

Opinnäytetyö AMK

Tuotantotalous

2018

Tommi Helminen

TERÄSNAUHAN  
REUNALEIKKAUSJÄLJEN  
LAADULLINEN KATSELMUS  
ENNEN JA JÄLKEEN  
KYLMAVALSSAUKSEN

Tommi Helminen

# REUNALEIKKAUSJÄLJEN LAADULLINEN KATSELMUS ENNEN JA JÄLKEEN KYLMAVALSSAUKSEN

Opinnäytetyö suoritettiin toimeksiantona SSAB yhtiön Hämeenlinnan ohutlevyterästehtaalle. Opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä laadullinen katselmus tämänhetkisestä teräksen reunaleikkausjäljen laadusta ja tutkia miten teräksen reuna-alueet muuttuvat kylmävalssauksen jälkeen. Tavoitteena oli myös selvittää reunaleikkaukseen vaikuttavia tekijöitä.

Teräksen tuotanto ja kysyntä ovat kasvaneet vuosi vuodelta todella paljon. Samalla asiakkaiden vaatimukset ja odotukset tuotteista ovat kiristyneet todella paljon. Uudet tuotteet rasittavat ja kuormittavat vanhoja koneita ja prosesseja aivan eri tasolla ja näin ollen prosesseja on kehitettävä, jotta uusia tuotteita pystytään laadukkaasti valmistamaan. Reunaleikkaus on tärkeä arvoa tuottava prosessi mutta se on myös aina ollut vaikea prosessi hallita, sillä siihen vaikuttaa monet asiat. Varsinkin uusien, vaikeampi valmistettavien tuotteiden laadukas reunaleikkaus tuottaa vaikeuksia ja siksi reunaleikkausta on aika kehittää. Tämä työ on ensimmäinen askel reunaleikkauksen kehittämiseen.

Tutkimus aloitettiin perehtymällä metallurgiaan ja erilaisten metallin leikkaustyylien teorioihin. Tämän jälkeen valittiin koelaadut, joiden reunaleikkausta lähdettiin katselmoimaan. Ennen reunaleikkausta, peittäusprosessin kaikki tärkeät parametrit otettiin ylös, jotta leikkaukseen vaikuttavat tekijät pystyttäisiin erottelemaan. Reunaleikkauksen jälkeen reunoista otettiin mikroskooppikuvat ja tallennettiin ne tietokantaan, josta pystyttiin analysoimaan reunaleikkausta tarkemmin. Teräskelat menevät seuraavaksi kylmävalssaukseen. Kylmävalssauksen kohdalla tehtiin samat toimenpiteet kuin reunaleikkauksessa. Tämän jälkeen hallussa oli hyvä määrä dataa, jonka avulla pystyttiin katselmoimaan kyseisen laadun reunaleikkauksen taso sekä reuna-alueen muutos kylmävalssauksen jälkeen.

Tutkimuksessa kerrotaan erilaisia tekijöitä, jotka vaikuttavat teräsnauhan reunaleikkauksen laatuun. Tutkimuksessa pyritään myös selittämään, miten huonosti hallittuna nämä tekijät käytännössä voivat vaikuttaa reunaleikkaukseen. Tämänhetkisen laatuilanteen katselmoimisen avulla pyritään kehittämään tehokkaita kehitysideoita reunaleikkausprosessin hallinnan sekä laadun parantamiseksi.

## ASIASANAT:

Metallurgia, Reunaleikkaus, Peittäus, Kylmävalssaus, Kaksifaasiteräs, IF-teräs, Booriteräs

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Industrial Management Engineering

2018 | number of pages, number of pages in appendices

Tommi Helminen

# QUALITY REVIEW OF STEEL SIDE CUTTING BEFORE AND AFTER COLD ROLLING

- SSAB Hämeenlinna steel mill

This thesis was executed as an assignment for SSAB Hämeenlinna steel mill. The target for this thesis was to do a review of steel side cutting and investigate how cold rolling effects to side cut steel. Target was also to find factors that have an effect to the quality of side cutting.

The supply and demand of steel materials has been increased year after year. At the same time customer's demands and expectations has become more and more strict and harder to fulfill. New steel grades are harder to manufacture and they strains old processes and machines. This is why it is important to improve the old processes and machines so new steel grades can be produced with good quality. Side cutting is important process which adds value to the product. It is also very hard process to maintain and manage because many different things effects to the side cutting's quality. Especially new, harder to produce steel materials brings new difficulties to the process and that is why it is time to improve side cutting process. This thesis is the first step to improvement of side cutting process.

Review started by learning more about metallurgy and theories of steel's side cutting. Then few steel grades were selected for this review. Before the side cutting review, important parameters of pickling line were taken up. This is important because now different factors can be separated for each other so it could be easier to analyze how they affected to the side cutting. After the steel coils were side cut, microscopic photos were taken from both sides of processed steel coils and were uploaded to hardware for more specific analyzation. After side cutting, steel coils goes to cold rolling process. In cold rolling process the same procedures were taken that had been done in side cutting process. Checked important parameters, took microscopic photos from both sides uploaded them. After these procedures, we had gathered great amount of data to review the quality of side cutting and how cold rolling effects to different types of side cutting qualities not only for specially that steel grade but for similar steel grades as well.

This thesis presents different factors that have an effect on the steel's side cutting and how they affect it in practice. With the help of reviewing the side cutting quality for different steel grades, this thesis presents different ideas to manage the process better and improve side cutting quality for problematic steel grades.

## KEYWORDS:

Metallurgy, Side cutting, Cold rolling, Pickling, Dual phase steel, IF-steel, Boron steel

# SISÄLTÖ

<b>SANASTO</b>		<b>8</b>
<b>1 JOHDANTO</b>	VIRHE. KIRJANMERKKIÄ EI OLE MÄÄRITETTY.	
1.1 Tavoite		2
1.2 Tutkimusmenetelmä		2
1.3 Aiheen rajaus		4
<b>2 SSAB</b>		<b>5</b>
2.1 Liiketoimintamalli		5
2.2 Tuotteet		6
2.3 SSAB Hämeenlinnan tehdas		7
<b>3 PEITTAUSLINJA</b>		<b>9</b>
<b>4 REUNALEIKKAUSPROSESSI</b>		<b>11</b>
4.1 Leikkausvoimat pyöröleikkauksessa		12
4.2 Reunaleikkauksen tavoite		12
4.3 Leikkaustapahtuma		14
4.4 Purse		15
4.5 Reunaleikkaukseen vaikuttavat tekijät		16
4.5.1 Pyöröleikkurien, hakkurien sekä prosessilinjaan nopeus		16
4.5.2 Leikattava materiaali		17
4.5.3 Kuumanauhan virheet		18
4.5.4 Leikkausterien materiaali		19
4.5.5 Tukirenkaat		20
4.5.6 Terien kunto ja tukirenkaiden kunto		22
4.5.7 Terien ja tukirenkaiden huolto		24
4.5.8 Leikkausterien asetus prosessilinjaan		27
4.5.9 Teräasetukset		28
4.5.10 Reunaromun leveys		30
<b>5 KYLMÄVALSSAUS</b>		<b>32</b>
5.1 Kylmävalssauksen vaikutus teräsnauhan ominaisuuksiin		33
5.2 Kylmävalssaus Hämeenlinnan tehtaalla		35

<b>6 KARKAISTAVAN BOORITERÄKSEN REUNALEIKKAUSKATSELMUS</b>	<b>37</b>
6.1 Tietoa teräksestä	37
6.2 Leikkauksen parametrit	37
6.3 Reunaleikkausjälki	38
6.4 Kylmävalssauksen parametrit	44
6.5 Reuna-alueen muutos valssauksen jälkeen	44
6.6 Päätelmät	48
<b>7 IF TERÄKSEN REUNALEIKKAUSKATSELMUS</b>	<b>49</b>
7.1 IF- teräokset	49
7.2 Leikkauksen parametrit	49
7.3 Reunaleikkausjälki	50
7.4 Kylmävalssauksen parametrit	55
7.5 Reuna-alueen muutos valssauksen jälkeen	55
7.6 Päätelmät	60
<b>8 DP TERÄKSEN REUNALEIKKAUSKATSELMUS</b>	<b>63</b>
8.1 DP teräokset	63
8.2 Leikkauksen parametrit	63
8.3 Reunaleikkausjälki	64
8.4 Kylmävalssauksen parametrit	69
8.5 Reuna-alueen muutos valssauksen jälkeen	70
8.6 Päätelmät	73
<b>9 YHTEENVETO</b>	<b>76</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>82</b>

## **KUVAT**

Kuva 1 Dnt DigiMicro Mobile mikroskooppi (Dnt 15.2.2018)	4
Kuva 2 Tuotantolaitokset ympäri maailmaa (SSAB 2018)	5
Kuva 3 Viisi SSAB:n divisioonaa (Intranet SSAB)	6
Kuva 4 SSAB Brändihallinta (Intranet SSAB)	7
Kuva 5 SSAB Hämeenlinnan tehtaan tuotantokaavio (Intranet SSAB)	8
Kuva 6 SSAB Hämeenlinnan tehdas (SSAB Hämeenlinna)	8
Kuva 7 Hämeenlinnan tehtaan peittäuslinja (Intranet SSAB)	10
Kuva 8 Pyöröleikkauksen geometriaa (Harjula, Heikki & TKM TTT Finland 2016)	11
Kuva 9 Leikkauspinnan osat (Tekninen tiedotus 9/80 1980)	14

Kuva 10 Tukirengas	22
Kuva 11 Reunaleikkausterien kulumaviiste (Peittauslinjan sivuleikkurin pyöröterien ja tukirenkaiden sorvaus työohje 2017)	27
Kuva 12 Leikkausvälyksien vaikutus halkeamien etenemiseen (Tekninen tiedote 9/80 1980)	29
Kuva 13 Terävalmistajan suositus pystyvälkyksiin (Harjula, Heikki & TKM TTT Finland 2016)	30
Kuva 14 Kvartto- eli neljäkorkea valssain (Hirvonen, T. & Järn, S. & Lankila, A. & Luukkonen, J. & Paavilainen, J. & Palkkikangas, M. & Peltoa, A. & Sipilä, R. & Tuovinen, J. 1998, 40)	32
Kuva 15 Tasomaisuusvirheitä kylmävalssauksessa (Hirvonen, T. & Järn, S. & Lankila, A. & Luukkonen, J. & Paavilainen, J. & Palkkikangas, M. & Peltoa, A. & Sipilä, R. & Tuovinen, J. 1998)	34
Kuva 16 Purseisen reunaleikkausjäljen kylmävalssaamisesta aiheutuva sahalaita	35
Kuva 17 Hämeenlinnan tehtaan tandemvalssain (Intranet SSAB)	36
Kuva 18 Hoitopuolen reunaleikkaus silmämääräisesti + kelan 234160 hankaumat	39
Kuva 19 Kelojen käyttöpuolen reunaleikkausjälki silmämääräisesti	40
Kuva 20 Hoitopuolen reunaleikkausjälki	40
Kuva 21 Kelan 234160 hoitopuolen hankauma	41
Kuva 22 Hoitopuolen leikkauksessa tapahtunut teräksen liukuminen	41
Kuva 23 Hoitopuolen purse	42
Kuva 24 Käyttöpuolen reunaleikkausjälki	42
Kuva 25 Käyttöpuolen epätasainen murtuminen	43
Kuva 26 Käyttöpuolen purse	43
Kuva 27 Peittauksen hoitopuolen reuna silmämääräisesti katsottuna	45
Kuva 28 Peittauksen käyttöpuolen reuna silmämääräisesti katsottuna	45
Kuva 29 Peittauksen hoitopuolen reunaleikkausjäljen muutos	46
Kuva 30 Peittauksen hoitopuolen reunan sahalaita	46
Kuva 31 Peittauksen käyttöpuolen reunaleikkausjäljen muutos	47
Kuva 32 Peittauksen käyttöpuolen sahalaita	47
Kuva 33 Hoitopuolen reunaleikkausjäljen silmämääräinen tarkastus	51
Kuva 34 Käyttöpuolen reunaleikkauksen silmämääräinen tarkastus	51
Kuva 35 Hoitopuolen reunaleikkaus	52
Kuva 36 Esimerkkikuva lohkeamasta	52
Kuva 37 Hoitopuolen leikkauksessa tapahtunut teräksen liukuminen	53
Kuva 38 Hoitopuolen leikkausjäljen purse	53
Kuva 39 Käyttöpuolen reunaleikkausjälki	54
Kuva 40 Käyttöpuolen leikkauksessa tapahtunut teräksen liukuminen	54
Kuva 41 Käyttöpuolen purse	55
Kuva 42 Peittauksen käyttöpuolen reuna silmämääräisesti katsottuna	56
Kuva 43 Peittauksen hoitopuolen reuna silmämääräisesti katsottuna	57
Kuva 44 Peittauksen hoitopuolen reuna kylmävalssauksen jälkeen	57
Kuva 45 Peittauksen käyttöpuolen reuna kylmävalssauksen jälkeen	58
Kuva 46 Peittauksen hoitopuoleisen reunan sahalaita	58
Kuva 47 Peittauksen käyttöpuoleisen reunan sahalaita	59
Kuva 48 Purseen aiheuttama sahalaitainen reuna	59
Kuva 49 Hoitopuolen reunaleikkauksen silmämääräinen tarkastus	65
Kuva 50 Käyttöpuolen reunaleikkauksen silmämääräinen tarkastus	66
Kuva 51 Hoitopuolen reunaleikkauksen vaakasuora mikroskooppikuva	66
Kuva 52 Hoitopuolen epätasainen murtuminen, purse	67
Kuva 53 Hoitopuolen tasainen murtuminen	67
Kuva 54 Käyttöpuolen reunaleikkausjälki	68
Kuva 55 Käyttöpuolen epätasainen murtuminen, purse	68

Kuva 56 Käyttöpuolen tasainen murtuminen	69
Kuva 57 Peittauksen hoitopuolen reunan silmämääräinen tarkastus	70
Kuva 58 Peittauksen käyttöpuolen reunan silmämääräinen tarkastus	71
Kuva 59 Peittauksen hoitopuolen silmämääräinen tarkastus	71
Kuva 60 Peittauksen hoitopuolen purseen valssautuminen	72
Kuva 61 Peittauksen Käyttöpuolen reunan vaakasuora mikroskooppikuva	72
Kuva 62 Käyttöpuolen reunan mikroskooppikuva heikon purseen valssautumisesta	73

## **TAULUKOT**

Taulukko 1 Paksuuden vaikutus terävyyksiin Hämeenlinnan tehtaalla (Nauhan leikkausasetukset ja leikkausjäljen tarkastus työohje 2017)	30
---	----

# SANASTO

Bombeeraus	Valssin hionnassa tehty valssin keskikohtan ja reunan välinen halkaisijaero. (Hirvonen, T. & Järn, S. & Lankila, A. & Luukkonen, J. & Paavilainen, J. & Palkkikangas, M. & Peltoa, A. & Sipilä, R. & Tuovinen, J. 1998, 44)
Booriteräs	Booriteräkset luetaan sekä kulutusteräksiin että erikoislujiin teräksiin. Kylmävalssattava ja karkaistava booriteräs on kuumavalssauksen jälkeen erittäin kovaa. (Eskelinen, Heikki 2010, 4-5)
Crown	Teräsnauhan keskikohtan ja reuna-alueiden välinen paksuusero. (Hirvonen, T. & Järn, S. & Lankila, A. & Luukkonen, J. & Paavilainen, J. & Palkkikangas, M. & Peltoa, A. & Sipilä, R. & Tuovinen, J. 1998, 38)
DP-teräkset	”DualPhase” eli kaksifaasiteräkset. Kaksifaasiteräkset koostuvat pehmeästä ferriitistä ja kovasta martensiitista. (Noppa, University of Oulu 2011)
IF-teräs	”Interstitial Free”. IF-teräs on hyvin muovattava ja pehmeä teräslaatu, joka sisältää vähän välisija-atomeja eli hiiltä ja typpeä. (Kettunen, Tommi 2015, 9)
Kuumavalssaus	Metallintyöstöprosessi, jossa teräsnauha kuumennetaan korkeaan lämpötilaan ja muovataan valssien välissä ohuemmaksi. Kuumavalssaus tapahtuu noin 800-1250 celsiusasteen lämpötilassa. (Laine, Milka 2014, 8)
Kylmävalssaus	Metallin muokkausprosessi. Tässä prosessissa levyn, ohutlevyn tai nauhan paksuutta pienennetään puristamalla valssausaihiota valssien välissä huoneenlämmössä. (Teräskielen aakkoset)
Kvarttovalssain	Toiselta nimeltä nelikorkea valssain, jossa varsinaisia työvalsseja on tukemassa tukivalssit. (Hirvonen, T. & Järn, S. & Lankila, A. & Luukkonen, J. & Paavilainen, J. & Palkkikangas, M. & Peltoa, A. & Sipilä, R. & Tuovinen, J. 1998, 40)
Muokkauslujittuminen	Muodonmuutoksen aiheuttama lujittuminen teräksessä. (Harjula, Heikki & TKM TTT Finland 2016)
Murtolujuus	Teräksen murtumisen kesto. Kuinka suuren voiman teräs kestää ilman murtumista. (Elisanet 2018)
Myötölujuus	Teräksen plastisen muodonmuutoksen kesto. Kuinka suuren voiman teräs kestää ilman merkittävää plastista muodonmuutosta. (Elisanet 2018)
Purse	Leikkaussärmän vierestä tapahtuvan leikkauksen synnyttämä teräskohouma teräsnauhan reunaan. (Harjula, Heikki & TKM TTT Finland 2016)



Reduktio	Valssauksessa tapahtuvan teräksen oheneuman suhde nauhan alkuperäiseen paksuuteen. (Hirvonen, T. & Järn, S. & Lankila, A. & Luukkonen, J. & Paavilainen, J. & Palkkikangas, M. & Peltoa, A. & Sipilä, R. & Tuovinen, J. 1998, 38)
Tandemvalssaus	Kylmävalssaus tehdään useassa vaiheessa, jolloin valssipareja on useita peräkkäin. (Hirvonen, T. & Järn, S. & Lankila, A. & Luukkonen, J. & Paavilainen, J. & Palkkikangas, M. & Peltoa, A. & Sipilä, R. & Tuovinen, J. 1998, 38)
Teräs	Teräs on raudan ja hiilen seos, jossa hiilipitoisuus on alle 2% (Metallinjalostajat ry 2009, 4)
Tukirengas	Pyöröterien vastinkappale teräsnauhan toisella puolella. Tukee leikkaustapahtumaa.
Vajaasärmä	Reunan pyöritys, jonka yläterä muodostaa leikkausprosessin yhteydessä leikkausjäljen yläreunaan ja alaterä alareunaan. (Harjula, Heikki & TKM TTT Finland 2016)

# 1 JOHDANTO

Terästeollisuus on ollut viimevuosina kovassa kasvussa. Kysynnän kasvamisen myötä tuotelaatua sekä niiden sovelluksia on tullut markkinoille yhä enemmän ja enemmän. Teräsmateriaalien uudet ominaisuudet ja tarkat vaatimukset kuormittavat tuotantoa aivan eri tasolla kuin aikaisemmin. Terästuotteiden on oltava kestäviä ja lujia mutta samalla muovattavia ja kevyitä. Tästä syystä vanhasta teräksen materiaalimallista, missä pehmeäteräs on muovattavaa ja lujateräs on kovaa mutta haurasta, on siirrytty eteenpäin. Nykyään erittäin luja teräs voi olla hyvinkin muovattavaa. Yksi isoimmista syistä tähän on DP- teräksen eli monifaasiteräksen kehittäminen, yleistyminen sekä sen monet sovellukset. Tämä on myös johtanut siihen, että yritysten teräs tuotteiden määrä on kasvanut huomattavasti ja kovia teräksiä kehitetään yhä kovemmaksi ja pehmeitä teräksiä pehmeämmiksi. Tämän takia yritysten on investoitava uusiin koneisiin tai vahvasti päivitettävä vanhoja koneita ja prosesseja, koska kyseisiä koneita ei ole suunniteltu nykyaikaisten terästen valmistamiseen. Tämä asia koskee myös SSAB Hämeenlinnan tehtaan teräslevynauhan reunaleikkausta. Teräksen reunaleikkaus on tärkeä arvoa tuottava prosessi mutta samalla erittäin monimutkainen. Tässä prosessissa päätavoitteena on leikata teräslevynauha tilattuun leveyteen pysyen SFS-EN-10143 sekä SFS-EN-10131 mittastandardien toleransseissa. Tämä prosessi voi myös pilata koko teräskelan, jos sitä ei tehdä laadukkaasti. Aikaisemmin mainittu teräsmateriaalien ja tuotteiden määrän kasvu on tehnyt reunaleikkauksesta vaikean prosessin hallita, sillä monet eri asiat vaikuttavat reunaleikkauksen laatuun niin positiivisesti ja negatiivisesti. Saman leikkausterän pitäisi pystyä leikkaamaan toisiinsa nähden aivan erilaisia teräksiä peräkkäin useita kymmeniä, jopa satoja kilometrejä ja leikkausjäljen laadun pitää pysyä tarpeeksi hyvänä. Lisäksi reunaleikkaukseen vaikuttaa monet muutkin tekijät kuin itse leikattava teräs. Näiden kaikkien asioiden hallitseminen on erittäin vaikeaa Hämeenlinnan tehtaan kokoisessa terästehtaassa mutta on erittäin tärkeää laadukkaan reunaleikkausjäljen saavuttamiseksi. Huonosti hallittujen ja tehtyjen asioiden summa aiheuttaa huonoa laatua reunaleikkauksessa. Nämä laadulliset ongelmat vain pahenevat jatkojalostuksessa reuna-alueen muutoksina ja epätasaisuutena eikä asiakas ole tällöin tyytyväinen reunaleikkaukseen ja reklamoi virheellisestä tuotteesta.

## 1.1 Tavoite

Tämä työ suoritetaan toimeksiantona SSAB Hämeenlinnan tehtaalle. Tutkimuksellisen opinnäytetyön tarkoitus on kartoittaa reunaleikkauksen laatuun vaikuttavat tekijät ja miten kyseiset tekijät vaikuttavat reunaleikkauksen laatuun. Tekijöiden kartoituksen jälkeen tarkoitus on katselmoida Hämeenlinnan tehtaan reunaleikkauksen tämänhetkinen tilanne kartoitettujen tekijöiden pohjalta. Tarkoitus on myös kartoittaa tämänhetkinen tilanne reunaleikkauksen laadusta tietyllä IF-, Boori-, sekä monifaasiteräksellä. Tarkoituksena on myös katselmoida miten kyseinen reunaleikkauks jälki muuttuu, kun teräskela on kylmävalssattu. Tarkoituksena on jatkossa käyttää tässä työssä kerättyä dataa reunaleikkauksen prosessin kehittämisessä, reunaleikkauksen ohjauksessa ja laadullisessa tarkastuksessa.

Tämä aihe on ajankohtainen ja työn tulokset ovat tärkeitä toimeksiantajalle. Kuten aikaisemmin mainittu, teräksiä erilaisilla koostumuksilla ja ominaisuuksilla tulee kokoajan lisää mutta prosessilinjojen investoinnit eivät ole pysyneet mukana. Tämä on käynyt myös reunaleikkaukselle. Nykyään ongelmia huonosta reunaleikkauks jäljestä on ruvennut syntymään enemmän, joten yritys tarvitsee katsauksen tämänhetkisestä tilanteesta ja vaikuttavista tekijöistä, jotta osataan tehdä oikeat korjaavat toimenpiteet reunaleikkauksen laadun parantamiseksi. Ennen kaikkea uusilla, erittäin pehmeiden terästen kanssa on ollut isompia vaikeuksia.

## 1.2 Tutkimusmenetelmä

Tutkimus alkoi teoriaosuudella ja tiedon keräämisellä. Teoriaosuudessa tutustuin tarkemmin metallurgiaan, reunaleikkauksen fysiologiaan, erilaisiin teräksenleikkaustapoihin, aikaisempiin reunaleikkauksen tutkimuksiin, artikkeleihin ja moneen muuhun erilaiseen tieteelliseen lähteeseen. Näiden pohjalta aloin toteuttaa laadullista katselmointia. Tässä katselmoinnissa tein paljon yhteistyötä tuotannosuunnittelun sekä tuotannon kanssa. Ensiksi katsoimme tuotannosuunnittelun kanssa, heidän tekemästä laiteohjelmasta, milloin kyseistä laatua oli tulossa peittäuslinjalle prosessoitavaksi. Laiteohjelma on käytännössä tilauksen teräskelojen prosessointiohje tuotantolinjan työntekijöille yhdessä tehtaantilauksen kanssa. Jokaisella tuotantolinjalla on omat laiteohjelmat, näin ollen samalla tilauksella on oma laiteohjelma peittäuslinjalla, kylmävalssauksessa, sinkityksessä ja niin edelleen. Laiteohjelmasta näkee tilauksen numeron, kelanumerot,

teräsraadun, teräskelojen dimensiot, prosessointiparametrit, seuraavan toimenpiteen, teräskelojen suojauksen koodin sekä tilauksen lisähuomautukset prosessointiin tai tuotteeseen liittyen. Toisin sanoen laiteohjelmasta ilmenee kaikki tarvittava teräksen prosessointiin. Menin hyvissä ajoin ennen kyseisten metallikelojen prosessointia kertomaan peittauslinjan sivuleikkaajalle, kelaajalle sekä siltanosturikuljettajalle, että olin katsomassa näiden kelojen reunaleikkauksen jälkeä. Tämä oli myös turvallisuus syistä, jotta prosessilinjän loppupään henkilöstö osasivat varoa ylimääräistä henkilöä. Tämän jälkeen otin kaikki tärkeät parametrit ylös, kuten kuinka paljon terillä oli ajettu ja oliko molemmilla puolilla saman toimittajan teriä vai oliko toisella puolella toisen toimittajan X ja toisella puolella toimittajan Y terät. Lisäksi otin ylös milloin terät viimeksi vaihdettiin tai käännettiin, terien välykset, teräpäät sekä halkaisijat. Samalla sain kuulla viimeisimmät kuulumiset linjan toiminnasta. Kelojen tultua linjan läpi, katsoin teräskelan reunaleikkauksen silmämääräisesti. Tämän jälkeen otin molemmilta puolilta tarkemmat reunaleikkauksen profiilikuvat Dnt DigiMicro Mobile mikroskoopilla. Kun kaikkien tutkittavien teräskelojen kuvat oli otettu, latsin ne tietokoneelle ja katsoin tarkemmin, millainen reunaleikkausjälki oli syntynyt. Tästä sain päätettyä teoriaosuudessa käsiteltyjen tekijöiden avulla, mitkä leikkausjälkeen vaikuttavat tekijät olivat vaikuttaneet leikkausjälkeen ja miten. Miksi leikkausjäljen laatu saattoi olla huonoa tai hyvää. Lisäksi, sain ennakkotietoa siitä, millaiseksi reuna-alue todennäköisesti muuttui kylmävalssauksen jälkeen. Seuraavaksi oli vuorossa kylmävalssaus. Kävin tuotannonsuunnittelun kanssa läpi, koska samat teräskelat olivat menossa kylmävalssaukseen ja tein samanlaiset toimenpiteet kuin peittauslinjalla. Ensiksi ilmoitin prosessilinjän henkilöstölle, että olin tulossa katsomaan reuna-alueen muutosta, otin tärkeät parametrit ylös kuten reduktion ja valssien ajomäärän, otin kuvat teräskelojen reunoista ja latsin ne koneelle. Tämän jälkeen minulla oli laadukasta dataa reunaleikkauksen laadusta ja reuna-alueen muutoksesta kylmävalssauksen jälkeen sekä niihin vaikuttavista tekijöistä. Alla on kuva käyttämästäni käsimikroskoopista.



