

HILSEENMURTAJAN KÄYTTÖVARMUUDEN PARANTAMINEN

Stålnacke Jere

Opinnäytetyö
Insinööri (AMK)

2020

Konetekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Jere Stålnacke	Vuosi	2020
Ohjaajat	TkL Timo Kauppi, Ins, (AMK) Aslak Siimes		
Toimeksiantaja	Outokumpu Stainless Oy Janne Rantamäula		
Työn nimi	Hilseenmurtajan käyttövarmuuden parantaminen		
Sivu- ja liitesivumäärä	28 + 12		

Työ tehtiin Outokumpu Stainless Oy:n kylmävalssaamo 2:lle. Työn tavoitteena oli tutkia hilseenmurtajan käyttövarmuuden parantamista ja erityisesti hilseenmurtajan työvalssien kulumisen vähentämistä. Työssä oli tavoitteena laatia toteutus-suunnitelma uuden ratkaisun toteutuksesta, jolla mahdollisesti saataisiin vähennettyä hilseenmurtajan työvalssien kulumista.

Työn aihe saatiin linjan aluetyöjohtajan tekemän aloitteen kautta. Hilseenmurtajan ongelmana on ollut työvalssien nopea kuluminen reuna-alueilta ja se on aiheuttanut sekä laatua alentavaa jälkeä nauhaan että myös lisäkustannuksia käytökelvottomien valssien uusimisen takia.

Työ aloitettiin tutustumalla nykyiseen hilseenmurtajan käyttöön ja toimintaan sekä selvittämällä historiatiedoista sen yleisiä ongelmakohtia. Työn aikana seurattiin myös yksittäisten hilseenmurtajan pakkojen ajo- aikoja sekä vaihtovälejä.

Työn tuloksena saatiin toteutus-suunnitelma, jolla hilseenmurtajan pakkoja voitaisiin muuttaa siten, että työvalssille saadaan reuna-alueilla enemmän tuki-pinta-alaa ja näin valssin kuormitus vähenisi.

Avainsanat

terästeollisuus, hilseenmurtaja, mekaaninen hilseenpoisto

Mechanical Engineering
Bachelor of Engineering

Author	Jere Stålnacke	Year	2020
Supervisors	Timo Kauppi, LicSc (Tech) Aslak Siimes, BEng		
Commissioned by	Outokumpu Stainless Oy Janne Rantamaula		
Subject of thesis	Improving the reliability of a scale breaker		
Number of pages	28 + 12		

This thesis was made for Outokumpu Stainless Oy Cold Rolling Mill 2. The main objective was to research technical improvements of the reliability of the scale breaker and especially reduce the wear of the scale-breaker work rolls. In this thesis the priority was to make an execution plan for a new solution, which possibly could reduce the wear of scale-breaker work rolls.

The topic was gained through initiative made by the process line foreman. The problem in the scale breaker has been the fast wear of work rolls in the edge area and that has caused both quality decreasing mark on the strip and more costs because of unusable work roll renewal.

The work was started by exploring the current function of the scale-breaker and finding out about historic data of its general problems. During the thesis the roll pack processing times and replacement of the scale breaker were also monitored.

As a result of the thesis the execution plan for the roll packs of the scale-breaker, which could change the roll packs of the scale breaker to get more support area on the edge areas and so the load of the roll would be reduced.

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	7
2 OUTOKUMPU JA RAP5-LINJA	8
2.1 Tornion tehtaat ja Kemin kaivos	9
2.2 RAP5-linja	11
3 RAP5- LINJAN TERÄSLAJIT	13
3.1 Austeniittiset teräslajit	13
3.2 Ferriittiset teräslajit	14
4 MEKAANINEN HILSEENPOISTO	16
4.1 Hilseenmurtaja	16
4.2 Hilseenmurtajan kalibrointi	19
4.3 Hilseenmurtajan ongelmia ja huolto	19
4.4 Kasettien huolto	20
4.5 Hilseenmurtajan käyttö, ajokilometrit ja pakkojen huollot	22
5 HILSEENMURTAJAN PAKKOJEN KULUMISEN ESTÄMINEN	23
5.1 Kehitysidean toteuttaminen	23
6 POHDINTA	25
LÄHTEET	26
LIITTEET	28

ALKUSANAT

Opinnäytetyö on tehty Outokumpu Stainless Oy:n Tornion tehtaiden kylmävalsaamo 2:lle.

Työn ohjaajana Outokumpu Stainless Oy:n puolelta toimi kehitysinsinööri Jussi Tilus. Työn toimeksiantajana toimi käyttöpäällikkö Janne Rantamaula. Heitä haluan kiittää mielenkiintoisesta aiheesta ja opastuksesta työn aikana. Lisäksi myös kiitos koko Rap5-linjan työntekijöille.

Lapin Ammattikorkeakoulun puolelta työn ohjaajana toimivat Timo Kauppi ja Aslak Siimes. Heitä haluan kiittää hyvistä kommentteista opinnäytetyön rakenteen ja sisällön suhteen.

Lisäksi haluan kiittää perhettäni ja kaikkia, jotka ovat mahdollistaneet opiskeluni ja tukeneet minua opiskeluni ja opinnäytetyön ajan.

Torniossa 04.05.2020

Jere Stålnacke

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

RAP5	Rolling, Annealing and Pickling 5
Kuna	Kuumanauha (1. kierroksen nauha)
Kyna	Kylmänauha (2. kierroksen nauha)
HMI	Operointinäyttö

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheena on tutkia Outokumpu Stainless Oy:n kylmävalssaamon RAP5-linjalla olevan hilseenmurskaimen (Scale breaker) toimintaa. Työssä perehdytään laitteen toimintaan ja vikaantumismekanismeihin sekä pyritään löytämään keinoja laitteen häiriöttömään käyttöön.

Teoriaosassa kuvataan hilseenmurskauksen teoriaa sekä kuvataan hilseenmurskauksen tarkoitusta Rap5- linjalla.

Nykyisellään hilseenmurtajan pakkojen työvalssit kuluvat nopeasti ja niitä joudutaan vaihtamaan aikaisempaa enemmän. Työvalssien kuluminen aiheuttaa tuotteeseen pintavirheitä, jotka alentavat tuotteen käyttötarkoitusta ja lisäksi ne aiheuttavat huoltokustannuksia. Työssä tutkitaan, miten työvalssien kulumista saataisiin ehkäistyä.

