



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

## **KELAIMEN OPTIMOINTI**

Ville Saarenpää

KONETEKNIIKAN TUTKINTO-OHJELMA

Kandidaatintyö 2018

# TIIVISTELMÄ

Kelaimen optimointi

Ville Saarenpää

Oulun yliopisto, Konetekniikan tutkinto-ohjelma

Kandidaatintyö 2018, 20 s.

Työn ohjaaja yliopistolla: Tapio Korpela

Työn tavoitteena on tutkia ja parantaa kelanmuotoa nauhavalssaamalla. Aluksi tutkitaan yleisesti kelausprosessia ja kelanmuotoa alan kirjallisuutta hyväksikäyttäen ja tämän jälkeen perehdytään tapoihin vaikuttaa kelanmuotoon. Lopuksi tartutaan yhteen tapaan, jota lähdetään kokeilemaan käytännössä terästehtaalla. Erityisesti eräät asiakaslaadut aiheuttavat paljon hylkäyksiä kelan silmämuodon vuoksi, joten kokeissa keskityttiin kyseisiin laatuihin. Kokeet suoritettiin tuotannon aikana oman valvontani alla ja samalla kerättiin tulokset ja nauhojen tiedot Excel-taulukkoon, jonka jälkeen prosessidataa analysoitiin *ibaAnalyzer* -ohjelmistolla. Tulokset noudattivat teoriaa ja kelanmuoto parani kahden erillisen vaikutuksen ansiosta. Nauha on lähtökohtaisesti lähempänä keskilinjaa ja keskityksen toinen vaihe kestää lyhyemmän aikaa, joka vaikuttaa suoraan virheen pituuteen. Tehdyt muutokset jäävät käyttöön ja tulevaisuudessa tutkimusta voi jatkaa laajentamalla tutkimustani useammalle laadulle.

*Asiasanat: kelanmuoto, kelain, nauhavalssaaus, optimointi, teleskooppi*

# ABSTRACT

Downcoiler optimization

Ville Saarenpää

University of Oulu, Degree Programme of Mechanical Engineering

Bachelor's thesis 2018, 20 pp.

Supervisor at the university: Tapio Korpela

The aim of the thesis is to research and develop the coil shape at a hot strip rolling mill. First the coiling process and coil shape are researched by using relevant literature and later the ways to affect the coil shape are evaluated. Finally, one method is tested in practice at a steel mill. Especially some customer qualities cause a lot of rejections due to the shape of the eye. Therefore the testing was focused on these qualities. The tests took place during the production time and under my supervision. The test results and information about the coils were gathered in an Excel table and afterwards the process data was analyzed with *ibaAnalyzer* -software. The results followed the theory and the coil shape was improved due to two different effects. The changes that were made to the parametric charts are currently in use and in the future the research can be further continued by extending my research to more qualities.

*Keywords: coil shape, downcoiler, hot strip rolling mill, optimizing, telescoping*

## ALKUSANAT

Tässä kandidaatintyössä käsitellään nauhateräksen kelausprosessin ja valssauksen jälkeisen nauhan keskityksen haasteita, kelojen muotovirheitä ja kelaimen optimointia. Valssauksessa syntyviä virheitä saadaan kompensoitua kelauksessa, mutta siinäkin on omat perinteiset ja kriittiset virhepaikkansa. SSAB:n Raahen kuumavalssaamalla sain hienon mahdollisuuden perehtyä syvällisemmin aiheeseen ja tehdä tämän kandidaatintyöni. Kesän aikana toimin kelaimen ja kelaimen sivuohjainten parissa prosessikehitysinsinööriharjoittelijana tavoitteenani vähentää kelojen silmien primääristä teleskooppisuutta tiukentuvien asiakasvaatimusten vuoksi. Tahtoisin erityisesti kiittää esimiestäni Jarkko Vimparia mahdollisuudesta tehdä kandidaatintyöni töiden ohessa, sekä työni ohjaajaa Tapio Korpelaa valmiudesta auttaa minua kysymysteni kanssa. Lisäksi haluan kiittää Eero Putaansuuta ja Ari Pikkuahoa, jotka toimivat perehdyttäjinäni ja ikään kuin mentoreinani kesän aikana.

Oulu, 28.9.2018

Ville Saarenpää

# SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO .....	7
2 KELAUSPROSESSIN KUVAUS LYHYESTI.....	8
2.1 Ensimmäinen vaihe .....	9
2.2 Toinen vaihe.....	9
2.3 Kolmas vaihe.....	10
3 KELAN MUOTO .....	11
3.1 Täydellinen kela .....	11
3.2 Teleskooppisuus .....	11
3.2.1 Primäärinen teleskooppisuus .....	12
3.2.2 Sekundaarinen teleskooppisuus .....	12
3.2.3 Oskillointi / periodinen teleskooppi.....	12
3.2.4 Loppuvaiheen teleskoopit.....	12
3.3 Muut virheet .....	13
4 KELAIMEN OPTIMOINTI .....	14
4.1 Ongelman tutkiminen.....	14
4.2 Tutkimuksen toteuttaminen.....	16
4.2.1 Taulukkoarvojen muutokset .....	17
4.2.2 Vaikutusten silmämääräinen seuranta .....	17
4.2.3 Datan analysointi .....	17
4.3 Tulosten tarkastelu .....	18
4.4 Johtopäätökset ja suositukset .....	18
5 YHTEENVETO .....	19
LÄHDELUETTELO	

