

KULMAPALAN KEHITTÄMINEN

Outokumpu Oy

Janne-Tapani Juopperi

Opinnäytetyö

Konetekniikka
Insinööri (AMK)

2024

Konetekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Janne-Tapani Juopperi	Vuosi	2024
Ohjaaja(t)	DI Raimo Ruoppa DI Jukka Joutsenvaara		
Toimeksiantaja	Outokumpu Stainless Oy		
Työn nimi	Kulmapalan kehittäminen		
Sivumäärä	31 + 1		

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli vähentää tai poistaa kulmapalan ottoa Outokumpu Oy:n terässulatolla, sillä kulmapalan otto lisää työvaiheita, jotka heikentävät työturvallisuutta ja pidentävät aihoiden läpimenoaikoja. Työssä tutkittiin kulmapalapyyntöjen tarpeellisuutta ja kehitettiin keinoja niiden vähentämiseksi.

Tutkimuksessa analysoitiin Outokummun prosessiautomaation 2-tason Intermix-dataa, erityisesti kulmapalapyyntöjen määrää ja tarpeellisuutta eri sekoitusasteiden osalta. Menetelmiin kuului datan suodatus ja analyysi sekä prosessinhoitajien kanssa tehty yhteistyö käytännön tarpeiden ymmärtämiseksi.

Tulokseksi saatiin, että suurin osa kulmapalapyynnöistä oli tarpeettomia. Erityisesti havaittiin, että tilanteet, joissa sekoitusaste ei ollut ehtinyt muodostua tai oli liian suuri, johtivat turhiin kulmapalanottoihin.

Johtopäätöksenä on, että kulmapalan otton prosessia voidaan tehostaa tarkentamalla sekoitusasteiden analysointia ja varmistamalla aihionumeron muutokset. Vaikka tutkimus ei täysin poistanut kulmapalan ottoa, se tarjoaa pohjan prosessin kehittämiseksi. Turhien kulmapalapyyntöjen vähentäminen parantaisi sekä työturvallisuutta että prosessin tehokkuutta.

Avainsanat kulmapala, työturvallisuus, sekoitusaihiö, analyysitulös, koostumus

Mechanical Engineering
Bachelor of Engineering

Author	Janne-Tapani Juopperi	Year	2024
Supervisor(s)	Raimo Ruoppa, MSc Jukka Joutsenvaara, MSc		
Commissioned by	Outokumpu Stainless Oy		
Title	Development of corner sampling		
Number of pages	31 + 1		

The objective of this thesis was to reduce or eliminate corner piece removal at Outokumpu Oy's steel plant, as this procedure introduces unnecessary steps, compromises occupational safety, and extends billet processing times. The study investigated the necessity of corner piece requests and developed methods to minimize them.

The research focused on analyzing Outokumpu's level 2 process automation In-termix data, specifically examining the frequency and necessity of corner piece requests at various mixing levels. The methods included data filtering and analysis, combined with close collaboration with process operators to understand practical needs.

The results showed that most corner piece requests were unnecessary. Situations where the mixing level had not yet stabilized or was excessively high were found to result in avoidable corner piece removals.

The study concludes that the corner piece removal process can be optimized by improving the analysis of mixing levels and ensuring accuracy in billet number changes. While the research did not eliminate corner piece removal, it provides a strong foundation for further process improvements. Reducing unnecessary corner piece requests would enhance both occupational safety and process efficiency.

Keywords corner sample, workplace safety, blending billet, composition, analysis result

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	OUTOKUMPU OYJ	7
2.1	Outokumpu Tornio Works	8
2.2	Jaloterässulatto	9
2.3	Jatkuvavalukone	10
2.4	Aihiohiomo	12
3	TYÖTURVALLISUUS	15
3.1	Työturvallisuus Outokummulla	15
3.2	Työturvallisuus JTSU	16
4	KULMAPALA	17
4.1	Kulmapala sapluuna	18
4.2	Sekoitusaihion laadun varmentaminen kulmapalalla	19
4.3	Kulmapalan otto	19
5	MENETELMÄT JA TYÖSSÄ KÄYTETTY AINEISTO	21
6	TULOKSET	23
7	POHDINTA	28
	LÄHTEET	30
	LIITTEET	31

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

AOD	Argon-Oxygen-Decarburization
VKU	Valokaariuuni
HK	Hiomakone
JTSU	Jaloterässulatto
SA	Senkka-asema
CRK	Kromikonvertteri
CG	Vähäpäästöinen sulatus (Circle Green)

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on selvittää mahdollisuuksia vähentää kulmapalojen ottoa Outokumpu Stainless Oy:n, Tornion tehtaiden terässulaton aihiohiomossa. Syy miksi kulmapaloja halutaan vähentää tai poistaa on se, että työturvallisuus paranee ja aihoiden läpimenoaika paranee tuotannossa. Myös laboratorion työkuorma vähenee.

Työssä keskitytään erityisesti 2-tason Intermixin tuottaman datan analysointiin, jossa käytetään 0,2 metrin tiheyttä aihiodatassa. Tämä analysointitiheys on valittu, koska se tarjoaa riittävän tarkkuuden ja luotettavuuden analysoinnissa.

Opinnäytetyö on rajattu koskemaan terässulaton linjaa 2, sillä tutkimusjakson aikana linjalta 1 saatujen kulmapalojen data oli rajallista. Tämä rajausta mahdollistaa keskittymisen linjaan, jossa kulmapalojen määrä on analyysin kannalta merkittävä ja tarjoaa paremman pohjan työn tavoitteille.

Opinnäytetyötä on rajattu myös siten, että CG-sulia eli vähäpäästöiset teräslaudut eivät ole mukana analysoinnissa. Syy tälle on, että sulatuksen CO₂ pitoisuutta ei voida analysoida kulmapalasta.

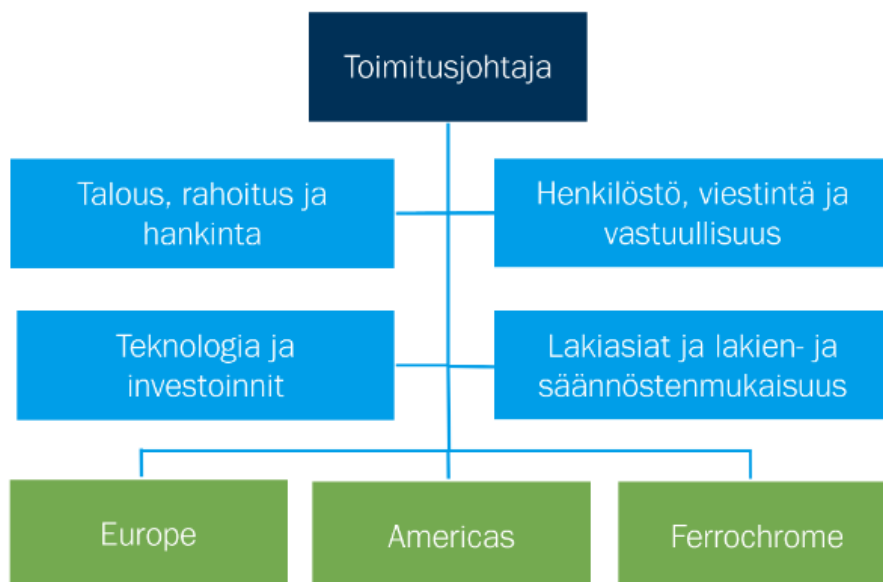
Työn päätarkoituksena on arvioida, onko Outokummulla käytettävissä riittävästi dataa kulmapalojen poistamisen tueksi. Mikäli täydellinen poistaminen ei ole mahdollista, työssä selvitetään, kuinka paljon kulmapaloja voidaan vähentää.

2 OUTOKUMPU OYJ

Outokumpu Oyj on globaali pörssiyhtiö ruostumattomassa metalliteollisuudessa ja se toimii nykyisin 30 eri maassa ja työntekijöitä on yli 10 000. Outokummun pääkonttori sijaitsee Helsingissä. Outokumpu harjoittaa Meri-Lapin alueella tehdastyönsä lisäksi myös kaivostoimintaa. Outokumpu on nykyään ruostumattoman teräksen markkinajohtaja maailmassa eli johtaja Euroopassa Stainless puolella ja maailmassa Advanced materials puolella. Ruostumaton teräs on luja materiaali, kierrätettävä ja myös ympäristöystävällinen ja se on suunniteltu kestämaan pitkään, ellei jopa ikuisesti. (Outokumpu 2024a.)

