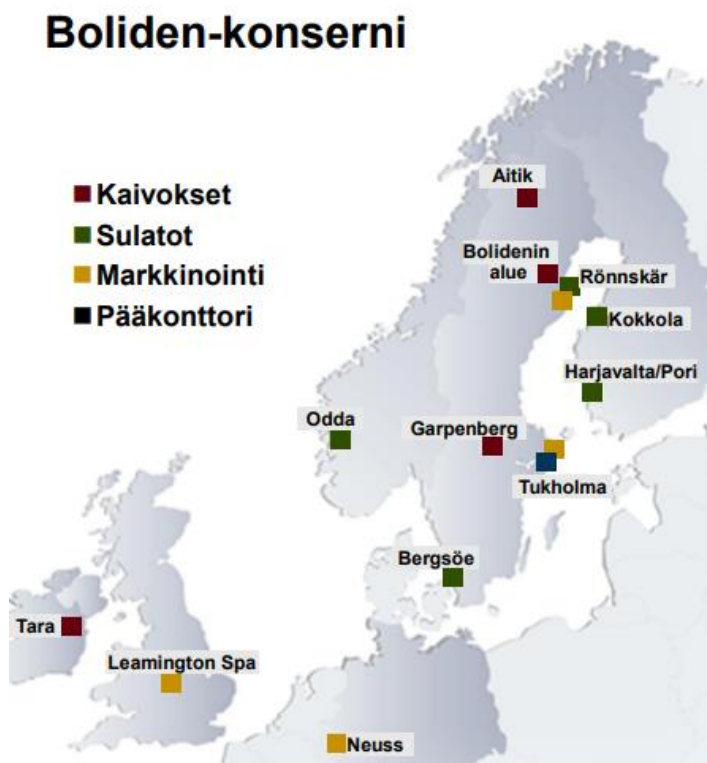
1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Boliden Kokkolan elektrolyysiosasto. Työn tavoitteena oli selvittää, miten pidennetyt katodit vaikuttavat sinkin kasvuun elektrolyysissä. Työssä tehtiin visuaalisia havaintoja sinkin ulkonäöstä sekä tutkittiin virtahyötysuhdetta (VHS) ja energiankulutusta. Työssä vertailen normaalimittaisten katodien ja pidennettyjen katodien eroja painon suhteen, VHS:ää, energiankulutusta sekä visuaalisesti sinkin ulkonäköä ja laatua.

Tätä työtä varten tehtiin kahdeksan koetta, neljää eri kasvuaikaa kohden, eli jokaista kasvuaikaa kohden tehtiin kaksi koetta, jotta ne olisivat vertailukelpoisia keskenään. Nämä kasvuaikat olivat tavoiteltuja aikoja. Kokeet tehtiin yhdellä altaallisella pidennettyjä katodeita ja anodeita, ja yhdellä altaalla oli normaalimittaiset katodit, joita käytettiin tuloksia käsiteltäessä verrokkeina. Tässä työssä vertailen näiden kokeiden tuloksia keskenään.

2 BOLIDEN-KONSERNI

Boliden on ruotsalainen metallialan yritys. Kuten kuvasta 1 nähdään, Boliden-konsernilla on toimintaa malminetsinnästä sulattotoimintaan saakka. Päätuotteina Boliden tuottaa sinkkiä ja kuparia, mutta yhtiö tuottaa sivutuotteina kultaa, hopeaa ja lyijyä. Bolidenillä on myös omia kaivoksia Ruotsissa sekä Irlannissa. Sulattoja Bolidenillä on Suomen lisäksi Ruotsissa ja Norjassa. (Boliden 2019.)



KUVA 1. Boliden-konserni. (Boliden Kokkola Oy 2013.)

3 BOLIDEN KOKKOLA OY

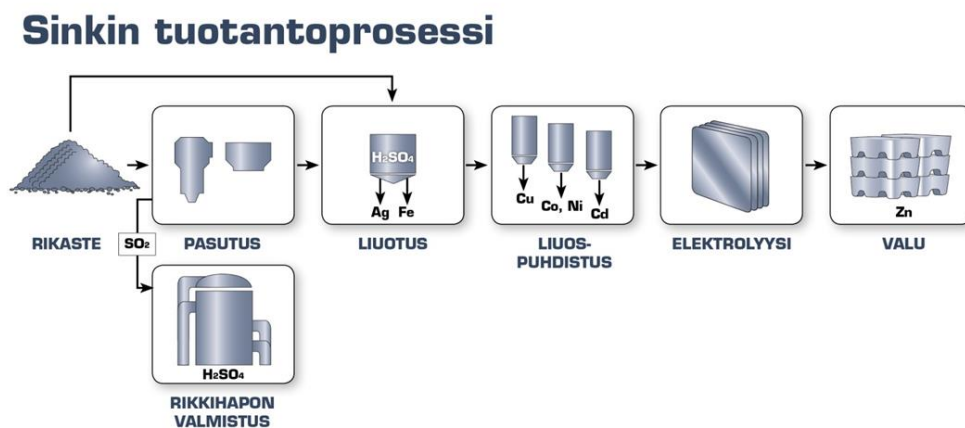
Boliden Kokkolan toimipiste on toiseksi suurin sinkkitehdas Euroopassa. Bolidenillä suurin osa käytettävästä rikasteesta tulee konsernin omilta kaivoksilta, mutta rikastetta hankitaan myös muilta kaivosyhtiöiltä tarpeen mukaan. Tehtaan valikoimassa on noin 40 erilaista sinkkituotetta; osa näistä tuotteista on puhdasta sinkkiä ja osa on seostuotteita, joita asiakkaat ovat tilanneet. (Boliden Kokkola Oy 2019.)

Kokkolassa sinkin tuotanto on alkanut vuonna 1969. Tuolloin tehdas toimi nimellä Outokumpu, mutta vuonna 2004 tehdas tuli osaksi Boliden-konsernia. Vuonna 2010 Boliden osti rikkihappotehtaan Kemiralta. Nykyisin Kokkolan toimipiste työllistää noin 550 henkilöä, mikä tekee Bolidenistä Kokkolan suurimman yksityisen työnantajan. Vuonna 2018 Kokkolassa tuotettiin noin 295 000 tonnia sinkkiä ja noin 322 000 tonnia rikkihappoa. Vuonna 2018 Kokkolan toimipisteen liikevaihto oli 461 milj. Ruotsin kruunua (noin 43,7 milj. euroa). Sivutuotteena Kokkolan tehtaalla tulee kuparia, lyijyä, nikkeliä, kultaa sekä hopeaa. (Boliden Kokkola Oy 2019.) Vuonna 2014 Boliden rakensi hopeantalteenottolaitoksen Kokkolan tehtaalle (Boliden Kokkola Oy 2015.)

Kokkolan sinkkitehdas on yksi maailman isoimmista sinkkisulatoista. Kokkolassa sinkistä tehdään harkkoja, jotka myydään eteenpäin asiakkaille. Lopputuotteita on erikokoisia: pienin niistä on 25 kg ja suurin on 4 000 kg:n jumboharkko. Tehdas tuottaa erittäin hyvälaatuista sinkkiä. Noin 85 % tuotannosta menee vientiin, josta suurin osa Pohjois- ja Keski-Eurooppaan. (Boliden Kokkola esite.)