# 1 JOHDANTO

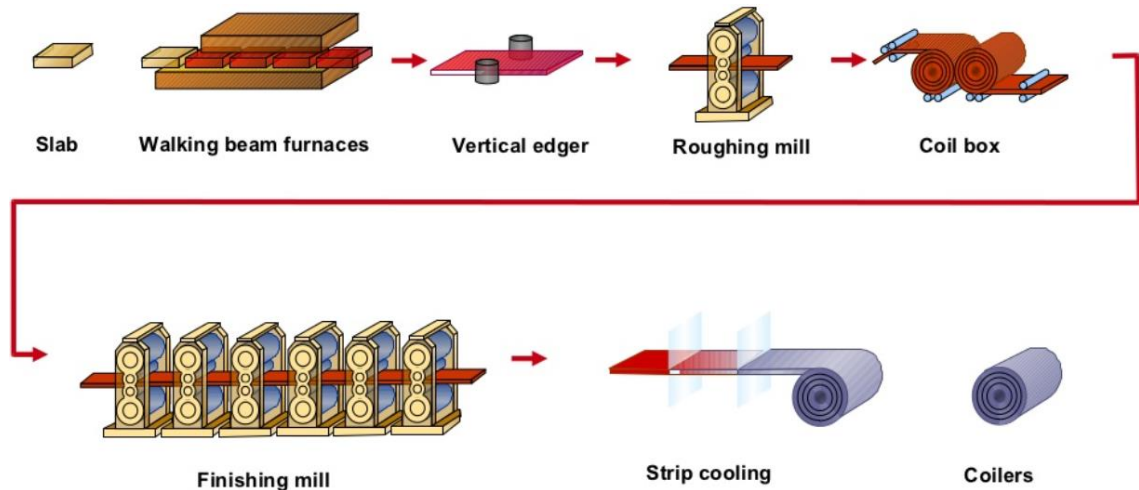
Nauhateräksen valssaus on monimutkainen prosessi, jonka jokaisessa vaiheessa on erilaisia mahdollisuuksia poikkeamille. Poikkeamat voivat liittyä esimerkiksi aihoiden lämpötilan hallintaan, mekaanisiin häiriöihin, jäähtymisen vaikeuksiin tai aikaisempien prosessin vaiheiden poikkeamiin. Valssauksessa syntyviä vaikutuksia saadaan loppuvaiheessa jonkin verran korjattua kelauksessa, jossa siinäkin on omat perinteiset ja kriittiset virhepaikkansa. Kohtuullisen voimakas banaanimaisuuskin saadaan pakotettua hyvännäköiseksi kelaksi, mutta keloihin jää tällöin sisäisiä jännityksiä, jotka aiheuttavat ongelmia seuraavissa prosessipaikoissa. Tässä työssä ei kuitenkaan keskitytä suoraan valssauksen ongelmiin, vaan pääaihe rajataan kelausprosessiin, sen haasteisiin, virheisiin ja kelaimen optimointiin ymmärtäen ilmiöt, sekä niiden taustat.

Aihe valikoitui kesätyöni perusteella, sillä toimin prosessikehitysinsinööriharjoittelijana kuumavalssauksella Raahessa SSAB:n terästehtaalla ja perehdyin aiheeseen syvällisemmin. Lisäksi kandidaatintyö oli mahdollista tehdä työn ohessa kesällä. Työni tarkoituksena oli tutkia erityisesti kelan silmän teleskooppimaisuutta ja vähentää sitä. Teleskooppimaisuus on erittäin kriittinen virhetyyppi kiristyneiden asiakasvaatimusten vuoksi. Tutkimuksen suorittamiseksi tuli alueeseen ensin perehtyä perusteellisesti ja saada hyvä yleiskuva koko prosessista. Tämän jälkeen pystyi luottavammin aloittamaan kelaimen parametrien muuttamisen testimielessä. Työn suoritus tapahtui tekemällä sopivassa tuotannon vaiheessa muutoksia parametritaulukoihin, kirjaamalla kelanmuoto ylös paikanpäällä, sekä jälkikäteen analysoimalla dataa *ibaAnalyzer* -ohjelmistolla. Mikäli tutkimuksen johdosta saadaan kelanmuotoa parannettua, voidaan pidätyksistä koituvia kuluja vähentää huomattavasti.