Outokumpu jakautuu kolmeen liiketoiminta-alueeseen. Nämä kyseiset alueet ovat nimeltään Americas, Europe ja Ferrochrome. Liiketoiminta-alueet on jaettu siten, että Europe ja Americas vastaavat nauha- ja levytuotteiden myynnistä ja tuotannosta omilla markkina-alueillaan, kun taas Ferrochrome keskittyy kromin ja ferrokromin myyntiin ja tuotantoon. Tämänhetkinen toimitusjohtaja Outokummulla on Kati ter Horst. Outokummun organisaatiokaavio on esitetty kuviossa 1. (Outokumpu 2024a.)

Organisaatio



Kuvio 1. Outokumpu Oyj:n organisaatiokaavio (Outokumpu 2024a.)

Outokummulla on tehtaita ympäri maailmaa, jotka valmistavat ruostumatonta terästä. Tornion toimipaikan lisäksi tehtaita on Ruotsissa, Saksassa, Iso-Britanniassa, Yhdysvalloissa ja Meksikossa. Outokumpu omistaa myös Kemissä sijaitsevan kromikaivoksen. (Outokumpu 2024a.)

2.1 Outokumpu Tornio Works

Tornion terästehdas muodostaa suurimman yhtenäisen ruostumattoman teräksen tuotantoketjun maailmassa. Tornion toimipisteessä on kaikki ruostumattoman teräksen valmistukseen tarvittavat tuotantopisteet. Toisin sanoen tehdasalueelta löytyy ferrokromitehdas, jaloterässulatto, kuumavalssaamo ja kylmävalssaamot. Tehtaalla käytettävä kromi pääasiassa tulee Elijärveltä, Kemin kaivokselta, joka kuuluu Tornion integroituun tuotantolaitokseen. Tornion terästehtaalla on yhteensä noin 2300 työntekijää, kaivos mukaan lukien. Tornion tehtaalla ruostumattoman teräksen tuotannonjohtaja on Niklas Wass. Niklas Wass vastaa Euroopan tuotannosta, Torniossa Stainlessin puolen johtaja on Juha Vatanen. Ferrokromiliiketoiminnan johtaja on Martti Sassi ja hänen vastualueeseensa kuuluu ferrokromin lisäksi myös Kemin kaivos. (Outokumpu 2024b.)



Kuvio 2. Tornion tehdasalue ilmakuvaattuna (YBT Oy 2024)

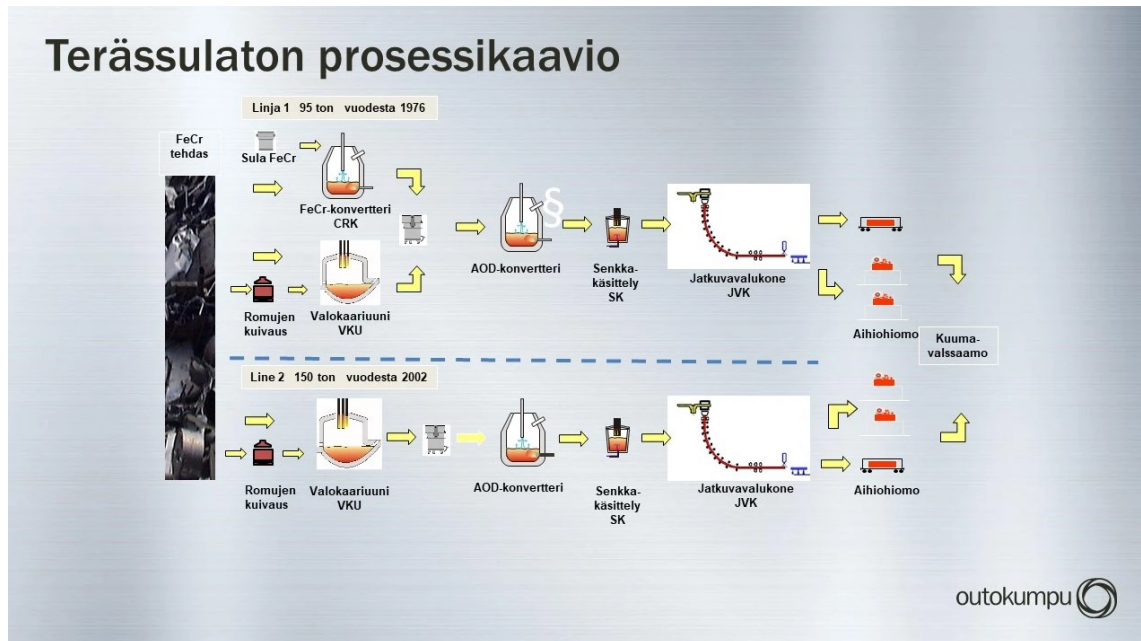
Kemissä vuonna 1959 löydettiin ensimmäinen kromimalmiesiintymä. Kemin kaivos perustettiin vuonna 1968 ja samana vuonna Tornion terästehtaan ensimmäinen ferrokromitehdas aloitti toimintansa. Terästehdasta suunniteltiin alun perin Poriin, mutta päädyttiin Tornioon ferrokromitehtaan sekä läheisen Kemin kaivoksen myötä. Tornion terästehtaalla tehtiin ensimmäinen sulatus vuonna 1976 jaloterässulaton linjalla 1. (Outokumpu 2024b.)

Tornion tuotantoketju terästehtaissa lähtee Kemin kaivokselta, jossa louhitaan kromia. Kromi kuljetetaan Kemistä Tornion ferrokromitehtaalle ja siellä louhittu kromi sulatetaan kromisulaksi. Ferrokromitehdas muodostuu kolmesta ferrokromiuunista. Jaloterässulatolla on kaksi linjaa, joista toisella voidaan hyödyntää ferrokromitehtaalta tullutta ferrokromisulaa. Jaloterässulatolla sula teräs valetaan aihioiksi ja suurin osa näistä aihioista menee kuumavalssaamolle valssattavaksi. Kuumavalssaamalla aihioista valssataan kuumanauhoja, joista suurin osa lähetetään kylmävalssaamolle, missä ne valssataan vielä ohuemmiksi nauhoiksi. Kylmävalssaamalla voidaan myös vaikuttaa teräksen mekaanisiin ominaisuuksiin. (Outokumpu 2024a.)

2.2 Jaloterässulatto

Outokummun Tornion tehtaalla jaloterässulatolla on kaksi tuotantolinjaa, joiden tuotantokapasiteetti on noin 1,6 miljoonaa tonnia vuodessa. Tuotantolinjojen kutsumanimet ovat linja 1 ja linja 2. Jaloterässulaton linja 1 aloitti toimintansa vuonna 1976, kun taas linja 2 ensimmäinen sulatus tehtiin vuonna 2002. Molemmilla linjoilla valmistetaan aihioita kierrätysteräksestä, johon lisätään prosessin aikana erinäisiä seosaineita. (Outokumpu 2024a.)

Molemmat tuotantolinjat jaloterässulatolla koostuvat viidestä eri prosessipaikasta. Prosessipaikat ovat: valokaariuuni (VKU, AOD-konvertteri (AOD), senkka-asema (SA), jatkuvavalukone (JVK) ja aihiohiomo (Linjalla 1 myös CRK eli kromikonvertteri). Molemmat linjat syöttävät aihioita aihiohiomoon hiottavaksi, mutta suurin osa aihioista menee hiomatta kuumavalssaamolle ja kaikista aihioista hiotaan noin 30%. Linja 1 käyttää kromin lisäämiseen tuotannossa kromisulaa, kun taas linjalle 2 sulaan seostetaan kromipalana. Jaloterässulaton tuotantokaavio on esitetty kuviossa 3. (Outokumpu 2024b.)



Kuvio 3. Jaloterässulaton prosessikaavio (Outokumpu 2024b.)