4 SINKIN TUOTANTOPROSESSI

Kokkolan tehtaalla käytettävä sinkkipitoinen rikaste tulee pääosin Bolidenin omilta kaivoksilta, mutta osa rikasteesta myös ostetaan muilta kaivosyhtiöiltä Euroopasta, Pohjois-Amerikasta sekä Perusta. Kuten kuvasta 2 nähdään, sinkin tuotannossa on viisi eri vaihetta: pasutus, liuotus, liuospuhdistus, elektrolyysi sekä valu. Kokkolan toimipisteessä tuotetaan myös rikkihappoa. (Boliden Kokkola Oy 2017.)



KUVA 2. Rikasteesta metalliksi, sinkin tuotantoprosessi. (Boliden Kokkola Oy 2017.)

Prosessissa käytettävän raaka-aineen sinkkipitoisuus on noin 50 %, ja valmiin sinkin puhtausaste on vähintään 99,995 %. Kokkolan toimipisteen vuotoinen tuotantokapasiteetti on 315 000 tonnia, jolloin vuorokauden keskimääräinen kapasiteetti on reilut 860 tonnia. Prosessin läpivienti rikasteesta lopputuotteeksi kestää noin 10 vuorokautta. Tehtaalla hyödynnetään monia sivuvirtoja, kuten muun muassa rikkihappoa, höyryä, sinkkisulfaattiliuosta, prosessilämpöä sekä vuodesta 2014 alkaen hopearikastetta. (Boliden Kokkola Oy 2017.)

4.1 Pasutus

Rikasteen pasutus on sinkin valmistuksen ensimmäinen vaihe. Pasutuksessa rikaste syötetään pasutus-uuniin, jossa rikaste poltetaan 950 °C:ssa, josta saadaan tuotteeksi sinkkioksidia eli pasutetta.

Pasutuksessa syntyy sivutuotteena rikkidioksidipitoista kaasua, joka jäädytetään, jonka sen sisältämä lämpö otetaan talteen höyrynä, joka sitten johdetaan rikkihappotehtaalle jatkokäsittelyä varten, ja siitä tehdään rikkihappoa. (Boliden Kokkola Oy 2017.)

4.2 Rikkihapon tuotanto

Rikkihappoa valmistaessa ensiksi rikkidioksidikaasu hapetetaan happotehtaan konvertterissa rikki-trioksidiksi. Tämän jälkeen rikki-trioksidi imeytetään veteen, jonka jälkeen syntyy rikkihappoa. Prosessissa syntyy sivutuotteena runsaasti lämpöenergiaa, joka otetaan talteen kaukolämpönä. (Boliden Kokkola Oy 2017.)

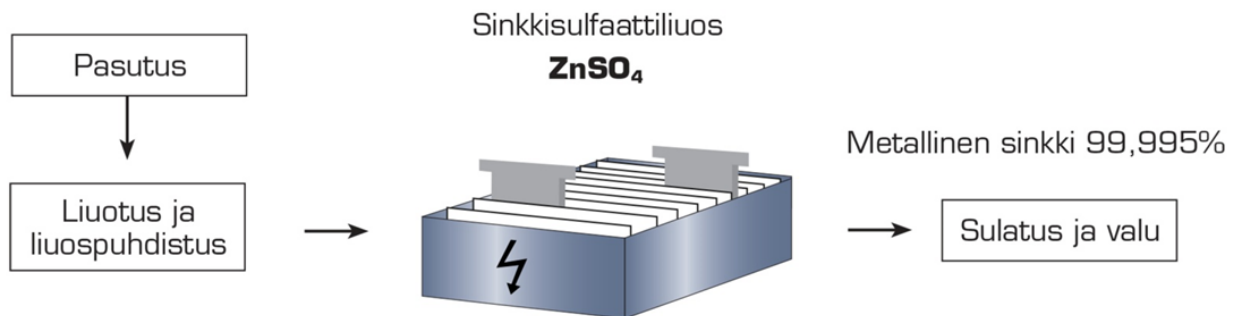
4.3 Liutus ja liuospuhdistus

Tässä prosessivaiheessa pasute sekä suoraliuosmenetelmällä käsiteltävä rikaste liuotetaan elektrolyysillä tulevaan ns. paluuhappoon. Ensimmäiseksi rauta saostetaan ja suodatetaan pois prosessista ns. jarosiitina, ja tällöin liuksesta tulee sinkkisulfaattiliuos. Pasutteesta oleva hopea otetaan talteen hopealaitoksella. (Boliden Kokkola Oy 2017)

Liuotuksen jälkeen liuksessa on vielä pieniä määriä sinkin mukana liuenneita epäpuhtauksia, jotka täytyy puhdistaa pois liuksesta ennen liuksen siirtämistä elektrolyysille. Tämä puhdistusprosessi tapahtuu kolmessa vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa liuksesta poistetaan kupari, jonka jälkeen liuksesta poistetaan koboltti ja nikkeli. Kolmannessa vaiheessa poistetaan kadmium. Prosessista poistetut kupari, koboltti ja nikkeli kuljetetaan Harjavaltaan kuparin valmistukseen. Kolmannen vaiheen jälkeen, kun liuksesta on poistettu kaikki epäpuhtaudet, sinkkisulfaattiliuos sisältää sinkkiä 150 g/l. Puhdistuksen jälkeen liuos jäädytetään, jäädytyksen jälkeen liuos pumpataan elektrolyysiin. (Boliden Kokkola Oy 2017.)

4.4 Elektrolyysi

Elektrolyysissä sinkki saostuu liuoksesta alumiinisen katodin pinnalle sähkövirran avulla. Näiden katodien annetaan kasvaa altaissa noin 35 tuntia. Tämän noin 35 tunnin jälkeen katodit poistetaan liuoksesta ja tilalle laitetaan uudet katodit odottamaan kasvua. Altaasta poistamisen jälkeen sinkkilevyt irrotetaan katodien pinnalta automaattisesti irrotuskoneiden avulla. Elektrolyysin jälkeen sinkki on puhtausasteeltaan 99,9995-prosenttista sinkkiä. Kuvassa 3 on kuvattuna elektrolyysin prosessi. (Boliden Kokkola Oy 2017.)



KUVA 3. Elektrolyysin prosessi. (Boliden Kokkola Oy 2017)

4.5 Sulatus, seostus ja valu

Elektrolyysin jälkeen sinkkilevyt sulatetaan valimolla induktiouunissa. Sulatettu sinkki valetaan 25 kg:n harkoiksi tai sinkkijumboiksi, joiden paino on suurimmillaan jopa 4 000 kg. Tässä vaiheessa myös osaan tuotteista seostetaan sekaan alumiinia tai muita metalleja asiakkaiden tarpeiden mukaan. Tämän prosessivaiheen jälkeen sinkki on valmis myytäväksi. Suurin osa lopputuotteesta myydään terästehtaille. (Boliden Kokkola Oy 2017.)

5 SINKIN ELEKTROLYYSI JA PROSESSIN TEHOKKUUS

Elektrolyysin tehokkuutta voidaan mitata erilaisilla tunnusluvuilla. Tehokkuutta voidaan myös arvioida hieman silmämääräisesti sen mukaan, miltä sinkki näyttää. Näihin tehokkuuden tunnuslukuihin vaikuttavat muun muassa sinkin lämpötila sekä epäpuhtauksien määrä liuoksessa. Tunnuslukujen tarkoituksena olisi kertoa, miten tuotantokapasiteettia on hyödynnetty. (Tamminen 2018, 9.)

