

Janne Korhokangas

## **LYIJYANODIEN HITSAUSLAADUN PARANTAMINEN**

# LYIJYANODIEN HITSAUSLAADUN PARANTAMINEN

Janne Korkiakangas  
Opinnäytetyö  
Syksy 2022  
Hitsausalan tutkinto-ohjelma (ylempi  
AMK)  
Oulun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Tekniikan ylempi ammattikorkeakoulututkinto, hitsausalan tutkinto-ohjelma

---

Tekijä: Janne Korkiakangas  
Opinnäytetyön nimi: Lyijyanodien hitsauslaadun parantaminen  
Työn ohjaajat: Esa Törmälä (OAMK), Timo Salminen (BKO)  
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: syksy 2022 Sivumäärä: 49 + 1 liite

---

Opinnäytetyössä pyrittiin löytämään ratkaisu Boliden Kokkolan sinkkisulaton lyijyanodien hitsauslaadun parantamiseksi. Lyijyanodeja käytetään Bolidenin elektrolyysillä sähköparina alumiiniselle katodilevyille, jolle seostetaan sinkki ohueksi levyksi.

Lyijyanodien ongelmana on katkeaminen hitsauksesta tuotannossa tai kunnostuksessa. Käytettävä hitsausmenetelmä on nykyään yksipuolinen TIG-hitsaus, joka ei menetelmänä sovellu täysin lyijyanodien valmistukseen, koska hitsausta ei voida suorittaa menestyksekkäästi läpihitsauksena lyijyn ominaisuuksien vuoksi.

Tavoitteet kartoitettiin sekä valmistavan että käyttävän tuotanto-osaston asiantuntijoiden haastatteluissa ja katselmuksissa molemmilla osastoilla. Näiden perusteella rajattiin käsiteltävä aihe sopivaan laajuuteen ja syvennettiin aiheen tuntemusta erilaisista kirjallisuuden lähteistä ja verkkojulkaisuista.

Ratkaisuna ongelmaan testattiin kitkahitsausta pyörivällä työkalulla ja kaksipuoleisella TIG-hitsauksella. Testaus on suoritettu lyijyanodien käsittely- ja kokoonpanolaitteiston konseptisuunnittelun yhteydessä. Testien tulokset ja yleiset perusteet puoltavat kitkahitsausta soveltuvana ratkaisuna ongelman ratkaisuksi.

Tuloksena saatiin suositus ja ehdotus laitteiston muutoksesta, jolla tutkimusongelma saadaan ratkaistua eli lyijyanodien hitsauksen laatu on muutoksen jälkeen niin hyvä, että lyijyanodien pääongelma on ratkaistu ja kehitystyötä voidaan jatkaa muilla alueilla tarvittaessa.

---

Asiasanat: Lyijyanodi, sinkin valmistus, kitkahitsaus pyörivällä työkalulla, TIG-hitsaus, konseptisuunnittelu

# ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Degree Programme in Master of Engineering, Option of Welding

---

Author: Janne Korhakangas  
Title of thesis: Improving the Welding Quality of Lead Anodes  
Supervisors: Esa Törmälä (OAMK), Timo Salminen (BKO)  
Term and year when the thesis was submitted: Autumn 2022  
Number of pages: 49 + 1 appendix

---

The thesis sought to find a solution to improve the welding quality of the lead anodes of Boliden's Kokkola zinc smelter. Lead anodes are used in Boliden's electrolysis as an electrical couple for an aluminum cathode plate, which is alloyed with zinc to form a thin plate.

The problem with lead anodes is breakage from welding during production or renovation. The welding method used today is one-sided TIG welding, which as a method is not completely suitable for the production of lead anodes, because the welding cannot be carried out successfully as a through-welding due to the properties of lead.

The goals were mapped out in interviews and observations of experts from both the producing and using production departments in both departments. Based on these, the topic to be discussed was narrowed down to a suitable scope and knowledge of the topic was deepened from various literary sources and online publications.

As a solution to the problem, friction welding with a rotating tool and double-sided TIG welding was tested. The testing has been performed in connection with the conceptual design of the processing and assembly equipment for lead anodes. The results of the tests and the general grounds support friction welding as a suitable solution to the problem.

The result was a recommendation and a proposal for a change in the equipment to solve the research problem, i.e. the quality of lead anode welding is so good after the change that the main problem of lead anodes have been solved and development work can be continued in other areas if necessary.

---

Keywords: Lead anode, zinc production, friction welding with a rotary tool, tig welding, concept design

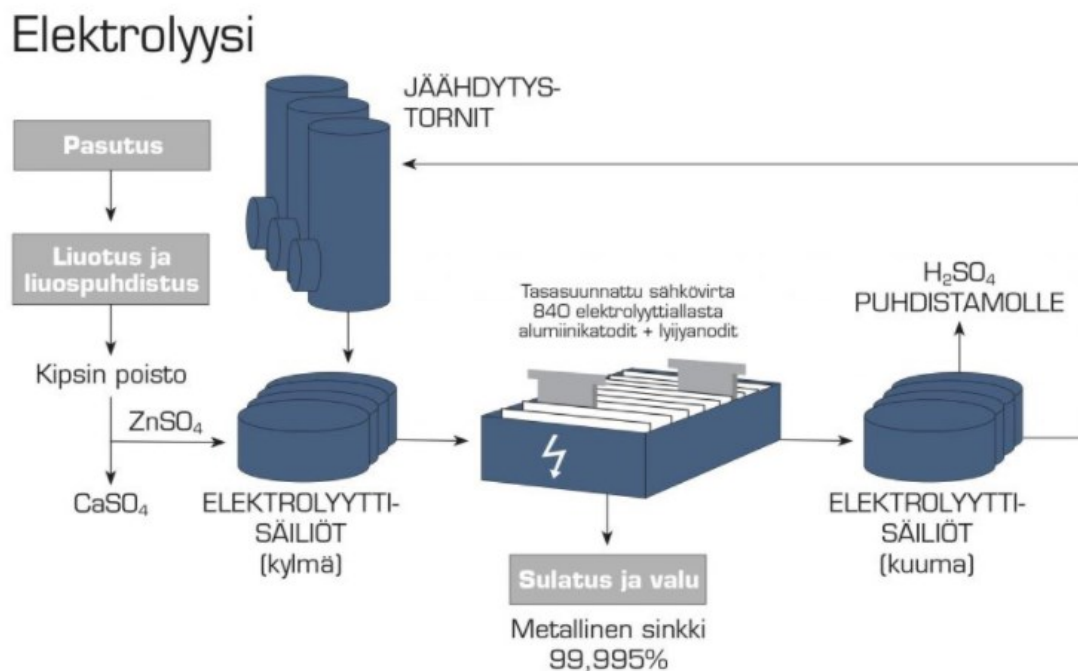
# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ.....	3
ABSTRACT.....	4
1 JOHDANTO.....	6
1.1 Boliden Kokkolan tehdas.....	6
1.2 Lyijyanodien valmistuksen kehittämisen suunnitelmat.....	7
1.3 Työn sisällön määrittely.....	8
1.4 Opinnäytetyön lähtökohta ja toteutustapa.....	8
2 LYIJYANODI JA LYIJY MATERIAALINA.....	10
2.1 Lyijyanodien käyttötarkoitus sinkin tuotantoprosessissa.....	10
2.2 Lyijyanodin rakenne.....	12
2.3 Lyijyanodin valmistus- ja kunnostusprosessi.....	12
2.4 Lyijy materiaalina ja terveyshaitat.....	15
2.5 Lyijyn hitsaus.....	17
2.6 TIG-hitsauksen teoriaa.....	18
2.7 FSW-hitsauksen teoriaa.....	19
3 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS JA TAVOITTEET.....	21
3.1 Elektrolyysin tavoitteet ja haasteet.....	21
3.2 Sivutuotteen tavoitteet ja haasteet.....	24
3.3 Havaitut kehityskohteet.....	24
4 HITSUKSEN LAATU JA KONSEPTISUUNNITTELU.....	27
4.1 Hitsauskokeet ja niiden tarkastelu.....	27
4.2 Konseptisuunnittelun määritelmä.....	36
4.3 Konseptisuunnittelun toteutus.....	37
5 TULOSTEN TARKASTELU.....	41
6 POHDINTA JA YHTEENVETO.....	44
LÄHTEET.....	48
LIITTEET.....	50

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Boliden Kokkolan tehdas

Boliden Kokkola Oy sijaitsee Kokkolassa Keski-Pohjanmaalla ja on Euroopan toiseksi suurin sinkkisolatto n. 315 000 tonnin kapasiteetillaan vuodessa. Sulatolla sinkkituotteita tehdään rikasteista eli murskatuista malmeista ensin polttamalla niistä rikki pois ja sitten liuottamalla rikkihapon avulla muut metallit pois. Sen jälkeen liuoksesta erotetaan sinkki sähkövirran avulla levyiksi, jotka sulatetaan ja valetaan lopputuotteiksi. Elektrolyysillä (kuva 1) sinkki erotetaan sähkövirran avulla alumiinikatodeille ohueksi levyiksi. Prosessissa tärkeänä osana on lyijyanodi, joka muodostaa alumiinikatodin kanssa sähköparin tehden sinkin kertymisen katodille mahdolliseksi. Lyijyanodit valmistetaan Boliden Kokkolan pasuton sivutuotteella sulattamalla ja valamalla. Anodit valmistetaan kahdesta valetusta osasta, levystä ja tangosta, jotka liitetään toisiinsa hitsaamalla.



KUVA 1. Elektrolyysiprosessi (Boliden Kokkola Oy 2021)

## 1.2 Lyijyanodien valmistuksen kehittämisen suunnitelmat

Vuonna 2019 käynnistettiin investoinnin esisuunnittelu nykyisten lyijyanodien levyjen ja -tankojen kokoonpanolaitteiston korvaamisesta. Laitteisto on iäkäs ja nykyisellä laitteistolla ei pystytä tuottamaan riittävän laadukkaita anodeja. Anodien ongelmana on ollut katkeaminen hitsistä anodikunnostuksessa tai prosessin aikaisessa käytössä elektrolyysillä. Riskin on oletettu kasvavan, kun anodien kunnostusta kehitetään uusien anodien kunnostuksien AK1 ja AK2 modernisointi-investoinnin myötä. Katkeamisista on todettu aiheutuvan häiriöitä tuotantoon ja anodien kulutuksen kasvua lyhyen käyttöiän kautta eli kustannuksia lisääviä vaikutuksia sekä mahdollisesti jopa turvallisuusriski prosessihenkilöille. Merkittävin ongelma valmistusprosessissa on hitsin laatu, vaikkakin hitsausprosessina TIG-hitsaus (Tungsten Inert Gas Arc Welding) on toimiva. Pääasialliset ongelmat ovat TIG-hitsauksen toteutus yhdeltä puolelta, asemointi ja railon laatu. Tavoitteeksi on asetettu vanhan laitteiston korvaaminen uudella laitteistolla, jolla lyijyanodien hitsin laatuongelmat minimoituvat. Tämä vaikuttaa anodien käyttöikänsä pidentävästi ja sähkönjohtokyvyn parantumiseen.

Investoinnin esisuunnittelun aikana on laadittu aineisto laitteiston budjettitarjouskyselyä varten. Tässä vaiheessa investoinnin budjettitarkkuus on yleensä  $\pm 30\%$ , mutta myöhemmässä vaiheessa on kuitenkin haluttu tarkempi arvio, joten anodin kokoonpanosta on laadittu konseptisuunnittelun hankintakysely. Konseptisuunnittelu, jossa laitteisto suunniteltiin modernisoitavaksi huomioiden erityisesti hitsauksen vaatimukset ja kokoonpanoon liittyvien asioiden kehittäminen, toteutettiin vuoden 2020 aikana. Tuloksena konseptisuunnittelusta saatiin valmis layout ja tarkka kustannusarvio laitteiston korvausinvestoinnin toteutukselle.

Lyijyanodien valmistusta ja sen puutteita on pohdittu jo aiemminkin eli vuonna 2008, jolloin on tehty tarkastelu ja esisuunnittelu nykyisen valuprosessin ja kokoonpanon korvaamisesta kokonaisen anodin painevalamisella kerralla, mutta tutkimus ei ole edennyt toteutukseen.

Tässä opinnäytetyössä käytiin läpi anodien valmistusta, hitsausta ja kokoonpanoa yleisesti sekä siihen liittyvää problematiikkaa ja ongelmia. Työssä käytettiin pääasiallisena lähteenä vuoden 2020 aikana tehdyn lyijyanodien kokoonpanolaitteiston konseptisuunnittelun raporttia, mutta vaihtoehtojen analysoinnissa käytiin läpi taustoja laajasti hitsausmenetelmiin, työterveysvaikutuksiin ja lyijyanodien valmistukseen yleisesti liittyvistä asioista.

### 1.3 Työn sisällön määrittely

Anodien pääasiallisena ongelmana on katkeaminen hitsausliitoksesta nykyisellä tekniikalla valmistettaessa, mutta valmistuksessa on myös muita haasteita, joiden osuus tulee huomioida tarkasteltaessa anodien valmistuksen kehittämistä.

Anodien kokoonpanosta ja hitsauksesta on tehty konseptisuunnittelu vuoden 2020 aikana kahdella eri hitsausmenetelmällä. Vaihtoehtoisina hitsausmenetelminä olivat kaksipuolinen TIG-hitsaus ja kitkatappihitsaus pyörivällä työkalulla eli FSW (Friction Stir Welding). Konseptisuunnitelman tarkoituksena oli kehittää erityisesti hitsausprosessia, jotta anodien katkeamisista aiheutuvat haitat minimoitaisiin ja vähennettäisiin hävikkiä sekä parannettaisiin elektrolyysin prosessin läpimenoa välttämällä katkeamista aiheutuvia korjausaikoja. Konseptisuunnittelussa suunniteltiin koko kokoonpanolinja uudelleen, missä anodien valmistusta modernisoitaisiin robotiikan ja mekanisoinnin avulla. Myös levyjen pinnankäsittelyyn etsittiin vaihtoehtoja nykyisen raepuhalluksen tilalle.

Opinnäytetyössä käydään läpi nykyiset haasteet ja niihin konseptisuunnittelun aikana löytyneet ratkaisut. Työssä käydään läpi asioita erityisesti tutkimuksen peruskysymyksen hitsauksen laadun kannalta, mutta myös modernisoinnin tuomia muita etuja, kuten anodien tasalaatuisuuden vaikutus prosessiin ja anodien valmistuksen kehittämisen vaikutus tehokkuuteen ja työmenetelmiin.

### 1.4 Opinnäytetyön lähtökohta ja toteutustapa

Opinnäytetyön tutkimuskysymyksenä voidaan pitää: ”Kuinka vähennetään lyijyanodien rikkoutumisia tuotannossa?”. Tämän perusteella on luonnollista esittää jatkokysymys: ”Mikä aiheuttaa rikkoutumisia eli mikä on perusongelma ja juurisyy?” Tämän jälkeen määritellään ongelma, joka on anodilevyjen ja -tankojen välisen hitsin huono laatu. Tietysti kysymyksiä herää runsaasti lisää eli kuinka tekniset parannukset toteutetaan, paljonko muutos maksaa ja mitä sillä saavutetaan esimerkiksi ajan tai rahan säästöinä. Opinnäytetyön pääluvuissa 3–5 aihetta on käsitelty alkaen ongelman määrittelystä ja päätyen ratkaisuun ja sen toteutussuunnitelmaan. Lähinnä keskitytään perusongelman ratkaisuun eli liittämisen laadun parantamiseen, mutta samassa yhteydessä ei voi olla käsittelemättä prosessin muita ongelmia, koska ne kulkevat käsi kädessä varsinaisen tutkimuskysy-



myksen ratkaisun löytämisessä. Kustannuksia ei ole käsitelty tämän tutkimuksen yhteydessä. Seuraavissa luvuissa on myös käsitelty teoreettinen tietoperusta, joka tukee ongelman ratkaisua ja toimii valintojen perusteluna.

Tutkimusongelman lähestymistapana voidaan pitää toimintatutkimusta, jossa kehitetään toimintaa keräämällä tietoa ongelman ratkaisemiseksi, jonka perusteella tehdään toteutussuunnitelma. Aineistoa on kerätty kvalitatiivisilla aineistonkeruumenetelmillä eli havainnoinneilla, haastatteluilla, prosessidokumentaatiota läpikäymällä ja tehdyn konseptisuunnitteluaineiston perusteella.

Opinnäytetyössä käsiteltävä aihe on määritetty merkittäväksi ja kustannuksia lisääväksi ongelmaksi Bolidenin Kokkolan prosessissa ja jonkinlainen ratkaisu pitkällä aikavälillä on toteutettava tavalla tai toisella. Tässä opinnäytetyössä esitetään ratkaisu tutkimusongelmaan hitsauksen kehittämisellä, mutta kokonaisuutta arvioidaan koko prosessin näkökulmasta ja vaihtoehtona on esimerkiksi kokonaisen lyijyanodin painevalaminen. Kun prosessia tulevaisuudessa kehitetään ja laitteistoa ollaan uusimassa, ratkaisua tehtäessä on kaikki perustelut syytä kuitenkin käydä läpi tarkasti ja asioita on syytä analysoida teknisten perusteiden lisäksi myös erityisesti kustannuksellisesti ja toteutuksellisesti.