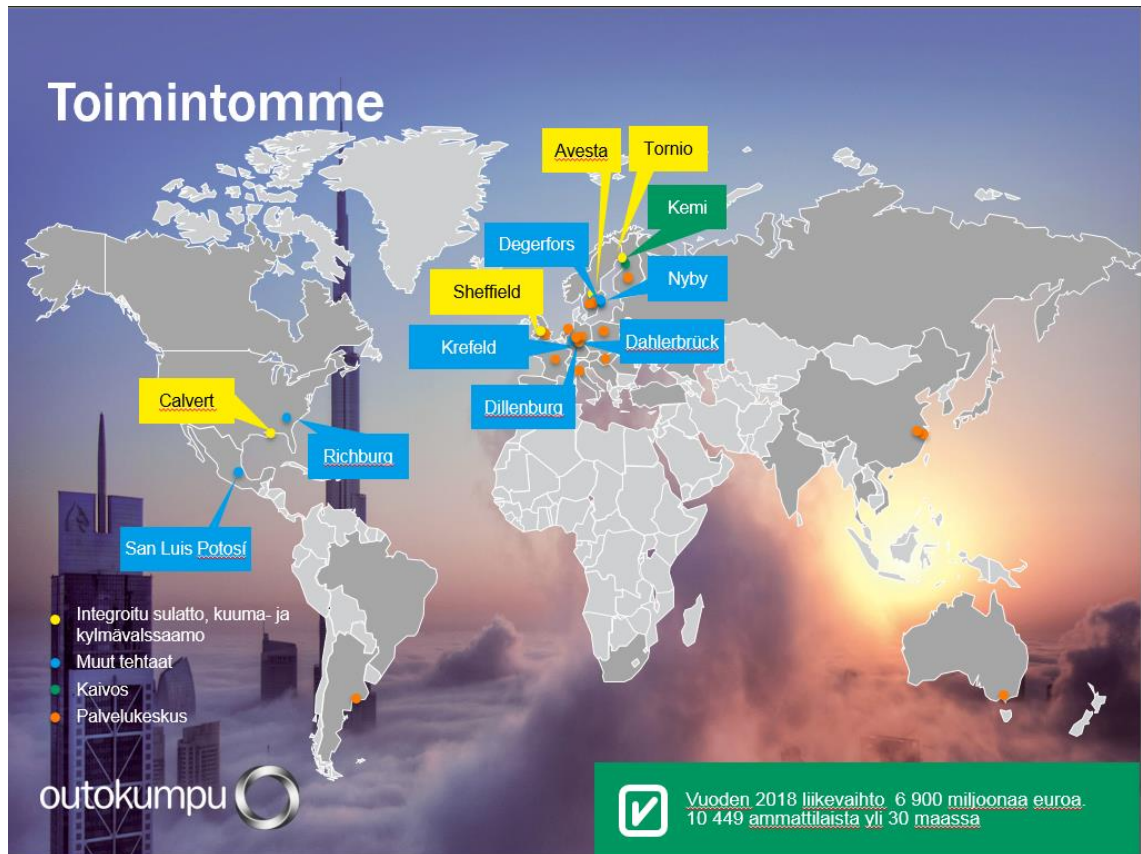
Lopputuloksena pyritään löytämään ja kuvaamaan parantamismahdollisuuksia, joilla laitteen käyttövarmuutta pystytään nostamaan ja työvalssien nopeaa kulumista voitaisiin ehkäistä.

2 OUTOKUMPU JA RAP5-LINJA

Outokumpu on maailman neljänneksi suurin teräksen tuottaja 2,5 miljoonan tonnin vuosi tuotannolla vuonna 2018. Outokummun markkinaosuus oli 2018 vuonna Euroopassa 29 % ja maailmanlaajuisesti se ylsi 6 % markkinaosuuteen. Outokumpu työllistää nykyään 10 449 työntekijää yli 30 maassa (Tornion tehtaat ja Kemin kaivos esittelymateriaali 2019).

Outokummulla tuotetaan austeniittisia, ferriittisiä, martensiittisiä ja ph-tuotteita sekä myös seostettuja duplex-teräksiä. Tuotetusta teräksestä 55 % menee suoraan loppukäyttäjälle ja loput myydään pienemmille jakelijoille (Tornion tehtaat ja Kemin kaivos esittelymateriaali 2019).

Teräksen käyttökohteita on useita ja tuotteita jatkojalostetaan muun muassa energiantuotantoon, kemianteollisuuteen, lämmitysjärjestelmiin, autoteollisuuteen ja kodinkoneisiin. Outokummun tuottama ruostumaton teräs on helposti muokattavaa, kestävää sekä silmää miellyttävää. Kuviosta 1 nähdään Outokummun toiminnan maailmalla. Toimipisteet on sijoiteltu strategisesti lähelle suurimpia asiakkaita, jolloin saadaan toimitusaikaa minimoitua (Tornion tehtaat ja Kemin kaivos esittelymateriaali 2019).



Kuvio 1. Outokumpun toiminta-alueet (Tornion tehtaat ja Kemin kaivos esittelymateriaali 2019)

2.1 Tornion tehtaat ja Kemin kaivos

Outokumpun Tornion tehtaat ja Kemin kaivos muodostavat maailman integroiduimman ruostumattoman teräksen tuotantoketjun. Tuotantoketjussa työskentelee noin 2100 työntekijää. Arvioitu työllisyysvaikutus lähikuntien alueella on noin 7000 henkilöä. Tornion tehtaiden alueella toimivat ferrokromitehdas, teräs-sulatto, kuumavalssaamo ja kylmävalssaamo sekä satama vähentävät logistisia kustannuksia ja läpimenoaikaa (Tornion tehtaat ja Kemin kaivos esittelymateriaali 2019).

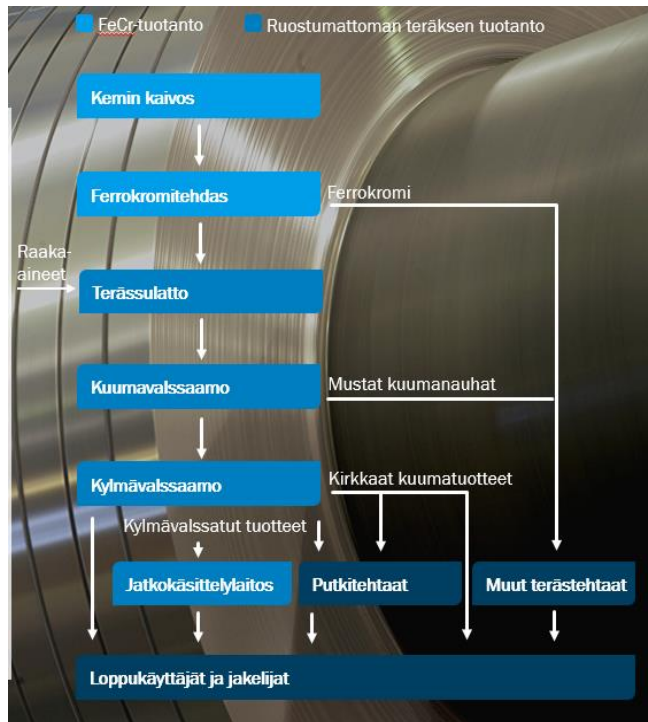
Teräksen tuotanto lähtee liikkeelle Kemin kaivokselta, jossa louhitaan rauta-, kromi ja nikkelimalmia. Louhinnan jälkeen malmi murskataan ja nostetaan maanpinnalle. Maan pinnalla malmi murskataan uudelleen ja rikastetaan pala- ja hienorikasteeksi. Pala- ja hienorikaste kuljetetaan Tornion ferrokromitehtaalle (Tornion tehtaat ja Kemin kaivos esittelymateriaali 2019).