Kuva 1 Dnt DigiMicro Mobile mikroskooppi (Dnt 15.2.2018)

### 1.3 Aiheen rajaus

Hämeenlinnan tehtaalle tulee kymmeniä, jopa satoja, erilaisia kuumanauhalaatuja Raahen tehtaalta. Näiden kaikkien laatuojen katselmointi ei kuulu tähän työhön. Katselmointi keskittyy kolmeen erikoiseen ja mielenkiintoiseen teräslaatuun, joidenka kysyntä on viimevuosina kasvanut. Nämä teräslaadut edustavat tietynlaisia teräslaatuja. IF-teräs edustaa pehmeitä teräksiä, DP-teräs edustaa moderneja kovia mutta sitkeitä teräksiä ja booriteräs edustaa karkaistavia kovia teräksiä. IF-teräs on erittäin pehmeää ja muovattavaa ja DP-teräkset kuuluvat lujimpiin Hämeenlinnan tehtaan valmistamiin terälaatuuihin. Booriteräs on myös lujaa, mutta eroaa kuitenkin ominaisuuksiltaan paljon DP-teräksestä. Näillä kolmella teräslaadulla saadaan katselmoitua tämänhetkinen tilanne reunaleikkauksen laadusta tietynlaisilla teräslaaduilla. Teoriaosuudessa mitään rajoitteita ei annettu vaan kaikki löydetyt mahdolliset tekijät oli tarkoitus kirjata tutkimukseen ja selittää, miten ne vaikuttivat reunaleikkauksen laatuun.

## 2 SSAB

”SSAB on maailmanlaajuisesti toimiva teräsyhtiö ja johtava erikoislujien terästen ja niihin liittyvien palveluiden toimittaja.” Näin yritys siteeraa itseään omista esityksissään eikä lause sisällä yhtään väärää väittämää. SSAB aloitti toimintansa Ruotsissa vuonna 1878 mutta nykyään yhtiö on maailmanlaajuinen teräksen valmistaja. Vuonna 2014 SSAB osti suomalaisen teräsvalmistajan Rautaruukin ja näin Hämeenlinnan tehdas siirtyi SSAB yrityksen nimen alle. Yrityksellä on tuotantolaitoksia jokaisessa maanosassa mutta suurimmat tuotantolaitokset sijaitsevat Suomessa, Ruotsissa ja Pohjois-Amerikassa. Yrityksen vuosittainen teräksen tuotantokapasiteetti on noin 8,8 miljoonaa tonnia terästä. SSAB:n nimen alla työskentelee tällä hetkellä noin 15 000 työntekijää 50 eri maassa. Vuonna 2016 yrityksen liikevaihto oli 55 miljardia kruunua. Yhtiön osakkeet ovat olleet pitkään jo nousussa. Vuodessa yhtiön osakkeet ovat nousseet 19.23 %. (SSAB 2018; Kauppalehti)



Kuva 2 Tuotantolaitokset ympäri maailmaa (SSAB 2018)

### 2.1 Liiketoimintamalli

SSAB on jakautunut viiteen eri divisioonaan, joista jokainen on erikoistunut tietynlaisiin tuotteisiin ja palveluihin. SSAB Special Steel on erikoistunut nuorrutus- ja erikoislujien teräksen maailmanlaajuiseen toimintaan. SSAB Europe on johtava nauha-, kvarttolevy- ja putkituotteiden valmistaja. SSAB Americas on Pohjois-Amerikan johtava kvarttolevy-

jen ja kvarttelojen valmistaja. Tibnor divisioona on erikoistunut metallin jakeluun ja on pohjoismaiden johtava metallien jakelija. Viimeisenä on Ruukki Construction. Tämä divisioona on erikoistunut energiatehokkaaseen rakentamiseen ja sen erilaisiin soveluksiin. (SSAB yrityskuva)



Kuva 3 Viisi SSAB:n divisioonaa (Intranet SSAB)

## 2.2 Tuotteet

SSAB:n tuotevalikoima on massiivinen. Erilaisia teräslaatuja on satoja ja jokainen laatu on erilainen. Kaikki laadut on jaettu seitsemän tuotebrändin alle. Näiden brändien sisällä olevat tuotteet sopivat samoihin käyttötarkoituksiin sekä omaavat samantyylliset ominaisuudet, mutta jokaisella tuotteella on oma koostumus. Tämä tekee jokaisesta tuotteesta erilaisen ja näin asiakas saa juuri omaan tarpeeseensa täydellisen tuotteen. Kyseisiä tuotebrändejä ovat Strenx, Hardox, Docol, Toolox, Armax, Greencoat sekä SSAB Domex / Boronc / form / weathering / laser plus brändi. Kuvassa 3 on esitelty tarkemmin SSAB brändihallintaa. (SSAB tuotteet)



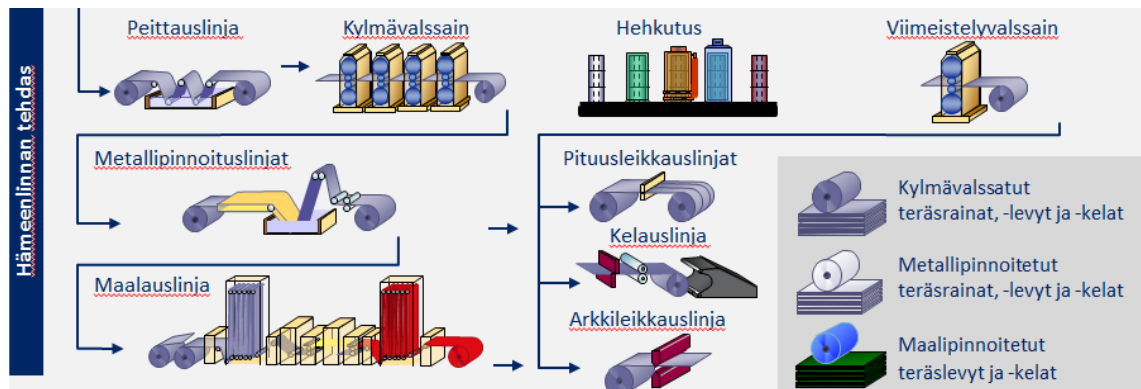
Kuva 4 SSAB Brändihallinta (Intranet SSAB)

### 2.3 SSAB Hämeenlinnan tehdas

Hämeenlinnan tehdas oli alun perin Rautaruukki nimisen yrityksen tehdas. SSAB osti Rautaruukin vuonna 2014 ja siitä lähtien Hämeenlinnan tehdas on ollut SSAB:n omistuksessa. Hämeenlinnan tehdas aloitti toimintansa vuonna 1972. Tehdas työllistää noin 900 henkilöä ja rakennusala on noin 13,9 hehtaaria. Tehtaan tuotantokapasiteetti on miljoona tonnia kylmävalssattua terästä vuosittain. Tällä hetkellä sinkityn materiaalin kapasiteetti on myyty täysin loppuun mutta kylmävalssatun teräksen kapasiteetti ei ole vielä aivan täysissä. Hämeenlinnan tehdas on erikoistunut kylmävalssatun, metallipinnoitetun ja maalipinnoitetun ohutlevyteräksen valmistukseen. Valmiita tuotteita käytetään muun muassa autoteollisuudessa, rakennusteollisuudessa sekä koneenrakennusteollisuudessa. Asiakkaille lähetetään tuotteita joko teräskelana, teräsarkkeina tai teräsrainoina. Tehtaalle tulevat teräskelat menevät ensin peittauslinjan läpi, missä teräslevynauhan pinta puhdistetaan rautaoksidista sekä kuumavalssausperäisestä hilseestä suolahappoliuoksen avulla sekä reunaleikataan, jotta tuotteen leveys saadaan kaikkien prosessointien jälkeen asiakkaan vaatimaan mittaan. Mahdolliset raakareunateräokset vain puhdistetaan peittauslinjalla. Täältä teräskela menee kylmävalssaukseen. Kylmävalssauksessa teräsnauhaa ohennetaan noin 80 %, joten nauha myös pitenee. Samalla saadaan hyvä pinnanlaatu mutta menetetään teräksen muovattavuus ominaisuus. Valssauksesta teräs voi mennä metallipinnoitukseen sinkityslinjoille tai hehkutukseen lämpökäsittelyyn. Lämpökäsittelyllä saadaan teräksen muovattavuusominaisuudet takaisin. Lämpökäsittelyn jälkeen teräsnauha aina viimeistelyvalssataan tempervalssaimella. Viimeistelyvalssauksessa teräsnauhan muovausominaisuudet täsmätään ja



tasomaisuus sekä pinnankarheus valssataan asiakkaan haluamaksi. Metallipinnoituksella parannetaan teräksen korroosion kestävyttä, mikä pidentää tuotteiden käyttöikää. Käytännössä teräsnauhan pinnalle tulee metallipinnoitusprosessin jälkeen sinkkipinta, joka suojaa terästä. Maalipinnoituslinjalla teräsnauha maalataan asiakkaan haluamalla maalilla ja oikeaan sävyyn. Lopuksi teräskela muokataan tarvittaessa asiakkaan haluamaan muotoon joko arkkileikkauslinjalla, pituusleikkauslinjalla tai kelauslinjalla. (Intranet SSAB)



Kuva 5 SSAB Hämeenlinnan tehtaan tuotantokaavio (Intranet SSAB)

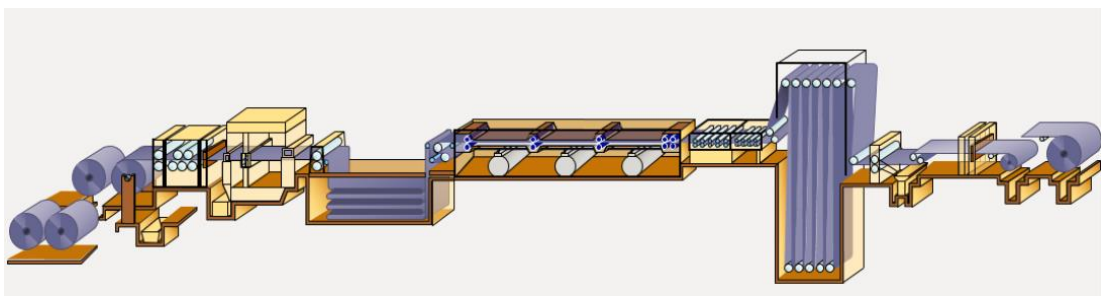


Kuva 6 SSAB Hämeenlinnan tehdas (SSAB Hämeenlinna)

### 3 PEITTAUSLINJA

Kuumavalssatut teräskelat tulevat Raahen tehtaalta junalla Hämeenlinnan tehtaalle. Kaikki junassa olevat teräskelat näin ollen sisältävät Raahen tehtaan kahdeksannumeroinen kuumakelanumeron. Peittauslinjalla kaikki kuumakelat nostetaan ensiksi junasta varastoon ja täältä nosturinkuljettaja nostaa laiteohjelman mukaisessa järjestyksessä keloja kelakuljettimelle. Tästä aukikelajaaja ensiksi leikkaa teräskelan huonon osuuden pois teräskelan keulasta ja ohjaa kelat aukikelaimelle. Aukikelaimelta teräskelan keula puretaan linjaan ja hitsataan aikaisemman kelan häntään. Seuraavaksi teräsnauha menee märkämonttuun, joka toimii nauhavaraajana. Täältä teräsnauha menee happoaltaisiin, missä teräksen puhdistus tapahtuu. Hapollaaita on yhteensä kolme, joissa jokaisessa on erilainen suolahappoliuos. Tämän jälkeen nauhan pinnalle jääneet hapot pestään pois ja teräsnauha kuivataan, jonka jälkeen teräsnauha menee loppupään nauhavaraajaan. Nauhavaraajan tehtävä on varastoida teräsnauhaa peittauslinjan alku- tai loppupäässä tapahtuneen pysäytyksien tai hidastuksien aikana peittausosuuden ollessa käynnissä. Näin minimoidaan peittausosuuden pysähdykset ja hidastukset. Liian pitkä pysähdys peittausosuudessa aiheuttaa ylipeittautumisen. Tämä tarkoittaa, että suolahappoliuos on syövyttänyt myös teräsnauhaa sen ollessa paikallaan peittauskontissa. Teräsnauha ylipeittaantuu jo muutaman minuutin peittausosuuden pysähdyksen jälkeen. Alkupää pysähtyy kuitenkin hetkeksi jokaisen kelan jälkeen, kun seuraavan teräsnauhan keula hitsataan aikaisemman häntään ja tällöin alkupään nauhavaraaja tyhjenee. Loppupääkin pysähtyy ja hidastuu hetkeksi jokaisen kelan lopussa, kun hitsausauma poistetaan ja uuden teräsnauhan keula ohjataan kelaimelle. Nauhavaraajien ansiosta peittausosuus ei pysähdy näiden takia. Hidastuksen tai pysähdyksen voi aiheuttaa myös jonkinlainen ongelma. Peittausosuuksien pysäytykset halutaan aina minimoida, joten alku- tai loppupään henkilöstöllä on nauhavaraajan täyttymiseen tai tyhjenemiseen asti aikaa korjata ongelma ilman, että peittausosuus pysähtyy. Hidastuksen tai pysähdyksen jälkeen kyseinen prosessiosa kiihdyttää vauhtinsa peittausosuutta nopeammaksi, jotta nauhavaraajassa oleva teräsnauhan määrä optimoituu. Loppupää kiihdyttää, jotta nauhavaraaja tyhjenisi ja alkupää kiihdyttää, jotta nauhavaraajaa täytyisi. Varaajan jälkeen on reunaleikkaukskoneisto. Reunaleikkauksprosessista vastaa reunaleikkaaja. Reunaleikkauksen jälkeen teräsnauha tarvittaessa öljytään, minkä jälkeen se katkaistaan. Katkaisulaitteiston avulla leikataan hitsisauma pois. Hitsisauma poistetaan, jotta teräskelat eivät menisi sekaisin, teräskela ei sisältäisi kahta erilaista terästä eikä saumakohtaa pääse jatkojalostukseen. Viimeisenä teräsnauha

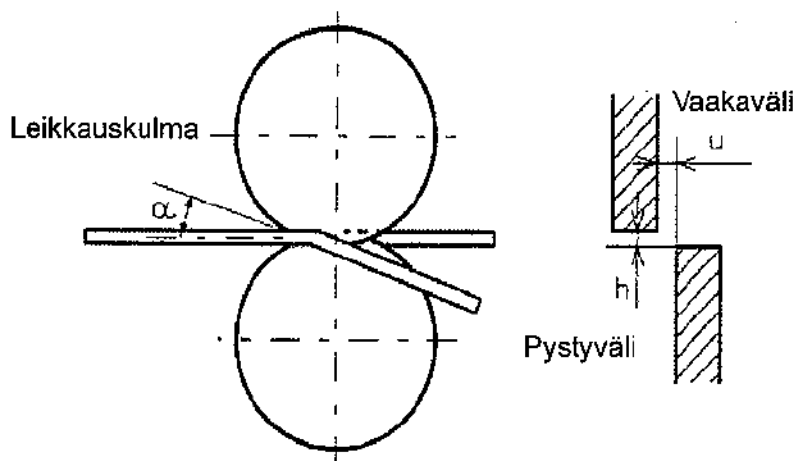
kelataan samaksi teräskelaksi, mitä se oli ennen aukikelainta sekä vanteutetaan. Tässä vaiheessa teräskela saa uuden, kuusinumeroisen kylmäkelanumeron. Tämä toimii kelan tunnisteena jatkojalostuksessa. Numeroinnin jälkeen nosturinkuljettaja nostaa teräskelan välivarastoon odottamaan kylmävalssausta. Lähes jokainen tehtaalle tuleva teräskela reunaleikataan. Peittauslinjalla teräsnauhan oikeaa reunaa ajosuuntaan nähden sanotaan hoitopuoleksi ja vasenta reunaa käyttöpuoleksi. Tämä helpottaa asioiden ymmärtämistä, koska jokainen tietää varmasti kummasta reunasta puhutaan. Hämeenlinnan tehtaan peittauslinja on lähes alkuperäinen ja näin ollen sisältää todella vanhaa teknologiaa ja koneistoa. Prosessilinjaa on kuitenkin päivitetty useaan kertaan ja automaatiota modernisoitu mutta esimerkiksi reunaleikkuri on lähes alkuperäinen. Lähes jokaisen koneen käyttöelinikä on ylitetty vuosia sitten. Tämän takia sekä uusien sekä vanhojen tuotteiden laadukas prosessointi on yhä hankalampaa. Peittauslinjan hitsauskoneen teho ei riitä hitsaamaan nykyisiä kovia teräslaatuja peräkkäin. Tämän vuoksi tuotannosuunnittelun on tehtävä tuotanto-ohjelma, missä kovia ja pehmeitä teräksiä ajetaan peräkkäin, jotta hitsisauma kestäisi tuotannon peittausprosessin läpi. Samoin peittauslinjalla olevaa märkämonttu on todella vanhaa ja huonoa teknologiaa. Tämä luo taitteita teräsnauhaan, ja näin heti heikentää laatua. Peittauslinjalle ollaan kuitenkin nyt rakentamassa uutta alkupäätä. Tämä kattaa kelakuljettimen, aukikelaimen, hitsauskoneen sekä nauhavarajaan. Tämä tuo suuria laadullisia parannuksia tuotantoon ja vanhoja käytäntöjä pystytään tämän jälkeen parantamaan ja modernisoimaan. Esimerkiksi kovia nauhoja voidaan hitsata peräkkäin, mikä auttaa erityisesti reunaleikkausta todella paljon. Tämän jälkeen koville nauhoille voidaan tehdä niille optimaaliset teräasetukset ja pehmeille nauhoille omat teräasetukset.



Kuva 7 Hämeenlinnan tehtaan peittauslinja (Intranet SSAB)

## 4 REUNALEIKKAUSPROSESSI

Teräksen leikkaustapoja on monenlaisia ja jokainen leikkaustyyli eroaa toisistaan huomattavan paljon. Jokaiselle leikkaustyylille on ominaiset leikkausvoimat ja leikkauksen laatuun vaikuttavat tekijät. Näitä leikkaustyyliä ovat muun muassa saksileikkaus, pyöröleikkaus, täyssärmäinen leikkaus, suuntaisleikkaus, viistoleikkaus sekä heilurileikkaus. Reunaleikkaus, kuten sanottu aikaisemminkin, on tärkeä arvoa tuottava prosessi. Reunaleikkaus prosessi tapahtuu peittauslinjan loppupäässä. Reunaleikkauksen leikkaustyyli Hämeenlinnan tehtaalla on pyöröleikkaus. Tässä leikkausmuodossa leikkurit ovat ympyrän mallisia ja niitä kutsutaan pyöröleikkureiksi. Pyöröleikkureiden leikkaavat särmä on renkaan ulkoreunoissa. Hämeenlinnan tehtaalla terät ovat niin sanotuissa teräpäissä. Näitä teräpäitä on kaksi niin hoitopuolella kuin käyttöpuolella. Kahden teräpään käytöllä tehostetaan tuotantoa. Tuotannossa olevan teräpään leikkausterän rikkoutuessa voidaan nopeasti vaihtaa vain teräpää ja jatkaa tuotantoa eikä tuotanto täten pysähdy terien vaihdon ajaksi. Teräpään vaihdon jälkeen vanhan teräpään terät vaihdetaan tai käännetään tilanteen mukaan samalla, kun uuden teräpään leikkausterä on tuotannossa. Näin vaihdettu teräpää on taas heti valmiina seuraavan terien vaihtoon. Näin tehostetaan tuotantoa ja vähennetään turhaa odottamista. Käyttöpuolella on teräpäät yksi sekä kaksi ja hoitopuolella on teräpäät kolme sekä neljä.



Kuva 8 Pyöröleikkauksen geometriaa (Harjula, Heikki & TKM TTT Finland 2016)

#### 4.1 Leikkausvoimat pyöröleikkauksessa

Pyöröleikkaukseen vaikuttavat pääleikkausvoima, sivuttaisvoima, poikittaisvoima, leikkauskulma sekä leikkausvastus. Pääleikkausvoima on voimista kaikista suurin ja tärkein yksittäinen leikkausvoima ja sen ohella esiintyvät loput edellä mainitut voimat. Pääleikkausvoima pyrkii työntämään terästä terien nieluun, kun taas sivuleikkausvoima pyrkii työntämään leikattavaa terästä pois terien nielusta. Sivuleikkausvoima syntyykin pääleikkausvoiman sekä leikkauskulman vaikutuksesta. Poikittaisvoima vaikuttaa leikkaussuuntaan kohtisuorasti eli pyrkii työntämään teriä kauemmaksi toisistaan. Tämän voiman suuruus voi erittäin tylsillä ja kuluneilla terillä olla jopa pääleikkausvoiman suuruinen. Poikittaisvoiman suuruuteen vaikuttaa myös teräasetukset. Leikkausvastus on täysin teräsmateriaaliperäinen. Käytännössä leikkausvastus tulee teräksen muokkauslujittumisen vaikutuksesta. Mitä suurempi teräksen murtolujuus on, sitä enemmän tarvitaan leikkausvoimaa sen leikkaamiseen. Leikkauskulmalla voidaan kuitenkin eksponentiaalisesti pienentää tarvittavaa leikkausvoimaa. Yhdenkin asteen lisääminen leikkauskulmaan vähentää teräksen leikkaamiseen tarvittavaa leikkausvoimaa moninkertaisesti aina tiettyyn pisteeseen asti. (Harjula, Heikki 2014)

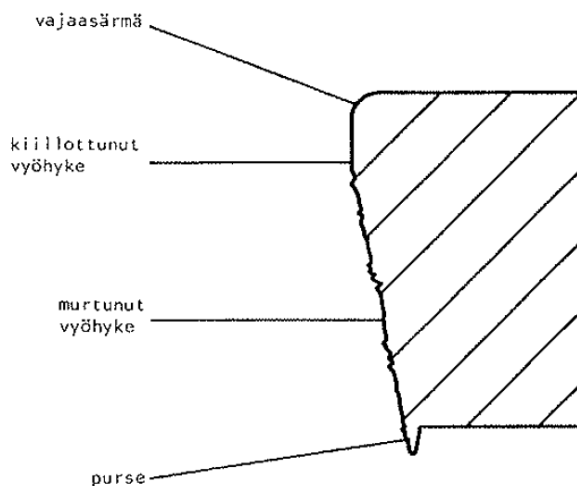
#### 4.2 Reunaleikkauksen tavoite

Hämeenlinnan tehdas toimittaa kaikki sinkityt tuotteet mittastandardin SFS-EN-10143 mukaisesti. Tässä mittastandardissa toleranssit määräytyvät teräsnauhan leveyden mukaan. Kylmävalssattujen tuotteiden valmistamisessa tuotteen leveystoleranssit tulevat SFS-EN-10131 mittastandardin mukaisesti. Molemmat standardit sisältävät niin sanotut ”normaalitoleranssit” ja ”erikoistoleranssit”, joiden mukaan tiettyjen teräslaatu-  
jen leveysstandardit tulevat. Esimerkiksi, jos asiakas tilaa 1250mm leveää teräsnauhaa, sen maksimitoleranssi standardin mukaan on 6mm eli leveys saa olla enintään 1256mm ja vähintään 1250mm. Leveyden tähtäysarvoksi kuitenkin asetetaan puolet tästä toleranssista eli tähtäysleveys on 1253mm. Tämä siksi, että varmistetaan toleranssissa pysyminen, ettei asiakkaalle lähde liian kapeaa teräsnauhaa, sekä optimoidaan materiaalihukan määrä. Näihin toleransseihin ei päästä, jos teräsnauhaa ei reunaleikattaisi. Käytännössä yksi reunaleikkauksen päätavoitteista on saada teräsnauha juuri asiakkaan haluamaan mittaan, jonka toleranssit tulevat aikaisemmin mainituista mittastandardeista. Toinen tavoite on saada kuumavalssauksen jälkeiset sekä kuuma-

valssauksessa aiheutuvat virheet poistettua teräsnauhasta. Kuumavalssattu kela ei ikinä ole täysin suora eikä reunat ole täysin tasaisia, sillä teräsnauha elää hetken kuumavalssauksen jälkeen. Leveysvaihteluita, epätasaisia reunoja ja teräsnauhan muotovirheitä voi syntyä helposti kuumavalssausprosessissa. Varsinkin, jos prosessoinnin aikana on ilmennyt isompia ongelmia. Tällaisen tuotteen jatkoprosessointi on erittäin ongelmallista eikä sellaista teräsnauhaa voi lähettää asiakkaalle. Reunaleikkauksen toinen päätavoite on toisin sanoen saada nämä teräsnauhassa mahdollisesti piilevät leveysvaihtelut, huonot reunakohdat sekä muotovirheet poistettua niin, että reunaleikkauksen jälkeen teräsnauha olisi täysin suora ilman mahdollisia muotovirheitä. Lisäksi tärkeää on, että leikatut reunat olisivat täysin suorina ja niin laadukkaita, ettei niistä aiheutuisi vaikeuksia jatkoprosessoinnissa. Kolmas päätavoite on leikata kuumavalssauksessa syntyvä ”reunaliuska” pois teräsnauhasta. Kuumavalssatun nauhan paksuusprofiilissa teräsnauhan keskikohta on aina paksumpaa, kuin reuna-alueet. Tätä muotoa sanotaan ”crowniksi”, koska paksuusprofiilin poikkileikkaus muistuttaa kruunua. Crownista kerrotaan lisää myöhemmin kappaleessa viisi. Teräsnauha toisin sanoen ohenee reuna-alueita kohti eli aivan teräsnauhan reunoilla paksuusero keskikohtaan nähden on suurimmillaan. Teräsnauhan reunat ovat myös hiukan pyöreitä kuumavalssauksen puristuksen jälkeen. Nämä kaksi asiaa yhdessä muodostavat kyseisen reunaliuskan. Tämä reunaliuska vaikeuttaa Hämeenlinnan tehtaan kylmävalssauksen onnistumista sekä kuluttaa erityisen paljon työvälssejä. Reunaleikkauksen tavoite on siis poistaa tämä reunaliuskaa tai ainakin pehmentää sen voimakkuutta. Tämä helpottaa kylmävalssauksen onnistumista ja pidentää työvälskien käyttöikä. Nämä asiat vaikuttavat myös reunaleikkauksessa leikattavan reunaromun määrään, koska jokaisella laadulla reunaliuskan suuruus vaihtelee. Joistakin laaduista leikataan 7mm molemmista reunoista ja joistakin 20mm. Tämä johtuu myös laatuojen ominaisuuksista ja näin varmistetaan, että jokaisen eri laadun reunaleikkaus on mahdollisimman laadukas. Nyrkkisääntönä on, että mitä enemmän reunaleikataan, sitä parempi lopputulos on mutta sitä enemmän tulee materiaalihävikkiä reunaromujen määrän kasvaessa. Jokaisen laadun reunaromumäärät ovat optimoituja niin tarkasti, että materiaalihävikki on mahdollisimman vähäistä. Yleisesti jokaisella laitetoimittajalla on laskelmoitu kaava, joka ilmaisee heidän koneidensa reunaleikkausromun minimimäärän leveyskohtaisesti. (SFS-EN 10146 2006, 14; SFS-EN 10131 2006, 12)