## 2 LYIJYANODI JA LYIJY MATERIAALINA

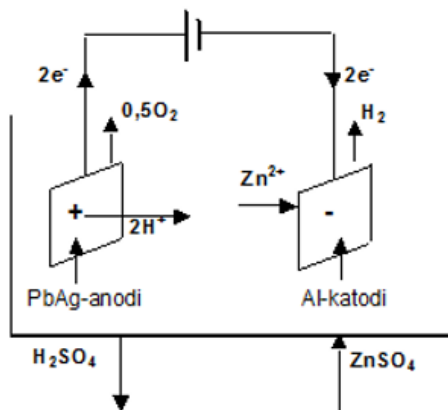
Seuraavissa alaluvuissa kuvataan lyijyanodin rakennetta ja sen valmistuksen vaiheet sekä käyttö-tarkoitus sinkin tuotantoprosessin osana. Alaluvussa 2.4 kerrotaan lyijystä materiaalina ja sen käytön terveydellisiä haasteita. Viimeisissä alaluvuissa käydään läpi myös lyijyn hitsausta ja konsepti-suunnittelussa tutkittuja hitsausmenetelmiä.

### 2.1 Lyijyanodien käyttötarkoitus sinkin tuotantoprosessissa

Sinkki erotetaan sinkkisulfaattiliuoksesta elektrolyysissä sähkövirran avulla ja se saostetaan kato-din pinnalle anodin toimiessa positiivisena parina luovuttaen elektroneja ja muodostaen happea (kuva 2). Sinkkisulfaattiliuos pumpataan liuospuhdistuksesta elektrolyysin altaisiin, joissa anodit ja katodit riippuvat kuparisten virtakiskojen päällä (kuva 3) muodostaen virtapiirin.

Boliden Kokkolan elektrolyysissä on lyijyanodeja yhteensä 37 800 kappaletta 840 altaassa. Anodit kunnostetaan noin 34 vuorokauden välein erityisissä anodien kunnostuslaitteistoissa, joita on kaksi kappaletta. Anodien kunnostuksessa anodit pestään, oikaistaan ja varustellaan uusilla eristimillä. Kun anodin todetaan tarkastuksessa (konenäkö ja operaattorin silmämääräinen tarkastus) olevan hylkykuntoinen, se toimitetaan pasutto-osaston sivutuotteelle anodien valmistukseen sulatettavaksi ja uudelleen valettavaksi.

Anodien keskimääräinen elinikäodote on 3–4 vuotta, joten elektrolyysin tarve uusille anodeille on noin 12 000 kappaletta vuodessa. Anodien valmistuksen kapasiteetti on maksimissaan noin 26 000 levyä vuodessa (perustuu mitattuun tietoon vuoden 2018 tuotetuista anodeista), joten anodien val-mistus ei ole määrällisesti pullonkaula, kun prosessi toimii normaalisti sekä valmistuksessa että käytössä.



Katodilla (alumiini)

- Sinkki saostuu katodin pinnalle
- $Zn^{2+} + 2e^- = Zn$

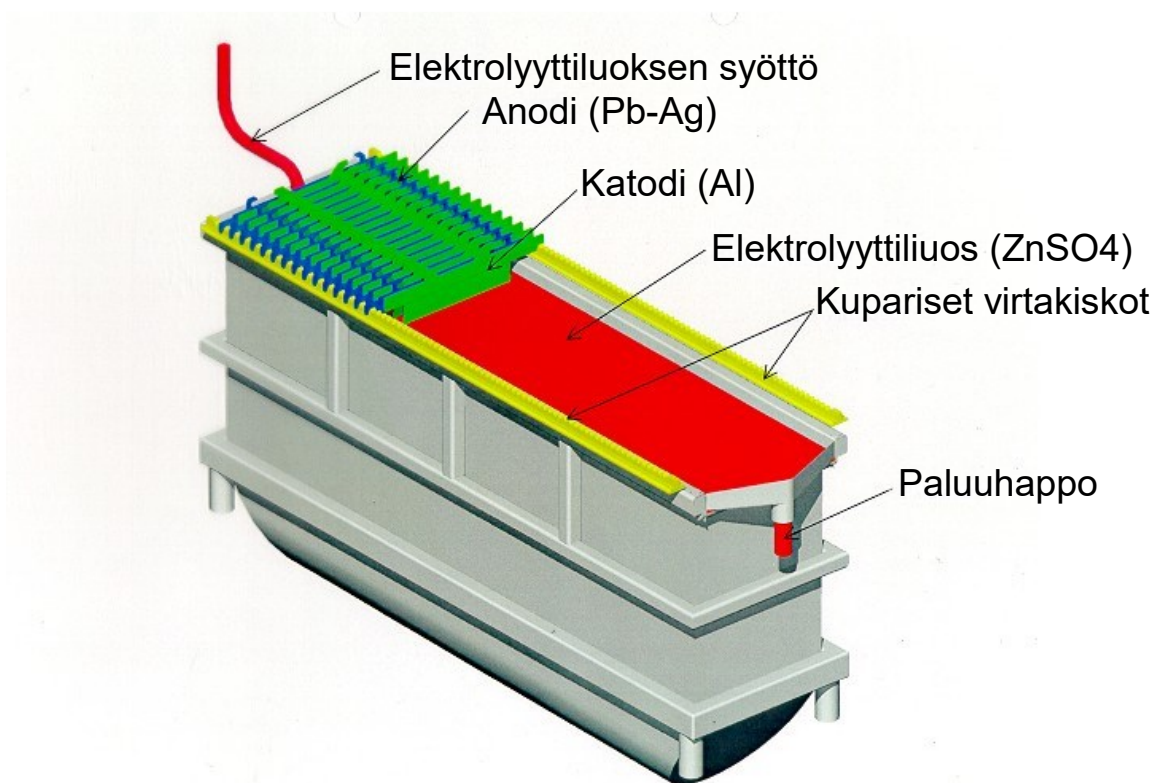
Anodilla (lyijy-hopea)

- Syntyy happea
- $2H_2O = O_2 + 4H^+ + 4e^-$

Liuoksessa

- Sinkkipitoisuus pienenee ja rikkihappopitoisuus nousee
- $ZnSO_4 = Zn^{2+} + SO_4^{2-}$

KUVA 2. Elektrolyysitapahtuma (Boliden Kokkola Oy 2021)

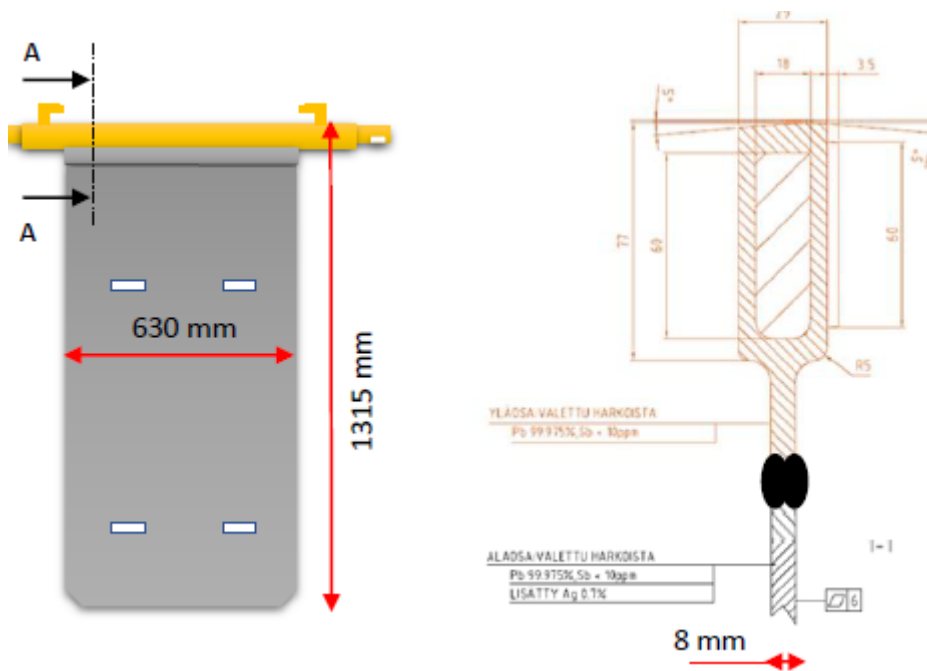


Elektrolyysiallas (kanto)

KUVA 3. Elektrolyyttiallas (Boliden Kokkola Oy 2021)

## 2.2 Lyijyanodin rakenne

Lyijyanodit valmistetaan Boliden Kokkolan pasuton sivutuoteosastolla, jossa myös käytöstä hylätyt anodit kierrätetään sulattamalla ja valamalla ne uudelleen anodilevyiksi sekä -tangoiksi. Anoditanko koostuu sähkönjohtavuuden tuottavasta kuparitangosta, jonka päälle on juotettu ohut tina-kerros ja jonka päälle edelleen on valettu kerros 99,975 % lyijyä (Pb) sisältäen vähäisen määrän (alle 10 ppm) antimonia (Sb). Tinajuote tehdään, jotta lyijy saadaan ylipäätään tarttumaan kuparitankoon. Levyt valmistetaan 99,975 % lyijystä (Pb) ja ne sisältävät myös vähäisen määrän (alle 10 ppm) antimonia (Sb). Lyijyanodit sisältävät myös pienen määrän hopeaa (noin 0,7 %) korroosion kestävyuden ja sähkönjohtavuuden parantamiseksi. Valussa syntyvät levyt ja tangot kokoonpanaan hitsaamalla toisiinsa, jolloin muodostuu yhtenäinen lyijyanodi (kuva 4).



KUVA 4. Lyijyanodin mittapiirustus (Boliden Kokkola Oy 2021)

## 2.3 Lyijyanodin valmistus- ja kunnostusprosessi

Anodinvalmistus jakautuu pasutto-osaston sivutuotteella periaatteellisesti kolmeen osaan: valuun, kokoonpanoon ja hylkyanodien käsittelyyn uudelleen valettaviksi. Lisäksi elektrolyyssillä on anodien varustelu- ja kunnostuslaitteisto, jolla on oleellinen merkitys anodien käytettävyyteen ja elinikään. Kaikissa edellä mainituissa paikoissa tehtävillä toimenpiteillä on vaikutusta kokonaisuuteen ja niissä on myös omat haasteensa ja ongelmansa.

Uuden anodin valmistus alkaa tangon ja levyn valulla pasuton sivutuotteella muottivaluna. Anoditanko koostuu kuparitangosta, jonka päälle on juotettu tinakerros, jotta valussa lyijy tarttuisi siihen kiinni, koska lyijy ja kupari eivät muuten tartu toisiinsa kiinni. Tangon paino on noin 40 kg, levyn paino noin 80 kg ja ne ovat valun jälkeen noin 150°C:n lämpötilassa.

Valun jälkeen tanko ja levy puhdistetaan valujäämistä. Sen jälkeen ne laitetaan kokoonpanoon, jossa ne oikaistaan sahaamalla, kohdistetaan ja hitsataan toisiinsa yksipuolisella TIG-hitsauksella (kuvat 5 ja 6).



*KUVA 5. Anodilevyn päät oikaistaan sahaamalla*

Levyn ja tangon reunat sahataan suoraksi ja hitsaus suoritetaan I-railoon n. 1 mm:n ilma-alla kiinteää juuritukea vasten (kuva 6). Lyijyn hapettuminen vaikeuttaa hitsausta, joten reunojen sahaus vaikuttaa myös hitsaukseen. Hitsausvirta on suuri (210 A) verrattuna yleisiin virta-arvoihin lyijyhitsauksessa. Hitsausnopeus on myös suuri. Hitsiin syötetään lisäaineena 4 mm:n lyijylankaa.



*KUVA 6. Anodin hitsaus tehdään I-railoon*

Hitsauksen jälkeen anodi siirtyy kuulapuhalluslaitteeseen, jossa levyn pinta saa toivotun muodon lyijyn oksidoitumiselle elektrolyysin altaassa. Puhalluksen jälkeen levyt laitetaan räkkeihin ja toimitetaan elektrolyysille.

Elektrolyysillä anodit varustellaan eristimillä ja kohdistimilla ja ne oikaistaan puristimessa. Tämän jälkeen levyt menevät käyttöön elektrolyyttialtasiin. Anodit kunnostetaan tietyin väliajoin anodinkunnostuksessa, jossa levyt pestään, oikaistaan ja varustellaan uudelleen (kuva 7). Tässä yhteydessä levyt tarkastetaan ja ne lähtevät joko uudelleen kiertoön elektrolyysillä tai sitten ne hylätään ja toimitetaan sivutuotteelle uudelleen valettaviksi. Anodit voidaan käyttää uudelleen vain osittain, koska tangon kupari ei ole kierrätettävissä.



KUVA 7. Anodien kunnostuslaitteisto 2 (Boliden Kokkola Oy 2021)

## 2.4 Lyijy materiaalina ja terveyshaitat

Lyijy on hiiliryhmään kuuluva painava alkuaine, jonka kemiallinen merkki on Pb (lat. plumbum). Jaksollisessa järjestelmässä lyijy on 82. alkuaine. Lyijy on sinertävän harmaa, kiiltävä ja pehmeä metalli, jonka vetolujuus on huono. Ilmassa lyijy hapettuu ja sen pinnalle muodostuu nopeasti himmeään harmaa emäksinen karbonaattikerros. Kuumennettaessa lyijy reagoi helposti muun muassa hapen, rikin ja halogeenien kanssa. Lyijyä käytetään erityisesti laitteisiin, jotka joutuvat kosketuksiin rikkihapon kanssa, sekä säteilysuojaukseen. Lyijy on myös tärkeä seosmetalli. Kovalyijyä käytetään muun muassa kaapeleiden vaippoihin, kemianteollisuuden laitteisiin ja akkuihin. (Wikipedia 2022a.)

Lyijy on myrkyllinen raskasmetalli, jota esiintyy luonnollisesti maankuoressa. Lyijylle voidaan altistua nykyään muun muassa sulatto- ja valimotyössä. Työperäinen lyijyaltistuminen metalliteollisuudessa Suomessa on vähentynyt kuitenkin merkittävästi viimeisen parin vuosikymmenen aikana. Viime vuosina lyijyn aiheuttamia ammattitautteja on rekisteröity 0–3/vuosi. 1990-luvun alussa myrkytyksiä oli hieman toista kymmentä vuodessa. Osittain muutokset selittyvät lyijyn käytön vähentämisenä ja osittain terveysturvallisuuden parantumisena. (Työterveyslaitos 2022; WHO 2022.)

Lyijyn vaikutukset ihmiseen ja niiden annosvastesuhteet tiedetään hyvin. Lieviä subkliinisiä eli piileväoireisia hermostovaikutuksia saattaa esiintyä jo veren lyijypitoisuuksilla 1,4 µmol/l. Näiden vai-

kutusten estämiseksi on EU:ssa suositeltu raja-arvoa noin 0.7 µmol/l. Lyijyn muut toksiset vaikutukset, kuten anemia, liittyvät korkeampiin altistumisiin. Esimerkiksi kliinistä anemiaa tai munuaisvaikutuksia alkaa esiintyä aikuisilla vasta veren lyijypitoisuuksilla > 3 µmol/l. Boliden Kokkola toimii sosiaali- ja terveysministeriön asetuksen haitallisiksi tunnetuista pitoisuuksista 654/2020 mukaisesti. Asetuksessa on määritetty altistumisen viiterajat, joiden mukaan tehdään erilaisia toimenpiteitä. Altistumattomien viiteraja on 0,09 µmol/l, toimenpideraja on 1,4 µmol/l ja sitovan raja-arvon ylitys 2,4 µmol/l, jonka jälkeen työntekijä on altistunut liiallisesti lyijylle ja hänet pitää siirtää sellaisiin työtehtäviin, joissa lyijylle altistumista ei tapahdu. Altistumisen jälkeen työantajan tulee myös selvittää, mikä on johtanut liialliseen lyijylle altistumiseen. (Työterveyslaitos 2022.)

Boliden Kokkolassa tehdään aktiivisesti työntekijöiden testausta ja tulosten perusteella toteutetaan toimenpiteitä jo varhaisessa vaiheessa. Kohonneiden arvojen syyt selvitetään ja korjaavat toimenpiteet käynnistetään välittömästi. Toimenpiderajan yläpuolelle mentäessä mietitään jo tarkkaan, pitääkö henkilö siirtää eri tehtäviin vai löytyykö altistumiseen selkeä syy, joka voidaan korjata ilman riskiä altistumisen jatkumisesta. Lyijylle altistavissa työtehtävissä, terveystarkastuksissa noudatetaan yleisiä ohjeita neurotoksisille aineille altistuttaessa. Alku- ja määräaikaistarkastuksissa työntekijää informoidaan lyijyn mahdollisista terveysvaikutuksista, altistumisen seurannasta ja torjunnasta. Terveystarkastustarve ja frekvenssi perustuvat arvioon altistumisen ja riskin suuruudesta. Boliden Kokkolassa tehdään seurantaa puolivuositain jokaiselle lyijyvalussa työskentelevälle työntekijälle.

Boliden Kokkolassa altistumisia havaittiin aikaisemmin ajoittain, mutta nykyään ylityksiä on hyvin harvoin. Muutama vuosi sitten henkilösuojauksessa tapahtui muutos ja otettiin käyttöön uudenlaiset raitisilmamaskit, jotka vähensivät ylityksiä. Aikaisemmat maskit olivat hieman pienemmät kooltaan ja parrakkailla henkilöillä maski ei ilmeisesti tiivistynyt tarpeeksi, joka aiheutti lieviä altistumisia. Lisäksi esiin nousi altistuneiden ryhmänä tupakoitsijat. Kyseisellä osastolla on kielto kuljettaa ruokaa, juomaa ja tupakkaa mukana osastolla, mutta oletettavasti tätä ei noudatettu täysin, vaan tupakat kuljetettiin mukana ja se aiheutti altistumisriskin. Nykyään tupakoitsijoiden määrä on yleisesti vähentynyt ja ehkä sääntöjäkin noudatetaan paremmin, joten altistumisia ei enää juurikaan ole esiintynyt.