Aiheesta ei löytynyt juurikaan aiempaa kirjallisuutta lukuun ottamatta David Blazevicin kelaukseen keskittyntä kirjaa, joitain yleisesti nauhatuotantoon liittyviä kirjoja, sekä EU -raportteja. Näiden lisäksi hyödynsin työn pohjustamiseen tehtaan sisäistä tietoa, vanhempien kehitysinsinöörien tietoutta, sekä omaa tutkimustani.

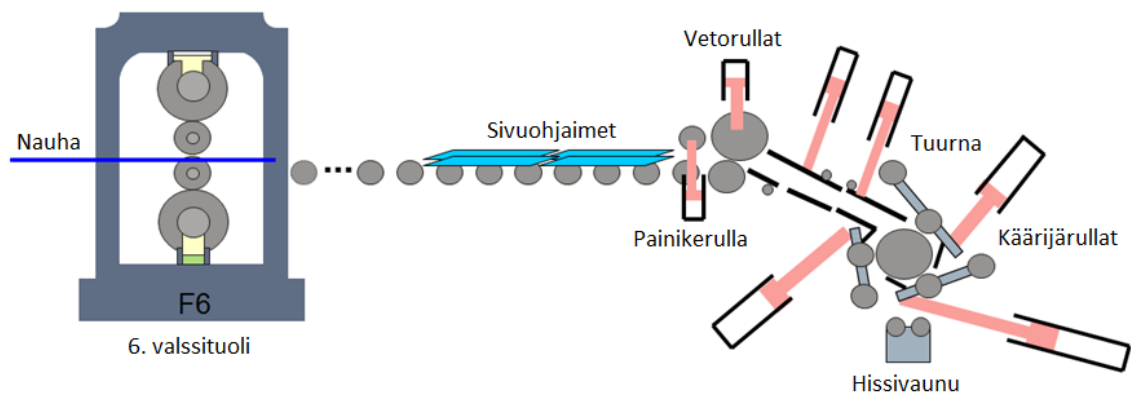
## 2 KELAUSPROSESSIN KUVAUS LYHYESTI

Kelaus on nauhavalssauksen viimeinen vaihe. Ennen kelainta aihio on lämmitetty, siitä on valssattu pysty- ja pituussuunnassa esinauha, esinauha taas yleensä kelataan esinauhakelaimella ennen varsinaista valssausta, jossa nauha saavuttaa lopulliset dimensionsa. Nauhavalssausprosessin vaiheet löytyvät yksinkertaistettuna kuvassa 1.



Kuva 1. Nauhavalssausprosessi (Rautaruukki, 2012)

Kelausprosessin itsessään voi laskea alkavan viimeiseltä valssituolilta ja se voidaan jakaa käytännössä kolmeen vaiheeseen. (Blazevic D. 2008, s. 1) Kelausprosessiin suoraan liittyviä komponentteja ja laitteistoa havainnollistetusti kuvassa 2.



Kuva 2. Kelaukseen liittyviä komponentteja yksinkertaistettuna (Putansuu E. 2018, s. 1)

## 2.1 Ensimmäinen vaihe

Ensimmäinen vaihe alkaa viimeiseltä valssituolilta, kun nauhan keula kulkee suorajähdytyksen läpi kohti sivuohjaimia ja vetorullia ja loppuu kelaimen sisälle siinä vaiheessa, kun nauhaan muodostuu veto. Ensimmäinen vaihe on haasteellinen, sillä nauhan pää kulkee vapaasti ja nopeasti, jopa 15 metriä sekunnissa, tulo-rollerata jäähdytyksen kanssa on yli 130 metriä pitkä ja lopussa piilee hyviä mahdollisuuksia kelauksen epäonnistumiselle.

Nauhan keulan lähestyessä kelainta sivuohjaimet keskittävät ensimmäisellä lyhytiskulla nauhan lähemmäs rullaradan keskilinjaa materiaaliseurannan ilmoittamassa kohdassa. Vektorullan kohdalla suoritetaan keskityksen toinen vaihe. Ensimmäisessä vaiheessa sivuohjaimet siirtyvät iskunomaisesti lähemmäs nauhaa ja toisessa vaiheessa nauhan keula on saavuttanut vektorullat ja sivuohjaimet puristuvat voimasäädöllä kiinni nauhaan. Tässä vaiheessa tapahtuu nauhan aseman pieni siirto, joka vaikuttaa tuurnalla kelautuvaan kelaan 0-3 kierroksen matkalla riippuen missä asemassa nauha kelaimelle saapuu. Kyseisten 0-3 kierroksen aikana muodostuu myös tulevassa kappaleessa 3 esiteltävä primäärinen teleskooppi. Tuurnalle saapuessaan kaartuu nauha käärijärullia myöten ensimmäiselle kierrokselle ja samalla tuurnaa paisutetaan kohti ääriasemaansa. On kuitenkin tärkeää, että tuurna ei saavuta äärihalkaisijaansa, sillä se voisi johtaa esimerkiksi löysään silmään ja kelan luistamiseen tuurnalla.