### 4.3 Leikkaustapahtuma

Leikkaustapahtuma alkaa terän tunkeutumisella leikattavaan materiaaliin, teräkseen. Tässä tapahtuu teräksen kimmainen myötäminen. Kun teräksen myötölujuus on ylitetty, teräksessä alkaa plastinen muodonmuutos. Nyt leikattavan teräksen reunaan syntyy pyöristys eli vajaasärmä. Leikkauksen edetessä teräksen muodonmuutoskyky ylitetään ja teräs murtuu. Lopullinen leikkautuminen tapahtuu, kun ylä- ja alaterän kohdilta lähteneet murtohalkeamat kohtaavat. Toisinsanoin, teräksen leikkaus on teräksen murtumista. Leikkauksessa syntynyt reunaromu ohjautuu romuohjainten kautta hakkuriin, joka pilkkoo reunaromun pieniksi palasiksi ja lopulta romukippoon. Romu lähetetään Raahen tehtaalle kierrätykseen. Yleisiä muistisääntöjä hyvälle leikkausjäljelle on, että teräslevyn paksuudesta 20 – 33 % on kiillottunutta eli leikkaantunutta ja loput on murtunutta. Pehmeillä teräslaaduilla terien tunkeuma on paljon suurempi mitä kovilla teräksillä, joten leikkaantunut vyöhyke on usein suurempi. Lisäksi hyvässä leikkausjäljessä purseen on oltava mahdollisimman pieni, murtovyöhykkeen kulma on oltava mahdollisimman pieni sekä reuna-alueilla ei ole säröjä. Varsinkin leikkaustapahtumassa syntyvän purseen määrää on pidettävä mahdollisimman pienenä. Jos purse on suuri, se johtaa ongelmiin jatkojalostuksessa. (Tekninen tiedotus 9/80 1980)



Kuva 9 Leikkauspinnan osat (Tekninen tiedotus 9/80 1980)

#### 4.4 Purse

Käytännössä purse on leikkauksesta syntynyt terävä kohouma murtuneen vyöhykkeen alapuolella (kuva 9). Hämeenlinnan tehtaan teräksen reunaleikkauksessa purse on suurin tekijä reunaleikkauksen onnistumiseen. Käytännössä syntyneen purseen määrä kertoo, onko teräksen reunaleikkaus onnistunut vai ei. Pursetta kuitenkin syntyy jokaisessa leikkauksessa mutta purseen määrä ei saa kasvaa normaalia isommaksi. Leikkauksessa syntyvä ylimääräinen purse valssautuu kylmävalssauksessa epätasaisesti teräksen reunaan aiheuttaen sahalaitaisen reunan. Jatkoprosessoinnissa Hämeenlinnan tehtaalla teräsnauha voidaan sinkittää ja maalata, jotka molemmat vain pahentavat sekä korostavat syntyneen sahalaitaisuuden määrää sekä voimakkuutta. Purseen vaikuttavuuteen vaikuttavat myös sen muoto, sekä lujuusominaisuudet. Purseen ollessa ohutta ja haurasta, sitä on helpompi poistaa toisin kuin paksua ja matalaa pursetta. Varsinkin levyn taivutuksen yhteydessä purseen suunta on myös otettava huomioon. Kantavassa rakenteissa pursetta ei saa olla ainakaan väsyttävässä kuormituksessa olevassa ulkoreunassa. Ulkosäteelle joutunut purse repeilee helposti ja muodostaa mahdollisen kohdan väsymismurtumisen alkamiselle. Taivutussäteen sisäpuolelle joutunut purse on huomattavasti vaarattomampi. Purse syntyy, kun suurimmat puristusjännitykset suuntautuvat yläterästä vinosti alaterään. Tämä aiheuttaa leikattavassa teräksessä leikattavaan kohtaan poikittaisjännityksen, mikä kasvattaa aineen muodonmuutoskykyä. Tällöin leikattava teräs ei murru juuri leikattavasta särmästä, vaan sen vierestä, jossa muokkauslujittuminen on alhaisempi. Toisin sanoen, leikattava teräs murtuu vasta liu'uttuaan leikkaavan särmän ohi. Käytännössä tämä huomataan epätasaisena murtumisena aivan murtovyöhykkeen reunassa. Tästä jäljelle jää kyseinen terävä kohouma eli purse. Mitä enemmän liukuminen voimistuu, sitä voimakkaampi purse syntyy. Leikkausterien kuluminen on suurin syy purseen kasvuille. Kulunut teräs tarvitsee paljon isommat leikkausvoimat leikatakseen terästä samalla tavalla kuin terävänä. Kuitenkin leikkausvoima ei muutu kyseisessä prosessissa ja näin ollen teräs ei jaksa tunkeutua täysin samalla lailla teräkseen kuin terävänä. Kuluneet teräset voimistavat leikkauksessa tapahtuvaa puristusjännitystä sekä muuttavat sen suuntaa. Kuluneet leikkausteräset aiheuttavat myös voimakkaampaa liukumista leikkaustapahtumassa. Leikkaustapahtuman tuen lisääminen voi vähän auttaa kuluneella terällä leikkaamista. Sitkeillä ja muovattavilla teräksillä plastinen muodonmuutos on suurempi kuin haurailta, joten purseen määrä on ihannetilanteessakin suurempi pehmeillä teräksillä. Tästä syystä purseen kasvu tietysti, terävällä leikkausterällä leikatun purseen määrästä on



erittäin hyvä indikaattori terien vaihtovälille. Leikattavalla aineella sekä leikkausvälillä on myös vaikutus purseen määrään, tosin leikkausvälin vaikutus on suhteellisen vähäinen.

#### 4.5 Reunaleikkaukseen vaikuttavat tekijät

##### 4.5.1 Pyöröleikkurien, hakkurien sekä prosessilinjain nopeus

Reunaleikkauksessa linjan ajonopeus vaihtelee suuresti. Vaihteluun vaikuttavat esimerkiksi linjassa tapahtuvat ongelmat, jolloin vauhti voi olla vain 10 metriä minuutissa. Ongelman ratketessa reunaleikkaaja kiihdyttää vauhtia. Tällöin nopeus voi nousta lähemmäs 300 metriä minuutissa. Nopeuteen vaikuttavat myös hankalien laatujen ajorajoitukset. Esimerkiksi, kovaa laatua ei saa ajaa kuin 110 metriä minuutissa sekä prosessilinjain pysähdyksiltä on välttyttävä niiden ollessa ajossa. Pitkien pysähdysten aikana terät voivat jäähtyä niin paljon, että pysähdysten jälkeisen kiihdytyksen aikana teriin muodostuu niin suuri ja nopea lämpötilan muutos, että terä voi murtua. Tämän kiihdytyksen aikana teräs tärisee enemmän tuleksaan leikkurien kitaan, varsinkin huonosti tuetussa leikkauksessa. Tämä tuo laadullisia ongelmia ainakin pehmeiden terästen leikkauksen laadussa. Useiden pitkien pysähdysten seurauksena leikkausterässä voi tapahtua väsymismurtumista. Terä kuluu myös näiden lämpötilamuutoksien takia. Tästä huolimatta terien on aina leikattava tasalaatuisesti jokainen teräsmateriaali jokaisesta kohdasta. Tähän prosessointi- eli ajonopeuteen on laskettava optimaalinen pyöröterien pyörimisnopeus, mikäli teriä pyörittää oma moottori. Nykyään tämä arvo tulee automaattisesti kirjatessa asennetun terien halkaisijat järjestelmään. Väärän halkaisijakoon kirjaaminen järjestelmään aiheuttaa väärän terien pyörimisnopeuden sekä väärät terävällykset. Tämä aiheuttaa erittäin huonoa leikkausjälkeä, terien moninkertaista kulumista sekä mahdollisia laiterikkoja. Liian suuri pyöröleikkurien nopeus repii teräsnauhaa leikkaukseen ja näin ollen leikkauksesta ei tule laadukasta. Lisäksi leikkausterät niin sanotusti ”haukkaavat tyhjää” tasaisin väliajoin, sillä leikattavaa terästä ei ehdi työntyä terien kitaan ja näin ollen leikkaavat tyhjää kunnes terästä työntyy terien väliin. Tämä kuluttaa leikkausteriä todella paljon. Liian hidas pyörimisnopeus suhteessa linjain ajonopeuteen taas aiheuttaa tilanteen, jossa leikattava teräsnauha väkisin työntyy terien väliin ja työntää teriä pyörimään nopeampaa mutta leikkurien moottori ei anna terien pyöriä niin nopeasti ja vääntää vastaan. Tämän seurauksena leikkausakseliin koneisto

kuormittuu suuresti ja hajoaa eivätkä leikkurit kerkeä tunkeutumaan tasaisesti jokaisessa kohdassa. Tämä aiheuttaa erittäin huonoa leikkausjälkeä sekä laiterikkoja. Leikkauksessa syntyvän reunaromun pilkkoo hakkuri. Hakkurien leikkaustapahtuma kuvastaa pyörivää saksileikkausta. Hakkurin pilkkomisen jälkeen, reunaromu ohjautuu romukuljettimelle ja romukippoon. Hakkurien nopeuden säätöön pätee samanklaiset asiat, kuten itse terien pyörimisnopeuden säädössä. Jos hakkurien pyörimisnopeus on liian pieni suhteessa linjan ajonopeuteen, leikatun sivuromun pituus kasvaa kunnes se on liian suuri ja jumiutuu johtaen linjan pysäytykseen. Lisäksi jokaisen leikkauksen kohdalla hakkureille tuleva romu työntää leikkureita suurella voimalla eteenpäin, koska romu liikkuu suuremmalla nopeudella kuin terä ja terän koneisto työntää vastaan, tämä kuormittaa suuresti koneistoa aiheuttaen konerikkoja. Liian suuri hakkurien nopeus taas repii reunaromua hakkurin kitaan ja näin ollen vaikuttaa reunaromun irtoamiseen itse leikattavasta teräsnauhasta. Tämä aiheuttaa huonoa leikkausjälkeä varsinkin murtuneen vyöhykkeen epätasaisuutena. Hämeenlinnan tehtaalla teräpäissä ei kuitenkaan ole moottoria vaan nauha pyörittää teriä. Tällä saadaan yksinkertaistettua prosessi ilman sitä riskiä, että moottorin nopeudet olisivat väärät. Hakkurien pyörimisvauhti on automatisoitu linjan prosessinopeuteen nähden.

#### 4.5.2 Leikattava materiaali

Teräksellä kuin teräksellä ilmenee aina muokkauslujittumista. Tämä tarkoittaa käytännössä, että teräs lujittuu plastisen muodonmuutoksen yhteydessä ja näin muodonmuutosvastus kasvaa. Lujilla teräksillä tämä on pehmeitä teräksiä vähäisempää. Lujien teräksien leikkauksessa ei esiinny niin paljon teräksen liukumista, vaan teräs murtuu leikattavassa särmässä. Kovat teräkset eivät siis muuta muotoaan pehmeiden terästen tapaan ennen murtumista. Näin ollen terien vällys voi olla suurempi ja tämä vähentää terien kulumista. Pehmeitä teräksiä leikatessa teräs taipuu ennen leikkaantumista ja näin usein murtuu vasta liu'uttuaan leikkaavan särmän ohi. Näin reuna-alueelle syntyy pursetta. Pehmeiden teräksien kohdalla terien vällyksien on oltava pienempi, kuin kovilla teräksillä, jotta taipumista ei tapahtuisi liikaa mutta tällöin terät kulumat enemmän. Tämän ilmiön takia pehmeiden terästen leikkaaminen on laadullisesti vaikeampaa, kuin lujien terästen. Terärikkoihin ja leikkausjälkeen vaikuttaa oleellisesti myös aikaisemmin mainittu teräsmateriaalien laaja valikoima ja niiden erilaiset koostumukset. Hiili on yksi tärkeimmistä, ellei jopa tärkein, teräksen alkuaine. Hiili on eniten lujuutta lisäävä seosaine. Hiilipitoisuuden noustessa teräksen kovuus kasvaa mutta sitkeys vähenee, sillä

teräs sisältää tällöin enemmän perliittiä ja vähemmän ferriittiä. Toiseksi eniten lujuutta lisää boori, sillä boori lisää voimakkaasti teräksen karkenevuutta. Paljon kromia sisältävät teräkset ovat myös leikkuuterien kuluttajia. Kromiatomit yhtyvät helposti hiileen muodostaen teräkseen kromikarbideja, jotka lisäävät teräksen kovuutta. Vanadiinilla on täysin samanlaiset vaikutukset teräkseen, kuin kromilla. Vanadiini lisää karbidirakenteen kovuutta. Myös mangaani vaikuttaa teräksen kovuuteen. Mangaani lisää myös teräksen karkenevuutta sekä iskunkestävyyttä. Nikkeli ja molybdeeni, ovat kromin kanssa yksi ruostumattomanteräksen yleisiä seosaineita. Näiden pitoisuuden kasvaessa teräksen lujuus sekä ennen kaikkea sitkeys paranevat. Nikkeli lisää teräksen karkenevuutta ja parantaa teräksen sitkeyttä niin pakkasessa, kuin korkeissa lämpötiloissa. Molybdeeni parantaa teräksen myötölujuutta sekä virumislujuutta. Näitä seosaineita paljon sisältävä teräs on iso leikkausterien rikkojia. Lisäksi teräkset, jota sisältää vain vähän välissija-atomeita, kuten hiiltä ja typpeä, ovat suuria leikkausterien kuluttajia (Koivisto, Laitinen, Niinimäki, Tiainen, Tiilikka ja Tuomikoski 2010, 131–135)

#### 4.5.3 Kuumanauhan virheet

Vaikka reunaleikkauksen tehtävä on poistaa kuumavalssauksessa tapahtuvat virheet, ne myös vaikuttavat itse reunaleikkauksen laatuun. Pahimmat leikkaukseen vaikuttavat kuumanauhavirheet ovat reunavenymät, kaarevuus eli ”banaanimaisuus” sekä kovuusvaihtelut. Reunavenyneissä nauhoissa venymät ovat nimensä mukaan reunoissa ja näissä kohdissa teräsmateriaalia on muihin kohtiin nähden enemmän. Tämän takia reunavenyneet kohdat eivät ole ikinä tasaisia ja nämä kohdat sisältävät usein myös pehmittynyttä teräsmateriaalia. Tämän kohdan huomaa reunaan syntyneestä pussista (kuva 16). Nämä kohdat tärisyvät ja liikkuvat voimakkaasti peittauksen prosessilinjalla. Nämä kohdat tärisyvät ja liikkuvat voimakkaasti myös reunaleikkauksessa aiheuttaen myös yhtäkkisen kovuuden muutoksen. Pahimmassa tapauksessa reunavenymä on toiselta reunalta niin suuri, että reunaromujen määrä pienenee olemattomiin toiselta reunalta leikkauksen aikana. Suurin laatuun vaikuttava tekijä reunavenymässä on kuitenkin sen epätasaisuus ja suuri värinä. Nämä kohdat tuovat teriin paljon enemmän räsitusta eivätkä edes kunnolliset tukirenkaatkaan pysty tukemaan tarpeeksi reunavenynyttä kohtaa. Näin ollen reunavenyneiden kohtien reunaleikkaus epäonnistuu lähes aina. Teräsnauhan banaanimaisuus tarkoittaa, että teräsnauha on kaareva ja näin ajautuu prosessoidessa toiseen sivuun. Pahimmassa tapauksessa banaanimaisuutta eli kaarevuutta on niin paljon, että teräsnauhan reuna osuu prosessilinjan rakenteisiin

aiheuttaen linjapysäytyksen sekä koko teräskelan hylkäyksen tuoden suuria tuotantotappioita. Kuten aikaisemmassa kappaleessa mainittiin, kuinka reunaromujen leveys vaikuttaa leikkauksen laatuun. Banaaninomainen teräsnauha aiheuttaa leikkauksessa sen, että toiselta reunalta reunaromun määrä voi moninkertaistua ja toiselta puolelta loppua kokonaan. Toisin sanoen reunaromut ”loppuvat”. Pahimmassa tapauksessa toisen puolen reunaromun leveys jää niin pieneksi, että leikkaavat terät vain hipaisevat teräsnauhan reunaa aiheuttaen erittäin epätasaisen ja huonon reunan. Reunaromujen leveyttä on optimoitu niin paljon, että teräsnauhan ei tarvitse olla suurestikaan banaaninomainen, että toiselta reunalta teräs ei yltä leikkausterien kitaan ja reunaromut loppuvat tältä puolelta. Kovuusvaihtelut taas vaikuttavat myös terien kulumiseen, kuin itse leikkauksen laatuun. Suuret kovuusvaihtelut teräsnauhassa kuormittavat teriä aivan erilailla, sillä teräasetukset eivät kuitenkaan muutu. Suurilla välyksillä ajettavan kovan teräsnauhan yhtäkkisessä pehmeässä kohdassa onkin liian suuret välykset. Tämä aiheuttaa tähän kohtaan esimerkiksi suuremman purseen sekä tämä kuluttaa leikkaavaa särmää normaalia enemmän.

#### 4.5.4 Leikkausterien materiaali

Leikkurin terien materiaalilla on suuri merkitys terien hintaan mutta hinta ei saa olla tekijä leikkureita hankittaessa. Tästä syntyy pitemmän aikavälin aikana vain enemmän kustannuksia muun muassa nopeamman terien kulumisen ja siitä aiheutuvien terien vaihdon ja uusien terien investointimäärien kasvamisen takia. Terän rakenneaineen valinta riippuu muun muassa leikattavien teräksien paksuudesta, lujuudesta, koostumuksesta, leikkauksen laatuvaatimuksista sekä käyttöolosuhteista. Terien muoto asettaa myös vaatimuksia rakenneaineille, jotta saataisiin onnistunut karkaisukäsittely. Yleisimmät seosaineet leikkausterille ovat hiili, pii, mangaani, kromi, nikkeli, molybdeeni, vanadiini sekä volframi. Yleinen sääntö on, että terien kovuus on valittava pienemmäksi paksuja levyjä leikatessa, vaikkakin terien kulumiskestävyys tämän takia pienee. Tämä siksi, koska leikkauksen alkaessa terään kohdistuu iskumainen rasitus ja liiallinen kovuus terärakenteessa murtaa teräsärmän. Tämä rasitus kasvaa sitä mukaa, kun leikattavien teräsmateriaalien leveysvaihtelu kasvaa. Hämeenlinnan tehtaalla käytetään kahden eri terävalmistajien teriä. Toiset terät ovat toimittajan X ja toiset toimittajan Y. Yleinen käytäntö on, että toimittajan X teriä käytetään hoitopuolella ja toimittajan Y teriä käytetään käyttöpuolella. Toimittajan Y terien on huomattu hajoavan helpommin hoitopuolella, joten sitä käytetään vain käyttöpuolella. Jatkossa on tarkoitus siirtyä pel-

kästään toimittajan X terien käyttöön sekä hoitopuolella että käyttöpuolella. Terissä on kuitenkin materiaalisia eroja. Toimittajan X terät ovat vähän pehmeämpiä, kuin toimittajan Y. Toimittaja X terien on huomattu kestävän kauemmin ilman hajoamisia. Lisäksi on huomattu niiden tuovan parempaa leikkausjälkeä hoitopuolelle, mitä toimittajan Y terät käyttöpuolelle. (Tekninen tiedote 9/80 1980)

#### 4.5.5 Tukirenkaat

Molemmilla leikkausterillä on vastinkappaleet teräsnauhan toisella puolella. Näitä kutsutaan tukirenkaiksi. Tukirenkaat ovat pyöröterien kanssa samalla akselilla joten kun terien väli muuttuu, niin muuttuu tukirenkaidenkin väli. Tukirenkaiden tehtävä on tukea leikkaustapahtumaa, ettei teräsnauha pääsisi liikkumaan ja tärisemään ennen leikkaustapahtumaa sekä leikkaustapahtuman aikana. Tämä vähentää myös teriin kohdistuvia leikkauksen aiheuttamia puristusvoimia. Oikein asetettuina ja oikeilla asetuksilla tukirenkaat vähentävät myös teräsmateriaalin liukumista vähentäen ylimääräisen purseen määrää. Tukirenkaat ovat materiaaliltaan kumia, joten niissä tapahtuu pieni jousto leikkauksen tukemisen yhteydessä. Tukirenkaita hankkiessa ja asentaessa on erittäin tärkeää varmistaa, että tukirenkaiden kumit ovat oikean kovuista leikkaustapahtumaan ja koneistoon nähden. Tukirenkaan kumin ollessa liian pehmeä, tukirengas ei tue leikkaustapahtumaa tarpeeksi ja liian kova tukirenkaan kumi kuormittaa suuresti leikkausakselistoa aiheuttaen laiterikkoja. Myös tukirenkaiden kunto vaikuttaa leikkaukseen. Jos tukirenkaan kumin kunto on todella heikko, se ei tue leikkaustapahtumaa samalla tavalla ja näin teräsnauha pääsee liikkumaan leikkautuessa aiheuttaen ongelmia leikkauksen laadussa. Tukirenkaiden halkaisijoiden määrittäminen on myös tärkeä asia haettaessa hyvää leikkausjälkeä. Tähän vaikuttaa leikkattavan teräsnauhan paksuus ja pyöröterien halkaisijan koko. Jos tukirenkaiden halkaisijat ovat liian pienet teräsnauhan paksuuteen ja terien halkaisijaan nähden, ne eivät pahimmassa tapauksessa edes kosketa leikattavaa teräsnauhaa ja näin ollen tukeminen on täysin olematonta. Tällöin teräsnauha pääsee vapaasti liikkumaan ennen leikkuria sekä leikkauksen aikana. Jos tukirenkaiden halkaisijat ovat taas liian suuret leikkausteriin nähden, niin terät eivät pääse tunkeutumaan optimaalisesti leikkattavaan teräkseen, sillä asetetut teräasetukset kuten terien välykset eivät täysin toteudu leikkauksessa ja tästä syystä leikkausjälki on huono. Lisäksi liian suurten tukirenkaiden ollessa käytössä leikkattavan teräsnauhan reuna taittuu pyöröterien kitaan. Tämä lisää teräsnauhan liukumista leikkauksessa ja näin voi aiheuttaa ylimääräisen purseen syntymisen. Samalla taittuneessa kohdassa tapahtuu

muokkauslujittumista ennen leikkausta. Tämä koskee erityisesti pehmeitä teräksiä, joilla on hyvä muovattavuus. Lisäksi liian suuret tukirenkaiden halkaisijat kuormittavat leikkausakselistoa erittäin paljon aiheuttaen laiterikkoja. Tukirenkaita on vaihdettava samaan aikaan terien kanssa ja toisinpäin, jotta halkaisijaerot saadaan pidettyä samassa suhteessa. Hämeenlinnan tehtaalla reunaleikkauksen alatukirenkaan halkaisija on ohjeistettu olemaan samankokoinen, kuin leikkausterän halkaisija. Ylätukirenkaan halkaisija on taas 12mm pienempi, kuin terän halkaisija. Peittauslinjalla prosessoitavien teräsnauhojen paksuudet vaihtelevat 2mm ja 6mm välillä. Juuri sen takia, tämä 12mm halkaisijaero on määritelty, että kaikki teräsnauhat mahtuvat hyvin kulkemaan tukirenkaiden kidasta. Tämä käytäntö tuo kuitenkin ongelman ohuempien teräsnauhojen leikkauksessa, sillä alle 5mm paksuilla nauhoilla leikkauksen ylätuki on lähes olematonta. Toinen syy, miksi tukirenkaiden väli on kiinteä 6mm eikä vaihteleva, piilee hitsauskoneessa. Nykyinen peittauslinjan hitsauskone ei pysty hitsaamaan optimaalisesti kovia teräksiä yhteen, vaan jokaisen kovan jälkeen on prosessoitava pehmeä nauha. Tämän takia paksuusvaihteluitakin peräkkäisten teräsnauhojen välillä on suhteellisen paljon. Näin ollen syntyisi paljon ongelmia, jos tukirenkaiden väliä haluttaisiin jokaiselle peittauslinjalla prosessoivalle teräsnauhalle asettaa optimaaliseksi nykyisellä hitsauskoneella. Ensinnäkin tukikumeja jouduttaisiin vaihtamaan todella usein ja tämä vie todella paljon tuotantoaikaa. Toiseksi tähän tarvittaisiin enemmän resursseja, jotta tuotantolinjan muutkin asiat saataisiin hoidettua nykyiseen tapaan samanaikaisesti tukirenkaiden vaihtojen yhteydessä. Hämeenlinnan tehtaalla peittauslinjalle on kuitenkin rakentumassa uusi hitsauskone, jonka pitäisi pystyä hitsaamaan kovia materiaaleja yhteen, eikä paksuus vaihtelisi läheskään niin paljon peräkkäisten teräsnauhojen välillä kuin nyt. Tämä antaisi mahdollisuuden sille, että pystyttäisiin ajamaan ensiksi isompi määrä paksua teräsnauhaa tietyn kokoisilla tukirenkailla, jonka jälkeen vaihdettaisiin isommat tukirenkaat ja ajettaisiin isompi määrä ohuempaa teräsnauhaa. Tämä auttaisi kaikkien teräsnauhojen ja -materiaalien leikkauksessa, sillä leikkaustukea olisi tällöin jokaisella paksuudella. Tukirenkaiden hallinta on Hämeenlinnan tehtaalla huonoa. Nykyään tukirenkaita vaihdetaan vain, jos ne ovat täysin repaleisia ja rikkinäisiä. Tästä syystä terien ja tukirenkaiden halkaisijaero ei pysy ikinä vakiona ja näin ollen ohjeasetuksiin ei päästä. Alatukirenkaat ovat lähes aina teriä isompia ja näin ollen tukirenkaiden väli ei ole 6mm. Lisäksi kaikki tukirenkaat eivät enää ole täysin pyöreitä, koska tukirenkaita ei ole pitkiin aikoihin huollettu. Tämä aiheuttaa tukirenkaista tapahtuvaa pientä teräsnauhan nousua ja laskua tukirenkaan soikeuden mukaisesti. Lisäksi tukeminen ei ole tasaista. Tukirenkaiden hallinnasta tekee kuitenkin vaikeaa se, että terien hajoaminen ja kulumi-

nen on niin satunnaista, että tukirenkaiden vaihto jokaisen terävaihdon yhteydessä on turhaa. Tukirenkaita on myös olemassa reunaromuille, tällöin reunaromun alapuolella on tukirengas, mikä tukee reunaromun irtoamista eikä anna leikkattavan reunan retkahtaa irti leikkauksen jälkeen. Ilman tätä tukea reunaromu taittuu ja tipahtaa heti leikkauksen jälkeen alaspäin ja tekee reunaromun takertumisen teriin enemmän mahdolliseksi. Lisäksi reunaromu voi retkahtaessaan repiä leikkausjäljen murtuneen vyöhykkeen reunaan. Pahimmassa tapauksessa ilman reunaromun tukea teräs voi murtua osittain siitä syystä, että reunaromu retkahtaa alaspäin, eikä pelkästään itse leikkauksen aiheuttamasta murtumisesta. Tällöin murtuminen voi olla epätasaista, mikä voi aiheuttaa ylimääräistä pursetta ja epätasaisen leikkausjäljen. Reunaromun tukirenkaan ansiosta reunaromu irtoaa siististi ja leikkattavan teräsnauhan suuntaisesti leikattavasta teräsnauhasta. Hämeenlinnan tehtaalla tätä kyseistä reunaromun tukirengasta ei kuitenkaan enää ole.