2.3 Jatkuvavalukone

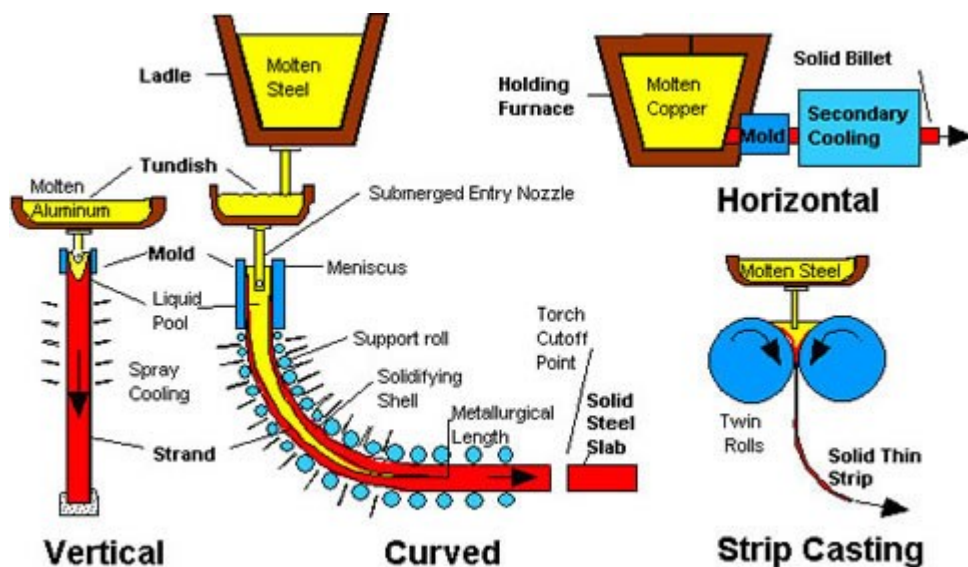
Valukoneen peruseriaate perustuu siihen, että sula teräs tai muu metalli johdetaan muottiin, jossa se kiinteytyy ja saa halutun muodon. Jatkuvavalukoneissa metalli valetaan jatkuvana nauhana, ja se kulkee muotissa, jossa se jäähtyy ja kiinteytyy asteittain. Kun valurata on kiinteytynyt riittävästi, se voidaan irrottaa koneesta ja siirtää eteenpäin jatkokäsittelyä varten. (Louhenkilpi 2014, s. 373–434.)

Jatkuvavalukoneita on erilaisia, ja niiden rakenne ja toimintaperiaate vaihtelevat sen mukaan, kuinka valurataa käsitellään muotissa. Yksinkertaisimmillaan käytetään pystysuoria koneita, joissa valurata kulkee suoraan alas muotista. Tämä on perinteinen ja varsin suoraviivainen rakenne, jossa ei ole tarpeen taivuttaa tai suoristaa valurataa. Pystysuorien koneiden etu on yksinkertaisuus ja tilatehokkuus, mutta niiden haittapuoli on se, että valuradan pituus on rajoitettu, mikä vaikuttaa valunopeuteen ja siten tuotantonopeuteen. Tällöin tuotantokapasiteetti on rajoitettu, ja koneen korkeuden lisääntyminen voi johtaa valuradan pullistumiseen, mikä puolestaan voi aiheuttaa laatuongelmia kuten halkeamia ja epäyhtenäisyyksiä. (Louhenkilpi 2014, s. 373–434.)

Kehityksen myötä taivutettuja ja kaarimaisia koneita on alettu käyttää, sillä ne tarjoavat useita etuja verrattuna perinteisiin pystysuoriin koneisiin. Kaarikoneissa

valurata kulkee kaarevassa muotissa, joka ohjaa valurataa ja mahdollistaa suurempia tuotantokapasiteetteja. Kaarikoneiden etu on se, että ne voivat suoriutua suuremmilla nopeuksilla ja mahdollistaa paremman tuottavuuden. Kaarimallissa valurata voidaan suoristaa sen kiinteytymisen jälkeen, mutta on myös olemassa rakenteita, joissa suoristus tapahtuu valuradan ollessa vielä osittain nestemäistä. Usean vaiheen suoristus ja taivutus voivat vähentää valurataan kohdistuvia mekaanisia jännityksiä, mikä puolestaan pienentää valuradan halkeilun ja muiden vikojen riskiä. (Louhenkilpi 2014, s. 373–434.)

Yksi tärkeimmistä on epämetallisten sulkeumien poistaminen sulasta teräksestä. Jatkuvavaluprosessissa sulkeumat, joiden tiheys on pienempi kuin teräksen, voivat kellua ylöspäin kohti valuradan pintaa eli nestepinta. Pystysuorissa ja pystysuorassa taivutuksessa varustetuissa koneissa sulkeumat voivat nousta helpommin nestepinnalle, koska valurata ei ole yhtä taipunut kuin kaarikoneissa, joissa sulkeumat voivat jäädä kiinni valuradan sisäkaarteeseen pintaan. Näin ollen pystysuorat ja pystysuorassa taivutuksessa olevat koneet voivat tarjota edun puhtaan teräksen valmistuksessa, koska sulkeumat poistuvat tehokkaammin. (Louhenkilpi 2014, s. 373–434.)



Kuvio 4. Jatkuvavalukoneen toimintaperiaate (CCC 2024)

Valuprosessi alkaa sulatolla, jossa raaka-aineet sulatetaan ja teräs sekoitetaan halutun koostumuksen saavuttamiseksi. Sulanut teräs siirretään senkkaan, joka toimii välivarastona ja tasaa metallin koostumusta. Senkasta aukaistaan liukusuljin ja teräs valuu välialtaaseen suihkusuojaputkea pitkin. Välialtaasta sula valuu

valuputkea pitkin kokilliin. Tätä prosessia kutsutaan jatkuvavaluksi, ja sen avulla muodostuu esimerkiksi sekoitusaihio. Sulatusprosessien välissä voi syntyä myös aihioita, jotka eivät täytä laadullisia vaatimuksia ja jotka kierrätetään takaisin prosessiin. (Outokumpu 2024b.)

Tärkeää on kuitenkin muistaa, että koneen rakenne on vain yksi tekijä teräksen puhtauteen ja laatuun vaikuttavista tekijöistä. Valukoneiden kehityksessä on otettu huomioon myös Near Net Shape Casting (NNSC) -menetelmät, joiden tavoitteena on valaa tuotteita mahdollisimman lähelle lopullista muotoa ja kokoa, jotta jälkikäsittelyn, kuten kuuma- ja kylmävalssauksen, tarve vähenee tai jopa poistuu. NNSC-menetelmät, kuten ohuen levyn valaminen ja nauhavalaminen, voivat säästää merkittävästi energiaa ja materiaalia verrattuna perinteisiin jatkuvavaluprosesseihin. (Louhenkilpi 2014, s. 373–434.)

2.4 Aihiohiomo

JTSU aihiohiomo koostuu neljästä eri hiomakoneesta, jotka työstävät valettujen aihoiden pintavikoja ennen niiden siirtymistä kuumavalssaamolle. Käytössä oleva vanhin kone on HK3 ja se on valmistettu vuonna 1978. Aihiohiomossa oli myös hiomakoneet 1 ja 2, mutta ne on poistettu käytöstä vuosina 2002 ja 2018.



Kuvio 5. Hiomakone 3 (Outokumpu Oy)

HK4 ja 5 on rakennettu jaloterässulaton linjan 2 yhteydessä vuonna 2002. Hiomakoneisiin kuuluu aihion siirtolaitteistot, rullaradat ja nosturit aihoiden siirtämistä ja pinoamista varten. Hiomakoneet 4 ja 5 ovat automaattisia eli näitä ohjataan valvomosta operaattorien toimesta. Hiomakoneilla teräsaiho voidaan hioa joko yksittäin tai sarjana. Toinen koneista työstää sisäkaaren ja toinen ulkokaaren. (Outokumpu 2024c.)



Kuvio 6. Kuumahiomakoneet 4–5 (Outokumpu 2024 c.)

Uusin hiomakone (HK6) on kuumahiomakone ja se on rakennettu terästen tuotannon kasvamisen myötä ja linjan 1 loppupään modernisoinnin yhteydessä. Hiomakone on rakennettu JVK1:n ja kuumavalssaamon väliin prosessoimaan pääsääntöisesti linjalta 1 tulevia aihioita. HK6 on nimensä mukaan kuumahiomakone, mikä tarkoittaa, että ahiot jotka tulevat hiontaan voivat olla kuumia. Jos syystä tai toisesta aihio ei pääse suoraan hiontaan, niin samaisen laajennuksen myötä JVK1:n alakertaan rakennettiin uusi alaohjaamo, jonka yhteydessä sijaitsee myös aihiovaraston käsittely. Osa ferriittisistä ja kaikki martensiittiset teräslajit ovat aihioina rakenteen takia huoneen lämpötilassa hauraita, jonka vuoksi ne pitää toimittaa kuumavalssaamolle kuumina tai lämpiminä ja näin ollen myös hionta pitää tehdä aihion ollessa vielä kuuma. Alaohjaamon yhteyteen rakennettiin kuumana hiottaville aihioille olennainen kuumakuoppa, mihin voidaan varastoida aihioita kuumahiontaa varten. (Outokumpu 2024c.)

