

KEMI-TORNION AMMATTIKORKEAKOULU

Ferriittisten ruostumattomien terästen tuotannon ajoittaminen terässulaton 1-linjalla

Pulliainen Matti

Tekniikan koulutusalan opinnäytetyö
Kone- ja tuotantotekniikka
Insinööri(AMK)

KEMI 2013

ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö on tehty Torniossa Outokumpu Tornio Worksille. Työn tarkoituksena oli tutkia mahdollisuuksia ferriittituotannon kasvattamiseen sekä läpimenoaikojen lyhentämiseen tuotannon ajoitusta parantamalla terässlatan 1-tuotantolinjalla. Työ on tehty 30.4.2011 - 9.5.2013 välisenä aikana. Kemi-Tornion ammattikorkeakoululta työn ohjaajana toimii TKL Timo Kauppi ja Outokumpu Tornio Worksilta valvojana toimii DI Eveliina Karjalainen

TIIVISTELMÄ

Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu, Tekniikan ala	
Koulutusohjelma	Kone- ja tuotantotekniikka
Opinnäytetyön tekijä	Matti Pulliainen
Opinnäytetyön nimi	Ferriittituotannon ajoittaminen terässulaton 1-linjalla
Työn laji	Opinnäytetyö
päiväys	22.05.2013
sivumäärä	41 +0 liitesivua
Opinnäytetyön ohjaaja	TkL Timo Kauppi
Yritys	Outokumpu Stainless Oy
Yrityksen yhteyshenkilö/valvoja	DI Eveliina Karjalainen

Tässä opinnäytetyössä selvitettiin ferriittituotannon ajoittamista terässulaton 1-linjalla. Työn taustalla on yhtiön tavoite kasvattaa ferriittisten teräslajien valmistuskapasiteettia. Valmistuskapasiteetin kasvattaminen asettaa vaatimuksia sulaton prosessipaikoille sekä niiden tehokkuuteen ja ajalliseen hallintaan. Nykyhetkellä suurimpana rajoittavana tekijänä on ahiokuumahiomon rajallinen hiontakapasiteetti. Näin ollen tuotanto suunnitellaan hyvin pitkälle kuumahiomon kapasiteetin mukaan.

Työn tavoitteena oli selvittää kuinka saadaan ferriittisten ruostumattomien teräslajien viikkoerä ajoitettua siten, että tuotantomääriä pystyttäisiin nostamaan. Tarkasteltiin, kuinka ferriittisjakso saataisiin menemään mahdollisimman jouhevasti ja nopeasti läpi. Työssä on käytetty tutkimuspohjana nykyhetken yleisesti käytössä olevaa ferriittisjakson viikkoerän kokoa. Työn tekemisessä käytettiin ferriittisten teräslajien valmistustietoja maaliskuusta 2012 helmikuuhun 2013.

Tämän työn tuloksena on valmisteltu ferriittiserä, joka on tehty huomioiden jatkuvavalukoneen rajoitukset, ahiokuumahiomon kapasiteetti ja kuumapitokuoppa. Vertailukohteen saavuttamiseksi työssä on tarkasteltu ferriittisjaksoa kaksinkertaistettuna. Tuotannollisia ja taloudellisia etuja saavutetaan ferriittiserän kasvattamisella sekä ferriittisjakson ajoittamisella. Tähän on terässulatoilla mahdollisuus, sillä tuotannon suunnittelulla voidaan pidentää ferriittiserien valusekvenssejä.

Avainsanat: ajoittaminen, ferriittinen, terässulatto, kuumavalssaamo.

ABSTRACT

Kemi-Tornio University of Applied Sciences, Technology	
Degree Programme	Mechanical and Production Engineering
Name	Matti Pulliainen
Title	Ferritic Production's Timing at Line 1 of Melting Shop
Type of Study	Bachelor's Thesis
Date	22 May 2013
Pages	41+ 0 appendices
Instructor	Timo Kauppi, MSc, LicSc (Tech.)
Company	Outokumpu Stainless Oy
Contact Person/Supervisor from Company	Eveliina Karjalainen, MSc (Tech.)

The subject of this study was to find out the ferritic production's timing at line 1 of a melting shop. The reason for the report was company's aim to increase ferritic steel production capacity. Growth of production capacity sets the requirements at melting shop's processing locations, their efficiency and timing control. At the moment, the biggest restrictive factor is the limited capacity of a blank hot mill. That is why the production is set with hot mill capacity.

The purpose of this study was to examine how to get the ferritic roster steel weekly set timed so that the quantity produced could grow. The study also analyzed how the production of the ferritic set can be produce faster. Normal ferritic weekly set size was used as a basis for this study. Ferritic steel production information from March 2012 to February 2013 was used to conduct the study.

To achieve the goals of this study a doubled ferritic period was reviewed. Production and financial advantages are gained with increasing the ferritic set and timing of the ferritic period. The steel mill has an opportunity for this as planning of production can extend the ferritic set casting sequences. In this study was to study yearly production using computational rates. Rates are based on growing production volume but they are not connected to any target.

Keywords: timing, ferritic, steel mill.

SISÄLLYSLUETTELO

ALKUSANAT	I
TIIVISTELMÄ	II
ABSTRACT	III
SISÄLLYSLUETTELO	IV
KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET	V
1. JOHDANTO	1
2. TERÄSSULATTO	2
2.1. Ferrokromikonvertteri	4
2.2. Sulaton kuumanapitokuoppa	5
2.3. Aihiokuumahiommo	5
3. KUUMAVALSSAAMO	7
4. FERRIITTINEN RUOSTUMATON TERÄS	9
5. TUOTANNON OHJAUS JA -AJOITUS	11
5.1. Työntöohjaus ja imuohjaus	11
5.2. Varasto-ohjautuva tuotanto	11
5.3. Tilausohjautuva tuotanto	12
5.4. Asiakasohjautuva tuotannosuunnittelu	12
5.5. Tuotannon ajoitus	12
6. NYKYTILAN TARKASTELU	14
6.1. Sulatusten tarkastelu viikkotasolla	14
6.2. Jatkuvalun tarkastelu viikkotasolla	16
6.3. Ahiomäärän tarkastelu viikkotasolla	17
6.4. Hionta-ajan tarkastelu viikkotasolla	19
7. VIIKKOERÄ KAKSINKERTAISTETTUNA	21
7.1. Kaksinkertaistetun viikkoerän ahiomäärät	24
7.2. Kaksinkertaistetun viikkoerän kontaktiajat hionnassa	25
8. VIIKKOERIEN TASAPAINOTTAMINEN	27
8.1. Sulaerien vertailu	28
8.2. Valumäärien vertailu	30
8.3. Ahiomäärät ja hionta-ajat	33
9. LOPPUTULOSTEN KÄSITTELY	38
10. YHTEENVETO	40
11. LÄHDELUETTELO	41

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

HK6	Hiomakone 6
KHK-5	Kuumahiomakone 5
KHK-4	Kuumahiomakone 4
CRK	Kromikonvertteri
VKU	Valokaariuuni
AOD	Argon-oxygen-decarburization
JVK-1	Jatkuvavalukone terässulaton 1-linjalla
Qmato	Terässulaton ja kuumavalssaamon tuotannonohjausjärjestelmä
Valusekvenssi	Tuotantosarja, joka muodostuu valukoneella ilman katkoja valettavista sulatuksista
Senkka	Sulan teräksen siirtämiseen käytettävä tiilivuorattu teräsastia
Sulatus	Yksi tuotantopanos, joka valetaan yksittäin tai osana sekvenssiä
Sulatuserä	Sulatuserä koostuu useasta valusekvenssistä, jotka sisältävät useita sulatuksia
KUVA	Kuumavalssaamo
APU	Askelpalkkiuuni

1. JOHDANTO

Opinnäytetyössä tutkitaan ferriittisten ruostumattomien terästen tuotannon ajoittamista Outokumpu Tornio Worksin -terässulaton 1-linjalla. Ferriittistuotannossa on otettava huomioon muuan muassa raaka-aine varastojen hallinta, sulattoprosessi, ahiokuumahiomo sekä kuumavalssaamo.

Ferriittisjaksojen pituuksien sekä määrällisten kapasiteettien kehittäminen on ajankohtainen, sillä Outokumpu panostaa tulevaisuudessa erikoisterästen valmistukseen. Ferrokromin tuotannon kaksinkertaistaminen on yksi Outokummun strategioista. Lisäksi terässulaton 1-linjan jatkuvavalukoneelle on tehty modernisointi sekä parannuksia silmälläpitäen ferriittisten teräslajien valamista. 1-linjan aihiohallissa sijaitsevien kuumanapitokuoppien käyttömahdollisuudet ja niiden kapasiteetit otetaan myös tarkkailtavaksi. Suoritetaan eri ferriittisillä teräslajeilla testijaksot. Näillä testijaksoilla pyritään selvittämään ferriittisjaksojen ajalliset sekä määrälliset rajoitukset.

Työssä esitellään tarkemmin ferriittistuotannon kannalta tärkeitä osaprosesseja terässulaton 1-linjalla. Niitä ovat ferrokromikonvertteri, sulaton kuumanapitokuoppa ja ahiokuumahiomo. Työn lopputuloksena syntyy suunnitelma, jolla maksimoidaan yhden ferriittisjakson pituus huomioiden tarvittavat reunaehdot ja työturvallisuus.

Työn tavoitteena oli selvittää, mikä on pisin mahdollinen ferriittistuotantopakson pituus eri teräslajeilla. Siihen liittyen tehdään tutkimuksia ja tiedon analysointia. Tuloksia tarkasteltaessa oli otettava huomioon myös aihionostureiden rajoitukset sekä työturvallisuus. Työ on rajattu koskemaan ainoastaan ferriittisiä teräslajeja ja terässulaton 1-linjaa. Tiedonkeruu tapahtuu tuotannossa raaka-aineiden käsittelystä kuumavalssaamoon.