Kuva 10 Tukirengas

#### 4.5.6 Terien kunto ja tukirenkaiden kunto

Leikkausterien kulumista tapahtuu jatkuvasti leikkauskertojen määrän kasvaessa. Leikkausterien kuluminen on jaettu kahteen osaan. Ensimmäinen osa on seosaineesta riippuvaa leikkauskulumista, kun terä tunkeutuu leikattavaan teräkseen. Toinen osa on leikkauksen jälkeen syntyvän värähtelyn aiheuttamaa, sekä puristimesta ja leikattavasta teräksestä riippuvaa kulumista. Kuluneet terät ovat myös yksi suuri syy ylimääräisen purseen syntyyn. Terien kuluessa leikkattavan teräsnauhan liukuminen leikkauk-

sessä voimistuu ja puristusjännitykset jakautuvat laajemmalle alueelle. Tästä seuraa purseen korkeuden kasvu. Tämä kulumisen myös kohottaa tarvittavaa leikkausvoimia onnistuneeseen leikkaukseen. Tällöin on mahdollista, että terien suurin sallittu leikkausvoima ylitetään ja teriin syntyy vaurioita. Terien kulumista yritetään vähentää leikkaavien terien öljyämällä. Öljyämässä terän leikkaavaan särmään ohjataan särmää voitelevaa öljyä, jolla saadaan vähennettyä terän kulumista. Kuluneemmille terille lisätään öljyämisen määrää. Öljyämisen tarkoitus on myös vähentää leikkauksessa syntyvää lämpöä ja näin ollen vähentää myös terien leikkaavien särmien lämpötilan noususta leikkauksessa. Tämä vähentää myös terän materiaalin lämpötilan muutoksista aiheutuvaa väsymistä, koska lämpötilaero ei ole terissä niin suuri sen ollessa pitkään paikallaan tai leikatessaan teräsnauhaa. Hämeenlinnan tehtaalla käytetään vain toispuoleista öljyämistä, jossa yläterien leikkaavaa särmää vain öljytään. Alateriä ei siis öljytä ollenkaan. Terien kulumisen takia on myös kehitettävä maksimi ajomäärä, milloin terät on viimeistään vaihdettava. Tämä tehdään, jotta terät eivät ehtisi kulua loppuun eivätkä vaurioitua ennen niiden huoltamista eikä reunaleikkauksen laatu alenisi viimeisillä teräsnauhoilla ennen terien vaihtoa ja näin saadaan laaturiiveitä vähennettyä. Hämeenlinnan tehtaalla peittäuslinjan terilläkin on ajorajoitus terää kohden, ennen kuin se pitää kääntää tai vaihtaa. Tämä ajorajoitus on nykyisille materiaaleille liian suuri. Varsinkin aivan pehmeitä materiaaleja ei voida laadukkaasti leikata niin kuluneilla terillä. Teriin ilmenevät vauriot näkyvät selvästi leikkauksijäljen laadussa. Terien kuntoa on seurattava jatkuvasti, kun kyseessä on jatkuvatoiminen prosessi. Muuten isoja määriä huonoreunaista teräsnauhaa pääsee jatkojalostukseen, missä ongelmat moninkertaistuvat ja koko teräskelasta tulee sekundaaria tai romua. Terävauriot voi johtua monesta syystä, kuten väärästä teräasetuksista, teräsmateriaalin yhtäkkisistä kovuusvaihteluista, liian pitkistä terien huoltoväleistä, reunaromuraina on liian kapea, terä on liian kapea, terä on huonosti kiinnitetty, käsittelyn yhteydessä on syntynyt vaurio tai terien huolto on epäonnistunut. Yleisimmät terävauriot ovat terän lohkeaminen, murtuminen, deformaatio sekä naarmut. Aina terärikon tullessa on vaihdettava molemmat terät sekä tukirenkaat ja huollettava samaan aikaan, jotta molempien puolien reunaleikkaukset olisivat jatkossakin tasalaatuisia. Myös tukirenkaiden kunnosta on pidettävä huolta. Jos tukirenkaat ovat todella hapertuneet pinnasta, sen tukemisominaisuudet vähenevät todella paljon. Jos tukirenkaissa syntyy isoja lohkeamia, ne voivat osua teräsnauhan tukemisesta tarvittavaan kohtaan. Lohkeamakohta ei tue ollenkaan leikkausta. Jos tukirenkaiden lohkeaminen lisäksi niiden halkaisijatkin ovat suuremmat, kuin itse leikkausterien halkaisijat, nämä lohkeamat voivat osua leikattavaan teräkseen ennen kyseisen kohdan



joutumista leikkausterien kitaan. Näin ollen teräsnauha tästä kohtaa voi hieman kohota tukirenkään lohkeaman kohonneiden reunojen takia tai hieman vajota ennen leikkausta ja näin ollen leikattava teräsnauha ei tule suoraan leikkaukseen. Tämä vaikuttaa kyseisen kohdan leikkausvoimien muutokseen, tukemisen huonontumiseen, teräasetuksiin ja näin ollen syntyy huonompaa leikkausjälkeä. (Harjula, Heikki & TKM TTT Finland 2016)

#### 4.5.7 Terien ja tukirenkaiden huolto

Terät ja tukirenkaat on aina huollettava huolellisesti ja laadukkaasti. Terien huoltoon kuuluu ensiksi hionta, jonka jälkeen sorvaus. Hionnassa poistetaan terän kehältä kulu- nut tai vaurioitunut osuus ja sorvauksessa tasoitetaan terien kyljet poistamalla terien leikkaussärmään syntynyt kulumaviiste. Toisin sanoen hionnassa terän halkaisija pie- nenee ja sorvauksessa terän paksuus pienenee. Hämeenlinnan tehtaalle tulevien reu- naleikkausterien halkaisija on 407mm ja paksuus 45mm. Minimi halkaisija terille on 372mm ja minimi paksuus on 25mm, terän saavuttaessa nämä dimensiot se romute- taan ja kierrätetään. Huonosti huolletut terät vioittuvat herkemmin, tuottavat huonom- paa leikkausjälkeä sekä asetettuihin ajomääriin ei päästä ennen terän hajoamista. Te- riä hiottaessa on huomioitava, että hiontakivi on oikean kovuinen, terää ei hiota aina- kaan liian vähän, hiontapinnankarheus on hyvä ja hionnassa on tarvittava jäähdytys. Hiontavirheet ja ylikuumentuminen hionnan aikana vaurioittavat teriä niin mikro- kuin makrotasolla ja tämä tekee teristä virheellisiä. Toisin sanoen terät todennäköisesti ha- joavat useasti suhteellisen nopeasti vaikka terien seuraavat huollot olisivatkin täysin laadukkaita. Hionnan huono jäähdytys näkyy terän kehän tummumisena. Sorvaukses- sa on tärkeää, että sorvin asetukset ovat oikeat. Syöttö sekä on nopeus pitää olla niin pieni, ettei terän kyljen paikallinen lämpötila nouse suureksi. Liian suuren syötön takia sorvauksen lastu muuttuu siniseksi. Suurin virhe, mitä sorvauksessa voi syntyä on paksuuden vaihtelut terän ulkohalkaisijan ja sisähalkaisijan välille. Tämän poistetaan kellottamalla magneettipaikka huolellisesti isoon pakkaan. Peittauksen terien materiaali on niin kovaa, että sorvauksessa on käytettävä keraamista palaa. Hionnassa sekä sor- vauksessa on tärkeää, että terästä poistetaan jokaisesta kohdasta sekä suunnasta saman verran jotta paksuusvaihteluita tai halkaisijavaihteluita ei terissä syntyisi. Pa- himmassa tapauksessa paksuusvaihteluita voi olla yhdessä terässä monessa kohtaa, jos sorvaus on tehty erittäin huonosti ja huolettomasti. Paksuusvaihtelun syntyessä esimerkiksi terän toiselta puolelta ulkohalkaisijan leveys voi olla sisähalkaisijaa isompi

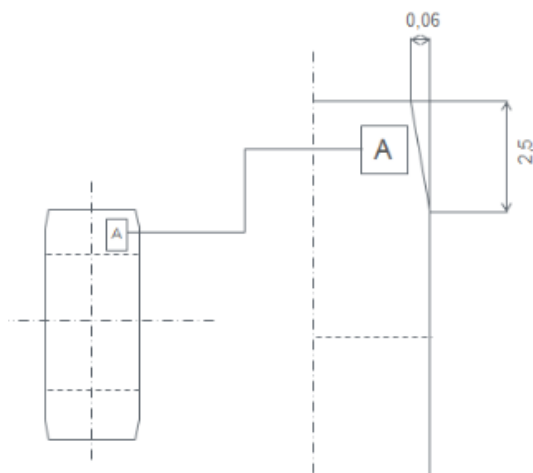
mutta toiselta puolelta paksuuseroja ei ole. Tällaisten terien teränpyörähdyksen aikana terien välykset muuttuvat useaan kertaan. Tämä vaikuttaa tietenkin suuresti leikkausjäljen laatuun. Jo millimetrin kymmenesosan paksuusheitto terässä muuttaa vaakavälyksiä niin paljon, että reunaleikkausjäljen laatu on erittäin huonoa. Tällainen leikkausterä hajoaa lähes välittömästi, kun niillä lähdetään leikkaamaan. Hämeenlinnan tehtaan työohjeissa mainitaan, kuinka paljon paksuuseroa ulko- ja sisähalkaisijan välillä saa enintään olla mikrometrillä mitattuna. Tässä toleranssissa pysytään mittaamalla jokainen sorvattu terä. Tähtäyksenä on kuitenkin tilanne, missä sitä ei olisi ollenkaan. Hionnassa syntyvä halkaisijavaihtelu tekee terästä soikean, mikä myös hajoittaa terät erittäin nopeasti sekä muuttaa pystyvälyksiä terien kierroksen aikana. Tästä syystä leikkaantunut vyöhyke voi olla erittäin epätasainen ja reunaromun kiinnijäämisen riski kasvaa. Varastoinnissa ja kuljetuslaatikoissa on huomioitava muutama asia. Terät eivät saa kolistella mihinkään vaan jokaisella terällä on selvä paikka, eivätkä terä saa mennä nukkaiseksi. Teriä on myös puhdistettava tasaisin väliajoin. Hionnassa käytettäviä työkaluja on huollettava aina hionnan jälkeen. Mikäli työkaluissa havaitaan virhe tai rikkoutuminen, se on välittömästi korjattava esimerkiksi hiomakivellä ennen käyttöä. Suurempien vaurioiden sattuessa terä tarkistetaan ja romutetaan tarvittaessa. Virheellisiä työkaluja ei saa käyttää terien hionnassa. Jokaisen hionnan yhteydessä työkalut on puhdistettava ja niistä on poistettava hionnassa aiheutuva magneettisuus. (Harjula, Heikki & TKM TTT Finland 2016; Peittauslinjan sivuleikkurin pyöröterien ja tukirenkaiden sorvaus työohje 2017; Terien hionta valssihiomossa työohje 2017)

Hämeenlinnan tehtaalla reunaleikkausterien hiontakone on täysin manuaalinen. Kaikki hiontatehon syötöstä hiontanesteen annosteluun tehdään mekaanisesti. Hyvän hionnan lopputulos vaatii siis kokemusta terien hionnasta sekä hiontakoneesta. Hionnan tavoitteena on sorvauksen kanssa poistaa virheet leikkaavasta särmästä ja lisäksi saada hyvä pinnan laatu terien kehälle. Hämeenlinnan tehtaan jokaisessa hionnassa terän kehältä hiotaan jokaisen hionnan yhteydessä 1,0mm-1,5mm riippuen terien halkaisijasta ennen hiontaa. Hionnassa voi siis olla eri halkaisijallisia teriä. Sääntönä on, että pienemmästä terästä hiotaan 1,0mm pois. Jos terät pelkästään hiottaisiin eikä sorvattaisi ollenkaan ja haluttaisiin kuitenkin samanlainen lopputulos, jouduttaisiin terien kehältä hiomaan vähintään 5mm pois jokaisen hionnan yhteydessä. Tämä vähentäisi terien käyttöikää suuresti, sillä terät pienenisivät minimihalkaisijaan nopeammin. Hiontakoneen tuurna, mihin peittauslinjan terät asetetaan, on normaali tuurna. Tämän takia jokaisen hionnan yhteydessä teristä tulee vähän soikeita tuurnan päälliseltä osalta, sillä tuurnan ja terän väliin jää pieni tila ja näin terät tipahtavat hieman alaspäin hionnan

alkaessa. Kyseinen tila kuitenkin pysyy kokoajan terän ja tuurnan välissä ja pakkautuu toiselle puolelle. Toisin sanoen, teräpaketti ei ole kokonaan pyöreä hionnan aikana. Yhden hionnan aikana tapahtuva soikea kohta ei ole kuin maksimissaan noin 0,01 – 0,02mm, mikä ei kauheasti muuta vielä pystyvälkyksiä. Teriä kuitenkin hiotaan parhaimmillaan noin 20 kertaa niiden elinkaaren aikana, eikä terien asettelua tuurnalle hallita mitenkään. Tällöin terä voi tästä syystä olla samassa asennossa monta kertaa eri hionnoissa ja näin terän soikeus voimistuu tästä kyseisestä kohdasta. Näin ollen terien asetettaessa prosessilinjaan, niiden pystyvälkykset vaihtelevat terän pyörähdysten aikana. Tämä tuurnan aiheuttama soikeus voitaisiin poistaa paisuntatuurnalla, joka paisuisi täysin terien sisähalkaisijan kokoiseksi terien asettamisen jälkeen sekä helpotaisi suuresti myös terien asettamisenkin tuurnalle. Toinen tapa hallita tämä soikeus on laittaa terät hiontatuurnalle täysin samalla lailla, kuin ne laitetaan prosessilinjaan. Esimerkiksi terien kevennyksessä oleva lovi asetetaan aina hiontatuurnan, sekä teräakseliston yläosaan. Näin tiedetään, mistä terä on hieman soikea ja saadaan hallittua tämän soikeuden aiheuttamat ongelmat. Paras vaihtoehto ongelman poistamiseen on kuitenkin paisuntatuurna. Hionnan lämpötila on kuitenkin hyvin hallussa, sillä hionnan aikana terän lämpötila nousee vain noin 10 celsiusasetetta.

Hämeenlinnan tehtaan sorvi on myös lähes täysin manuaalinen aina magneettipakan kellottamisesta sorvauksen alkuun vaikkakin sorviin on tehty todella massiivisia päivityksiä. Sorvauksen tavoite on hionnan kanssa saada poistettua lohkeamat ja muut virheet leikkaavasta särmästä. Tavoitteena on myös saada hyvä pinnanlaatu terien kylkiin, terävä leikkaussärämä sekä poistaa teriin syntynyt kulumaviiste. Sorvauksessa terän kyljestä poistetaan noin 0,10mm – 0,20mm, jotta kulumaviiste saadaan poistettua. Kulumaviiste on yleensä noin 0,06mm -0,10mm, joten tällä varmistetaan, että se poistuu kokonaan. Näin vanhassa sorvissa eri osien välillä on väljyyksiä ja näin sorville on ominaista tehdä pieni paksuusheitto terän kylkiin vaikka magneettipakka olisi kuinka tarkasti asetettu. Tämä on kuitenkin vain millin tuhannesosia mutta moninkertaistuu huonon magneettipakan kellotuksen yhteydessä. Sorvauksen hallinnassa on myös parantamisen varaa. Eri sorvareilla on erilaiset käytännöt terien sorvauksessa. Toiset sorvaavat neliöpalalla kuin toiset sorvaavat pyöröpalalla. Toiset käyttävät kovempaa syöttöä kuin toiset ja niin edelleen. Tämä vaikeuttaa suuresti prosessin hallintaan ja kehittämistä, sillä jokaisessa sorvauksessa muuttujat vaihtuvat. Toisten tyyli tuo vähemmän lämpöä ja toisen tyyli tuo paremman pinnanlaadun. Myös paksuuden vaihteluiden mittaaminen sorvauksen jälkeen on hyvin vähäistä. Kehittämisen kannalta paras olisi, jos sorvareiden kanssa kehiteltäisiin yksi yhtenevä tapa sorvata leikkuuterät, jolla

terien kyljet tulevat suoriksi, sorvauksen lastu ei kuumene hirveästi ja saataisiin hyvä pinnanlaatu.



Kuva 11 Reunaleikkausterien kulumaviiste (Peittauslinjan sivuleikkurin pyöröterien ja tukirenkaiden sorvaus työohje 2017)

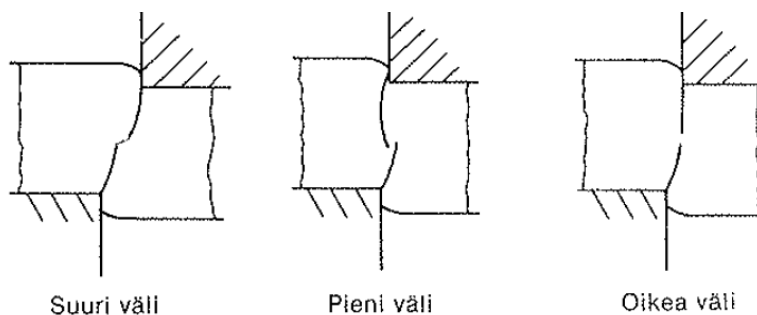
#### 4.5.8 Leikkausterien asetus prosessilinjaan

Teriä asettaessa teräpäiden akseliin on tärkeää, että terät ovat täysin suorassa. Terien vinous akselilla vaikuttaa terävyyksiin ja näin vaikuttaa heti leikkausjäljen laatuun. Vinous vaikuttaa myös leikkausvoiman vääristymiin ja kuormittaa teriä erittäin paljon rikkoen leikkaavan särmän lähes välittömästi. Eri valmistajilla on erilaiset menetelmät, joilla varmistetaan terän suorassa pysyminen. Yksi menetelmä on hydrauliset puristimet, jotka pitävät vakiopaineella teriä samassa asennossa niiden asentamisesta niiden vaihtamiseen. Tämä ratkaisu ei ole aukoton, sillä paineen vuotaessa terät eivät pysy ollenkaan paikallaan ja näin vähintään yhdet terät hajoavat, ennen kuin tämä huomataan ja korjataan. Jotta terät saataisiin täysin suoraa, terien kyljet on puhdistettava kaikesta irtopölystä ja ylimääräisestä liasta ennen asennusta. Myös tukirenkaiden sekä hydraulisyliterien pinnat, joihin terien kyljet osuvat, ovat puhdistettava. Hämeenlinnan tehtaalla terien asetukselta on tehty erittäin yksinkertainen, jotta terät olisivat helppo asettaa aina täysin suoraan. Tukirenkaat on myös käsivoimin asetettava akselille. Apuvälineiden, kuten kumivasaran, käyttö asennuksessa mahdollistaa kumin irtoamisen sen rungosta sen ollessa akselilla.

#### 4.5.9 Teräasetukset

Reunaleikkauksessa teräasetukset ovat lähes yhtä tärkeitä, kuin terät itse. Näihin asetuksiin kuuluvat terien vaakaväli, pystyväli eli limitys, leikkauskulma sekä viistokulma. Vaakaväli ilmoittaa ylä- ja alaterän välisen vaakasuoran etäisyyden. Pystyväli ilmoittaa terien pystysuoran etäisyyden. Leikkauskulma ilmoittaa teräsnauhan keskilinjan ja leikkurin terälle levyn kosketuskohtaan piirretyn tangentin välisen kulman. Viistokulma on yläterän kallistuma alaterään nähden. Peittauslinjan reunaleikkauksessa ei kuitenkaan ole viistokulmaa, joten kyseessä on yhdensuuntainen leikkaus. Näin saadaan aikaiseksi suorakulmaisempi leikkausjälki mutta vaaditaan suurempia leikkausvoimia teräksen murtumiseen. Terien välysten suuruus määräytyy pääasiassa teräsnauhan paksuuden mukaan mutta niihin vaikuttavat myös teräslaadun kovuus sekä leveys, terien kunto sekä leikkausöljyn käyttö. Ennen teräasetusten valintaa on päätettävä, mille asioille asetetaan pääpaino leikkauksen lopputuloksessa. Tämä sen takia, koska ei ole olemassa teräasetusten arvoja, joilla saisi yhtäaikaaisesti kaikissa suhteissa optimaalisen lopputuloksen. Vaaka- sekä pystyvälisiä voidaan säätää manuaalisesti operaattorin ohjaamosta mutta leikkauskulmaan voidaan vaikuttaa vain terän halkaisijan muutoksilla. Viistokulma asetetaan terien kiinnityksen yhteydessä. Pystyvälitys, toiselta nimeltä limitys, vaikuttaa leikatun reunan irtoamiseen itse teräsnauhasta. Tämä välys on hyvä pitää mahdollisimman suurena, jotta terien kuluminen olisi mahdollisimman vähäistä. Pystyvälin pienentäminen lisää leikkauksessa syntyviä jäännösjännityksiä, jotka voivat aiheuttaa muodonmuutoksia leikatussa nauhassa. Lisäksi liian pienen pystyvälityksen takia reunaromu taittuu helpommin leikkurien väliin jumiin tai jää teräsnauhan reunaan kiinni ja tuotanto joudutaan pysäyttämään. Pystyvälitys ei toisin sanoen suoranaisesti vaikuta leikkausjälkeen, ellei terien leikkauspinta ole todella epätasainen tai likainen. Ainoa asia, miten pystyvälitys vaikuttaa leikkausjälkeen on se, ettei reunaromu irrotesaan revi leikattavaa reunaa vaan reunaromu irtoaa siististi. Vaakavälitys on kuitenkin tärkein teräasetuksista ja vaikuttaa eniten itse reunaleikkauksen laatuun. Jokaisella teräksen paksuudella, leveydellä ja kovuudella on omat optimaaliset vaakaväliset asetukset. Pääsääntönä on, että pehmeillä teräsmateriaaleilla on pienempi terien välys, mitä lujilla teräksillä. Samoin ohuemmillä teräksillä on pienempi vaakavälitys mutta isompi pystyvälitys, kuin paksuilla teräsnauhoilla. Tämä siksi, että ohuemman nauhan reunaromu irtoaisi paremmin nauhasta ja ettei teräsnauha pääsisi niin paljon liukumaan leikkauksen aikana. Välyksen ollessa sopiva, ylä- ja alaterien murtohalkeamat kohtaavat toisensa suoraan (kuva 13). Tällöin saadaan hyvä ja tasaisen leikkausjälki, jossa leik-

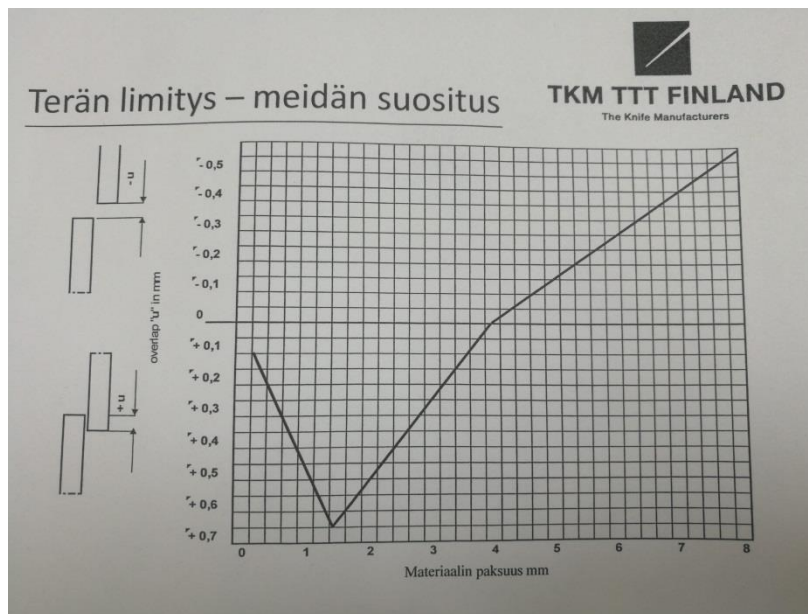
kaantunut osuus on noin 20–30% levyn paksuudesta. Leikkausvoimat ovat tällöin matalia, joten terien kuluminen on kohtuullista. Liian välysten ollessa liian suuret, leikkauksen murtohalkeamat eivät kohtaa toisiaan suoraan (kuva 14). Tämän takia syntyy niin sanotut ”sekundääriset halkeamat”, jotka saavat murtumisen aikaan. Tähän kohtaan syntyy pykälä. Suuri välys aiheuttaa myös epätasaisen ja vinon leikkausjäljen sekä vajaasärmä suurenee. Liian suuren vaakavälyksen huomaa siitä, että leikkaantunut vyöhyke on pienempi ja murtunut osuus suurempi. Teräsnauha tällöin myös taipuu erityisen paljon ja näin ollen terien rikkoutumisvaara sekä riski ylimääräisen purseen synnylle kasvaa. Teräsnauhan suuntaiset kuormitukset myös kasvavat, mikä edistää terien kulumista. Lisäksi teräsnauhan taittumisen riski kasvaa liian suurilla vaakavälyksillä. Liian pienen välyksen tapauksessa leikkauksen synnyttämien murtumien päät eivät kohtaa heti vaan kulkevat ensiksi toistensa ohi. Käytännössä leikkaus tapahtuu kahteen kertaan (kuva 13). Tämän takia leikkaantunut alue on suurempi ja varsinkin pehmeiden terästen leikkauspinnassa voi olla leikkaantunutta aluetta sekä ylä- että alaosassa. Liian pieni välys lisää myös purseen suuruutta sekä tarvittavia leikkausvoimia. Tämä kuluttaa teriä paljon enemmän. Hämeenlinnan tehtaalla terien välysasetykset tulevat automaattisesti, kun seuraavan kelan tiedot ovat järjestelmässä. Välysasetyksiä voidaan kuitenkin muuttaa käsin reunaleikkaajan kopin järjestelmäpääteeltä. Hämeenlinnan tehtaalla välyksiin vaikuttavat teräsnauhan paksuus sekä onko teräsmateriaali niin sanotusti normaalia kovuista vai vähän pehmeämpää terästä. Todella koville sekä pehmeille teräksille ei siis ole olemassa omaa välysarvoa, eikä leveyden vaikutusta terien välykseen ole tutkittu. (Tekninen tiedote 9/80 1980) (Harjula, Heikki & TKM TTT Finland 2016)



Kuva 12 Leikkausvälyksien vaikutus halkeamien etenemiseen (Tekninen tiedote 9/80 1980)

Taulukko 1 Paksuuden vaikutus terävällyksiin Hämeenlinnan tehtaalla (Nauhan leikkausasetukset ja leikkausjäljen tarkastus työohje 2017)

Nauhan paksuus, mm	Vaakavällys, mm	Pystyvällys, mm
2,0	0,22	0,8
2,5	0,28	0,7
3,0	0,33	0,6
4,0	0,44	0,4
5,0	0,55	0,2
6,0	0,60	0,1



Kuva 13 Terävalmistajan suositus pystyvällyksiin (Harjula, Heikki & TKM TTT Finland 2016)

#### 4.5.10 Reunaromun leveys

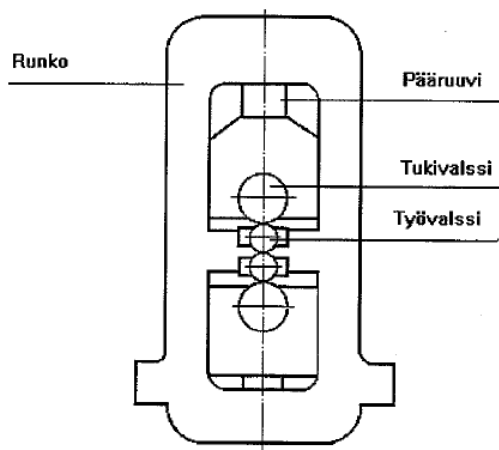
Reunasta leikattavan reunaromun leveys vaikuttaa oleellisesti myös reunaleikkauksen laatuun. Toisaalta reunaromun leveyden pienentäminen vähentää materiaalihävikkiä ja näin saadaan säästöjä lyhyellä aikavälillä. Liian pieni reunaromu ei irtoa leikattavan teräsnauhan reunasta tasaisesti ja sulavasti vaan voi repeytyä irti leikattavasta teräsnauhasta. Pahimmassa tapauksessa reunaromu jää teräsnauhan kylkeen kiinni aiheuttaen tuotantopysäytyksiä ja virheellistä materiaalia. Tämä tapahtuu usein, kun reuna-

romun leveys on liian pieni. Pieni reunaromun määrä voi aiheuttaa myös epätasaisen murtuneen vyöhykkeen. Reunaliuskaa ei välttämättä edes heikennetä, jos reunaromun määrä on tarpeeksi pieni ja näin voimakasta reunaliuskaa pääsee kylmävalssaukseen. Tämän hetkinen Hämeenlinnan tehtaan reunaromumäärät ovat erittäin optimoituja ja mahdollisimman pieniä. Varsinkin erittäin pehmeiden IF-terästen reunaromun määrä on erittäin pieni. Pahimmassa tapauksessa reunaromun määrä on niin olematon, että terät niin sanotusti vain ”nakertavat” epätasaisesti reunaa. Tällöin teräsnauhan reuna näyttää aivan rotan syömältä ja suuri riski tikkuisen reunan syntymiseen kasvaa. Tällainen leikkaus tuo ongelmia jatkojalostuksessa eikä asiakas tule hyväksymään tällaista teräsnauhan reunaleikkausjälkeä. Suuremmalla reunaromulla on myös isompi mahdollisuus saada poistettua kuumanauhassa piilevät laadulliset virheet. Tämänhetkiset reunaromujen leveydet ovat niin minimaalisia, että kuumanauhan virheen ei tarvitse olla voimakas, jotta se pilaisi koko reunaleikkauksen ja samalla koko tuotteen. Pahimmat kuumanauhavirheet reunaromun loppumiselle ovat kaarevuus sekä leveyden alitukset. Raahen tehtaalla on voinut syntyä leveyden alituksia, jotka vähentävät entisestään pientä reunaromumäärää. Isommalla reunaromulla saadaan siis laadukkaampi reunaleikkausjälki, suorakylkisemmät teräskelat, enemmän pelivaraa kuumanauhan mahdollisiin leveysalituksiin ja saadaan myös todennäköisemmin poistettua kuumavalssauksessa syntyneet virheet sekä reunaliuskat. Esimerkiksi Ruotsin tehtaalla reunaromujen määrät ovat moninkertaisia Hämeenlinnan tehtaaseen verrattuna eikä heillä ole yhtään ongelmia reunaromun irtoamisen eikä kiinnijäämisen kanssa.