Aihoiden hionnan jälkeen teräsaihiot kuskataan pääsääntöisesti jatkoprosessoitavaksi kuumavalssaamolle Jeppe-junan toimesta. Häiriötilanteessa vaihtoehtoisesti aihion toimitus voidaan tehdä siirtämällä aihio manuaalinosturilla linjan 1. rullaradoille ja sitä kautta sivusiirtolaitteistolla jatkoprosessiin. (Outokumpu 2024c.)



Kuvio 7. Kuumahioma 6 (Outokumpu 2024 c.)

3 TYÖTURVALLISUUS

Työnantajalla on yleinen velvollisuus huolehtia työntekijöidensä hyvinvoinnista. Työturvallisuuslain 8. pykälän mukaan työnantajan on varmistettava työntekijöiden terveys ja turvallisuus työympäristössä. Tämä tarkoittaa, että työnantajan on otettava huomioon työolosuhteet, työn luonne ja ympäristö sekä työntekijöiden henkilökohtaiset tarpeet. On erityisen tärkeää, että työntekijöiden yksilölliset ominaisuudet huomioidaan, jotta voidaan toteuttaa tarvittavia työsuojelutoimenpiteitä, jotka takaavat työntekijöiden turvallisuuden ja terveyden. (Työturvallisuuslaki 23.8.2002/738.)

3.1 Työturvallisuus Outokummulla

Työturvallisuus Outokummulla on tärkeä osa. Tavoitteena on estää Tornion Outokummun henkilöstön loukkaantumista tai vaaroille altistumista työaikana. Outokummulla on käytännössä turvallisuusperiaatteita, joita kaikki noudattavat. Turvallisuusperiaatteet ovat:

”Turvallisuus alkaa minusta: meistä jokainen on vastuussa omasta turvallisuudestaan ja huolehtii kollegoiden turvallisuudesta.”

”Turvallisuus ennen tonneja: turvallisuus on tärkeämpää kuin mikään muu, mukaan lukien tuotanto.”

”Ei oikoteitä: noudatamme yhdessä sovittuja menettelytapoja ja arvioimme riskit ennen kuin toimimme”

”Ei toistoa: tutkimme kaikki vaaratilanteet ja ryhdymme toimiin niiden toistumisen estämiseksi kaikkialla.” (Outokumpu 2024b.)

Outokummun tehtaalla ylläpidetään turvallisuutta jatkuvalla valvonnalla, säännöllisillä tarkastuskierroksilla, analysoimalla mahdollisia vikoja sekä raportoimalla vaara- ja häiriötilanteet. Valvomo- ja tuotantotiloissa on myös automaattiset paloilmoitus- ja sammutusjärjestelmät, joista hälytykset menevät aluevalvontaan missä on ympärivuorokautinen läsnäolo. (Outokumpu 2024b.)

3.2 Työturvallisuus JTSU

Terässulatolla on useita vaaroja, jotka liittyvät roiske- ja lämpösäteilyyn, mahdollisiin puhkeamisiin, räjähdysiin sekä säteilylähteisiin. Roiskeet aiheuttavat palovammoja ja lämpösäteily voi vahingoittaa ihoa ja silmiä. Tämän takia Outokummulla on erityisen tarkat määräykset suojavaatetuksesta prosessipaikoilla, missä käsitellään sulaa. Lattiatasolla liikkuesssa pitää katsella ympäriinsä mahdollisten nosturien ja nosturitaakkojen varalta. Taakan alta kävely on ehdottomasti kiellettyä. Säteilyvaaraa erityisesti kierrätysteräksen mukana tulevia säteilylähteitä on valvottava ja tietoa annetaan kriisikuulutuksilla, varoitusvaloilla ja kylteillä. Hengityssuojainten käyttö on pakollista tietyillä alueilla, koska työilmassa on haitallisia epäpuhtauksia. (Outokumpu 2024a.)

Valokaariuuneilla kierrätysteräksen sulatuksen aikana syntyvät voimakkaat magneettikentät ja jatkuvavalukone 1:en kaarella sijaitseva sähkömagneettinen sekoitin voi häiritä ihmisen kehoon asennettua sydämentahdistinta. Kuonajoneuvon käyttö tehdasalueella tuo mukanaan roiskevaaran. Kuonajoneuvoilla on etuajo-oikeus aina, koska ajoneuvot kuljettavat sulaa kuonaa ja ajoneuvon massa on suuri, minkä takia pysähtyminen on hidasta. Kuonankippauspaikalle meneminen on kielletty roiske- ja räjähdysvaaran vuoksi.

Varautuminen vaaratilanteisiin edellyttää jatkuvaa koulutusta, oikeanlaiset suojaruusteet, turvallisuustoimenpiteet ennen työn aloittamista, sekä työpaikan turvallisuusohjeiden ja – menettelyiden tiukkaa noudattamista. (Outokumpu 2024a.)



Kuvio 8. Terässulaton vaaratekijät (Outokumpu 2024a.)

4 KULMAPALA

Kulmapala on teräsaihiosta otettu näyte, jota käytetään sulatusten laadunvalvon-
nassa. Palan tarkoitus on tarkistaa teräksen laatu ja varmistaa, että se täyttää
teräslaadun koostumusvaatimukset. Kulmapalat lähetetään prosessipaikalta put-
kipostilla laboratorioon analysoitavaksi.

Palat merkataan tarkasti ja ne saavat näytenumerot, jotka kertovat, mistä osasta
aihiota ne on otettu. Analysoinnin jälkeen tekninen laadunvalvoja tarkistaa tulok-
set ja jos tulokset täyttävät koostumusvaatimukset, niin hyväksyntä siirtyy järjes-
telmään. Kulmapalat ovat keskeisiä laadunvalvonnassa, sillä ne auttavat tunnis-
tamaan aihion laadun/teräslajiin ja missä kohtaa sekoitusaihiota mahdollinen laa-
dun/lajin muutos on tapahtunut. Kulmapala myös varmistaa teräksen luotettavuus-
den ja turvallisuuden. (Outokumpu 2024 c.)



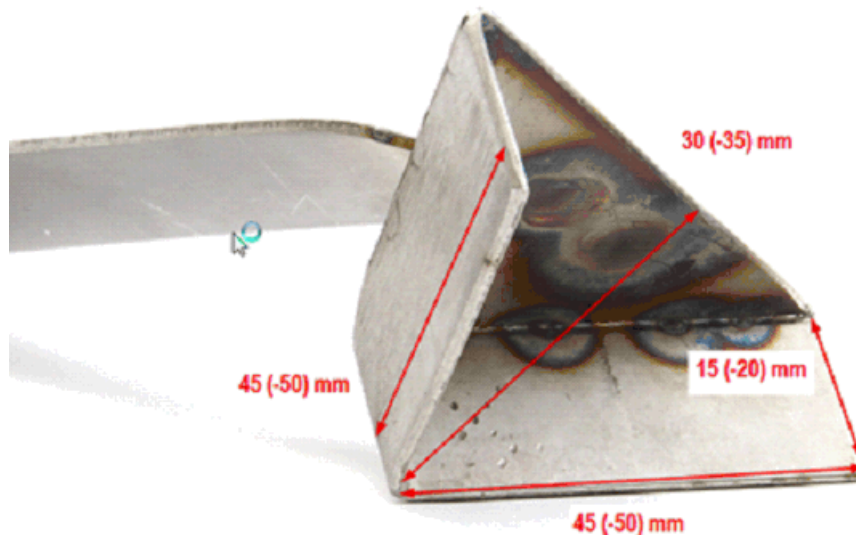
Kuvio 9. Kulmapalamuotti ja teräsaihio kulmapalan oton jälkeen

4.1 Kulmapala sapluuna

Vaatimukset kulmapalalle on kriittisiä, jotta näyte täyttää tarvittavat laboratoriokokeiden ja laadunvalvonnan tarpeet. Kulmapalalle on määritetty minimikoko, jotta se on turvallista hioa ja analysoida. Tarkoittaen, että näyte pitää olla tarpeeksi paksu ja leveä, jotta se täyttää analysointivaatimukset laboratoriossa.

