

Sami Nykänen

**JATKUVATOIMINEN SEOSAINEIDEN PITOISUUSMITTAUS SU-
LASTA SINKISTÄ**

BOLIDEN KOKKOLA OY

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

TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Centria-ammattikorkeakoulu	Aika Lokakuu 2019	Tekijä/tekijät Sami Nykänen
Koulutusohjelma Kemiantekniikka		
Työn nimi Jatkuvatoiminen seosaineiden pitoisuuden mittaussulassa sinkissä. Boliden Kokkola Oy		
Työn ohjaaja Staffan Borg		Sivumäärä 34 + 3
Työelämäohjaaja Aki Lassi		
<p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä selvitystyö Boliden Kokkola Oy:n valimolle jatkuvatoimisesta sinkin pitoisuuden mittaamisesta.</p> <p>Tavoitteena oli kartoittaa mahdollisia laitteen valmistajia sekä valita parhaiten valimon tarpeisiin soveltuva laite. Vaatimukset tarkoitukseen soveltuvalla laitteella ovat, että se kykenee analysoimaan jatkuvatoimisesti useaa eri elementtiä riittävällä mittaustarkkuudella myös silloin, kun valuvauhti on kova.</p> <p>Työssä kartoitettiin markkinoilla olevat laitteet ja arvioitiin niiden soveltuvuus valimon käyttötarkoitukseen. Kartoituksen perusteella löytyi ainoastaan yksi laite, joka soveltuisi tarkoitukseen. Tästä laitteesta tehtiin yksityiskohtainen selvitys ja otettiin yhteyttä sähköpostitse laitetoimittajaan. Laitteesta pyydettiin lisätietoja soveltuvuuden arvioimiseksi muun muassa teknisistä ominaisuuksista, huolto- ja takuehdoista sekä kustannusarviosta.</p> <p>Alustavasti arvioitiin, että reaaliaikainen analysointilaite voisi parantaa tuotteiden seostamisen hallintaa sekä antaisi asiakkaille varmuuden, että jokainen tuote-erän tuote täyttää vaaditut laatuvaatimukset. Nämä arviot toteutuivat, mutta työssä todettiin myös, että laite ei syrjäyttäisi nykyistä manuaalista näytteenotto menetelmää vaan toimisi laboratorion analyysien ohella lähinnä varmistamassa tuotteiden laatua.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena löytyi sopiva vaatimukset täyttävä reaaliaikainen pitoisuuden mittauslaite. Laite ei kykene tuomaan näkyvää taloudellista hyötyä, koska nykyisestä manuaalisesta näytteenotosta ei voi luopua. Vuosituotannossa mahdollisesti vähenevät virheelliset tuotteet eivät toisi merkittävää taloudellista hyötyä. Laitteen tuoma hyöty näkyisi työntekijöiden seostuksen hallinnan helpottumisessa sekä asiakastytyväisyydessä.</p>		

Asiasanat Reaaliaikainen mittaus, seosaineet, sinkin seostus, valimo, Boliden Kokkola, hyödyt

ABSTRACT

Centria University of Applied Sciences	Date October 2019	Author Sami Nykänen
Degree programme Chemical engineering		
Name of thesis Continuous measurement of the concentration of alloying elements in molten zinc. Boliden Kokkola Oy		
Instructor Staffan Borg		Pages 34 + 3
Supervisor Aki Lassi		
<p>The aim of this thesis was to make a research for Boliden Kokkola Oy's foundry of realtime monitoring in molten zinc.</p> <p>The target was to find out a suitable one equipment manufacturer and choose the best one in foundry. The requirements for the selected device should be that it is able to monitor several necessary elements continuously in real-time with sufficient accuracy even in situation of hard speed in process.</p> <p>In this work, the devices on the market were surveyed and their suitability for the planned use foundry was assessed. Based on the survey, only one device that would be suitable for the purpose was found. A detailed assessment of this device was made and the potential supplier was contacted by e-mail. Further information was requested on the device to assess its suitability amongst technical features, service and warranty terms and cost estimation.</p> <p>The conclusion was that real-time monitoring device would improve product alloying control and give the customer some extra confidence of that each product fulfils the quality criteria. The device would not be able to disable current manual sampling but should work alongside it to ensure the quality of product.</p> <p>As a result of the thesis, a suitable real-time monitoring device was found.</p> <p>The device was not found to have any significant economic benefit because the current manual sampling needs to be kept alongside. Neither the unsaleable products that could be reduced in annual production would not bring any significant economic benefits. The benefits of the device would mainly be reflected in easier management of alloying process and customer satisfaction.</p>		

ABSTRACT

Key words

Real-time monitoring, impurities, zinc alloying, foundry, Boliden Kokkola Oy, benefits

KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY

Harkko: Pieni sinkkiharkko (25 kg)

Jumbo: Suuresta sinkkiharkosta (1 500 – 4 000 kg) käytetty nimitys

Susi: Hylätyksi ja uudelleen sulatukseen luokiteltu tuote. Tuote luokitellaan hylätyksi joko laaturaja-arvojen ylittymisen tai heikon pinnanlaadun seurauksena

Kokilli: Valuraudasta valmistettu valumuotti, johon sinkki valetaan

Proscon: Valimolla käytössä oleva prosessinohjaukseen käytettävä ohjelmisto

Labmaster: Tietokoneohjelma, johon laboratorion tekemät analyysit syötetään. Valimo saa tiedot laboratorion tekemistä tuoteanalyyseistä Labmasterin kautta

Pinta-susi: Tuotetta ei ole skimmattu tai sen pinnalle on jäänyt liian paljon kuonaa

Skimmaus: Menetelmä, jossa tuotteen pinnalta poistetaan kuona

Laser-ablaatio: Atomien irrottaminen pintaan suunnatulla laser-pulssilla

Kollineaarisuus: Pistejoukko, jonka kaikki pisteet sijaitsevat samalla suoralla

TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY
SISÄLLYS

1 JOHDANTO.....	1
2 BOLIDEN KOKKOLA OY.....	3
2.1 Tehtaan esittely.....	3
2.2 Tuotantoprosessi.....	3
2.2.1 Pasutus	4
2.2.2 Rikkihapon tuotanto	4
2.2.3 Liuotus ja liuospuhdistus.....	5
2.2.4 Elektrolyysi	5
2.2.5 Sulatus, seostus ja valu	6
3 PUHTAIDEN JA SEOSTUOTTEIDEN VALMISTUS SEKÄ LAADUNTARKKAILU	7
3.1 Puhtaiden tuotteiden ja seostuotteiden valmistus	7
3.2 Seostuotteiden laadun tarkkailu valimolla nykyisin	9
4 TYÖN TAVOITE JA SUUNNITTELUPROSESSI.....	11
5 TEORIAA LIBS-SPEKTROSKOPIASTA	14
5.1 Yleistä LIBS-spektroskopiasta.....	14
5.2 LIBS-spektroskopian kuvaus.....	15
6 MARKKINOILLA OLEVIEN VAIHTOEHTOISTEN MITTALAITTEIDEN KARTOITUS	17
6.1 Markkinoilla olevien mittalaitteiden kartoitus.....	17
6.2 Jatkotarkasteluun otettavan laitteen valinta	19
7 VALITUN MITTALAITTEEN JATKOTARKASTELU	20
7.1 Jatkoselvittelyyn valittu mittalaite VE3	20
7.2 Tapaaminen laitetoimittajan kanssa.....	20
7.3 Videopalaveri laitetoimittajan ja Bolidenin asiantuntijoiden kesken	20
8 JATKOTARKASTELUUN VALITUN MITTALAITTEEN KUVAUS	22
8.1 Yleistä ja tekniset ominaisuudet	22
8.2 Mittaustarkkuus	22
8.3 Kalibrointi	23
9 ASENNUSSUUNNITTELU.....	26
9.1 Laitteen sijoituspaikan suunnittelu.....	26
9.2 Vertailu nykytilan ja suunnitellun mittalaitteen välillä	28
10 KUSTANNUSARVIO JA INVESTOINTIMENETTELY	32
11 JOHTOPÄÄTÖKSET.....	33
12 YHTEENVETO.....	34

LÄHTEET	35
----------------------	----

LIITTEET

LIITE 1. Sähköpostikeskustelu laitetoimittajan kanssa.....	36
--	----

KUVIOT

KUVIO 1. Yleiskuva sinkin valmistusprosessin eri vaiheista	3
KUVIO 2. Yleiskuva pasutusprosessista	4
KUVIO 3. Yleiskuva rikkihapon tuotantoprosessista	4
KUVIO 4. Yleiskuva liuotus- ja liuospuhdistusvaiheen tuotantoprosessista	5
KUVIO 5. Yleiskuva elektrolyysin tuotantoprosessista	6
KUVIO 6. Yleiskuva valimon tuotantoprosessista	6
KUVIO 7. Suunnitelma työn eri vaiheista	12
KUVIO 8. Havainnekuva LIBS-tekniikan toiminnasta	14

KUVAT

KUVA 1. LiMCA-mittausperiaatteella toimiva mittalaite VE1.....	17
KUVA 2. Sulan alumiinin analysointiin soveltuva mittalaite VE2	18
KUVA 3. LIBS-tekniikkaan perustuva mittalaite VE3	19
KUVA 4. Laitteen suunniteltu vaihtoehtoinen sijoituspaikka padassa.....	26
KUVA 5. Laitteen suunniteltu vaihtoehtoinen sijoituspaikka valurännissä.....	27

TAULUKOT

TAULUKKO 1. Mittalaitteen (VE3) mittausalue verrattuna BKO:n tuotteiden alumiinipitoisuudelle asetettuihin vaatimuksiin.....	22
TAULUKKO 2. Laitteen sijoituspaikan mahdollisten ongelmien pohdinta.....	27
TAULUKKO 3. Vertailu nykytilan ja uuden mittalaitteen välillä	28
TAULUKKO 4. Nykymenetelmän ja uuden mittalaitteen vertailun yhteenveto	31
TAULUKKO 5. Arvio jatkuvatoimisen mittalaitteen kustannuksista	32

1 JOHDANTO

Boliden Kokkola Oy (BKO) pyrkii olemaan sinkin tuotannossa edelläkävijä ja kehittämään jatkuvasti toimintatapoja ja teknologiaa sekä vastuullisesta että taloudellisesti kannattavasta näkökulmasta. Tavoitteena on, että sen kehittyneestä toiminnasta hyötyvät asiakkaat, omistajat, henkilöstö sekä koko yhteiskunta.

Tämän opinnäytetyön aihe tuli ajankohtaiseksi, kun Boliden Kokkola Oy:n sinkkivalimolla toteutetussa asiakasauditoinnissa ilmeni, että valimolla ei ole käytössä reaaliaikaista seosaineiden pitoisuuden mittausta. Jatkuvatoiminen tai reaaliaikainen seosaineiden mittausta oli asiakkaan mukaan yleisesti käytössä sinkki- ja sinkitysteollisuudessa. Keskusteluiden perusteella Boliden päätti selvittää jatkuvatoimisen mittauksen tarpeellisuutta sekä mahdollisuutta investoida tällaiseen mittalaitteeseen.

Opinnäytetyön tavoitteena oli kartoittaa markkinoilla olevat laitteet, jotka soveltuisivat Bolidenin sinkkivalimon käyttöön, sekä arvioida laitteen kustannus ja sen tuomat mahdolliset hyödyt. Reaaliaikaisen seosaineiden pitoisuusmittauksen arvioitiin täydentävän nykyistä, manuaaliseen laboratorioanalytiikkaan perustuvaa, menetelmää. Reaaliaikaisella mittauksella arvioitiin myös saavutettavan kustannussäästöjä jatkuvatoimisen mittauksen tuoman reagointi nopeuden takia, joka voisi johtaa myös asiakastyytyväisyyden lisääntymiseen.