2. TERÄSSULATTO

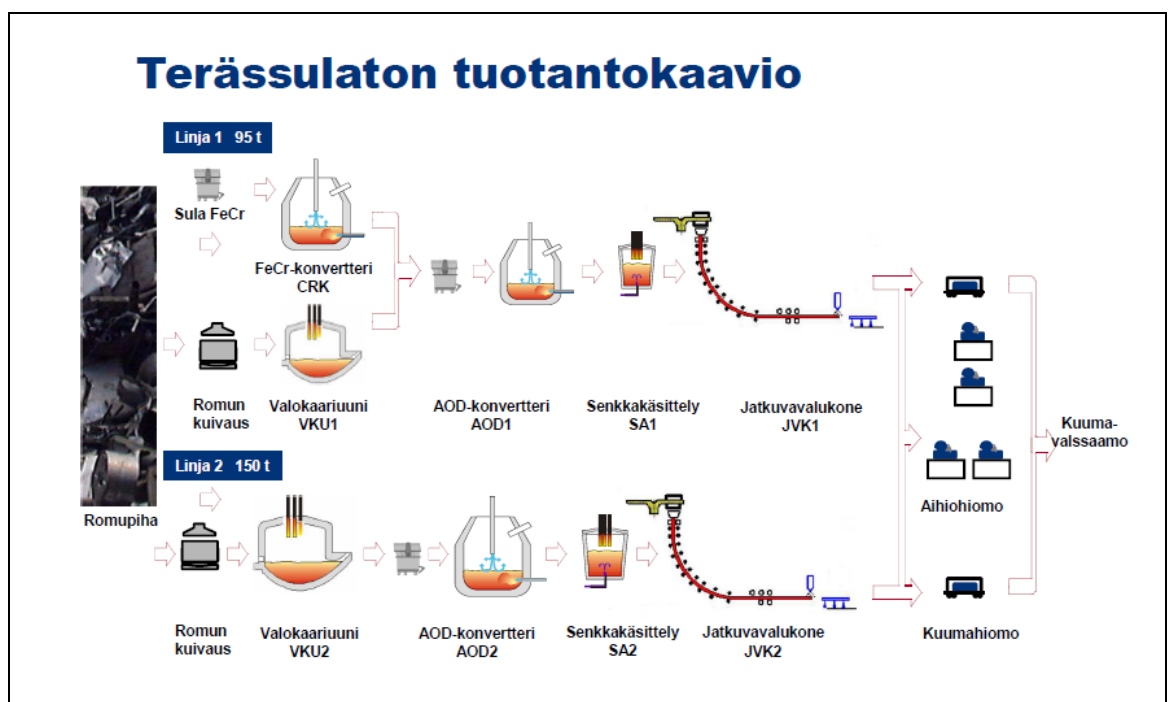
Outokumpu Tornio Worksin täysin integroitu ruostumattoman teräksen tuotantoketju on ainutlaatuinen sekä suurin maailmassa. Tuotantoketju alkaa kromikaivokselta, joka sijaitsee Keminmaassa. Kromimalmi kuljetetaan pala- ja hienorikasteena kuorma-autoilla ferrokromitehtaalle Tornioon. Terässulatolla valmistetaan teräsaihioita, jotka aletaan jalostaa kuumavalssaamalla sekä sen jälkeen jatketaan kylmävalssaamoilla. Outokumpu työllistää Keminmaassa sekä Torniossa yhteensä n. 2400 henkilöä. Lisäksi kromi- ja terästuotannon välillinen vaikutus alueelle on lähes 9000 työpaikkaa. /10/

Terässulaton tuotanto alkaa raaka-ainepihalta, josta varastoitu kierrätysromu lastataan romukoreihin. Romukorit kuljetetaan sulattolinjalle valokaariuuniin tai kromikonvertteriin. Jos kierrätysteräksessä ilmenee kosteutta, niin se kuivataan esikuumentimissa. Tämän jälkeen se panostetaan valokaariuuniin, jossa kierrätysteräs sekä siihen lisätty seosaine sulatetaan valokaarella. Sulaan voidaan siilojärjestelmän kautta lisätä myös muita seosaineita ja kuonanmuodostajia. /10/

Keskeistä osaa sulatossa esittää AOD-konvertterit. AOD-käsittelyssä sulasta poistetaan happi-argon-puhalluksella hiili sekä kuonankäsittelyllä rikki. Konvertterissa käsitelty sula kaadetaan senkkaan ja kuljetetaan senkka-asemalle. Senkka-asemilla sulaan voidaan lisätä vielä pieniä määriä kierrätysterästä, ferrokromia, nikkeliä ja muita seosaineita, jotta saavutetaan standardin mukainen loppukoostumus. Senkka-asemilla täsmätään myös seoksen valun edellyttämä lämpötila. Senkka-asemilta sula teräs siirretään hallinosturilla jatkuvavalukoneille. /10/

Valukoneilla sula lasketaan välialtaiden kautta kokilliin, jossa sulan jähmettyminen alkaa ja aihio saa muotonsa. Kokillin tehtävä on jähmettää sula pintaosiltaan siten, että syntyvä kuori estää aihion pullistumisen ja puhkeamisen toisiojäähdytysvyöhykkeellä. Jäähdytys jatkuu valukaarella avoimella vesisuihkulla. Jähmettynyt nauha katkaistaan polttoleikkauskoneella teräsaihioiksi. Jatkuvavalukoneella voidaan valaa useamman senkan sekvenssejä. /10/

Valun jälkeen valtaosa teräsaihioista kuljetetaan suoraan kuumina kuumavalssaamolle, joko rullarataa pitkin 1-linjalla tai aihiovaunussa 2-linjalla. Kuumavalssaamolla teräsaihiot panostetaan suoraan hehkutusuuniin tai nostetaan kuumanapitokuoppaan. Näillä menettelyillä parannetaan kuumavalssaamon kapasiteettia sekä vähennetään hehkutukseen kuluva energiamäärä. Jos aihio ei ole sidottu asiakastilaukseen, niin se nostetaan aihiohalliin odottamaan tilausta. Sekvenssien ensimmäinen sekä viimeinen aihio hiotaan kuumahiomakoneilla. Myös muita aihioita hiotaan, jos niissä ilmenee pintavikaa tai tarttumaa. Kuvassa 1 on esitetty terässulaton tuotantokaavio. /10/



Kuva 1. Terässulaton tuotantokaavio /9/

2.1. Ferrokromikonvertteri

CRK eli ferrokromikonvertteri sijaitsee jaloterässulaton 1-linjalla alkupäässä. Ferrokromikonvertteri ottaa vastaan junan kyydissä kuljetettavan ferrokromisulan. Sula kuljetetaan ferrokromitehtaalta senkassa. Sulan hyötynä on suuri energiasäästö, joka hyödynnetään kierrätysteräksen sulatukseen.

Ferrokromituotannossa tärkein hyöty CRK:sta on se, että linjan sulatuskapasiteetti kasvaa. Valokaariuunin ei tarvitse sulattaa niin paljoa materiaaleja. Tällöin koko 1-linjan tuotantokapasiteettia saadaan nostettua, koska ilman CRK:ta valokaariuuni olisi hitain prosessi. /7/

Sulapanoksen kannalta hyötynä on se, että CRK-sula on erittäin puhdasta. Ferrokromisula sisältää vähemmän epäpuhtauksia kuin kierrätysteräs (= romuteräs). Tämä on eduksi ferriittisille ja sulatuksille, joissa on tiukempi laadutusrajan (=seosainepitoisuuksien) maksimi jollekin epäpuhtaudelle. /7/

Ferrokromikonvertteri panostetaan ferrokromisulalla, jonka on oltava riittävän kuumaa. Ruuhella konvertteriin panostetaan yleisiä raaka-aine materiaaleja, kuten lastubrikettiä, kiskon pätkiä sekä teräsharkkoja. Materiaalin on oltava ehdottoman kuivaa. Ellei materiaali ole kuivaa, niin se on kuivattava ennen panostusta. Märkä materiaali voi aiheuttaa räjähdyksen. Siilosta ferrokromikonvertteriin lisätään tarvittavia seosaineita, jotta haluttu koostumus saavutetaan. /2/

Ferrokromikonvertteri ottaa vastaan ferrokromitehtaalta tulevan sulan ferrokromin toimien puskurina ferrokromitehtaan ja terässulaton välillä. Sulan ferrokromin energiasisältöä hyödynnetään kierrätysteräksen sulatukseen. Valokaariuunissa sulatetaan sähköenergialla raaka-ainepihalta tuleva kierrätysteräs. Kierrätysteräs (romu) panostetaan valokaariuuniin koreilla. /2/

2.2. Sulaton kuumanapitokuoppa

Osa jatkuvavalukoneella syntyvistä aihioista joudutaan hiomaan. Kuumana hiottaville teräslajeille on olemassa kuumanapitokuoppa, joka sijaitsee sulaton 1-linjan aihiohallissa. Aihiota kutsutaan kuumana hiottavaksi, mikäli sen alhaisin sallittu hiontalämpötila on 150°C. Kuumanapitokuoppa toimii puskurina aihioille, jotka eivät mene valusta suoraan hiottavaksi. Siinä on viisi pinopaikkaa, joihin voi aihioita pinota max. 20 kpl/ pinopaikka. Kapasiteetti on näin ollen 100 aihiota. Aihiot pyritään pinoamaan leveyksittäin sekä lajeittain, jolloin niiden jatkokäsittelyyn siirtäminen olisi sujuvampaa.

Aihion lämpötila valukoneen loppupäässä on arviolta 800 °C. Aihion katkaisun jälkeen jäähtyminen on voimakasta aihion korkeasta lämpötilasta ja suuresta säteilevästä pinnasta johtuen. Ensimmäiset lämpötilan mittaustiedot aihioista saadaan ennen hiontaa tehtävästä mittauksesta, jossa on näin ollen mukana jo kuumanapitokuopan jäähtymistä hidastava vaikutus. Kuumanapitokuopan vaikutus aihioden jäähtymiseen korostuu, jos siellä ei ole ferriittisten aihioden lisäksi muita kuumia aihioita. Kuumanapitokuopan vaikutus aihioden lämpötiloihin ennen hiontaa näkyy aihioden lämpötilavaihteluina.

Hionnan jälkeen aihiot siirretään kuumavalssaamolle. Jos aihioita ei suorapanosteta askelpalkkiuuniin (APU), niin ne siirretään varastoitaviksi kuumavalssaamolla sijaitseviin kuumanapitokuoppiin ja odottamaan panostusta APU: un ja edelleen valssaukseen. /4/

2.3. Ahiokuumahiomo

Käytössä kuumana hiottaviin aihioihin on kolme hiomakonetta. HK-6, KHK-4 ja KHK-5. Näistä HK-6:n käyttö tulee maksimoida, jolloin valtaosa hiottavista aihioista kulkee sen läpi. Sen maksimaalisesta käyttöasteesta huolimatta ferriittisiä kuumana hiottavia aihioita ohjataan rullarataa sekä aihiojunaa käyttäen myös hiomakoneille KHK-4 ja KHK-5.