Ensimmäisen kierroksen jälkeen käärijärullat avautuvat, ja tuurnan, vektorullien ja viimeisen valssituolin väliin muodostuu veto. Tässä vaiheessa tuurnan vetoa vastustaa erään valmistajan mukaan karkeasti 80 % vektorullilta ja 20 % valssilta. (Putansuu E., 2018)

## 2.2 Toinen vaihe

Toisessa vaiheessa tilanne on muihin vaiheisiin verrattaessa vakaa. Valssin, vektorullien ja tuurnan välillä on veto ja nauha kelautuu yleensä vaivattomasti, mutta erityisesti sivuohjaimia voimasäädöllä ajettaessa on mahdollista, että kelaan syntyy kappaleessa 3 esiteltävää periodista teleskooppia nauhan alkaessa oskilloida. Kelauksen aikana valssi toimii nauhan nopeuden määräävänä tekijänä. (Putansuu E. 2018)



### 2.3 Kolmas vaihe

Kolmannen vaiheen alussa vetoja tuurnaa vastaan muutetaan, kun nauhan häntä pääsee viimeisille valssituoleille. Kaikki veto tehdään vetorullilla, sivuohjaimilla ja rullaradalla, jolloin hännän irtoaminen viimeiseltä valssituolilta tapahtuu hallitusti. Alussa vedosta noin 80 % on vetorullilla ja loput jakaantuvat sivuohjaimille ja rullaradalle. Veto siirtyy hännän edetessä voimakkaammin vetorullille, kunnes sivuohjaimien jälkeen se on jälleen 100 % ennen vapautumistaan vetorullalta ja hännän paikoitusta. Veto tuurnaa vastaan heikkenee samalla jatkuvasti vetorullien vedon pysyessä vakiona. Hännän paikoituksessa tuurnan nopeutta hidastetaan, pysäytetään kela haluttuun asemaan ja paikoituksen jälkeen kela uloslastataan hissivaunun avulla. (Putansuu E., 2018)

Kolmannessa vaiheessa voi syntyä usean tyyppistä teleskooppia ja häntäheitoksi kutsuttua voimakasta viimeisten kierrosten teleskooppisuutta, joita käsitellään kappaleessa 3.

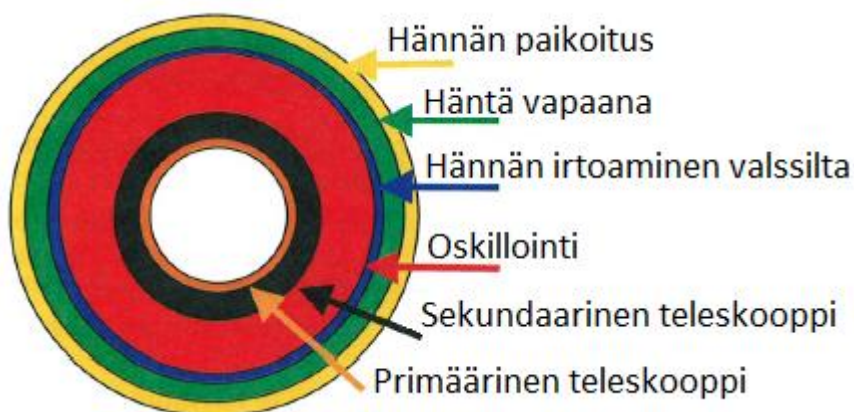
## 3 KELAN MUOTO

### 3.1 Täydellinen kela

Idealisesti täydellisenä kelana voidaan pitää täysin suorasta, tasomaisesta ja saman levyisestä nauhasta kelattua kela, joka alusta loppuun saakka on kulkenut samassa linjassa ja täysin hallinnassa. Kela on verrattavissa sylinteriin, jonka seinämät ovat täysin suorat, silmä on jämäkkä, eikä kela ole painunut lainkaan kasaan. (Müller U. ym. 2002, s. 68) Todellisuudessa idealisesti täydelliseen kelaan päästään hyvin harvoin, sillä prosessiin mahtuu suunnaton määrä virheitä, jotka usein kertautuvat ja näkyvät lopputuotteessa, vaikka kelauksessa niitä pystytäänkin kompensoimaan. Täydellinen kela ei olekaan realistinen tavoite, vaan asiakkaat asettavat todelliset vaatimukset esimerkiksi kelan silmän ja hännän teleskoopille sekä periodiselle teleskoopille. Kela voi siis olla hyvä, vaikka siinä virheitä ilmeneekin.

### 3.2 Teleskooppisuus

Kelauksessa muodostuvaa yleisintä virhettä kutsutaan teleskoopiksi teleskooppimaisen muotonsa vuoksi. Käytännössä Teleskooppimaisuus on kelan kierrosten välistä aseman tai nauhan leveyden välistä heittoa keskenään. Teleskooppimaisuutta voi ilmentyä koko kelan alueella ja sitä jaotellaan sijaintinsa mukaan. Jaottelun alueen perusteella voidaan päätellä virheen muodostumismekanismi. Kuvassa 3. havainnollistetaan jaottelua visuaalisesti. Jaottelun lisäksi keloissa voi ilmetä kaatuvaa teleskooppia ja massiivista teleskooppia, joita ei tässä työssä käsitellä.