Kulmapalan otossa käytetään sille kehitettyä sapluunaa (Kuvio 10.), joka auttaa kulmapalan ottajaa ottamaan oikean kokoisen kulmapalan teräsaihiosta. Myös kulmapalan on oltava otettu oikeasta kohtaa ahiota. Näytteenotossa käytetään merkintöjä, kuten tunnuksia A (alku) ja L (loppu), jotka kertovat, että mistä kohtaan teräsaihiota kulmapalanäyte on otettu.

Kulmapalanäytteiden lähetykseen liittyy myös erinäisiä vaatimuksia. Näytteet on lähetettävä yksittäin putkipostilla ja jokaisen näytteen on oltava asianmukaisesti kuitattu otetuksi ja lähetetyksi. Dokumentointi on tärkeää, että voidaan seurata näytteen käsittelyä ja estää mahdolliset epäselvyydet. (Outokumpu 2024c.)



Kuvio 10. Kulmapalanäytteen sapluuna (Outokumpu 2024 c.)

4.2 Sekoitusaihion laadun varmentaminen kulmapalalla

Sekoitusaihion koostumuksen tarkistus toimii analysoimalla kulmapaloja. Prosessi alkaa määrittelemällä, mitkä sulatukset tarvitsevat tarkastusta. Määrityksen tekee valukoneen prosessiautomaation ohjelma Intermix, joka lähettää tiedon Qmatoon tiedoksi tuotannolle. Qmato hoitaa aihion automaattisen pysäytyksen.

Analyysin tulokset verrataan aihion ennalta määriteltyihin laatuvaatimuksiin. Jos kulmapalan analyysi täyttää vaatimukset, aihio luonnollisesti hyväksytään käyttöön. Mikäli teräsaihiossa ilmenee poikkeuksia, voidaan suorittaa lisätoimenpiteitä, kuten tarkempia tarkastuksia tai uusia kulmapalojen ottoja, jotta varmistetaan aihion laatu ennen sen jatkoprosessointia. Jos aihio on todettu käyttökelvottomaksi, että se ei osu mihinkään teräslaatuun, aihio romutetaan ja prosessoidaan uusiksi. (Outokumpu 2024c.)

4.3 Kulmapalan otto

Kulmapalan otto on keskinäinen osa sekoitusaihion analyysituloksen saamista. Kulmapalan otto vaatii raskaan työkalun käyttöä. Tämä on haastavaa, kun otetaan huomioon välineen koko ja paino, jotka voivat ylittää pienempien henkilöiden voimavarat. Kun käytetään liian suuria työkaluja, voi syntyä vaara, että työkalu ei ole kunnolla hallinnassa ja tästä voi seurata työtaturma.



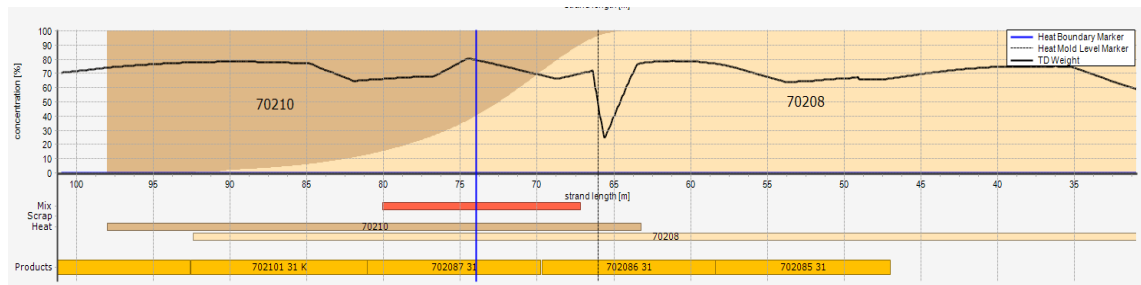
Kuvio 11. Kulmapalan ottamiseen käytettävä kulmahiomakone

Kulmapalan otto edellyttää myös epäergonomisia asentoja. Työntekijät saattavat joutua kumartumaan tai venymään hankaliin asentoihin, mikä aiheuttaa räsitusta selälle, niskalle ja käsille. Tällaiset asennot eivät vain vähennä työn tehokkuutta, vaan ne voi myös johtaa pitkäaikaisiin terveysvaivoihin.

5 MENETELMÄT JA TYÖSSÄ KÄYTETTY AINEISTO

Kulmapala-aihioiden tutkimus aloitettiin hankkimalla dataa Outokumpu Oy:n aihiotiedoista. Jatkuvavalukoneen prosessiautomaatio tallentaa dataa valupituuden funktiona. Alkuun tarkasteltiin dataa eri pituusväleillä tulosten kannalta riittävän tarkkuuden saavuttamiseksi. Tarkkuusvaihtoehtoina olivat 1 m, 0,5 m, 0,2 m ja 0,1 m. Tutkimuksessa päätettiin käyttää 0,2 metrin tarkkuutta, koska näin valitsemalla sekoittumisaste muuttuu noin 3 %, kun taas esimerkiksi valitsemalla tarkkuudeksi 0,5 metrin muutos olisi 6 %. Valinta tehtiin analysointitarkkuuden ja käytännön luotettavuuden kompromissina: 0,2 metriä tarjoaa riittävän tarkan kuvan sekoittumisesta ilman, että datasta tulisi liian tarkka analysoitavaksi.

Qmato on tuotannonohjausohjelmisto, jolla seurataan terässulaton tuotteiden läpimenoa ja laatua. Qmadon kautta sulaton työntekijät saavat tarvittavat tiedot tilatun teräslajin valmistamiseen ja seuraavat prosessivaiheet sekä tuotannon ja laadun ohjaus sulatolta valmistuneen aihion tiedot jatkoprosessointia varten.



Kuvio 12. Intermix 2-tason laskennan esimerkki

Intermix on järjestelmä, jota käytetään jatkuvavaluprosessissa teräksen kemiallisen koostumuksen hallintaan. Tämän järjestelmän avulla saadaan tarkkaa tietoa teräksen kemiallisesta analyysistä eri kohdissa valujuovaa. Intermix myös laskee sekoittuneiden teräksen alueiden laajuuden ja tunnistaa yhteensopimattomat osat valujuovassa, mikä parantaa teräksen laatua. (Primetals Technologies 2024.)

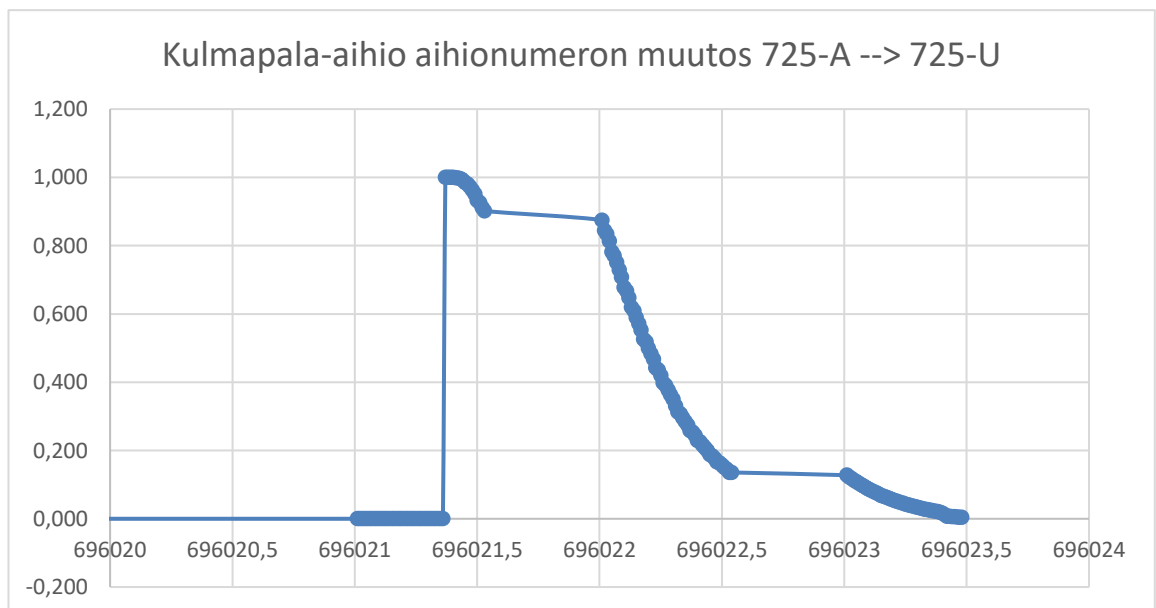
Intermixin prosessiautomaation datoista käytiin kulmapaloja läpi aikaväliltä 2.8-22.10.2024. Kulmapalapyyntöjä oli yhteensä 200 kappaletta joista 2. linjaa koskevia pyyntöjä oli 101 kappaletta ja loput 99 olivat linja 1. kulmapalapyyntöjä. Kyseiseltä aikaväliltä käsiteltiin jokainen kulmapalapyyntö.