## 5 KYLMÄVALSSAUS

Peittauksen jälkeen teräsnauha kylmävalssataan. Kylmävalssauksen tarkoituksena on ohentaa kuumavalssattu teräsnauha haluttuun paksuuteen ja parantaa nauhan pinnanlaatua. Hyvään kylmävalssauksen lopputulokseen pääsemiseksi on tärkeä myös säävuttaa haluttu nauhan poikkipinnan paksuusjakauma sekä mahdollisimman tasomainen teräsnauhan muoto. Kylmävalssatut tuotteet sopivat käyttökohteisiin, joissa vaaditaan hyvää pinnanlaatua sekä muovattavuutta. Hämeenlinnan tehtaalla käytetään kvartto- eli nelikorkeita valssaimia. Tässä mallissa varsinaisia työvalsseja on tukemassa tukivalssit. Kylmävalssauksessa nauha ajetaan kahden valssin välistä. Valssikita, eli valssien väli säädetään sellaiseksi, että levyyn syntyy pysyvä muodonmuutos. Käytännössä levy ohenee ja samalla pitenee sen mentäessä valssikidan lävitse. Oheneman suhdetta nauhan alkuperäiseen paksuuteen kutsutaan reduktioksi. Hämeenlinnan tehtaan kylmävalssaimella reduktio vaihtelee tuotteesta riippuen 45–90%. Kylmävalssauksen jälkeen yhdessä teräskelassa voi maksimissaan olla 6 kilometriä teräsnauhaa. (Hirvonen, T. & Järn, S. & Lankila, A. & Luukkonen, J. & Paavilainen, J. & Palkkikangas, M. & Peltoa, A. & Sipilä, R. & Tuovinen, J. 1998, 38–40)

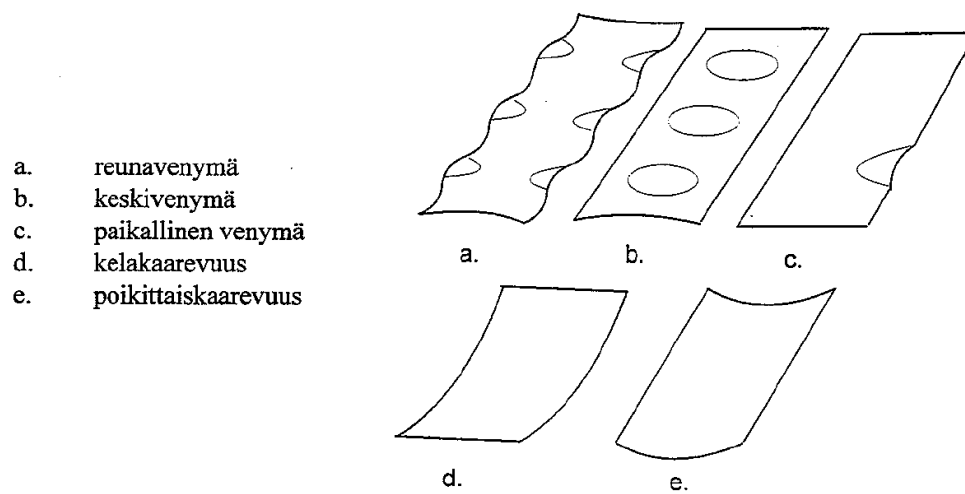


Kuva 14 Kvartto- eli neljäkorkea valssain (Hirvonen, T. & Järn, S. & Lankila, A. & Luukkonen, J. & Paavilainen, J. & Palkkikangas, M. & Peltoa, A. & Sipilä, R. & Tuovinen, J. 1998, 40)

## 5.1 Kylmävalssauksen vaikutus teräsnauhan ominaisuuksiin

Kylmävalssaus muuttaa teräksen mikrorakennetta ja mekaanisia ominaisuuksia. Varsinkin reduktion määrä vaikuttaa voimakkaasti teräksen raekokoon ja tekstuuriin. Kylmävalssauksen jälkeen teräksen raerakenteen rakeet venyvät valssaussuuntaan voimakkaasti. Tämä aiheuttaa voimakkaan myötö- sekä murtolujuuden sekä muokkauslujittumisen takia teräksen kovuus kasvaa. Teräs kuitenkin menettää muovattavuuttaan, koska teräksestä tulee hauraampaa ja murtovenymä pienenee. Tämän takia teräs on hehkutettava, jotta kylmävalssausta aikaisemmat ominaisuudet saataisiin takaisin teräkseen. Nauhan pinnankarheus muuttuu myös kylmävalssauksessa. Pääasiassa pinnankarheus pienenee mutta samalla osa valssien pinnan karheusprofiilista siirtyy teräsnauhan pintaan. Huolloissa työvalssit hiotaan oikeaan bombeeraukseen sekä sopivan pinnankarheuden aikaansaamiseksi viimeisten valssien pinta karhennetaan nauhan pinnan karheusvaatimuksia vastaavaksi. Bombeeraus tarkoittaa hionnassa tehtävän valssin keskikohdan ja reunan välistä halkaisijaeroa ja tämä tehdään aina tiettyjen valssaustonnimäärien välein. Koska valssien pinnankarheus muuttuu niiden käytön edetessä, valssien huoltovälin loppupäässä ajettavien teräsnauhojen pinta on sileämpi mitä alkupäässä ajettavien. Valssauksen aikana myös työvalsseihin kohdistuu sitä taivuttavia ja litistäviä voimia. Nämä elastiset muodonmuutokset aiheuttavat valssikidan muodon muuttumisen. Käytännössä valssien välinen väli kasvaa keskeltä, koska teräsnauhan keskikohta on reunoja paksumpi. Tätä teräsnauhan keskikohdan ja reunojen välistä paksuusero kutsutaan crowniksi. Nämä valssikidan muodon muutokset voivat johtaa levymuodon muutoksiin, ei haluttuun poikkipinnanprofiiliin tai tasomaisuusvirheisiin. Näiden ongelmien estämiseksi kompensoidaan nauhasta valsseihin aiheutuvaa taipumista ja litistystä taivuttamalla valsseja ja puristamalla niitä erilaisilla valssausvoimilla valssattavaa teräsmateriaalia vasten siten, että haluttu valssikidan muoto säilyy valssauksen aikana. Valssikidan muotoon valssauksen aikana vaikuttavat myös bombeeraus sekä valssien lämpölaajeneminen. Lämpölaajeneminen syntyy valsseissa kitkan sekä kylmämuovauksessa syntyvän lämmön ansiosta. Tätä hallitaan valssien jäähdytyksellä ja voitelulla. Kvarttovalssaimen valssikidan muotoa muutetaan ajon aikana myös tukivalssien taivutusta säätämällä. Yleisimpiä teräksen tasomaisuusvirheitä ovat reuna- sekä keskivenymä. Venyneessä kohdassa nauha on muita osia pidempi ja se näkyy teräsnauhassa aaltoiluna. Kylmävalssaus muuttaa myös reunaleikkauksen jälkeä. Pehmeillä teräslaaduilla reduktiot ovat niin suuret, että se murtaa teräksen reumat ja samalla myös leikkauspinnan muuttaen leikkausjäljen muotoa. Tämä voi tuoda

ongelmia jatkojalostuksessa varsinkin, jos nauhassa ilmenee vielä reunavenymää. Kuitenkin isoin laadullinen riski reuna-alueen valssauksessa on reunaleikkauksessa syntyvä purse. Kuten aikaisemmin mainittu, kylmävalssauksessa teräsnauhan leveys ei muutu mutta paksuus ja pituus muuttuvat. Kuitenkin jos ylimääräistä pursetta on syntynyt nauhan reunaan, se valssautuu nauhan reuna-alueelle epätasaisesti ja saa aikaan sahalaitaisen reuna-alueen. Tämä laadullinen ongelma ilmenee paljon useammin pehmeillä teräslaaduilla. Tämä johtuu siitä, että pursetta syntyy helpommin pehmeisiin teräksiin. (Hirvonen, T. & Järn, S. & Lankila, A. & Luukkonen, J. & Paavilainen, J. & Palkkikangas, M. & Pelto, A. & Sipilä, R. & Tuovinen, J. 1998, 42–47)



Kuva 15 Tasomaisuusvirheitä kylmävalssauksessa (Hirvonen, T. & Järn, S. & Lankila, A. & Luukkonen, J. & Paavilainen, J. & Palkkikangas, M. & Pelto, A. & Sipilä, R. & Tuovinen, J. 1998)

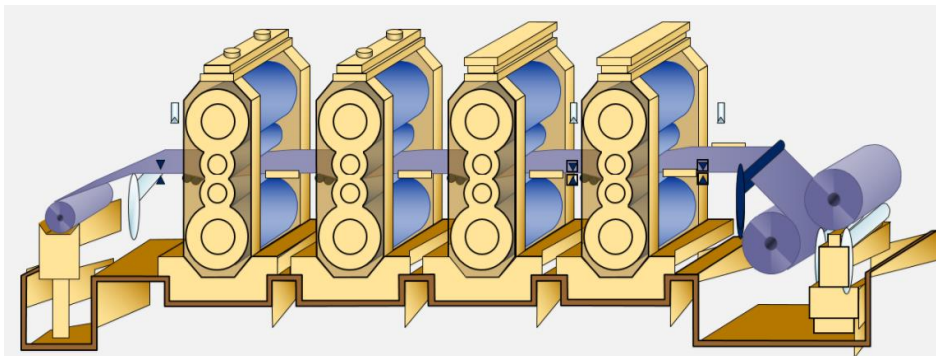


Kuva 16 Purseisen reunaleikkausjäljen kylmävalssaamisesta aiheutuva sahalaita

## 5.2 Kylmävalssaus Hämeenlinnan tehtaalla

Vaikka Hämeenlinnan tehtaan kylmävalssainkin on peittauslinjan tapaan kymmeniä vuosia vanha ja selvästi käyttökänsä ylittänyt, sen tekniikka on edelleen lähes nykykainen. Hyvin kunnossapidetty valssain toimii hyvin eikä siinä ole ollut ongelmia. Hämeenlinnan tehtaan kylmävalssain on nelituolinen valssain. Tämä tarkoittaa, että teräsnauha menee neljän valssikidan lävitse valssauksen aikana. Tällaista usean vaiheen valssausta kutsutaan tandemvalssaukseksi. Peitatut teräskelat tulevat kelakuljetinta pitkin aukikelaimelle ja tästä kelan keula pujoitetetaan linjaan. Teräskela saa enintään olla 25 tonnia painava, ulkohalkaisijaltaan 1950mm korkea sekä 1575 mm leveä, jotta se voidaan asettaa aukikelaimelle. Aukikelaimelta nauhan alkupää pujoitetaan valssikitojen läpi kelaimelle, mihin valssattu teräskela kelautuu. Tästä alkaa varsinainen valssausvaihe. Jokaisen valssituolin kohdalla nauhaan kohdistuu enintään 2800 tonnin puristusvoima. Valssauksen maksimi valssausnopeus ensimmäisellä tuolilla on 270 metriä minuutissa ja neljännellä valssituolilla 625 metriä minuutissa. Tämä nopeusero johtuu reduktion vaikutuksesta. Valssaustapahtumaa voidellaan ja jäähdytetään erityisen valssausemulsion avulla. Tätä emulsiota suihkutetaan tukivalssien päälle sekä jokaiseen valssikitaan. Kuten aikaisemmin mainittu, valssiemulsiolla vaikutetaan myös valssikidan muotoon. Emulsiosuuttimia on nauhan leveyssuunnassa useita ja niiden

paineita muuttamalla voidaan valssien eri kohtien lämpötiloja muutella. Tällöin paikallinen lämpötilamuutos muuttaa valssien halkaisijaa paikallisesti ja valssikidan muoto muuttuu. Tällä säädetään nauhan tasomaisuuden muutoksia. Teräsnauhan paksuusprofiilia sekä tasomaisuutta säädetään myös valssien taivutusten, valssausvoiman, valssituolien välisen vedon, jäähdytyksien sekä kelauskireyden avulla. Neljännen valssituolin jälkeen nauha on saavuttanut halutun paksuuden ja kelautuu kelaimelle ja van-teutukseen. Tästä teräskela menee välivarastoon ja sieltä joko hehkutukseen tai sinkitykseen. Hämeenlinnan tehtaalla tandemvalssauksen aikana teräsnauhaa ohennetaan 2,0–5,0 mm lähtöpaksuudesta 0,38–3,0 mm loppupaksuuteen. Teräsnauhan paksuusprofiilia sekä tasomaisuutta säädetään valssien taivutusten lisäksi, valssausvoiman, valssituolien välisen vedon, jäähdytyksien sekä kelauskireyden avulla. Reduktio jakautuu valssituolien välillä siten, että ensimmäinen valssipari tekee kokonaisreduktiosta noin 40 %, toinen 30 %, kolmas 22 % ja neljäs 8 %. Peittaukselta valmistuneet kelat ohjataan kylmävalssaukseen niin sanottuna kiilana. Kiila tarkoittaa käytännössä sitä, että uusien työvalssien vaihdon jälkeen valssataan leveimpiä teräsnauhoja ja siitä seuraavien valssattavien teräsnauhojen leveys pienenee askeleittain kunnes kapeimmat teräsnauhat on ajettu. Kiila suunnitellaan siten, että jokaisessa kiilassa on noin 3500 tonnia valssattavaa teräsmateriaalia. Tämän jälkeen työvalssit vaihdetaan ja vanhat valssit viedään hiottavaksi. Uusilla valsseilla kiila aloitetaan alusta. (Hirvonen, T. & Järn, S. & Lankila, A. & Luukkonen, J. & Paavilainen, J. & Palkkikangas, M. & Peltoa, A. & Sipilä, R. & Tuovinen, J. 1998, 40–42)



Kuva 17 Hämeenlinnan tehtaalla tandemvalssain (Intranet SSAB)

## 6 KARKAISTAVAN BOORITERÄKSEN REUNALEIKKAUSKATSELMUS

### 6.1 Tietoa teräksestä

Kylmävalssattava ja karkaistava booriteräs on kuumavalssauksen jälkeen erittäin kovaa. Booriteräkset luetaan sekä kulutusteräksiin että erikoisluihin teräksiin. Kyseinen laatu sisältää suuren määrän kromia, booria, mangaania, piitä sekä hiiltä, jotka kaikki tuovat teräkseen kovuutta. Muita booriteräksen seosaineita ovat muun muassa alumiini, titaani, fosfori, rikki, typpi sekä kalsium. Kylmävalssauksen jälkeen teräs menee lämpökäsittelyyn, jonka jälkeen teräksestä tulee pehmeää. Tämän jälkeen kela menee viimeistelyvalssaukseen ja kelauslinjan kautta asiakkaalle. Terästä ei siis karkaista Hämeenlinnan tehtaalla vaan karkaisun hoitaa asiakas tuotteen saavuttua heille. Karkaisun jälkeen teräs kovenee erittäin paljon ja juuri tämän prosessoinnin jälkeen teräs saa lopullisen kovuutensa sekä sitkeytensä. Karkaistuna booriteräs kestää parhaiten kovaa pintapainetta ja hankaavaa kulutusta. Lujuuden ansiosta teräksestä voidaan valmistaa kevyempiä rakenteita, minkä johdosta kuljetus sekä rakennuskustannukset pienenevät. Yleisimpiä käyttökohteita ovat rakennusten rungon pilarit, teollisuushallien kattotuolit, nosturit, sillat sekä esimerkiksi kaivinkoneiden kauhat. (Eskelinen, Heikki 2010, 4-5)

### 6.2 Leikkauksen parametrit

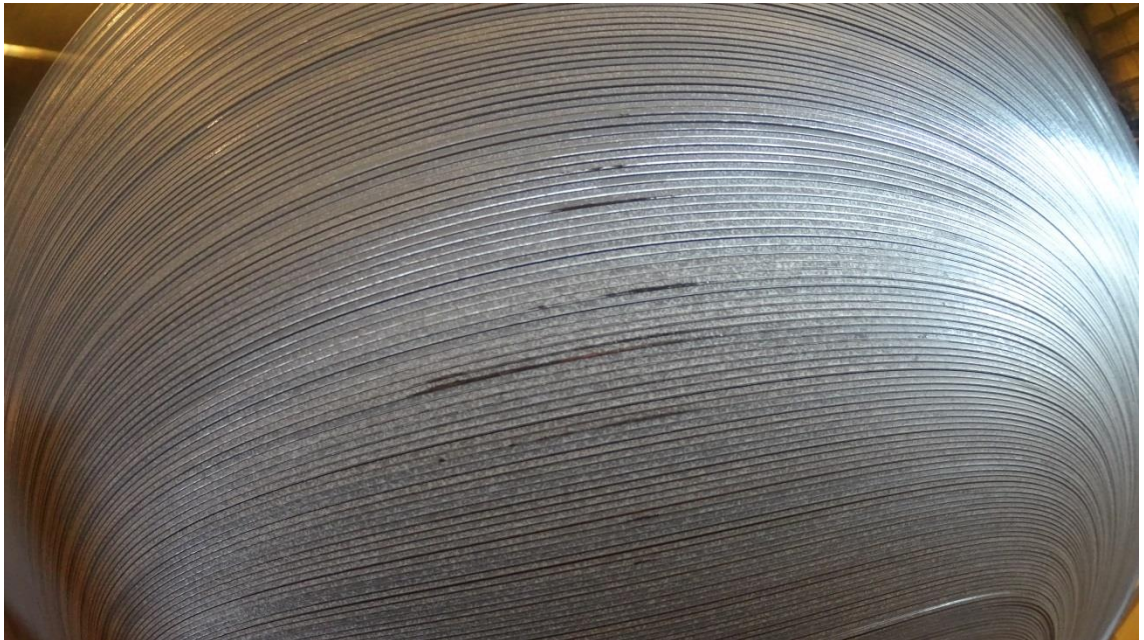
Kyseisen booriteräksen raaka-ainelaatu oli 1544. Tekninen nimitys tuotteelle oli CR-B-27. CR merkki tarkoittaa, että teräksessä on suuri kromipitoisuus ja B merkki tarkoittaa, että teräs sisältää booria. Numero 27 ilmaisee laadun kovuusluokan. Ennen peittausta teräskelojen kuumakelanumerot olivat 13866021 sekä 13866031. Peittauslinjan prosessoinnin jälkeen teräskelat saivat kylmäkelanumeron, nämä numerot olivat 234160 sekä 234170. Molempien teräsnauhojen paksuus oli 3,00mm, leveys oli 1116mm ja pituus oli molemmissa keloissa 782m. Lisäksi kyseisillä teräsnauhoilla oli lisävaatimuksia peittauksessa. Teräskeloja ei saanut prosessoida peittauslinjalla 115 m/min nopeampaa. Lisäksi kyseistä laatua ei pysty prosessoimaan peittauslinjalla peräkkäin, vaan kyseisten teräskelojen välissä on prosessoitava ainakin yksi pehmeän laadun teräske-

la. Kyseiset prosessointivaatimukset johtuvat teräslaadun kovuudesta. Nykyinen hitsauskone ei pysty hitsaamaan kahta näin kovaa teräsmateriaalia niin hyvin yhteen, että hitsausauma ei repeytyisi prosessin aikana. Lisäksi liian nopeampi ajonopeus, kuin 115 m/min aiheuttaa alipeittautumisen, eli teräsnauha ei puhdistu kunnolla. Ajovaatimuksella myös pienennetään reunaleikkauksen prosessointinopeuden suuruutta ja näin saadaan myös reunaleikkausjäljen laatua paremmaksi. Tämä pienentää myös terien murtumisen riskiä. Tämä ajonopeusrajoitus kuuluu kuitenkin vain peittausosukseen, eikä reunaleikkaukseen. Tämä siis ei poista teräskelan keulan kiihdytystä reunaleikkauksessa, jossa poistetaan sauman poiston ja uuden nauhanpään pujoituksen aikana loppupään nauhavaraajaan kertynyt teräsnauha. Tämä prosessointirajoitus pitää keulan jälkeisen teräsnauhan leikkauksen nopeuden maltillisena. Tämä tapahtuu yksinkertaisesti ajamalla peittausosuutta nopeammin. Tämä ei siis paranna aivan keulan reunaleikkauksen laatua. Hoitopuolella, oli määritettyyn tapaan toimittajan X terät teräpäässä numero kolme ja käyttöpuolella käytössä oli toimittajan Y terät teräpäässä numero kaksi. Hoitopuolen terillä oli ajettu 120km. Käyttöpuolen yläpuoleisella terällä oli ajettu 165km ja alapuolisella terällä 200km. Ajokilometreistä päätellen käyttöpuolen jäljen pitäisi olla paljon huonompi, sillä varsinkin alaterällä on ajettu suhteellisen suuri määrä. Terät ovat näin ollen todennäköisesti käyttöpuolella kuluneemmat. Hoitopuolen terilläkin on ajettu suhteellisen paljon verrattuna siihen, kuinka paljon modernit teräkset kuluttavat teriä. Terien pitäisi kuitenkin olla ihan hyvässä kunnossa leikkaamaan laadukkaasti näin kovaa terästä. Toisaalta näin kovan teräsmateriaalin laadukas leikkaaminen ei tarvitse niin terävää leikkaavaa särmää sen kovuuden takia. Molempien terien vaakavällykset olivat 0,33mm ja pystyvällykset olivat 0,6. Pystyvällysmittareissa on kuitenkin oltava jotain sähköpuolen vikaa, sillä taas järjestelmä näytti päätteellä, että käyttöpuolella pystyvälly olisi ollut 0,6mm mutta hoitopuolen pystyvällykset päätteen mukaan vaihtelivat 0,4mm ja 0,6mm väliltä. Nämä arvot reunaleikkaajan mukaan vaihtelevat myös ajon aikana useasti juuri teräpää 3 ollessa linjassa, vaikka terät eivät liiku ollenkaan. Tämä ongelma ei liity muihin teräpäihin. Tästä päätellen kyseessä on oltava teräpää kolmen sähköpuolen vika. Käytössä olevien hoitopuolten terien halkaisija oli 389,5mm ja käyttöpuolen 390mm.

### 6.3 Reunaleikkausjälki

Reunaleikkaus onnistui kyseisten kelojen kohdalta hyvin. Silmämääräisesti katsottuna kelojen reunoissa ei ollut juurikaan moittimisen varaa. Kelan 234160 Hoitopuolen reu-

nan muutamassa kohdassa ilmeni hankaumia, joissa leikkaantunut vyöhyke voimistui yhtäkkisesti muuhun nähden (kuva 23). Näitä oli noin 8 kohtaa koko kelan matkalta. Kelan 234180 hoitopuolella ei kyseisiä hankaumia näkynyt. Käyttöpuolen jälki näytti silmämääräisesti molemmissa keloissa täysin samanlaisilta. Mikroskooppikuvista näkee, että muuten hoitopuolen reunaleikkausjälki oli hyvää ja tasaista. Leikkaantunut vyöhyke oli 25 % ja murtunut vyöhyke 75 % nauhan paksuudesta. Lisäksi, leikkaantuneen vyöhykkeen osuus ei vaihdellut kierroksien välillä vaan oli erittäin tasainen eikä leikkaantuneen vyöhykkeen ja murtuneen vyöhykkeen välillä ollut suurta pykälää (kuva 22). Purseen määrä oli myös erittäin matala eikä teräksen liukumista aiheutunutta epätasaista murtumista näytä olleen tapahtunut lähes ollenkaan. (kuva 24). Käyttöpuolen jälki oli hyvä mutta vähän hoitopuolen jälkeä huonompi. Osassa kierroksista leikkaantuneen vyöhykkeen voimakkuus ja paksuus oli erittäin tasaista ja hyvää mutta osalla kierroksista saattoi olla hyvinkin suuria muutoksia leikkaantuneen vyöhykkeen osuuden paksuudessa sekä sen voimakkuudessa ja murtuneen vyöhykkeen reunan epätasaisuudessa (kuva 25). Myös pursetta oli syntynyt enemmän käyttöpuolelle ja leikkauksessa on tapahtunut pientä liukumista (kuva 26). Pursetta ei kuitenkaan ollut niin paljon, että aiheuttaisi ongelmia kylmävalssauksessa tai suurempaa sahalaitaisuutta kylmävalssauksen jälkeen.