Henkilösuojauksen lisäksi tuotanto-osastolla on tietyissä kohteissa, kuten esimerkiksi hitsausasemalla, koneellinen ilmanvaihto kohdepoistona, joka poistaa hitsauksessa syntyvät huurut tuotantotiloista. Ilmanvaihtokoneita huolletaan määräaikaisten välein, jolloin kaikki suodattimet vaihdetaan,



jotta suodatusteho säilyy riittävänä. Muutenkin osaston siisteydestä huolehditaan hyvin pitämällä siisteystaso korkealla, jolloin mahdollisesti haitallinen pöly vähenee tuotantotiloista.

Lyijylle altistumisen varhainen vaikutus on verenmuodostuksen häiriö, jota tutkitaan veren punasolujen protoporfyrinimäärityksellä. Protoporfyrini on mm. verenpunan eli hemoglobiinin rakenneosa. Hemoglobiinin muutos on myöhäislöydös, joka voi olla jo merkki lyijymyrkytyksestä. Lyijymyrkytys eli saturnismi on elimistön myrkytystila, joka aiheutuu myrkyllisestä raskasmetallista, lyijystä, kehossa. (Wikipedia 2022b; Terveyskirjasto 2022.)

Muita epäorgaanisten lyijy-yhdisteiden vaikutuksia ovat ääreishermoston ja keskushermoston myrkytykset. Lyijy-yhdisteet voivat aiheuttaa myös munuaisvaurioita ja ruoansulatuskanavan spasmeja (lyijykoliikki). Näitä ei kuitenkaan ole odotettavissa, kun altistumistasoja valvotaan biologisin altistumismittauksin. Raskaus- ja imetysaikana lyijyä voi vapautua luustovarastosta takaisin verenkiertoon kalsiumin aineenvaihduntaa seuraten. Verenkierrossa oleva lyijy läpäisee istukan, joten vastasyntyneen napaveressä lyijypitoisuus on hyvin lähellä äidin veren lyijypitoisuutta. Lyijy on haitallista kehittyvälle sikiölle ja pienille lapsille vaikuttaen keskushermoston kehitykseen. Näille vaikutuksille ei pystytä nykytiedon perusteella asettamaan turvallista rajaa. Tästä syystä raskaana ollessa tai raskautta suunniteltaessa ei tule altistua lyijylle. Boliden Kokkolassa raskaana olevat siirtyvät työskentelemään aina sellaiselle osastolle, jolla altistumisriskiä ei ole. Hyvä työhygienia ja tekniset toimenpiteet altistumisen vähentämiseksi ovat keskeisiä asioita lyijyn riskien vähentämisessä. (Työterveyslaitos 2022.)

## 2.5 Lyijyn hitsaus

Lyijy on metalli, jota on ensimmäisenä hitsattu sulahitsausmenetelmällä vuonna 1837 Ranskassa vety-ilmaliekillä. Nykyisin lyijyä hitsataan lähinnä kaasuihitehitsausmenetelmillä. Kaasuhiitehitsauksessa käytetään hyvin pientä poltinta, koska lyijy sulaa helposti sulamispisteen ollessa 327°C. Liekki säädetään neutraaliksi tai hieman hiilettäväksi. Liekissä ei saa olla ylimääräistä happea, koska lyijy hapettuu hyvin helposti ja hapettumat hankaloittavat hitsausta. Lisäaineena käytetään lyijylankaa tai perusaineesta leikattuja suikaleita. Lisäaine on puhdistettava ennen hitsausta metallisen puhtaaksi hiomanauhalla tai kaapimalla. Juoksutetta ei tarvita. Ohuet aineet hitsataan I-raioon ja paksuudeltaan yli 3 mm:n aineet V-raioon. Lyijylevyjen hitsauksissa käytetään usein myös

limiliitosta. Ensiarvoisen tärkeää on railon ja sen reunustojen puhdistaminen metallisen puhtaiksi ennen hitsausta. Hitsaus tapahtuu myötähitsauksena. (Katainen & Mäkinen 1988, 213.)

TIG-hitsaukseen sopii paremmin vaihtovirta, mutta tasavirtaakin voidaan käyttää. Suojakaasuna käytetään argonia. Lisäaineen ja railon suhteen pätevät samat asiat kuin kaasuhitsauksessa. I-railo hitsataan suoraviivaisesti ja nopeasti. V-railot hitsataan sivuttaisliikettä tehden leveällä hitsisulalla. Hitsausvirta on yleensä 10-80 A. (Katainen & Mäkinen 1988, 213.)

Lyijyä hitsattaessa syntyvät haurut ovat erittäin vaarallisia. Niiden hengittäminen aiheuttaa nopeasti lyijymyrkytyksen. Lyijyä hitsattaessa onkin aina ehdottomasti käytettävä tehokasta hengityssuojainta ja huolehdittava työpaikan tuuletuksesta. Boliden Kokkolassa hitsaus on tälläkin hetkellä automatisoitu ja hitsaussolussa on koneellinen ilmanvaihto kohdepoistoineen savuille ja huuille. Lisäksi koko alueelle on määritetty moottoroidun hengityssuojaimen käyttöpakko. (Katainen & Mäkinen 1988, 213.)

## **2.6 TIG-hitsauksen teoriaa**

TIG-hitsaus on kaasukaarihitsausprosessi, jossa valokaari palaa sulamattoman volfrاميةlektrodin ja työkappaleen välillä. Valokaaren lämpö sulattaa perusainetta, johon muodostuu hitsisula. Hitsaustapahtumaa ja elektrodin kuumaa kärkeä suojaa suojakaasu. TIG-hitsauksen tärkein periaatteellinen ero muihin kaarihitsausprosesseihin, paitsi plasmahitsaukseen, on sulamaton elektrodi. Muissa kaarihitsausprosesseissa lisäainelanka tai puikko toimii sulavina elektrodeina. (Lepola & Ylikangas 2016, 202.)

TIG-hitsaus on prosessi, jolla voidaan hitsata kaikkia hitsattavia materiaaleja. TIG-prosessilla voidaan hitsata joko ilman lisäainetta tai lisäainetta käyttäen. TIG-hitsaukselle on ominaista hyvä sulan ja tunkeuman hallinta. Tämä perustuu siihen, että valokaari ja lisäaineen tuonti ovat erillään toisistaan. Tämän ansiosta hitsausenergiaa ja lisäaineen syöttöä voidaan säädellä toisistaan riippumatta. Lisäksi hitsausvirta voi olla pienimmillään vain muutamia ampeereja. Näiden ominaisuuksien ansiosta TIG-hitsaus on ylivoimainen muihin hitsausprosesseihin verrattuna pohjapalkojen ja ohuiden ainevahvuuksien hitsauksissa. (Lepola & Ylikangas 2016, 202.)

TIG-hitsaus on yleensä käsinhitsausta, mutta se voidaan helposti myös mekanisoida ja robotisoida. Mekanisoidussa TIG-hitsauksessa poltin asennetaan kuljetuslaitteeseen ja langansyöttölaitteella syötetään mahdollisesti tarvittava lisäaine lankakelalta valokaareen, kuten Boliden Kokkolassa nykyään on toteutettu lyijyanodiin hitsaus. (Lepola & Ylikangas 2016, 202.)

## 2.7 FSW-hitsauksen teoriaa

Perinteisessä kitkahitsauksessa tarvittava lämpö saadaan aikaan puristamalla liitospintoja vastakkain ja pyörittämällä niitä toisiinsa nähden. Pehmeäksi kuumenneet liitospinnat hitsautuvat yhteen, kun ne puristetaan voimakkaasti vastakkain. Kitkahitsausta käytetään esim. akselien ja tankojen liittämiseen. 1990-luvun alussa kehitettiin uusi kitkahitsausprosessi, jota kutsutaan kitkahitsaukseksi pyörivällä työkalulla. Englanninkielisen nimensä mukaan siitä käytetään myös lyhenteitä FS- ja FSW-hitsaus (Friction Stir Welding). Kehittäjä ja patenttoija on TWI (The Welding Institute). (Lepola & Ylikangas 2016, 202; TWI 2022.)

Kitkahitsaus pyörivällä työkalulla on puristushitsausprosessi, jossa tiukasti yhteen puristettujen liitospintojen välissä kulutuskestävä, pyörivä tappi saa aikaan kitkalämpöä, joka kuumentaa liitospinnan rajapinnat tahdasmaiseksi. Kun pyörivä tappi työntyy eteenpäin, tahdasmainen metalli virtaa tappin sivuitse taakse ja muodostaa jäähtyessään kiinteän hitsausliitoksen. Liitettävien kappaleiden on oltava tiukasti toisiaan vasten, sillä railon paikka ei saa muuttua hitsauksen aikana. Kitkahitsaus soveltuu erityisesti pehmeiden materiaalien hitsaukseen, mm. alumiinin ja kuparin hitsaukseen ja Boliden Kokkolan tapauksessa lyijyn hitsaukseen. Eniten sitä sovelletaan alumiinin hitsaukseen. (Lepola & Ylikangas 2016, 202; TWI 2022.)

Hitsausmenetelmällä on runsaasti etuja:

- Ei tarvita erillistä railon valmistusta, vaan hitsaus tehdään I-railoon.
- Hitsaus tapahtuu jähmeässä olomuodossa, joten hitsausvikoja, kuten kuumahalkeilua, huokoisuutta tai jähmettymishalkeamia ei esiinny. Materiaalin mekaaniset ominaisuudet säilyvät myös erinomaisesti verrattuna muihin hitsausmenetelmiin.
- Hitsin pinta perusaineen tasossa on suora ja sileä.
- Menetelmällä voidaan hitsata missä tahansa asennossa ilman pelkoa sulan valahtamisesta.
- Menetelmällä voidaan hitsata erilaisia sekaliitoksia, joiden hitsaus ei muuten onnistuisi.

- Hitsauksessa on pienet hitsausjännitykset ja muodonmuutokset, johtuen matalasta hitsauslämpötilasta.
- Hitsi on tasalaatuinen ja prosessi on helppo automatisoida, joka helpottaa hitsausoperaattoreiden toimintaa eikä vaadi erityisiä taitoja.
- Rajapinnoilta ei tarvitse poistaa oksideja (kuonaa).
- Hitsauksessa ei tarvita hitsauslisäaineita eikä suojaasuja.
- Energiankulutus hitsauksessa on pieni.
- Hitsaus on ympäristöystävällistä, koska hitsauksessa ei muodostu hitsaussavuja, roiskeita tai UV-säteilyä.
- Läpihitsattavissa yhdeltä puolelta perusaineen paksuuteen n. 65 mm saakka. Paksumpia levyjä voidaan hitsata kahdella palolla, palko kummallekin puolelle.
- Hitsausnopeus on suuri (laboratoriossa koehitsattu 6 m/min).

(Lepola & Ylikangas 2016, 202; TWI 2022.)

Kitkahitsauksella on vain vähän huonoja tai vaatimuksia synnyttäviä puolia:

- Hitsin lopettamiskohtaan jää työkalun muotoinen reikä. Yleensä tämä voidaan huomioida suunnittelussa esimerkiksi tekemällä hitsi pidemmäksi lisäkappaleella, joka voidaan sahata myöhemmin pois.
- Hitsattavien kappaleiden kiinnitys vaatii järeitä kiinnittimiä, koska kitkahitsauksessa syntyy suuri voima kappaleita vasten.
- Hitsattavien kappaleiden railonvalmistus ja -seuranta on tärkeää, jos hitsiin ei syötetä lisäainetta, jotta hitsattavaa materiaalia on riittävästi liittämiseen.

(Lepola & Ylikangas 2016, 202; TWI 2022.)

### 3 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS JA TAVOITTEET

Nykytilanteen kartoitus tehtiin kvalitatiivisten aineistonkeruumenetelmien avulla eli muun muassa haastatteluilla sekä lyijyanodeja valmistavan osaston että anodeja käyttävän osaston käyttöhenkilöstön ja asiantuntijoiden kanssa. Lisäksi tehtiin seuranta ja havainnointia lyijyanodien valmistuksesta sivutuoteosastolla sekä käytöstä ja kunnostuksesta elektrolyysiosastolla. Kartoituksessa käytiin prosessin eri kohdat läpi. Tämän perusteella valittiin, mitä asioita voidaan ja mitä kannattaa korjata erilaisin toimenpitein ja mitkä asiat voidaan hyväksyä nykyisellään puutteistaan huolimatta. Nämä asiat käydään opinnäytetyössä läpi perusteluineen. Oleellinen käytettävä materiaali on vuonna 2020 tehty konseptisuunnittelun raportti ja sen valmistelussa käytetty materiaali (esisuunnitteluaineisto sisältäen prosessidokumenttaation) sekä myös vuoden 2008 painevalun esisuunnittelun raportti on huomioitu tulosten tarkastelussa.

Vuoden 2020 konseptisuunnittelun yhteydessä on tehty myös hitsauskokeet sekä kaksipuolisella TIG-hitsauksella että kitkahitsauksella pyörivällä työkalulla. Koekappaleille on tehty myös taivutus- ja vetokokeet sekä hieet rakenteen tarkastusta varten. Nämä tulokset analysoitiin ja verrattiin nykyisen laitteiston yksipuolisen TIG-hitsauksen tuottamiin anodeihin. Lisäksi tarkasteltiin vaurioituneita lyijyanodeja silmämääräisesti tarkastamalla ja arvioitiin vaurioihin vaikuttaneita mekanismeja.

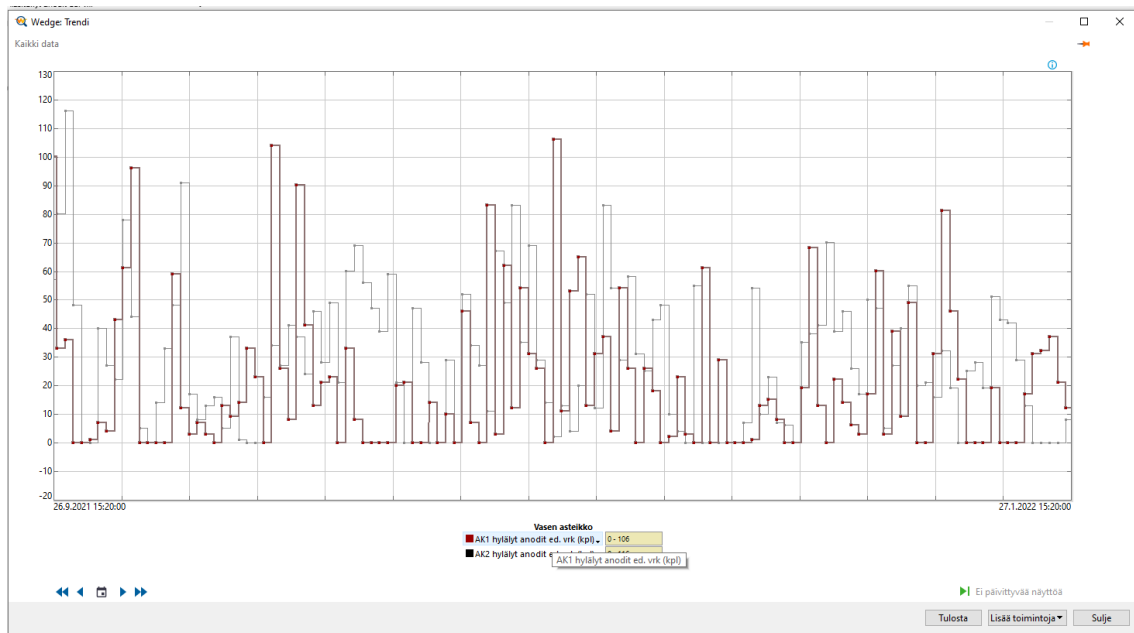
#### 3.1 Elektrolyysin tavoitteet ja haasteet

Elektrolyysin tavoitteet ovat selkeät eli anodien tulee olla laadultaan niin hyviä, että ne ovat kunnostettavissa ja kestävät elinikäodotuksen mukaisesti rikkoutumatta. Laatuvaatimuksia on useita sekä anodin hitsille että levyille yleensä. Hitsin tulee olla yhtenäinen koko pituudeltaan ja oikein asemoitu. Hitsissä ei saisi olla aloituksessa tai lopetuksessa puutteita, jotka keräävät epäpuhtauksia ja edistävät näin ollen vauriomekanismin syntymistä. Lisäksi hitsin tulisi olla mahdollisimman läpäisevä ilman korkeaa kupua myöskin edellä mainitusta syystä. Ongelmana on, että nykyisellä hitsausmenetelmällä (yksipuolinen TIG-hitsaus) läpihitsaus ei ole kunnolla mahdollista, koska lyijyn sulamispiste on alhainen ja hitsisula voi helposti valahtaa railon läpi. Lämmöntuonti hitsiin onkin oltava maltillinen, jotta perusaine ja hitsi jähmettyvät halutusti. Boliden Kokkolassa lämmöntuonti on saatu kohtuullisesti optimoitua suurella hitsausnopeudella, vaikka käytettävä hitsausvirta on

suuri. Apuna käytetään kiinteää juuritukea. Tästä huolimatta hitsin laatua ei saada hyväksi yksipuolisella TIG-hitsauksella.

Hitsin laatu tulee esiin erityisesti anodien kunnostuksessa, jossa hitsiä rasietaan levyä oikaistessa. Boliden Kokkolassa on lyijyanodeja käytävällä tuotanto-osastolla eli elektrolyysillä kaksi anodienkunnostuslaitteistoa ja toinen niistä (AK2) on modernisoitu vuonna 2021. Laitteistoon sisältyy uutena ominaisuutena muun muassa konenäkö, jonka perusteella kone ehdottaa anodin hyväksyntää tai hylkäystä. Varsinaisen arvioinnin tekee kuitenkin operaattori. Kunnostuksessa tapahtuvista rikkoutumisista kerätään näin mitattua tietoa seurantaan varten. Seurannan perusteella tehdään tarvittaessa muutoksia prosessiin.