Ferriittisten aihioden käsittelyssä tulee olla varovainen. Pahimmillaan aihiot voivat katketa. Ferriittisille teräslajeille on annettu tarkat aihion pituusrajoitukset. Aihiot ovat ”pehmeitä”, eli taipuvat normaalia helpommin kuumana ja voivat katketa jäähtyttyään. Taipumisen vähentämiseksi aihiota voidaan mahdollisuuksien mukaan jäähdyttää

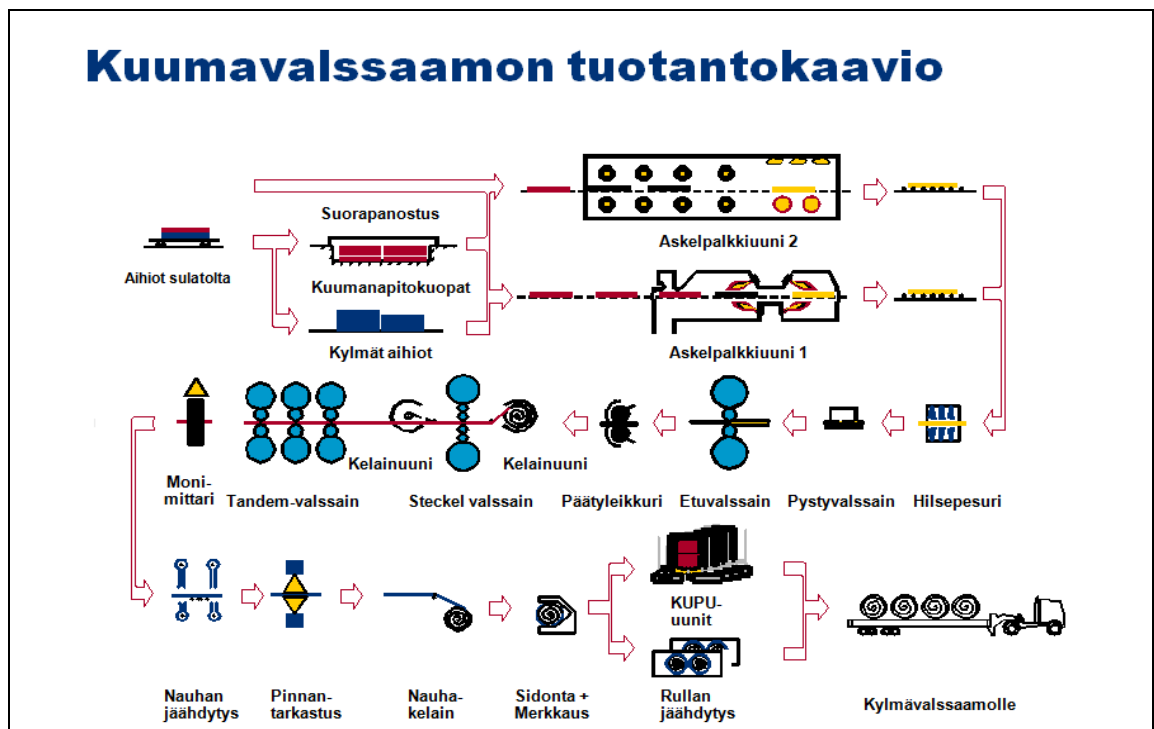
seisottamalla sitä rullaradalla ennen nostoja. Kuumahionnan ja jäähtymisen seurauksena syntyvän halkeamisriskin vuoksi- aihiot toimitetaan kuumahiontaan tai kuumanapitokuoppaan heti valun jälkeen. /6/

Hionnan jälkeen aihiot pyritään suorapanostamaan kuumavalssaamon askelpalkkiuuniin, mutta ellei suorapanostus ole mahdollinen, niin aihio siirretään kuumakuoppaan, jossa pohjalla pitää olla aina kuuma aihio jäähtymisen minimoimiseksi. Suorapanostuksella tarkoitetaan aihion siirtämistä suoraan hionnan jälkeen valssaukseen. Poikkeustilanteissa aihioita voi joutua varastoimaan kylmäpinoissa. Tällöin pitää varmistaa, että aihion alla on kuuma täysmittainen aihio. Myös päälle on laitettava kuuma aihio lämpöhukan minimoimiseksi. Ahiopinojen tulee olla tasaisia. Aihioden päät eivät saa roikkua pinosta. Jos aihiot jäähdytetään, pyritään siirrot minimoimaan. Ahiolämmön pitää myös olla tasainen, joten päälle voi pinota vain saman lämpöisiä. Ei pinota kuumia aihioita jäähtyneiden päälle eikä alle. /6/

3. KUUMAVALSSAAMO

Aihiot ohjataan kuumavalssaamolle (KUVA) rullarataa pitkin. Aihioita siirretään myös KUVA:lle aihionsiirtovaunua käyttäen. Seuraava prosessi on aihioden panostaminen APU: un. Aihioita kuumennetaan 2 - 3 tuntia. Uunista aihiot nostetaan takaisin rullaradalle, josta ne ohjataan etuvalssaimelle. Etuvalssaimella aihiot valssataan 20 - 25 mm:n paksuuteen. Pystyvalssaimen tehtävä on pitää aihion leveys haluttuna. Valssausvoiman maksimi on 4400t. Etuvalssaimelta aihio ohjataan rullarataa pitkin nauhavalssain alueelle. /9/

Nauhavalssainalue sisältää Steckel-valssaimen sekä kolme lisävalssituolia. Steckelillä otettaessa edestakaisia pistoja nauha liikkuu valssauksen aikana kelaimelta toiselle. Nauha saadaan nauhavalssaamalla loppupaksuuteen 1,9 - 12,7 mm. Kun nauhavalssain on suorittanut viimeisen piston, niin tämän jälkeen nauha etenee nauhaketaimelle rullarataa pitkin. Kelaussuorituksen jälkeen nauha automaattisesti merkataan ja sidotaan. Tämän jälkeen rullat jäädytetään vesialtaassa. Kun rullat ovat jäähtyneet 8 - 14 tuntia, niin ne toimitetaan jatkojalostettavaksi kylmävalssaamolle. Kuvassa 2 on esitetty kuumavalssaamon tuotantokaavio. /9/



Kuva 2. Kuumavalssaamon tuotantokaavio /9/

Ferriittisjaksoa alettaessa valssaamaan tulee KUVA:lla yleensä suorittaa etuvalssaimen työvalssin vaihto. Lähes aina on kaikkia leveyksiä valssattavana, joten etuvalssaimen työvalssi on vaihdettava. Työvalssin vaihdolla päästään siihen, että on mahdollisuus käyttää osan ajasta lajinvaihtoon. KUVA:n tulee myös varmistaa, että kuivavarastossa on tilaa. KUVA:lla sijaitsee myös kuumanapitokuoppa, jota hyödynnetään mahdollisuuksien mukaan. Aihioille pinopaikkoja on 12 ja jokaisessa pinopaikassa on tilaa maksimissaan 13 aihiolle. /13/

Ferriittisjakson valssaaminen tulee aloittaa silloin, kun valettuja aihioita on valmiina tarvittava määrä. On huomioitava suoraan valusta tulevat aihiot sekä kuumahiomosta tulevat aihiot, että nämä ehtisivät mukaan valssausjaksolle. KUVA:n kannalta optimaalinen valssausjärjestys nykyhetkellä on valssata aihiot leveästä kapeaan ja ohuimmat loppumitaltaan sijoitettaisiin noin jakson keskivaiheille. Sama valssausjärjestys olisi optimaalinen myös austenniittisiä teräslajeja valssatessa. /13/

Ferriittisten teräslajien valssausjakso on n. 45 - 60 aihiota. Tämän jälkeen suoritetaan SM – ja FX työvalssien vaihto. Valssausjakso on hieman pidempi kuin austenniittisiä teräslajeja valssatessa, sillä ferriittiset ovat yleensä hieman paksumpia loppumitoiltaan. Valsit kuluvat ferriittisiä valssatessa vähemmän kuin austennittisillä. /13/

4. FERRIITTINEN RUOSTUMATON TERÄS

Yleisesti ruostumattomat teräkset jaetaan neljään pääryhmään muodostuvien kiderakenteiden perusteella. Austeniittiset ruostumattomat teräkset on yleisimmin käytetty ryhmä, joiden kiderakenne on saatu nikkelseostuksella austeniittiseksi. Ferriittiset ruostumattomat teräkset ovat verrattavissa tavanomaisimpiin hiiliteräksiin fysikaalisilta ja osin mekaanisiltakin ominaisuuksilta. Austeniittis-ferriittiset eli duplex-teräkset koostuvat mikrorakenteeltaan kahdesta eri kiderakenteesta, austeniittista ja ferriittistä. Martensiittiset ruostumattomat teräkset ovat karkaistavia ja ominaisuuksiltaan lujia teräksiä. /12/

Yleisimmin käytettyjä Outokumpu Tornio Works:ssa valmistettuja ferriittisiä ruostumattomia teräksiä kutsutaan kromiteräkkeksi. Voimakkaasti on myös yleistynyt stabiloitu teräslaji. Kantavissa rakenteissa on yleistynyt alhaisemman kromipitoisuuden omaava teräslaji. /12/

Ferriittisten ruostumattomien terästen kimmomoduuli (E) on noin 220GPa. Ne ovat ferromagneettisia. Ferriittisten ruostumattomien teräksien lämmönjohtavuus on austeniittisiä parempi. Niiden käyttölämpötila-alue on rajallinen. Varsinkin matalissa lämpötiloissa käytettävien hitsattujen rakenteiden iskutkeydet tulee varmistaa. Ferriittisten ruostumattomien terästen hitsauksessa käytetään yleisesti austeniittista lisäainetta. /12/

Ferriittisten ruostumattomien teräslajien työstö on kuin niukkahiilisen seostamattoman ohutlevyteräksen. Niiden muovattavuus on kohtalaisen hyvä ja koneistaminen on helppoa. Stabiloitujen, hyvin muovaukseen soveltuvien ferriittisten teräslajien, syväveto-ominaisuudet ovat usein paremmat kuin austeniittisilla teräslajeilla. Ferriittisten ruostumattomien terästen muokkauslujittuminen on vähäisempää kuin austeniittisilla teräslajeilla. Leikattavuus ferriittisillä ruostumattomilla teräksillä on hyvät. Maksimi levyn paksuus mekaanisessa leikkauksessa on ferriittisillä teräslajeilla jopa 50 % suurempi kuin austeniittisilla teräslajeilla. /12/

Ferriittinen ruostumaton teräs on nikkeli vapaa materiaali, jonka käyttökohteena on lähinnä arkkitehtuuri, rakennusteollisuus, kodinkoneet, keittiömateriaalit sekä auton pakokaasujärjestelmät. Nikkelin puuttuminen antaa laadulle stabiilin hinnan. /11/

Tunnusomaista ferriittiselle teräkselle ovat:

- kohtuullisen hyvä korroosion kestävyys
- kohtuullisen hyvä hitsattavuus
- erittäin hyvä murtolujuus
- hyvä muokattavuus
- erinomainen koneistaa
- vakaa hinta. /11/

Ferriittisten terästen käyttökohteita ovat:

- auton pakokaasujärjestelmät
- kodinkoneet
- kotitalouksien veitset, saksit ja tiskialtaat
- rakennusmateriaalina
- hissit, liukuportaat, lukot ja kahvat
- säiliöt, putket ja paperikoneet. /11/

5. TUOTANNON OHJAUS JA -AJOITUS

Tuotannon ohjauksella tarkoitetaan menettelyä, jolla yritys pyrkii ohjaamaan tuotantoa. Tällä menetelmällä se pystyisi täyttämään tilattujen tuotteiden valmistus vaatimukset määrästä, laadusta ja toimitusajasta. Perinteisesti tuotannon ohjaukseen on kuulunut tuotannon ajoitus, varastojen valvonta ja tuotantokapasiteetin tehokas hyödyntäminen. /1/

Nykyaikana sisällytetään tuotannonohjaukseen koko toimitusketjun kustannusten hallinta, tavaravirrat sekä informaatiovirrat. Tuotannonohjauksen tärkeimpänä tehtävänä mainittakoon yrityksen valitseman tuotantostrategian toteuttaminen. /1/

5.1. Työntöohjaus ja imuohjaus

Työntöohjaus (push) ja imuohjaus (pull) ovat tuotannon ohjausperiaatteita.