Kuva 18 Hoitopuolen reunaleikkaus silmämääräisesti + kelan 234160 hankaumat





Kuva 19 Kelojen käyttöpuolen reunaleikkausjälki silmämääräisesti



Kuva 20 Hoitopuolen reunaleikkausjälki



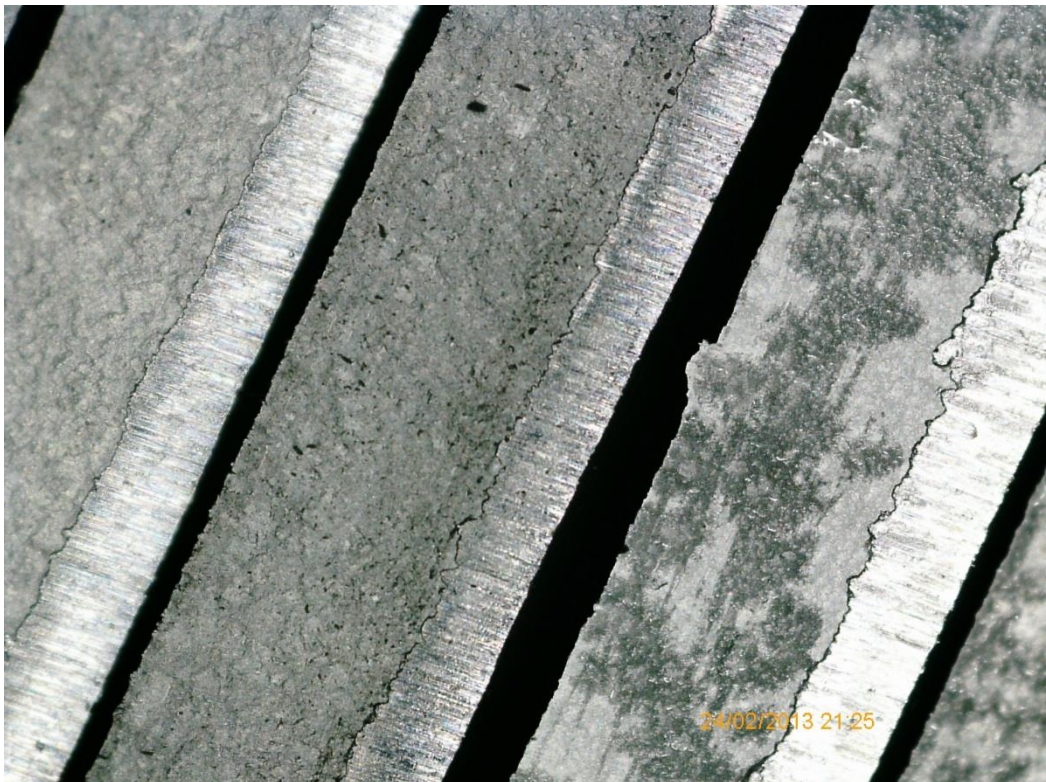
Kuva 21 Kelan 234160 hoitopuolen hankauma



Kuva 22 Hoitopuolen leikkauksessa tapahtunut teräksen liukuminen



Kuva 23 Hoitopuolen purse



Kuva 24 Käyttöpuolen reunaleikkausjälki



Kuva 25 Käyttöpuolen epätasainen murtuminen



Kuva 26 Käyttöpuolen purse

#### 6.4 Kylmävalssauksen parametrit

Juuri ennen tutkittavien keloja tullessa kylmävalssaukseen, tandemvalssaimella tapahtui nauhakato. Tämän vuoksi ensimmäinen ja toinen työvalssi vaihdettiin. Näillä juuri vaihdetuilla valsseilla oli ajettu noin 200 tonnia, ennen kyseisiä keloja. Kolmatta eikä neljättä valssia ei vaihdettu nauhakatkon jälkeisen huollon yhteydessä ja näillä valsseilla oli ajettu 3200 tonnia, kun kyseiset kelat tulivat ajoon. Teräskelat olivat siis kiilan lopussa, koska Hämeenlinnan tehtaan kiila on enintään 3500 tonnia, jonka jälkeen työvalssit vaihdetaan. Molempien teräskelojen reduktiot olivat kovuutensa vuoksi suhteellisen pienet, vain 42,7 %. Teräskelojen alkupaksuus oli 3.00mm ja loppupaksuus oli kylmävalssauksen jälkeen 1.72mm. Teräskelojen pituudet olivat kylmävalssauksen jälkeen 1075m. Näin pieni reduktio ei hirveästi murra reunaleikkausjälkeä, vaan mikroskoopi kuvista voidaan vieläkin erottaa selvästi leikkaantunut, sekä murtunut osuus.

#### 6.5 Reuna-alueen muutos valssauksen jälkeen

Reuna-alueen muutokset olivat juuri sellaisia, mitä reunaleikkaus antoi ymmärtää. Hoitopuolella reunaleikkausjälki oli lähes täydellistä. Pientä purseen aiheuttamaa sahalaitaa näkyi muutamissa kohdissa murtuneen osuuden reunassa (kuva 31). Näin pieni purse voi tasoittua hehkutuksessa eikä aiheuta ongelmia jatkojalostuksessa. Kelan 234160 kyljessä ei näkynyt enää reunaleikkauksen jälkeisiä hankaumia. Käyttöpuolelkin reuna oli reunaleikkauksen tapaan vähän hoitopuolta huonompi. Silmämääräisesti molemmat reunat olivat samanlaisia mutta mikroskooppikuvista huomaa, että jälki on vähän hoitopuolta huonompaa. Kuvista näkee, kuinka epätasainen leikkausvyöhyke muuttuu kyseisellä laadulla kylmävalssauksen jälkeen (kuva 32). Samalla suoraan kyljistä otetuista kuvista näkyy, kuinka pursesta on syntynyt enemmän nauhan murtuneen osuuden reunaan. Tämä näkyy pieninä hopeisina viivoina murtuneen vyöhykkeen reunassa (kuva 33). Molemmilla puolilla ilmeni satunnaisia, isomman purseen valssauksen aiheuttamia ulkonemia mutta eivät olleet hälyttävän suuria. Käyttöpuolella näitä oli useampia hoitopuoleen verrattuna. Suoraan teräskelan kyljistä otetuista kuvista tämän näkee tummana kohtana murtuneenvyöhykkeen reunassa (kuva 32). Vinosti nauhan reunaan kohden otetuista kuvista näkyy myös, että pursesta syntyi vähän enemmän reunaleikkauksessa käyttöpuolelle (kuva 33). Määrä ei kuitenkaan ole vielä hälyttävä,

vaikka kyseiselle laadulle ei voimakas purse ole täysin ominaista laadun kovuuden takia. Asiakkaalla ei ole syytä moittia kelojen reunaleikkausta.



Kuva 27 Peittauksen hoitopuolen reuna silmämääräisesti katsottuna



Kuva 28 Peittauksen käyttöpuolen reuna silmämääräisesti katsottuna



Kuva 29 Peittauksen hoitopuolen reunaleikkausjäljen muutos



Kuva 30 Peittauksen hoitopuolen reunan sahalaita



Kuva 31 Peittauksen käyttöpuolen reunaleikkausjäljen muutos



Kuva 32 Peittauksen käyttöpuolen sahalaita



## 6.6 Päätelmät

Kyseisten booriteräskelojen reunaleikkaus onnistui hyvin eikä reuna-alueesta tullut merkittävän sahalaitainen kylmävalssauksen jälkeen. Toisaalta kyseinen laatu on niin kovaa, että leikkaustapahtumassa tapahtuvaa liukumista ei helposti synny. Kuitenkin pieni määrä sahalaitaista reunaa syntyi. Käyttöpuolella jälki oli hoitopuolta huonompaa. Yksi tekijä tähän on käyttöpuolten terien isommat ajomäärät. Varsinkin käyttöpuolen alaterän on oltava kulunut 200km ajon jälkeen. Tämä selittää osittain myös sen, miksi käyttöpuolen reunaleikkausjäljessä leikkaantuneen vyöhykkeen voimakkuus ja suuruus oli niinkin epätasaista teräskelan kierroksien välillä. Tämä siksi, että kuluneempi alaterä ei jaksanut tunkeutua yhtä tasaisesti teräkseen. Lisäksi kulunut alaterä mahdollistaa suuremman taittumisen ja liukumisen leikkaustapahtumassa. Tämä on yksi syy, miksi käyttöpuolella syntyi suurempi purse, sekä epätasaisempi murtuminen. Tämä selittäisi myös kylmävalssauksen jälkeen näkyvät, paikoittaiset ja voimakkaammat purseen valssautumiset, joita käyttöpuolella oli enemmän. Epätasaisen leikkaantuneen vyöhykkeen toinen tekijä on huono teräksen tukeminen. Huonon tukemisen takia teräsnauha pääsee tärisemään ja liikkumaan leikkauksessa. Tämä tekee koko leikkausjäljestä epätasaisen. Kuten aikaisemmin mainittu, alatukirenkaat ovat tällä hetkellä lähes aina isompia, kuin itse terät. Tämä tekee sen, että teräs kulkee hieman terien kidan yläpuolella ja näin ollen taittuu yhä enemmän alaspäin leikkauksessa. Tämä lisää suunnattomasti ylimääräisen purseen syntyemisriskin määrää varsinkin pehmeillä nauhoilla. Aikaisemmin, kappaleessa 4.5.4 mainittu tukirenkaiden eron takia ylätukirengas ei tue kunnolla kyseisen paksuuden teräsnauhoja. Näin ollen, kun teräsnauha kulkee alatukirenkaiden päällä ja ylätukirengas ei osallistu tukemiseen ollenkaan, leikkauksen tukeminen on olematonta. Näin ollen teräs on päässyt tärisemään ja liikkumaan ennen terien kintaan menemistä, leikkauksen aikana sekä leikkauksen jälkeen. Kuumavalssauksessa aiheutuvat virheet korostavat myös huonon tukemisen aiheuttamaa huonoa leikkausjälkeä. Reunavenymää kelassa 234160 kuitenkin oli. Tämä on todennäköisin syy kelan 234160 hoitopuolen hankaumien synnyille yhdistettynä huonon teräksen tukemisen kanssa. Kovuusvaihteluitakin teräsnauhassa on voinut olla ja kyseiselle laadulle ne ovat lähes ominaisia. Tämä voi myös olla tekijänä käyttöpuolen epätasaisen jälkeen sekä hoitopuolen hankaumiin. Kuitenkin kylmävalssauksen prosessipiirroissa kovuusvaihtelua ei teräskelassa havaita. Teräasetukset näyttäisivät kyseiselle laadulle olevan suhteellisen hyvät, sillä leikkausjälki oli kuitenkin suuremmilta osin tasainen vyöhykkeiden osalta.

## 7 IF TERÄKSEN REUNALEIKKAUSKATSELMUS

### 7.1 IF- teräkset

IF-teräs on hyvin muovattava teräslaatu. IF-teräksen nimi tulee englanninkielen sanoista ”Interstitial Free”. Tämä tarkoittaa suomeksi välisijavapaata. IF-teräs sisältää siis vain vähän välisija-atomeja, hiiltä ja typpeä. Nämä välisija-atomit lisäävät teräksen karkenevuutta ja lujuutta. Teräksessä on seostettu titaania ja niobiumia sitomaan vähäisenkin määrä hiiltä ja typpeä. IF-teräs on erittäin sitkeää, muovattavaa ja pehmeää. IF-teräs soveltuu hyvin kohteisiin, joissa on jyrkkiä taitoksia, koska muokkauksessa levyyn ei muodostu pintakuvioita, jotka näkyvät lopputuotteessa. Tyypillisesti IF-teräksen seosaineita ovat hiili, pii, mangaani, fosfori, rikki, typpi, alumiini, kupari, kromi, nikkeli, typpi, boori, niobiumi ja titaani. IF-teräksien kanssa on ollut suuria ongelmia reunaleikkauksen kanssa ja erityisesti ylimääräisen purseen aiheuttamat sahalaitaiset reunat on ollut yleisin laadullinen virhe. IF-teräs on pehmeää mutta samalla sitkeää, mikä tekee laadullisesta leikkauksesta vaikeata. Terien leikkaavien särmien on oltava erittäin teräviä, terine vaakavälysten on oltava tarpeeksi pieniä ja tukirenkaiden on hyvin tuettava leikkausta, jotta teräs ei pääsisi liukumaan leikkauksen aikana eikä pursesta syntyisi suuria määriä. Kylmävalssauksessa IF-teräksillä on tavallista suuremmat reduktiot kuin matalahiilisillä teräksillä ja näin ollen reuna-alue muuttuu oleellisesti kylmävalssauksen jälkeen. Samalla mahdollinen purse leviää voimakkaasti ja epätasaisesti teräsnauhan reunoille aiheuttaen sahalaitaisen reunan. (Kettunen, Tommi 2015, 9)

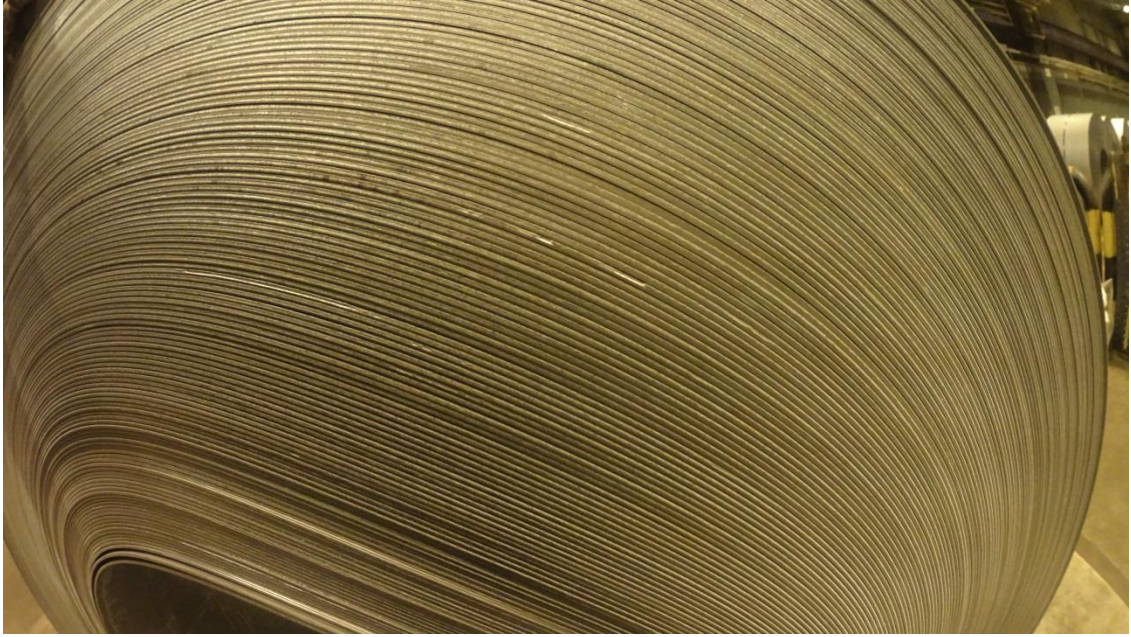
### 7.2 Leikkauksen parametrit

Kyseisen IF-teräksen raaka-ainelaatu oli 1601. Tekniseltä nimeltään teräslaatu oli MC-F-53-TSP-Z. Käytännössä kyseinen teräslaatu on pehmein IF-teräs eli koko tehtaan tuotevalikoiman pehmeimpiä materiaaleja. Kyseisellä tilauksella oli kaksi kuumanauhakelaa, kelat 87174010 sekä kela 12617011. Peittäuslinjan jälkeen teräskelojen kylmäkelanumeroksi tulivat 198450 sekä 198460. Molempien kuumanauhojen paksuus oli 2,80mm, pituudet olivat 767m ja 503m sekä leveydet olivat 1264mm sekä 1266mm. Käyttöpuolella oli käytössä teräpää 2 toimittajan Y terillä, joilla oli ajettu 187km. Hoitopuolella käytössä oli teräpää 3 toimittajan X terillä, joilla oli ajettu 138km. Molempien terien ajokilometrit olivat siis noin puolessavälissä maksimikilometrimäärästä, joka Hä-

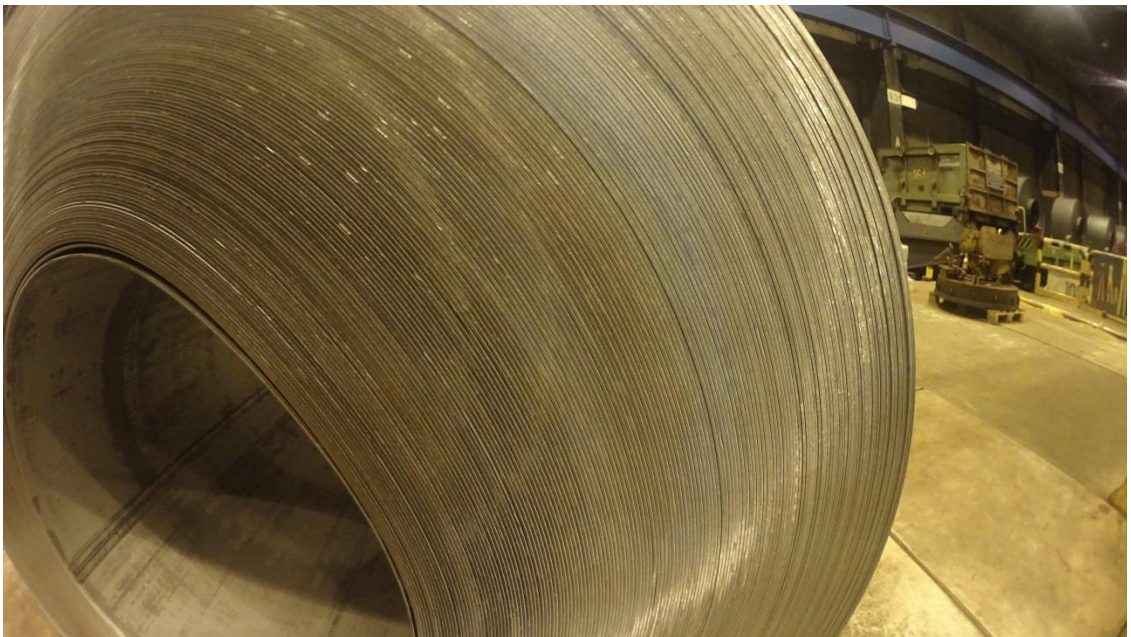
meenlinnan tehtaalla on 300km. Terien vaakavälykset olivat 0,28mm ja pystyvälykset olivat 0,7mm. Teräpään 3 pystyvälykset jälleen vaihteli 0,5mm ja 0,7mm välillä, kuten booriteräksienkin kohdalla. Kyseessä on siis sama sähköinen vika. Molempien terien halkaisijat olivat 390.5mm.

### 7.3 Reunaleikkausjälki

IF-teräkset ovat pehmeytensä vuoksi todella vaikeita leikata laadukkaasti, ilman ylimääräisen purseen syntymistä. Kelojen reunaleikkauksen laatu oli kohtuullista ottaen huomioon, että kyseinen laadun aiheuttamat vaikeudet leikkauksessa. Silmämääräisesti katsoen kelojen reunoissa on pieniä lohkeamia, missä murtunut vyöhyke ei ole murtunut leikkaussärmän kohdalta vaan syvemmältä. Mikroskooppikuvista huomaa, että leikkaantunut osuus on molempien kelojen reunoilla suhteellisen suuri, noin kaksi kolmasosaa, ja murtunut osuus on vain noin yhden kolmasosan. Molemmissa keloissa hoitopuolen leikkausjälki on kuitenkin tasaisempaa, sekä leikkaantunut osuus ei ole aivan niin suuri, kuin käyttöpuolen leikkausjäljessä. Kummassakin kelassa purseen määrä oli kuitenkin normaaliin määrän nähden suurempi. Kuvasta 25 nähdään, että teräs on päässyt liukumaan leikkauksessa erityisen paljon ennen sen murtumista. Murtunut kohta on lohkeamiskohtia lukuun ottamatta selvästi ulompana verrattuna, mistä leikkaava särmä on aloittanut murtumisen. Tämä on suurin syy ylimääräisen purseen synnylle. IF-teräslaadulle on ominaista, että pursetta syntyy samoilla leikkausarvoilla enemmän verrattuna muille pehmeille materiaaleille. Kuitenkin purseen määrä oli sen verran suuri, että se tulee varmasti näkymään valssauksen jälkeen sahalaitaisena reunana. Kohtisuoraa leikkausjälkeen nähden otetuista mikroskooppikuvista purseen näkee murtuneenosuuden puoleisen reunan epätasaisuudesta (kuva 40). Pystysuoraan otetuista kuvista näkee myös purseen määrän sekä murtumiskohdan liukumisen ennen todellista murtumista (kuva 41). Molempien kelojen reunaleikkausjäljet olivat samanlaisia kummaltakin puolelta.



Kuva 33 Hoitopuolen reunaleikkauSJäljen silmämääräinen tarkastus



Kuva 34 Käyttöpuolen reunaleikkauksen silmämääräinen tarkastus



Kuva 35 Hoitopuolen reunaleikkaus



Kuva 36 Esimerkkikuva lohkeamasta



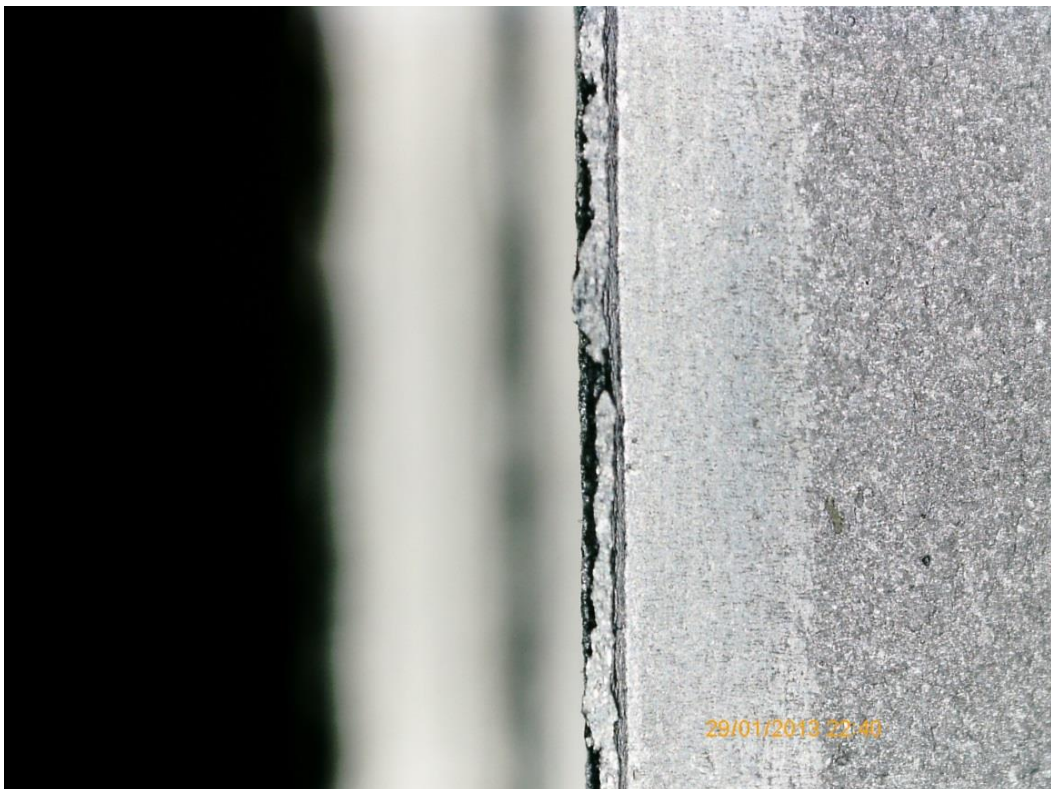
Kuva 37 Hoitopuolen leikkauksessa tapahtunut teräksen liukuminen



Kuva 38 Hoitopuolen leikkausjäljen purse



Kuva 39 Käyttöpuolen reunaleikkausjälki



Kuva 40 Käyttöpuolen leikkauksessa tapahtunut teräksen liukuminen



Kuva 41 Käyttöpuolen purse

#### 7.4 Kylmävalssauksen parametrit

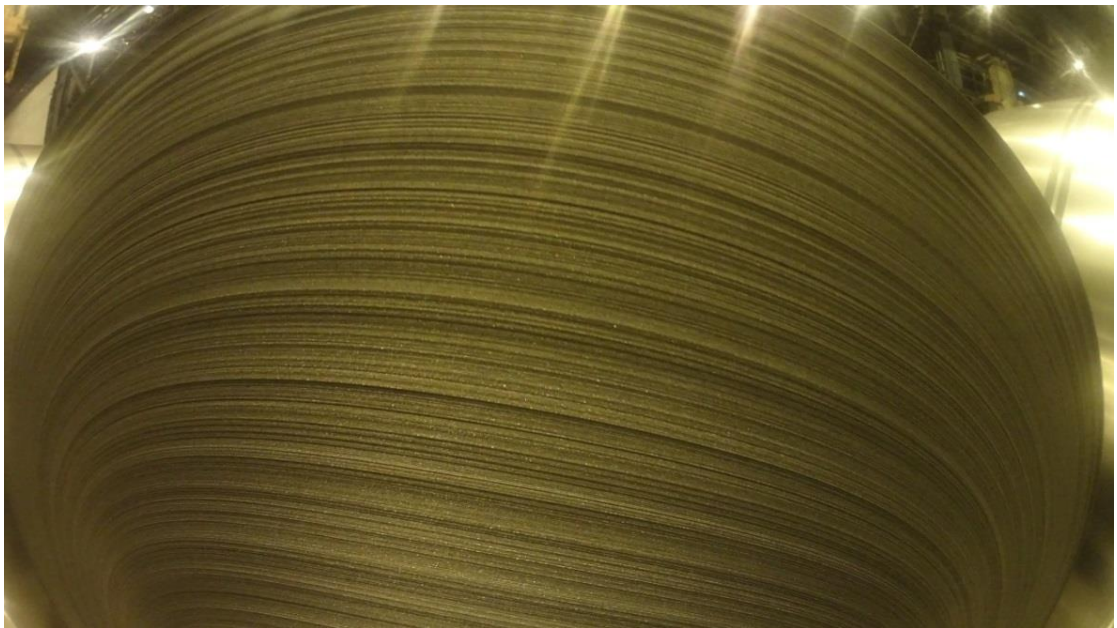
Työvalsseilla oli ajettu 2800 tonnia kyseisten kelojen tullessa valssaukseen. Teräskelat olivat siis kiilan loppupäässä, koska Hämeenlinnan tehtaan kiila on 3500 tonnia, jonka jälkeen valssit vaihdetaan. Molempien teräskelojen reduktiot olivat 80,4 %. Alkupaksuus teräsnauhoilla oli 2,80mm ja nämä valssattiin 0,55mm loppupaksuuteen, loppupituudet olivat 3938m sekä 2562m. Tämä tarkoittaa siis erittäin kovaa valssausvoimaa, joka aiheuttaa suurta teräksen muokkausta. Näin iso valssausvoiman ja reduktion yhteisvaikutus murtaa molemmat leikatut reunat sekä valssaa pienimmänkin purseen sahalaidaksi teräsnauhan reunoille. Näin suuri reduktio todennäköisesti poistaa hoitopuolella olleet lohkeamat tasoittamalla reuna-alueet.

#### 7.5 Reuna-alueen muutos valssauksen jälkeen

Molemmilla keloilla sahalaitaa ilmeni sekä hoito-, että käyttöpuolella. Sahalaidan näkee heti silmämääräisesti, sillä voimakkaasti sahalaitaisten kelojen reunat kimaltelevat va-



lossa epätasaisten kohtien heijastuksien takia. Kyseisten kelojen reunat eivät niin voimakkaasti heijastaneet mutta siitä näki, että sahalaitaa oli syntynyt. Kuitenkin molemmissa keloissa käyttöpuolella ilmeni voimakkaampaa sahalaitaa. Kohtisuoraa reunaleikkausjälkeä otetuissa mikroskooppikuvissa tämän näkee siitä, että käyttöpuolen kuvissa näkyy enemmän ja voimakkaampia tummia aaltomaisia kuvioita (kuva 46). Nämä kuviot ovat käytännössä pursetta, mikä on valssautunut epätasaisesti reunalle synnyttäen sahalaidan. Kuvasta 49 nähdään, miltä purseen aiheuttama sahalaita näyttää käytännössä. Sahalaitaa ilmenee vain nauhan murtuneella puolella, mihin purse on syntynytkin mutta tämän sahalaidan alla reuna on tasainen. Pystysuorassa otetuissa kuvissa sahalaidan, sekä hoitopuolen ja käyttöpuolen reunaleikkauksen erot näkevät selvästi. Reunaleikkauksen jälkeisiä lohkeamia ei enää ole teräskelojen kyljissä, sillä reduktion aikaansaama paksuuden pieneneminen ja pituuden kasvu ovat tasoittaneet reunat niiltä osin.