Anodeja on prosessissa yhteensä 37 800 kappaletta, joiden tavoiteltu elinikä on 3–4 vuotta. Anodeja kunnostetaan noin 10 kertaa/anodi/vuosi, joka tarkoittaa, että vuorokaudessa kunnostetaan noin 1 000 anodia. Normaali hylkytahti on ollut 3–4 % kunnostetuista, mutta jonkin aikaa AK2:n käyttöönoton jälkeen hylkyprosentti on ollut jopa 10 %:n tasolla. Syitä tähän trendiin ei tutkita tässä työssä, mutta arvio on, että mahdollinen mekaaninen rasitus on lisääntynyt laitteiston kautta ja lisäksi hylkäysprosessissa voi olla vielä harjaantumisen puutetta. Pääosa lyijyanodeista on hylätty hitsin ja sen puutteiden takia. Marraskuun 2021 ja tammikuun 2022 mittaustulokset (kuva 8) näyttävät jonkin verran normalisoituneempia tuloksia eli hylkymäärät ovat olleet vanhalla AK1:llä 20,1 kappaletta vuorokaudessa ja uudistetulla AK2:lla 28,8 kappaletta vuorokaudessa, joka tarkoittaa hylkyprosentin olevan noin 4,7 %, mikäli kunnostustahti on 10 krt/vuosi.



KUVA 8. Lyijyanodien kunnostuksen hylkyprosentin kehitys (ruutukaappaus Boliden Wedge-järjestelmästä 2022)

Anodien katkeaminen aiheuttaa myös elektrolyysiprosessissa ongelmia, kun levyosa anodista puutttaa elektrolyyttialtaaseen ja voi joko aiheuttaa oikosulun tai olla muuten muiden levyjen asemoitumisen edessä. Käytännössä katkeaminen tapahtuu aina hitsistä ja aiheuttaja on joko kemiallinen korrosio tai mekaaninen törmäys.

Elektrolyysillä lyijyanodin levyosalle asetetaan myös muita laatuvaatimuksia eli sen tulee olla asemoitu suoraan tankoon nähden ja sen tulee olla myös tietyn paksuinen. Tämän vaatimuksen poikkeamat voivat aiheuttaa levyjen kontakteja toisiinsa ja siitä johtuvia oikosulkuja elektrolyysin altaisissa. Levyn pinnanlaatu on myös yksi kriteeri ja sen halutaan olevan pinnanlaadultaan teräväsärmäinen ja pinta-alaltaan mahdollisimman suuri.

Elektrolyysin tärkein mittari on virtahyötysuhde, johon vaikutetaan pienentämällä virtahäviöitä. Anodien osuuteen virtahyötysuhteesta voidaan vaikuttaa kuparin ja lyijyn kontaktilla anoditangossa. Lyijy ei tartu suoraan kupariin kiinni ja sen takia niiden välissä on tinajuote, joka mahdollistaa tarttumisen. Tankojen lyijyvalussa lämpötila vaikuttaa lyijyn tarttumiseen tinaan ja edelleen kupariin. Tässä on ollut ajoittain haasteita ja ongelman kartoittaminen sekä mahdollinen parannus on myös elektrolyysille kiinnostavaa. Kyseistä ongelmaa ei kuitenkaan tutkita tämän opinnäytetyön yhteydessä, mutta se on syytä huomioida kokonaisprosessin kehittämisessä.

Elektrolyysin päätavoite on hitsien laadun parantaminen, jotta kyseinen ongelma poistuu ja voidaan kattavasti keskittyä muiden mahdollisten ongelmien ratkaisemiseen.

### **3.2 Sivutuotteen tavoitteet ja haasteet**

Sivutuotteen tavoitteet ovat pääosin samat kuin elektrolyysillä eli anodien laatu, mutta myös prosessin kehittämisen ja tahtiaikojen nopeuttamisen kautta valmistuksen nopeuttaminen. Valmistuksen automatisoinnin ja modernisoinnin toivotaan tuovan myös muita etuja, kuten laitteiston kestävyys ja sitä kautta huollon tarpeen väheneminen sekä energiatehokkuuden parantaminen.

Automatisointi ja laitteiston luotettavuuden kehitys mahdollistane operaattoreiden työtehtävien painotuksen uudelleen arviointia ja voimavaroja voitaneen näin ollen kohdentaa erilaisiin tehtäviin kuin ennen. Yksittäisistä työtehtävien muutoksista ja ergonomiaa parantavista asioista voidaan mainita esimerkkinä, että nykyään valetut tangot puhdistetaan valujäämistä käsin piikkauskoneella, joka on kuormittava työ. Modernisoinnin jälkeen työn tekisi robotti.

Hankkeen tavoitteena voidaan pitää myös kustannuksien säästöpotentiaalia valmistusprosessin kehittämällä ja koko investoinnin nopeaa takaisinmaksuaikaa, joka on investoinnin toteuttamisen hyväksynnän kannalta tärkeä kriteeri.

### **3.3 Havaitut kehityskohteet**

Kartoituksen perusteella olen havainnut hitsauksen lisäksi useita kehityskohteita ja suurin osa niistä on tiedostettu molemmilla osastoilla. Ne on kuitenkin yleensä joko sivuutettu pieninä haittoina, joiden kanssa voidaan elää, tai niitä on pyritty erilaisin toimenpitein korjaamaan, aina siinä kuitenkaan onnistumatta. Kirjaan ne myös tähän lukuun, mutta valitsen jatkoon käsiteltäväksi vain ne, joihin on ratkaisu löydettävissä tai jotka kuuluvat suunnitellun lyijyanodien kokoonpanolaitteiston kehittämisen sisältöön.

Merkittävin laatuongelma on hitsi. Ongelman hitsiin aiheuttaa levyn ja tangon kohdistus, jonka epäonnistuessa hitsi voi jäädä osittain vajaaksi joko levyn tai tangon puolelta tai hitsi on vinossa suhteessa railoon. Tähän vaikuttaa myös levyn sahauksen onnistuminen ja siinä erityisesti asemointi ja sahan terän kulumisesta aiheutuvat muutokset. Lisäksi hitsi jää yleensä vajaaksi aloituksesta tai



lopetuksesta, koska nykyisellä menetelmällä hitsaus päihin asti ei onnistu kiinnittimien rakenteesta ja hitsausmenetelmästä johtuen. Hitsiä ei voida hitsata levyn päähän asti, koska muuten sula valuisi ja aiheuttaisi ongelmia käytössä. Ongelman ratkaisu on konseptisuunnittelun aikana suunniteltu valumuutos, jossa levyyn ja tankoon valettaisiin lisäpalat hitsin jatkamiseksi ohi levyn reunan molemmissa päissä.

Nykyisen menetelmän haaste on hitsin läpäisy, joka ei onnistu nykyisellä menetelmällä eli yksipuoleisella TIG-hitsauksella. Tähän haasteen tuo perusaine lyijy, jota on mahdoton hitsata sulahitsauksena läpi matalan viskositeettinsa vuoksi. Yleensä siis hitsi on enemmän tai vähemmän toispuoleinen sekä juuren puolelle jää rako, joka synnyttää mahdollisuuden mekanismeille, jotka katkaisevat levyn. Nykyinen menetelmä, yksipuolinen TIG-hitsi, tehdään I-railoon myötähitsauksena. Hitsauksessa käytetään suojakaasuna argonia (Ar) ja hitsiin syötetään erillisellä langansyöttölaitteella 4 mm:n lyijylankaa. Hitsin tarkastus tehdään visuaalisella tarkastuksella (VT) hyväksyntärajojen ollessa jonkin verran epäselvät. Periaatteessa tarkastus on turha, koska kaikissa levyissä on merkittäviä hitsausvirheitä normaalien hitsausvirheiden tarkastelun pohjalta tarkasteltaessa. Nykyisellään virheet kuitenkin pääosin hyväksytään ja anodien toivotaan kestävän mahdollisimman pitkään rikkoutumatta. Mikäli tähän halutaan muutos ja levyjen käyttöikä on hallittavissa tasalaatuisuuden kautta, laitteistoa ja erityisesti hitsausmenetelmää pitää kehittää. Tehdyn konseptisuunnittelun mukaisen laitteiston muutos parantaa hitsin laatua niin paljon, että uskon tarkastuksen jäävän tarpeettomaksi tai se voidaan toteuttaa satunnaistarkastuksena tai mahdollisena konenäkö tarkastuksena.

Hitsin lisäksi ongelmia aiheuttavat lyijyanodien osien, levyjen ja tankojen, mittapoikkeamat, joita aiheutuu valutapahtumassa tai sahausessa ja kohdistuksessa. Poikkeamat kohdistuksessa liittyvät pääosin kokoonpanolaitteistoon ja muut mittapoikkeamat valuun. Valun ongelmia ovat paksuusvaihtelut (toleranssi  $\pm 0,5$  mm) ja huokokset, mitä ei ole kuitenkaan tarkoitus käsitellä tässä opinnäytetyössä.

Pintakäsittelyn eli kuonapuhalluksen laatu on myös arvioitava asia ja se on erityisesti kiinnostava elektrolyysillä, koska se vaikuttaa anodien kemialliseen toimintaan. Kuonapuhalluksen avulla epäpuhtaudet poistuvat ja lyijylevyn päälle muotoutuu nopeasti suojaava lyijyoksidikerros ( $PbO_2$ ). Kuonapuhalluksen etuna on myös, että lyijylevy kylmämuokkautuu, mikä parantaa sen mekaanisia ominaisuuksia. Pintakäsittelyyn vaikuttavat oleellisesti menetelmä ja käytettävä rae sekä sen ominaisuudet, kuten koko ja muoto. Tässä kohtaa kannattaa huomioida myös anodista irtoava materiaali ja sen käsittely, josta voi aiheutua tarpeita jatkokäsittelylle, sillä lyijy on raskasmetalli. Nykyisen

menetelmän kehittäminen on kiinnostavaa myös sivutuotteen näkökulmasta, koska nykyinen sinkopuhalluslaitteisto on merkittävä kunnossapitokohde, jota korjataan lähes viikoittain. Ennen laite- ja menetelmämuutoksia tulee suorittaa vielä puhallustestejä, jotta ollaan varmoja kehityksen oikeasta suunnasta. Pintakäsittelyn tarkastelu ei kuulu kuitenkaan tämän opinnäytetyön sisällön kokonaisuuteen

Kehityskohteita on myös tankoon liittyvissä laitteistoissa ja menetelmissä ennen valua, kuten tinauslaitteistossa ja tankojen säilytykseen käytettävässä lämpölaatikossa. Tinaukseen käytettävä juote on myös osaltaan haaste tällä hetkellä, koska sen saatavuus on heikko ja vielä ei ole löydetty sopivaa korvaavaa ainetta, joka täyttäisi vaatimukset. Tinaus tehdään, jotta lyijy tarttuisi kuparitankoon ja siitä tulisi yhtenäinen. Nykyisellään tina ei ajoittain tartu kunnolla kuparitankoon kuin keskeltä noin 100–150 mm:n alueelta, mikä vaikuttaa sähkönjohtavuuteen ja on sinänsä merkittävä ongelma elektrolyysillä. Tinattuja tankoja ei voi valmistaa myöskään runsaasti etukäteen, koska tinaus oksidoituu ja noin kahden vuorokauden kuluttua se ei enää ole kriteerejä täyttävä ja se joudutaan hylkäämään. Tankojen lämmitys on osa valun onnistumisen edellytyksistä ja nykyään siinä on haasteita. Nykyisellään laatikon lämpö on epätasainen ja osa tangoista ei lämpene tarpeeksi ja osa lämpenee liikaa jopa osittain sulaen. Tankojen säilytyslaatikkoa onkin pyritty kehittämään pitkään siinä toistaiseksi onnistumatta. Nykyiset kehitystoimet ovat keskittyneet lähinnä lämmön tansaisuuden luomiseen kiertoilmalaatikolla. Jatkossa asiaan on syytä paneutua, mutta tässä opinnäytetyössä aiheeseen ei oteta kantaa tämän enempää.

Haasteita on ajoittain myös tuonut itse tuotantoprosessin ja valmistuksen ajoitus suhteessa kulu- tukseen. Kulutuksen ollessa epätasainen valmistus ei ole ajoittain pystynyt seuraamaan kulutusta ja on ollut haasteita tuottaa lyijyanodeja tarpeiden mukaan. Tuotannon suunnittelu helpottuu lait- teiston muutoksen jälkeen, kun tuotteen laatu paranee ja kulutus on ennakoitavissa tarkemmin.

## 4 HITSUKSEN LAATU JA KONSEPTISUUNNITTELU

Tutkimuksen keskeisin asia on lyijyanodin hitsauksen laatu. Tuloksia tarkasteltaessa on vertailtava nykyisen hitsausmenetelmän ja laitteiston tuottamia tuloksia sekä konseptisuunnittelun yhteydessä testattuja menetelmiä. Alaluvussa 4.1 esitettiin nykyisen valmistuksen mukaiset lyijyanodit ja koe-hitsaukset uusilla menetelmillä sekä kaikki testaustulokset. Alaluvuissa 4.2 ja 4.3 käydään läpi konseptisuunnittelun perusteet ja tehdyn konseptisuunnittelun tulos laitteiston muutoksena.

### 4.1 Hitsauskokeet ja niiden tarkastelu

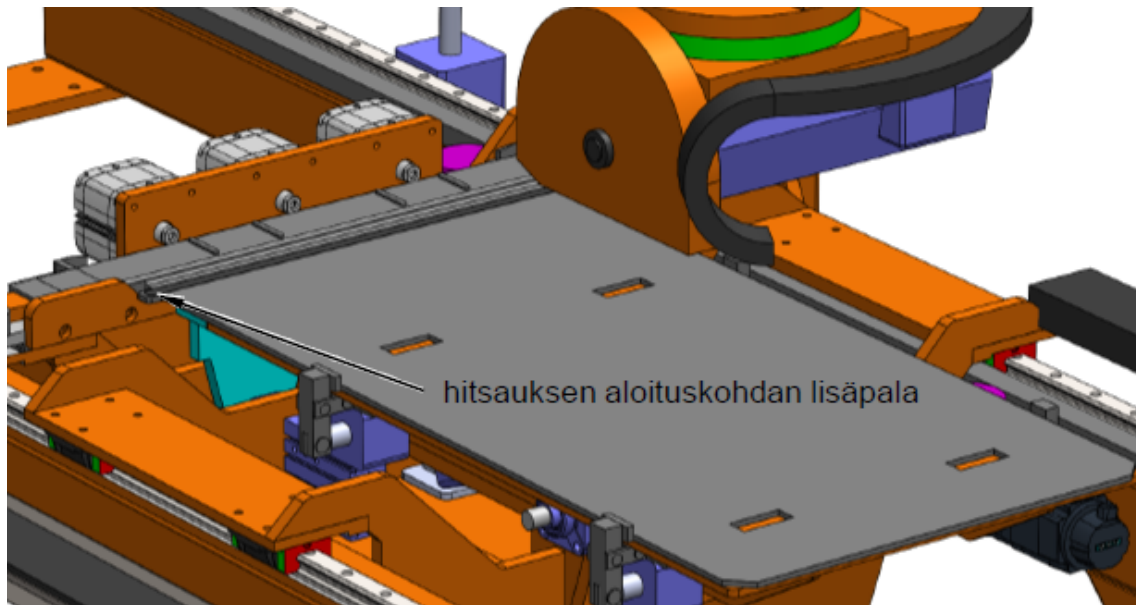
Aluksi tarkastellaan nykyistä hitsauslaatua. Kuvista 9 ja 11 on havaittavissa, että hitsi jää sekä aloituskohdasta että lopetuskohdasta vajaaksi. Tämä on merkittävä virhe ja aiheuttaa riskin korroosiolle, alkusärölle tai repeytymiselle käytön aikana. Ulkonäköön ja silmämääräiseen tarkastukseen vaikuttaa hieman hitsauksen jälkeen tehty kuulapuhallus.



*KUVA 9. Yleiskuva anodin hitsistä hitsin puolelta nykyisin käytössä olevalla laitteistolla*

Vajaaseen aloitukseen ja lopetukseen ei voida vaikuttaa varsinaisesti hitsauksella myöskään uudella menetelmällä, mutta tämä on ratkaistu uudessa anodien käsittelylaitteistossa muulla tavalla. Ratkaisuna on suunniteltu tehtäväksi valumuotteihin levitys tulevan hitsin kohdalle, jolloin hitsi voidaan aloittaa ennen varsinaiseen levyliitokseen menoa valetun lisäpalan (kuva 10) kohdalta ja jatkaa hitsiä ohi levyliitoksen vastaavan valetun lisäpalan kohdalle. Lisäpalat sahataan hitsauksen

jälkeen pois, jolloin anodin reunasta tulee suora, eikä siihen jää vaurioalttiita rakoja. (Ionix Oy 2020.)



KUVA 10. Hitsauksen lisäpala (Ionix Oy 2020)

Kuvassa 11 on nykyisen menetelmän mukainen hitsi. Hitsin lopetuksen jälkeinen rako on havaittavissa selkeästi virhealttiina kohteena. Lisäksi hitsin keskellä on onteloita ja reunoilla huokosia. Muuten hitsi sijaitsee liitoksen keskellä, mutta hitsin leveys vaihtelee hitsin matkalla.



KUVA 11. Liitoksen kuva hitsin puolelta nykyisellä menetelmällä

Kuvassa 12 on hitsi juuren puolelta nykyisellä hitsausmenetelmällä. Tästä nähdään, että hitsisula ja syötettävä lisäaine ovat valuneet railon läpi ja jähmettyneet vasten juuritukea. Tätä voidaan jonkin verran optimoida hitsausnopeudella, hitsausvirralla ja lisäaineen syöttönopeudella, mutta täydellistä läpihitsautuvuutta ei kuitenkaan yksipuolisella TIG-hitsauksella ole saavutettavissa lyijyn hitsauksessa.