Ferrokromitehtaalla hienorikasteeseen lisätään bentoniittiä ja koksia, ja syötetään sitten pelletointirumpuun. Pelletit syötetään sintrausuuniin ja annostelujärjestelmä syöttää sulatusuuneihin kromipellettejä, kvartsiittiä, koksia ja palarikastetta. Sula ferrokromi kaadetaan senkkoihin ja kuona poistetaan, sen jälkeen ne kuljetetaan junalla kiskoja pitkin terässulatolle (Tornion tehtaat ja Kemin kaivos esittelymateriaali 2019).

Sula ferrokromi käsitellään ferrokromikonvertterissa, jossa sulasta poistetaan pii ja osa hiilestä. Valokaariuuniin panostetaan kierrätysterästä ja muita raaka-aineita, kuten nikkeliä, molybdeenia, ferrokromia ja koksia. Kun panos on sulanut ja kuona poistettu, sula sekoitetaan ferrokromisulaan ja siirretään AOD-konvertteriin. AOD-konvertterissa poistetaan hiili ja rikki sekä lisätään seosaineita, jotta saavutetaan haluttu ruostumattoman teräksen koostumus. Sula siirretään senkassa jatkuvavalukoneelle. Valun aikana teräs jäähdytetään ja katkaistaan aihioiksi. Aihiot siirretään punahehkuisina kuumavalssaamolle energian säästämiseksi (Tornion tehtaat ja Kemin kaivos esittelymateriaali 2019).

Kuumavalssaamalla aihiot kuumennetaan askelpalkkiuuneissa lämpötilaan 1100-1250 °C. Sen jälkeen aihiota valssataan edestakaisin etuvalssaimella, jolloin aihio ohenee ja sen pituus kasvaa ja se muuttuu esinauhaksi. Esinauhaa valssataan ohuemmaksi Steckel- ja Tandem-valssaimilla. Nauhan paksuusalueet ovat 2,5-12,7 mm ja nauhan leveys 1000-1600 mm. Tämän jälkeen nauha kelataan rullaksi ja siirretään jäähdytysaltaaseen. Jäähdytyksen jälkeen rulla siirretään kylmävalssaamolle tai myydään mustana nauhana (Tornion tehtaat ja Kemin kaivos esittelymateriaali 2019).

Kylmävalssaamalla kuumavalssattu nauha hehkutetaan ja peitataan, jolloin sen mekaaniset ominaisuudet palautuvat ja musta hilse poistuu. Teräksen pinta muuttuu mustasta hopeanharmaaksi. Teräsnauha kylmävalssataan haluttuun paksuteen. Valssauksessa nauhan raekoko muuttuu ja nauha lujittuu, joten nauha hehkutetaan ja peitataan vielä uudelleen mekaanisten ominaisuuksien palauttamiseksi. Lopuksi nauha kiillotetaan viimeistelyvalssaimella pinnan parantamiseksi. Sen jälkeen nauha siirtyy halkaisu- ja katkaisulinjoille, jossa nauha leikataan asiakkaan tilaamiin mittoihin. Kuviossa 2 on vielä esitelty Tornion tehtaiden materiaalivirta (Tornion tehtaat ja Kemin kaivos esittelymateriaali 2019).



Kuvio 2. Tornion tehtaiden materiaalivirta (Tornion tehtaat ja Kemin kaivos esittelymateriaali 2019)

2.2 RAP5-linja

RAP5 on täysin automatisoitu, integroitu kylmävalssaus-, hehkutus- ja peittäuslinja. Linjalla ajetaan austeniittisiä teräslajeja sekä ferriittisiä teräslajeja. Austeniittisillä teräksillä ensimmäisen kierroksen nauhaa kutsutaan kuumanauhaksi ja kun se ajetaan toisen kerran linjan läpi, siitä tulee kylmänauhaa eli 2B-toimitustilainen tuote. Mikäli nauha ajetaan vain kerran läpi linjasta, saadaan aikaan 2E-toimitustilainen tuote (RAP5 esittely 2007).

RAP5-linja on rakennettu kolmeen kerrokseen ja linjaan mahtuu teräsnauhaa yhtä aikaa noin 5 kilometriä. Linja on jatkuvatoiminen ja siinä on yhdistetty perinteisesti erillisinä toimivat kylmävalssaus, hehkutus-peittäus, viimeistelyvalssaus ja venytsoikaisu. Prosessiosaa eli hehkutus-peittäus osaa pyritään ajamaan automaatiolta tulevaa ohjenopeutta. Tästä syystä linjalla on neljä eri prosessiosan erottavaa nauhavarajaa, jotka toimivat puskureina esimerkiksi valssinvaihtojen tai hitsauksen aikana (RAP5 esittely 2007).

RAP5-linjalle materiaali saapuu automaattisesta korkeavarastosta linjan rampeille, joilta rullat siirtyvät aukikelaimille. Aukikelausryhmiä on kaksi. Nauhojen päät oikaistaan ja leikataan suoriksi, jonka jälkeen uusi nauha laserhitsataan edellisen nauhan jatkeeksi. Ferriittisillä teräslajeilla hitsin kupu poistetaan hiomalla. Hitsiliitoksen tarkastuksen jälkeen liitoskohta lovetaan loveajalla molemmilta reunoilta. Sen jälkeen nauha syötetään ensimmäisen varaajan kautta kolmetuoliselle tandem -valssaimelle. Tandem -valssaimella nauha kylmävalssataan haluttuun loppu- tai välipaksuuteen. Valssauksen jälkeen nauha puhdistetaan rasvanpoistossa ja ajetaan ylös toiseen varaajaan (RAP5 esittely 2007).

Toisesta varaajasta nauha menee hehkutusuuneille, jossa materiaali rekristallisoituu ja jolloin tandem -valssauksessa muokkauslujittunut rakenne pehmenee. Hehkutuksen jälkeen nauha jäähdytetään. Kuumanauhalla jäähdyttämiseen käytetään vettä ja kylmänauha jäähdytetään ilmalla. Hehkutuksen ja jäähdytyksen jälkeen kuumanauhoille käytetään hilseenmurskainta ja kuulapuhallusta nauhan pinnassa olevan hilsekerroksen rikkomiseksi. Kylmänauhalla toisella kierroksella ei mekaanista hilseenpoistoa käytetä (RAP5 esittely 2007).

Tämän jälkeen nauha kulkeutuu peittaukseen, joka koostuu sähkökemiallisesta elektrolyyttipeittauksesta ja sekahappopeittauksesta. Peittauksen tarkoituksena on poistaa nauhan pinnassa oleva oksidikerros ja kromiköyhä vyöhyke sekä passivoida teräksen pinta. Peittauksen jälkeen nauha pestään ja kuivataan loppuhuuhtelussa, jonka jälkeen nauha menee kolmanteen varaajaan (RAP5 esittely 2007).

Kolmannesta varaajasta nauha syötetään viimeistelyvalssaimelle, jonka tarkoitus on kiillottaa nauhan pinta sekä parantaa nauhan tasomaisuutta. Viimeistelyvalssauksen jälkeen on rasvanpoisto 2, jonka jälkeen nauha siirtyy neljänteen varaajaan. Lopuksi nauha tarkastetaan, kelataan päällekelaimelle, sidotaan rullat ja siirretään siirtovaunuilla takaisin korkeavarastoon (RAP5 esittely 2007).