Kuva 42 Peittauksen käyttöpuolen reuna silmämääräisesti katsottuna



Kuva 43 Peittauksen hoitopuolen reuna silmämääräisesti katsottuna



Kuva 44 Peittauksen hoitopuolen reuna kylmävalssauksen jälkeen



Kuva 45 Peittauksen käyttöpuolen reuna kylmävalssauksen jälkeen



Kuva 46 Peittauksen hoitopuoleisen reunan sahalaita



Kuva 47 Peittauksen käyttöpuoleisen reunan sahalaita



Kuva 48 Purseen aiheuttama sahalaitainen reuna

## 7.6 Päätelmät

IF-kelojen reunaleikkaus oli suhteellisen hyvä ottaen huomioon, että kyseinen laatu on yksi vaikeimmista laaduista leikata laadukkaasti ilman erityisen suurta purseen syntymistä. Käyttöpuolen osalta leikkaus oli hieman hoitopuolea huonompi mutta suhteellisen vähän. Keloihin syntynyt sahalaita näkyi myös sinkityksen jälkeen. Kyseinen ero reunaleikkauksen laadussa ei tapahdu kylmävalssauksessa, sillä kylmävalssaus vain korostaa leikkaustapahtumassa tapahtuvia laadullisia virheitä. Virhe on tapahtunut itse reunaleikkauksessa. Voimakkain tekijä purseen syntymiselle on kulunut leikkausterä. Kummallakin terällä oli ajettu yli 130km, joten leikkaava särmä ei enää ole terävä. Tämä pieni hoitopuolen ja käyttöpuolen ero voi johtua terien erilaisesta kulumisesta. Käyttöpuolen toimittajan Y terä oli kuluneempi ja tylsempi, mitä toimittajan X terät. Käyttöpuolen toimittajan Y terillä oli ajettu noin 50 kilometriä enemmän, kuin hoitopuolen toimittajan X terillä. Tämä ajomäärien ero voi olla myös tekijä sille, miksi käyttöpuolelle oli syntynyt enemmän lohkeamia. Varsinkin erittäin pehmeät teräsmateriaalit kuluttavat teriä aivan erilaisilla, kuin aikaisemmin ja näin ollen Hämeenlinnan tehtaan vanha 300 kilometrin ajorajoitus leikkausterille on liian suuri haluttaessa leikata pehmeitä teräsmateriaaleja laadukkaasti. Esimerkiksi Ruotsin tehtaissa ajorajoitus reunaleikkausterille on 100km, mikä on mielestäni erittäin optimaalinen. Näin varmistetaan, että terät eivät kulu eivätkä tylsisty liikaa ennen terien vaihtoa ja varmistetaan leikkausjäljen laatu. Toki tällä menetelmällä teriä huolletaan useampaan otteeseen ja terien käyttöikä lyhenee mutta se maksaa itsensä takaisin laadun parantumisella. Ylimääräinen purse sekä leikkauksessa syntyneet lohkeamat ovat voineet johtua myös leikattavan teräsnauhan epätasaisesta laadusta. Teräsnahassa ilmeni paikallisia reunavenymiä kummallakin reunalla sekä kovuudenvaihteluita. Näitä kovuuden vaihteluita tai muita rakenteellisia virheitä on voinut olla käyttöpuolella enemmän ja voimakkaampia kuin hoitopuolella. Tämä kovuusvaihtelu kuluttaa enemmän teriä ja huonontaa reunaleikkauksen laatua. Toinen tekijä on märkämöntusta syntyneet taitteet. Märkämönttu toimii nauhavarajaajana, mihin nauha kulkeutuu hitsauksen jälkeen odottamaan peittausta. Teränauhat tekevät tasaisia kierroksia märkämöntussa ja päällimmäiset kierrokset painavat alempia kierroksia kasaan synnyttäen taitteen kierrosten päihin. Näissä taitteissa teräsrakenne on vähän muuttunut muokkautumisen takia, sekä niissä kohdissa teräs ei ole aivan suora. Taitteissa ilmenee siis kovuusvaihtelu sekä epätasaisuus. Taitekohdissa leikkauskulma voi muuttua ja myös näin vaikuttaa leikkausjälkeen. Yksi mahdollinen syy lohkeamille sekä ylimääräisen purseen syntymiselle on myös liian vähäinen teräsnauhan

tukeminen leikkauksen aikana, koska kyseisellä paksuudella tukirenkaiden väli on liian suuri. Käytännössä tämä tarkoittaa, että ylätukirengas ei osu leikattavaan teräsnauhaan ja näin ollen ei tue leikkaustapahtumaa. Tällöin on mahdollista, että teräsnauha on pääsyt liikkumaan tai tärisemään leikkauksessa ja näin ollen murtunut syvemmältä mistä terät ovat leikanneet. Toiseksi, alatukirenkaat ovat tässäkin tapauksessa olleet isompia, mitä terien halkaisijat. Tämä tekee sen, että teräs kulkee hieman terien kidan yläpuolella ja näin ollen taittuu yhä enemmän leikkauksessa. Tämä lisää suunnattomasti ylimääräisen purseen syntymisriskin määrää varsinkin pehmeillä nauhoilla. Tähän voi yhdistyä se, että hyvän leikkausjäljen saamiseksi toimittajan Y terät tarvitsevat enemmän leikattavan teräsnauhan tukemista leikkauksessa, kuin toimittajan X terät ja siksi lohkeamia on syntynyt enemmän käyttöpuolella. Terien materiaalierotkin voivat olla syynä tähän laadulliseen eroon. Toimittajan Y terät ovat vähän kovempia kuin toimittajan X terät, minkä takia ne kestävät vähemmän leikkauksessa tapahtuvaa isku- maista rasitusta ja suuremman kovuutensa takia murtuvat helpommin juuri tämän rasituksen takia. Samalla myös terän kulumisen voimistuu. Toisin sanoen terään on voinut myös syntyä pieniä vaurioita, joita tällä hetkellä reunaleikkaaja ei pysty havaitsemaan. Terien huolto oli ilmeisesti tehty hyvin, koska kummallakin terällä oli ajettu jo päälle 130 kilometriä ilman suurempia teräriikkoja, joten syy ei todennäköisesti ole huonossa huollossa. Leikkaantunut osuus oli suhteellisen suuri kummallakin puolella vaikkakin hoitopuolella se oli parempi. Tämä todennäköisesti johtuu teräasetuksista. Nykyiset terävälkykset eivät ota huomioon ollenkaan leikattavan teräsmateriaalin ominaisuuksia kuten kovuutta ja sitkeyttä vaan pelkästään paksuus ratkaisee välyksien arvon. Reunaleikkaaja voi ainoastaan valita onko teräsmateriaali kovaa vai pehmeää, joidenka välyasetusten ero ei hirveästi muutu. Uuden hitsauskoneen myötä tulevaisuudessa on kuitenkin tarkoitus uusia välystaulukot ja ottaa niihin mukaan tämä leikattavan teräksen kovuus. Terien materiaali sekä niiden valmistaja vaikuttavat myös osittain terävälkyksiin. Jokaisella terävalmistajalla on laskettu omat optimaaliset välykset heidän terilleen tiettyjä materiaaleja leikatessa. Toki nämä materiaalit voivat erota suuresti asiakkaan leikkaamista laadusta mutta niistä saadaan vertailuja sekä apua asetettaessa tehtaan omille teräsmateriaaleille oikeita välyksiä. Hämeenlinnan tehtaalla molemmilla terillä käytetään kuitenkin samoja välyksiä molemmilla puolilla, vaikka terien kovuudetkin eroavat toisistaan. Näyttää siltä, että hoitopuolen toimittajan X terille vaakavällys on ehkä vähän liian kyseiselle pieni mutta lähes optimaalinen mutta käyttöpuolen toimittajan Y terille vaakavällys on todennäköisesti ollut liian pieni. Leikkausterien sorvauksessa teriin on kuitenkin voinut syntyä paksuuden vaihteluita, jotka muuttavat terävälkyksiä

paksuusvaihtelun voimakkuuden verran. Käyttöpuolen terien ulkoreunan halkaisija voi olla sisähalkaisijaa paksumpi, jonka takia vaakavälitys on oikeasti automaattiasetuksia pienempi. Hoitopuolen ja käyttöpuolen reunaleikkausjälki kuvista nähdään, että murtuneen kohdan reuna näyttää hieman repeytyneeltä. Murtunut reuna on leikkauksessa alapuolella, mikä murtuu viimeisenä ja mistä reunaromu irtoaa teräsnauhasta. Kuten aikaisemmin sanottu, Hämeenlinnan tehtaalla ei ole reunaromun tukirengasta joten reunaromun irtoamista ei hallita mitenkään. Reunaromu on ennen murtumista voinut repiä murtunutta vyöhykettä tipahtaessaan hakkurille. Tämä voi olla syy repeytyneeseen ja todella epätasaiseen murtuneeseen vyöhykkeeseen. Tämä yhdistettynä mahdollisiin leveyden alituksiin ja liian pieneen pystyvälkykseen voi olla myös mahdollinen tekijä lohkeamien syntymiselle. Reunaromu ei kuitenkaan jäänyt teräsnauhaan kiinni kyseisillä keloilla, joten pystyvälkykset eivät ole täysin liian pienet. Ylimääräisen purseen sekä lovien syntymiseen voi siis olla monta erilaista tekijää joko yksinään tai kaikki tekijät voivat olla osallisena kyseisessä laadullisessa erossa hoitopuolen ja käyttöpuolen välillä. Lähitulevaisuudessa on kuitenkin tarkoitus siirtyä pelkästään toimittaja X terien käyttöön sekä hoito- että käyttöpuolella. Toinen laadullinen parannus lähitulevaisuudessa on peittäuslinjan alkupään projektin valmistuminen. Tämä todennäköisesti antaa lisätietoa laadullisten erojen syntyperästä ja käytössä olevien terien eroavaisuuksista leikkausjälkeen.

## 8 DP TERÄKSEN REUNALEIKKAUSKATSELMUS

### 8.1 DP teräokset

DP-teräksien nimi tulee englannin kielen sanoista Dual Phase. Tämä tarkoittaa suomeksi kaksifaasiterästä. Kaksifaasiteräokset koostuvat pehmeästä ferriitistä ja kovasta martensiitista. Martensiitin tilavuus osuus määrittää teräksen lujuuden. Mitä suurempi tilavuusosuus martensiitilla on teräksessä, sitä kovempaa teräs on. Lujuudesta riippuen martensiitin tilavuusosuus vaihtelee 20 – 70 % eri kovuisten DP-terästen välillä. Teräksen sekarakenteessa on noin 80 – 90 % ferriittiä ja 10 – 20 % martensiittia saarekkeina. Kaksifaasiteräksen seosaineet ovat hiili, pii, mangaani, fosfori, rikki, alumiini, vanadiini, kromi, typpi, molybdeeni, kalsium, boori titaani sekä niobiumi. Esimerkiksi, eräs kaksifaasiteräs sisältää hiiltä, piitä, mangaania, fosforia, rikkiä, alumiinia sekä titaanin ja niobin sekoitusta. Kaksifaasiteräksille on ominaista suuri murtovenymä ja muokkauslujittuminen, joidenka ansiosta teräksen murtolujuus on vastaavan myötölujuuden omaaviin perinteisiin teräksiin nähden huomattavasti korkeampi. Toisin sanoen kyseisille teräksille on ominaista suuri mekaaninen lujuus ja hyvä muovattavuus. Kaksifaasiteräksillä on HSLA-teräksiin verrattuna suurempi muokkauslujittumiskyky, suurempi tasavenymä ja murtovenymä, korkeampi murtolujuus ja pienempi myötö- ja murtolujuuden suhde. Kaksifaasiteräksiä käytetään paljon autoteollisuudessa. Kaksifaasiteräksiä käytetään esimerkiksi auton runko- ja poikkipalkeissa sekä auton turvaosissa. Hämeenlinnan tehtaalla valmistetaan monia erilaisia kaksifaasiteräslaatuja, jotta asiakas saisi juuri haluamansa tuotteen. Kaksifaasiterästen reunaleikkauksessa ei ole ollut isompia ongelmia Hämeenlinnan tehtaalla. Reduktiokin on noin 45 % minkä vuoksi reuna-alue ei hirveästi muutu kylmävalssauksen jälkeen. (Noppa, University of Oulu 2011; SSAB Docol)

### 8.2 Leikkauksen parametrit

Tekniseltä nimeltään tutkittu laatu oli MC-DPX-1000/800. DPX osa nimessä kertoo, että kyseessä on korkeamman myötölujuuden omistama DP teräs. Tämä prosessoidaan sinkitykseen asti aivan samalla lailla, kuin normaalikin DP teräs. Sinkityksen jälkeen DPX teräokset menevät matalahehkutukseen, jossa terästä hehkutetaan matalassa lämpötilassa. Tämä nostaa teräksen myötölujuutta ja näin ollen teräksen muovattavuut-



ta. Kyseiset kuumakelat olivat Raahen tehtaalla saaneet kuumakelanumeroiksi 12844031 sekä 12844051 ja peittäusprosessin jälkeen kelojen kylmäkelanumerot olivat 214410 sekä 214390. Molempien kuumakelojen paksuus oli 2,20mm, leveys oli 1194mm ja pituudet olivat 945m sekä 934m. Lisäksi teräkeloilla oli erilaisia prosessointirajoituksia. Teräslaatu on niin kovaa, että alkupään hitsauskone ei pysty laadukkaasti hitsaamaan samaa teräslaataa peräkkäin. Hitsausaumasta tulee niin heikko, että se katkeaa prosessoinnissa ja aiheuttaa monien tuntien tuotantopysähdysten. Näin ollen jokaisen DP teräksien välissä on oltava pehmeä teräs. Lisäksi jokaisen sauman, joka sisältää DP terästä, kestävyys on testattava. Seuraava rajoitus liittyy itse prosessointiin. Märkämonttuun ei saa ajaa terästä tiettyä määrää enempää, muuten teräkseen syntyy liikaa taitteita, jotka huonontavat teräksen laatua sekä aiheuttaa suuremman vaaran hitsausaumien katkeamiselle. Viimeiseksi peittauksen prosessointinopeuden maksimi arvo on määritetty. Jos teräskela prosessoidaan suuremmalla ajonopeudella, teräsnauha alipeittautuu, eli teräsnauha ei puhdistu kunnolla. Lisäksi se aiheuttaa voimakkaita taitteita teräsnauhaan ja hitsausauma joutuisi kovemmalle rasitukselle. Ajo-vaatimuksella myös pienentää reunaleikkauksen nopeutta ja näin saadaan myös reunaleikkauksijäljen laatua paremmaksi. Tämä pienentää myös terien murtumisen riskiä. Booriterästen prosessointirajoitusten mukaisesti tämäkin ajonopeusrajoitus kuuluu kuitenkin vain peittäusosuuteen, eikä reunaleikkaukseen. Tämä siis ei poista teräskelan keulan kiihdytystä reunaleikkauksessa, joten aivan keulan reunaleikkauksen laatuun ajonopeusrajoituksella ei ole vaikutusta. Peittäuslinjan hoitopuolella oli käytössä teräpäätä 4, jossa oli toimittajan X terät ja käyttöpuolella käytössä oli teräpäätä 2, jossa oli toimittajan Y terät. Hoitopuolen molemmilla terillä oli ajettu 48km ja käyttöpuolen molemmilla terillä oli ajettu 117km. Terien pystyvälit olivat 0,8mm ja vaakavälit olivat 0,24mm molemmilla puolilla. Toimittaja X terien halkaisija oli 390,5mm ja käyttöpuolen toimittaja Y terien halkaisija oli 390,0mm. Molemmat terät ovat siis suhteellisen tuoreet ja terillä on ajettu lähes pelkästään kovempaa teräsmateriaalia, mikä kuluttaa teriä vähemmän, kuin pehmeä teräsmateriaali.

### 8.3 Reunaleikkauksijälki

Molempien teräskelojen reunaleikkaus onnistui erittäin hyvin. Kummallakin puolella reuna oli tasainen, eikä lohkeamia ollut ollenkaan. Myös purseen määrä oli molemmilla puolilla lähes optimaalinen. Tästä syystä kylmävalssauksen jälkeen suurta sahalaitaa ei teräskelojen kyljissä tule olemaan. Varsinkin, kun reduktio on kyseisellä laadulla to-

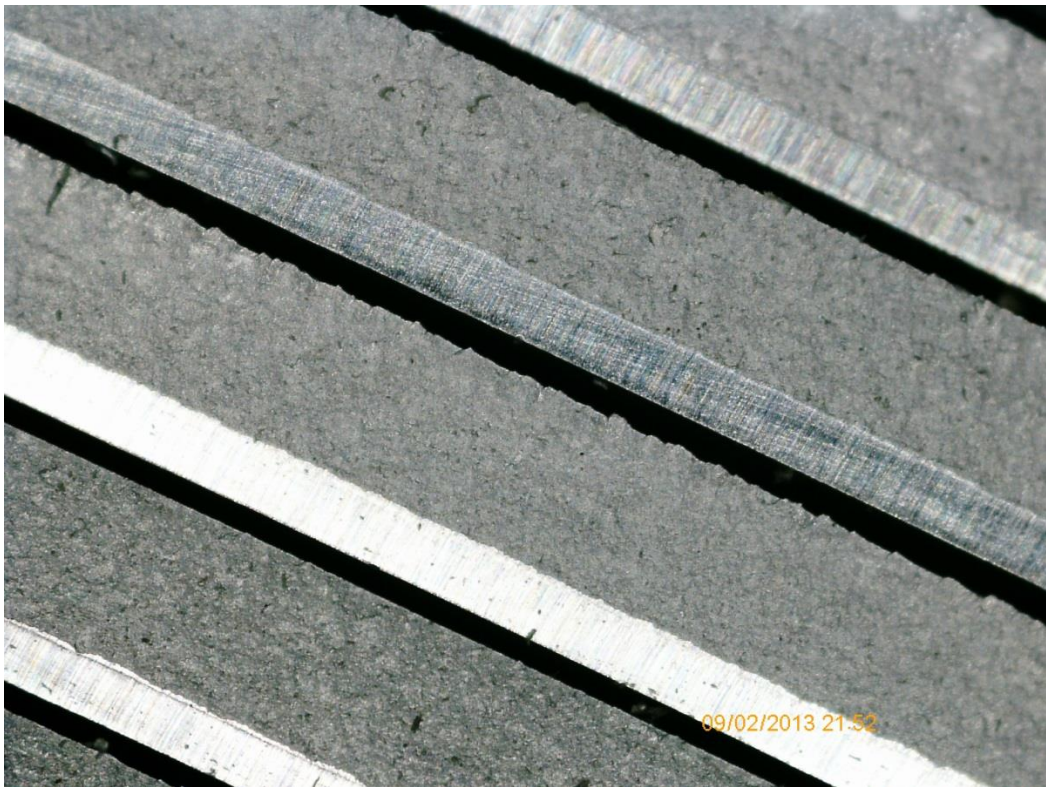
della pieni, joten reuna-alueen muutos ei ole niin radikaali. Mikroskooppi kuvista huomaa kuitenkin, että kummallakin puolella murtuneen kohdan epätasaisuus vaihtelee suhteellisen paljon kierrosten välissä. Toisella kierroksella murtunut kohta on erittäin tasainen ja toisella taas erittäin sahalaitainen. Suoraan teräskelan kyljestä otetuissa mikroskooppikuvista näkee myös tämän epätasaisen murtumisen jopa kierroksen aikana (kuva 52). Toisella puolella kierrosta murtuminen on tasainen ja toisella puolella samaa kierrosta murtuneen osuuden reuna on taas epätasainen. Tämä murtumisen epätasaisuuden määrä oli lähes samanlaista niin hoito- että käyttöpuolella. Käyttöpuolella epätasaisista murtumista oli tapahtunut useammin, kuin hoitopuolelle. Epätasaisuus oli kuitenkin heikkoa, joten se ei tuo ongelmia jatkojalostuksessa. Mikroskooppikuvista näkee, että teräs on sen verran lujaa, etteivät terät pysty tunkeutumaan niin syväälle teräsnauhaan ja näin ollen leikkaantunut vyöhyke jää suhteellisen pieneksi. Teräasetuksia ja leikkauskulmaa säätämällä terien tunkeumaa saataisiin kasvatettua ja näin ollen saataisiin optimaalinen leikkaantunut vyöhyke mutta leikkausjälki on näilläkin asetuksilla todella hyvä. Tummat pisteet kelojen kyljissä johtuvat kelan öljyamisestä. Molempien teräsnauhojen reunaleikkaukset olivat täysin identtisiä kummallakin teräskelalla.



Kuva 49 Hoitopuolen reunaleikkauksen silmämääräinen tarkastus



Kuva 50 Käyttöpuolen reunaleikkauksen silmämääräinen tarkastus



Kuva 51 Hoitopuolen reunaleikkauksen vaakasuora mikroskooppikuva



Kuva 52 Hoitopuolen epätasainen murtuminen, purse



Kuva 53 Hoitopuolen tasainen murtuminen



Kuva 54 Käyttöpuolen reunaleikkausjälki



Kuva 55 Käyttöpuolen epätasainen murtuminen, purse



Kuva 56 Käyttöpuolen tasainen murtuminen

#### 8.4 Kylmävalssauksen parametrit

Työvalsseilla oli ajettu noin 2400 tonnia, ennen kuin kyseiset teräskelat tulivat kylmävalssaukseen. Hämeenlinnan tehtaan kylmävalssauksen kiila on noin 3500 tonnia, minkä jälkeen työvalssit vaihdetaan uusiin. Työvalsseilla oli ajettu siis noin kaksi kolmasosaa ennen kuin kiila loppui ja työvalssit vaihdettiin. Kyseisten teräsnauhojen alkupaksuus oli 2,20mm ja nämä valssattiin 1,21mm paksuuteen. Pituudet olivat valssauksen jälkeen 1692m sekä 1726m. Reduktio ei siis ollut suuri kyseisillä teräsnauhoilla, vain 45 %. Tämä ei siis murra reunaleikkausjälkeä kunnolla vaan vieläkin pystytään erottamaan murtunut vyöhyke sekä leikkaantunut vyöhyke toisistaan. ja vaikka leikkauksessa syntyisikin ylimääräistä pursetta, se ei valssautuisi niin voimakkaasti teräsnauhan reunoille. Toisin sanoen reunoille ei synny niin voimakasta sahalaitaa.

### 8.5 Reuna-alueen muutos valssauksen jälkeen

Molempien kelojen reuna-alueet olivat erittäin laadukkaita kylmävalssauksen jälkeen. Silmämääräisesti katsottuna teräskelojen kyljissä ei ollut mitään moittimisen sijaa. Mikroskooppikuvista nähdään, että pieni purseen valssautuminen on tapahtunut teräsnauhan reunaan mutta se on todella pientä. Valssautunutta purseetta ei ole kokomatkalta teräskelan kylkeä vaan teräskeloissa on myös useita täysin tasaisia kohtia. Kuten leikkauksen jälkeen pystyi toteamaan, että purseen määrä ei ollut suuri. Leikkaantunut vyöhyke on molemmilta puolilta vähän murtunut valssausvoiman ja reduktion takia mutta sekään ei vaikuta jatkojalostuksessa. Vinosti reunaa kohden otetuista mikroskooppikuvista näkee, että reunat ovat suurimmilta osin erittäin tasaisia (kuva 61). Kylmävalssauksen jälkeen teräksen reunoista kuitenkin huomaa myös sen, että teräskelan kierroksien välillä oli erilaisuutta murtuneen osuuden reunan epätasaisuudessa eli purseen määrässä. Jollakin kohtaa kierrosta pieni määrä purseetta oli valssautunut reunaan ja toisessa kohtaa samaa kierrosta teräksen reuna oli täysin tasainen (kuva 63). Molemmilla reunoilla oli suunnilleen sama määrä kyseistä vaihtelua reunan tasaisuudessa. Käyttöpuolella ilmeni hieman tiheämpää vaihtelua. Kyseinen määrä on pieni, kuten vinosti otetusta käyttöpuolen mikroskooppikuvasta nähdään ja tämä määrä ei tuota ongelmia jatkojalostuksessa (kuva 63).



Kuva 57 Peittauksen hoitopuolen reunan silmämääräinen tarkastus



Kuva 58 Peittauksen käyttöpuolen reunan silmämääräinen tarkastus



Kuva 59 Peittauksen hoitopuolen silmämääräinen tarkastus





Kuva 60 Peittauksen hoitopuolen purseen valssatuminen



Kuva 61 Peittauksen Käyttöpuolen reunan vaakasuora mikroskooppikuva



Kuva 62 Käyttöpuolen reunan mikroskooppikuva heikon purseen valssautumisesta

## 8.6 Päätelmät

Kyseisten kelojen reunaleikkaus onnistui hyvin eikä kylmävalssauksen jälkeen reuna-alueesta tullut epätasainen. Molempien reunojen reunaleikkauks jäljet olivat lähes identtiset vaikka toimittajan Y terillä olikin ajettu enemmän, kuin toimittajan X terillä. Tosin kovat teräslaadut kuluttavat teriä vähemmän ja näin ollen terät kestävät pidempään, jos terien leikkaavat särmät eivät murru tai lohkea ensimmäisten teräskelojen aikana. Niin hoitopuolen, kuin käyttöpuolenkin reunoissa oli vaihtelua murtuneenvyöhykkeen reunoissa. Tämä teräsnauhakierrosten välillä tapahtuva muutos murtuneen vyöhykkeen tasaisuudessa voi johtua teräksen kovuusvaihtelusta, jotka syntyvät teräksen valmistusprosessissa Raahan tehtaalla. Valmistusprosessissa on tosin sanoen voinut tapahtua niin, että kovuus ei ole jokaisessa kohtaa reunoilla avain sama vaan vaihtelee ja nämä vaihtelut voivat olla melko suuria. Kaksifaasiteräksen valmistus on sen verran monimutkainen prosessi, että siinä on suhteellisen suuri mahdollisuus tapahtua virheitä itse kuumanauhaan. Yleisimpiä virheitä ovat kovuusvaihteluiden lisäksi tasomaisuusvirheet sekä kaarevuus. Kyseiset kovuusvaihtelut ovat todella pahoja myös kylmävalssauksessa, jossa on vaarana teräsnauhakatko ja työvalssien rikkoutuminen. Tämä tuo

suuria rahallisia tappioita, koska tuotantotappiot ovat todella isot sekä joudutaan pahimmassa tapauksessa hankkimaan uudet työvälsit. Tämä voi aiheuttaa teräsnauhaan reunavenymää, mikä on erittäin ongelmallinen jatkojalostuksessa. Näin ollen tullessa reunaleikkaukseen yhtäkkinen kovempi kohta teräksessä tarraa leikkausteriin vaikuttaen leikkausjälkeen. Leikkaavaan särmään osuu yhtäkkinen suurempi voiman eikä terä pysty tunkeutumaan niin syväälle teräsnauhaa tiettyssä kohtaa. Lisäksi terät joutuvat paljon kovemmalle kulutukselle, kun teräksessä kovuus vaihtelee yhtäkkisesti useassa kohdassa ja näin ollen lisää lohkeaman synnyn todennäköisyyttä. Prosessipiirroista nähdään, että teräskeloissa on ollut sekä kovuusvaihteluita, sekä suhteellisen voimakasta tasomaisuusvirhettä. Teräsnauhoissa oli sekä reuna-, että keskivenymää. Toinen tekijä on märkämöntusta syntyneet taitteet. Teräsnauhat tekevät tasaisia kierroksia märkämöntussa ja päällimmäiset kierrokset painavat alempia kierroksia kasaan synnyttäen taitteen kierrosten päihin. Näissä taitteissa teräsrakenne on vähän muuttunut muokkautumisen takia, sekä niissä kohdissa teräs ei ole aivan suora. Taitteissa ilmenee siis kovuusvaihtelu sekä epätasaisuus. Taitekohdissa leikkauskulma voi muuttua ja näin vaikuttaa leikkausjälkeen. Kolmas tekijä on leikkauksen huono tukeminen. Kuten aikaisemmin mainittu, kyseistenkään teräskelojen kohdalla ylätukirengas ei ole edes osunut leikattavaan teräkseen ja näin tukeminen on täysin olematonta. Huonon tukemisen takia teräsnauha pääsee tärisemään ja liikkumaan leikkauksessa. Tämä mahdollistaa leikkausjäljen epätasaisuuden syntyminen. Kuten aikaisemmin mainittu, alatukirenkaat ovat tällä hetkellä lähes aina isompia, kuin itse terät. Tämä tekee sen, että teräs kulkee hieman terien kidan yläpuolella ja näin ollen taittuu yhä enemmän alaspäin leikkauksessa. Tämä lisää suunnattomasti ylimääräisen purseen syntymisriskin määrää varsinkin pehmeillä nauhoilla. Aikaisemmin, kappaleessa 4.5.4, mainittu tukirenkaiden halkaisija eron takia ylätukirengas ei tue kunnolla kyseisen paksuuden teräsnauhoja. Näin ollen, kun teräsnauha kulkee alatukirenkaiden päällä ja ylätukirengas ei osallistu tukemiseen ollenkaan, leikkauksen tukeminen on olematonta. Näin ollen teräs on päässyt tärisemään ja liikkumaan ennen terien kitaan menemistä, leikkauksen aikana sekä leikkauksen jälkeen. Kuumavalssauksessa aiheutuvat virheet korostavat myös huonon tukemisen aiheuttamaa huonoa leikkausjälkeä. Neljäs tekijä on, että terien huolto tai asennus on epäonnistunut. Terissä on voinut syntyä liiallinen soikeus hionnassa tai paksuusvaihtelu sorvauksessa, että välykset vaihtuvat teräkierroksen aikana. Kuten aikaisemmin mainittu, hiontakone tekee hionnassa jokaisesta terästä hiukan soikeita tuurnan yläpuoliselta osalta, koska terä tipahtaa tuurnan paksuuden ja sisähalkaisijan eron verran. Terillä oli kuitenkin ajettu kovaa teräsmateriaalia jo

kymmeniä kilometrejä, joten kyseessä tuskin on huono terien huolto tai asennus. Terät yleensä hajoavat jo ensimmäisten kymmenien kilometrien sisällä, jos huolto tai asennus on epäonnistunut. Leikkausjälki oli muutenkin sen verran hyvä, että välykset näyttäisivät olleen hyvät kyseiselle laadulle. Purseenkin määrä näyttää olevan pieni, mikä myös vahvistaa hyviä välyasetuksia. Tosin näin kovan teräksen reunaleikkaamisessa välyksien kanssa ei tarvitse olla niin tarkkana kuin pehmeitä teräksiä leikatessa, sillä kovat teräkset eivät helposti liu'u leikkauksen aikana vaan murtuvat helposti leikattavasta särmästä ja näin purseen määrä usein pysyy maltillisena. Leikkaantuneen ja murtuneen vyöhykkeen suhteelliset suuruudet olivat myös laadukkaan leikkausjäljen vastaisia. Kaksi ensimmäistä vaihtoehtoa ovat todennäköisesti tämän asian takana. Peittauslinjan alkupään projektin jälkeen märkämöntun aiheuttamat taitteet eivät ole enää ongelma, sillä märkämöntun tilalle rakennetaan nykyaikainen nauhavaraja. Tämä vaikuttaa suuresti koko linjan laadullisuuteen mutta erityisesti reunaleikkaukseen. Kuitenkin, kuten kuvista näkee, epätasaisuus ja purseen määrä eivät olleet niin suurta, että siitä olisi valssauksen jälkeen syntynyt sahalaitaista reunaa ja näin ollen voidaan todeta, että reunaleikkaus on onnistunut.