*KUVA 12. Hitsin kuva juuren puolelta nykyisellä menetelmällä*

Kuvassa 13 nähdään kahden lyijylevyn koeliitos kitkahitsauksella pyörivällä työkalulla. Testit on tehty 7,5 mm pitkällä työkalulla ja hitsausnopeudella 0,7 m/min. Kuten kuvasta on nähtävissä, hit-saustulos on tasalaatuinen ja virheetön visuaalisen tarkastuksen perusteella. Ainoastaan hyvin pientä reuna-alueen kääntymistä on havaittavissa, mutta tämä ei vaikuta lopputulokseen. Tässäkin tapauksessa ennen hitsin aloitusta on rako, koska hitsiä ei voi aloittaa teknisesti suoraan levyn reunasta. Tämä voidaan estää lisäämällä lisäpala materiaalia valettavien anodilevyn ja tangon aloitukseen ja lopetukseen. Palat sahataan hitsauksen jälkeen pois reunan tasolle, jolloin levystä ja tangosta tulee yhtenäisiä.



*KUVA 13. Kitkahitsauksen koeliitoksen aloituskohta vasemmalla*

Kuvassa 14 on koeliitoksen hitsi ja sen lopetus. Lopetukseen syntyy reikä hitsaustyökalun poiston kohdalle. Tämä voidaan myös välttää edellä mainituilla valettavilla lisäpaloilla.



*KUVA 14. Kitkahitsauksen lopetuskohta oikealla*

Kuvassa 15 on koehitsi kitkahitsauksella pyörivällä työkalulla juuren puolelta. Kuvasta on silmämääräisen tarkastuksen perusteella nähtävissä, että hitsi on täydellisesti läpihitsautunut ja virheetön. Hitsi on sileä molemmilta hitsatuilta puolilta ja luo näin vähän mahdollisuuksia korroosion aloituskohdalle tai lian kerääntymiselle anodin pinnalle, joka edelleen voi synnyttää korroosioriskin. Hitsi on kuonaton ja visuaalisesti helposti tarkastettava laadun osalta. Myöskään muodonmuutoksia ei ole havaittavissa tai hitsausvirheitä yleensä.



KUVA 15. Lyijylevyjen koeliitos juuren puolelta (lonix Oy 2020)

Kuvassa 16 ja 17 on laboratoriossa tehtyjen hieiden valokuvat. Niiden pohjalta nähdään, että molemmissa tapauksissa läpihitsautuvuus on hyvä.



KUVA 16. Hie kitkatappihitsauksesta (lonix Oy 2020)



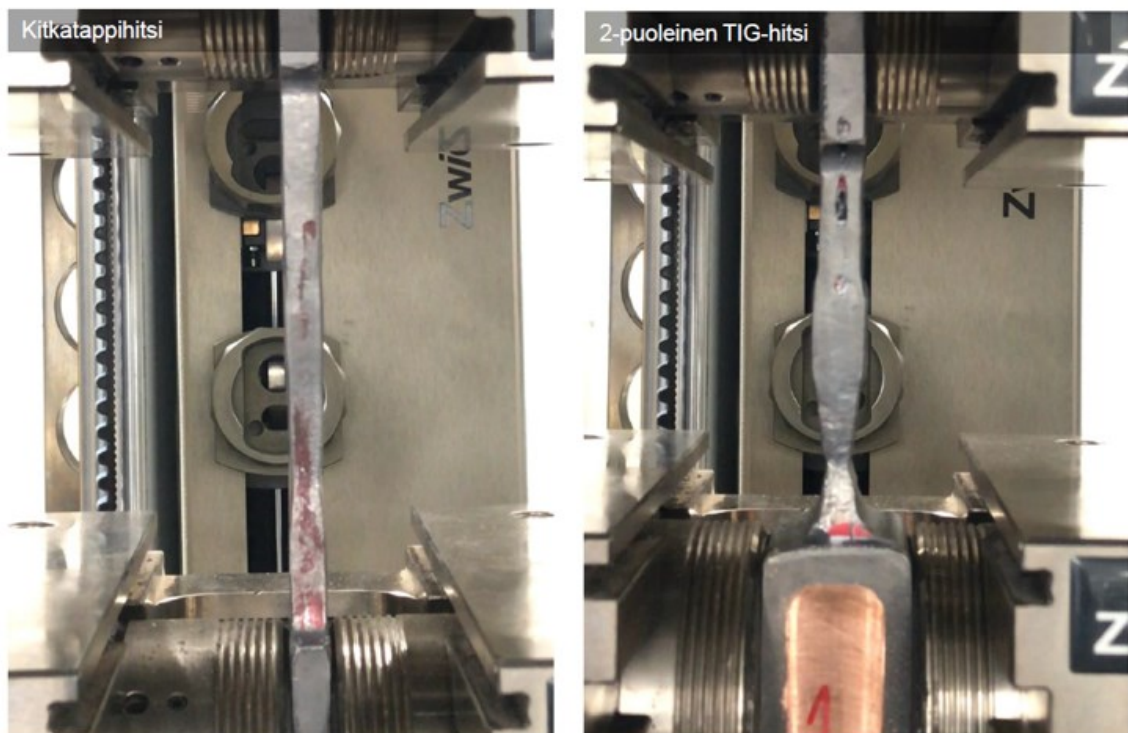
*KUVA 17. Hie 2-puoleisesta TIG-hitsistä (lonix Oy 2020)*

Hitsatuille koekappaleille on tehty myös veto- ja taivutuskokeita, joiden valokuvia ja tuloksia nähdään kuvissa 18, 19 ja 20. Kuvassa 18 on vasemmalla ylhäällä kitkahitsatun kappaleen hitsatun pinnan taivutustesti, näyte oikealla ylhäällä on kitkahitsatun kappaleen juuren taivutustesti ja näyte alhaalla on kitkahitsatun kappaleen taivutustesti sivusuunnassa. Tuloksien perusteella voidaan arvioida, että hitsi on perusaineen kaltaista taivutettaessa ja mitään murtumia ei ole havaittavissa. Kuvassa 19 nähdään vetokokeet sekä kitkahitsatulle kappaleelle että kaksipuolisella TIG-hitsauksella hitsatulle kappaleelle juuri ennen murtumista ja kuvassa 20 vetokokeiden tulokset. Vetokokeissa molemmat koesauvat murtuivat hitsin vierestä tangon puolelta ja tuloksista on nähtävissä, että kitkahitsattu sauva venyi eniten ennen murtumista. Kokeissa oli mukana myös yhdeltä puolelta TIG-hitsauksella hitsattu sauva, joka murtui luonnollisesti ensimmäisenä.



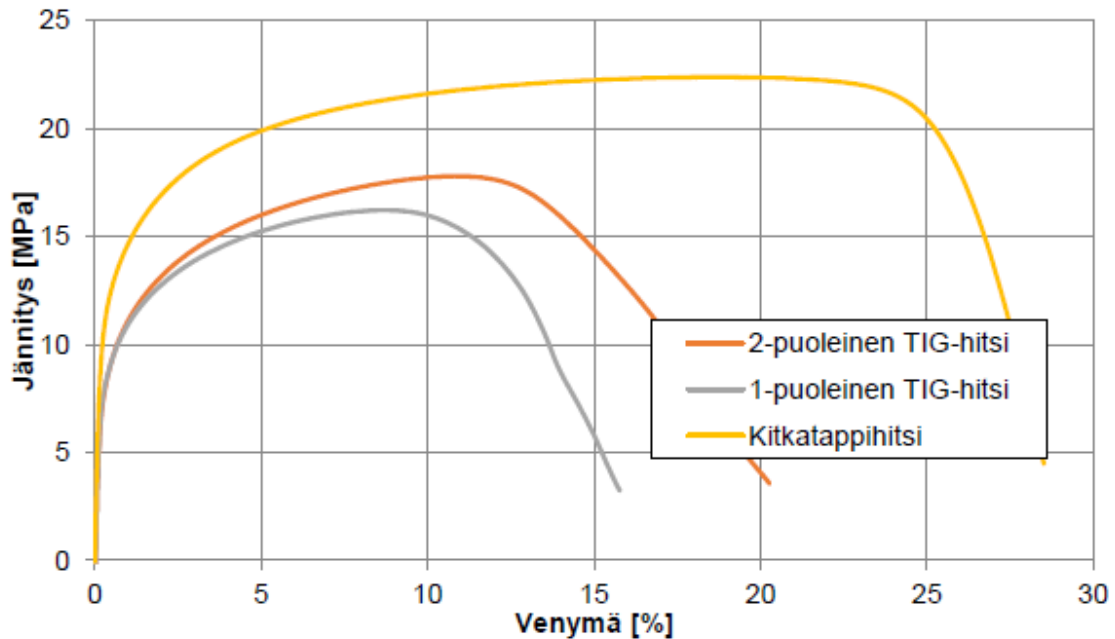


KUVA 18. Kitkahitsattujen kappaleiden taivutuskokeita (lonix Oy 2020)



KUVA 19. Vetokoe (lonix Oy 2020)

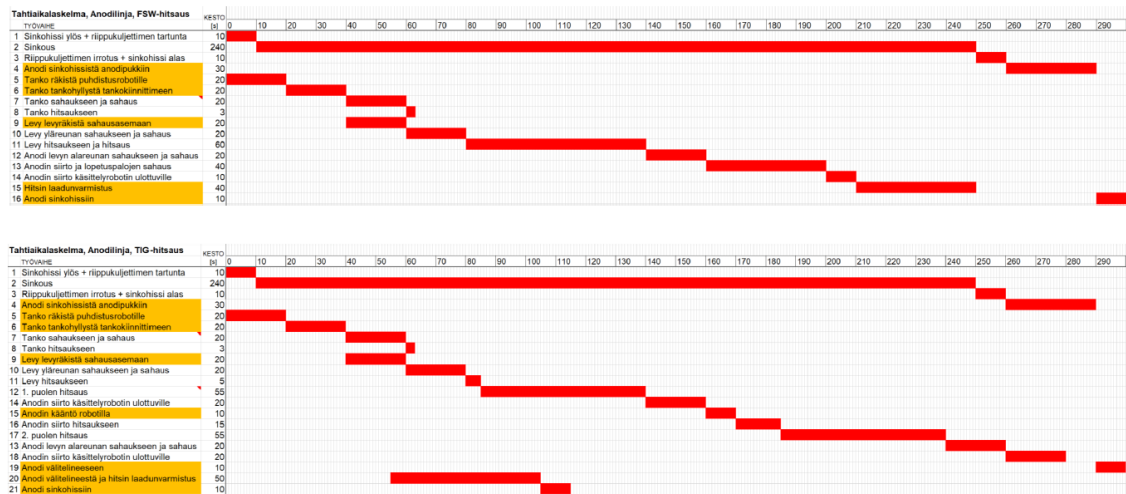
## Vetokokeiden jännitys-venymäkäyrät



KUVA 20. Vetokokeiden jännitys- ja venymäkäyrät (Ionix Oy 2020)

Tekniset testitulokset painottavat valintaa kitkahitsaukseen ja lisäksi yhdeltä puolelta hitsattava kitkahitsaus on nopeampi toteuttaa kuin kahdelta puolelta hitsattava TIG-hitsaus. Kuvasta 21 nähdään lasketut teoreettiset tahtijatjat koko laitteiston toiminnasta, joka on tasoitettu tavoiteajan mukaan. Erikseen hitsausta tarkasteltaessa nähdään, että kitkahitsaus on noin puolet nopeampaa, joten myöskin potentiaali energian säästöön on suurempi kitkahitsauksessa.

Linjan kapasiteetti: Tahtiakalaskelmat Kitkatappihitsaus ja 2-puoleinen TIG-hitsaus -vaihtoehdoille



KUVA 21. Kitkatappihitsauksen ja TIG-hitsauksen teoreettinen aikavertailu (Ionix Oy 2020)

Kitkahitsauksen etuna on siis myös pieni energiankulutus, joka on Bolidenin tavoite uusia hankintoja tehtäessä. Boliden pyrkii alentamaan energiasta aiheutuvia kustannuksia ja ympäristövaikutuksia säästämällä energiaa, hyödyntämällä vapautuvaa energiaa parhaalla mahdollisella tavalla ja tutkimalla mahdollisuuksia uusiutuvan energian käyttöön. (Boliden Kokkola Oy 2022.)

Kitkahitsauksen ympäristöystävällisyys ja erityisesti työhygieniat ovat merkittäviä etuja hitsausmenetelmässä, koska hitsaus ei tuota roiskeita tai UV-säteilyä ja hitsaussavut puuttuvat kokonaisuudessaan. Tämä vaikuttaa myös ilmanvaihdon ja kohdepoistojen tarpeisiin, joten tässäkin on olemassa säästöpotentiaalia tehon tarpeen vähetessä. Asiaa ei kuitenkaan tutkita tämän opinnäytetyön puitteissa laajemmin, mutta asia on syytä huomioida laitteistoratkaisuja tehtäessä.

Kitkahitsauksen edut ovat merkittävät, mutta ennen hankintapäätöstä tulisi vielä tehdä kestoesti menetelmälle, jotta voitaisiin todeta esimerkiksi hitsauspään kulumiskestävyys. Oletuksena voidaan kuitenkin pitää, että pään kuluminen ei tulisi hankintaa estäväksi tekijäksi, koska lyijy materiaalina on pehmeä ja menetelmää käytetään yleisesti alumiinille, joka on lyijyä kovempi materiaali. Myöskään hitsauskoneessa olevan työkalun uusimisen hankintakustannukset eivät ole merkittävät kokonaisuuden kannalta.

Kitkahitsaukselle pyörivällä työkalulla on olemassa standardi SFS-EN ISO 25239 1-5, joka on alumiinille määritetty, mutta kyseisessä standardissa olevaa hitsausvirheiden arviointia voidaan käyttää myös soveltaen lyijyä hitsattaessa (kuva 22). Merkittävin virhe on vajaa hitsaussyvyys, jolloin juuren särö on todennäköinen virhe. Muille virheille on määritetty raja-arvot tai määritetään tarvittaessa. Lyijyanodien hitsauksessa rajat on arvioitava käyttötarpeen mukaan ja määritettävä ennen tuotannon käynnistämistä.

## FSW: hitsausvirheet SFS-EN ISO 25239-5

Virhetyyppi	Testaus	Hyväksymisraja	ISO 6520-1
Vajaa hitsautumissyvyys juuressa	ME	ei hyväksytä	- (4021)
Korkea juurikupu	VT, ME	$h \leq 3 \text{ mm}$	504
Rajaviivan purse	VT, ME	määritetään tarvittaessa	-
Tasomainen sovitusrinne	VT, ME	$h \leq 0.2t$ tai 2 mm	507
Vajonnut hitsi / vajaa kupu	VT, ME	$h \leq 0.2 \text{ mm} + 0.1t$ ( $t \geq 2 \text{ mm}$ ); $h \leq 0.15t$ ( $t < 2 \text{ mm}$ )	- (509, 511)
Epäsäännöllinen hitsin leveys	VT	määritetään tarvittaessa	513
Epätasainen hitsin pinta	VT	määritetään tarvittaessa	514
Ontelo	ME	$d \leq 0.2s$ tai 4 mm	200
Koukku (hook): rajapinnan kääntyminen	ME	määritetään tarvittaessa	-

KUVA 22. FSW hitsausvirheet standardin SFS-EN ISO 25239-5 mukaisesti (Sirén 2018)

### 4.2 Konseptisuunnittelun määritelmä

Konseptisuunnittelulla tarkoitetaan tietyn toimittajan tai toimittajien tekemää laitteiston tai projektin normaalia pidemmälle vietyä esisuunnittelua tilaajan antamien lähtötietojen perusteella. Prosessi etenee vuoropuhelumaisesti eli konseptia kehitetään yhdessä. Jossain yhteydessä puhutaan konseptoinnin yhteydessä palvelumuotoilusta, kun ollaan kehittämässä palvelua teknisen sovelluksen sijaan. Seuraavissa lauseissa on mielestäni kuvattu hyvin konseptoinnin tavoite: ”Konseptisuunnittelun tarkoituksena on selvittää, mikä on järkevin tapa tuottaa haluttu lopputulos ja optimoida toiminto, kuten esimerkiksi koneen viemä fyysinen tila ja käyttöaste. Konseptisuunnittelun avulla voidaan kartoittaa, miten materiaalit kulkevat, mihin sijoitella laitteita ja mikä on tähän kaikkiin järkevin ratkaisu toimivan prosessin kokonaiskuvan kannalta. Vuorovaikutteisen prosessin ansiosta lopputulokseksi saadaan parhaiten asiakkaan tarpeisiin sopiva suunnitelma konseptista.” (Sermatech Oy 2022.)

Normaalissa esisuunnittelussa projektin suunnittelussa edetään niin pitkälle, että tekniset ratkaisut ovat selvillä pääpiirteissään ja kustannusarvio saadaan  $\pm 10 \%$  tarkkuuteen. Tarkkuus on kuitenkin sen verran epätarkka ja yksityiskohdat ovat hiomatta, että detaljisuunnittelulle on tarvetta. Konseptisuunnittelussa prosessi viedään teknisesti pidemmälle ja määrittelyn tarkkuuden perusteella laitteistosta saadaan sitova hinta mahdollisen investointiprojektin viemiseksi eteenpäin luotettavilla taloudellisilla tiedoilla. Teknisesti laitevalinnat ja layout on suunniteltu niin tarkkaan, että

mahdollisuus on käynnistää projekti nopeasti ja siirtyä suoraan hankintaan tekemättä enää tarkempaa detaljisuunnittelua.