Työntöohjauksessa tuotteen valmistus tapahtuu etukäteen suunnitellun valmistusaikataulun mukaisesti. Sen perusteella aikataulutetaan materiaalien toimitukset ja varastotäydennykset. Tämä toiminta vaatii ennakointia. Työntöperiaate soveltuu silloin, kun kapasiteettia ja materiaaleja on rajoitetusti. Resurssien käytön optimointi edellyttää suunnittelulta keskittämistä. /5/

Imuohjauksessa materiaalivirta aktivoidaan tulevaisuuden tarpeiden mukaan. Tämä johtaa siihen, että tehdään vain sen verran, mitä seuraava toimipiste tarvitsee. Tätä voidaan kutsua tarveohjautuvuudeksi. Imuperiaatteella toimitaan silloin, kun materiaaleja sekä kapasiteettia on riittävästi tai kun eri vaiheiden välillä vaihtelua on vain vähän. /5/

5.2. Varasto-ohjautuva tuotanto

Yleensä varasto-ohjautuva tuotanto (make-to-stock, MTS) on käytössä, kun on kyse vakiotuotteista, säilyvistä, tuotteiden elinkaari on pitkä, valikoima suppea ja toimitusaika lyhyt. Huonona puolena menetelmässä on se, että tuotteita valmistetaan varastoon, niin

MTS- muoto sitoo pääomaa. Kysyntäennusteiden tarkkuus määrittää valmistuksen oikean määrän. Varasto-ohjautuva toimitusketjun hallinta on push- menetelmä eli niin sanottu työntöohjausmenetelmä. /5/

5.3. Tilausohjautuva tuotanto

Tilausohjautuva tuotanto (make-to-order, MTO) on käytössä, jos kunkin tuoteryhmän kysyntä on vähäistä ja tuotevalikoima on laaja. Tämä johtaa pitkiin toimitusaikoihin ja tuotteiden yksikköhinta on korkeahko. Riskit ovat pienet, sillä MTO-ohjausmuodossa kapasiteetti sopeutetaan kysynnän mukaisesti. Tätä tilausohjautuvaa menetelmää kutsutaan niin sanotusti imuohjaus- eli pull- menetelmäksi. Myös tässä ohjausmuodossa varastoon sitoutuu pääomaa, koska komponentteja tarvitaan paljon. /5/

5.4. Asiakasohjautuva tuotannosuunnittelu

Kun lähtökohtana ovat asiakaskohtaiset tuotteet, joilla kysyntä on vaihtelevaa ja toimitusajat ovat pitkiä, niin silloin ohjausmuotona on asiakasohjautuva tuotesuunnittelu (engineer-to-order, ETO). ETO:ssa valmistuksen käyttöaste ei ole ratkaisevan tärkeä, niin kuin varasto-ohjautuvassa tuotannossa. /5/

5.5. Tuotannon ajoitus

Ajoituksen perustana on tuote-erän valmistusajan laskeminen. Kunkin työvaiheen vaatima tuotantoaika lasketaan kapasiteettitarpeiden perusteella. Tuotannon ajoituksessa on kaksi perusmenetelmää, eteenpäin- ja taaksepäin- ajoitus. /1/

Eteenpäin ajoituksen lähtökohtana on tuotannon aloitusajankohta. Tuotannon eri vaiheajat lasketaan yhteen ja lisätään aloitusajankohtaan, jolloin saadaan lopetusajankohta. Laskelmaa voidaan tarkentaa lisäämällä siirto- ja odotusajat eri vaiheiden väliin. /1/

Taaksepäin ajoituksessa lähtökohtana on puolestaan valmistusajankohta. Taas lasketaan eri vaiheiden vaatimat ajat yhteen ja vähennetään ne valmistusajankohdasta. Näin saadaan

selville, koska tuotanto on aloitettava, jotta tuote-erä saadaan ajoissa valmiiksi. Taaksepäin- ajoitus on useimmiten käytetty menetelmä. /1/

6. NYKYTILAN TARKASTELU

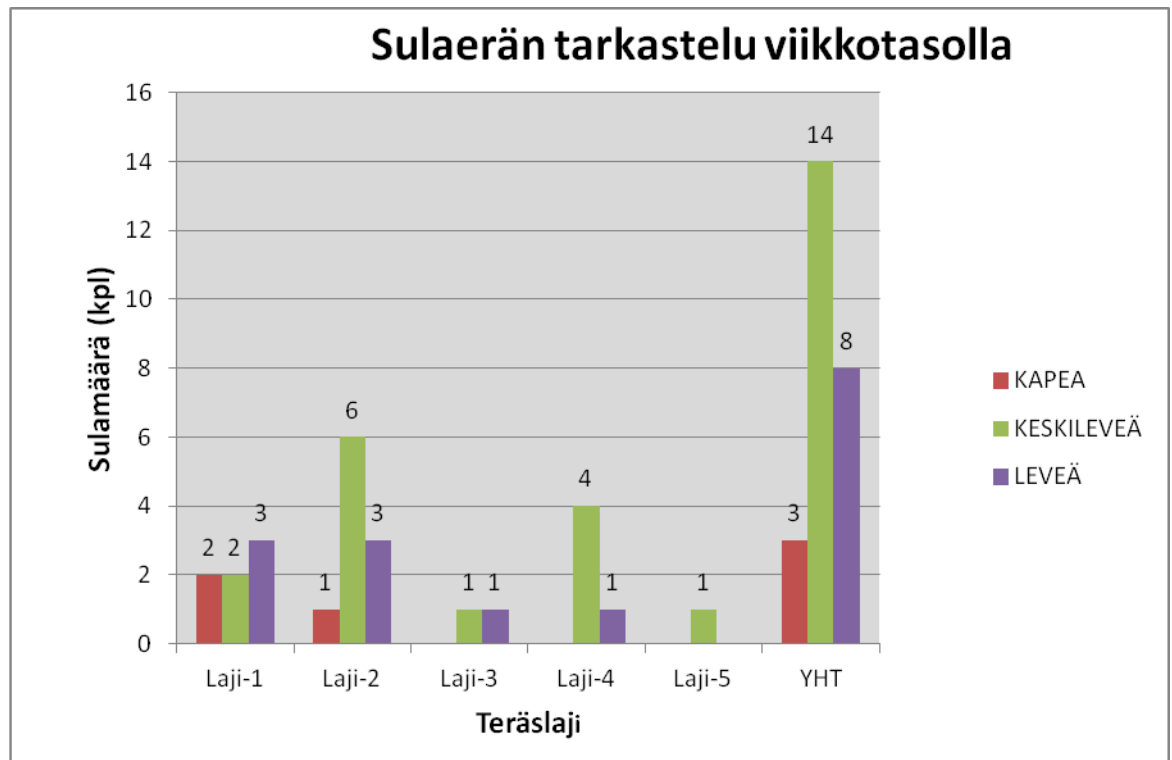
Ferriittistuotantoa käsitellään viikkoeräkohtaisesti. Viikkoerän tarkastelussa on huomioitu ferriittistuotanto ajalla 1.3.2012- 1.2.2013 ja sen mukaan annettu aihioleveydet sulatuksille. Ensin tutkitaan tämänhetkisiä viikkoeriä, jonka jälkeen tarkastellaan mahdollisuutta viikkoerän kaksinkertaistamiseen. Kootaan yhteen kaksinkertaistamisesta saavutettavat edut. Tarkastelussa huomioidaan sulatukset, valetut aihiot sekä aihiohionta.

Outokumpu Tornio Worksin sulattolinja 1:lla tehdään tällä hetkellä viittä eri ferriittistä teräslajia (Teräslajit 1-5). Ennen ferriittiserän valmistamista täytyy tarkistaa seuraavat olennaiset seikat. Täytyy tarkistaa, että käytössä on ferriittisiin teräslajeihin soveltuvaa, puhdasta rautaromua. Samalla on tarkistettava, että käytössä on parempilaatuista matalahiilistä kalkkia.

Valujärjestyksessä pitää olla suunniteltu teräslajit ja niiden erityisohjeet. Pääsääntönä voidaan pitää, että valetaan leveästä kapeaan. Kuitenkin siten, ettei jokaisen sulatuksen jälkeen tarvitsisi vaihtaa aloitusketjun päässä sijaitsevaa aloituspäätä. Tämä tehdään siksi, että aihiot ehditään hioa seuraavaan valssauserään. Tarvittaessa ferriittislistaa voidaan muuttaa senhetkiseen tuotantoon soveltuvaksi esimerkiksi laadullisten vaatimusten vuoksi.

6.1. Sulatusten tarkastelu viikkotasolla

Viikkoerää tarkastellaan toteutuneilla tuotantomäärillä. Viikkoerän sulamäärä tarkastelulla aikavälillä oli keskimäärin 25 sulatusta. Sulaerä on jakautunut eri teräslajeihin siten, että teräslajia 2 valmistettiin kymmenen sulatusta, teräslajia 3 kaksi sulatusta, teräslajia 1 seitsemän sulatusta, teräslajia 4 viisi sulatusta sekä teräslajia 5 yksi sulatus. Tarkastelun aikavälin keskimääräistä viikkoerän sulamäärää on tarkasteltu kuvassa 3.



Kuva 3. Tarkastelujakson viikkoerän sulamäärä

Sulatuserien lukumäärää pyritään minimoimaan ja niiden pituutta kasvattamaan, joka tarkoittaa vähemmän puhdistussulatuksia sekä valuvälejä. Puhdistussulatusten määrän vähenemisellä saavutetaan kustannussäästöjä.