3 RAP5- LINJAN TERÄSLAJIT

RAP5-linjalla prosessoidaan teräsnauhoja eri käyttötarkoituksiin ja toimitustiloihin. RAP5 on aluksi suunniteltu vain austeniittisten teräslajien valmistukseen, mutta ferriittisten teräslajien suuri kysyntä on siirtänyt ferriittisten tuotantoa myös RAP5-linjalle.

3.1 Austeniittiset teräslajit

RAP5-linjalla ajetaan austeniittisista teräslajeista niin yleisteräksiä kuin seostettuja haponkestäviä ja titaaniseostettuja teräslajeja. Austeniittiset teräslajit voidaan ajaa linjan läpi kerran, jolloin teräksen toimitustila on 2E eli kylmävalssattu, hehkutettu, kuulapuhallettu ja peitattu. Austeniittiset voidaan ajaa myös kahteen kertaan linjan läpi toimitustilan ollessa 2B eli kylmävalssattu, hehkutettu, peitattu ja viimeistelyvalssattu (Kalapudas 2011).

P720-X eli EN 1.4301 on 18 % kromia sisältävä ruostumaton yleisteräs. Austeniittiset teräslajit ovat muovattavuudeltaan ja hitsausominaisuuksiltaan parempia ferriittisiin teräslajeihin verrattuna. 720-laatu käytetään muun muassa putkistoissa ja koneiden rakennuksessa (Kalapudas 2011; Ruostumattomat ja haponkestävät teräkset 2016; KYVA – Kiertoromujen lajittelu – Teräslajikohtaisen värikoodit 2016).

P750-X eli EN 1.4404 on molybdeeniseostettu haponkestävä teräs. Tämä 17 % kromia sisältävä laatu sopii erityisesti paikkoihin, joissa ollaan tekemisissä liuotavien tai syövyttävien aineiden kanssa (Kalapudas 2011; Ruostumattomat ja haponkestävät teräkset 2016; KYVA – Kiertoromujen lajittelu – Teräslajikohtaisen värikoodit 2016).

P731-X eli EN 1.4541 on titaanistabiloitu 17 % kromia sisältävä ruostumaton teräs. Titaaniseostus tekee teräksestä kirjavampaa kuin tavallinen austeniittinen teräs. Titaaniseostettuja teräksiä käytetään kemianteollisuuden komponenteissa ja taloustavaroissa, koska se parantaa teräksen lämmönkesto-ominaisuuksia (Kalapudas 2011; Ruostumattomat ja haponkestävät teräkset 2016; KYVA – Kiertoromujen lajittelu – Teräslajikohtaisen värikoodit 2016).

P761-X eli EN 1.4571 on titaanistabiloitu haponkestävä ruostumaton teräs, jota käytetään kemianteollisuuden laitteissa. 761-laadun kromipitoisuus on 16.5 % (Kalapudas 2011; Ruostumattomat ja haponkestävät teräkset 2016; KYVA – Kiertoromujen lajittelu – Teräslajikohtaisen värikoodit 2016).

3.2 Ferriittiset teräslajit

- Ferriittiset teräslajit jaetaan viiteen eri ryhmään kromipitoisuuksien mukaan:
- Ruostumattomat rakenneteräkset EN 1.4003 ja 1.4512
- Tavallinen 17% kromia sisältävä laatu EN 1.4016
- Stabiloidut laadut EN 1.4509
- Molybdeeniseostetut laadut EN 1.4521
- Superferriittiset laadut, joissa kromipitoisuus on yli 18 %.

Näistä kolme ensimmäistä ryhmää kattaa noin 90 % RAP5-linjan ferriittisten laatu-
tujen kokonaistuotannosta (Ferriittisten koulutus 2011).

P850-X eli EN 1.4003 on kupu-uunihehkutettu kromi-, mangaani- ja nikkeli-
seostettu matalahiilinen rakenneteräs. 850-laadun kromipitoisuus on 12 % ja sen
ominaisuuksia on hyvä hitsattavuus, koska se jäähtyessään muodostaa matala-
hiillistä martensiittia ja sen takia ei herkisty hitsauksessa. Se soveltuu maalattaviin
kohteisiin ja rakenteisiin, joilta vaaditaan yli 10 vuoden korroosionkestoa (Ferriit-
tisten koulutus 2011).

P853-X eli EN 1.4512 on kupu-uunihehkutettu titaanistabiloitu matalahiilinen fer-
riittinen ruostumaton teräs. Korroosionkestävyys on yli 100ertainen hiiliteräksiin
verrattuna. Teräslaji ei sovellu rakennuskäyttöön kylmähaurauden takia. Käyttö-
kohteina teräksellä on putkistot ja pakokaasulaitteiden valmistus (Ferriittisten
koulutus 2011).

P810-X eli EN 1.4016 on 17 % kromia sisältävä ferriittinen ruostumaton teräs.
810-laatu on ylivoimaisesti yleisin ferriittinen teräslaji. Keskeisimmät seosaineet

ovat kromi ja rauta, jotka tekevät teräksestä edullisemmän muihin nähden. Hitsattavuus, muovattavuus ja korroosionkesto ei ole niin hyvä kuin muilla ferriittisillä teräslajeilla. Teräslajia käytetään muun muassa kodinkoneissa (Ferriittisten koulutus 2011).

P812-X eli EN 1.4509 on titaanilla ja niobilla kaksoisstabiloitu 18 % kromia sisältävä ferriittinen ruostumaton teräs. Niobilla, hiilellä ja typellä on suoraan lujittava vaikutus. Myös titaani lujittaa, mutta ei niin lineaarisesti. Teräslaadun korkean kromipitoisuuden takia, siinä on erittäin hyvä korroosionkesto, mutta ainepaksuuden kasvaessa voi esiintyä kylmäaurautta (Ferriittisten koulutus 2011).

P816-X eli EN 1.4521 on 18 % kromia ja 2 % molybdeenia sisältävä ferriittinen ruostumaton teräs. Kaksoisstabiloitu titaanilla ja niobilla. Teräksellä on hyvä hitsattavuus eikä se herkisty hitsattaessa. Lisäksi titaaniseostus takaa hyvän muovattavuuden. Korroosionkestävyydeltään teräs vastaa austeniittista haponkestävää lajia EN 1.4404 eli Polarit 750. P816-1 luokitellaan erikoislaaduksi, joka soveltuu erinomaisesti esimerkiksi lämmönvaihtimien valmistusmateriaaliksi (Ferriittisten koulutus 2011).

4 MEKAANINEN HILSEENPOISTO

Ruostumattomien terästen valmistuksessa teräksen pinnalle syntyvä oksidikerros muodostuu hehkutus- ja kuumavalssausprosesseissa. Oksidikerros ja alla oleva kromiköyhä vyöhyke täytyy poistaa joko mekaanisilla tai kemiallisilla menetelmillä, jotta saadaan tuotettua hyväksyttävä pinta asiakkaalle. Kaksi yleisintä ja RAP5-linjalla käytössä olevaa mekaanista hilseenpoistomenetelmää ovat hilseenmurskaus eli scale-breaker ja kuulapuhallus (Uurtamo 2006, 27, Jargelius-Petterson & Szakalos 1995, mukaan).