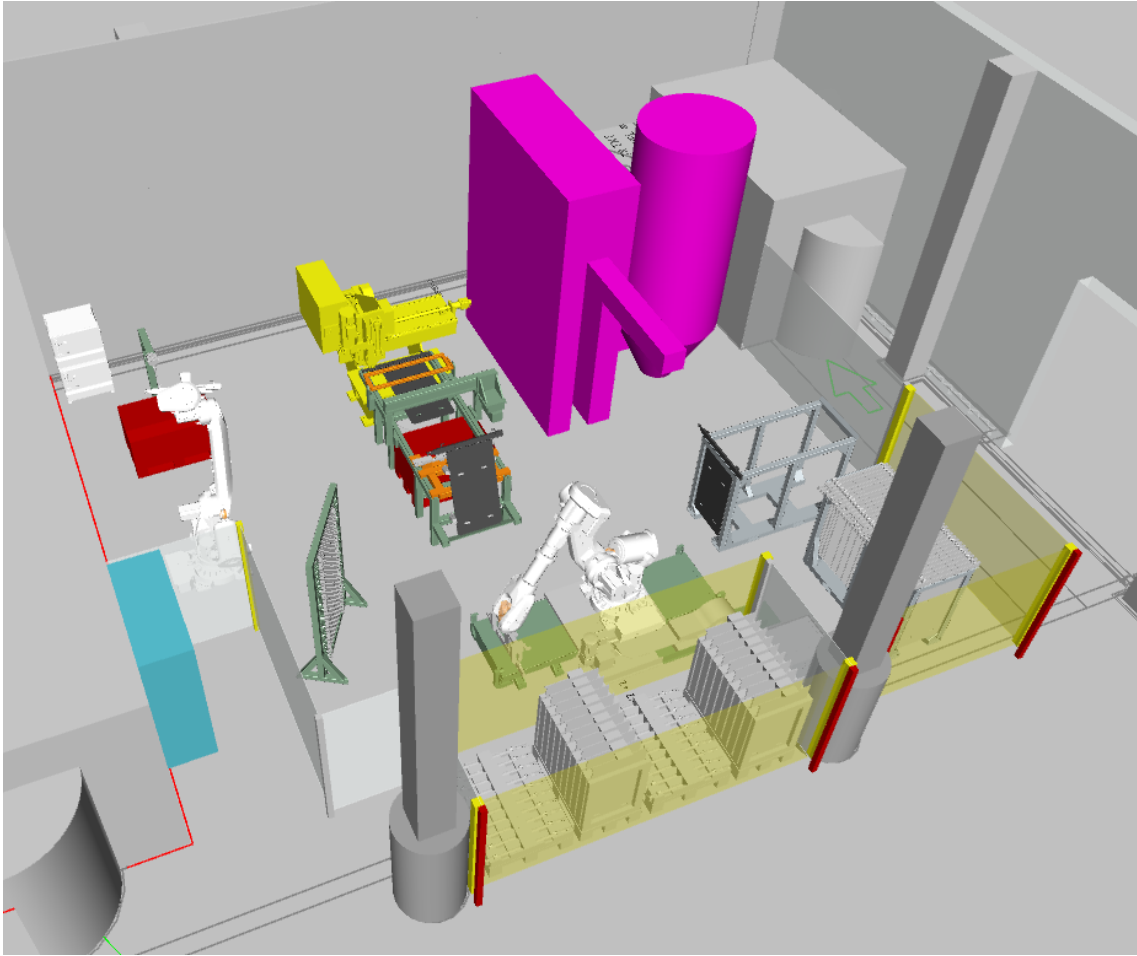
### **4.3 Konseptisuunnittelun toteutus**

Vuonna 2019 päätettiin toteuttaa kokonaisvaltainen konseptisuunnittelu uudesta lyijyanodioiden käsittelyn ja kokoonpanon laitteistosta, jonka osana on hitsauksen kehitys, jotta saataisiin mahdollisimman tarkka tekninen selvitys hankittavasta laitteistosta ja myös tarkka kustannusarvio investointia varten. Ennen konseptisuunnittelua oli tehty esisuunnittelu halutuista vaatimuksista ja tarpeista, mitä suunnittelun tulee täyttää. Esisuunnittelussa oli muodostettu aineisto, joka sisältää laajan teknisen erittelyn sisältäen yleisen layoutin ja laitteet, suorituskykyvaatimukset, toimitusrajat, aikataulun ja dokumentointivaatimukset.

Konseptisuunnittelun tuloksena saatiin tarjous, joka sisältää teknisen erittelyn laitevaihtoehtoista, layoutin laitteista ja sitovan tarjouksen laitteiston toimituksesta tietyin varauksin. Tarjouksen perusteella on mahdollista tehdä laadukas ja täsmällinen kustannusarvio toteutusinvestointia varten.

Merkittävimmän ongelman eli anodilevyn ja -tangon välisen hitsin laadun parantamiseen saatiin ainakin rohkaiseva, jollei jopa käänteentekevä ratkaisu. Sekä kaksipuoleinen TIG-hitsaus että kitkahitsaus pyörivällä työkalulla saavuttivat prosesseina niin hyviä tuloksia testeissä, että ongelman voidaan olettaa pääosin ratkenneen.

Konseptisuunnittelussa muodostettiin laitekokonaisuus (kuva 23), joka toimii täysin automaattisesti ja on nykyaikaisten teknisten ja turvallisuusratkaisujen mukainen. Linjan kapasiteetti mitoitettiin tiilajan vaatimusten mukaisesti ja kapasiteetista tehtiin tahtiaikalaskelmat vertailua varten molemmilla hitsausmenetelmillä.

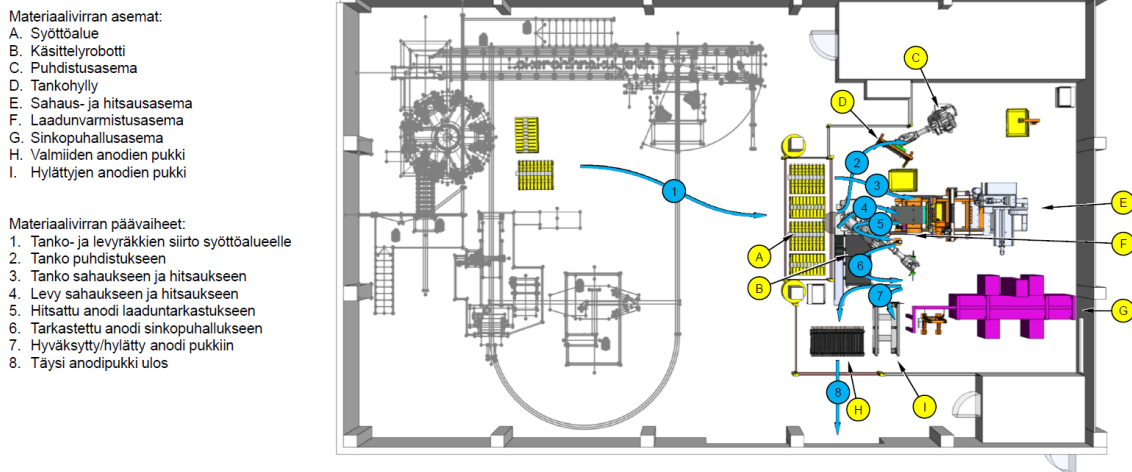


*KUVA 23. Anodilevyjen valmistuslinjan 3D-malli (Ionix Oy 2020)*

Automaattinen toiminta alkaa valun jälkeen, kun tanko- ja levytelineet on siirretty syöttöalueelle. Valetut tangot ja levyt nostetaan olemassa olevalla nosturilla telineisiin, jotka siirretään joko trukilla tai muulla soveltuvalla ratkaisulla anodien kokoonpanolinjalle. Tämän jälkeen toiminnot jatkuvat automaattisesti, kunnes operaattori ottaa anodit valmiina vaihtopaikalta ja toimittaa ne käyttöön elektrolyysille.

Ensimmäisenä vaiheena automaattisella kokoonpanolinjalla (kuva 24) on tangon haku puhdistukseen, jonka suorittaa käsittelyrobotti, joka ojentaa tangon edelleen puhdistusrobotille. Puhdistuksessa robotti vie tangon paineilmataltan toteuttamaan puhdistukseen ja siirtelee tankoa ohjelmoidun liikeradan mukaisesti. Puhdistuksen jälkeen robotti asettaa tangon tankohyllyyn, josta käsittelyrobotti vie sen sahaus- ja hitsausaseman tankokiinnittimeen. Kiinnittimessä tanko paikoitetaan ja lukitaan, jonka jälkeen hitsattava reuna oikaistaan sahaamalla. Käsittelyrobotti siirtää vastaavasti anodilevyn sahaus- ja hitsausasemaan, jossa levyn yläreuna oikaistaan hitsausta varten.

Hitsausasemassa levy ja tanko liitetään yhteen joko kaksipuolisella TIG-hitsauksella tai kitkahitsauksella pyörivällä työkalulla. Konseptisuunnittelussa on vertailtu vaihtoehtoisia hitsausprosesseja ja toteutus on mahdollinen kummalla tahansa vaihtoehdoista. Alaluvussa 4.1 on otettu kantaa prosessin valintaan ja perusteltu valittua vaihtoehtoa.



KUVA 24. Anodilevyjen valmistuslinjan tekninen määrittely (Ionix Oy 2020)

Kitkatappihitsauksessa pyörivä työkalu liittää levyn ja tangon toisiinsa menetelmän mukaisesti. Vaihtoehtoisessa tavassa, kaksipuolisessa TIG-hitsauksessa, kappaleet hitsataan kaarihitsausprosessin mukaisesti ensin toiselta puolelta kiinnittimessä ja sen jälkeen käsittelyrobotti kääntää anodin hitsattavaksi toiselta puolelta. Molemmissa menetelmissä käytetään kiinteää juuritukea ja hitsaus suoritetaan esivalmistettuun I-railoon.

Kitkatappihitsauksessa lopetuskohtaan syntyy työkalun muotoinen reikä, jota ei voida jättää valmiiseen anodiin. Valussa onkin huomioitava hitsauksen aloitus- ja lopetuskohdat tekemällä valuun muutos leventämällä levyn yläosaa ja tangon alaosa. Tällä saavutetaan aloitus- ja lopetuskohtien virheetömyys, kun hitsaus aloitetaan levyn ulkopuolelta ja päätetään levyn ulkopuolelle. Hitsauksen jälkeen anodin alareuna oikaistaan lopulliseen mittaansa ja samalla hitsauskohdan levytyksen ”korvat” sahataan pois.

Käsittelyrobotti nostaa anodin hitsausasemasta ja vie sen hitsin laaduntarkastukseen. Hitsille tehdään tarkastusasemassa visuaalinen tarkastus laserskannauksella, joka tunnistaa erilaiset pinnanmuodon virheet, kuten säröt, halkeamat, avojuokset ja hitsin asemointiin liittyvät virheet. Käsittelyrobotti vie anodin tarkastuksen perusteella joko hylkyräkkiin tai edelleen eteenpäin prosessissa.

Anodin pinta karhennetaan nykyään käytössä olevan sinkopuhalluksen mukaisella laitteella tai siten vaihtoehtoisesti raepuhaltamalla, jonka jälkeen anodi viedään käsittelyrobotilla valmiiden anodien räkkiin.

Puhallusmenetelmiä on vertailtu konseptisuunnittelussa teknisten ominaisuuksien ja kustannuksien osalta, mutta varsinaisia puhallustestejä ei ole tehty konseptointivaiheessa. Anodin käsittely ei poikkea peruseriaatteeltaan eri puhallusmenetelmien välillä, vaan anodi kuljetetaan molemmissa tapauksissa puhallusaseman läpi riippuratakuljettimella. Itse prosessissa on paljon eroja, kuten esimerkiksi erilaiset rakeet, jotka vaikuttavat pinnankarheuteen sekä rakeiden kulutusmäärä, huoltotarve, suodatustarve ja paineilmankulutus, joita tulee tarkastella ja verrata tarkemmin valittaessa toteutustapaa. Ennen menetelmän valintaa on syytä tehdä testauksia molemmilla vaihtoehdoilla erilaisilla rakeilla.



## 5 TULOSTEN TARKASTELU

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, kuinka voidaan vähentää lyijyanodien rikkoutumisia tuotannossa eli kuinka nykyiset ongelmat lyijyanodien hitsauksen laadussa saadaan poistettua tai ainakin saadaan merkittävästi vähennettyä. Ratkaisua etsittäessä ensimmäisenä tulee esittää kysymys ”Mikä aiheuttaa rikkoutumisia?”. Tähän vastaus löytyi tarkastelemalla tuotannon toteutusta ja nykyistä laitteistoa sekä valmistettuja lyijyanodeja. Vahvistuksena seurannan tuloksiin haastattelin tekijöitä ja käyttäjiä, jonka jälkeen vastauksena ensimmäiseen kysymykseen oli, että hitsauksen toteutus ei täytä laatuvaatimuksia ja tuotetut lyijyanodit ovat heikkolaatuisia ja vaurioituvat käytössä usein. Vaikuttavat tekijät heikkoon laatuun ovat käytettävä hitsausmenetelmä, railon valmistus, kappaleiden (levy ja tanko) kohdistus ja laadunvalvonta. Merkittävin tekijä huonoon laatuun on yksipuolinen TIG-hitsaus, jolla ei saada toteutettua hitsausta riittävän laadukkaasti, jotta se ei aiheuttaisi rikkoja lyijyanodeja käytettäessä. Muut häiriötekijät eivät ole niin merkittäviä ja ne poistamalla anodien laatu ei parane oleellisesti, jos hitsauksen laatu on heikko.

Varsinaiseen tutkimuskysymyksen ”Kuinka vähennetään lyijyanodien rikkoutumisia tuotannossa?” vastaus on siis, että rikkoutumisia vähennetään toteuttamalla hitsausmenetelmän muutos eli esimerkiksi konseptisuunnittelun mukainen laiteuudistus valituilla menetelmillä joko kitkahitsauksella pyörivällä työkalulla tai kaksipuolisella TIG-hitsauksella. Molemmilla menetelmillä hitsin laatu paranee merkittävästi ja lyijyanodien hitsien rikkoutumisten uskotaan vähenevän tai poistuvan lähes kokonaan, mikä on tavoitteena. Tehtyjen koehitsauksien mukaan molemmat testatut hitsausmenetelmät tuottavat halutun tuloksen, mutta muita etuja vertaillessa kitkahitsaus pyörivällä työkalulla on mielestäni parempi ratkaisu sekä laadullisesti että kustannuksellisesti pitkällä aikavälillä. Varsinaista pitkän aikavälin seuranta ei tosin voida tehdä, ennen kuin laite on käyttöön otettu, säädetty ja uusien, menetelmän mukaisesti valmistettujen lyijyanodeja on valmistettu ja käytetty elektrolyysin prosessissa tietyn ajan.

Laiteuudistuksen yhteydessä korjaantuu myös osa muista laadun tuottoon vaikuttavista tekijöistä eli railon valmistus, kappaleiden kohdistus ja laadunvalvonta. Samassa yhteydessä poistuvat hitsien päihin jäävät raot aloituksessa ja lopetuksessa, kun valuu tehdään pienellä muutoksella jatkokappaleet hitsauksen suorittamiselle koko levyn ja tangon liittämisalueelle (kuva 10). Uudistuksen yhteydessä myös laadunvalvontaa voidaan kehittää silmämääräisestä tarkastuksesta esimerkiksi laserskannerilla tapahtuvaan tarkastukseen, joka on liitetty konseptisuunnittelun laitteistoon.

Laserskannerilla löydetään hitsin pinnassa olevat virheet, kuten vajaa hitsikupu, kuopat, reuna-  
haava sekä liitosvirheet. Voidaankin todeta, että hitsin laadun merkittävä parannus saavutetaan  
nykyistä soveltuvammalla hitsausmenetelmällä ja valmistelevilla toimenpiteillä, kuten railon valmis-  
tuksella sekä liitettävien kappaleiden asemoinnilla, jotka liittyvät laitteiston uusinnan kokonaisuu-  
teen.

Pasuton sivutuotteella eli valmistavalla osastolla muutoksen vaikutus kohdistuu suoraan tuotanto-  
määrään, koska rikkoutuvien lyijyanodien määrä vähenee. Tämä vähentää kustannuksia ja sääs-  
tää aikaa, joka mahdollistaa työvoiman kohdistamisen erilaisiin, tuottavampiin, työtehtäviin. Lisäksi  
rikkoutuneiden lyijyanodien käsittelyn lukumääräinen vähentyminen vähentää materiaalin (hitsauk-  
sen lisäaine, hylkyyn menevät anodit ja kuparitangot) ja energian (hitsaus, lyijyvalu ja kappaleiden  
käsittely) kulutusta, joka luonnollisesti synnyttää myös kustannussäästöjä.

Elektrolyysillä eli lyijyanodeja käytävällä osastolla vastaava vaikutus on kunnostuksessa hylkytar-  
peen väheneminen, joka lisää yksittäisten anodien kiertoaikaa prosessissa ja prosessin vakautta.  
Kun yksittäisen lyijyanodin kiertoaika pitenee, vastaavasti kunnostustarve vähenee ja kunnostuk-  
sen ajankäyttöä voidaan tarkastella erikseen. Prosessissa tapahtuvat rikot eivät myöskään häiritse  
elektrolyysin prosessin toimintaa, vaan työ on sujuvampaa ja korjaustoimista aiheutuvat tuotanto-  
katkokset eivät rasita henkilökuntaa tai aiheuta tuotantotappioita. Oleellista on prosessin vikata-  
pauksien väheneminen, joka parantaa kokonaisprosessin sujuvuutta ja kasvattaa tuotannon mää-  
rää katkokkien poistuessa sekä vähentää energian kulutusta kunnostustarpeen vähentyessä. Hen-  
kilökohtaisesti olettamukseni on, että häiriöiden väheneminen myös parantaa kokonaisuudessaan  
työntekijöiden hyvinvointia ja työtyytyväisyyttä häiriöiden aiheuttaman työstressin vähenemisen  
kautta.