Reaaliaikaisen mittalaitteen tavoitteena olisi pystyä mittaamaan seosaineiden sekä epäpuhtauksien pitoisuuksia suoraan sulasta sinkistä ja tehdä niistä reaaliaikaista trendiä. Laite toimisi tämänhetkisen manuaalisen näytteenoton rinnalla tukien valimon sekä laboratorion toimintaa, erityisesti laboratorion laitehuoltojen ja kalibrointien aikana. Laitteen avulla tulisi kyetä saamaan jatkuvasti luotettavaa tietoa ja riittävällä tarkkuudella sinkin seosaineiden pitoisuuksista. Asiakkaille nykyisin toimitettavien tuoteanalyysien ja mahdollisten asiakasnäytteiden lisäksi voisi heille toimittaa myös laitteen analysoiman reaaliaikaisen datan valuerästä, jolloin he voisivat olla varmoja, että tuotteiden laatu vastaa koko erän osalta sille asetettuja laatuvaatimuksia.

Opinnäytetyössä käydään läpi laitteen teknisiä ominaisuuksia, sen hyötyjä ja haittoja, sekä arvioidaan, riittääkö mittaustarkkuus seostuotteille asetettuihin vaatimuksiin. Työssä pohditaan laitteen hankinnan taloudellisia näkökohtia ja tehdään vertailua nykyisen manuaalisen näytteenoton sekä reaaliaikaisen ana-

lysointilaitteen välillä. Lisäksi työssä arvioidaan laitteen muita mahdollisia hyötyjä, kuten kustannustehokkuutta, tuotteiden laadun paranemista sekä turvallisuusnäkökohtia. Työssä otetaan huomioon myös muutoksenhallinta, selvittämällä laitteen sijoituspaikka siten, että näytteenotolle olisi mahdollisimman stabiilit olosuhteet, eikä laitteen toiminta vaikuttaisi nykyiseen prosessiin haitallisesti.

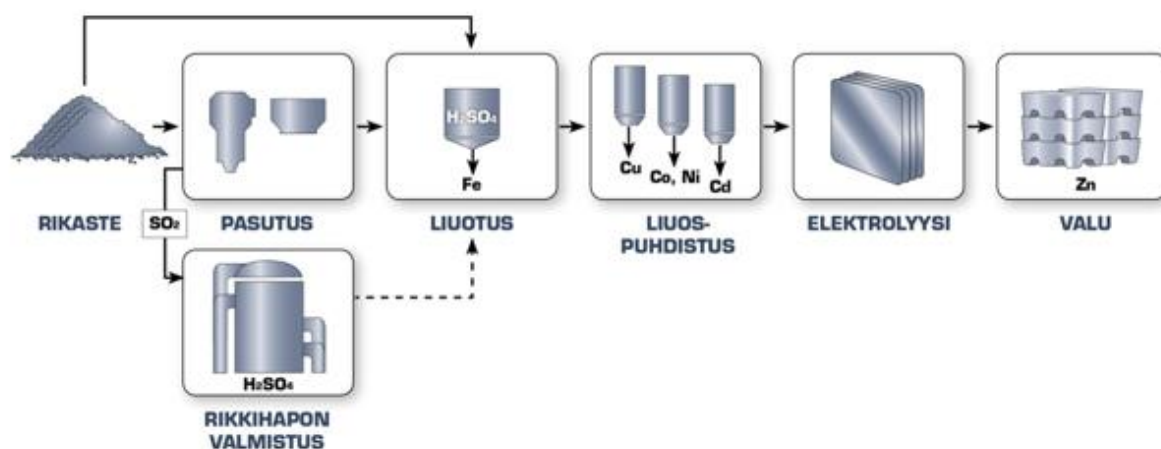
2 BOLIDEN KOKKOLA OY

2.1 Tehtaan esittely

Boliden Kokkola on 315 000 tonnin vuosituotantokapasiteetilla Euroopan toiseksi suurin sinkkitehdas. Päätuotteita ovat puhdas sinkki sekä erilaiset seostetut sinkkituotteet. Tuotevalikoimaan kuuluu puhdasta sinkkiä ja erilaisia seoksia (mm. tina, nikkeli ja alumiini) sisältävät sinkkiharkot (25 kg) sekä suuret jumbot (1 400 - 4 000kg). Boliden Kokkolan tuottaman sinkin puhtausaste on vähintään 99,995 prosenttia. Sinkkituotteiden lisäksi Bolidenilla tuotetaan myös prosessin sivutuotteena syntyvää rikkihappoa sekä hopearikastetta. Tuotannosta menee vientiin noin 85 prosenttia, ja kaikki asiakkaat sijoittuvat EU:n alueelle. (Boliden Kokkola 2018.)

2.2 Tuotantoprosessi

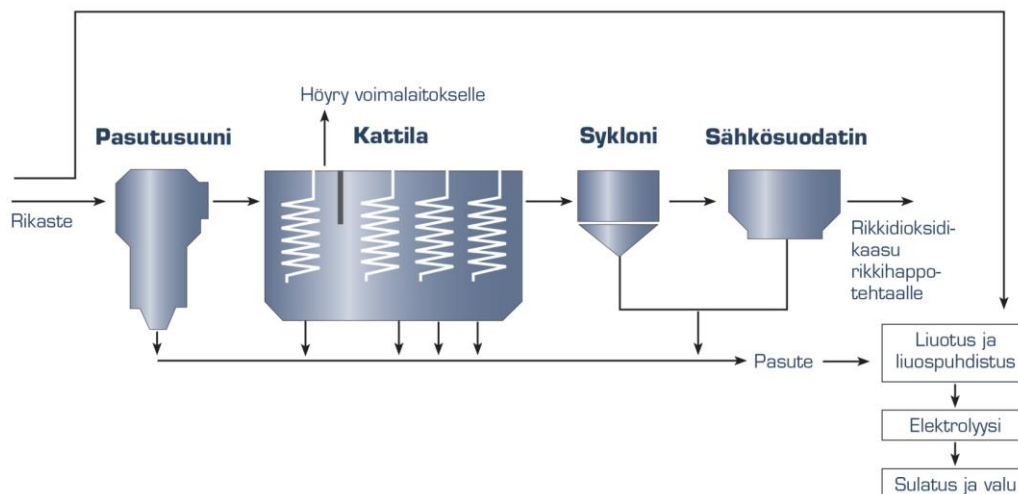
Boliden Kokkolan sinkin valmistusprosessi on ns. hydrometallurginen prosessi, jossa pasutettu sinkkirikaste liuotetaan ja puhdistetaan epäpuhtauksista siten, että puhdistuksen jälkeen saadaan puhdas sinkkisulfaattiliuos. Puhdistettu sinkkisulfaattiliuos syötetään edelleen elektrolyysiin, jossa sinkki pelkistetään elektrolyytisesti puhtaasta sinkkisulfaattiliuoksesta alumiinikatodeille. Tuotantoprosessi sisältää neljä päävaihetta: pasutus, liuotus, liuospuhdistus sekä elektrolyysi. Lopputuotteena saadaan puhdasta tai seostettua sinkkiä, joka valetaan valimolla asiakkaan vaatimusten mukaisesti. (Boliden Kokkola 2017.) Tuotantoprosessi on esitetty kaaviona alla kuviossa 1.



KUVIO 1. Yleiskuva sinkin valmistusprosessin eri vaiheista (Boliden Kokkola 2017.)

2.2.1 Pasutus

Tuotantoprosessin ensimmäisessä vaiheessa sinkkirikaste syötetään pasutusuuniin, jossa sinkkirikaste poltetaan 950 °C:ssa. Pasutusprosessin tuotteena syntyy sinkkioksidia eli pasutetta. (Boliden Kokkola 2017.)

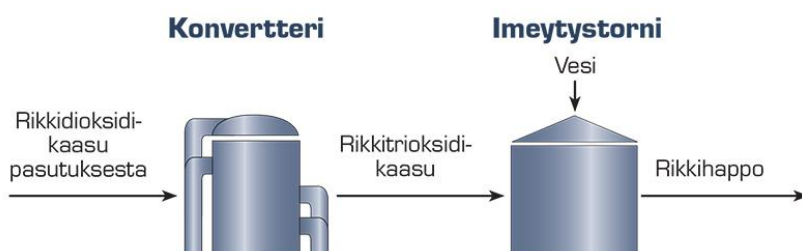


KUVIO 2. Yleiskuva pasutusprosessista (Boliden Kokkola 2017.)

Pasutuksessa sivutuotteena muodostuva rikkidioksidipitoinen kaasu jäädytetään ja sen sisältämä lämpö otetaan talteen höyrynä. Jäähtynyt rikkidioksidikaasu johdetaan happotehtaalle rikkihapon raaka-aineeksi. (Boliden Kokkola 2017.)

2.2.2 Rikkihapon tuotanto

Pasutusprosessista sivutuotteena saatava rikkidioksidikaasu hapetetaan happotehtaan konvertterissa rikkitrioksidiksi. Rikkitrioksidikaasu imeytetään veteen, jolloin syntyy rikkihappoa. Prosessissa muodostunut lämpöenergia otetaan talteen kaukolämpönä.

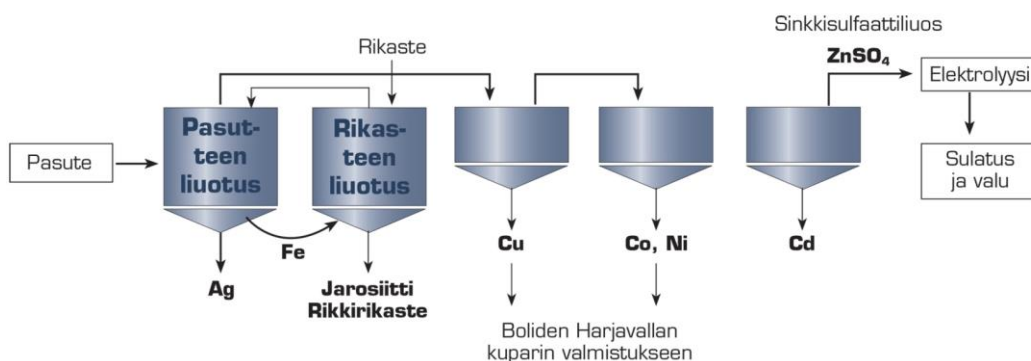


KUVIO 3. Yleiskuva rikkihapon tuotantoprosessista (Boliden Kokkola 2017.)

2.2.3 Liuotus ja liuospuhdistus

Pasutettaessa syntynyt pasute ja suoraliuotusmenetelmällä käsiteltävä rikaste liuotetaan rikkihappoliuoksessa, jota saadaan elektrolyysistä niin sanottuna paluuhappona. Rauta saostetaan ja suodatetaan pois prosessista jarosiittina. Liuotuksessa syntyy sinkkisulfaattiliuosta. Pasutteessa oleva hopea saadaan talteen hopearikasteena. (Boliden Kokkola 2018b.)

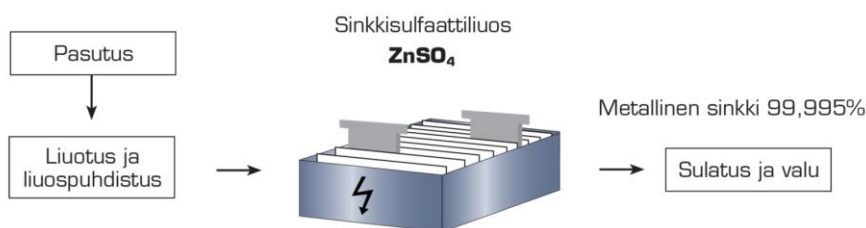
Liuotuksen jälkeen sinkkisulfaattiliuoksessa on pieniä määriä sinkin mukana liuenneita epäpuhtauksia, jotka täytyy poistaa liuoksesta ennen elektrolyysiä. Puhdistus tapahtuu kolmivaiheisella prosessilla. Puhdistuksen kolmannen vaiheen jälkeen sinkkisulfaattiliuos sisältää sinkkiä noin 150 g/l. Liuospuhdistuksen jälkeen puhdas liuos jäähdytetään ja pumpataan elektrolyysiin. (Boliden Kokkola 2017.)