5.1 Sinkin elektrolyysi

Liuospuhdistuksella on suuri merkitys sinkin elektrolyysille, sillä elektrolyytissä sinkkiä jalommat epäpuhtaudet saostuvat sinkin pinnalle ja alentavat vedyn ylijännitettä. Tämän seurauksena VHS voi pienentyä ja korroosiopareja syntyä, ja ne sitten liuottavat sinkin, joka on mahdollisesti jo saostunut kato-diin. Tätä kutsutaan takaisinliukenemiseksi. Jo erittäin pienillä epäpuhtauspitoisuuksilla, kuten 10 µg/l, saattaa olla vaikutuksia VHS:n alenemiselle. (Murto-mäki, Kallio, Lahtinen & Kontturi. 2010, 195.)

Liuosta, jota elektrolyysissä käytetään, kutsutaan nimellä elektrolyytti. Syöttöliuoksen pitoisuudet ovat $[Zn] = 70 \text{ g/l}$ sekä $[H_2SO_4] = 150 \text{ g/l}$, ja syöttöliuoksen lämpötila on 38 °C. Sinkin elektrolyysissä kato-dilevynä toimii alumiini, johon sinkki saostuu noin 35 tunnin ajan. Tämän jälkeen sinkki irrotetaan alumiinikatodista koneellisesti. Elektrolyysissä virrantiheytenä käytetään 400–600 A/m². Elektrolyyttiin lisätään pieniä määriä orgaaniasia yhdisteitä, joiden tarkoituksena on muun muassa säädellä katodille saostuvan sinkin kiderakennetta ja vähentää epäpuhtauksien vaikutuksia. Orgaaniset yhdisteet vaikuttavat myös pintajännitykseen, mikä aiheuttaa haposumun muodostumista. (Murto-mäki ym. 2010, 195.)

Sinkin elektrolyysissä anodimateriaalina toimii lyijy, joka sisältää 0,6–1,0 % hopeaa. Hopea tekee lyijyanodista lujempaa, ja se myös katalysoi hapen kehitystä. Sinkkirikaste sisältää jonkin verran mangaania, joka liukenee mutta ei poistu liuospuhdistuksessa. Elektrolyysissä tämä mangaani hapettuu anodin pinnalla mangaanioksidiksi. Tämä mangaanioksidi muodostaa anodin pinnalle kerroksia, josta osa ajan kuluessa vajoaa altaiden pohjiin, minkä takia elektrolyysialtaat tulisi huoltaa ja puhdistaa tietyin aikavälein. (Murto-mäki ym. 2010, 195.)

Sinkin elektrolyysissä kennojännite on noin 3,5 V, joka vastaa 3,2 kWh/kg energiankulutusta. Elektrolyyttiin päätyy myös rikasteessa olevaa magnesiumia, jota ei saa poistettua puhdistuksen avulla. Magnesiumin pitoisuus ei saisi kuitenkaan nousta liian suureksi, koska silloin se pienentäisi sinkin liukoisuutta. Tämän takia elektrolyyttiä poistetaan prosessista jatkuvasti tietty määrä. (Murtomäki ym. 2010, 195.)

5.2 Lämpötilan vaikutus elektrolyysiin

Optimaalinen lämpötila elektrolyysille on 36 °C ja 46 °C välillä; mitä puhtaampaa elektrolyytti on, sitä korkeampi optimaalisen lämpötilan tulisi olla. Kun lämpötila pääsee nousemaan liian korkeaksi, se aiheuttaa muun muassa virtahyötysuhteen pienenemistä, mutta lämpötilan nousu myös parantaa elektrolyytin sähkönjohtokykyä, minkä vaikutuksesta energiankulutus laskee. (Sinclair 2005, 121–122.)

5.3 Epäpuhtauksien vaikutus sinkin kasvuun ja laatuun

Sinkin puhdistusprosessi ei aina onnistu toivotulla tavalla, jolloin liuokseen jää vielä epäpuhtauksia, ja näillä epäpuhtauksilla on suuri vaikutus sinkin kasvuun ja sen laatuun. Epäpuhtaudet muun muassa vähentävät virrantehokkuutta sekä lisäävät energiankulutusta. Muun muassa kuparilla on haitallisia vaikutuksia elektrolyysiin. Antimoni aiheuttaa sinkin takaisinliukenemistä. Myös nikkelin läsnäolo liuoksessa aiheuttaa takaisinliukenemistä ja estää sinkin tarttumista katodiin. Nikkeli myös lisää virrantehokkuutta ja vähentää energiankulutusta. (Lins, Castro, Araújo & Oliveira 2011.)

5.4 Virrantiheys

Normaali virrantiheys sinkin elektrolyysissä on 400 amps/m². Mikäli virrantiheys on matala, se vähentää jännitettä ja laskee myös VHS:ää. Alhaisemmat virrantiheydet vaativat lisää katodipinta-alaa tai enemmän soluja, jotta sinkkiä voitaisiin tuottaa sama määrä kuin normaalilla virrantiheydellä. (Sinclair 2005, 128.)

Myöskään liian suuri virrantiheys ei ole hyväksi, sillä suuri virrantiheys lisää anodien korroosiota ja lyijyn pitoisuutta sinkkikatodissa. Tämän seurauksena käytännöllisille virrantiheyksille saattaa olla määritettyjä ylärajoja, mutta ne ovat hyvin riippuvaisia elektrolyytin koostumuksesta ja syövyttävien epäpuhauksien, kuten esim. kloridin läsnäolosta. (Sinclair 2005, 128.)

5.5 Virtahyötysuhde

Yksi tärkeimmistä elektrolyysissä käsiteltävistä tunnusluvuista on virtahyötysuhde (VHS). Virtahyötysuhteen tarkoitus on kuvata sitä, kuinka paljon käytetystä virrasta on kulunut siihen reaktioon, jonka halutaan tapahtuvan, joka on tässä tapauksessa sinkin saostuminen. Elektrolyysin virtahyötysuhde vaihtelee yleensä välillä 90-97 %. VHS:ään vaikuttavat muun muassa vedynkehitys, virtapiirin mekaaninen kunto sekä liuosvastukset (Tamminen 2018, 10.) Virtahyötysuhde tuloksissa on laskettu kaavan 1 mukaisesti.

$$\text{VHS} = \frac{m_{\text{punnittu}}}{\text{kAh} \cdot 1,219 \text{ kg}} * 100 \% \quad (1)$$

Jossa siis,

VHS = virtahyötysuhde

m_{punnittu} = punnittujen sinkkien määrä (kg)

kAh = Kiloampeeritunnit (siis kyseisiin levyihin kohdistuva virtamäärä, joka tässä tapauksessa 40 kA * kasvuaika tunteina)

1,219 kg on sinkkiekvivalentti-, eli teoreettinen maksimi, jonka 1 kAh kykenee sinkkiä saostamaan.