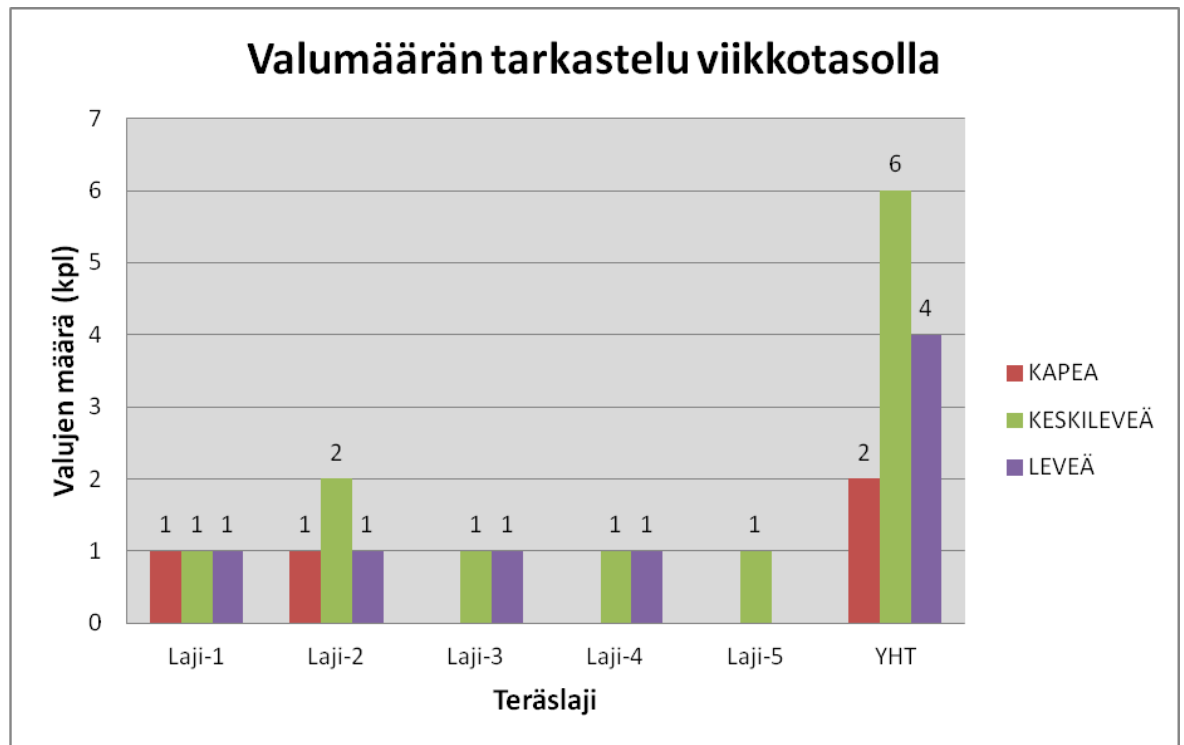
Puhdistussulatuksella tarkoitetaan sulatusta joka valmistetaan valokaariuunissa ennen ferriittisulaerän aloittamista. Sen pääperiaatteena on puhdistaa konverttereihin ja senkkoihin kiinnittyneet seosaineet. Puhdistussulatuksia valmistetaan yksi. Siihen ajetaan ylimääräistä energiaa, jotta uuni saadaan puhdistettua. Sulan lämpötila nousee ja kaadettaessa siirtosenkkaan myös siirtosenkka puhdistuu vaikuttavista seosaineista. Seosaine on yleensä kiinnittynyt senkan skollaan. Skollalla tarkoitetaan teräs- ja kuonajäänteitä, joita on jäänyt senkkaan kiinni edellisistä sulatuksista. Ferriittisiä sulatuksia valmistaessa on käytettävä hieman enemmän ylimääräistä energiaa verrattuna normaaleihin ruostumattomiin laatuihin. CRK:ssa tämän vaikuttavan seosaineen analyysi on oltava jo puhdistussulatuksella 0. /8/

Sekvenssivalussa pyritään mahdollisimman pitkään yhtenäiseen valutapahtumaan valukoneella, kuitenkin huomioiden määrälliset resurssit. Sulatuksiin ja ferriittiseriin vaikuttavat tilausmäärät ja tarkemmin ottaen vielä teräslajit sekä niiden leveydet. Tuotannon suunnittelu määrittää tilauskannan ja tarpeellisuuden mukaan sulaerään teräslajit sekä leveydet niille. Sulaerän yleisin leveys on keskileveä.

Sulamääriä tarkasteltaessa viikkotasolla huomataan kuinka tiettyjä terälajeja tehdään vain yksittäisiä sekä kahden sulan sekvenssejä eli ”tuplia”. Terässulaton 1-linjalla on kapasiteettia tehdä suurempia eriä kerralla. Sulamäärät ovat sidoksissa myyntiosastolta tuleviin asiakastilauksiin, jotka tuotannosuunnittelu osasto on koonnut sulatuslistaan. Sulatuslistan tuotannosuunnittelu lähettää MTS- järjestelmältä Qmatoon eli terässulaton- ja kuumavalssaamon tuotannonohjausjärjestelmään. Näistä keskenään yhteensopivista sulatuksista kerätään valusekvenssejä. Ferriittisjakson valusekvenssejä laatiessa tulee ottaa huomioon myös valujärjestys. Valujärjestyksen tulee olla sellainen, että tietyt seosaineet eivät saa enää vaikuttaa seuraavaa teräslajia valaessa. Myös tiukat asiakasrajat asettavat oman haasteellisuuden tietyissä teräslajeissa ja tämän vuoksi ne valetaan juuri oikeassa järjestyksessä.

6.2. Jatkuvavalun tarkastelu viikkotasolla

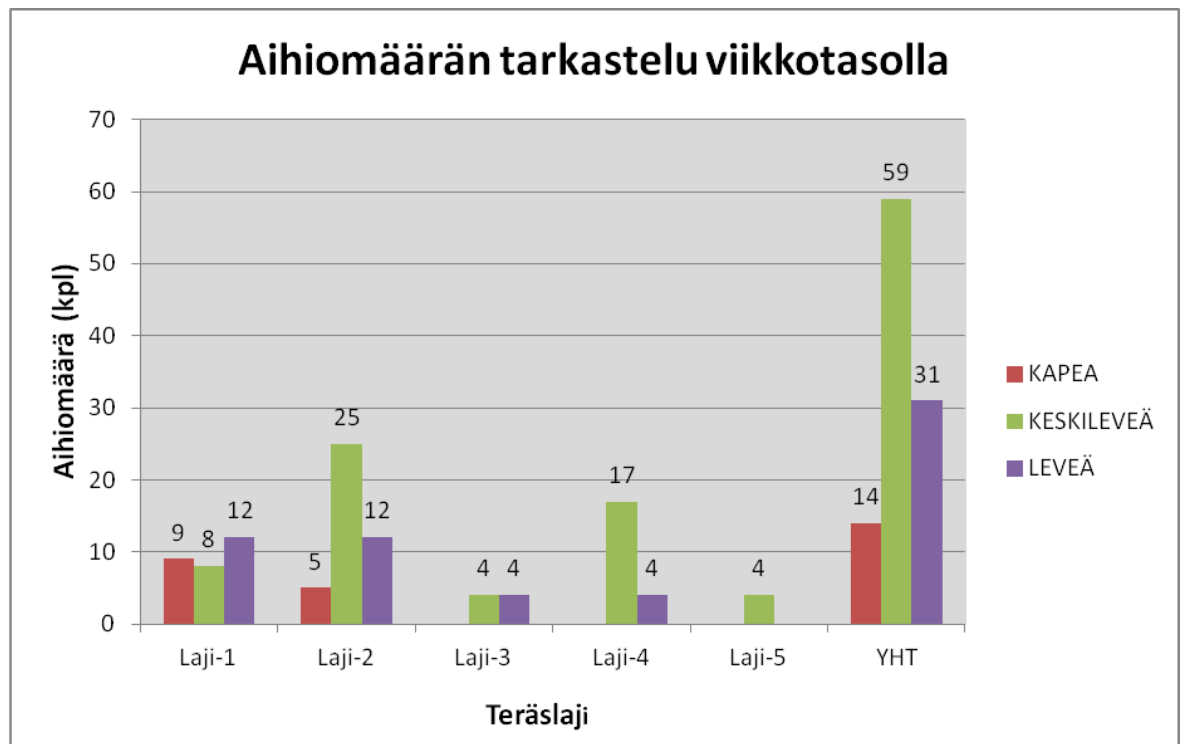
Jatkuvavalussa pyritään mahdollisimman pitkiin valusekvensseihin. Valusekvenssien pituutta rajoittava tekijä on käytössä olevien valuputkien elinikä. Yhdellä valuputkella maksimivaluaika ferriittisillä teräslajeilla on viisi tuntia. Viiden tunnin valuaika tarkoittaa, että sekvenssien pituus on maksimissaan viisi sulaa leveydestä riippuen. Valumääriä tarkasteltaessa huomataan, että ainoastaan teräslaji-2 keskileveällä joudutaan valamaan kahtena sekvenssinä. Valumäärät on esitetty kuvassa 4. Kun teräslajin 2 valusekvenssejä tarkastellaan, niin ne ovat kaksi kolmen sulan sekvenssiä. Teräslajin 2 maksimivalusekvenssin ollessa viisi senkkaa sulamäärä ei ole tässä tapauksessa optimaalinen tätä teräslajia valettaessa. Samaan asiaan törmätään myös muita teräslajeja valettaessa kun tarkastelussa on yksi viikkoerä. Lähes optimaaliseen valutulokseen sekvenssipituuden kannalta päästään teräslajilla 4 keskileveää kokoa valettaessa, koska sulamäärä on neljä (kuva 3) ja valumäärä tälle on yksi.



Kuva 4. Tarkastelujakson viikkoerän valumäärä

6.3. Aihiomäärän tarkastelu viikotasolla

Aihiomäärät pysyvät likipitäen samana yhtä sulaa kohti. Aihioita syntyy kapealla koolla valettaessa 5kpl/sulatus. Keskileveällä sekä leveällä koolla valaessa syntyy 4kpl/sulatus. Sulan panoskoosta riippuen sekvenssin viimeisen aihion pituus saattaa muuttua suunnitellusta. Aihiomäärien tarkastelussa on selvitetty aihiomäärät aihiotyyteittäin yhdessä viikkoerässä. Tarkasteluun otetussa yhdessä viikkoerässä aihioden kokonaismäärä on 104. Kuvassa 5 on esitetty tarkastellulla aikavälillä syntyneiden aihioden kappalemäärät viikotasolla.



Kuva 5. Tarkastelujakson viikkoerän aihiomäärät

Valukoneella syntyneet teräsaihiot jaetaan aihiotyyppeihin. Aihiotyyppinumeroille on omat merkityksensä. Tässä tarkastelussa kontaktiajat on huomioitu aihiotyypeille 1, 3 ja 0. Aihiotyypit on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Aihiotyypien merkitykset

Tyyppi	Merkitys
1	Valun ensimmäinen aihio
3	Väliaihio
0	Koko valun viimeinen aihio

Taulukossa 2 on esitetty, kuinka paljon erityyppisiä aihioita syntyy yhden sulaerän aikana.