Kaiken kaikkiaan voidaan todeta, että tavoitteet hitsin laadun parantamisessa tullaan saavutta-  
maan ja vaikutukset sekä elektrolyysillä että sivutuotteella ovat merkittävät sekä määrällisesti että  
laadullisesti. Verrattaessa hitsausmenetelmiä keskenään kitkahitsauksen edut verrattuna TIG-hit-  
saukseen ovat moninaiset. Esimerkiksi kitkahitsauksesta ei synny haitallisia kaasuja, mikä tarkoittaa  
työympäristön olosuhteiden parantumista ja hitsauksen altistavuuden poistumista. Hitsauspro-  
sessissa ei tarvita myöskään lisäainetta tai suojakaasua, mikä tuo suoraan säästöä tarveaineiden  
kulutuksen vähentyessä. Kitkahitsauksen energiankulutus on myös pienempi kuin TIG-hitsauk-  
sessa, mikä vaikuttaa suoraan kustannussäästöinä. Merkittävä asia on myös hitsausprosessin

helppous, jolloin operaattoreiden perehdytys on helppoa ja työn seuranta ei vaadi erityistä erikois-  
osaamista.

## 6 POHDINTA JA YHTEENVETO

Opinnäytetyön aiheeksi valikoitui lyijyanodien hitsauksen kehittäminen, joka oli luonnollinen valinta, kun osalleni lankesi projekti, jossa tehtiin konseptisuunnittelu juuri kyseisestä aiheesta. Tarkoitus oli, että projekti olisi siirtynyt myös toteutusvaiheeseen vuoden 2021 aikana, mutta valitettavasti minun opinnäytetyöni kannalta projektin käynnistyminen siirtyi toistaiseksi tulevaisuuteen, joten varsinaisen toteutusvaiheen kokemuksia ei ole todennettavaksi. Vaikka projekti ei edennyt toteutusvaiheeseen, konseptisuunnittelussa syntyi paljon materiaalia opinnäytetyön tueksi ja lisäksi oman selvitystyöni kautta tietoa löytyi laajalti sekä itse tutkimuskysymyksen aiheesta että muuten aiheeseen liittyen.

Selvitystyön aikana lyijyanodeihin liittyvä prosessi sekä sivutuotteella että elektrolyysillä tuli tutuksi ja haastattelujen perusteella osastojen toiveet ja tarpeet selkiytyivät. Oma tietämys lyijyn hitsauksesta ja käsittelystä lisääntyi merkittävästi, mikä voi olla tulevaisuudessa hyödyllinen erilaisten projektien toteutuksessa sivutuotteella. Opinnäytetyön tekeminen oli mielenkiintoista ja opettavaista henkilökohtaisesti, mutta tuotti myös merkittävän määrän tietoa lyijyanodien hitsauksen kehittämiseen ja tulevaisuudessa mahdollisesti toteutettavaan kehitysprojektiin.

Opinnäytetyön rajaaminen oli hieman haasteellista, koska tietoa oli käytettävissä laajalti lyijyanodin valmistus- ja käyttöprosessista paikallisella tasolla. Aihe kietoutuu laajalti sinkin valmistuksen prosessiin ja vaikuttaa toimintaan kahdella eri tuotanto-osastolla. Rajauksessa auttoi opinnäytetyön ohjaus, joka johdatti oikeaan suuntaan ja auttoi keskittymään aiheeseen oleellisesti kuuluviin asioihin, kuten erityisesti lyijyanodin valmistusprosessiin ja hitsaukseen sekä sen vaikutukseen käyttöprosessissa. Lyijyn hitsauksesta ja vastaavasta käyttötarkoituksesta sinkkiteollisuudessa löytyy sen sijaan hyvin vähän tietoa kirjallisuudesta tai verkosta.

Boliden Kokkolan nykyinen toimintatapa lyijyanodien valmistuksessa ja kunnostuksessa on kenties täysin ainutlaatuinen sinkkitehtaiden joukossa. Tarkempaa tutkimustietoa eri tehtaiden toimintatavoista ei juurikaan ole saatavilla, mutta yleinen toimintatapa vaikuttaa olevan joko painevalu tai kylmävalssattu anodi. (Gonzales 2005.) Nykyisellä toimintatavalla Boliden Kokkolassa saavutetaan etu, että anodien valmistus on omissa käsissä ja olemme pääosin riippumattomia alihankkijoista, mitä voitaneen pitää merkittävänä etuna nykyisessä maailmantilanteessa kesällä 2022.

Painevaluna tai kylmävalssattuna valmistettavien lyijyanodien etuja, kuten mahdollista vaikutusta anodien käyttöikään paremman korroosion keston tai parempien mekaanisten ominaisuuksien kautta ja haasteita tulee tarkastella kokonaisuutena suhteessa Boliden Kokkolan toteutustapaan. (Mirza 2016.) Tässä työssä en tarkastele kaikkia lyijyanodien toimintaan vaikuttavia tekijöitä, kuten esimerkiksi materiaalin koostumusta tai erilaisten valmistusprosessien taloudellisia vaikutuksia, mutta mahdollisessa investointiprojektin kannattavuusselvityksessä nämä on otettava huomioon. Esimerkiksi valssauksen vaikutus huokoisuuteen, ja sitä kautta anodien kestoikään, tulee huomioida. Myös seostuksen vaikutus anodien laatuun tulee tarkastella. (Gonzales 2005.)

Mikäli todettaisiin, että kyseiset menetelmät olisivat parempia joko kustannuksellisesti tai muusta perustellusta syystä ja Boliden Kokkola päättäisi vaihtaa prosessinsa kyseisiin, niin molemmissa tapauksissa toteutus vaatisi isoja investointeja ja toimintatapojen merkittävää muuttamista. Mahdollisesti ratkaisu olisi näissä tapauksissa ulkoistaminen eli alihankinta, joka toisi omia haasteitaan ja myös mahdollisia etuja. Haasteena voisi olla, että mahdollisia toimittajia ei olisi myöskään saatavilla kotimaasta, joten huomioon pitäisi ottaa myös toimitusvarmuus kuljetuksien ja kilpailun näkökulmasta. Myös kierrätyksen järjestäminen saattaisi aiheuttaa haasteita.

Lyijyanodien valmistuksen osana Boliden Kokkolassa on lyijyanodien tankojen ja levyjen valu, jonka tarkastelu tai muutoksen käsittely ei kuulu tarkasteltavaan kokonaisuuteen. Mahdollinen valun muutos kokoonpanon lisäksi ei vaikuttaisi tällä hetkellä merkittävästi kokoonpanoon. Siirryttäessä täysin erilaiseen prosessiin eli kokonaisen lyijyanodin valuun kokonaisuutta täytyisi tarkastella täysin erilaisista lähtökohdista.

Mielestäni konseptisuunnittelun mukaisen laitekokonaisuuden eli kokoonpanon uusiminen vaikuttaisi perustellusti positiivisesti lyijyanodien laatuun, vaikka anodien valua ei uusittaisikaan. Kokoonpanon rakentaminen on suunniteltu tehtäväksi vanhan laitteiston viereen ja sen valmistumisen jälkeen vanha voitaisiin purkaa ja mahdollisuus valun kehittämiseen ja rakentamiseen kyseiselle paikalle olisi kenties mahdollista toteuttaa.

Laitteiston kehittäminen konseptisuunnittelun mukaisella kokoonpanon uusimisella on mielestäni olennainen vaihtoehto tulevaisuudessa lyijyanodien valmistusta tarkasteltaessa. Vaihtoehtojen läpikäynnissä pitää huomioida tarkkaan hankintakustannuksien lisäksi toimitusvarmuus ja välilliset kustannukset, kuten kuljetus- ja käsittelykustannukset. Vuoden 2020 konseptisuunnittelun mukaisen laitteistomuutoksen vaikutus tuottavuuteen suhteessa kustannuksiin tulee myös huomioida.

Päätöksen taustalla tulee olla kuitenkin kattava kokonais selvitys, jossa selvitetään kustannukset ja mahdollisen ulkoistuksen vaikutukset toimitusvarmuuteen ja vastaaviin asioihin, jotka vaikuttavat Boliden Kokkolan kokonaisprosessin toimintaan ja tuottavuuteen. Selvityksessä tulee tarkastella opinnäytetyön pohjana käytettyä konseptisuunnittelua ja vuonna 2008 toteutettua konseptisuunnittelua sekä nykyistä toimintaympäristöä.

Lähtökohtana laitteiston uudistamisen suunnitteluun oli Boliden Kokkolan laatima esisuunnitteluaineisto, jonka lähtötietojen perusteella konseptisuunnittelu on tehty. Konseptisuunnittelun toteutuksessa nousi esiin erilaisia ratkaisuvaihtoehtoja ja erityisesti kitkahitsauksen pyörivällä työkalulla ottaminen vaihtoehdoksi oli merkittävä asia ongelman ratkaisun löytämisen näkökulmasta. Olemassa olevien tietojen perusteella se on valinnoista paras menetelmänä ottaen huomioon hitsin laadun, energian kulutuksen ja työhygienian.

Jos tarkastellaan konseptisuunnittelua yleisesti, sen etuna on tekninen ja taloudellinen tarkkuus, jolloin hankinta voidaan käynnistää nopeasti ja olettaa, että tulokset ovat suunnittelun mukaisia. Boliden Kokkolassa konseptisuunnittelua käytetään hyvin harvoin ja pääosin kaikki investoinnit etenevät esisuunnittelun kautta. Yleensä detaljisuunnittelua tehdään vasta investoinnin jo käynnistyttyä. Jatkossa kannattaisi miettiä ainakin joissain projekteissa vastaavanlaisen konseptisuunnittelun tekemistä, jolla mielestäni teknisiä ja taloudellisia riskejä saataisiin pienennettyä. Näkemykseni on, että ajoittain esisuunnittelun puutteiden takia erityisesti kustannustarkkuus on epätarkka ja tästä johtuen kustannusylityksiä saattaa tulla. Teknisesti ongelmat voidaan ratkaista vielä projektin käynnistyttyä, mutta korjaavien toimenpiteiden vaikutusta kustannuksiin kannattaa tarkastella kriittisesti ja peilata kustannusylityksiin yleensä. Tässä tapauksessa konseptisuunnittelulla saatiin hyvä lopputulos ja investoinnin käynnistäminen ei vaadi enää esisuunnittelua. Toki voidaan todeta, että koska projektia ei lähdetty heti toteuttamaan, tarjous tulee päivittää ennen mahdollista investoinnin käynnistystä. Teknisesti tiedot ovat joka tapauksessa edelleen ajan tasaisia ja käytettävissä.

Lyijyanodien valmistuksen kehittämisinvestoinnissa ennen investoinnin toteutuksen mahdollista aloitusta osastojen tulee vielä käydä yhdessä läpi suunnitelmat ja peilata saavutettuja tuloksia omiin tavoitteisiinsa. Tässä arvioinnissa tulee huomioida molempien osastojen tavoitteet ja läpikäynnissä tulee olla riittävä määrä asiantuntijoita, jotta kaikki käytettävissä oleva tietotaito on mukana kartoituksessa. Toteutustapa on joka tapauksessa kompromissi tavoitteiden täyttymisestä ja valmistus- ja hankintamenetelmien mahdollisuuksista. Olemassa olevien tietojen perusteella kon-

septisuunnittelun mukainen ratkaisu tuottaa halutun tuloksen ja parantaa lyijyanodien laatua vaatimusten mukaisesti. Tehtyjen haastattelujen perusteella todettakoon, että osastoilla on hieman erilaiset näkökulmat ja lähtökohdat aiheeseen, joten yhteinen läpikäynti on suositeltavaa tehdä, jotta kaikki asiat tulevat esiin ja saadaan ratkaistua.

Opinnäytetyön merkitys korostuu erityisesti tietojen kokoamisessa yhteen ja suosituksena tehtävistä valinnoista, jota Boliden Kokkola voi käyttää mahdollisen lyijyanodien käsittely- ja kokoonpanolaitteiston uudistamisen hankinnan valmistelussa. Projektista on tehty alustava projektisuunnitelma, joka on liitteenä ohessa (liite 1). Sekä mahdolliselle projektipäällikölle että laitetoimittajalle opinnäytetyö toimii myös tietopankkina. Yleensä laitetoimittaja ei välttämättä tiedä taustoista ja tarpeista näin paljon, kuin nyt on käsitelty, ja se voi auttaa teknisien ratkaisujen tarkentamisessa tai jopa laitevalinnoissa.

## LÄHTEET

Boliden Kokkola Oy 2021. Elektrolyysin perehdytys 2021 Powerpoint.

Boliden Kokkola Oy 2022. Intranet. Bolidenin energiapolitiikka 2022. Hakupäivä 28.6.2022.

Duodecim Terveyskirjasto 2016. Lääketieteen sanasto, hakusana protoporfyrini. Hakupäivä 25.8.2022. <https://www.terveyskirjasto.fi/ltt02774/protoporfyrini>.

Gonzalez, Jose Alberto & Rodrigues, Jo & Siegmund, Andreas. Advances and application of lead alloy anodes for zinc electrowinning. Hakupäivä 8.8.2022. [https://www.gcteng.com/wp-content/uploads/2005\\_PbZn\\_2005\\_Advances\\_and\\_Application\\_of\\_Lead\\_Alloy\\_Anodes\\_for\\_Zinc\\_Electrowinning.pdf](https://www.gcteng.com/wp-content/uploads/2005_PbZn_2005_Advances_and_Application_of_Lead_Alloy_Anodes_for_Zinc_Electrowinning.pdf).

Ionix Oy 2020. Anodilevyjen valmistuslinja, tekninen erittely.

Ionix Oy 2020. Alustavan konseptimallin katselmus 27.8.2020.

Katainen Harri & Mäkinen, Armas 1989. Aineliitostekniikka. Porvoo: Pevida Oy ja WSOY.

Lepola, Pertti & Ylikangas, Risto 2016. Hitsaustekniikka ja teräsrakenteet. Helsinki: Sanoma Pro Oy.

Mirza, A & Burr, M & Ellis, T & Evans, D & Kakengela, D & Webb, L & Gagnon, J & Leclercq, F & Johnston, A 2016. Corrosion of lead anodes in base metals electrowinning. Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. Hakupäivä 6.7.2022. [https://www.researchgate.net/publication/305924467\\_Corrosion\\_of\\_lead\\_anodes\\_in\\_base\\_metals\\_electrowinningdes\\_in\\_base\\_metals\\_electrowinning\\_\(researchgate.net\)](https://www.researchgate.net/publication/305924467_Corrosion_of_lead_anodes_in_base_metals_electrowinningdes_in_base_metals_electrowinning_(researchgate.net)).

Sermatech. Konseptisuunnittelu helpottaa projektin seuraavia vaiheita ja minimoi riskit. Hakupäivä 11.2.2022. <https://www.sermatech.fi/konseptisuunnittelu/>.



TWI 2022. What is friction stir welding (FSW)? -Process and applications. Hakupäivä 11.4.2022. [What is Friction Stir Welding \(FSW\)? - Process and Applications - TWI \(twi-global.com\)](https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/faq-what-is-friction-stir-weldingW)

Työterveyslaitos 2022. Lyijymyrkytys. Hakupäivä 11.2.2022. <https://www.ttl.fi/teemat/tyoterveys/ammattitaudit/lyijymyrkytys>.

Siren, Mika 2018. Säde-, hybridi- ja kitkahitsauksen laatuksymykset. VTT Oy. Hitsauksen lautapäivät, Turku, 31.10.–1.11.2018. Hakupäivä 28.6.2022. [https://cris.vtt.fi/ws/portalfiles/portal/22786233/Siren\\_LB\\_EB\\_LAHW\\_FSW\\_laatu\\_v1\\_181023.pdf](https://cris.vtt.fi/ws/portalfiles/portal/22786233/Siren_LB_EB_LAHW_FSW_laatu_v1_181023.pdf).

Wedge-järjestelmä 2022. Boliden Kokkola Oy.

WHO 2022. Hakupäivä 19.9.2022. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health>.

Wikipedia 2022a. Lyijy. Hakupäivä 11.2.2022. <https://fi.wikipedia.org/wiki/Lyijy>.

Wikipedia 2022b. Lyijymyrkytys. Hakupäivä 6.9.2022. <https://fi.wikipedia.org/wiki/Lyijymyrkytys>.

**Lyijyanodien kokoonpanolaitteiston moder-  
nisointi**

**Projektisuunnitelma**

Versio	Päivämäärä	Kommentit
1	12.2.2022	

## Perustiedot

### Hyväksyntä

*< Osapuolten allekirjoitukset vahvistavat projektisuunnitelman sitovuuden. Suunnitelma hyväksytään virallisesti ohjausryhmässä ja se dokumentoidaan ohjausryhmän palaverin muistioon.>*

Projektisuunnitelman hyväksyy:

Tilaaaja:

Projektipäällikkö:

.....  
Pasutto

.....  
Janne Korhokangas

# 1 Projektin kuvaus

## 1.1 Projektin tarkoitus ja tavoite

Nykyinen anodiin hitsaus- ja sinkopuhalluslaitteisto korvataan uudella täysin automaattisella anodiin kokoonpanolaitteistolla. Laitteiston merkittävin uudistus on hitsausprosessin vaihtaminen nykyisestä yksipuolisesta TIG-hitsauksesta joko kaksipuoliseksi TIG-hitsaukseksi tai kitkahitsaukseksi pyörivällä työkalulla. Samalla uusitaan puhalluslaitteisto ja mekaaniset laitteet korvataan robotisoiduilla soluilla.

Projektin tavoite on parantaa tuotantoprosessia laadullisesti ja toiminnallisesti. Toimintojen automatisoituessa myös operaattorien tehtävät osittain muuttuvat. Laitteiston uudistuksella parannetaan erityisesti hitsauksen laatua, mutta myös laitteiston toimintavarmuutta sekä vähennetään huoltotarvetta.

Korvausinvestoinnilla varmistetaan sekä sivutuotteen valmistuksen sujuva toiminta, että elektrolyysin prosessin toiminta turvallisuuden ja toimintavarmuuden ylläpitämiseksi.