5.6 Energiankulutus

Myös energiankulutus on tärkeä suure elektrolyysissä, koska elektrolyysissä kuluu huomattavan suuri määrä sähköenergiaa. Energiankulutuksen (S_E) yksikkönä käytetään kWh/kg. S_E voidaan laskea kaavan 2 mukaan. (Vastamäki 2015, 23.)

$$S_E = U * \frac{Q}{w} \quad (2)$$

Jossa,

S_E = energiankulutus

U = jännite (V)

Q = sähkömäärä (kAh)

w = tuotteen massa (kg)

5.7 Hyvän sinkin ominaisuudet

Hyvä sinkki on pinnaltaan tasaisen näköistä eikä tunnu eikä näytä ryppyiseltä. Laadultaan hyvä sinkki on myös kauttaaltaan samanväristä. Sinkin laadun suurin vaikutustekijä on sinkin puhtaus; mitä enemmän sinkki sisältää epäpuhtauksia, sitä huonompilaatuista sinkki on. Sinkkikatodin pinnalla esiintyy joskus dendriittikasvua. Tämä dendriittikasvu johtuu epätasaisesta virtajakaumasta alumiinikatodin pinnalla. Virtajakaumaan vaikuttavia tekijöitä ovat katodin muoto ja koko, miten anodit on sijoitettu katodien suhteen, sekä katodien ja anodien välinen etäisyys. Tämän takia siis olisi tärkeää, että anodit ja katodit olisi sijoitettu oikein kontaktikohtiinsa virtakiskoilla. Dendriittejä syntyy, koska liuoksessa virran kulku reitti on aina lyhin mahdollinen, jolloin anodin lähellä sinkkiä saostuu enemmän kuin siitä kaukana. Dendriittikasvuun vaikuttaa myös virrantiheys: jos virrantiheys on suuri, se kasvattaa enemmän dendriittejä. (Tamminen 2018, 11.)

5.8 Kasvuaika

Kasvuaika katodilla on yleensä noin 34–40 h; optimaalisin kasvuaika olisi 35 h, mutta usein kasvuaika venähtää pidemmäksi, jos irrotuksen aikana ilmenee ongelmia. Tämän vuoksi pidennetyistä katodeista voisi olla hyötyä, sillä silloin katodeita voitaisiin kasvattaa altaissa kauemman aikaa suuremman kontaktipinnan ansiosta, jolloin saataisiin lisää peliaikaa irrotukseen, mikäli ongelmia ilmenisi.

6 KOKEIDEN SUUNNITTELU, RAJOITUS JA TAVOITTEET

Kokeiden tarkoituksena on tutkia, miten pidennetyt elektrodit (lähinnä katodit tässä työssä) vaikuttavat sinkin kasvuun elektrolyysissä. Yhtenä oletuksena on se, että sinkkiä tulee määrällisesti enemmän, sillä kasvupinta-alaa on enemmän. Kokeiden avulla tutkitaan sinkkien painoa sekä arvioidaan sinkin laatua visuaalisesti. Käsitellään myös pidennettyjen katodien vaikutusta VHS:ään ja energiankulutukseen ja vertaillaan näitä normaalimittaisiin katodeihin. Sinkkien painot punnitaan nippuina.

Kun mietittiin, millä riviparilla kokeet tehtäisiin, yritettiin löytää mahdollisimman luotettavaa ja kasvuolosuhteiltaan tasaista riviparia, joka edustaisi hyvin prosessin normaaliolosuhteita. Huomioon tuli myös ottaa se, että testin teko ei häiritse muuta työntekoa. Siksi päädyttiin rivipariin 29-30, sillä se on aika keskellä elektrolyysihallia ja koeriviä irrottaessa se ei myöskään häiritse muuta irrotusta.

Tavoitekasvuajat kokeisiin valittiin sen mukaan, mitkä ovat yleensäkin tavallisia kasvuaikoja elektrolyysillä. Optimaalisin 35 tunnin kasvu sekä vähän sen alle ja yli menevät ajat päätettiin testata. Jokaista tavoitekasvuaikaa kohden tehtiin kaksi koetta, jotta niitä voisi vertailla keskenään.

Koetta varten tarvittiin altaallinen pidennettyjä katodeja ja anodeja sekä altaallinen normaalimittaisia katodeja ja anodeja. Pidennettyjen katodien kanssa samassa altaassa käytetään suurennettuja anodeita, jotta kosketuspinta olisi liki sama, ja sitä vasten verrokkikatodien kanssa käytetään normaalikokoisia anodeja.

7 KOKEIDEN TOTEUTUS

Alussa tehtiin testi vain puolella altaalla (20 kappaletta) testikatodeja ja puolella altaalla verrokeja. Tämä osoittautui kuitenkin ongelmalliseksi, joten päätettiin tehdä muutoksia kokeiden toteutustapaan. Joten tästä eteenpäin kokeet tehtäisiin kokonaisilla altailla pidennettyjä (+20 mm) testikatodeja sekä koko altaallisella verrokeja eli normaalipituisia katodeja. Ennen näiden testin tekemistä katodit vanhennettiin perinteisesti liuottamalla.

Kaikki testit tehtiin virtapiirissä kolme, riviparilla 29-30 altaalla nro 15. Rivillä 29 oli normaalimittaiset katodit ja rivillä 30 oli pidennetyt +20 mm:n katodit. Testien aikana sähkövirta pyrittiin pitämään täysillä virtapiiri kolmosen alueella, mutta jossakin vaiheessa sitä oli pakko laskea ylläpitovirroille hetkellisesti, minkä aikana sinkin kasvua ei tapahtunut, mutta tämä on otettu huomioon testejä tehdessä. Osien testien aikana oli havaittavissa allasongelmia, esim. osa anodeista kävi kuumana, mikä vaikutti siten, että osassa katodeista toinen puoli oli tyhjänä.

Kokeiden loppuun vienti kesti suunniteltua kauemmin. Syynä tähän olivat prosessissa olleet ongelmat, joiden aikana testejä ei voitu tehdä. Testejä tehtiin yhteensä kahdeksan: Kaksi testiä per tavoite kasvu-aika, jotta tulokset olisivat vertailukelpoisempia. Tavoitekasvuajoina testeissä käytettiin 32 h, 35 h, 38 h ja 41 h. Poikkeuksena on vain se, että toinen 32 h tunnin kasvuajalla tehty koe on tehty puolella altaalla ja toinen kokonaisella altaalla testikatodeja. Kaikki loput testit tehtiin kokonaisilla altailla. Kokeiden tekemisjärjestyksellä kasvuajan suhteen ei ollut mitään tiettyjä järjestyksiä.

Todellisuudessa kasvuajat olivatkin pidempiä kuin oletetut kasvuajat. Todellisuudessa kasvuajat olivat 32 h (puolella altaalla tehty testi), 33 h, 36 h, 39 h sekä neljä kertaa 42 h testiä. Oletetun ja todellisen kasvuajan eron syynä on se, että jokaiseen testiin sai lisätä tunnin lisää kasvu-aikaa, sillä testilevyjen vaihdossa on kulunut aina aikaa, jonka aikana katodeihin oli jo kerennyt tarttunut sinkkiä.

8 TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU

Todellisuudessa kasvuajat olivat pidempiä mitä oletetut, joten tuloksissa esittelen sekä oletetut että todennukaiset kasvuajat sekä virtahyötysuhteet sekä energiankulutukset näille. Todenmukaisia tuloksia on vaikeampi vertailla keskenään sillä samalla kasvuajalla todellisuudessa tehtyjä tuloksia ei ole muuta kuin 42 h tunnin testejä 4 kappaletta; todenmukaisesti muilla kasvuajoilla testejä olikin vain yksi per kasvu aika.

8.1 Visuaaliset havainnot

Kuvia sinkkikatodeista on liitteessä 1. Kaikissa kokeissa sinkkien kasvussa oli havaittavissa dendriittejä, joissakin enemmän kuin toisissa. Lähes kaikissa testeissä oli havaittavissa myös epätasaisuutta katodien reunoissa. Normaalimittaisissa katodeissa reunaröpelöä oli havaittavissa hieman enemmän kuin pidennetyissä katodeissa. Suurin osa sinkeistä kuitenkin näytti kohtalaiselta sekä pidennetyissä +20 mm:n katodeissa sekä että normaalimittaisissa. Yleisesti pidennettyjen ja normaalimittaisten katodien sinkkikasvulla ei kuitenkaan ollut silmin havaitusti suurempia eroja. Koko testien ajan pidennettyjen katodien sinkin laatu oli samanlaista kuin muutenkin tuotannossa kauttaaltaan sillä hetkellä. Visuaalisten havaintojen tulokset esitän oletettujen kasvu aikojen mukaan.