Kuva 3. Teleskoopin eri alueet (Blazevic, 2008, s. 183).

### **3.2.1 Primäärinen teleskooppisuus**

Valmiissa kelassa lähimpänä kelan silmää havaittavaa teleskooppisuutta kutsutaan primääriseksi teleskoopiksi (”silmätötterö”). Primäärinen teleskooppisuus syntyy kelan ensimmäisille muutamalle kierrokselle ja on ainoa teleskooppityyppi, joka syntyy ennen vetorullaa, sillä sivuohjaimia tulee pitää nauhaa leveämmällä ennen vetorullaa tökkäämistä estämiseksi. (Blazevic D., 2008, s. 185) Tällöin nauhan keula ehtii tuurnalle hieman vinossa, ennen kuin keskitys vaikuttaa ja syntyy lyhyt, mutta voimakas teleskooppi. Tilanne korostuu vielä entisestään vetorullan toimiessa ikään kuin nivelenä ennen kuin nauha saavuttaa tuurnan. Kierrosten lukumäärä riippuu nauhan nopeudesta ja kuinka nopeasti sivuohjaimet ehtivät haluttuun asemaansa. (Blazevic D., 2008, s. 59) Primäärinen teleskooppi on usein asiakkaille kriittinen ja siihen on hankala vaikuttaa.

### **3.2.2 Sekundaarinen teleskooppisuus**

Sekundaarinen teleskooppisuus alkaa primäärisen teleskoopin jälkeen ja voi jatkua jopa kelan puoliväliin saakka ennen aseman vakiintumista. Syitä sekundaariselle teleskoopille voi olla useita, kuten kuumentunut tuurna, tuurnan kuluneisuus, ongelma tuurnan laajennuksen ajoituksen kanssa, ensimmäisille kierroksille muodostuvan ”kuplan” suuruus ja tuurnan korkea pyörimisnopeus. (Blazevic D. 2008, s. 59)

### **3.2.3 Oskillointi / periodinen teleskooppi**

Periodinen teleskooppi ilmenee sekundaarisen teleskoopin ja hännän valssilta irtoamisen välissä. Nauha voi alkaa oskilloimaan ja sen keskilinjan asema muuttuu jaksottaisesti. Tämä näkyy pykälänä kelan kyljessä. Syynä voi olla esimerkiksi virhe voimasäädössä tai tuurnan riittämätön voima ja nauha pääsee tarkoitettua löysemmälle. (Blazevic D. 2008, s. 60)

### **3.2.4 Loppuvaiheen teleskoopit**

Nauhan päästessä viimeiseltä valssituolilta voidaan nähdä lyhyt, kahdesta kolmeen kierrosta pitkä teleskooppirengas tai sivuohjaimien linjaongelmasta johtuva pykälä, jossa nauhan asema on muuttunut hyppymäisesti. Tämän jälkeen nauhan hännän kelautuessa voi ilmetä satunnaista oskillointia, johtuen tuurnan riittämättömästä voimasta, tai esimerkiksi toiselle reunalle kaatuvaa teleskooppia. Lopuksi, kun nauhaa hidastetaan hännän paikoitusta varten, voi ilmetä voimakasta hännän sivuunajautumista,

hätäheittoa. Häntäheitto voi liittyä esimerkiksi hännän banaanimaisuuteen tai tuurnan ja vetorullan välisiin synkronointiongelmiin. Myös sivuohjaimien voimasäädöllä voi olla tuhoisavaikutus hännän teleskoopin suhteen. (Blazevic D. 2008, s. 60 - 61)

### **3.3 Muut virheet**

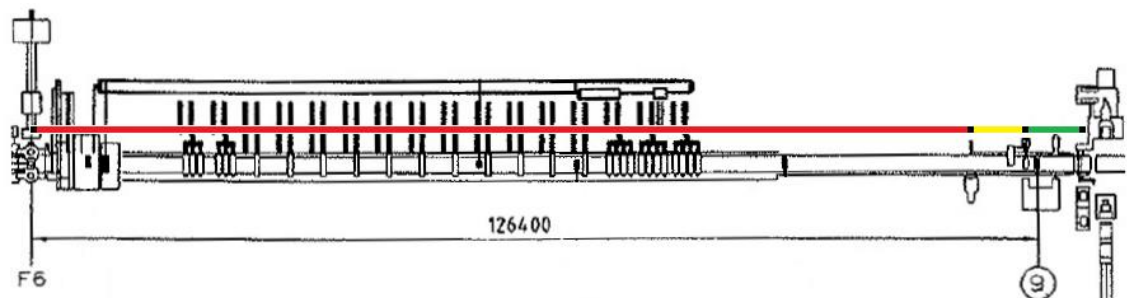
Muita virheitä muodostuu lähinnä kelan käsittelyyn liittyvistä poikkeamista, mutta myös lämmönhallinnalliset ongelmat aiheuttavat omanlaisiaan virheitä. Esimerkiksi nauhan häntä voi revetä valssilla ja syntynyttä irtohäntää kutsutaan ”vasikaksi”, hännän reunat voivat repeytyä rakenteisiin tai paikkasäädöllä oleviin sivuohjaimiin ja kuuma tai kylmä nauhan keula voi aiheuttaa silmäongelmia. Muina virheinä voidaan mainita myös kelan kasaan painuminen, trukin tai nosturin piikkien tökkäykset ja tarttumiset ja erityisesti aiemmin muodostuneiden teleskooppien reunojen taittumiset ja repeämiset käsittelystä johtuen. (Pikkuaho A., 2018)