Projektin tavoite on valmistua turvallisesti aikataulussa, pysyä kustannuksiltaan budjetoidussa sekä olla tuloksellisesti vaatimusten mukainen, jolloin käytettävyys ja toimivuus ovat korkealla tasolla.

## 1.2 Projektin laajuus

Projektin laajuuteen kuuluu uuden lyijyanodiin kokoonpanolaitteiston hankinta, valmistus, asennus ja käyttöönotto. Projekti sisältää rakennus-, sähkö-, automaatio-, järjestelmä-, LVIA- ja mekaanisia töitä. Rakennustyöt sisältävät perustustyöt ja jälkivaluja. Sähkötyöt sisältävät päälaitteen sähköistyksen (urakoitsija) ja toimitusrajan ulkopuoliset työt (BKO) sähkötiloissa ja laitteiden välillä. Automaatio sisältää koneautomaatiota ja järjestelmätöitä, joista päälaitteen sisäiset työt kuuluvat toimittajalle ja ulkopuoliset BKO:lle. LVIA-töihin sisältyy tarvittavat kanavamuutokset.

## 1.3 Projektin toteutusehdotus

Toteutuksen aikataulu on rakennettu perustuen konseptisuunnittelun tarjouksen toimitusaikatauluun ja aikaisempiin projektikokemuksiin. Aikataulussa on huomioitava valmistelevat työt, kuten investoinnin hyväksymisprotokolla, hankintaan kuluva aika ja suunnittelu-aika. Varsinainen laitteen valmistukseen kuluva aika ja kuljetukset eli toimitusaika, joka on tilaajan toiveiden ja toimittajan realismin kompromissi. Toimitusaikaan vaikuttaa oleellisesti materiaalien saatavuus.

Toimitusajan jälkeen tehdään koeasennus laitetoimittajan tiloissa. Koeasennus hyväksytään FAT-testin (Factory acceptance test) tulosten perusteella tai hylättäessä testi, tehdään

tarvittavat muutokset tai parannukset, jotta laite voidaan siirtää varsinaiseen tuotantolaitokseen asennukseen ja koekäyttöön. Erityisen tärkeä FAT-testin toteuttaminen on, kun kyseessä on kriittinen laiteasennus, joka aiheuttaa tuotantolaitoksen seisokin.

Kun FAT-testi on hyväksytty, laite puretaan ja siirretään osakokonaisuuksina tuotantolaitokseen. Laitteen kokoonpanon, sähköistämisen ja automatisoinnin jälkeen voidaan aloittaa testaus (SAT, site acceptance test). Testauksen jälkeen tehdään käyttövalmiustarkastus ilman tuotantoa, jonka laitetoimittaja ja tilaaja yhdessä hyväksyvät. Hyväksynnän jälkeen voidaan aloittaa varsinainen tuotannollinen koekäyttö, joka päättyy hyväksyntään, kun vaadittu kapasiteetti ja laatu saavutetaan. Tämän jälkeen laite otetaan tuotantokäyttöön ja vastuu laitteesta siirtyy toimittajalta tilaajalle huomioiden laitteen takuu.

Arvio investoinnin kestosta kokonaisuudessaan investointiesityksen hyväksynnästä tuotantokäyttöön on noin 13-14 kuukautta. Kriittisellä polulla on tällä hetkellä laitetoimitus ja yksittäiset komponenttitoimitukset, joiden toimitusajat ovat vaihdelleet Covid19-aikana huomattavasti ja yleisesti pidentyneet. Toisaalta toimitusaika ei ole erityisen kriittinen, koska laitekokonaisuus voidaan asentaa uudelle tyhjälle alustalle ja muutostyöt eivät häiritse nykyistä toimintaprosessia merkittävässä määrin.

Projektin resursointi on tehty alustavasti ja resurssit on määritetty organisaatiokaavioon (Liite x) asiantuntijoiden osalta. Tällä määrittelyllä voidaan edetä projektin aloitukseen ja aloituspalaverissa sovitaan tarkemmin organisaatio ja sen muutostarpeet.

Projektisuunnitelma (Liite 1) on laadittu olemassa olevien tietojen perusteella ja sitä päivitetään tietojen täsmentyessä projektin käynnistyessä. Projektisuunnitelma sisältää projektin kuvauksen, jossa käydään läpi projektin tarkoitus ja tavoite, laajuus sekä budjetti. Nämä reunaehdot rajaavat projektin tiettyyn kokonaisuuteen, jonka perusteella voidaan arvioida tuloksia verrattuna suunniteltuun.

Projektisuunnitelma sisältää myös aikataulun ja määritetyt tarkastuspisteet seurantaan varten. Osituksella määritetään projektin eteneminen ja se määrittelee myös aikataulun. Projektin riskien kannalta on tärkeää määritellä myös kriittinen polku, joka voi vaikuttaa merkittävästi projektin kokonaisaikatauluun ja kustannuksiin.

Projektisuunnitelmassa on myös organisaatiokaavio, joka on tärkeä vastuiden määrittämiseksi ja tiedonkulun kannalta.

Muut projektisuunnitelmaan kirjatut asiat ovat turvallisuus, tiedotus, viranomais- ja lupa-asiat sekä riskit. Turvallisuusasiat sisältävät normaalit tehdasolosuhteiden käytännöt ja projektiin liittyvät erikoispiirteet. Tiedotusosiossa käsitellään raportointi- ja palaverikäytännöt eri sidosryhmille. Sidosryhmät on määritelty organisaatiokaaviossa. Projektisuunnitelmassa on myös huomioitu mahdolliset viranomais- ja lupa-asiat, kuten rakennus- ja ympäristöluvut sekä koneen turvallisuuteen liittyvät asiat (koneriskiarviointi ja CE-merkintä) tarvittaessa. Projektisuunnitelman viimeisessä osiossa on käsitelty projektin merkittävimmät riskit pääotsikoittain. Varsinaiset riskiarviointit pidetään erikseen projektin edetessä.

## 1.4 Projektin budjetti

Nimi:	Numero	Budjetti (t€)
<b>Koneet ja kalusto</b>		
Päälaite	409C02xxxx	xxx
Muut mekaaniset työt	409C02xxxx	xxx
<b>Rakennukset</b>		
Rakennustyöt	409C02xxxx	xxx
<b>Muut</b>		
Suunnittelu ja asennusvalvonta	409C02xxxx	xxx
LVIA-työt	409C02xxxx	xxx
Sähkötyöt	409C02xxxx	xxx
Automaatiotyöt	409C02xxxx	xxx
Projektin hoito	409C02xxxx	xxx
Varaosat	409C02xxxx	xxx
<b>Yhteensä</b>		xxx

## 2 Projektin ositus ja aikataulu

### 2.1 Projektin ositus

Kokonaisprojekti on ositettu seuraavasti toteutuksen mukaan:

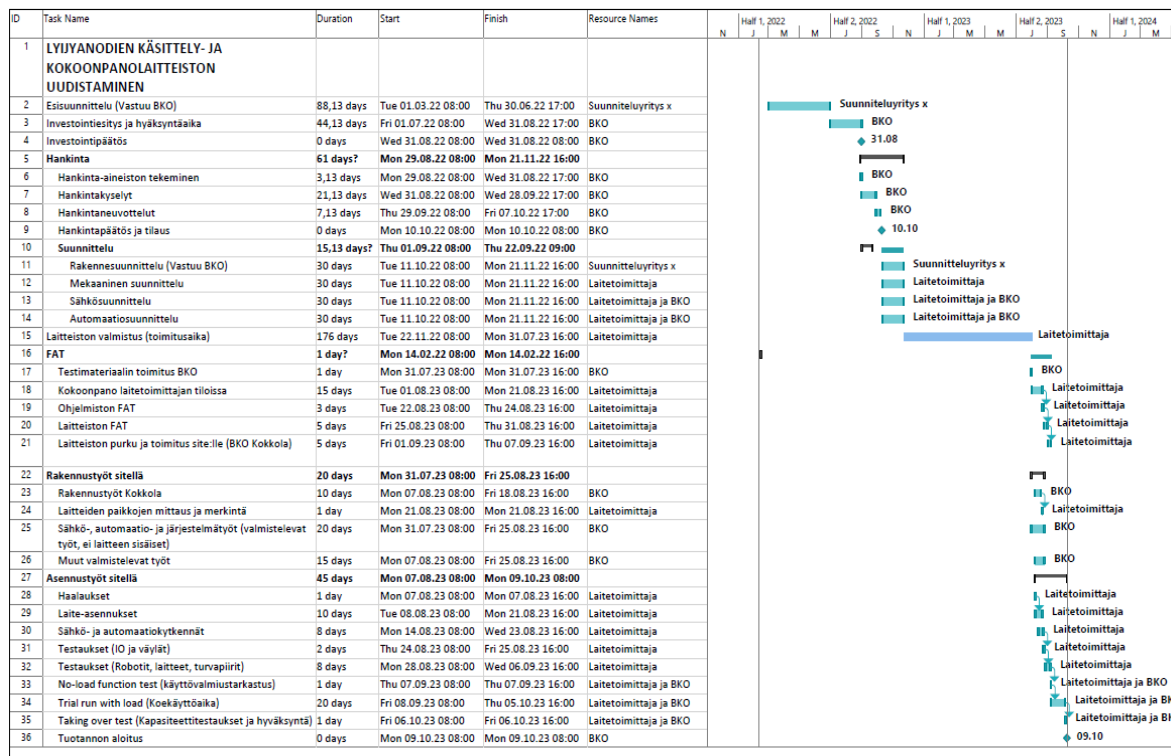
- Päälaitehankinta
- Suunnittelu
- Laittevalmistus ja FAT valmistajan tiloissa
- Muut hankinnat
- Rakennustyöt
- Laitteen siirto BKO:lle ja asennus paikoilleen sis. sähkö- ja automaatiotyöt
- Laitteen testaus ja säätö
- Käyttöönotto ja koekäyttö vastaanottokokeineen
- Hyväksyntä ja luovutus
- Projektin päättäminen (dokumentointi, tilien sulkeminen ja loppuarviointi)

## 3 Projektin aikataulu

Määritetyt tarkistuspisteet (MS) ja päätöspisteet (DP):

Päivämäärä	MS	DP	Kuvaus
x.x.202x		3	Projektisuunnitelma laadittu ja aloituspalaveri varattu
x.x.202x		4.1	Päälaitehankinta tehty ja layout lukittu

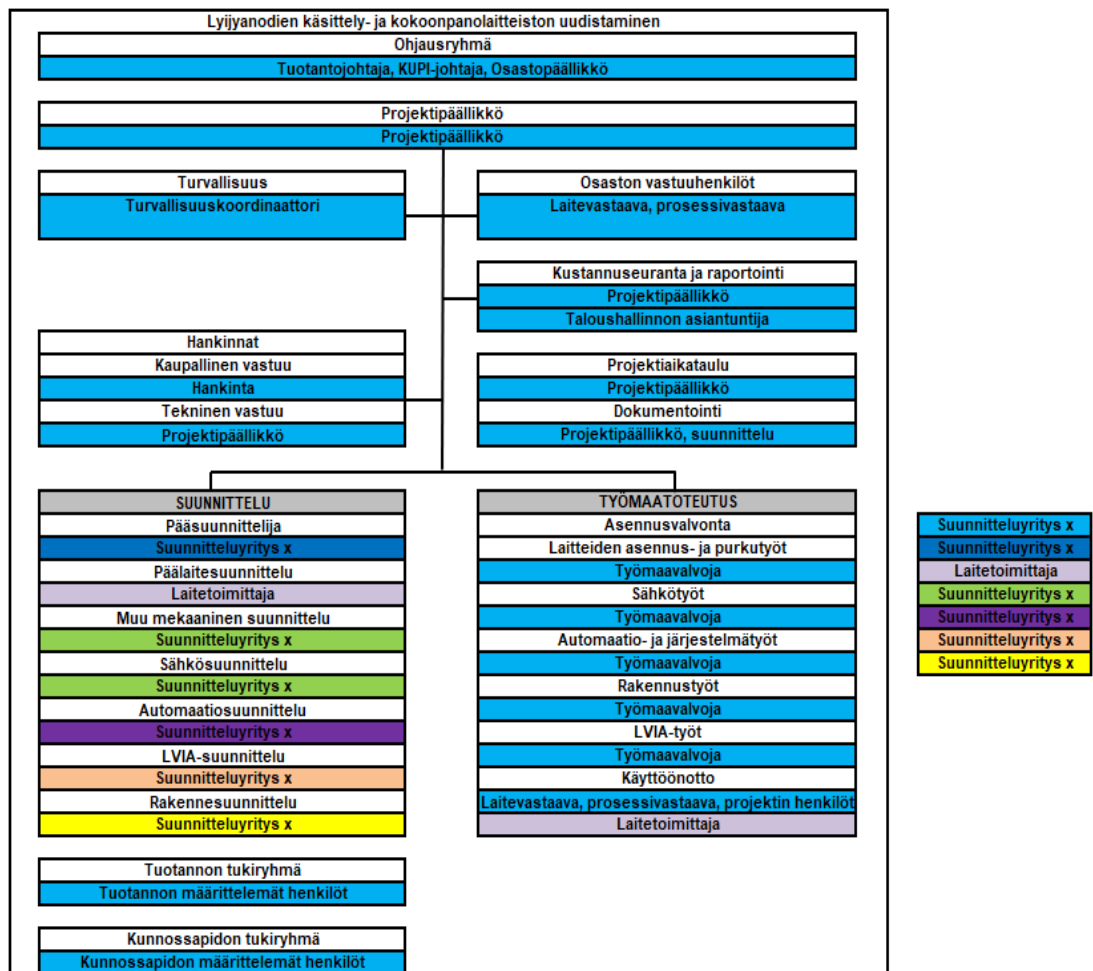
x.x.202x		4.2	Päälaitesuunnittelu hyväksytty ja rakennesuunnittelun lähtötiedot saatu
x.x.202x		4.3	Kokoonpano FAT-testiä varten aloitettu
x.x.202x		4.4	Ohjelmiston FAT-testi
x.x.202x		4.5	FAT-testi 1 (toiminnallisuus) hyväksytty <b>(seisokki)</b>
x.x.202x		4.6	FAT-testi 2 (koko laitteisto sis. turva)
x.x.202x		5.1	Rakennustyöt valmiit
x.x.202x		5.2	Päälaitteen asennustyöt aloitettu
x.x.202x		5.3	Käyntiinajo ja testaukset suoritettu. Käyttövalmiustarkastus suoritettu.
x.x.202x		6.1	Tuotannollinen koekäyttö alkaa (Trial run with load) <b>(seisokki päättyy)</b>
x.x.202x		6.2	Vastaanottokokeet suoritettu hyväksytysti (Taking over test)
x.x.202x		7	Projektin luovutus tilaajalle ja loppuarviointi



### Projektin kriittinen polku:

Koko projektin kriittisellä polulla ovat suunnittelun eteneminen, laitteitoimitukset sekä FAT-testien onnistuminen. Seisokin kriittisellä polulla ovat rakennus- ja asennustyöt sekä testaukset.

## 4 Organisaatio



## 5 Organisaatio

### 5.1 Turvakoulutukset, turvallisuustarkastelut, työluvat ja turvallisuuskierrokset

Normaalit BKO käytännöt. Lisäksi alueen rajausta ja toimintaohjeistusta osaston alueilla. Eri-tyyppisesti huomioitava tavaroiden tuonti ja kulku työmaalle.

## 6 Tiedotus

### 6.1 Raportointi ja palaverikäytännöt

Projektipalaverit suunnittelu- ja esikokoonpanovaiheessa 1 krt/vk tai erikseen sovittaessa tiheämmin tai harvemmin. Työmaapalaverit seisokissa sovitaan myöhemmin. Ohjausryhmäpalaverit DP-aikataulutuksen mukaan tai erikseen sovittaessa.



## 6.2 Sidosryhmät

Projektin tukiryhmät on kuvattu organisaatiokaaviossa.

## 7 Viranomais-, lupa- ja ympäristöasiat

Ei tarvita rakennus- tai ympäristölupaa.

## 8 Riskit

Todennäköisyys ja vaikutus indikoidaan numeroin 1-5.

5 tarkoittaa suurinta vaikutusta tai todennäköisyyttä.

Riskitarkastelut toimittajittain tarpeen mukaan.

Riski nro	Riskin kuvaus	Todennäköisyys	Vaikutus	Toimenpiteet ja vastuullinen
1	Työterveysriskit (kaatuminen, putoaminen yms.)	1	3	Perehdytys, seuranta ja puuttuminen. Tehdään tarpeellisia riskiarvioita etukäteen ja tarvittaessa työn edetessä. Turvakierrokset seisokissa (MIA) ja toimenpidelistan ylläpito.
2	Kustannusylitys	1	3	Tarkka määrittely/suunnittelu etukäteen ja kustannusten seuranta osa-alueittain. Projektin laajuuden pysyminen suunnitellussa. Lisä- ja muutostöiden tarkka seuranta.
3	Projektin myöhästymisen suunnitellusta	1	2	Tarkka aikataulutus ja sopiminen jo hankintaneuvotteluissa urakoitsijoiden kanssa. Laajat urakat ja sopiminen urakoitsijoiden yhteistyöstä. Aikataulu- ja resurssiseuranta.
4	Tekniset riskit	2	5	Päälaitte on korkean riskin toimitus. Suunnittelun hyväksyntä yhteistyössä ja kattava FAT-testaus. Rakentamisen ja kokoonpanon tarkka suunnittelu ja toteutus sekä perusteellinen koekäyttö.

## Liitteet

Liite	Dokumentin nimi	Versio ja päivämäärä
Liite 1	Projektin pääaikataulu	V1, x.x.202x
Liite 2	Projektiorganisaatio	V1, x.x.202x