Ensimmäisessä 32 tunnin testissä testi katodeja oli vain puoli altaallista. Silmin havaittavasti verrokeissa sekä normaalimittaisissa katodeissa oli runsaasti liuostaskuja; tähän syynä saattoi olla se, että katodit olivat uusia ja sileitä, joten sinkki ei päässyt kunnolla tarttumaan alumiinin pintaan kiinni. Sekä pidennetyissä että verrokeissa oli molemmissa jonkin verran dendriittejä, mutta normaalimittaisissa katodeissa dendriittejä oli havaittavissa enemmän. Pidennetyt sinkkikatodit olivat ohuempia, mutta laadultaan ne näyttivät hieman paremmilta kuin normaalimittaiset. Visuaaliset erot eivät kuitenkaan olleet kovin suuria pidennettyjen ja normaalimittaisten katodien välillä.

Toisessa 32 h testissä oli myös havaittavissa jonkin verran dendriittejä reunoilla; tähän syynä oli se, että anodien kontaktit olivat hieman väärässä kohdassa, jolloin virran kulku ei ollut täydellistä. Tässäkin testissä pidennetyt katodit näyttivät laadultaan normaalimittaisia katodeja paremmilta. Silmin nähden sinkki oli kuitenkin molemmissa laadultaan tasaista.

Ensimmäisessä 35 tunnin testissä verrokkikatodeissa sinkin pinnalla oli runsaasti dendriittikasvua. Verrokeissa oli anodien eristimien kohdalla reikiä, ja syynä tähän saattoi olla se, että anodit olivat kuluneita ja vanhoja. Reunaröpelöä ilmeni enemmän verrokeissa kuin pidennetyissä katodeissa. Myös pidennetyissä katodeissa sinkin pinnalla oli paljon dendriittikasvua ja vähän liuostaskuja. Pidennetyissä katodeissa oli havaittavissa selkeitä väripoikkeamia katodinkontaktipuolessa. Pidennetyissä katodeissa ei ollut anodien eristinkohdissa reikiä, sillä anodit olivat uusia näiden kohdalla. Pidennetyissä katodeissa osa sinkeistä oli hieman paperimaista. Visuaalisesti sinkkiniput näyttivät kuitenkin aika samanlaisilta, ainoana erona se, että pidennettyjen katodien nippu oli keskikohdasta notkollaan.

Toisessa 35 tunnin testissä sekä verrokeissa että pidennetyissä katodeissa oli hieman dendriittikasvua katodien reunoilla. Tässä toisessa testissä sinkin laatu kuitenkin näytti paremmalta kuin edellisessä 35 tunnin testissä. Pidennetyissä katodeissa sinkin laatu on silminnähten parempaa kuin verrokeissa. Tässä testissä liuostaskujakaan ei enää ollut.

Ensimmäisessä 38 tunnin testissä verrokeissa oli havaittavissa minimaalisia liuostaskuja. Pidennetyissä katodeissa pinta oli erittäin sileä. Pidennetyissä katodeissa oli myös havaittavissa pieniä liuostaskuja. Niput näyttivät silmin nähden liki samanlaisilta ja asiallisilta.

Toisessa 38 tunnin testissä verrokkikatodeissa oli anodien eristimien kohdalla reikiä. Sinkin pinnalla oli verrokeissa muutenkin pieniä neulareikiä. Pidennettyjen katodien sinkki oli pinnaltaan suht sileää joka puolelta. Pidennetyissä katodeissa sinkin laatu oli silminnähten kohtalaista, osittain jopa hyvää verrattuna muuhun tuotantoon testin tekohetkellä. Pidennetyissä katodeissa oli myös havaittavissa neulareikiä, mutta tässäkin testissä verrokkien ja pidennettyjen katodien visuaalinen ero ei ole suuri.

Ensimmäisessä 41 tunnin testissä verrokkikatodien reunoilla oli reunaröpelöä kuten aikaisemminkin tehdyissä testeissä. Tässäkin testissä verrokeissa oli anodien eristimien kohdalla reikiä. Liuostaskuja ei kuitenkaan ollut havaittavissa. Kaiken kaikkiaan sinkki oli kuitenkin laadultaan tasalaatuista, mutta pientä dendriittikasvua oli havaittavissa. Pidennetyissä katodeissa sinkin pinnalla olevat nypyt olivat erimuotoisia kuin verrokeissa. Pidennetyissä katodeissa oli myös havaittavissa vähän reunaröpelöä. Tässäkin testissä sinkkikatodiniput olivat liki samannäköisiä; suurempia eroja ei silmin ollut havaittavissa.

Toisessa 41 tunnin testissä verrokeissa oli reunaröpelöä sekä selkeitä värieroja; syynä näihin värieroihin oli se, että happoa oli päässyt läpi, koska anodien eristimien kohdalla oli reikiä, sekä myös neulareikiä

sinkin pinnalla vähän siellä ja täällä. Verrokkikatodeissa oli runsaasti dendriittikasvua. Pidennetyissä katodeissa oli enemmän dendriittikasvua kuin verrokeissa. Pidennetyissä oli myös neulareikiä sekä värieroja. Nämä visuaaliset havainnot eivät poikkea tämän hetkisestä tuotannosta oikeastaan yhtään; testin aikana muillakin altailla ja riveillä oli havaittavissa runsasta dendriittikasvua.

8.2 Sinkkien painot

Seuraavalla sivulla olevaan taulukkoon 1 on koottu kaikkien kokeiden kasvuajat ja sinkkien painot sekä pidennetyille että normaalimittaisille katodeille. Myös katodien painoerot on koottu taulukkoon. Tulokset on laitettu taulukkoon tuntijärjestykseen, vaikka testejä ei ihan tuossa järjestyksessä ole tehty.

Tästä näkee, että toisessa 32 h kasvulla tehdyssä testissä pidennetyt katodit olivat painoltaan kevyempiä; näinhän sen ei pitäisi olla, sillä pidennetyissä on enemmän tartuntapintaa, jolloin sinkkiä pitäisi kasvaa enemmän. Muuten pidennetyt katodit näyttävät painavan enemmän niin kuin pitäisi.

Kuitenkaan näin vähäisellä koe katodien määrällä Taulukko 1 mukainen 100–200 kg:n painoero ei ole mahdollinen, sillä katodeja on pidennetty vain 2 cm. Syynä alla oleviin suuriin painoeroihin oli se, että osassa normaalimittaisia katodeja toinen puoli oli tyhjänä sinkistä. Syynä siihen olivat kuumana käyneet anodit kokeiden aikana, jolloin sinkki ei päässyt tarttumaan alumiinikatodin pintaan. Toisessa 38 tunnin testissä osa katodeista meni hukkaan, joten siinä paino on arvioitu jäljelle jääneiden katodien painon avulla laskien keskiarvo niistä yhtä katodia kohden, jonka jälkeen kertomalla tämä 44:llä.