## 4 KELAIMEN OPTIMOINTI

Tutkimuksen aikana keskityin kelauksen ensimmäiseen vaiheeseen ja erityisesti primääriseen teleskooppiin. Ongelmaan pureutuakseni täytyi ensin selvittää mahdolliset tavat, joilla ilmiöön voi vaikuttaa. Muistetaan, että kyseessä on ainoa teleskooppityyppi, joka syntyy ennen vetorullaa ja virhe itsessään syntyy keskityksestä aiheutuvan siirtymän vuoksi.

### 4.1 Ongelman tutkiminen

Nauhan keula kulkee vapaana melkein koko noin 130 metriä pitkän tulo- ja loppurullaradan ja aivan loppuvaiheessa sitä aletaan keskittää kaksivaiheisella keskityksellä. Ensimmäisessä vaiheessa sivuohjaimia viedään iskunomaisesti lähemmäs nauhan keskilinjaa ja toinen vaihe alkaa, kun nauhan keula saavuttaa vetorullan. On erittäin kriittistä, että sivuohjaimia ei viedä liian lähelle nauhaa tai kiinni siihen ennen vetorullaa, sillä vapaa nauha voi herkästi tökätä ohjainten väliin. Tällöin menetetään kyseinen nauha sekä kallista tuotantoaika. Myös käyttäjä voi pelastaa nauhan avaamalla sivuohjaimet pahassa tilanteessa, mutta tällöin silmän teleskooppi on erittäin suuri johtuen suuresta siirtymästä vetorullan jälkeen. Nauhan keskitysalue ja tulo- ja loppurullarata löytyy havainnollistettuna kuvassa 4. Vihreä alue tarkoittaa voimakkainta keskitysalueutta, keltainen keskityksen heikommalla vaikutusalueella olevaa aluetta ja punainen tarkoittaa aluetta, jossa nauhan keula kulkee täysin vapaana.



Kuva 4. Nauhan keulan kulku tulo- ja loppurullaradalla.

Kuvassa 5 nähdään havainnollistava esimerkki voimakkaan banaalin aiheuttamasta tökkäämisriskistä. Kuva on kelaimen tulo- ja loppurullaradalta. Järjestelmällä on tiedossa nauhan nimellisleveys ja keskityksen lyhytiskujen pituudet. Jos sivuohjaimet puristavat nauhaa liian voimakkaasti ennen vetorullaa, ei nauha mahdu enää liikkumaan ja tökää.



Kuva 5. Voimakas banaanimaisuus aiheuttaa suuren tökkäämisriskin.

Keskittämisen 2. vaiheen aikaistaminen suuresti ennen vetorullaa olisi siis tällä kalustolla hyvin riskialtista, joten siihen ei kesän aikana kannattanut alkaa. Sen sijaan itse keskitysprosessiin syvemmälle pureutumalla löytyi mahdollisuuksia vaikuttaa keskitykseen kuluneeseen aikaan, joka korreloi suoraan virheen pituuteen. Kelaimen parametritaulukoissa voi vaikuttaa suoraan 2. vaiheen iskunpituuteen, joka vaikuttaa myös suoraan sivuohjaimien odotusleveyteen. Sivuohtaimien odotusleveys muodostuu karkeasti kuvan 6 mukaisesti nauhan nimellislevydestä, keskityksen 1. vaiheen iskunpituudesta, sekä 2. vaiheen iskunpituudesta.

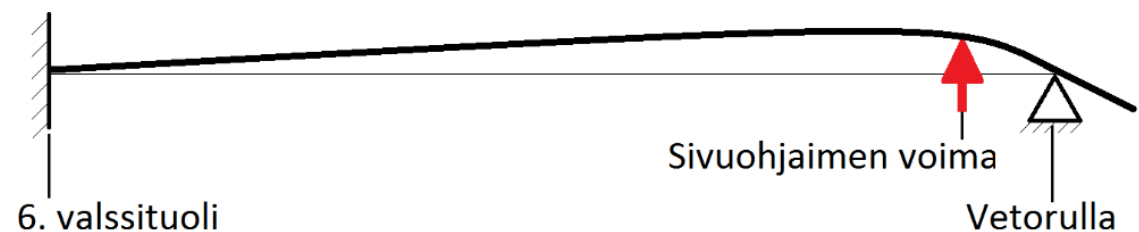


Kuva 6. Sivuohtaimien odotusleveyden muodostuminen.