KUVIO 4. Yleiskuva liuotus- ja liuospuhdistusvaiheen tuotantoprosessista (Boliden Kokkola 2017.)

2.2.4 Elektrolyysi

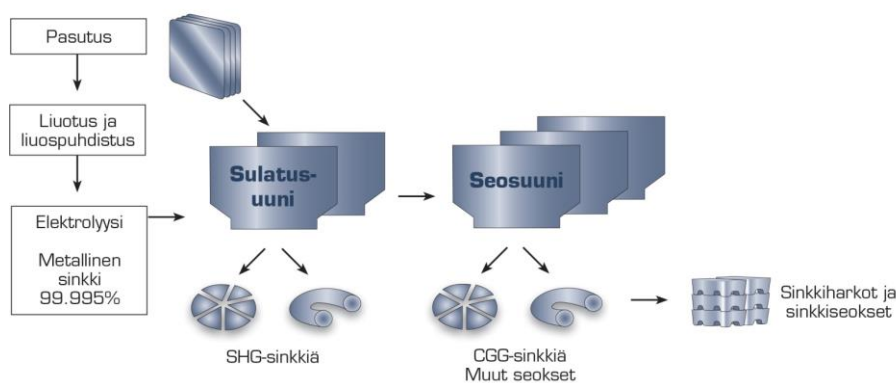
Elektrolyysissä sinkki saostuu liuoksesta alumiinilevyjen eli niin sanottujen katodien pinnalle sähkövirran avulla. Sinkkilevyjen annetaan kasvaa katodien pinnalla noin 35 tuntia. Tämän jälkeen katodit poistetaan liuoksesta ja tilalle vaihdetaan uudet katodit. Sinkkilevyt irrotetaan katodien pinnalta automaattisten irrotuskoneiden avulla. Alumiinilevyt palautetaan altaisiin. (Boliden Kokkola 2018b.)



KUVIO 5. Yleiskuva elektrolyysin tuotantoprosessista (Boliden Kokkola 2017.)

2.2.5 Sulatus, seostus ja valu

Elektrolyysistä saatavat sinkkilevyt sulatetaan valimon induktiouunissa. Sulatettu sinkki valetaan joko 25 kilon harkoiksi tai sinkkijumboiksi. Osaan tuotteista seostetaan alumiinia tai muita metalleja asiakkaiden toiveiden mukaisesti. Valun jälkeen sinkki on valmis myytäväksi tuotteeksi. (Boliden Kokkola 2017.)



KUVIO 6. Yleiskuva valimon tuotantoprosessista (Boliden Kokkola 2017.)

3 PUHTAIDEN JA SEOSTUOTTEIDEN VALMISTUS SEKÄ LAADUNTARKKAILU

3.1 Puhtaiden tuotteiden ja seostuotteiden valmistus

Valimolla on kaksi sulatusuunia, joiden tarkoituksena on sulattaa elektrolyysiltä tulevat sinkkilevyt sulaksi sinkiksi, joka pumpataan joko seosuunin kautta tai suoraan valuradalle valettavaksi asiakkaan haluamaan muotoon. Katodien sulatus tapahtuu induktiouuneissa. Yhdessä sulatusuunissa on yhteensä 6 kpl 500 kW:n induktoria. Sulatusuunit toimivat siten, että syöttölaitteisto syöttää sinkkikatodeja sulatusuuniin, joka perustuu uunin pinnanmittaukseen, valunopeuteen sekä valvomosta käsin säädettyyn syöttöväliin. Syöttökuljettimia on valimolla yhteensä neljä, kaksi vanhaa ja kaksi uutta. Vanhat kuljettimet syöttävät noin 1 000 kg ja uudet kuljettimet noin 2 000 kg painoisia levynippuja. Uunin pinnan laskiessa tiettyyn alarajaan alkaa syöttöväli laskuri laskea aikaa, jonka päättyessä syöttölaitteisto syöttää nipun uuniin. Syöttövälin aika määräytyy valunopeuden perusteella. Sulatusuunien lämpötila pyritään pitämään välillä 500°C – 540°C välillä, jolloin sopiva tavoitearvo on 520°C. Mikäli uunin lämpötila laskee liian alhaiseksi, saattaa valuradoilla tulla ongelmia liian kylmän sinkin kanssa. Sinkki saattaa jähmettyä skimmauslastoihin ja tämän seurauksena tulee usein ”susituotteita” kuonaisen pinnan vuoksi. Uunin lämpötilan laskiessa alle 480°C, kytkeytyy syöttölaitteisto pois päältä. (Rantala 2011.)

Sulatusuunien jälkeen sula sinkki ohjautuu joko suoraan puhtaana valuradoille tai seosuunien kautta. Seosuuneja valimolla on yhteensä kolme (SU1, SU2 ja SU3). Seosuuni 1 sijaitsee ykköspuolella jumbovalukoneen (JVK) linjalla, ja sitä käytetään ainoastaan alumiiniseostukseen. Seosuuni 2 sekä seosuuni 3 sijaitsevat kakkospuolella, ja niitä käytetään harkkokoneen (VK2) sekä suoravaluradan (SVR) tuotteiden seostamiseen. Nikkeli (N) ja nikkeli + vismutti (Ni+Bi) seoksia valetaan vain kakkospuolella suoravaluradalla tai harkkokoneella eli seostus tehdään seosuuni 2:lla tai seosuuni 3:lla. Laimeat nikkelseokset (0,09 - 0,18 %) seostetaan SU 3:ssa, josta sula seostettu sinkki voidaan pumpata harkkokoneelle tai suoravaluradalle. Seosuuni 2:ssa seostetaan väkevät nikkelseokset (0,45 – 0,55%). Väkevä nikkelseos voidaan pumpata ainoastaan suoravaluradalle. (Rantala 2011.)

Alumiinin syöttölaitteisto koostuu seuraavista osista: sulkuventtiili, annostelusiilo, tärysiilo, siirtotäryputki 1, seosuunin syöttöaukko, jakoläppä sekä siirtotäryputki 2. Näiden avulla alumiinia saadaan annosteltua juuri oikea määrä seosuuni 1:seen. (Rantala 2011.)

- **Sulkuventtiilin** avulla täytetään alla oleva annostelusiilo automaattisesti. Venttiilissä on pneumaattinen toimilaite, joka avaa venttiilin ja täyttää annostelusiilon aina kun määritelty alaraja saavutetaan.
- **Annostelusiilo** sijaitsee seosuunin kannen tasalla suoraan varastosiilon alla ja on asennettu kolmen punnitusanturin päälle. Siiloa punnitaan jatkuvatoimisesti ja tieto lähetetään Proconille, jolloin todellinen alumiinin syöttönopeus on aina käytettävissä prosessin ohjaukseen. Punnitukseen perustuvasta Al-granulin annostelun vuoksi on huomioitava, että siilon päälle ei saa laittaa mitään ylimääräistä, eikä siihen saa nojata. Annostelusiilon pohjassa on reikä, josta Al-granuli johdetaan tärysyöttimelle ohjainpellin kautta.
- **Tärysyötin** annostelee Al-granulin alla sijaitsevaan siirtotäryputkeen, josta granuli siirtyy sulatusuunista tulevan rännin loppuosaan sulan sinkin virtaan. Tärysyötintä ohjataan Proconilta säätämällä täryn voimakkuutta kulloinkin lasketun alumiinitarpeen mukaan.
- **Siirtotäryputki 1** siirtää seosvalussa tärysyöttimeltä tulevan granulin sulatusuunista tulevan rännin loppuosaan sulan sinkin virtaan. Siirtomatka on noin kolme metriä. Siirtokuljetin toimii jatkuvasti vakiokapasiteetilla eikä tarvetta säätämiseen ole. Siirtotäryputki pysähtyy aina kun tulee valutauko, joten putkeen jää aina granulia ja näin ollen granulin syöttö jatkuu heti, kun siirtotäryputki seuraavan kerran käynnistetään.
- **Seosuunin syöttöaukko** on keraaminen putki, johon sinkkivirtaus ja syötetty granuli menevät. Putki pakottaa virtauksen alaspäin sulan pinnan alle. Tällöin Al-granuli ehtii liueta sinkkiin kunnolla ja seossuhde pysyy vakaana.
- **Jakoläppän** avulla valitaan, kumpaan siirtotäryputkeen granulit ohjataan. Valinta tehdään paikallisesti käsin. Jakoläppä on varustettu rajakytkimellä, joka osoittaa, kumpaan siirtotäryputkeen jakoläppä granulit ohjaa.
- **Siirtotäryputki 2** siirtää seostuksesta tärysyöttimeltä tulevan granulin SU1:een lähelle sekoittajan akselia. Siirtomatka on noin kolme metriä. Siirtokuljetin toimii jatkuvasti vakiokapasiteetilla eikä tarvetta säätämiseen ole. (Rantala 2011.)

Nikkelin annosteluprosessiin hoidetaan annostelusiilosta taajuusmuuttajalla varustetulla ruuvisyöttimellä syöttöputkea pitkin SU3:een lähelle sulatusuunista tulevaa ränniä. Nikkelin syöttö prosessiin perustuu suhdesäätöön. Annostelussa nikkeliä syötetään kalibroidulla vakiovauhdilla yhden jumbon nikkelimäärä kerrallaan (nikkelinsyöttö on jaksoittaista). Sopiva ruuvin syöttövauhti on kalibroitu etukäteen. Annostelusiilon puntarilla varmistetaan nikkelin syötön oikea määrä. Vismutti syötetään valurän-

niin SU3 uunin jälkeen. Vismutin annostelu prosessiin hoidetaan annostelusiilosta säädettävällä ruuvisyöttimellä siilon punnitustuloksen perusteella. Vismuttia syötetään jatkuvasti prosessiin suhdessä-
tönä sinkin virtaamaan nähden. Vismutin tavoin myös tina syötetään suoraan valuränniin. Tinan syötön
hoitaa tinansyöttölaite, joka syöttää tinalankaa suoraan ränniin suhdessä-
tönä sinkin virtaamaan nähden. (Rantala 2011.)

3.2 Seostuotteiden laadun tarkkailu valimolla nykyisin

Valimolla tuotteiden laadun tarkkailu hoidetaan nykyisin manuaalisella näytteenotolla, eli kyseisellä
hetkellä valulinjalla työskentelevä työntekijä tai uunimies ottaa sulasta sinkkivirrasta kauhalla näyt-
teen, joka kaadetaan näytekokilliin. Sula sinkki jähmettyy muutamassa sekunnissa, jonka jälkeen näy-
tenappi merkitään järjestyksessä: vuosi, päivä, rännitunnus ja kokillin numerolla. Näytenappeja otetaan
tuotteesta riippuen noin 15 - 30 minuutin välein. (Rantala 2011.)

Seuraavaksi näytenappi lähetetään putkipostilla laboratorioon, missä robotti ohjaa näytteen kipi-
näemissiospektrometrille, joka analysoi näytenapin laadun. Kun analyysi on valmis, saapuu tieto ana-
lyysistä valimolle LabMaster-tietokoneohjelmistoon. Mikäli analyysissä ilmenee merkittäviä poik-
keamia tai epäselvyyksiä, pyydetään puhelimitse uutta tarkistusanalyysia. Tällöin laboratorio voi ana-
lysoida napin uudelleen ja varmistaa tuotteen laadun. Analyysitulokseen saattaa vaikuttaa, mikäli näyt-
teen seassa on esimerkiksi kuonaa. (Rantala 2011.)

Jos analyysit alkavat lähestyä tuotteelle määriteltyä ylä- tai alarajaa, tehdään seosaineiden syöttöön
korjauksia prosconilta. Käyttäjä voi valita joko ohjelman tarjoaman korjauksen tai asettaa itse näytölle
tavoitepitoisuuden, tällöin kone pyrkii laskemaan sopivan ajan, seosaineiden lisäämiseen tai vähentä-
miseen saavuttaakseen tavoitepitoisuuden. (Rantala 2011.)