4.1 Hilseenmurtaja

Hilseenmurtaja eli Scale Breaker sijaitsee s-rullaston 7 ja 8 välillä. Scale-breaker on hilseenmurskain, jota käytetään ainoastaan kuumanauhoille eli 1. kierroksen nauhoille ja se on kuiva prosessi. Sen pääasiallinen tehtävä on taivuttamalla ja venyttämällä murtaa hehkutushilsekerros nauhan pinnasta, mikä sitten helpottaa kuulapuhalluksen työtä poistaa hilse nauhan pinnasta. Hilseenmurtaja myöskin oikaisee nauhaa, jolloin nauhan tasomaisuus paranee. Sen vaikutus perustuu venytyksen aiheuttamiin murtumiin hilseessä eli teräksen pinnalla olevassa oksidikerroksessa. Venyminen saadaan aikaan venyttämällä ja taivuttamalla teräs-nauhaa. Hilseenmurtajalla varmistetaan myös hyvä peittaustulos, koska hilseen murtumien takia oksidikerroksesta tulee epäjatkuva, mikä tehostaa elektrolyytti- ja sekahappopeittauksen vaikutusta (Uurtamo 2006, 27, Koskiniemi 2002, 18; Niska 1999, 5, mukaan).

Hilseenmurtaja koostuu jäykästä teräsrakenteesta, johon on asennettu kaksi esitaivutusyksikköä ja yksi kanoottimaisuudenpoistoyksikkö. Lisäksi hilseenmurtajan tulo- ja jättöpuolella on vedonmittausrullat sekä taittorullat (ks. Liite 8).

Esitaivutusyksiköiden ylemmät oikaisupalkit kiinnitetään työasentoon hydraulisulkyylintereillä. Kolme alemmaa rullakokonaisuutta ovat samassa hydraulisesti säädettävässä kehyksessä ja ne toimivat yksittäisillä vaihtovirtamoottorikäyttöisillä ruuvinostimilla. Kasettien sijainnin tarkastus tapahtuu absoluuttisella kiertotasemamuuntimella. Alemmaa hydraulisyylinteriä käytetään myös kasettien nopeassa avauksessa/sulkemisessa sekä poikittaistaipumisen estoyksikössä.

Kone on varustettu sisään- ja ulostulopuolille asennetuilla vedonmittausrullilla, joissa on voima-anturit jännitteen mittausta ja jättöpuolen ohjausta varten. Vedonmittausrullat on asennettu pystylaakeripesiin, jotka on kiinnitetty voima-anturin sisältävään ala-perustaan (Danieli Wean United 2003, Yli-Öyrä 2013,17-18).

Koneen edessä on vaihtovaunu, joka vastaanottaa hilseenmurtajan käytetyt kasetit ja kuljettaa uudet kasetit koneeseen. Vaunu koostuu kasettien vaihtamisessa käytettävistä kahdesta kelkasta, joihin yhteen mahtuu aina viisi kasettia (Danieli Wean United 2003, Yli-Öyrä 2013,17-18).

Hilseenmurtajan kokoonpano (Liite 8):

- 2 taivutusyksikköä ja 1 kanoottimaisuuden poistoyksikkö (anti-crossbow)
- Oikaisurullat (työvalssit) 4 kpl \varnothing 63 mm
- Tukirullat 10kpl/työvalssi \varnothing 120 mm
- Anti-crossbow valssi 1 kpl \varnothing 114 mm
- Kasetin vaihto manuaalisesti, kesto noin 20min
- Hitsisauman kohdalla nopea avaus/sulku mahdollista. Voidaan valita, ajetaanko kasetti kiinni.
- Taittorullat 3 kpl \varnothing 305 mm (tulopuolella 1 ja jättöpuolella 2)
- Vedonmittausrullat 2 kpl \varnothing 305 mm (tulo- ja jättöpuolella) (Danieli Wean United 2003).

Hilseenmurtajalla nauhan taivuttamiseen käytetään työvalsseja, joiden halkaisija on 63-60 mm ja niitä tukevat tukirullat, joiden halkaisija on 120-108 mm. Tukirullia on 5 kpl molemmin puolin työvalssia, joiden pituus on 377 mm. Nauhan venymää säädetään ylä- ja alapuolisten taivutuskasettien limittäin asettelulla (rakoasettelu) sekä nauhan vedolla materiaalille määriteltyjen asetusparametrien mukaan. Kasettien limitys saa nauhan taipumaan ja haluttu venymäarvo määrää alueen vetojen voimakkuuden (Uurtamo 2006, 27; Danieli Wean United 2003,9).

Hilseenmurtajaa voidaan käyttää myös ilman taivutusta, jolloin venymä tehdään pelkällä vedolla. Venymä tehdään koneen molemmin puolin sijaitsevilla S-rullien vedoilla. Maksimivenymä on 3 % (1,0-6,0 mm) ja maksimiveto 600/800 kN. Vedot alueella säätyy automaattisesti, kunnes haluttu venymä saavutetaan. Maksimiveto on kuitenkin rajoitettu arvoon 90 estämään nauhan katkeaminen. Parametrit tulevat linjan automaatiojärjestelmästä teräslaadun ja paksuuksien mukaan (Daniel Wean United 2003, Yli-Öyrä, 2013, 17-18).

Austeniittisillä kuumanauhoilla hilseenmurtajan tekemä venymä nauhaan on 0,2-0,4 %. Ferriittisillä laaduilla venymä vaihtelee laadusta riippuen (Liite 7). Liitteessä 7 on taulukko eri ferriittislaatuojen venymistä hilseenmurtajalla, riippuen myös niiden työvaiheista. Ferriittisellä 810 tv012 hilseenmurtaja on pois käytöstä 1500 leveillä yli 5mm paksuilla nauhoilla.

Tutkimusten mukaan murtumien lukumäärä saavuttaa maksimin venymän ollessa 1-2 %. Venymää kasvaessa yli 2 %:n hilseen murtuminen hidastuu. Nauhan pinnassa oleva oksidikerros eli hilse on muodonmuutoskyvyltään itse nauhaa heikompi ja siksi murtuu. Nauhan tasomaisuus on hilseenmurtajan jälkeen huomattavasti parempi kuin lähtönauhalla ja kanoottimaisuus on alle 5 % (Daniel Wean United 2003, 9, Yli-Öyrä, 2013, 17-18).

Hilseenmurtaja voi olla offline-tilassa valssit auki, kun linja on liikkeellä. Lisäksi valssien nopea aukaisu/sulku on mahdollista. Tätä voidaan käyttää hitsaus- sauman ohittaessa hilseenmurtajan (Daniel Wean United 2003, 9, 23-24). Tämä on tärkeää varsinkin ferriittisillä teräslajeilla, sillä ilman murtajan pesän aukaisua hilseenmurtaja voi taivuttaa nauhan poikki hitsaussaumasta. Automaatiojärjestelmä tunnistaa saumankohdan ja aukaisee pesän automaattisesti sauman tullessa hilseenmurtajalle ja sulkee takaisin kiinni sauman mennessä ohi.