Jos 2. vaiheen iskunpituutta lyhennetään, pysyy 1. vaiheen pituus ennallaan, mutta odotusleveys on lähtökohtaisesti pienempi. Tällöin vaikutetaan kahdella tapaa kelanmuotoa parantavasti.

Ensimmäinen vaikutus tulee lähtökohtaisesti keskilinjaa lähempänä olevista sivuohjaimista. Nauhan keula tulee usein lähellä jompaakumpaa reunaa ja täten nauha kulkee lähempänä lopullista asemaansa jo ennen varsinaista keskitystä.

Toinen vaikutus syntyy nopeutuneesta vetorullan jälkeisestä keskityksen 2. vaiheesta. Iskunpituutta lyhentämällä myös keskitykseen kulunut aika lyhenee. 2. vaiheen alkuvaiheessa nauha käyttäytyy kummastakin päästään tuetun palkin tavoin, jota sivuohjaimet vääntävät. ”Palkin” toinen pää on valssilla ja vetorullat toimivat nivelen tavoin. Vetorullien ja tuurnan välillä nauhan pää siis vääntyy samaan suuntaan, kuin missä asemassa nauha saapui vetorullalle ja virhe korostuu entisestään. Jos 2. vaiheen nauhan aseman muutos saataisiin nollaan ennen tuurnaa, ei silmäänkään syntyisi primääristä teleskooppia. Ilmiötä on kuvattu karrikoidusti kuvassa 7. Kuvassa palkki kuvaa nauhaa ylhäältäpäin, punainen nuoli kuvastaa sivuohjaimien tuottamaa voimaa, vasemmanpuoleinen seinämä viimeistä valssituolia ja nivel vetorullaa.



Kuva 7. Sivuohtaimien vääntövaikutus nauhaan korostetusti.

## 4.2 Tutkimuksen toteuttaminen

Käytännössä testeillä haettiin tasapainoa romuriskin ja laadun välillä. Sitä, kuinka suuria muutoksia taulukkoon uskaltaa tehdä ilman, että romuriski kasvaa merkittävästi. Testeissä keskityttiin erityisesti ohueen laatualueeseen, eli 2 - 3 mm paksuihin ja 1000 – 1400 mm leveisiin nauhoihin, joten myös parametritaulukkoon muokataan arvoja kyseiselle välille. Arvot skaalautuvat lineaarisesti taulukkoon määritettyjen pisteiden välillä joten todellisuudessa muutokset vaikuttavat pienenevissä määrin myös seuraaviin

pisteisiin. Testailut tuli suorittaa päiväsaikaan oman valvontani alla, joten muutoksia tehtyäni seurailin tilannetta kelaimesta seuraavalla työpisteellä, josta kelanmuodon näki suoraan.

#### **4.2.1 Taulukkoarvojen muutokset**

Testejä varten jaksolla oli tultava riittävästi lähes samoilla dimensioilla ja ominaisuuksilla olevia nauhoja, jotta saisi riittävästi vertailudataa. Karkeasti yhden testin aikana seurattiin ensin kelojen muotoa ilman muutoksia, hetken päästä tehtiin muutos taulukkoon, kelanmuotoa seurattiin pidempi pätkä ja lopuksi arvot palautettiin alkuperäisiin. Seuraavalla kerralla sama kuvio, mutta muutoksen suuruutta nostettiin aina pykälittäin.

#### **4.2.2 Vaikutusten silmämääräinen seuranta**

Vaikutusten silmämääräistä seuranta varten tehtiin taulukko, johon kerättiin kaikkien nauhojen testien kannalta oleelliset tiedot ja silmän teleskoopin arviointiin luotiin asteikko, jossa ”-” tarkoitti täydellistä silmää, ”H” hylättyä ja niiden välille ”1-3” lineaarisesti skaalautuen 0 mm teleskoopista suurimpaan sallittuun, eli 60 mm saakka. Virheen suuruus arvioitiin silmämääräisesti ja merkittiin taulukkoon. 60 mm raja tulee yrityksen sisäisestä laatuohjelehdestä. (SSAB Europe Oy, 2018, s. 1)

#### **4.2.3 Datan analysointi**

Datan analysointiin käytettiin *ibaAnalyzer* -ohjelmistoa, jolla laadittiin tarkoitukseen sopiva työkalu. Tarkkailun kohteena oli aikaikkuna alkaen siitä, kun nauhan keula saapuu vetorullalle ja päättyen siihen, kun keskitystapahtuma on päättynyt ja rako nauhan ja sivuohjareiden välissä on vakiintunut nauhan leveyteen. Työkalu rakentui kolmesta tekijästä. Yksi oli nauhan leveys, toinen oli sivuohjaimien raon laskennallinen signaali ja kolmas oli sivuohjaimien raon anturiarvo. Kun anturiarvo saavutti laskennallisen arvon, tai vakiintui nauhan leveyteen, oli keskitys tapahtunut. Voimasäädöllä laskennallinen on kapeampi kuin nauhan leveys, vaikka siihen ei käytännössä pyritä. Analysoinnin jälkeen merkitsin taulukkoon keskitykseen kuluneen ajan, josta virheen pituus on suoraan riippuvainen nauhan liikkuessa vakiovauhtiaan.