Tuotteet, jotka läpäisevät analyysikriteerit, saavat prosconilla vihreän värin, mikä tarkoittaa sitä, että
tuotteet ovat hyväksytyjä ja jatkavat eteenpäin tuotetoimistolle jatkokäsittelyyn. Tuotteet, jotka eivät
läpäise analyysikriteereitä, saavat prosconilla joko keltaisen tai punaisen värin. Keltainen väri tarkoit-
taa sitä, että tuote menee luokitukseen. Luokitukseen menevät tuotteet soveltuvat analyysin perusteella
johonkin toiseen tuotteeseen. Punainen väri tarkoittaa, että tuote on ”susi” joko analyysin tai kuonaisen

pinnan vuoksi. Tällöin tuote menee uudelleen sulatukseen. Proscon ei automaattisesti merkitse pintasusi - jumboja punaiseksi. Koneenhoitajan tulee jatkuvasti seurata jumbon skimmausta sekä pinnanlaatua ja itse merkata tuote punaiseksi, mikäli pinnanlaatu ei täytä määriteltyjä kriteereitä. (Rantala 2011.)

On ensiarvoisen tärkeää, että asiakas saa ainoastaan laatuvaatimusten mukaisia tuotteita. Mikäli asiakkaalle lähetetty tuote tai tuote-erän useampi tuote ei täytä tarvittavia laatukriteereitä, saapuu se takaisin valimolle tuotereklamaationa. Pinnan laadun poikkeamiin liittyy asiakkaan päässä myös turvallisuusriski, sillä mahdollisiin koloihin tai halkeamiin kertynyt kosteus saattaa räjähtää sulatusvaiheessa aiheuttaen palovammariskin. Reklamaatiot vaikuttavat huonolla tavalla Boliden Kokkolan maineeseen. Laatuvaatimusten täyttäminen on tärkeää asiakassuhteiden ylläpidossa, sillä Boliden Kokkolalla on useita pitkäaikaisia sekä merkittäviä asiakkaita, jotka odottavat tuotteen laadun vastaavan sille asetettuja vaatimuksia. (Rantala 2011.)

Valimolla tuotteiden merkintä on erittäin tärkeää, jotta koko ajan on selvyys tuotteen laadusta. Valimolla tuotetaan noin 40 erilaista sinkkilaatua, minkä johdosta ainoastaan järjestelmällisellä merkkauksella voidaan olla varmoja mitä laatua tuote on ja, että se päättyy oikealle asiakkaalle. Automaattisilla linjoilla (VK2 ja JVK) tuotteiden merkintä tapahtuu lasermerkkauksrobotteilla. Robotit merkkavat tuotteisiin myös QR-koodin, joka helpottaa tuotetoimistolla tuotteen jatkokäsittelyä. Merkintöjen luotettava automatisoitu tulkinta mahdollistaa osaltaan, että oikeat tuotteet matkaavat oikeille asiakkaille. Suoravaluradalla (SVR) tuotteiden merkintä tehdään käsin. Tuotteisiin merkitään vuosi, päivä, rännitunnus sekä tuotteen numero. Esimerkiksi vuoden 2019 ensimmäisenä päivänä suoravaluradalla valettu ensimmäinen puhdas sinkkijumbo merkittäisiin seuraavasti: (9.1.H.1). (Rantala 2011.)

4 TYÖN TAVOITE JA SUUNNITTELUPROSESSI

Työn tavoitteena oli kartoittaa markkinoilla olevat Bolidenin tarkoitukseen soveltuvat jatkuvatoimiset seosaineiden jatkuvatoimiseen mittaukseen soveltuvat laitteet sekä selvittää valitun mittalaitteen soveltuvuus luotettavaan seosaineiden pitoisuusmittaukseen Boliden Kokkolan sinkkivalimolla. Kyseisen laitteen hankinta on tullut valimolle harkittavaksi, koska asiakkaiden omat kokemukset automaattisesta seosainepitoisuuden mittauksesta ovat olleet positiivisia. Täten he ovat suositelleet, että mahdollisesti myös sinkkivalimolla siitä saattaisi olla hyötyä.

Alustavan arvion mukaan laite ei tulisi syrjäyttämään kokonaan tämän hetkistä manuaalista näytteenottoa ja näytteistä tehtäviä laboratorioanalyyssejä, vaan mahdollisesti vain toiminaan rinnakkaisena tuotteen laadunvarmistusta parantavana menetelmänä. Laite helpottaisi sekä laboratorion että valimon työskentelyä, koska seostuotteiden pitoisuuksista saisi koko ajan reaaliaikaista tietoa. Näin laite voisi ohjata seostamista myös tilanteissa, joissa laboratoriossa on teknisiä ongelmia. Jatkuvatoimisella mittauksella voitaisiin saavuttaa mahdollisesti myös kustannussäästöjä seosaineiden kulutuksen optimoinnin kautta. Tuotteiden laatu olisi varmemmin saavutettavissa, jolloin sellaisten tuotteiden, jotka eivät täytä asetettuja laatuvaatimuksia, määrä vähenisi. Valimolla laite mahdollistaisi nopeamman reagoinnin pitoisuuksien heittelyihin, jolloin ehtisi nykyistä nopeammin reagoida lisäämällä tai vähentämällä seosaineiden syöttöä esim. erilaisissa ongelmatilanteissa. Myös asiakkaat saisivat paremman varmuuden tilaamansa tuotteen laadusta, kun heillä olisi näytenappien ohella saatavissa myös laitteen mittaama reaaliaikaista tietoa koko tuote-erästä.

Laboratorion kannalta laitteella mahdollisesti varmistettaisiin tuotteiden laatu laboratoriolaitteiden huoltojen sekä kalibrointien aikana. Laite voisi myös vapauttaa lisäresursseja laboratorion käyttöön, mikäli analysoitavien näytteiden määrää pystytään vähentämään nykyisestä määrästä. Nykyisin laboratorioon toimitetaan analysoitavaksi noin 1 - 3 näytenappia puolen tunnin välein (Rantala 2011).

Työ suunniteltiin toteutettavaksi alla kuviossa 2 kuvatun suunnitelman mukaisesti:



KUVIO 7. Suunnitelma työn eri vaiheista

Sanallinen kuvaus työn eri vaiheista:

1. Sisäinen prosessi ja sijoitussuunnittelu:

Tutustutaan prosessiolosuhteisiin ja kartoitetaan kohteet, joissa jatkuvatoinen mittaus voisi olla tarpeellinen sekä arvioidaan laitteen mahdolliset sijoituskohdat prosessissa. Tärkeää on huomioida näytteenottokohdan stabiilisuus näytteen analysoinnin kannalta, jotta varmistetaan mahdollisimman pieni mittauserävarmuus ja stabiilit olosuhteet.

2. Vaihtoehtoisten menetelmien kartoitus:

Kartoitetaan markkinoilla olevat vaihtoehtoiset tuotteet ja menetelmät, jotka mahdollistavat jatkuvatoinen analyysin tuotteesta siten, että saavutetaan riittävä määrittystarkkuus. Tärkeää on selvittää menetelmän ja laitteen soveltuvuus sinkkivalimon olosuhteisiin.

3. Potentiaaliset toimittajat ja asiakaskokemukset:

Yhteydenotto valittuihin laitetoimittajiin. Tiedustellaan yleisellä tasolla laitteen ominaisuuksista, toimivuudesta valimon prosessissa vaadituissa olosuhteissa. Selvitetään myös mahdolliset referenssikohteet ja tiedustellaan asiakaskokemuksia vastaavissa kohteissa käytössä olevista laitteista, mikäli tällaisia kohteita löytyy.

4. Tekninen suorituskyky ja spesifikaatiot:

Selvitetään laitteiden suorituskyky sekä spesifikaatiot. Tärkeää on selvittää, riittääkö laitteiden mittaustarkkuus analysoimaan tuotteilta vaadittuja pitoisuuksia riittävällä luotettavuudella.

5. Potentiaalisten mittalaitteiden priorisointi:

Kootaan taustatiedot harkintaan valituista laitteista ja laaditaan laitteiden vertailuun soveltuva malli, jonka avulla voidaan tarkastella eri laitteiden suorituskykyä ja priorisoida laitteet soveltuvuuden ja kustannusten perusteella. Tavoitteena on kartoittaa eri laitteiden positiiviset ja negatiiviset näkökohdat. Pohditaan myös mikä olisi laitteista käytännöllisin ja mikä täyttäisi tarpeemme kriteerit parhaiten.

6. Laittevalinta:

Valitaan tarkoitukseen soveltuvin laite, jonka osalta jatketaan suunnittelua. Otetaan yhteyttä laitetoimittajaan ja jatketaan käyttöönoton suunnittelua yhteistyössä Bolidenin asiantuntijoiden ja laitetoimittajan kesken.

7. Investointilaskelma:

Laaditaan valitun laitteen osalta karkea ja alustava investointilaskelma, jota voidaan hyödyntää lopullisen investointiesityksen laadinnassa.

8. Laitteen tilaus ja asennus:

Laite on tarkoitus hankkia kohteeseen asennettuna, jolloin laitteen asennus käyttökuntoon sekä ensisijaiset kalibroinnit suoritetaan laitetoimittajan toimesta.

9. Turvallistaminen ja käyttäjäkoulutus:

On tärkeää selvittää laitteen turvallisuuden liittyvät näkökohdat, jotta laite on käyttäjien kannalta turvallinen. Laitteesta on myös tarpeen pitää laitteen huoltoon ja peruskäyttöön liittyvä perehdytyskoulutus käyttäjille.

10. Käyttöönotto, kalibroinnit ja seuranta:

Käyttöönoton suorittaa laitevalmistajan asiantuntija. Kalibroinnit tulevat suorittamaan valimon työntekijät, kun heidät on perehdytetty tarkemmin laitteen toimintaan.

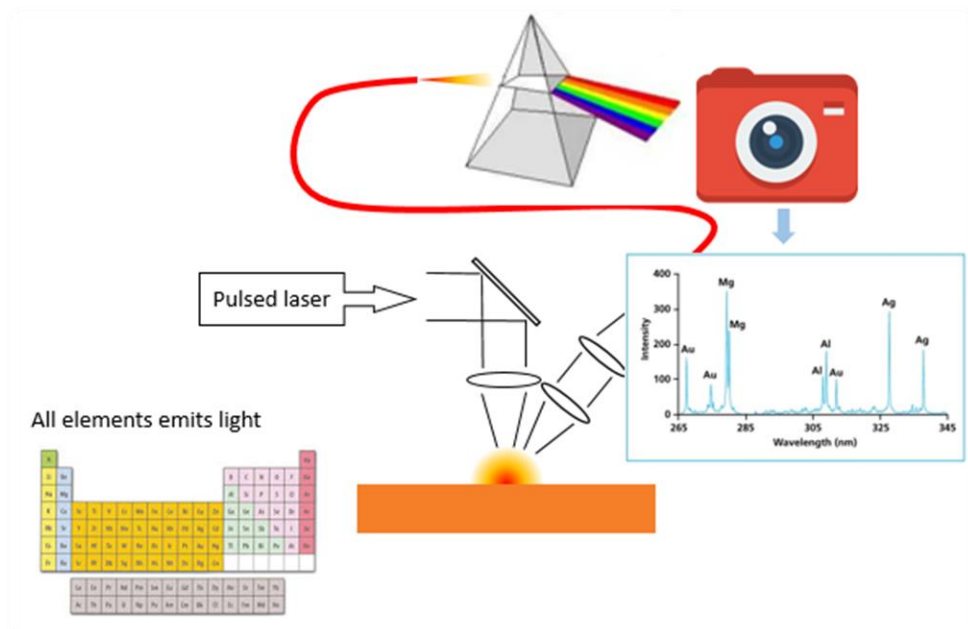
11. Ylläpito ja huolto

Laitteen ylläpitoa hoitaa valimon henkilöstö ja huollosta vastaa BKO:n kunnossapitoryhmä. Laitteen takuuhuollot oletetaan tarjottavan laitetoimittajan puolesta ja tämä otettava huomioon tarjouspyyntöä tehdessä.