Pari testiä kuitenkin painon suhteen näyttäisi onnistuneen ja niiden tulokset näyttäisivät järkeviltä. Näiden muutaman testin perusteella voisi sanoa sen, että pidennetyt katodit tuottavat sinkkiä enemmän kuin normaalimittaiset, mikä olikin tarkoituskin. Muutamassa testissä painoeroa oli noin 20–50 kg ja tämä painoero testeissä käytettyjen katodimäärien suhteen on aika hyvä ja kohtuullinen. Periaatteessa painon pitäisi lisääntyä samassa suhteessa kuin pinta-alan. Näiden perusteella voisi sanoa, että pidennetyt katodit olisivat hyödyksi tuotannolle.

TAULUKKO 1. Sinkkien kasvuajat ja niiden painot sekä painoerot

Kasvuaika (h)	Paino +20mm (kg)	Paino verrokit (kg)	Painoero (kg)
32	624	654	-30
32	1463	1281	182
35	1428	1370	50
35	1571	1474	97
38	1826	1772	54
38	1828	1692	136
41	1724	1706	18
41	1846	1670	176

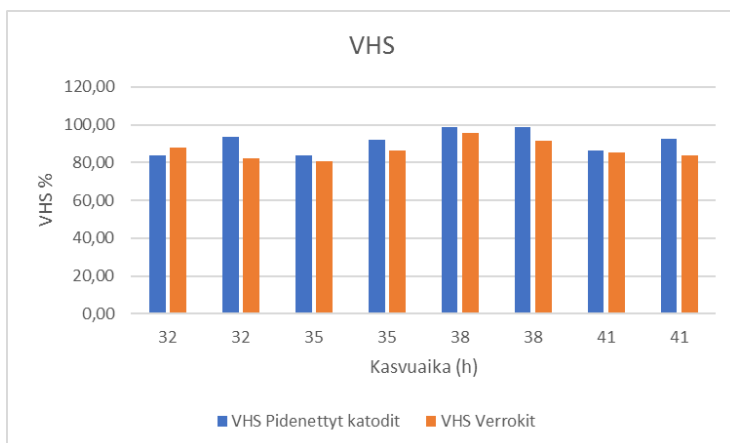
8.3 Virtahyötysuhde

Seuraavalla sivulla olevaan taulukkoon 2 on koottu virtahyötysuhteet oletetuilla kasvuajoilla. Nämä virtahyötysuhteet on laskettu kaavalla 1. Ensimmäinen 32 tunnin testi on tehty puolikkaalla altaalla, joten sen laskeminen on tehty eri tavalla. Sen VHS:n on laskettu ensin keskipaino yhtä sinkkilevyä kohden, jonka jälkeen saatu tulos on sitten kerrottu 44:llä jotta saatiin koko altaan sinkkien kokonaispaino. Pidentettyjen katodien VHS-keskiarvoksi saatiin 91,13 % ja normaalimittaisten katodien VHS:n keskiarvoksi saatiin noin 86,61 %. VHS siis on hyvä, kun se on välillä 90-97 %, sillä teoriassa VHS:n pitäisi olla tällä välillä. Pidentetyillä siis VHS menee tähän väliin, kun taas normaalimittaisilla katodeilla se jäi hieman tämän alle. Jokaisella kasvuajalla pidentettyjen katodien VHS oli parempi kuin normaalimittaisilla katodeilla. Nämä arvot olivat siis oletetuilla kasvuajoilla, joten tässä työssä käsittelen myös todennukaisten kasvuajojen mukaiset virtahyötysuhteet.

TAULUKKO 2. Testien virtahyötysuhteet oletetuilla kasvuajoilla.

Kasvuaika (h)	Pidennetyt (%)	Verrokkit (%)
32	83,79	87,82
32	93,76	82,10
35	83,68	80,75
35	92,05	86,37
38	98,55	95,63
38	98,66	91,32
41	86,24	85,34
41	92,34	83,54

Kuvassa 4 nähdään sekä pidennettyjen että verrokki katodien virtahyötysuhteet oletetuilla kasvuajoilla pylväsdiagrammimuodossa. Tästä diagrammista on silmin havaittavissa, että pidennetyillä + 20 mm:n katodeilla VHS on hieman suurempi kuin normaalimittaisilla, kuten aikaisemmin todettiin. Vain ensimmäinen 32 tunnin testi antoi erisuuntaisen tuloksen, ja syynä tähän oli testin tekeminen puolikkaalla altaalla pidennettyjä ja puolella altaalla normaalimittaisia katodeja.



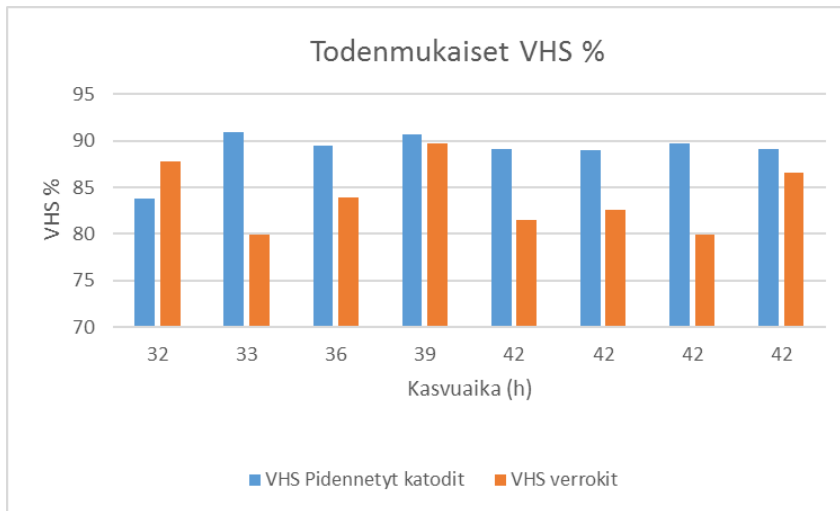
KUVA 4. VHS prosentti kuvaaja oletetuilla kasvuajoilla.

Taulukossa 3 on nähtävissä virtahyötysuhteiden arvot todenmukaisilla kasvuajoilla. Tästä voi edelleenkin sanoa, että myös todenmukaisilla tuloksilla pidennetyillä katodeilla VHS on parempi verrattaessa verrokkien VHS:ään. Pidennettyjen katodien VHS-keskiarvoksi saatiin 88,96 % ja normaalimittaisten katodien VHS:n keskiarvoksi saatiin noin 84 %. VHS:n perusteella pidennetyt katodit ovat hyödyllisiä tuotannon kannalta. Nämä arvot jäävät alle teoreettisen arvon, mutta ne ovat silti realistisempia kuin oletetuilla kasvuajoilla. VHS on yleensä hieman matalampi kuin teoreettinen maksimi, ja tähän vaikuttavat muun muassa vedynkehitys, virtapiirin mekaaninen kunto sekä liuosvastukset.

TAULUKKO 3. Testien virtahyötysuhteet todenmukaisilla kasvuajoilla.

Kasvu aika (h)	Pidennetyt katodit (+20 mm) (%)	Verrokkit (%)
32	83,79	87,72
33	90,86	79,92
36	89,44	83,97
39	90,66	89,71
42	89,07	81,55
42	88,97	82,62
42	89,75	79,98
42	89,16	86,53

Seuraavalla sivulla olevasta kuvasta 5 nähdään todenmukaiset testin virtahyötysuhteet diagrammimuodossa. Tästä kuvaajasta on helpompi havaita VHS-erot. Nämä ovat realistisempia kuin oletetuilla kasvuajoilla lasketut virtahyötysuhteet. Tässäkin on havaittavissa, että pidennetyillä katodeilla virtahyötysuhde on silmin nähden suurempi kuin normaalimittaisilla, lukuun ottamatta ensimmäistä 32 tunnin testiä, mutta sitä ei voida vertailla muiden tulosten kanssa, sillä siinä testi tehtiin puolella altaalla pidennettyjä katodeja ja muut tehtiin kokonaisilla altailla.