Taulukko 2. Ahiomäärät ahiotyypeittäin viikkotasolla

TERÄSLAJI	KAPEA			KESKILEVEÄ			LEVEÄ		
	TYYPPI 1	TYYPPI 3	TYYPPI 0	TYYPPI 1	TYYPPI 3	TYYPPI 0	TYYPPI 1	TYYPPI 3	TYYPPI 0
Laji-1	1	7	1	1	6	1	1	10	1
Laji-2	1	3	1	2	21	2	1	10	1
Laji-3	0	0	0	1	2	1	1	2	1
Laji-4	0	0	0	1	15	1	1	2	1
Laji-5	0	0	0	1	2	1	0	0	0
YHT	2	10	2	6	47	6	4	23	4

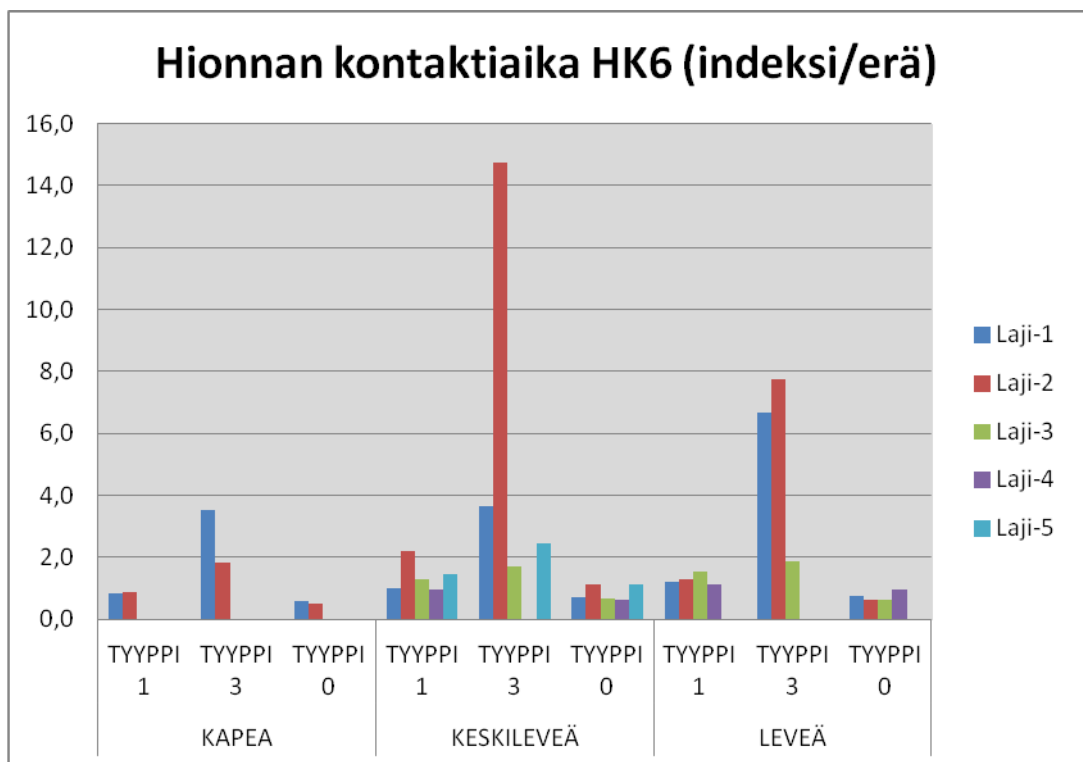
6.4. Hionta-ajan tarkastelu viikkotasolla

Ferriittisiä teräslajeja hiotaan paljon ja hiontakapasiteetti on yksi niiden tuotantoa rajoittava tekijä. Seuraavassa tarkastellaan hiomon kontaktiaikoja. Kontaktiajalla tarkoitetaan hiontatapahtumaa siitä, kun hiontakivi ottaa kontaktin hiottavaan aihioon ja loppuu siihen, kun aihio on hiottu valmiiksi. Kontaktiajat vaihtelevat hiontaohjelman, ahiroleveyden sekä teräslajin mukaan. On myös huomioitava, että teräslajia 1 ja teräslajia 4 ei tarvitse hioa kuumana. Hiontaan siirtäessä ahiologiikka tulee esille. Kuten kappaleessa 2.3 todettiin, ferriittisten teräslajien ahiot hiotaan pääasiassa kuumahiomakone HK-6:lla. Kuitenkin sekvenssien ensimmäiset, eli 1- tyypin ahiot, joiden hionta kestää pidempään, siirretään rullarataa tai hallinosturia käyttäen hiomakoneille KHK-4 ja KHK-5. Näin menettelemällä saadaan HK6:n kapasiteetti keskitettyä valusta tuleville 3- tyypin väliaihioille, joiden hionta-aika on huomattavasti muita lyhyempi. Hionnan kontaktiaikojen jakautuminen nähdään taulukossa 3. Siitä nähdään hyvin, kuinka teräslajien 1 tyypin ahiot vievät huomattavasti enemmän aikaa kun 3- ja 0 -tyypin ahioiden hionnat. Indeksi 1 =keskimääräinen hiontatapahtuman kesto ahiota kohti.

Taulukko 3. Hionnan kontaktiajat aihiotyypeittäin (indeksi/aihiö)

TERÄSLAJI	KAPEA			KESKILEVEÄ			LEVEÄ		
	TYYPPI 1	TYYPPI 3	TYYPPI 0	TYYPPI 1	TYYPPI 3	TYYPPI 0	TYYPPI 1	TYYPPI 3	TYYPPI 0
Laji-1	0,8	0,5	0,6	1,0	0,6	0,7	1,2	0,7	0,8
Laji-2	0,9	0,6	0,5	1,1	0,7	0,6	1,3	0,8	0,6
Laji-3	1,2	0,8	0,8	1,3	0,9	0,7	1,5	0,9	0,6
Laji-4	0,5	0,0	0,4	1,0	0,0	0,6	1,1	0,0	1,0
Laji-5	1,1	0,9	1,0	1,5	1,2	1,1	1,6	1,2	1,2
KESKIARVO:	0,9	0,6	0,7	1,2	0,7	0,7	1,4	0,7	0,9

Kuvassa 7 on esitetty viikkoerän hionta-ajat hiomakoneella HK6. Sen mukaan teräslaji-2 kuormitti eniten aihiohiomoa tarkastellulla aikavälillä. Yhdessä viikkoerässä valettiin pääasiassa teräslaji-2 keskileveää valua, mutta myös suuri osa on valettu täysleveänä. Teräslajin-2 kannalta tärkeintä on, että se hiotaan kuumana.

**Kuva 7. Hionnan kontaktiaika HK6 (indeksi/viikkoerä)**

7. VIIKKOERÄ KAKSINKERTAISTETTUNA

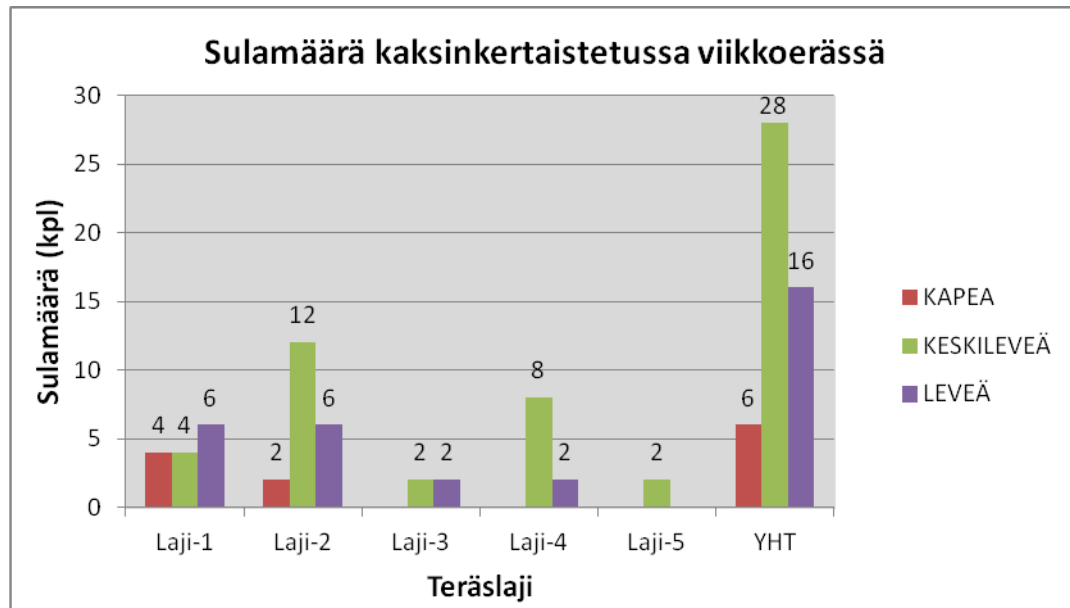
Ensimmäisessä skenaariossa tarkastellaan viikkoerän kaksinkertaistamisen vaikutuksia ferriittituotantoon. Kaksinkertaistetun viikkoerän tarkastelussa on huomioitu ferriittituotanto ajalla 1.3.2012 - 1.2.2013. Tämän aikavälin tuotannon sulamäärät on laskennallisesti kaksinkertaistettu, jonka pohjalta on lähdetty tarkastelemaan, miten se vaikuttaa valusekvenssien pituuksiin ja hionta-aikoihin. Taulukossa 3 on esitettyä nykyhetken ja skenaario 1:n välisiä valusekvenssien pituuseroja. Taulukossa valusekvenssin maksimipituudelle on annettu arvo 1. Arvon 1 ylittävät sulamäärät valetaan kahdessa sekvenssissä. Arvon 2 ylittävät kolmessa sekvenssissä jne.

Taulukko 3. Viikkoerien vertailu nykyhetken ja skenaario 1 välillä

Nykyhetki					
Teräslaji	Kapea	Keskileveä	Leveä	Yht:	Sekvenssimäärä
1	0,4	0,4	0,75	1,55	3
2	0,2	1,2	0,75	2,15	4
3		0,2	0,25	0,45	2
4		0,8	0,25	1,05	2
5		0,2		0,2	1
Skenaario 1					
Teräslaji	Kapea	Keskileveä	Leveä	Yht:	Sekvenssimäärä
1	0,8	0,8	1,5	3,1	4
2	0,4	2,4	1,5	4,3	6
3		0,4	0,5	0,9	2
4		1,6	0,5	2,1	3
5		0,4		0,4	1