5 TEORIAA LIBS-SPEKTROSKOPIASTA

5.1 Yleistä LIBS-spektroskopiasta

LIBS on lyhenne sanoista laser-induced breakdown spectroscopy, mikä tarkoittaa laserilla aikaansaa-
tua hajotusspektroskopiaa. Tekniikan tarkoituksena on käyttää laserpulsseja, joka välittömästi lämmittää
pienen tilavuuden materiaalia useaan tuhanteen asteeseen, kun se keskittyy pintaan muutaman nanose-
kunnin ajan. Jäähdyttyään, tämä laserlämmitteinen aine eli plasma palauttaa absorboituneen energian
erilaisin keinoin, kuten näkyvillä sekä näkymättömillä sähkömagneettisilla aalloilla. Optisen järjestel-
män avulla tämä luonnonvalonlähde kerätään ja johdetaan spektrometriin, joka erottaa eri värit detek-
toriin. Siellä se muuttuu tavalliseksi spektroskooppiseksi karakterisoimiseksi, jossa kunkin elementin
pitoisuus näytteistetyssä tilavuudessa on sen funktiona, joka vastaa sen vastaavia spektriviivoja. Ha-
vainnekuva LIBS-tekniikan toiminnasta on esitetty kuviossa 3. LIBS-tekniikan etuna on, että se pystyy
mittaamaan jaksollisen järjestelmän minkä tahansa elementin ja voi työskennellä valmistautumatto-
milla näytteillä, erityisesti teollisissa valmistusprosesseissa. Tyypillinen LIBS:n havaitsemisraja ras-
kaille metallielementeille on matala PPM-alueella. LIBS soveltuu monenlaisiin näytematriiseihin, joi-
hin kuuluvat metallit, puolijohteet, lasit, biologiset kudokset, eristimet, muovit, maaperä, kasvit, ohut-
maalipinnoite ja elektroniset materiaalit. (Applied spectra.)



KUVIO 8. Havainnekuva LIBS-tekniikan toiminnasta (Mittalaite VE3 2018.)

5.2 LIBS-spektroskopian kuvaus

LIBS-järjestelmä perustuu eri aallonpituuksilla tuotettavaan lasersäteeseen. Kiinteän olomuodon mittaamisessa yleisesti käytetty laser on Nd:YAG laser, jolla voidaan lähettää vai lähettää säteilyä jonka maksimi aallonpituus on 1064 nm, mutta voi joissakin sovelluksissa olla pienempikin tyypillisesti 266 nm tai 213 nm. Pulssien pituudet ovat tyypillisesti 6 – 15 nanosekuntia ja niitä toistetaan jopa yli 20 Hz:in taajudella. Yksipulssinen LIBS lähettää yksittäisiä laserpulseja ablaatioon eli atomien irrottamiseen ja virittämiseen. Kaksoispulssinen LIBS käyttää lisäksi toista laserpulssia, joka on kohtisuorassa tai kollineaarisessa suhteessa ensimmäiseen pulssiin. Kollineaarisuus on geometriassa käytetty termi, jolla tarkoitetaan pistejoukkoa, jotka kaikki sijaitsevat samalla suoralla. Näin se kykenee virittämään suuremman määrän atomeja näytteessä kasvattaen huippuintensiteettejä ilman vaikutusta näytteeseen.

Useimmissa laboratoriokäytössä olevissa sekä kannettavissa LIBS-järjestelmissä plasmanäytteen sisältämät fotonit kerätään plasman lähelle sijoitetun linssin läpi ja johdetaan spektrometrille kuituoptiikan avulla. Stand-off -LIBS-järjestelmässä analysoitava näyte voi sijaita useita metrejä itse laitteesta ja fotonipäästöt otetaan talteen teleskoopilla ja lähetetään spektrometrille kuituoptiikkaa hyödyntäen.

LIBS-järjestelmissä käytetään useita erityyppisiä spektrometrejä, joista yleisin on spektrin tallentava echelle-hilaspektrografi. Emittoituva spektrografi tallennetaan ccd-kennoon (charge-coupled device) vastaavasti kuin digitaalisissa kameroissa. Useimmiten fotonien kerääminen alkaa muutaman mikrosekunnin kuluttua laserpulsin jälkeen. Näin voidaan minimoida ei-kvantti -prosessien, kuten elektronien ja atomien välisten kineettisten vuorovaikutusten lähettämän valon kerääminen.

(McMillan 2018.)

LIBS-menetelmää voidaan soveltaa monissa tarkoituksissa, koska se on nopea, kannettava tekniikka, joka ei vaadi näytteen valmistelua ja pystyy tarjoamaan nopeasti tilanneanalyysin. LIBS tarjoaa monia etuja verrattuna muihin alkuaineanalyysitekniikoihin. Tällaisia ovat muun muassa:

- mittaustulos näytteestä ilman esikäsitteilyä
- erittäin nopea mittaustulos, yhden sekunnin aikana voidaan suorittaa jopa 20 mittausta
- laaja elementaalinen kattavuus, tekniikka kykenee havaitsemaan ja analysoimaan kaikki jaksollisen järjestelmän alkuaineet
- erittäin herkkä kevyille alkuaineille kuten vety (H), Litium (Li) ja Beryllium (Be)
- monipuoliset näytteenotto-protokollat, jotka sisältävät näytteen nopean rasteroinnin ja syvyysprofiilin. (McMillan 2018.)

LIBS-tekniikan rajoitteita:

- intensiteetissä on merkittäviä vaihteluja laukauksien välillä, koska laser ei kohtaa näytettä täsmälleen samalla tavalla jokaisen laserpulssin osalta. Usein tämä voidaan ratkaista keskittämällä saman materiaalin spektrejä
- elementaaristen analyysien käyttämät yksi- tai monivaiheiset kalibroinnit eivät ole niin tarkkoja tai täsmällisiä kuin perinteisemmät tekniikat kuten ICP-MS tai XRF
- kuten minkä tahansa spektroskooppisen tekniikan osalta, yhden LIBS-instrumentin tuottamat spektrit ovat ainutlaatuisia kyseiselle instrumentille ja sama näyte, joka on analysoitu vastaavalla välineellä, on hieman erilainen
- Kun LIBS-spektrejä käytetään lähtötutkimusten tekemiseen, näiden välineiden erot toisistaan ovat riittävän suuria, että se estää useamman välineen yhdistämisen toisiinsa. (McMillan 2018.)

6 MARKKINOILLA OLEVIEN VAIHTOEHTOISTEN MITTALAITTEIDEN KARTOITUS

6.1 Markkinoilla olevien mittalaitteiden kartoitus

Markkinoilta löytyy jonkin verran erilasten metalliseosten analysointiin tarkoitettuja laitteita. Lähes kaikki markkinoilla olevat laitteet kykenevät kuitenkin analysoimaan vain yhtä tiettyä elementtiä. Tässä työssä oli tavoitteena kartoittaa laite, joka kykenisi tekemään jatkuvaa reaaliaikaista analyysiä suoraan sulasta sinkistä siten, että se kykenee analysoimaan useaa eri elementtiä samanaikaisesti haastavissa ja kuumissa olosuhteissa. Näin ollen laite, joka kykenee analysoimaan ainoastaan yhtä elementtiä, ei sovellu suunniteltuun tarkoitukseen.

Mittalaite, VE1

Yhtenä tarkastelussa esille nousevana vaihtoehtona oli LiMCA-mittausperiaatteella toimiva mittalaite, joka on tarkoitettu mittaamaan alumiiniteollisuudessa seostetun alumiinin epäpuhtauksia sulassa alumiiniseoksessa reaaliaikaisesti. Laite soveltuu käytettäväksi raskaissa teollisuusolosuhteissa. Laite antaa tarkan tiedon alumiinin puhtaudesta reaaliaikaisesti. (Mittalaite VE1 2016.) Laite on esitetty kuvassa 1.



KUVA 1. LiMCA-mittausperiaatteella toimiva mittalaite VE1 (Mittalaite VE1 2016.)

Laite on olemassa olevan tiedon perusteella suunniteltu erityisesti alumiiniteollisuuteen, eikä siitä ole referenssejä sinkkiteollisuudesta. Tietojen perusteella laite kykenee mittaamaan vaadittuja epäpuhtauksia riittävällä mittaustarkkuudella, mutta sen käytettävyydestä sinkkiteollisuudessa sinkin epäpuhtaus-
tasojen mittaamiseen ei ole tietoa. (Mittalaite VE1 2016.)

Mittalaite, VE2

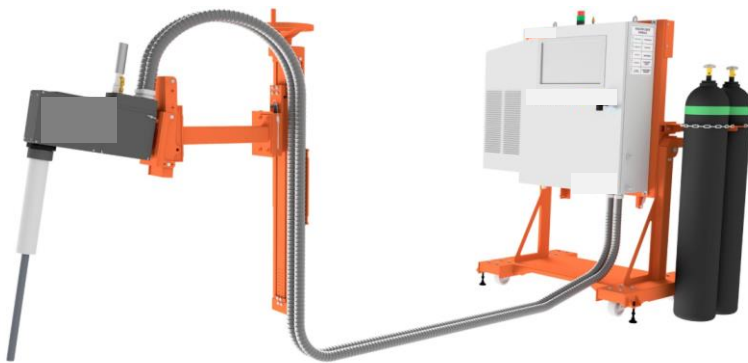
Toinen tarkasteltava mittalaite laite on tarkoitettu lähinnä alumiiniteollisuuteen analysoimaan tyhjiö-
kaasua sekä sulkeumia sulasta alumiinista. Näitä ovat esimerkiksi liuennut vetykaasu, sulkeumat (me-
talliset ja ei-metalliset), lienneet alkalit sekä alkalien suolat. Laite on tarkoitettu pääosin ilmailu-,
puolustus-, ydin-, auto- ja elektroniikkateollisuudelle varmistamaan alumiinin riittävä puhtaus. Lait-
teen toimivuudesta sinkkiteollisuudessa ei löydy referenssiaineistoa. (Mittalaite VE2.)

Mittalaite VE2 on esitetty kuvassa 2.

**KUVA 2.** Sulan alumiinin analysointiin soveltuva mittalaite VE2 (Mittalaite VE2.)

Mittalaite, VE3

Kolmas tarkasteltava mittalaitevaihtoehto on tarkoitettu analysoimaan seosaineita sekä epäpuhtauksia sulasta sinkistä. Laitteen seosaineiden pitoisuuden mittaustarkkuus on riittävä BKO:n vaatimiin pitoisuuksiin. Tästä tarkasteltavasta mittalaitevaihtoehdosta löytyy myös referenssikohteita, sillä se on käytössä muissa vastaavissa sinkkivalimoissa sekä sinkityslaitoksissa. (Mittalaite VE3 2018.) Laite on esitetty kuvassa 3.



KUVA 3. LIBS-tekniikkaan perustuva mittalaite VE3 (Mittalaite VE3 2018.)

6.2 Jatkotarkasteluun otettavan laitteen valinta

Esiselvityksen perusteella otettiin jatkotarkasteluun mittalaite VE3, joka näyttäisi soveltuvan parhaiten Boliden Kokkolan sinkkivalimon tarpeisiin. Mittalaite erottui muista tarkasteltavista vaihtoehdoista muun muassa siten, että se kykenee analysoimaan jokaista jaksollisen järjestelmän elementtiä. On myös tiedossa, että kyseistä laitetta käyttää muutama Bolidenin asiakkaista ja että laite on yleisestikin käytössä vastaavissa olosuhteissa useissa raskaan metalliteollisuuden tehtaissa.

(Duchesne Bamber – Harju – Jungar – Lassi 2018.)

Mittalaitteen VE3 ominaisuudet ovat Bolidenin tarpeisiin soveltuvat. Laitteen valintaa tuki vahvasti myös, että se on ollut pitkään käytössä muutamalla Boliden Kokkolan asiakkaalla ja heiltä on saatu vahvat suositukset kyseisen laitteen tarkkuudesta ja toimivuudesta.