Hilseenmurskaimia on käytössä kahta erilaista tyyppiä. Venytykseen ja taivutukseen perustuvan lisäksi käytetään viimeistelyvalssaimen kaltaista laitteistoa. Venytys-taivutus- tyyppisessä hilseenmurskaimessa tärkeimpinä muuttujina ovat taivutettavien rullien halkaisijat, taivutuskulmat ja vääntövoima, kun taas viimeistelyvalssaimen kaltaisessa laitteistossa tärkeimpiä muuttujia ovat valssien väli-

nen puristusvoima ja valssien halkaisijat. Suurimpana käsitteellisenä erona onkin, miten venymä saadaan aikaiseksi; venyttämällä s-rullastojen ja taivutuskulmien avulla vai puristamalla valsseilla (Koskenniska 2006, 31).

Taivutusyksiköt 1 ja 2 saavat aikaan suurimman osan nauhan kokonaisvenymästä. Kolmas rulla eli kanoottimaisuudenpoistoyksikkö aikaansaa pienen vastataivutuksen, joka tasaa jännitys jakaumaa. Epäonnistuminen jännitysten tasaisemisessa näkyy kanoottimaisuutena eli huonona tasomaisuutena (Koskenniska 2006, 34).

4.2 Hilseenmurtajan kalibrointi

Uusien kasettien tiedot syötetään linjan automaatiojärjestelmään, jolloin telojen halkaisijamuutokset otetaan huomioon kasettien korkeusasettelussa. Korkeusasettelu tarkistetaan asettamalla luotilanka kulkemaan hilseenmurtajan läpi. Kun korkeus on nolla, ylä- ja alatela vastaa lankaan taivuttamatta sitä. Tarkistus voidaan tehdä myös teräslangalla, jolloin oikea asema on 0 – nauhan paksuus (Danieli Wean United 2003).

Kasettien kalibrointi suoritetaan aina kasetin vaihdon jälkeen. Automaattikalibroinnin tekee käyttäjä. Kasetit oltava paikoillaan, pakat ajettuna auki (mode off tai venttiili FRAME POSITIONING auki) ja level2:lta talletetaan kalibrointi-arvot. 2-tasolle merkataan aina uusien rullien halkaisijat ja 1-tasolle pakan numero (Danieli Wean United 2003).

4.3 Hilseenmurtajan ongelmia ja huolto

Tulevan nauhan vaihteleva tasomaisuus ja irtoava hilsepöly kuluttavat laitteen osia. Kulumista pahentaa jäähdytysveden kulkeutuminen kuivaimen läpi hilseenmurtajalle. Kulumat rullissa näkyy nauhassa joko tasomaisuuden heikkenemisenä tai painumana. Voimakkaimmin kulumat hilseenmurtajan ensimmäiset kasetit, mikä johtuu siitä, että tasomaisuus on niiden kohdalla huonoimmillaan. Hilseenmurtajan kasettien kestoajaksi on arvioitu 1500 km kuumanauhaa. Kasetit vaihdetaan yleensä säännöllisesti tuotannon päiväseisakeissa. Kasettien vaihto

voidaan suorittaa myös muulloin kuin seisokissa. Työ vie aikaa noin puolesta tunnista tuntiin ja vaatii prosessin pysäyttämisen. Tällöin sen voi tehdä esimerkiksi moodinvaihdossa, mikäli se on tarpeen. Kasetit täytyy vaihtaa myös, mikäli niiden läpi on ajettu nauha, jossa on pahaa reunaruttua, koska se vahingoittaa voimakkaasti valsseja. Käytetyt vanhat kasetit toimitetaan tämän jälkeen huollettavaksi. Nykyisellään kasetit ja nimenomaan työvalssit kuluvat vaihtokuntoon lyhyemminkin ajojaksoilla. Valssit kuluvat eniten nauhan reuna-alueilta. Nykyisellään hilseenmurtajan pakkoja joudutaan vaihtamaan työvalssien kuluneisuuden tai muun vaurion vuoksi. Vaihdot aiheuttavat huoltokustannuksia, tuotannon menetyksiä ja lisäksi kulunut työvalssi aiheuttaa laatuvirheitä. Kasettien huoltoja joudutaan tekemään vuodessa noin 20-25 kertaa. Työvalssit kuluvat nykyisellään tukirullien välistä A- ja B-linjan laidalta (nauhan reuna-alueet). Tällä hetkellä työvalsseja ei välttämättä voida enää hioa suuren kulumisen vuoksi, vaan työvalssi joudutaan romuttamaan mahdollisesti jo yhden käyttökerran jälkeen.

Liitteistä 9, 10, 11 ja 12 näkyy, kuinka hilseenmurtajan pakkojen telat/valssit kuluvat reuna-alueilta. Valssit kuluvat juuri rakojen kohdilta ja lisäksi valsseihin tulee ns. traktorijälkeä. Liian kulumisen takia valssien halkaisija voi uudelleen hionnassa mennä jo niin pieneksi, ettei niitä enää voi käyttää uudelleen ja ne joudutaan romuttamaan. Työvalssien halkaisija on välillä 63-60 mm ja Tormetsin toimittaman huoltotaulukon (ajalta 2017-2020) mukaan käyttökerrat vaihtelevat 1 kerrasta 7 kertaan ja käyttöikä välillä 0-2 vuotta. (Hakalin J 2020, RAP5 Scale breaker 2020)

Uusi tukirulla on halkaisijaltaan 120 mm ja sitä voidaan sorvata minimissään 108 mm halkaisijaan asti. Tormetsin huoltotaulukon mukaan samaa tukirullaa pystytään käyttämään keskimäärin noin 2 vuotta, kunnes se saavuttaa sen minimi halkaisijan. (Hakalin J 2020, RAP5 Scale breaker 2020)

4.4 Kasettien huolto

Tormets noutaa hilseenmurtajan kasetit huoltoon Outokumpu Stainless Oy:n ilmoituksesta. Kasetit huolletaan ja kunnostetaan huoltohallissa. Outokumpu Stainless Oy suorittaa hilseenmurtajan kasettien irrottamisen ja vaihtotyön tuotantolinjalla ja myöskin niiden puhdistuksen.

Kasettien purkamisen yhteydessä tarkistetaan kiinnitykset, rullat, valssit ja huomattavat viat ym. poikkeavuudet. Työvalssit tarkastetaan ennen hiottavaksi lähettämistä. Puretut työvalssit lähetetään hiottavaksi Outokumpu Stainless Oy:n hyväksymälle hiomolle. Tukilaakerit nauhahiotaan tai sorvataan niiden kunnosta riippuen. Työvalssien painelaakerit vaihdetaan joka huollossa. Kaikki irrotettavat osat puhdistetaan ja tarkastetaan, jonka jälkeen osat suojataan. Mahdolliset rikki menneet osat kunnostetaan tai romutetaan.

Varaosat toimittavat Outokumpu Stainless Oy ja koneistettavat osat toimittaa Tor-mets. Paikalleen asennettavat työvalssit ja tukilaakerit ovat joko uusia tai hiot-tuja/sorvattuja. Valssit ja tukilaakerit tarkastetaan aina ennen asennusta Outo-kumpu Stainless Oy:n ohjeiden mukaisesti.