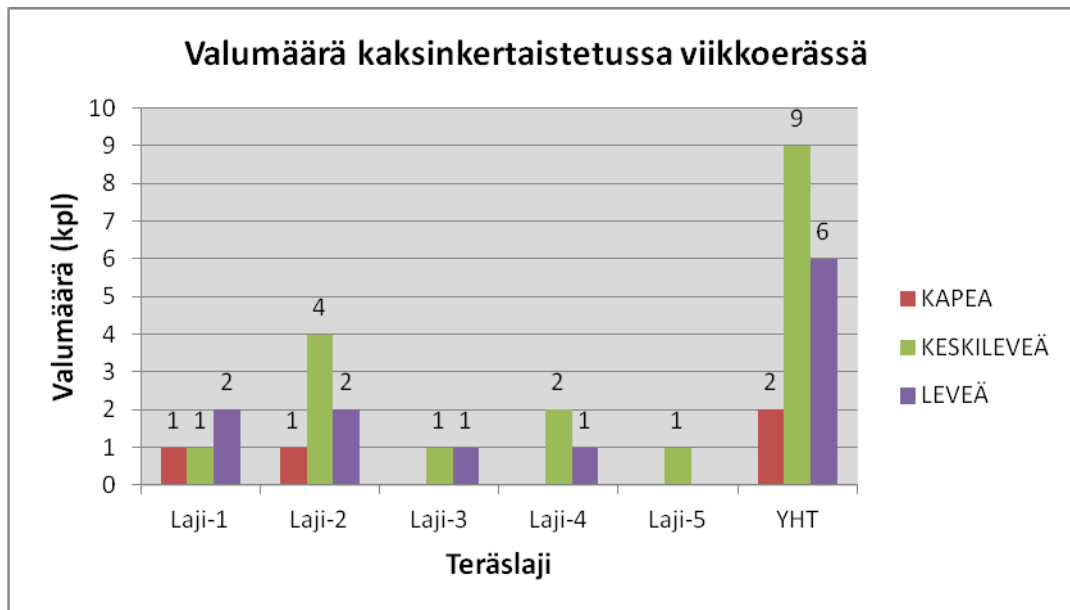
Taulukkoa 3 tarkasteltaessa huomataan, että sulamäärien kasvaessa saadaan useilla teräslajeilla pidempiä valusekvenssejä aikaiseksi, eikä niiden valumäärä kasva. Tämä tarkoittaa sitä, että samalla valumäärällä pystytään tekemään pidempiä, eli optimaalisempia sekvenssejä jokaisen teräslajin omat rajoitteet huomioiden. Kuten aikaisemmin työssä on viitattu maksimi valuajan olevan viisi tuntia. Tämän valuajan puitteissa ja muut rajoitteet huomioiden nähdään, että esim. teräslaji-1 kapealla koolla sulamäärän kaksinkertaistuksessa

valumäärä ei kaksinkertaistu. Kuvassa 8 on esitetty sulamäärän kaksinkertaistamisen vaikutus sulamäärän jakautumiseen eri teräslajien kesken.



Kuva 8. Kaksinkertaistetun viikkoerän sulamäärät

Viikkoerän kaksinkertaistamisella saadaan hyötyjä eri prosessipaikoille. Kaksinkertaistaminen vähentää puhdistussulatusten valmistamista yhdellä. Yhteen puhdistussulatukseen tulee kustannuksia sekä tuotantoajan menetystä. Valukoneella valuvälejä saadaan vähennettyä seitsemän kappaletta. Valuvälien määrä laskee, koska lyhyemmät sekvenssit voidaan yhdistää pidemmäksi sekvenssiksi. Valuvälin kustannuksia valukoneella aiheuttavat mm. uusi valuputki, stoppari sekä aloituspään tiivistys. Uuden väliältäan massauskustannukset sekä vähemmän alimittaisia aihioita, jotka romutetaan. Kuvassa 9 on esitetty valumäärät kaksinkertaistetussa viikkoerässä.



Kuva 9. Kaksinkertaistetun viikkoerän valumäärät

7.1. Kaksinkertaistetun viikkoerän aihiomäärät

Sulamäärän kaksinkertaistuksessa myös aihiomäärät kaksinkertaistuvat. Ero nykytilan ja skenaario 1:n välillä saadaan aihiotyypeissä. Niiden jakauma muuttuu. Tämä johtuu siitä, kun valu ei välillä lopu, niin ei pääse syntymään tyyppin 1 ja 0 aihioita. Tyyppin 1 ja 0 aihoiden väheneminen tarkoittaa pienempää hiontakapasiteetin tarvetta ja parempaa saantia hionnassa. Taulukossa 4 on esitetty aihiomäärät aihiotyypeittäin kaksinkertaistetussa viikkoerässä.

Taulukko 4. Aihiomäärä aihiotyypeittäin kaksinkertaistetussa viikkoerässä

TERÄSLAJI	KAPEA			KESKILEVEÄ			LEVEÄ		
	TYYPPI 1	TYYPPI 3	TYYPPI 0	TYYPPI 1	TYYPPI 3	TYYPPI 0	TYYPPI 1	TYYPPI 3	TYYPPI 0
Laji-1	1	17	1	1	15	1	2	19	2
Laji-2	1	7	1	4	42	4	2	19	2
Laji-3	0	0	0	1	6	1	1	6	1
Laji-4	0	0	0	2	30	2	1	6	1
Laji-5	0	0	0	1	6	1	0	0	0
YHT	2	24	2	9	100	9	6	50	6

Taulukosta 5 nähdään, että valun ensimmäisten aihoiden määrä vähenee 3,3 %, väliaihoiden määrä kasvaa 8,8 % ja valun viimeisten aihoiden määrä vähenee 3,3 %. Voidaankin todeta, että valuvälit vähenevät ja sekvenssipituudet kasvavat.

Taulukko 5. Aihiotyyppien suhteellinen osuus nykytilan ja skenaario 1:n välillä.

	Aihiotyyppi		
	1	3	0
Nykytila	11,5 %	76,9 %	11,5 %
Skenaario 1	8,2 %	83,7 %	8,2 %

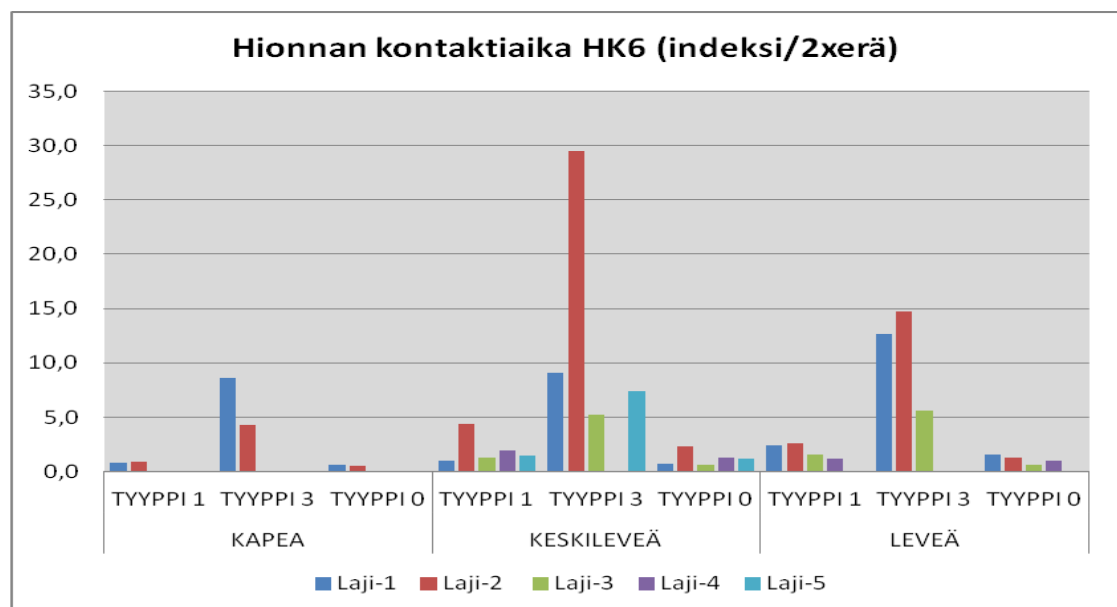
7.2. Kaksinkertaistetun viikkoerän kontaktiajat hionnassa

Hionta-aikoja tarkastellessa huomataan, että kaksinkertaistetussa viikkoerässä 1 ja 0 tyyppin aihoiden hionta-ajat ovat kaksinkertaistuneet ainoastaan teräslajeilla 1 leveä, 2 leveä ja 2 keskileveällä koolla. Taulukossa 6 on verrattu nykyhetken tilannetta skenaario 1:een. Taulukosta nähdään, kuinka paljon indeksoitu hionnan kontaktiaika kasvaa kaksinkertaisella viikkoerällä.

Taulukko 6. Indeksoidun hionta-ajan kasvu kaksikertaisella viikkoerällä.

Teräslaji	Kapea			Keskileveä			Leveä		
	Tyyppi 1	Tyyppi 3	Tyyppi 0	Tyyppi 1	Tyyppi 3	Tyyppi 0	Tyyppi 1	Tyyppi 3	Tyyppi 0
Laji-1	1,0	2,5	1,0	1,0	2,5	1,0	2,0	1,9	2,0
Laji-2	1,0	2,3	1,0	2,0	2,0	2,1	2,0	1,9	2,2
Laji-3				1,0	3,1	1,0	1,0	2,9	1,0
Laji-4				2,0	0,0	2,2	1,0	0,0	1,0
Laji-5				1,0	3,0	1,0			

Näihin tuloksiin päästään sillä, että pystytään valamaan pidempiä sekvenssejä valukoneella. Nykyhetken tilanteen mukaan 1 tyyppin aihiot hiotaan mahdollisuuksien mukaan hiomakoneilla 4 ja 5. Tällä menetelmällä Hiomakone 6 voi hioa ainoastaan väliaihiota, joiden hionta-ajat ovat lyhyempiä. Kuvassa 10 on esitetty hionnan kontaktiajat kaksinkertaistetussa viikkoerässä hiomakoneella 6.



Kuva 10. Hionnan kontaktiaika HK6 (indeksi/2xerä)

Kaksinkertaistamisella vähenee myös yksi lisähionta 0- ja 1-tyyppin aihioista teräslaji-4:sta. Niin kuin tekstissä on aikaisemmin esitetty (ks. kappale 7 sivu 24) skenaario 1:ssä seitsemän valuväliä vähenee. Niissä syntyy yhteensä seitsemän 0- tyyppin ja seitsemän 1-tyypin aihiota eli yhteensä 14 hiottavaa aihiota vähemmän (taulukko 7).

Taulukko 7. Aihiotyyppien muutos nykytilanteen ja skenaario 1:n välillä

	Kapea		Keskileveä		Leveä		Yht:
	tyyppi 1	tyyppi 0	tyyppi 1	tyyppi 0	tyyppi 1	tyyppi 0	
Nykyhetki*2	4	4	12	12	8	8	48
Skenaario 1	2	2	9	9	6	6	34

8. VIIKKOERIEN TASAPAINOTTAMINEN

Tässä kappaleessa tarkastellaan skenaariota, jossa kokonaissulamäärä on kaksinkertainen nykytilanteeseen, (ks. kappale 6) verrattuna, mutta se valmistetaan erissä. Tässä tarkastelussa eräko on neljä (4). Tavoitteena on tehdä suunnitelma, jossa tasapainotetaan sulaerät. Sulaerien tasapainottamisella tarkoitetaan sitä, että teräslajeista riippumatta ne on suunniteltu eriin siten, että erien hionta-ajat on saatu likipitään yhtä pitkiksi. Sen lisäksi, että erien hiontakestot saadaan lähes yhtä pitkiksi, niin pyritään valusekvenssit saamaan maksimaalisemmiksi.