### 4.3 Tulosten tarkastelu

Lopullinen otanta sisälsi 21 + 15 nauhaa suurimmilla muutoksilla ja 7 + 17 nauhaa ilman muutoksia. Laskennasta on jätetty pois esimerkiksi koukkunokan vuoksi avattujen sivuohjaimien johdosta epäonnistuneet keskitykset. Otannan nauhat olivat saman erän sisällä tehtyjä vertailukelpoisia testinauhoja, joiden jälkeen jätin arvot pysyvästi käyttöön. Lopullisiksi arvoiksi parametritaulukkoon uskalsi jättää 25 – 40 % alkuperäisiä pienemmät arvot ilman valvontaa. Keskitysajan keskiarvoja saman erän sisällä vertailtaessa keskitysaika lyheni 12,4 % - 17,6 %. Kelanmuotoa itsessään on hankalampi arvioida silmämääräisesti silmien teleskoopin kannalta onnistumisen vaihtelun vuoksi. Tarkempaa kelanmuodon seurantaan voisi saada aikaan investoimalla esimerkiksi kolmiomittausta ja laseria hyväksikäyttävään kelanmuotomittariin, josta saataisiin suoraan mittaajasta riippumatonta dataa. (Degner M., 2013. s. 189 - 190.) Vastaavanlaista testailua ei ole aiemmin tehty, mutta tulokset ovat odotetunlaisia ja kelanmuodon pitäisi olla parempi.

### 4.4 Johtopäätökset ja suositukset

Kelaimen keskityksen lyhytiskujen iskunpituuksien parametritaulukossa on selkeästi varaa optimoinnille ilman suurta romuriskiä. Keskitysaika lyhenee ja myös virheen maksimi pienenee johtuen lähtökohtaisesti keskilinjaa lähempänä sijaitsevista sivuohjaimista. Kelanmuodon edistämiseksi tutkimusta voi jatkaa paksummillekin nauhoille, mutta tämän tutkimuksen tuloksia ei voi suoraan hyödyntää paksujen laatujen mahdollisesti erilaisen käyttäytymisen vuoksi.

Suosittelen jättämään muutetut arvot käyttöön ja jatkamaan tutkimusta koko parametritaulukon alueelle.

## **5 YHTEENVETO**

Kelanmuotoon ja kelausprosessiin perehtymisen jälkeen oli mahdollista pureutua kelanmuodon ongelmiin ja parantamiseen. Kelan silmän primäärinen teleskooppi on perinteinen ja kriittinen ongelma, jota saatiin vähennettyä tietyn asiakkaan laaduille tutkimuksen ansiosta. Tulevaisuudessa tutkimusta voi jatkaa koskemaan useampia laatuja, mutta tuloksia ei voi suoraan käyttää paksumpien laatuojen mahdollisesti erilaisen käyttäytymisen vuoksi.

## LÄHDELUETTELO

Blazevic D. T., Rev. 2008. Hot strip mill operations. Vol. 1. Coiling. Sun Lakes: Hot Rolling Consultants, 232 s.

Degner, M., 2013. Modern Hot Strip Production – Process and Plant Technology. Düsseldorf: Verlag Stahleisen GmbH, 254 s. ISBN 978-3-514-00808-3

Müller U., Wolff A., Parker D. J., Sanfilippo F., Moretto C., 2002. European Commission technical steel research, Rolling flat products, Improvement of hot strip coiling by optimisation of coiler control. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 170 s. ISBN 92-894-3248-9

Pikkuaho A., 2018 Kelanmuodon selvitystä [suullinen haastattelu] [haastateltu 14.6.2018]

Putansuu E., 2018. Kelaimen toiminta ver3 [yrityksen sisäinen dokumentti] [viitattu 10.8.2018]

Putansuu E., 2018 Kelausprosessin selvitystä [suullinen haastattelu]. [haastateltu 1.6.2018]

Rautaruukki Technology Centre (2012) Coil coated steel – Raw material & coatings [verkkodokumentti] <https://www.slideshare.net/Ruukki/raw-materials-and-coatings-basic-training> [viitattu 10.8.2018]

SSAB Europe Oy, 2018. Laatuohjelehti lv84 [yrityksen sisäinen dokumentti] [viitattu 10.8.2018]