Sekoitusaihio tarkoittaa tilannetta, jossa kaksi eri teräslaadua sekoittuu toisiinsa sulatuksen aikana. Näistä kahdesta teräslaadusta toinen on määritelty priorisoiduksi laaduksi, mikä tarkoittaa, että sen valmistaminen on yritykselle taloudellisesti kannattavampaa ja teräsaihio täyttää asiakasvaatimukset. Tästä syystä tuotantoprosessissa pyritään aina priorisoimaan kyseinen laatu, jotta tuotanto olisi mahdollisimman tehokasta ja kannattavaa.

6 TULOKSET

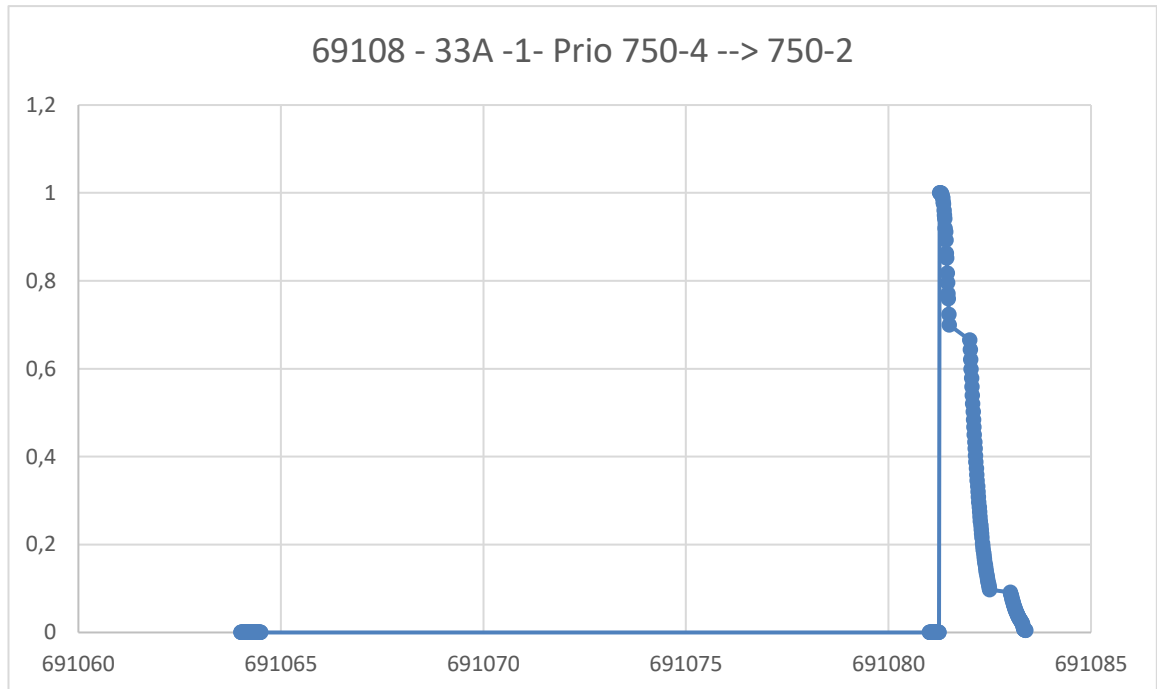
Tulokset käsittelevät Outokumpu Oy:n teräslaaturareja. Jokainen teräslaaturari on määritelty kemiallisen koostumuksen myötä ja jokaisella teräslaaturarilla on oma sekoitusaste, mikä riittää määrittämään tarpeellisuuden kulmapalalle ja myös määrittämään mikä sekoitusaste prosentteina on minimi, jotta voidaan todeta mitä teräslaatua kyseinen sula on. Teräslaaturareja ei yrityksen pyynnöstä sen enempää avata ja työssä käytetty Excel on salassa pidettävä tiedosto. Jokaisen kaavion X-akseli on kulmapala-aihion numero, johon on laitettu vain yksi 0 perään, jotta siitä saadaan kaavio tehtyä Excelissä. Myös X-akselissa oleva desimaalipilkun jälkeinen numero kertoo, monesko aihio on kyseessä valusekvenssissä. Y-akselissa on sen sijaan sekoitusaste 0–100 %.

Kuviosta 13 nähdään kuinka paljon sekoitusaihio on prosentuaalisesti tässä tapauksessa laatua 725-A ja joudutaanko se muuttamaan 725-U laatuun. Kaavio alkaa siitä, kun senkka aukaistaan prosessipaikalla ja sula alkaa muuttumaan sitä myöten paljonko sulaa on kerennyt siirtymään prosessissa eteenpäin. Korkea piikki, joka näkyy kaaviossa kertoo sen, että siinä kohdalla sula on saavuttanut kokillin ja se alkaa ajan myötä "laimenemaan" kun aukaistun senkan sula ja edellisen senkan sula sekoittuvat.



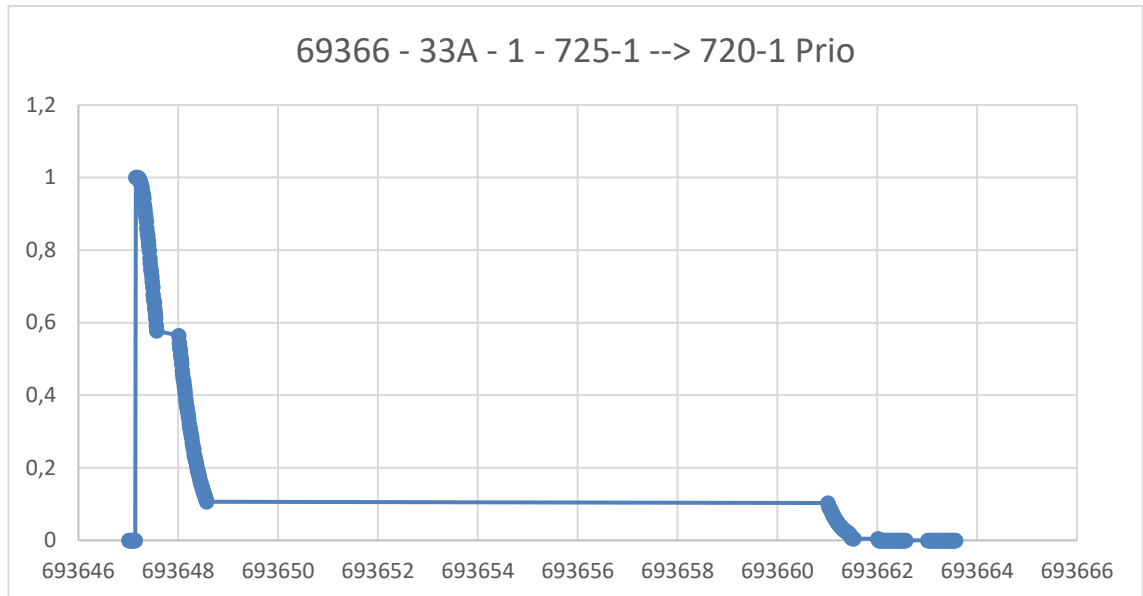
Kuvio 13. Sekoitusaihion 696021 data

Kyseiseen aihioon 725-A oli merkitty kulmapalapyyntö 34A joka tarkoittaa, että kulmapala pitää ottaa aihion alusta. Lisäyksenä kaaviosta näkee sen, että jokainen tasainen viiva vaakasuunnassa menevä tarkoittaa, että uusi aihio alkaa. Pystysuora kohta 0-100% kertoo Intermixin sekoituslaskennan aloituskohdan.