KUVA 5. VHS prosentti kuvaaja todenmukaisilla kasvuaajoilla.

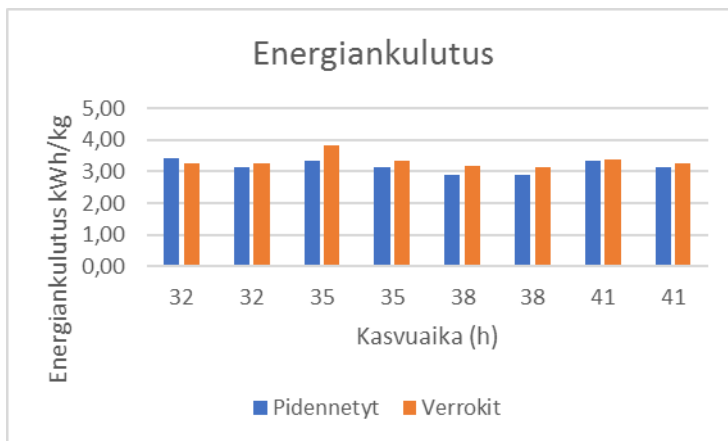
8.4 Energiankulutus

Energiankulutuksen arvot on laskettu kaavalla 2. Jännitteenä on käytetty 3,5 V. Taulukosta 4 näkee testien aikaiset energiankulutukset kWh/ kg tuotetta kohden oletetuilla kasvuaajoilla. Näiden perusteella voisi sanoa, että energiankulutus vähenee pidennettyjen katodien ansiosta. Poikkeuksena tässä ovat vain ensimmäisen koeajon tulokset, mutta sitä ei voida ottaa huomioon kunnolla, sillä kyseinen testi on tehty puolikkaalla altaalla testikatodeja, joten tulos on laskettu keskiarvon perusteella.

TAULUKKO 4. Testien aikaiset energiankulutukset oletetuilla kasvuaajoilla.

Kasvuaika (h)	Pidennetyt (kWh/kg)	Verrokit (kWh/kg)
32	3,43	3,27
32	3,14	3,25
35	3,35	3,83
35	3,12	3,32
38	2,88	3,19
38	2,91	3,14
41	3,33	3,36
41	3,14	3,24

Kuvasta 6 on nähtävissä energiankulutukset diagrammimuodossa oletettuja kasvuaikoja kohden. Tässä on havaittavissa se, että pidennetyt katodit kuluttavat hieman vähemmän energiaa kuin normaalimittaiset, kuten yllä on jo mainittu. Erot ovat kuitenkin erisuuruisia eri kasvuajoilla.



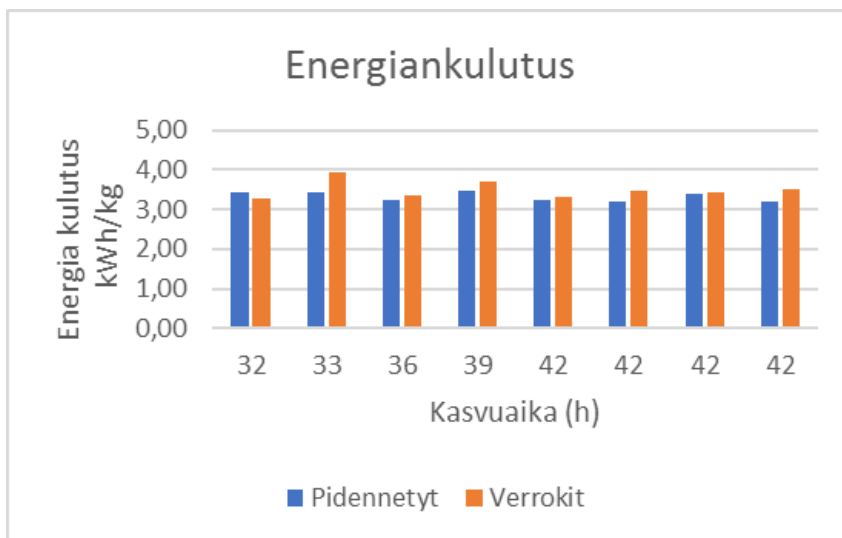
KUVA 6. Energiankulutukset testeille oletetuilla kasvuajoilla.

Taulukossa 5 on energiankulutuksen arvot todenmukaisilla kasvuajoilla. Myös todenmukaisilla arvoilla laskettuna pidennetyillä katodeilla energiankulutus on hieman vähäisempää kuin normaalimittaisilla katodeilla, joten myös energiankulutuksen kannalta pidennetyt katodit olisivat tuotannolle hyödyksi.

TAULUKKO 5. Testien aikaiset energiankulutukset todenmukaisilla kasvuajoilla.

Kasvuaika (h)	Pidennetyt (kWh/kg)	Verrokit (kWh/kg)
32	3,43	3,27
33	3,44	3,93
36	3,24	3,35
39	3,48	3,70
42	3,22	3,32
42	3,22	3,48
42	3,41	3,45
42	3,19	3,52

Kuvasta 7 nähdään energiankulutukset todenmukaisia kasvuaikoja kohden. Tästä voi havaita, että myös todenmukaisilla kasvuajoilla pidennetyt katodit kuluttavat hieman vähemmän energiaa kuin normaalimittaiset katodit. Ero ei kuitenkaan jokaisella kasvutunnilla ole samansuuruinen. Nämä asiat havaitsin jo oletettujen kasvuaikojen perusteella.



KUVA 7. Energiankulutukset testeille todenmukaisilla kasvuajoilla.

8.5 Tulosten arviointia

Tulokset näyttävät pääosin hyviltä. Saatujen tulosten perusteella voisi sanoa, että elektrodien koon kasvattaminen olisi tuotannon kannalta hyvä asia. Sinkkien painoissa ilmeni suuriakin eroja, ja syynä siihen oli, että osa normaalimittaisista katodeista oli toiselta puolelta tyhjiä, joten sinkkiä ei jostain syystä tarttunut niihin eli painon puolesta tuloksia on hankala arvioida. Laadultaan kuitenkin pidennettyjen katodien ja normaalipituisten katodien tuottaman sinkin välillä ei ole suuria eroja.

Myös VHS näyttää hyvältä, sillä pidennetyillä katodeilla se on parempi kuin normaalimittaisilla. Myös energiankulutuksen suhteen pidennetyt katodit olisivat parempia, sillä ne kuluttivat vähemmän energiaa. Voisi siis sanoa, että lähes kaikkien saatujen tulosten perusteella katodien koon kasvattaminen olisi tuotannolle hyödyksi.

9 YHTEENVETO

Tämän työn tarkoituksena oli tutkia, miten pidennetyt katodit vaikuttavat sinkin kasvuun elektrolyysissä. Tehtyjen testien mukaan näyttäisi siltä, että pidennetyt katodit antavat pääasiassa parempia tuloksia, kuten oli oletuksena ennen testien tekemistä, vaikka kaikki testit eivät onnistuneetkaan odotusten mukaisesti. Silti pääpiirteittäin voisi testien sanovan olleen onnistuneet tulosten puolesta.