## 9 YHTEENVETO

Kuten tutkimuksesta kävi ilmi, reunaleikkaukseen vaikuttaa monet erilaiset asiat ja laadukas reunaleikkaus on monen hyvin hallitun asian summa. Hämeenlinnan tehtaalla reunaleikkauksessa on edelleen käytössä vanhoja koneita, jotka rajoittavat leikkauksen onnistumista. Vanhojen koneiden lisäksi käytännöt ovat myös joissakin asioissa vanhanaikaiset kuten esimerkiksi tukirenkaiden huoltaminen. Pehmeät teräkset ovat niin vaativia, että pienetkin asiat vaikuttavat laadukkaaseen lopputulokseen. Kuten aikaisemminkin mainittu, kovien terästen leikkaaminen on pehmeitä helpompaa ja se on myös Hämeenlinnan tehtaalla suhteellisen hyvällä laadullisella tasolla. Lähes jokainen ongelma tämänhetkisessä reunaleikkauksessa liittyvät pehmeiden teräsmateriaalien leikkaukseen ja varsinkin IF-terästen leikkaamiseen. Toisin sanoen reunaleikkaus on suhteellisen hyvällä mallilla, sillä IF laatuja valmistetaan yhteensä reilusti alle prosentti koko tuotevalikoimaan nähden. Hieman kovempia pehmeitä teräsnauhoja valmistetaan enemmän mutta niiden reunaleikkaus on hieman parempaa eikä asiakkailta ole kuulunut satunnaisia reklamaatioita huolimatta isompia valituksia reunaleikkauksesta. Toisin sanoen tuotevalikoimaan nähden reunaleikkaus on suhteellisen hyvällä mallilla lukuun ottamatta IF-teräksiä. Isoin ongelma on suuren purseen syntyminen ja tämän voimakas valssautuminen suuren reduktion takia sahalaidaksi teräsnauhan reunaan kylmävalssauksen jälkeen. Suurimmat vaikuttajat tämän ylimääräisen purseen syntymiselle ovat kuluneet terät, olematon leikkaustapahtuman tukeminen, kuumanauhavirheet sekä itse peittäuslinjan aiheuttamat teräsmateriaalin laatuvirheet. Hämeenlinnan tehtaalla terien maksimi ajomäärät ovat aivan liian suuret, jos halutaan purseen määrän laskua pehmeillä teräksillä. Kehitysehdotuksena tähän olisi asentaa terien päälle laser, joka suunnataan terän leikkaavaan särmään. Tämä laser mittaa etäisyyttä terän särmästä ja piirtää jatkuvaa graafista kuvaajaa laserin lähteen ja särmän etäisyydestä. Terän särmän kuluessa etäisyys kasvaa ja näin kuvaajakin lähtee matalaan laskuun. Tähän kuvaajaan on asetettu alatoleranssi, jota ennen terä on viimeistään vaihdettava. Tämän alatoleranssin suuruus pitäisi tutkia tarkemmin pehmeiden laatuosien osalta, jotta tiedetään milloin terä on kulunut liikaa leikatakseen laadukkaasti pehmeitä materiaaleja. Tällä hetkellä reunaleikkaajan on myös mahdotonta nähdä heti, jos terään on tullut vaurioita ja tämän takia rikkiäisellä terällä voidaan leikata useita teräskeloja, ennen kuin terät vaihdetaan. Tämän lasermittauksen avulla särmään syntyvät lovetkin nähtäisiin saman tien päätteeltä kuvaajan tasaisina hyppäyksinä ja näin havaitaan heti ne pienimmätkin lovet, joita nyt ei heti pystytä havaitsemaan.

Toinen kehittämisen kohde purseen synty miseen on leikkauksen tukemisen parantaminen. Nykyiset käytännöt tukirenkaiden hallinnassa ja niiden halkaisijaeroissa ei tue varsinkaan pehmeiden teräsmateriaalien leikkausta läheskään tarpeeksi sekä tukirenkaiden hallinta on erittäin huonoa. Hallinnasta tekee vaikeaksi se, että tukirenkaita on vain muutama sekä niitäkään ei ole huollettu ollenkaan. Lisäksi leikkausterien erihalkaisijoita on tällä hetkellä niin monia, että tukemisen arvot muuttuvat lähes jokaisen terävaihdon yhteydessä. Kaikilla alle 5mm paksuisilla materiaaleilla ylätukirenkaiden leikkauksen tukeminen on nykyisellä käytännöllä olematonta. Toki tässä on tehty kompromissi, jotta jokainen prosessoitava tuote mahtuisi kulkemaan tukirenkaiden läpi. Parempi tukeminen vähentäisi myös kuumanauhavirheistä, kuten reunavenymästä aiheutuvaa huonoa reunaa. Tämä ei kuitenkaan poistaisi tätä ongelmaa kokonaan. Uuden peittäuslinjan alkupää auttaa suuresti prosessin päivityksien kehittämisessä laadukkaampaan suuntaa myös reunaleikkauksen osalta. Uuden alkupää projektin jälkeen kovia materiaaleja voidaan prosessoida peräkkäin ja näin ollen paksuuden vaihteluitakaan ei tule niin paljoa. Tällöin voidaan tehdä uusia käytäntöjä parantaakseen reunaleikkausta. Tämän jälkeen voitaisiin ajaa eri paksuuksia kiilamaisesti. Esimerkiksi ensin ajetaan 4mm-6mm paksuisia teräsnauhuja, jonka jälkeen ajetaan 2mm-4mm paksuisia teräsnauhuja. Kun kaikki 4mm-6mm paksuiset teräsnauhut on ajettu, vaihdettaisiin yläterän tukirenkaat isompiin, jotta saataisiin kunnon tukeminen myös ohuimmille teräsnauhuille. Tämä vaatisi uusien tukirenkaiden hankintaa sekä tukirenkaiden parempaa hallintaa, jotta tukirenkaiden halkaisijat oikeasti pysyvät sovitun kokoisena. Vaikka uutta alkupäätä ei olisikaan rakenteilla, tukirenkaiden hallintaa olisi joka tapauksessa pakko parantaa. Nykyään tukirenkaita ei vaihdeta eikä huolleta lähes koskaan ja näin ollen alatukirenkaat eivät ole ohjeistetulla tavalla alaterän kanssa samankokoisia vaan isompia. Tämä ero voi tällä hetkellä olla terän halkaisijasta riippuen 2mm-4mm. Nämä halkaisijan kokoerot kasvavat jatkossa ellei hallintaa tehosteta, sillä teriä hiotaan enemmän, mitä tukirenkaat kuluvat. Tämänhetkiset tukirenkaat ovat myös sen verran kuluneet, että niiden tukemisominaisuuksia on kyseenalaistettava suhteellisen paljon. Tukirenkaissa on suuria lohkeamia ja halkeamia ja osasta tukirenkaiden kyljistä on kulunut suuri määrä materiaalia. Tukirenkaita on aloitettava huoltamaan ja hallitsemaan terien kanssa yhtaikaisesti. Kuten aikaisemmin sanottu, tukirenkaita ei ole syytä vaihtaa jokaisen terärikon yhteydessä, sillä tukirenkaat eivät kulu yhden terän aikana niin paljon. Leikkausteriä huolletaan yleensä 24 kappaleen erissä kahdessa 12 kappaleen laatikoissa, jolloin jokaisesta terästä otetaan 1,5mm -0,5mm niiden alkuhalkaisijasta riippuen. Iso parannus olisi, jos jokaiselle 24 kappaleen leikkausteräpaketilte

olisi omat tukirenkaat joita hoidettaisiin näiden terien kanssa samanaikaisesti. Näitä tukirenkaita olisi yhdet pienemmät ja yhdet isommat, jotta tukirenkaita olisi paksummille sekä ohuimmille teräsnauhoille uuden peittäuslinjan alkupään valmistuttua. Tukemisen kehittämiseen liittyy myös kehityskohde teräsnauhan alkukiihdytyksen rajoittamiselle. Nykyinen alkukiihdytys yhdistettynä huonoon tukemiseen tekee usein teräskelan ensimmäisten metrien leikkauksista laadullisesti paljon huonompia, varsinkin pehmeillä teräslaaduilla. Suuri nopeuden nosto lisää teräksen vaappumista ja tärisemistä linjassa ennen leikkaukseen tulemistä, leikkauksen aikana sekä leikkauksen jälkeen. Varsinkin, jos teräsnauhassa on pienikin kuumanauhaperäistä virhettä kuten reunavenymää. Alkukiihdytyksessä nopeus yleisesti kasvaa 250m/min - 300m/min asti. Alkukiihdytystä on kuitenkin pakko tehdä, jotta saadaan nauhavaraajaan kerääntynyt teräsnauha pois ennen seuraavaa saumakohtaa mutta siihen riittäisi paljon pienempikin kiihdytys. Esimerkiksi 180m/min nopeus riittäisi myös hyvin nauhavaraajan tyhjentämiseen ja varaa jäisi vielä mahdollisten loppupään häiriöiden poistoon, ennen kuin koko linja pysähtyisi.

Peittäuslinjan alkupään muutos vaikuttaa myös monella muulla tavalla positiivisesti reunaleikkaukseen. Materiaaleihin ei enää synny teräsmateriaalia muuttavia taitteita. Lisäksi tämä auttaa myös tämän hetkiseen terien rikkoutumisien määrään. Huollosta tulleiden terien leikkaavat särmät ovat teräviä. Jos juuri vaihdetuilla terillä lähdetään heti ajamaan kovia materiaaleja, niiden rikkoutumisen riksi moninkertaistuu. Paras ratkaisu olisi, että terät vaihdettaisiin aina pehmeiden terästen tullessa prosessoitavaksi. Tällöin aivan terävin särmä leikkaa hyvin pehmeät teräkset ja tekee pienen viisteen leikkaavaan särmään ennen kovia teräslaatuja. Näin terät kestäisivät paremmin ja kaikille teräslaaduille saataisiin parempi leikkausjälki. Tämä ei kuitenkaan ole nykyisillä koneella ja käytännöllä mahdollista, koska kovia pehmeitä teräslaatuja on prosessoitava peräkkäin. Koska tämän projektin jälkeen voidaan prosessoida kovia teräksiä peräkkäin, voidaan myös muuttaa teräkäytäntöjä. Kovia teräksiä leikattaessa on tärkeää, että terän särmässä on pieni viiste, koska silloin kovan teräksen aiheuttama rasitus leikkaavaan särmään on moninkertaisesti vähäisempi. Näin ollen terät kestävät paljon pidempään. Tämä särmä ei kuitenkaan sovi pehmeiden terästen leikkaamiseen. Uuden alkupään tullessa toimintaan, voidaan prosessoida ensiksi kovia materiaaleja viisteisillä terillä, jonka jälkeen vaihdetaan terät terävsärmäisiin teriin ja ajetaan pehmeitä materiaaleja näillä terillä kunnes prosessoitavaksi tulee taas kovia teräslaatuja. Tämä parantaa reunaleikkauksen laatua niin kovilla, kuin pehmeillä teräslaaduilla sekä vähentää massiivisesti terien rikkoutumisia. Toinen terien rikkoutumista vähentävä muutos on poistua kahden eri toimittajan terien käytännöstä ja siirtyä käyttämään vain toimittajan

X teriä. Toimittajan Y terät ovat hajonneet paljon useammin ja nopeammin, kuin toimittajan X terät. Lisäksi toimittajan X terillä on lähtökohtaisesti tullut parempaa ja laadukkaampaa leikkausjälkeä. Tämä vähentää myös tämänhetkisen terienhallinnan aiheuttamaa ylimääräistä työtä. Peittauksen alkupää projekti antaa mahdollisuuden myös päivittää ja laajentaa leikkausterien välystaulukoita. Tämän hetkiset välystaulukot ovat erittäin karkeita ja niihin vaikuttavat pelkästään leikattavan teräsnauhan paksuus sekä onko teräsmateriaali kovaa vai pehmeää. Uuden hitsauskoneen tullessa käyttöön on mahdollista katselmoida optimaaliset välysarvot jokaiselle kovuudelle, paksuudelle sekä leveydelle.

Seuraava kehittämisen kohde liittyy terien huoltoon ja sen hallintaan. Hionnan hallinta on tällä hetkellä suhteellisen hyvässä hallinnassa, sillä terien hiojia on yksi ja monen vuoden kokemuksen omaava ammattilainen. Ongelmia voi ilmetä, kun hioja vaihtuu eikä työohjeissa ole tarkkoja arvoja hyvän hionnan aikaansaamiseksi. Tämän takia hionnan ohjetta on päivitettävä tarkempaan suuntaan, jotta uudet terähiojat voivat tarkistaa hionnan arvot ennen hiontaa. Hiontakoneisto on erittäin vanha ja lähes täysin manuaalinen mutta suhteellisen toimiva osaavissa käsissä. Näin ollen uuden hiontakoneen osto ei ole vielä täysin ajankohtainen. Kuitenkin hiontakoneen aikaansaama terien soikeus voidaan poistaa kokonaan vain paisuntatuurnalla, joten paisuntatuurnan hankinta on ajankohtainen. Terien sorvauksen hallinnassa on enemmän kehiteltävää. Ensinnäkin kaikkien sorvareiden kanssa pitäisi tehdä yhtenäinen terien sorvaustyyli. Parhaita asetuksia tutkittaessa tärkeintä on, että terine kylkien pinnanlaadusta saadaan paras mahdollinen, sorvauksen lastun lämpötila ei nousisi niin suureksi, että vaikuttaisi koko terän lämpötilaan eikä sorvauksen arvot tuo paksuudenvaihteluita terien kylkiin. Nykyinen sorvi on sen verran mekaaninen, että paksuusvaihteluita syntyy suhteellisen helposti. Varsinkin magneettipakan kellotus on tärkein asia kyseisellä sorvilla mutta tarkka mekaaninen kellotus kestää todella kauan eikä aina ole täysin suora. Kellotuksessa heittoa tulee aina vähintään 0.01mm. Tämän ongelman poistaisi kokonaan CNC sorviin investoiminen. Näin saadaan poistettua huonon terien huollon aiheuttavat tekijät reunaleikkauksesta.

Reunaromujen määrän optimoinnissa on myös kehittämisen varaa. Tämän hetkinen tilanne on se, että materiaalihukan määrää on ajateltu liikaa laadun kustannuksella. Tämä koskee varsinkin pehmeitä IF-teräksiä. Reunaromujen määrät ovat näillä laaduilla niin pienet, että reunaromut jäävät lähes aina kiinni ja reunaromut loppuvat usein kesken. Tähän, kun yhdistettynä vielä Raahan tehtaan kuumavalssauksessa syntyneet



leveysheitot teräsnauvoissa niin saadaan aikaan erittäin repaleista ja ”rotan syömää” leikkausjälkeä. Tulevaisuudessa pitäisi ajatella säästöjä pidemmällä tähtäimellä. Vaikka reunaromujen vähentäminen tuokin nopeita säästöjä, ne kaikki ja vähän enemmän hävitetään asiakkaiden tyytymättömyydessä reunaleikkauksen laatuun, lisääntyneiden reklamaatioiden hallinnassa, sekundatuotteiden määrän kasvussa, korvaavien tuotteiden prosessoinnissa sekä toimitusvarmuuden heikentymisessä pitemmällä aikavälillä. Tämä koskee siis pääsääntöisesti pehmeimpiä teräsmateriaaleja, koska ne ovat reunaleikkauksen vaativimpia teräslaatuja. Tähän yhdistettynä mahdollisen reunaromun tukien hankintaa olisi hyvä katselmoida. Tämä poistaisi reunaromun repeämisen teräsnauhasta vaan reunaromu irtoaisi sulavasti ja kulkisi tasaisesti hakkuriin. Tämä parantaisi murtuneen vyöhykkeen tasaisuutta varsinkin pehmeitä teräksiä leikatessa.

Raahan tehtaan teräksen valmistusprosessin kuumanauhavirheisiin Hämeenlinnan tehdas ei voi suoranaisesti vaikuttaa. Kuitenkin olisi erittäin tärkeää saada yhteisymmärrys virheiden vakavuudesta ja niiden aiheuttamista riskeistä Hämeenlinnan tehtaan tuotannossa. Raahan tehtaan kanssa on saatava yhteiset säännöt, kuinka paljon esimerkiksi reunavenymää teräsnauhassa voi enintään olla, että sen voi vielä lähettää Hämeenlinnan tehtaalle prosessoitavaksi. Näin saataisiin vähennettyä teräksen valmistuksessa syntyvien kuumanauhavirheellisten teräskelojen saapumista Hämeenlinnaan jatkojalostukseen. Toki Hämeenlinnan tehtaan alkupääprojektin valmistuttua linjassa on käytössä hilsemurskain voi vähän helpottaa tilannetta. Tämä siksi, että sen avulla voidaan tehdä jo peittäuslinjalla pieni reduktio teräsnauhaan. Tämä voi suoristaa heikkoja ja vaimentaa voimakkaita venymiä.

Ylhäällä mainittujen asioiden kehittämällä ja hallinnalla saadaan myös pehmeiden teräsnauvojen reunaleikkaus parempaan laadulliseen tasoon ja reklamaatioiden määrä pienenee olemattomiin.

Loppupäätelmäksi voidaan sanoa, että tutkimus oli onnistunut. Näin massiivisen aiheen tutkiminen ja kehittäminen on erittäin aikaa vievää ja tarkkaa tutkimista. Vaikka aikaa olikin vajaa neljä kuukautta, reunaleikkauksen tekijöitä saatiin selvitettyä suhteellisen hyvä määrä, erityisesti kriittisesti leikkaukseen vaikuttavia tekijöitä. Samalla saatiin suhteellisen hyvin katselmoitua pääpiirteisesti tämänhetkinen reunaleikkauksen taso Hämeenlinnan tehtaalla niin kovilla, kuin pehmeillä teräslaaduilla. Lisäksi saatiin paljon hyviä kehitysehdotuksia reunaleikkauksen parantamiseen. Osia tutkimuksen aikaansaamia kehitysehdotuksia on lähdetty jo viemään eteenpäin ja monesta muusta on aloitettu jo kehityspalaverit. Kuitenkin aikaa oli sen verran vähän ja tutkittava prosessi

on niin laaja ja moninainen, että tutkittavia asioita jäi vielä ja näitä pitää jatkossa tutkia tarkemmin. Aikaisemmin mainitun terien uusien ajomäärien tutkimisen lisäksi, esimerkiksi valssien kunnon vaikutusta purseen valssautumiseen sahalaidaksi on tutkittava tarkemmin. Onko valssien bombeeraus tai valssilla ajetut tonnimäärät vaikuttavia tekijöitä purseen kyseisessä valssautumisessa? Valssautuuko purse heikommin teräsnauhan reunoille, kun käytössä on tuoreet valssit? Toinen tutkittava asia on terien lämpöväsyminen. Kuinka paljon terien lämpötila nousee leikkauksessa, kuinka nopeasti terä jäähtyy linjan pysähdyksissä ja kuinka paljon tämä vaikuttaa terän teräksen väsymiseen? Jos väsymistä ilmenee monien lyhyiden pysähdyksien seurauksena, miten tämä voitaisiin estää? Terien öljyämisen vaikutusta terien kulumiseen olisi myös tutkittava. Mikä on oikea määrä terien öljyämiseksi ja kuinka paljon öljyämistä pitäisi lisätä terien kulumisen kasvaessa? Mitkä ovat optimaaliset terävälkykset ja limitykset eri teräsmateriaaleille, paksuuksille sekä leveyksille? Onko öljyminen edes välttämätöntä, jos vähentää ajorajoituksia? Vaikuttaako alapuolisten terien öljyminen terien kestävyYTEEN? Mikä on optimaalinen nopeus teräsnauhan alkukiihdytykselle, jotta aikaa jäisi vielä mahdollisten häiriöiden poistoon ennen kuin koko nauhavaaraaja täytyisi? Viimeisenä tutkittavana asiana on käydä jokaisen laadun reunaromujen määrät uudestaan läpi ja laskelmoida uudestaan optimaaliset reunaromujen määrät, ainakin IF-teräksille.

## LÄHTEET

Dnt. Viitattu 15.2.2018 <https://www.dnt.de/DigiMicro-Mobile.2.html>

Elisanet 2018. Viitattu 6.3.2018 <http://www.elisanet.fi/harri.nevalainen/tietoisk/staattisetIsot.htm>

Eskelinen, Heikki (2010) Booriteräksen MAG- ja CMT-hitsaus. Helsinki: Metropolia Ammattikorkeakoulu.

<http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/38487/Booriter.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Harjula, Heikki & TKM TTT Finland (2016) Teräksen mekaaninen leikkaus ja oikaisu. Koulutusmateriaali POHTO koulutukseen. SSAB Hämeenlinnan tehtaan arkisto.

Harjula, Heikki (2014) Teräksen mekaaninen leikkaus ja oikaisu. Koulutusmateriaali esitys. SSAB Hämeenlinnan tehtaan arkisto.

Hirvonen, T. & Järn, S. & Lankila, A. & Luukkonen, J. & Paavilainen, J. & Palkkikangas, M. & Peltoa, A. & Sipilä, R. & Tuovinen, J. (1998) Teräsohutlevyn valmistus ja käyttö. Koulutusmateriaali Hämeenlinnan tehtaalle. SSAB Hämeenlinnan tehtaan arkisto.

Intranet SSAB. Viitattu 14.2.2018  
<https://intranet.ssab.com/content/locations/Pages/Esittelymateriaalit-Hameenlinna.aspx>

Kauppalehti. Viitattu 15.2.2018  
<https://www.kauppalehti.fi/5/i/porssi/porssikurssit/osake/?klid=1003801>

Kettunen, Tommi (2015) Nykyaikaisen koriteknikan vaikutus korinkorjauksessa. Helsinki: Metropolia Ammattikorkeakoulu.

Koivisto, K. & Laitinen, E. & Niinimäki, M. & Tiainen, T. & Tiilikka, P. & Tuomikoski, J. 2010. Konetekniikan Materiaalioppi. Helsinki: Edita Publishing Oy.

Laine, Milka (2014) Tutkimus kuumavalssattujen 355 ja 420 MPa lujuusluokan terästen leikatun reunan pinnanlaadusta ja sen vaikutuksesta reiänlaajennuskykyyn. Kemi; Lapin AMK.

Metallinjalostajat ry (2009) Teräskirja 8.painos. Tampere: Esa print Oy.

Nauhan leikkausasetukset ja leikkausjäljen tarkastus työohje (2017) Hämeenlinna. Kirjoitettu työohje reunaleikkaajalle teräasetuksista ja tarkastuksista. Käytetään myös perehdytyksessä. Hämeenlinnan tehtaan arkisto

Noppa, University of Oulu (2011) Teräslajit. viitattu 12.3.2018  
[https://noppa.oulu.fi/noppa/kurssi/465115s/materiaali/465115S\\_l19\\_l20.pdf](https://noppa.oulu.fi/noppa/kurssi/465115s/materiaali/465115S_l19_l20.pdf)

Peittauslinjan sivuleikkurin pyöröterien ja tukirenkaiden sorvaus työohje (2017) Hämeenlinna. Kirjoitettu työohje reunaleikkurien sorvauksesta. Käytetään perehdytyksessä. Hämeenlinnan arkisto

SFS-EN 10143 (2006) JATKUVATOIMISELLA KUUMAUPOTUSMENETELMÄLLÄ PINNOITETUT OHUTLEVYTERÄKSET. MITTA- JA MUOTOTOLERANSSIT. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto

SFS-EN 10131 (2006) KYLMÄVALSSATUT KYLMÄMUOVATTAVAT PINNOITTAMATTOMAT JA ELEKTROLYTTISESTI SINKKI- TAI SINKKI-NIKKELIPINNOITETUT SEKÄ LUJAT OHUTLEVYTERÄKSET. MITTA- JA MUOTOTOLERANSSIT. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto

SSAB Docol. Viitattu 12.3.2018. <https://www.ssab.fi/tuotteet/brandit/docol>

SSAB Hämeenlinna. Viitattu 14.2.2018 <https://www.ssab.fi/ssab-konserni/tietoja-ssabsta/production-sites-in-finland/hameenlinna>

SSAB 2018. Viitattu 12.2.2018. <https://www.ssab.fi/>

SSAB yrityskuva. Viitattu 12.2.2018. <https://www.ssab.fi/ssab-konserni/tietoja-ssabsta/ssab-lyhyesti/yrityskuva-ja-tuotemerkit>

SSAB tuotteet. Viitattu 12.2.2018. <https://www.ssab.fi/ssab-konserni/tietoja-ssabsta/production-sites-in-finland/hameenlinna>

Suomen metalliteollisuuden keskusliitto (1980) Tekninen tiedotus 9/80: Ohutlevyn leikkaus. Hanko: Hangon kirjapaino Oy.

Terien hionta valssihiomossa työohje (2017) Hämeenlinna. Kirjoitettu työohje peittauslinjan reunaleikkausterien hionnan työvaiheista, toleransseista sekä huomioon otettavista asioita. Käytetään reunaleikkaajan perehdytyksessä. Hämeenlinnan arkisto.

Teräskielen aakkoset. Viitattu 24.4.2018. <https://www.ssab.fi/ssab-konserni/tietoja-ssabsta/ssab-lyhyesti/teraskielen-aakkoset>