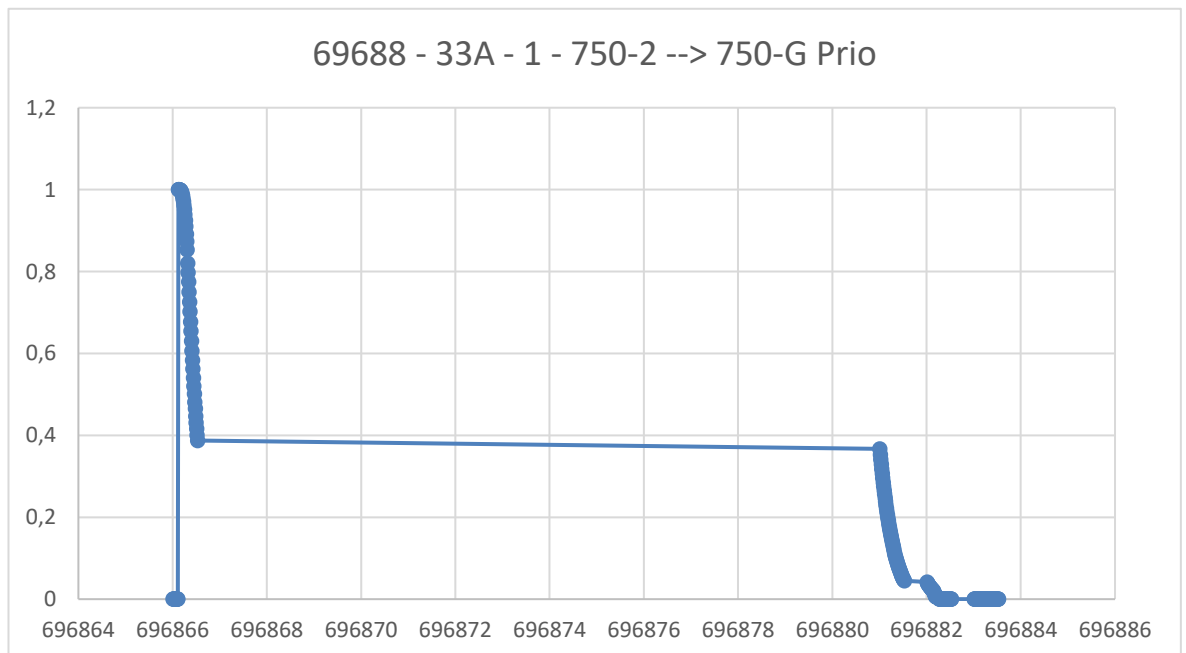
Kuvio 14. Sekoitusaihion 691081 data

Kuviossa 14 sulatuksen 69108 sekoitusaihion 691081 kulmapalapyyntö oli 33A ja valusekvenssin toinen sula. Kyseisessä kaaviossa mentiin laadusta 750–4 laatuun 750–2 ja prioriteettina on 750–4. Sekoitusaste on siis todella pieni, ellei jopa olematon. Kyseisiä tapauksia tälle aikavälille koko määrästä oli 47kpl eli 46,53%.



Kuvio 15. Sekoitusaihion 69366 data

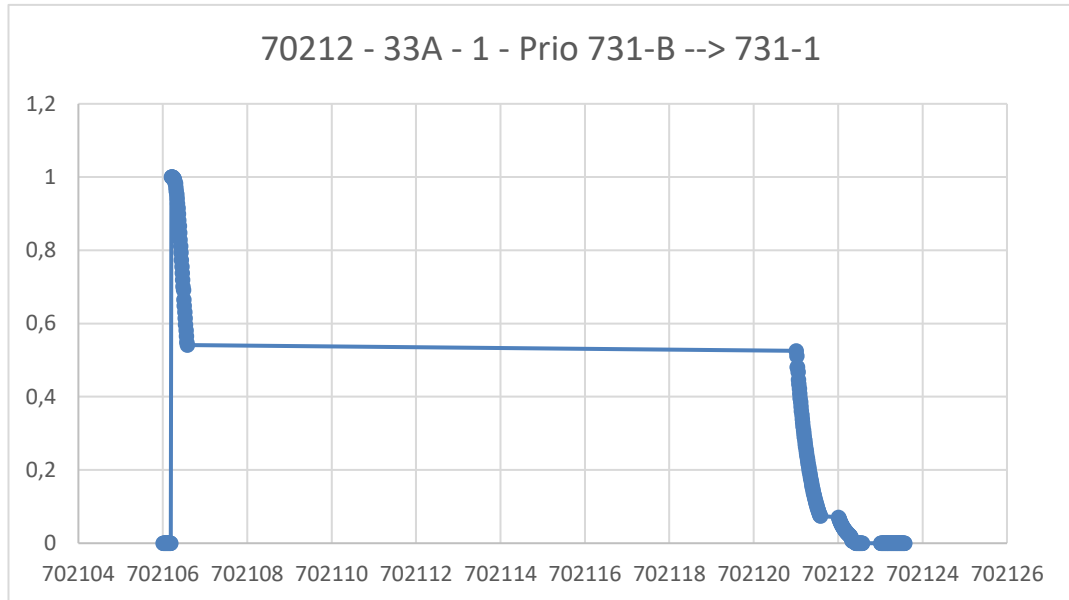
Kuviosta 15 nähdään datatutkimuksen toisen ääripään. Eli kulmapalapyyntö on tehty aihiolle numero 693661. Tässä kyseisessä sulassa sekoitusaste on alittanut arvon 0,2 mikä tarkoittaa, että valtaosa sulasta on priorisoitavan parin eli tässä tapauksessa 720–1 teräslaadun sulaa. Kyseisiä tapauksia tälle aikavälille päätyi 53 kappaletta eli 52,48 %.



Kuvio 16. Sekoitusaihion 696881 data

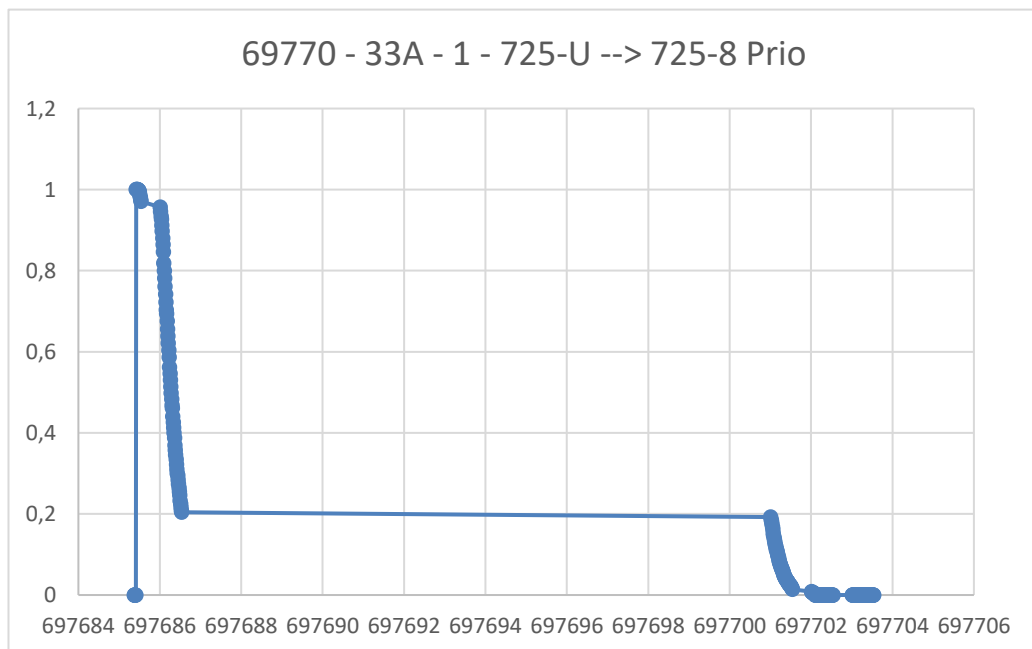
Sekoitusaihiosta 696881 kulmapalapyyntö oli pyydetty, kun sekoitusaste oli hie-
man alle 0,4. Kyseiset teräslaadut ovat pienien erojen takia käytännössä samaa

teräslajia. Teräslaadun 750-G tyyppi minimi on 0,0075 %-yksikköä korkeampi kuin 750–2 teräslaadulla. Boorimaksimi 750-G teräslaadulla 0,005 %-yksikköä pienempi kuin 750–2 teräslaadulla.