Testien aikana liuoksessa ei ollut paljon epäpuhtauksia, sen voi sanoa sen perusteella, että VHS oli hyvä ja pysyi teoreettisissa rajoissa, ja myös energiankulutus oli hyvä, sillä se ei ollut kovin korkea vaan meni aika hyvin normaalin rajoihin, sillä normaalisti energiankulutus on noin 3,104 - 3,395 kWh/kg. Takaisinliukenemistakaan ei ollut paljon havaittavissa.

Tulosten perusteella voisi sanoa, että tämä katodien pidennys olisi teoriassa kannattavaa, sillä testien mukaan pidennetyillä katodeilla oli parempi virtahyötysuhde kuin normaalimittaisilla katodeilla. Myös energiankulutus oli vähäisempää pidennetyillä katodeilla kuin normaalimittaisilla, joten pidennettyjen katodien käyttö olisi taloudellisempaa ja painollisesti pidennetyt katodit tuottavat enemmän sinkkiä. Visuaalisesti katsottuna yleisesti voi sanoa, että pidennettyjen ja verrokkikatodien laatu on liki samanlaista, joten tältä kannalta eroa ei suuremmin ollut havaittavissa.

Aluksi laskin katodeille oletetun kasvuajan perusteella VHS:n sekä energiankulutukset, mutta ne eivät kaikki olleet kovin realistisia. Tällöin todettiin, että oletettuihin kasvuaikoihin tuli lisätä tunti kasvuaikaa, jotta saatiin todenmukaisemmat tulokset. Tämän jälkeen laskettiin tulokset uudestaan ja tuloksista tulikin todenmukaisemmat teoriansikin kannalta. Syynä tähän kasvuajan lisäämiseen oli se, että levyjen vaihdossa meni niin paljon aikaa, että levyihin alkoi jo kertyä sinkkiä ennen kuin ajanlaskenta laitettiin päälle.

Pidennetyt katodit olisivat myös tuotannon kannalta hyödyllisiä, sillä kun niissä on enemmän kasvupinta-alaa, jonka seurauksena saataisiin lisää kasvuaikaa katodeille, mikäli irrotuskoneissa olisi suuria ongelmia. Tuotannon kannalta myös toinen hyöty pidennetyistä katodeista olisi se, että ne tuottaisivat hieman enemmän sinkkiä, mutta tähän on vaikea sanoa kuinka paljon, sillä testien välisten punnitustulosten erot olivat suuria; syynä siihen oli se, että välillä osasta katodeja toinen puoli oli kokoaan tyhjä

kasvuista kuumina käyneiden anodien takia, joten sitä, kuinka paljon enemmän sinkkiä näillä pidennetyillä katodeilla voisi saada, on vaikea sanoa.

Pidennetyt katodit antoivat lähes kaikin puolin parempia tuloksia kuin normaalimitatset katodit. Varvoja syitä tähän pidempien katodien parempiin tuloksiin on vaikea sanoa, mutta syynä näihin parempiin tuloksiin voidaan arvioida virrantiheyttä. Sillä jos virrantiheys oli matala testien tekohetkellä, tällöin suurempi katodipinta-ala antaa parempia tuloksia, sillä alhainen virrantiheys vaatii suuremman kontaktipinta-alan, jotta sinkkiä saataisiin tuotettua normaali määrä. Virran tiheys myös vaikuttaa dendriittikasvuun, jota siis pidennetyissä katodeissa oli pääasiassa vähemmän. Virrantiheys on siis yksi vaikuttava tekijä siihen, että pidennetyillä katodeilla saatiin parempia tuloksia.

Katodien pidennysten periaatteellisesta kannattavuuteen on vaikea ottaa kantaa, koska siinä tulee ottaa huomioon muun muassa katodien valmistuskustannukset. Mutta tämän työn tulosten pohjalta ja oman näkökantani perusteella voisin sanoa, että tämä katodien pidennys olisi tuotannon kannalta kannattava ratkaisu.

LÄHTEET

- Boliden Kokkola. Sinkin tuotanto. Esite. Saatavissa: https://www.boliden.com/globalassets/operations/smelters/kokkola/boliden_kokkola_esite_engweb.pdf Viitattu 5.3.2019.
- Boliden Kokkola Oy 2013. Boliden konserni. Saatavissa: <http://www.uusiomaarakentaminen.fi/sites/default/files/Boliden%20Kokkola%20Oy%2C%20Kai%20Nyk%C3%A4nen.pdf> Viitattu 5.3.2019.
- Boliden Kokkola Oy 2015. Yhteiskuntavastuun raportti. Viitattu 11.3.2019.
- Boliden Kokkola Oy 2017. Rikasteesta metalliksi. Sinkin tuotantoprosessi. Tuotannon kalvosarja. Viitattu 11.3.2019.
- Boliden Kokkola Oy 2019. Euroopan toiseksi suurin sinkkitehdas. Saatavissa: <https://www.boliden.com/fi/operations/smelters/boliden-kokkola/> Viitattu 5.3.2019.
- Boliden 2019. Operations. Saatavissa: <https://www.boliden.com/fi/operations> Viitattu 5.3.2019.
- Lins, V., Castro, M., Araújo, C. & Oliveira D. 2011. Effect of nickel and magnesium on zinc electrowinning using sulfate solutions. Brazilian Journal of Chemical Engineering. 28(3). São Paulo. Saatavissa: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-66322011000300013&lng=en&tlng=en#nota Viitattu 10.9.2019.
- Murtomäki, L., Kallio, T., Lahtinen, R. & Kontturi, K. 2010. Sähkökemia. 2. painos. Jyväskylä. Koppijyvä Oy. Viitattu 24.9.2019.
- Sinclair, R. 2005. The extractive Metallurgy of Zinc. Australia: The Australasian institute of mining and metallurgy. Viitattu 2.9.2019.
- Tamminen, S. 2018. Taipuneiden alumiinikatodien vaikutus sinkin kasvuolosuhteisiin elektrolyysissä. Oulun ammattikorkeakoulu, Energiatekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/149805/Tamminen_Sini.pdf?sequence=1&isAllowed=y Viitattu 20.3.2019.
- Vastamäki, M. 2015. Pinnoitettujen titaaniverkkoanodien testaus nikkielektrolyysissä. Satakunnan ammattikorkeakoulu. Kemiantekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/95488/Vastamaki_Mari.pdf?sequence=1&isAllowed=y Viitattu 2.5.2019.

Kuvia sinkkikatodeista

35 tunnin kasvulla olevat levyt. Vasemmalla puolella on normaalimittainen katodi ja oikealla puolella pidennetty katodi. Molemmissa on dendriittikasvua, mutta yleisesti ottaen pidennetyissä katodeissa sinkin kasvu on hieman paremman laatuista.



38 tunnin kasvulla olevat levyt. Vasemmalla puolella on normaalimittainen katodi ja oikealla puolella pidennetty. Tässä myös pidennetyt näyttivät visuaalisesti hieman paremmilta kuin normaalimittaiset, mutta suuria eroja ei kuitenkaan ole havaittavissa.



41 tunnin kasvulla olevat katodit. Normaalimittainen on vasemmalla puolella, oikealla puolella pidennetty katodi. Tässä pidennetyissä oli himan enemmän denderiittejä, mutta laadultaan molemmat olivat lähes samanlaisia. Molemmissa on havaittavissa värieroja, sillä happoa on päässyt neulareijistä sisään.