7 VALITUN MITTALAITTEEN JATKOTARKASTELU

7.1 Jatkoselvittelyyn valittu mittalaite VE3

Työn tavoitteena oli löytää analysointilaitte, joka pystyy mittaamaan reaaliaikaisesti seosaineiden pitoisuutta sinkin jatkuvatoimisessa valussa. Ensimmäisenä vaiheena kartoitettiin kirjallisuudesta ja internetin hakukoneen (google) avulla potentiaalisia tarkoitukseen soveltuvia mahdollisia mittalaitteita ja tällaisen laitteen valmistajia. Haun perusteella löytyi jonkin verran laitteita, mutta edellä kuvatun mittalaitteen 3 arvioitiin soveltuvan parhaiten suunniteltuun tarkoitukseen. Lisäksi todettiin, että laite oli käytössä vastaavissa kohteissa, joten siitä oli olemassa referenssikohteita. Laite näytti alustavien tietojen perusteella olevan myös monipuolinen, sillä se kykenee analysoimaan samanaikaisesti useaa eri elementtiä sulasta sinkkiseoksesta. Bolidenin asiantuntijoiden kanssa keskusteluissa kävi ilmi, että kyseistä laitetta käyttävät myös muutamat heidän asiakkaansa, jotka ovat olleet tyytyväisiä laitteen toimintaan ja suorituskykyyn.

7.2 Tapaaminen laitetoimittajan kanssa

Seuraavaksi selvitettiin laitetoimittajan yhteystiedot ja sovittiin yhteisestä videoneuvottelusta, jossa käytäisiin tarkemmin läpi laitteeseen liittyviä yksityiskohtia. Tapaamista varten valmisteltiin etukäteen tarpeellisia lisäkysymyksiä ja otettiin yhteyttä laitetoimittajan edustajaan. Neuvottelua varten valmisteltiin laitetta koskevia tarpeellisia kysymyksiä, jotka myös toimitettiin ennen yhteistä tapaamista laitetoimittajalle etukäteen.

Tarpeellisten lisätietojen saamiseksi koottiin kysymyksiä, joihin saatiin laitetoimittajalta vastaukset ennen yhteistä tapaamista. Kysymykset ja vastaukset ovat liitteenä.

7.3 Videopalaveri laitetoimittajan ja Bolidenin asiantuntijoiden kesken

Kun tarpeelliset lisätiedot oli saatu, järjestettiin valimon neuvotteluhuoneessa 4.6.2018 videopalaveri, johon osallistui laitetoimittajan edustaja (Duchesne Bamber) sekä Bolidenin edustajina valu- ja toimituspäällikkö Jorma Harju, valimon käyttöinsinööri Aki Lassi, laboratoriopäällikkö Måns Jungar sekä minä (Sami Nykänen) opinnäytetyötekijänä.

Palaverissa kävimme läpi muun muassa laitteen toimivuutta tilanteessa, jossa sinkki virtaa prosessissa jatkuvana valuna. Tämä asia käytiin läpi siksi, koska laitetta käytetään pääosin galvanointiteollisuudessa, missä kyseinen laite mittaa galvanointialtaan sisältämän sinkkiseoksen pitoisuutta. Galvanointialtaissa sinkki ei virtaa, kun taas meidän tilanteessamme sinkki virtaa jatkuvana valuna. Toimittajalta tiedusteltiin, riittääkö laitteen analyysitarkkuus tuotteiden vaadittujen pitoisuuksien analysointiin. Johdopäätöksenä oli, että laite ei välttämättä kykene antamaan tarkkoja tuloksia, mikäli sen sijoittaa pumpun läheisyyteen, sillä sinkin virtaus on tässä kohdassa liian voimakasta, mikä saattaisi häiritä mittausta. Laite tulisi sijoittaa jumbovalukoneen padan läheisyyteen; tällöin virtaus on tasaisempaa ja virtausnopeus on alhaisempi. Tässä kohdassa laitteen arvioitiin kykenevän mittaamaan padan sisältämän sinkin alumiinipitoisuutta luotettavasti ja reaaliaikaisesti. (Duchesne Bamber – Harju – Jungar – Lassi 2018.)

Tapaamisessa lopulta selvisi myös se, että laitteen mittaustarkkuus alumiinin osalta oli riittävä Bolidenin tarpeisiin. Riittävän mittaustarkkuuden arvioimiseksi toimitimme laitetoimittajalle etukäteen Bolidenin tuotteita koskevat laatuvaatimukset sekä vaadittavan mittaustarkkuuden. (Duchesne Bamber – Harju – Jungar – Lassi 2018.)

8 JATKOTARKASTELUUN VALITUN MITTALAITTEEN KUVAUS

8.1 Yleistä ja tekniset ominaisuudet

Jatkotarkasteluun valitun laitteen avulla on mahdollisuus saada reaaliaikaista tietoa sinkkiseoksen eri aineiden pitoisuuksista. Mittalaite käyttää analyysiä tehdessään LIBS-menetelmää eli laser-indusoitua plasmaspetrokopiaa. (Mittalaite VE3 esittely). Laitteen teknisiä ominaisuuksia ovat:

- Reaaliaikainen pitoisuuden mitta
- Usean elementin seuranta
- Kuonan seuranta
- Pinnantason mitta
- Siirtää datan välittömästi tietokoneen näytölle. (Mittalaite VE3 esittely).

8.2 Mittaustarkkuus

Laitteen tarkoituksena olisi saada analyysit pysymään paremmin tasaisina lähellä asiakkaiden vaatimien pitoisuuksien tavoitetta ja välttää suuria heittoja yli tai alle asiakkaan määrittämän ylä-, sekä alarajan. Tämä mahdollistaisi sen, että kyettäisiin valamaan jatkuvasti laadukasta tuotetta ja näin ollen kakkoslaadun sekä analyysisusien määrä vähenisi huomattavasti vuosituotannossa. Nykyinen näytteenottomenetelmä on, että seoksista otetaan noin 20 minuutin välein näytenappi, joka lähetetään laboratorioon. Näytteen analyysi saapuu yleensä noin 5 minuuttia napin lähettämisen jälkeen. Siinä ajassa kerkeää tulla mahdollisesti useampikin susijumbo ennen kuin keretään edes aloittaa uusi seostaminen eli seosaineiden määrän säätäminen. Laite mahdollistaisi nopeamman reagoinnin seostamiseen ja näin ollen analyysien tavoitteissa pysyminen olisi helpompaa.

Alla olevassa taulukossa 1 on esitetty Boliden Kokkolan alumiiniseostuotteiden laadun osalta sallittu vaihteluväli alumiinipitoisuuksille sekä mittalaitteen VE3 alumiinin mitta-alue.

TAULUKKO 1. . Mittalaitteen (VE3) mitta-alue verrattuna BKO:n tuotteiden alumiinipitoisuudelle asetettuihin vaatimuksiin (Duchesne Bamber, Harju, Jungar, Lassi 2018)

	BKO:n tuotteita koskeva vaatimus Al-pitoisuus %	Mittalaite VE3 mitta-alue Al-pitoisuus %
Minimi	0,08 %	0,01 %

Maksimi	1,05 %	10 %
---------	--------	------

Taulukon perusteella voidaan todeta, että Boliden Kokkolassa tuotettujen kaikkien tuotteiden alumiinipitoisuudet sijoittuvat 0,08 – 1,05 % välille. Mittalaite kykenee luotettavasti mittaamaan sallittua pitoisuutta selvästi alemmaa tasoa. Laite pystyy mittaamaan myös huomattavasti korkeampaa pitoisuutta kuin mikä on Bolidenin tuotteissa sallittu. Tämän perusteella jatkotarkasteluun valitun mittalaitteen mitta-alue riittäisi Boliden Kokkolan alumiinituotteiden pitoisuuksien mittaamiseen.

8.3 Kalibrointi

Laitteessa on automaattinen kalibrointi ja se sisältää kalibrointiyksikön, joka täydentää koko LIBS-tekniikan. Kalibrointiyksikön tarkoituksena on itsenäisesti validoida ja korjata valvontalaitteen kalibrointi vertailemalla käyttäjän antamia tuotenäytteitä sertifioitujen vertailunäytteiden (CRM) avulla. Kalibroinnissa tarvitaan erillisiä tuotenäytteitä, mutta itse laitetta käytetään näytteiden koostumuksen määrittämisessä. Ulkopuolista laboratoriota ei tarvita kalibroinnin suorittamiseksi. (Mittalaite VE3 2017)

Aloitettaessa kalibrointi, käynnistetään LIBS -ohjelmisto jotta voidaan aloittaa kalibrointiin tarvittavan tiedon keruu. Yksityiskohtaiset spektritiedot tallennetaan LIBS-tietokoneelle jatkokäsittelyä varten. Samanaikaisesti asetetaan kolme tuotenäytettä LIBS-anturin lähelle. Näytteet jäädytetään ja työstetään siten, että niiden pinnankoostumus on soveltuva LIBS-analyysiin. Näytteenoton jälkeen LIBS-anturi poistetaan padasta, jonka jälkeen anturin sauva irrotetaan anturista ja korvataan kalibrointiyksiköllä. Kalibrointiyksikkö koostuu alustasta, johon voidaan sijoittaa kuusi erillistä näytettä. Kolme näistä kuudesta näytteestä on sertifioidussa laboratoriossa varmennettuja vertailunäytteitä (CRM), loput kolme näytettä ovat käyttäjän omia tuotenäytteitä. (Mittalaite VE3 2017)

Kun laite on aktivoituna, analysoi yksikkö automaattisesti kolmen referenssinäytteen ja kolmen käyttäjän ottaman tuotenäytteen tiedot. Kolmen vertailunäytteen tietoja käytetään varmistamaan lineaarinen suhde mitattavan elementin (esim. alumiini) tuottaman spektriviivan ja valon voimakkuussuhteen välillä suhteessa sinkin (taustaympäristön) referenssivektorilinjaan. CRM:stä saatujen tulosten perusteella yksikkö voi määrittää liunneen alumiinin ja raudan pitoisuuden kolmessa tuotenäytteessä käyttäen mitattua lineaarista suhdetta. Näytteiden pitoisuustulokset siirtyvät tämän jälkeen LIBS-ohjelmiin. (Mittalaite VE3 2017)

Jotta CRM- ja tuotenäytteistä saadaan riittävä tarkkuus, ampuu plasmaa tuottava laser säteitä useita kertoja näytteiden eri kohtiin. Signaalin keskiarvonmäärittystä sekä huonojen signaalien automaattista hylkäämistä (signaaleja kuonasta tai signaalin matala kohinasuhde) käytetään menetelmän tarkkuuden parantamiseksi. Kun validointi on päättynyt, kalibrointiyksikkö irrotetaan anturista, sauva asennetaan uudelleen anturiin ja asetetaan anturi uudelleen pataan, jotta se pystyy jälleen reaaliaikaisesti analysoimaan seostuotetta. Kalibroinnissa täydellinen validointiprosessi kestää noin kolme tuntia. (Mittalaite VE3 2017)

Poikkeamien läsnäolo on pääongelma, kun vain murto-osa kannasta tarkistetaan. Koska koko padannäytettä on käytännössä mahdotonta tarkastaa LIBS:llä, ainoastaan rajoitettu määrä analysoidaan sisälön määrittämiseksi. Kun näytteistä otetaan odottamattomia hiukkasia, kuten kuona- tai oksidikohtia, eivät ne johdu johdonmukaisesti muuhun matriisiin. Jos niitä pidetään osana jakaumaa, ne kallistavat keskiarvon ja vääristävät kalibrointikäyrän. Tästä syystä ne on poistettava laskelmasta. (Mittalaite VE3 2017)

Mittalaitteen käyttämä hylkäysmenetelmä on Thomson Tau -menetelmä. Jokaista jakautumispistettä varten lasketaan datapisteen normalisoitu poikkeama, seuraavasti:

(1)

$$\delta(x_i) = \frac{|x_i - \mu|}{\sigma}$$

Kaavassa:

- $\delta(x_i)$ = Datapisteen normalisoitu poikkeama
- x_i = Datapiste
- μ = Datapisteiden keskiarvo
- σ = Näytteen keskihajonta

jossa keskiarvo ja keskihajonta lasketaan kaikista kerätyistä tietopisteistä. Tämän jälkeen tätä arvoa verrataan kynnsarvon hylkämisarvoon, mikä lasketaan alla olevalla kaavalla:

(2)

$$\text{Hylkäysarvo } (\tau) = \frac{\tau_{\alpha/2}(n-1)}{\sqrt{n} \sqrt{n-2 + \tau_{\alpha/2}^2}}$$

Kaavassa:

τ = Hylkäysalue

n = Datapisteiden lukumäärä

$\tau_{\alpha/2}$ = Yksikön τ kriittinen arvo, $\alpha = 0,05$

Tällä arvolla verrataan jokaista näytettä. Jos datapiste hyväksytään, kun samaan aikaan arvo hylätään, lasketaan se uudella jakaumalla. Tämä uudelleenlaskenta on iteroitu niin kauan kuin pisteitä on hylätävä. (Mittalaite VE3 2017)

9 ASENNUSSUUNNITTELU

9.1 Laitteen sijoituspaikan suunnittelu

Laitteelle löytyisi jumbovalukoneen linjalta useita eri sijoitus paikkoja. Laite olisi helpoin sijoittaa niin, että sen nokka olisi suoraan seosuunissa. Tämä ei kuitenkaan palvelisi laitteen käyttötarkoitusta, koska tällöin saataisiin tieto koko seosuunin sisältämän sinkin pitoisuudesta. Laitteen hankinnan tärkeimpänä tarkoituksena olisi saada tarkkaa tietoa jokaisesta valetusta tuotteesta. Kun laite sijoitetaan valurännin loppupäähän, pystyy laite seuraamaan jokaista valettua jumboa yksilönä ja näin saataisiin jatkuvasti jokaiselle jumbolle omat analyysit

Alapuolella olevat kuvat ovat laitteen kaksi mahdollista sijoituspaikkaa. Kuvassa 4 on nouseva/laskeva pata. Padan tarkoitus on nousta silloin, kun kokilli on täynnä, ja laskea takaisin alas, kun valupöytä on ehtinyt pyöryttää tilalle tyhjän kokillin ja puntari taarannut kokillin painon. Kuvassa 5 on kuvattuna seosuunin pumpun suu. Näissä molemmissa sijoituspaikoissa on omat ongelmansa, jotka tulee sijoituspaikan suunnittelussa ottaa huomioon. Esimerkiksi kuvan 4 padan liikkuminen sekä padassa toimiva skimmausrobotti hankaloittavat laitteen toimintaa. Kuvan 5 sijoituspaikan ongelmaksi saattaa muodostua liian suuri sinkin virtaus.



KUVA 4. Laitteen suunniteltu vaihtoehtoinen sijoituspaikka padassa



KUVA 5. Laitteen suunniteltu vaihtoehtoinen sijoituspaikka valurännissä

Taulukossa 2 on kuvattu eri sijoitusvaihtoehtoihin liittyvät mahdolliset ongelmat sekä ratkaisuvaihtoehdot.

TAULUKKO 2. Laitteen sijoituspaikan ja mahdollisten ongelmien pohdinta

Laitteen sijoituspaikat	Ongelma	Ongelman ratkaisu
Kuva 4	Padan nouseva ja laskeva liike sekä toisella puolella sijaitseva padan skimmausrobotti.	Laitteen asennuksessa tulee ottaa huomioon padan nouseva ja laskeva liike. Laite on asennettava siten, että se liikkuu padan mukana. Robotin liikkeet tulisi ohjelmoida uudelleen.
Kuva 5	Pumpun suun kohdalla oleva kova sinkin virtaus.	Ei ratkaistavissa. Laite ei tulisi saamaan luotettavaa analyysia, koska sinkin virtaus liian kova.

9.2 Vertailu nykytilan ja suunnitellun mittalaitteen välillä

Alla olevassa taulukossa 3 on arvioitu uuden mittalaitteen tuomia mahdollisia hyötyjä verrattuna valimon nykykäytäntöön.

TAULUKKO 3. Vertailu nyky menetelmän ja uuden mittalaitteen välillä.

Osa-alue	Nyky menetelmä	Uusi mittalaite VE3
Taloudelliset näkökohdat	Jatketaan nyky menetelmällä, ei vaadi lisäinvestointeja 0 €. Ei poista laboratorioanalyysien tarvetta jatkossa, koska niitä tarvitaan edelleen myös jatkossa.	Uuden laitteen hinta noin 150 t€. <p>Saavutettava taloudellinen hyöty tulee pääasiassa tuotantotehokkuuden paranemisen ja asiakastyytyväisyyden kautta. Seosaineiden tarkemmalla säädöllä voidaan saavuttaa taloudellista hyötyä. Taloudellinen kannattavuus tulee näkymään vasta pitkän ajan kuluessa.</p>
Asiakastyytyväisyys	Asiakasauditoinneissa ollut keskustelua jatkuvatoimisen seosainepitoisuuden mittauksen hyödyistä.	Parantaa tuotteen laatua ja saadaan asiakkaalle tarpeellista lisäinformaatiota seosaineen pitoisuusvaihteluista tuotteessa.
Tuotteen laatu	Tuotteen laatua ja seostuksen onnistumista koskeva tieto saadaan vasta tuotteen valmistamisen jälkeen. Näytteet laboratoriolle otetaan 4 jumbon välein.	Tasaisempi tuotteen laatu, koska pystytään reagoimaan nopeammin seosaineen pitoisuusvaihteluihin jo valun aikana.

Tuotantotehokkuus	Nykyisin kun tieto tuotteesta saadaan vasta sen valmistuttua, joudutaan sulattamaan uudelleen, mikäli analyysit eivät ole kohdallaan. Näin syntyy ”susia”, mikä puolestaan heikentää tuotannon tehokkuutta ja aiheuttaa taloudellisia kustannuksia	Minimoidaan seostuksesta johdettujen ”susien” syntyminen. Tämä vaikuttaa positiivisesti tuotantotehokkuuteen ja taloudelliseen tulokseen.
Käytettävyys / Tiedon hallinta	Tieto seostuksen onnistumisesta tulee tuotteen valmistamisen jälkeen. Seostussuhteet perustuvat prosconin laskennalliseen arvioon. Seostusta saattaa häiritä esimerkiksi seos ”susien” uudelleen sulatus seosvalun aikana.	Reaaliaikainen tieto seostamisen onnistumisesta helpottaa seostamisen ohjausta. Selkeä tiedonhallintajärjestelmä. Seosusien uudelleen sulatuksen aikana helppo seurata pitoisuuksien hetkittäiset vaihtelut.
Analyysit	Laboratorioanalyysillä saadaan nyky menetelmällä vastaava tieto kuin mittalaite VE3:lla, mutta jälkikäteen.	Reaaliaikainen tieto tuotteiden pitoisuuksista riittävällä tarkkuudella
Turvallisuusnäkökohdat	Ei merkittävää eroa nyky menetelmän ja mittalaite VE3:n välillä, koska tarvitaan näytteet laboratoriota varten joka tapauksessa. Turvallisuusnäkökohta voi liittyä susien suurempaan määrään, joka lisää riskiä, kun joudutaan uudelleen sulattamaan	Ei merkittävää eroa. Tuotteiden parempi laatu ja vähäisempi susien määrä parantaa turvallisuutta jonkin verran

Seosainekustannukset

Seosaineiden osalta taloudellista hyötyä ei tulisi, koska analyysirajojen yli ja alle menevät tuotteet ajetaan uudelleen sulatukseen ja näin ollen sen sisältämät seosaineet tulevat uudestaan käyttöön.

Kustannustehokkuus

Laite mahdollistaisi nopeamman reagoinnin pitoisuuksien heittelyihin ja tämän myötä seostaminen pysyisi helpommin hallinnassa. Reaaliaikaisen seosaineiden pitoisuuden mittauksen myötä, analyysisusien määrä vähenisi jonkin verran vuosituotannossa. Tämän ansiosta asiakkaiden tilaamat tuote-erät saataisiin valettua nopeammin valmiiksi ilman, että joutuu mahdollisten susien takia valamaan ylimääräisiä jumboja, mikä taas mahdollistaa nopeammin seuraavan tuote-erän aloittamisen. Tämä parantaisi hieman kustannustehokkuutta vuositasolla.

Tuotteiden laatu

Laite saattaisi vähentää jonkin verran analyysiviiveestä johtuvien susien määrää vuosituotannossa. Asiakkaiden vaatimissa seosaineiden pitoisuuksissa ei olisi niin paljon heittoja ja pitoisuudet pysyisivät tarkemmin tavoitteessa. Laitteesta olisi hyötyä myös akku- ja paristotehtaille menevien erikoispuhtaisten laatuojen valussa, koska laite pystyy analysoimaan myös epäpuhtauksia. Erikoispuhtaissa laaduissa on erittäin tarkat analyysirajat epäpuhtauksille. Reaaliaikainen epäpuhtausseuranta mahdollistaisi tuotteiden tarkempaa seuranta valuhetkellä. Nykymenetelmällä tuotteiden luokitukseen liittyvien analyysien tiedoissa on näytteenotosta johtuvaa viivettä. Tuotannon laadun reaaliaikainen seuranta voisi lisätä asiakastytyvyyttä, mikä on tärkeää Boliden Kokkolalle, kun kyseessä on isoja ja pitkäaikaisia asiakkaita.

Turvallisuus

Valimon yleisin tapaturman aiheuttaja on sula sinkki, joka roiskuessa saattaa aiheuttaa pahojakin palovammoja. Jatkuvatoimisen mittalaitteen myötä manuaalinen näytteenotto mahdollisesti vähenisi ja näin ollen oltaisiin entistä vähemmän suorassa tekemisessä sulan sinkin kanssa. Tämä saattaisi vähentää valimolla tapahtuvia sulan sinkin aiheuttamia tapaturmia. Jumbovalukone on automaattinen laite

mutta se vaatii kuitenkin koneenhoitajalta jatkuvaa tarkkaa seuranta mahdollisten häiriöiden takia. Aina kun koneenhoitaja poistuu valvontakopista näytteenoton ajaksi, on mahdollista, että koneessa tapahtuu jokin häiriö. Häiriön seurauksena saattaa esimerkiksi sula sinkki tulla kokillista yli ja aiheuttaa tulipalovaaran.

Taulukossa 4 on esitetty yhteenveto nykyisen menetelmän sekä mittalaitte VE3:n vertailusta.

TAULUKKO 4. Nykymenetelmän ja uuden mittalaitteen vertailun yhteenveto (Asteikko 1 - 3 +)

Osa-alue	Nykymenetelmä	Mittalaitte VE3
Taloudelliset näkökohdat	++	+
Asiakastyytyväisyys	+	+++
Tuotteen laatu	++	+++
Tuotantotehokkuus	++	+++
Käytettävyys / Tiedon hallinta	++	++
Analyysit	++	+++
Turvallisuusnäkökohdat	++	++
Kokonaisarvio	13 +	17 +

Eri näkökohtien vertailu tukee uuden mittalaitteen hankintaa ja osoittaa, että reaaliaikaisella mittauksella on saavutettavissa hyötyä nykyiseen menetelmään nähden. Kuitenkin hankinnan tärkeänä perusteena ovat asiakastyytyväisyyden ja muiden näkökohtien ohella myös saavutettavat taloudelliset hyödyt.