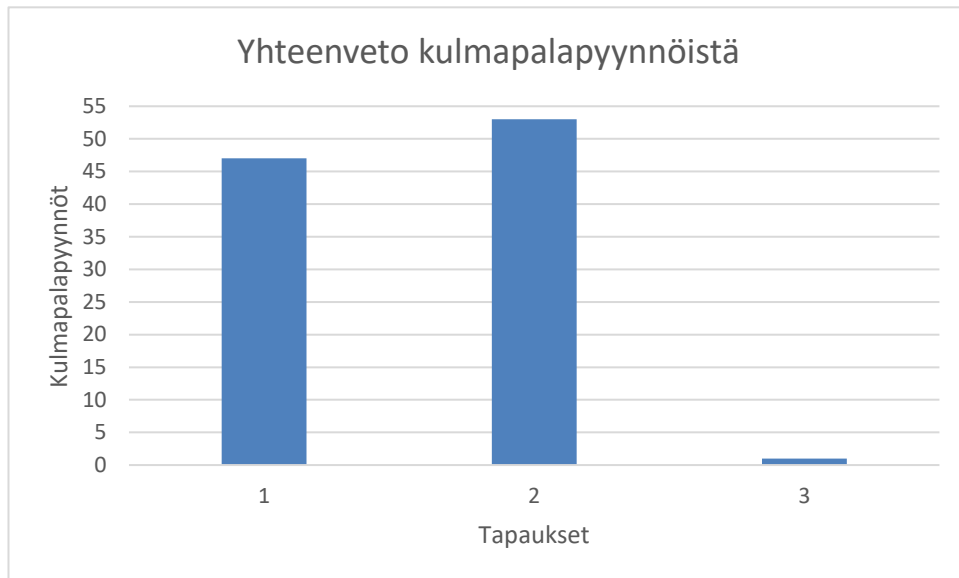
Kuvio 17. Sekoitusaihion 702121 data

Myös sekoitusaihio 702121 oli mielenkiintoinen tutkia datojen ja Excelin avulla, koska sekoitusaste on tässä aika lailla 50/50. Outokummun Qmato -ohjelmalla nähtiin, että järjestelmä oli toiminut oikein.



Kuvio 18. Sekoitusaihion 697701 data

Sekoitusaihion kulmapalapyyntö on, kun sekoitusaste on 0,2. Näiden kahden teräslaadun välillä on suurin ero niiden sisältämässä typen määrässä. Tämä ero on niin suuri, että sulien sekoittuminen ei juuri vaikuta teräslaadun lopputulokseen. Tästä syystä kulmapalapyyntö, jolla varmistetaan teräslaatu, ei ole tarpeellinen näiden kahden sulan tapauksessa.



Kuvio 19. Kulmapalapyyntöjen yhteenveto

Ajanjaksolla 2.8.2024–22.10.2024 käsiteltiin yhteensä 101 kulmapalapyyntöä, jotka jaettiin kolmeen kategoriaan (Kuvio 19). Ensimmäiseen kategoriaan, jossa sekoitusaste oli erittäin pieni tai olematon, tunnistettiin 47 tapausta, ja toiseen kategoriaan, jossa sekoitusaste ei ollut vielä alkanut, kirjattiin 53 tapausta. Kolmas kategoria kattoi aiheelliset kulmapalapyynnot, joita tarkastelujaksolla havaittiin vain yksi.

7 POHDINTA

Opinnäytetyön päätavoitteena oli vähentää tai poistaa kulmapalan ottoa Outokumpu Oy:n terässulatolla. Vaikka täydellistä ratkaisua ei saavutettu, kulmapalan ottoja onnistuttiin merkittävästi vähentämään tutkimalla kulmapalapyyntöjä tietyllä ajanjaksolla. Analysoimalla käytettävissä olleen 80 päivän datan ja noin 200 teräslaaturin tiedot, pystyttiin tunnistamaan selkeästi tarpeettomien kulmapalapyyntöjen laajuus.

Intermix 2-tason data ja siitä luodut kaaviot osoittivat, että tarkastelujakson aikana tehdyistä 101 kulmapalapyynnöstä vain yksi oli todellisuudessa tarpeellinen. Suurin osa pyyntöistä liittyi tilanteisiin, joissa sekoitusastetta ei ollut ehtinyt muodostua, tai joissa sulan sekoitusaste oli niin suuri, että analyysin perusteella oli todennäköistä, että kyseessä oli jo uuden teräslaadun sula. Lisäksi havaittiin, että järjestelmän toiminnassa oli puute: aihionumeron muutos jäi tekemättä, mikä johti tarpeettomaan kulmapalapyynnön syntyyn, vaikka järjestelmä toimi oikein.

Työ osoitti, että kulmapalan ottoja voidaan merkittävästi vähentää tarkentamalla sekoitusasteiden analysointia ja korjaamalla aihionumeron muutoksiin liittyvät ongelmat. Vaikka tulokset eivät ole täysin sovellettavissa käytäntöön, ne tarjoavat vahvan pohjan jatkotutkimukselle. Esimerkiksi jatkotutkimuksessa voisi olla mahdollista analysoida kaikkia teräslaaturareja, mikä voisi johtaa kulmapalan otton täydelliseen poistamiseen. Työn aikana saadut havainnot osoittivat myös tarpeettomien kulmapalan ottojen aiheuttaman ylimääräisen työmäärän ja vahvistivat, että prosessia voidaan tehostaa merkittävästi.

Vaikka työ ei täysin vastannut alkuperäisiä odotuksiani, olen tyytyväinen sen tuloksiin ja kiitollinen saamastani oppimiskokemuksesta. Tutkimus osoitti selkeästi, että kulmapalapyyntöjä voidaan vähentää merkittävästi, mikä on jo itsessään suuri askel eteenpäin. Suurin osa pyynnöistä oli tarpeettomia ja liittyivät usein prosessivaiheisiin, joissa sekoitusaste ei ollut ehtinyt muodostua tai jossa sekoitusaste oli liian korkea. Tämä osoittaa, kuinka tärkeää on tarkentaa sekoitusasteiden analysointia ja varmistaa, että järjestelmän toiminta on virheetöntä.

Vaikka tutkimuksen laajuus oli rajallinen, se tarjoaa kuitenkin arvokasta tietoa ja pohjan mahdolliselle jatkotutkimukselle. Tulevaisuudessa, jos käytettävissä olisi laajempi data ja mahdollisuus analysoida kaikkia teräslaatu-tyyppejä, voisi olla realistista poistaa kulmapalan otto kokonaan. Tämä voisi parantaa entisestään terässulaton prosessin tehokkuutta ja vähentää ylimääräistä työmäärää.

LÄHTEET

CCC. 2024. Introduction to CCC Techniques. University of Illinois. Viitattu 27.11.2024 <https://ccc.illinois.edu/introduction/overview.html>

Louhenkilpi, S. 2014. Chapter 1.8 – Continuous casting of steel. In Treatise on Process Metallurgy: Volume 3: Industrial Process (pp. 373-434). Viitattu 27.11.2024 <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-096988-6.00007-9>

Outokumpu. 2024a. Yhtiön viralliset www.sivut. Viitattu 25.10.2024 <https://www.outokumpu.com/en/about-outokumpu>

Outokumpu. 2024b. O'net. Viitattu 25.10.2024

Outokumpu. 2024c. HotCircle. Viitattu 25.10.2024

Petäjäjärvi, M. 2024. Sekoitusaihioiden datat. Yksityinen sähköpostiviesti 28.10.2024. Viestin saaja: Janne-Tapani Juopperi

Primetals Technologies. 2024. Vertical casting. Viitattu 27.11.2024 <https://www.primetals.com/portfolio/continuous-casting/vertical-casting>

Työturvallisuuslaki. 23.8.2002/738. Viitattu 25.10.2024 <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2002/20020738?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=ty%C3%B6turvallisuuslaki>

YBT Oy. 2024. Referenssit Outokumpu. Viitattu 25.10.2024 <https://www.ybt.fi/fi/referenssit/outokumpu-tornio>

LIITTEET

Liite 1. Kulmapala ja sekoitusaihioiden datat. (salattu)