Uudet/hiotut työvalssit ja tukilaakerit:

- Valssien ja tukilaakereiden halkaisija mitataan.
- Tukilaakerit (5kpl) ja kasetit merkataan juoksevalla numeroyhdistelmällä omaksi sarjaksi.
- Valssien pinta tarkastetaan ja tarvittaessa pinnankarheus mitataan.
- Työvalssit hiotaan seuraavaan mahdolliseen halkaisijaan. Minimi halkai-sija on 60mm.
- Työvalssien halkaisijat nimellimitaltaan ovat D= 114/63 mm.
- Tukilaakerit hiotaan/sorvataan seuraavaan mahdolliseen halkaisijaan. Mi-nimi halkaisija tukilaakereille on 108 mm.
- Toleranssi on +-0,05 mm/sarja (5kpl)
- Tukilaakereiden halkaisija nimellimitaltaan on D=120 mm (Scale-breaker huolto-ohje 2008, 7).

4.5 Hilseenmurtajan käyttö, ajokilometrit ja pakkojen huollot

Liitteessä 1 on kuvaaja, jossa näkyy RAP5-linjan kuumanauhantuotanto tonneina vuosittain. Kuvaajasta näkee myös sen, kuinka paljon on ajettu tonneja hilseenmurtajan läpi vuodessa, koska niin kun edellä mainittu hilseenmurtaja on käytössä vain kuumanauhoilla eli 1. kierroksen nauhoilla. Vuonna 2007 on aloitettu rapilla myös ferriittisten laatujen tuotanto, joilla myös käytetään hilseenmurtajaa. Aluksi ferriittisten laatujen ajamisessa oli pieniä ongelmia, joka vähän laski tuotanto määräiä, mutta sittemmin lähtenyt nousemaan paremmalle tasolle. Vuonna 2010 aloitettiin 2E toimitustilan tuotteen ajaminen eli kylmävalssattu kuumanauha, joka ajetaan kerralla pakettiin. Tämä on vähän lisännyt kuumanauhan ajamista linjalla, joten myös hilseenmurtajan käyttömäärä on lisääntynyt.

Liitteessä 2 on kuvaaja, jossa näkyy hilseenmurtajan pakoilla ajettut kilometrit n. 5 kk ajalta. Pakkojen vaihtoväli on keskimäärin 2 viikkoa. Teloissa näkyy kulumaa jo pienemmilläkin ajomäärillä, mutta mitä enemmän ajettu, sitä enemmän on myös kulumaa ja jossakin vaiheessa alkaa jättämään jo jälkeä nauhaan (HMI operointinäyttö 2018).

Liitteessä 3 on kuvaaja, josta näkee kuinka paljon hilseenmurtajan pakkojen huoltoja on tehty per vuosi. Alussa pakkojen huolto ollut vaihtelevaa määrällisesti, mutta solid-oil laakeri muutoksen jälkeen 2008, huoltojen määrä laski. Sen jälkeen pakkojen huoltomäärä on lähtenyt pikkuhiljaa kasvamaan, mikä johtuu siitä, että pakkojen työvalssit ovat alkaneet kulumaan reuna-alueiltaan. Vuosina 2009 ja 2010 huoltojen määrä on ollut alhaisimmillaan ja niistä vuosista huoltojen määrä on noussut prosentuaalisesti 66 %.

5 HILSEENMURTAJAN PAKKOJEN KULUMISEN ESTÄMINEN

Hilseenmurtajan työvalssien kulumiseen liittyen on tehty aloite, jonka tarkoituksena olisi muuttaa tukirullien määrää viidestä kolmeen tai neljään. Tukirullien pituutta siis jatkettaisiin nykyisestä 377 mm:stä 450-650 mm:iin. Tällä muutoksella saataisiin työvalssiin tukipintaa juuri oikeisiin kohtiin nauhan reuna-alueille.

Suunnittelun tuloksena yhdessä suunnittelijoiden ja RAP5- johtohenkilökunnan kanssa päädyttiin siihen, ettäärkevin ratkaisu olisi kokeilla muuttaa pakkoja niin, että molemmilla puolin työvalssia olisi neljä tukirullaa eli 8 tukirullaa/työvalssi.

Uudeksi tukirullan pituudeksi tulisi tällöin 472 mm, kun yhden pakan runko jaetaan tasaisesti neljälle rullalle molemmin puoli. Liitteessä 4 näkyy suunnittelupiirustus uuden tukirullan mitoista, joka on muokattu alkuperäisestä tukirullasta olevasta piirustuksesta muuttamalla pituutta 377 mm:stä 472 mm:iin.

Liitteissä 5 ja 6 näkyy muutos, joka hilseenmurtajan pakkoihin tulee tehdä uusia tukirullia varten. Pakka siis pysyisi muuten samana, ainoastaan tukirullien kiinnityskohdat siirtyvät ja vähenevät. Muutos olisi helposti toteutettavissa, kun vain leikataan vanhat keskimmäiset neljä rullien tuki-/kiinnityskohtaa pois ja hitsataan samanlaiset tuet uusille paikoilleen liitteen 7 piirustuksen mukaan.

Tämän muutoksen myötä tukirullien väliset raot siirtyisivät keskemälle ja nauhan reuna-alueille ei jäisi enää näitä rakoja. Työvalssien kuluminen siis tapahtuu reuna-alueilla, koska tasomaisuus reuna-alueilla on huonompaa ja se kuormittaa näin ollen valsseja juuri reuna-alueilta enemmän. Tukirullien reunat painavat valssiin ja aiheuttavat siihen naarmua. Tämän vuoksi uusi muutos olisi hyvä, koska raot ja tukirullien reunakohdat siirtyvät keskemälle pakkaa ja nauhaa, jossa kuormitus valssiin on pienempään.

5.1 Kehitysidean toteuttaminen

Muutos on tarkoitus toteuttaa ja testata viimeistään vuonna 2021. Sen jälkeen nähdään todellisuudessa, auttavatko muutokset valssien kulumiseen.

Uusista tukirullista on saatu tarjous jo rullien toimittajalta. Tarjous on kysytty alustavasti 50 tukirullalle, jotka toimittaja valmistaa ja lähettää ne Tormets Oy:lle. Tukirullien valmistamiseen ja toimitukseen menee arviolta 16-18 viikkoa tilauksesta. Tarkoitus on tehdä aluksi vain yksi kokonainen kasettipaketti, johon tulisi uudet tukirullat. Tormets Oy voi valmistaa vanhoista rungoista uudet rungot tukirullille ja työvalssille tekemällä kuten jo edellä mainittiinkin eli leikkaamalla vanhat tukirullien kiinnityskohdat pois ja hitsaamalla samanlaiset tuet kuvan 7 piirustuksen mukaan uusille paikoille uusille tukirullille. Tämän jälkeen Tormets Oy kasaa pakan uusilla rullilla ja toimittaa sen Outokummun kylmävalssaamo 2:lle. Näin uusi kasettipaketti voitaisiin ottaa hilseenmurtajalle testikäyttöön, jonka aikana seurattaisiin valssien kulumista ja uuden kasettipaketin toimintaa käytännössä. Testausta uudella pakalla tulisi suorittaa ainakin muutamaan kertaan, jotta nähdään ero nykyisiin pakkoihin nähden. Mikäli kulumista tapahtuu selvästi vähemmän, voitaisiin siirtyä kokonaan uusiin pakkoihin.