Merkittävää taloudellista hyötyä ei näyttäisi olevan saavutettavissa. Taloudellista kannattavuutta heikentää se, että laitteen hankintakustannus on suhteellisen korkea ja taloudelliset hyödyt ovat lähinnä ”susien” uudelleensulatuksen vähenemisen kautta saavutettava hyöty, joka on suhteellisen vähäinen. Näin ollen taloudelliset hyödyt ovat hankalasti perusteltavissa. Laitteen takaisinmaksuajan arviointi ”susien” vähenemisellä ja tuotantotehokkuuden paranemisella on vielä epävarmalla pohjalla ja vaatii tarkempia laskelmia. Toisaalta Bolidenin strategisena tavoitteena on automaation kehittäminen, ja tätä tavoitetta hankinta näyttäisi tukevan hyvin. Myös asiakastyytyväisyyteen hankinnalla olisi arvion mukaan selkeä positiivinen vaikutus.

10 KUSTANNUSARVIO JA INVESTOINTIMENETTELY

Työn aikana pyydettiin laitetoimittajalta tarjous siten, että toimitus sisältäisi myös asennuksen, eli ns. avaimet käteen -paketti. Tästä huolimatta tulee laitteiston asennussuunnittelu tehdä etukäteen Bolidenilla, jotta laitteen varsinainen asennustyö sujuisi moitteettomasti. Asennus voi myös aiheuttaa odottamattomia kustannuksia, esim. uusi laite vaatii muutoksia nykyisessä prosessissa. Tällaiset mahdolliset arvaamattomat kustannukset otetaan yleensä huomioon investointikustannusten laskennassa. Alla olevaan taulukkoon on koottu arvio jatkuvatoimisen mittalaitteen kustannuksista siten, kun ne esitetään investointiesityksessä.

Laitteen markkinahinta kalibrointiyksikkö mukaan lukien on noin 150 000 euroa. Siihen kun lisätään käyttöönottoon sisältyvät kulut, kuten suunnittelu, asennus, projektijohto, asennusvalvonta sekä ennalta-arvaamattomat kulut, olisi investoinnin kokonaishinta noin 250 000 euroa. Takuuksi laitteentoimittaja on luvannut kaikkiin Eurooppaan toimitettaviin yksiköihin 2 vuotta. Taulukossa 5 on kuvattu jatkuvatoimisen mittalaitteen hankintaan sisältyviä kustannuksia.

TAULUKKO 5. Arvio jatkuvatoimisen mittalaitteen VE3 kustannuksista

Kustannuserä	Kustannus, t€
Laitteiston hinta	150
Suunnittelu	30
Asennus	20
Projektijohto	20
Asennusvalvonta	5
Muut arvaamattomat	25
Yhteensä	250

11 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä työssä jatkotarkasteluun valittu mittalaite VE3 olisi hyvä investointi tuotantotehokkuuden ja asiakastyytyväisyyden parantamiseksi Boliden Kokkolalle sekä helpottamaan työntekijöiden seostamista. Esimerkiksi laboratorion kipinähuollot, jotka saattavat kestää pisimmillään jopa yli 30 minuuttia, saattavat aiheuttaa useamman analyysisuden, koska silloin ei saada laboratoriolta tietoa senhetkisistä pitoisuuksista. Tällöin on hyvin vaikeaa hallita seostamista, kun ei tiedä seosuunin sisältämää alumiinimäärää. Usein varsinkin tarkkojen laatuojen kohdalla kipinähuollon päättyessä, kun lopulta saadaan tieto alumiinipitoisuudesta, saattaa se olla pahimmassa tapauksessa jo yli tai alle sallittujen rajojen.

Laitteen avulla kyettäisiin mahdollisesti vähentämään jonkin verran analyysisusien määrää vuosituotannossa, mikä parantaisi hieman tuotantotehokkuutta, mutta ei toisi kuitenkaan taloudellisesti merkittävää hyötyä. Laboratorionäytteistä ei jatkuvatoimisen mittalaitteen myötä kuitenkaan voisi luopua ja näin ollen se tulisi toimimaan vain laboratorion ohella laadun valvonnassa. Laitteen käyttö voisi tuoda Boliden Kokkolalle imagollista hyötyä asiakasnäkökulmasta, johtuen kemiallisen laadun jatkuvatoimisesta analysoinnista. Tuotteiden korkea laatu sekä asiakastyytyväisyys on BKO:lle erittäin tärkeä asia, joka vaikuttaa suoraan tehtaan maineeseen sekä luotettavuuteen ja siitä asiasta on pidettävä kiinni.

12 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli tarkastella markkinoilla olevia vaihtoehtoisia laitteita, jotka soveltuisivat Boliden Kokkola Oy:n valimolle mittaamaan reaaliaikaisesti seostuotteiden alumiinipitoisuutta. Työssä käytiin läpi markkinoilla olevat tarkoitukseen soveltuvat laitteet ja selvitettiin laitteen mahdolliset sijoitusvaihtoehdot valimolla. Tärkeää oli selvittää, että laitteen mittaustarkkuus on riittävä seostuotteiden alumiinille asetettuja pitoisuusrajojen mittaamiseen sekä soveltuvuus raskaan teollisuuden vaativiin olosuhteisiin.

Markkinoilta löytyi kolme eri laitetta, jotka otettiin tarkempaan tarkasteluun laitteen ominaisuuksien arvioimiseksi. Selvitysten perusteella todettiin, että tarkasteltavista vaihtoehdoista yksi mittalaite (VE3) näyttäisi soveltuvan Bolidenin tarpeisiin ja se valittiin tämän johdosta jatkotarkasteluun. Jatkotarkasteluun valittu mittalaite oli vaihtoehdoista myös ainoa laite, josta löytyi luotettavaa referenssidataa sinkkiteollisuuden käyttökohteissa. Kun laite oli valittu, järjestettiin laitetoimittajan kanssa videoneuvottelu, jossa saatiin lisätietoja laitteen toimivuudesta sekä toimitus- ja huoltoehdoista.

Laitteen sijoittamista valimolla arvioitiin siten, että näyte voidaan ottaa mahdollisimman häiriöttömästi ja luotettavasti. Sijoitusvaihtoehtoina tarkasteltiin sulan sinkin valuränniä sekä pataa, johon sula sinkki valuu. Pataa pidettiin parempana vaihtoehtona, koska rännissä tapahtuu mittausta mahdollisesti häiritsevää virtausta. Myös padassa tapahtuu nousevaa ja laskevaa liikettä, minkä johdosta lopullinen sijoitus tulee vielä tarkemmin arvioida, mikäli laite päätetään hankkia.

Lopuksi arvioitiin jatkuvatoimisen mittalaitteen tuomia hyötyjä nyky menetelmään verrattuna sekä arvioitiin hankintaan liittyviä kustannuksia. Todettiin, että uudella mittalaitteella ei olisi saavutettavissa merkittävää kustannussäästöä nyky menetelmään verrattuna, mutta se helpottaisi seostamista ja toisi asiakkaalle nykyistä paremman varmuuden tuotteen laadusta. Myös tuotannon tehokkuudessa olisi saavutettavissa hyötyä, koska laite voisi vähentää analyysien perusteella syntyvien hylättyjen tuotteiden määrää. Näin olisi saavutettavissa myös vähäisiä kustannussäästöjä.

LÄHTEET

- Mittalaite VE1 2016. Limca III. Liquid Metal Cleanliness Analyzer. Saatavilla: <https://library.e.abb.com/public/1623b4b907a8414eb4224941d205056d/OI-LiMCAIII-EN_Rev_A.pdf>. Viitattu 15.12.2018.
- Mittalaite VE2 Molten Aluminum Analyzer. Saatavilla: <<https://almexusa.com/products/z-met-analyzer/>>. Viitattu 15.12.2018.
- APPLIED SPECTRA. Liu H.C. – Mao S.S. – Mao X.L. – Russo R.E. – Yoo J.H. 1999. What is LIBS. Saatavilla: <<https://appliedspectra.com/technology/lib.html>>. Viitattu 24.3.2018.
- Boliden Kokkola 2017. Rikasteesta metalliksi – sinkin tuotantoprosessi. Power-point-diat. Saatu yritykseltä Boliden Kokkola 3.1.2020.
- Boliden Kokkola 2018. Boliden Kokkola. Euroopan toiseksi suurin sinkkitehdas. Saatavilla: <<https://www.boliden.com/fi/operations/smelters/boliden-kokkola>>. Viitattu 10.2.2018.
- Duchesne Bamber O., Harju J., Jungar M. & Lassi A. 2018. Galvalibs-laite. Videopalaveri: 4.6.2018.
- McMillan, N. 2018. Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS). New Mexico State University. Saatavilla: <https://serc.carleton.edu/msu_nanotech/methods/lib.html>. Viitattu 9.12.2018.
- Rantala, Timo 2011. Boliden Kokkola oy. Käyttöohje Al-seosvalu ja puhtaan valu 1-2 ja Ni-seosvalu 3. Sisäinen tiedonanto. Viitattu 24.11.2018.
- Mittalaite VE3 esittely. Advanced bath management made easy. Saatavilla: <<https://www.tecnar.com/wp-content/themes/tecnar-oz/pdf/Brochure-Galvalibs2-EN.pdf>>. Viitattu 20.10.2018.
- Mittalaite VE3 2017. The self-calibrating pot chemistry LIBS sensor. Saatavilla: <<http://www.tecnar.com/the-self-calibrating-pot-chemistry-lib-sensor/>>. Viitattu 12.10.2018.
- Mittalaite VE3 2018. Real-tune molten metal sensor for monitoring galvanization process. Power-point-diat. Saatu yritykseltä Tecnar 3.7.2018.

LIITE 1.

Kysymys 1.

Uskotteko että tuotteenne olisi ratkaisu aikaisemmin esittämäämme tarpeeseen ja että laite voisi toimia raskaan teollisuuden vaativissa olosuhteissa kuten Bolidenin sinkkivalimolla?

Vastaus:

Olettaen, että seosaineiden pitoisuus on vastaava kuin sinkitysteollisuudessa yleensä, uskomme, että anturi on hyvin soveltuva tarpeisiinne. Laite ja sen anturi on myös suunniteltu toimimaan vaikeimmassa teollisessa ympäristössä. Todennäköisesti anturi soveltuu hyvin sinkinvalimossa vallitseviin olosuhteisiin

Kysymys 2.

Oletteko tarjonneet täysin varustettuja analysointijärjestelmiä Suomeen tai tehtaaseen, jolla on vastaavat tarpeet kuin Bolidenilla ja voisitteko ehdottaa jotain yritystä, jolta olisi mahdollisuus tiedustella käyttäjäkokemuksia

Vastaus:

Mittalaitteita on asennettuna sinkityslinjoille maailmanlaajuisesti yli 30. Suomeen laitetta ei ole vielä toimitettu, mutta Euroopassa on muutamia käyttäjiä. Laitetta on toimitettu esimerkiksi seuraaville tuotantolaitoksille: Segal – Liege, Belgia, Tata zodiac – Iso Britannia, Voest Alpine – Itävalta (5 laitetta) sekä Kimab – Tukholma, Ruotsi.

Kysymys 3.

Tarjoatteko laitteiston myös ns. valmiina toimituksena siten, että se laite on asennuksen jälkeen valmis käyttöönottettavaksi?

Vastaus:

Kyllä, tarjoamme täyden palvelun ”avaimet käteen” – ratkaisun.

Kysymys 4.

Tarjoaako toimittaja laitteen asennuksen ainoastaan asennettuna vai onko myös mahdollista, että Bolidenin oma automaatioryhmä kykenee tekemään asennuksen?

Vastaus:

Käyttöönoton ja toiminnanohjauksen suorittaa laitetoimittajan asiantuntija.

Kysymys 5.

Mikä on käyttövalmiin järjestelmän arvioitu hinta?

Vastaus:

Järjestelmän hinta, joka sisältää myös kalibrointiyksikön, on 170 000 \$ (noin 200 000 €)

Kysymys 6.

Onko laitteelle olemassa huoltopalvelua Suomessa?

Vastaus:

Suomessa ei ole huoltopalvelua saatavilla. Laitetoimittajan huoltoryhmä sijaitsee ST-Brunon toimistolla lähellä Montrealia Kanadassa.

Kysymys 7.

Millaista takuuta laitteelle tarjotaan?

Vastaus:

Kaikkien Eurooppaan toimitettavien järjestelmien takuu-aika on 2 vuotta