6 POHDINTA

Opinnäytetyöni aihe oli haastava, opettava ja mielenkiintoinen. Prosessin kehittämiseen liittyvässä työssä sain hyödyntää niin koulussa oppimaani sekä ennen kaikkea Outokummun kylmävalssaamo 2:lla työskennellessä kartuttamaani tietoa. Pääsin tutustumaan tarkemmin hilseenmurtajan toimintaan ja onnistuin mielestäni kartoittamaan sen ongelmien vaikutukset tuotantoon sekä tuomaan esille tarvittavia tietoja laitteen kehittämiseksi.

Työn tekemisessä hyödynnettiin valtaosin Outokummun sisäisiä lähteitä, kuten verkkolevyä, virtuaalityökaluja ja intranettiä. Työn aikana olin tekemisissä monien eri ihmisten kanssa niin Outokummun työntekijöiden kuin Outokummun sidosryhmien kanssa, kuten suunnitteluosaston ja Tormets Oy:n työntekijöiden kanssa. Lisäksi opin yrityksen hankintatoimitavoista ja olin yhteydessä ulkomaan tavara-toimittajan kanssa tarjouspyyntöä tehdessä.

Suurin yksittäinen tekijä hilseenmurtajan valssien kulumisessa on tulevan nauhan huono tasomaisuus reuna-alueilla. Uudella ratkaisulla on kuitenkin tarkoitus saada tätä reuna-alueiden kulumista vähennettyä. Huono tasomaisuus johtuu taas monista eri asioista, mutta nauhan jäähdytyksen parantaminen olisi yksi keino parantaa tasomaisuutta. Sen parantaminen vaatisi runsaasti testejä ja tutkimuksia ja siinä olisikin hyvin ainesta omaan opinnäytetyöhönsä. Toinen vaikuttava tekijä on suuri lika/pöly määrä hilseenmurtajan sisällä. Lika ja pöly menevät telojen ja rullien väliin mikä kuluttaa myös teloja. Siihen onkin nyt alettu suunnittelemaan tehokkaampaa pölynpoistoa.

Tein opinnäytetyötäni käytännössä työni ohessa ja samalla linjalla työskentely on kartoittanut myös omaa tietämystäni prosessin toiminnasta ja sen eri työvaiheista. Myös se on lisännyt mielenkiintoa työn suorittamiseen, koska se kehittää oman työpaikkani toimintaa.

LÄHTEET

01 KYVA – Kiertoromujen lajittelu – Teräslajikohtaisen värikoodit 2016. Outokumpu. Notes-tietokanta.

Daniel Wean United 2003. Jatkuvatoimisen valssaus-, hehkutus- ja peittäuslinjan huolto-ohjeet: Hilseenmurtaja (Laitetoimittajan opas). Outokummun sisäinen W-asema.

Ferriittisten koulutus RAP5 2011. Outokummun sisäinen Notes-tietokanta. Viitattu 04.04.2019

Hakalin J. 2020. RAP5 Scale breaker 2020.xls. Sähköposti Jyrki.hakalin@tor-mets.fi 11.03.2020.

Hilseenmurtajan pakan kokoonpanopiirustus 2003. Outokumpu. Webdoha, piir.nro. 425680

Hilseenmurtajan tukirulla osapiirustus 2003. Outokumpu. Webdoha, piir. nro. 425655

HMI operointinäyttö scalebreaker 2018. Outokumpu.

Jargelius-Petterson R.F.A & Szakalos P. 1995. Oxidation of Fe-Ni-Cr alloys in air at 1100 °C. Stockholm, Swedish Institute for Metals Research 1995.

Kalapudas A. 2011. Ruostumattomat teräslajit ja materiaalinvalinta. Outokummun sisäinen Notes-tietokanta. Viitattu 04.04.2019

Kangas J. 2019, Etteplan Oyj. Korkala T. 2019, Outokumpu Stainless Oy. Mekaanikan suunnittelijoiden haastattelu 06.02.2019

Koskeniemi J. 2002. Venytysoikaisu ja Scale breaker, teoksessa: RAP-linjan koulutusmateriaali. Tornio AvestaPolarit Stainless Oy.

Koskeniska S. 2006. Scalebreakerin vaikutus mekaanisiin ominaisuuksiin. Oulun yliopisto. Materiaali- ja konetekniikka. Diplomityö.

Marchini M 2019. Tukirullien valmistuksesta. Sähköposti M.marchini@crsrl.com 10.4.2019.

Niska M. 1995. HP5 esiselvitysprojekti: scale-breakerin vaikutus kuulapuhallustarpeeseen. Tornio Outokumpu Polarit Oy. Raportti.

RAP5 Esittely 2007 Outokummun sisäinen K-asema. Viitattu 22.01.2019

Ruostumattomat ja haponkestävät teräkset 2019. Oy Flinkenberg AB. Viitattu 04.04.2019 <https://www.flinkenberg.fi/steel/teraslevyt/ruostumattomat-ja-haponkestavat-terakset/>

Tornion tehtaat ja Kemin kaivos esittelymateriaali 2019. Outokummun sisäinen O`net. Viitattu 13.10.2019 <http://onet.outokumpu.com/fi/Work/Content/EMEA/Sivut/Tornion%20presentaatiot%20ja%20julkaisut/Tornion-tehtaiden-ja-Kemin-kaivoksen-esittelymateriaali.aspx>

Scale-breaker huolto-ohje 2008. Tormets. Outokummun sisäinen K-asema.

Uurtamo A. 2006. RAP5-linjan hilseenmurskaimen ajoparametrien vaikutus tuotenuhan hilserakenteeseen ja peitattavuuteen. Oulun yliopisto. Prosessiteknikka. Diplomityö.

Yli-Öyrä P. 2013. Nauhan tasomaisuuden parantaminen RAP5-linjalla. Lapin Ammattikorkeakoulu. Konetekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö.

LIITTEET

- Liite 1. RAP5-linjan kuumanauhatuotanto (1. kierroksen nauhat) vuosittain tonneina.
- Liite 2. Hilseenmurtajan pakkojen ajokilometrit aikavälillä 1.3.2018 – 31.8.2018.
- Liite 3. Hilseenmurtajan pakkojen huollot lkm/vuosi.
- Liite 4. Uuden tukirullan suunnittelupiirustus.
- Liite 5. Uuden pakan suunnittelupiirustus.
- Liite 6. Nykyisen pakan piirustus.
- Liite 7. Taulukko ferriittislaatuojen venymistä hilseenmurtajalla.
- Liite 8. RAP5-linjan scale-breaker.
- Liite 9. Kuva hilseenmurtajan alapakasta B-linjan puolelta.
- Liite 10. Kuva hilseenmurtajan alapakasta A-linjan puolelta.
- Liite 11. Kuva hilseenmurtajan työvalssin kulumisesta.
- Liite 12. Kuva hilseenmurtajan alapakasta A-linjan puoli.