Taulukossa 8 on esitetty tasapainottamisen etuja nykyhetkeen verrattuna. Suurimpia etuja saavutetaan, koska valusekvenssien pituutta voidaan kasvattaa lähemmäs maksimi pituutta.

Taulukko 8. Tasapainottamisen edut jatkuvavalukoneella nykyhetkeen verrattuna

	Sulatuspituus	Valuspituus	Sekvenssipituus (keskiarvo)
Nykyhetki	25	12	2
Tasapainotettu erä 1.	23	6	4
Tasapainotettu erä 2.	30	8	4
Tasapainotettu erä 3.	23	6	4
Tasapainotettu erä 4.	24	7	4

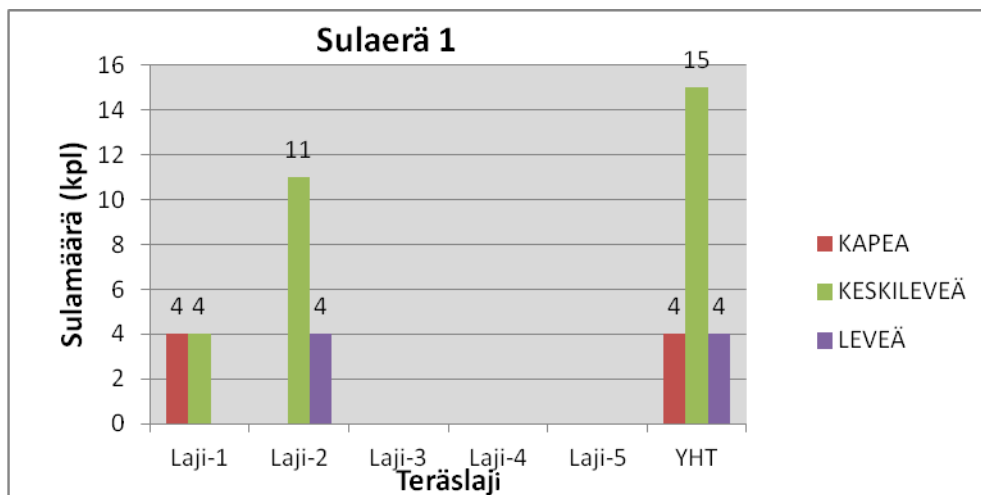
Nykytilanteessa sekvenssin keskiarvopituus tarkastelluilla teräslajeilla on 2 sulatusta, mutta tasapainottamalla päästään 4 sulatukseen. Näillä pidemmällä sekvensseillä saavutetaan myös se, että valumäärät lähes puolittuvat nykyhetkeen nähden. Valumääriin vaikuttaa lisäksi se, kuinka teräslajit jaetaan eriin. Teräslajeja ei tule suunnitella eriin siten, että yhtä teräslajia tehdään vain 2 sulatusta, vaan on lähdettävä siitä, että niitä tehdään 4 tai 5 sulatusta erässä. Näin ollen saadaan jatkuvavalukoneesta mahdollisimman suuri hyöty irti.

Kuumanapitokuopan rajallinen aihiokapasiteetti asettaa oman haasteensa. Tasapainotuksessa on tarkasteltu, myös sen kapasiteetin riittävyyttä. Sulaerät on pyritty ajoittamaan siten, että aihiokuumahiomo pysyy tuotannon mukana, eikä ole ns. ”pullonkaula”. Viikkoerät poikkeavat toisistaan sulamäärältään ja teräslajien osalta. Ne on suunniteltu siten, että valmistus tapahtuu noin kahden viikon syklillä, eli kaksi erää viikkoa kohti.

Erien sisältö on tasapainotettu hionnan kannalta, sillä joka toisessa erässä valetaan pääasiassa ferriittisiä teräslajeja joita ei tarvitse hioa kuumana. Tämä antaa hiomolle sekä kuumanapitokuopille aikaa suoriutua edellisen erän hionnoista ennen seuraavan erän alkamista. Erien tasapainottamisen ideana on käyttää sulajärjestystä eräänlaisena puskurina aihiohiomon kapasiteetin tasaajana.

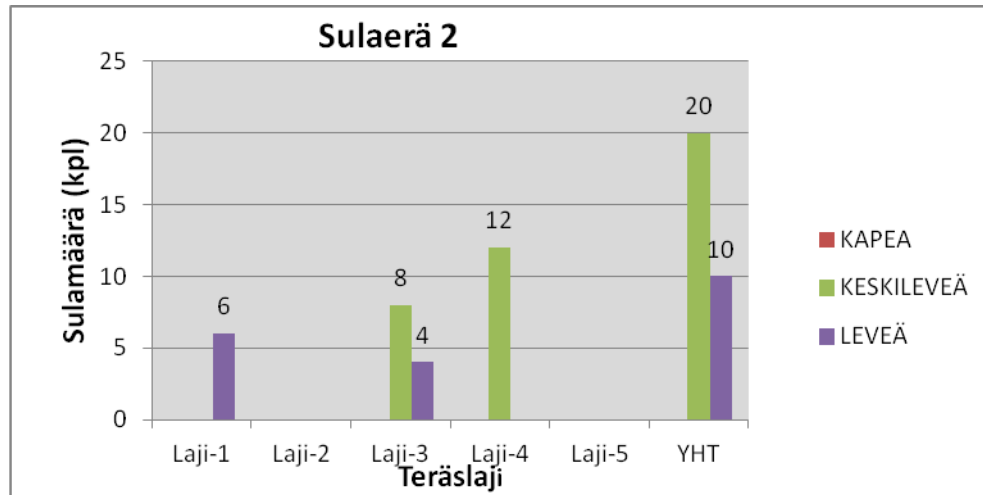
8.1. Sulaerien vertailu

Sulaerään 1 on suunniteltu suurelta osin kuumana hiottavia teräslajeja. Kuumana hiottavien sulatuksia on yhteensä 15 senkallista. Valtaosa keskileveällä koolla ja teräslajia 2. Sulia erässä on yhteensä 23, joka on hieman nykyhetken ferriittiserää vähemmän. Kuvassa 11 on esitetty sulamäärän jakautuminen teräslajeittain 1 erässä.



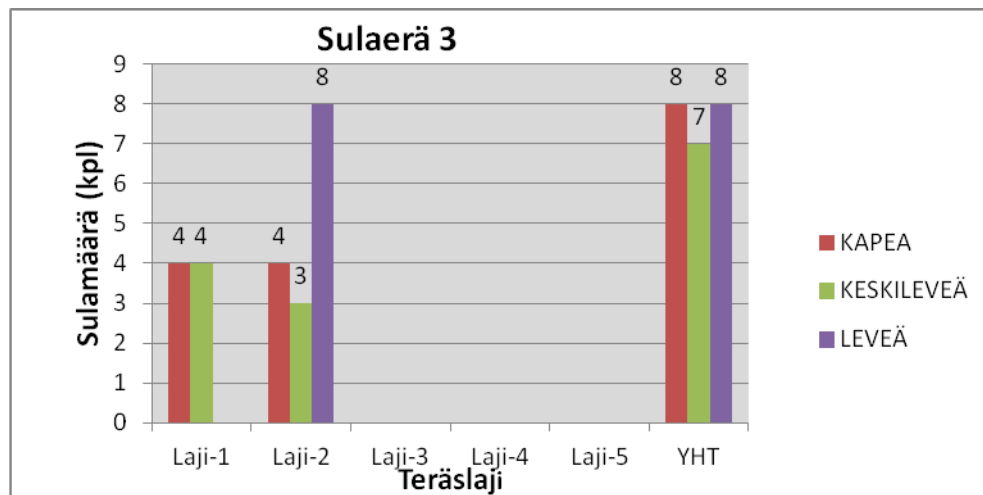
Kuva 11. Sulamäärät erässä 1/4

Sulaerään 2 on suunniteltu suuri määrä teräslajia 4. Tällä on pyritty antamaan lisää aikaa ahiokuumahiomolle selviytyä Sulaerän 1 aiheuttamasta kuormituksesta. Teräslaji-4:n valusekvensseistä hiotaan ainoastaan valun ensimmäinen ja viimeinen aihio, näin ollen hiomon kuormitus teräslajilla 4 on pieni. Sulia erässä on 30, joka on joukon suurin määrä. Kuvassa 12 on esitetty sulamäärän jakautuminen teräslajeittain 2 erässä.



Kuva 12. Sulamäärät erässä 2/4

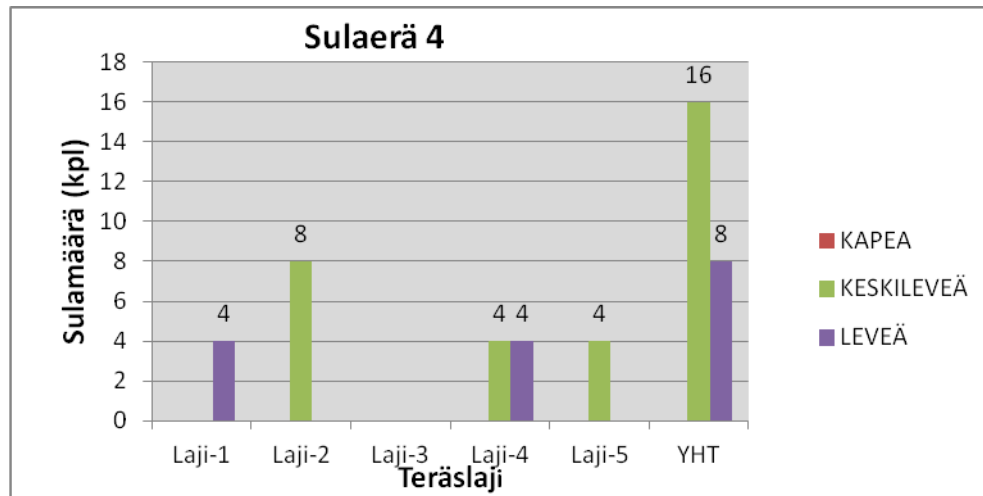
Sulaerässä 3 valetaan ainoastaan teräslajeja 1 ja 2. Sulaerän koko on 23 sulatusta. Siihen on suunniteltu paljon kuumahiottavia aihioita, joita on yhteensä 15 sulatusta. Tämä on mahdollista, sillä sulaerä 2 ei ylikuormita ahiokuumahiomota. Kuvassa 13 on esitetty sulamäärän jakautuminen teräslajeittain 3 erässä.



Kuva 13. Sulamäärät erässä 3/4

Sulaerään 4 on suunniteltu loput sulatukset. Siinä valetaan teräslajeja 1, 2, 4 ja 5. Tässä erässä on huomioitava, että tietyt seosaineet eivät saa enää vaikuttaa seuraavaa teräslajia

valaessa, josta seuraa tietty valujärjestys. Tässä erässä on yhteensä 24 sulatusta. Kuvassa 14 on esitetty sulamäärän jakautuminen teräslajeittain 4 erässä.



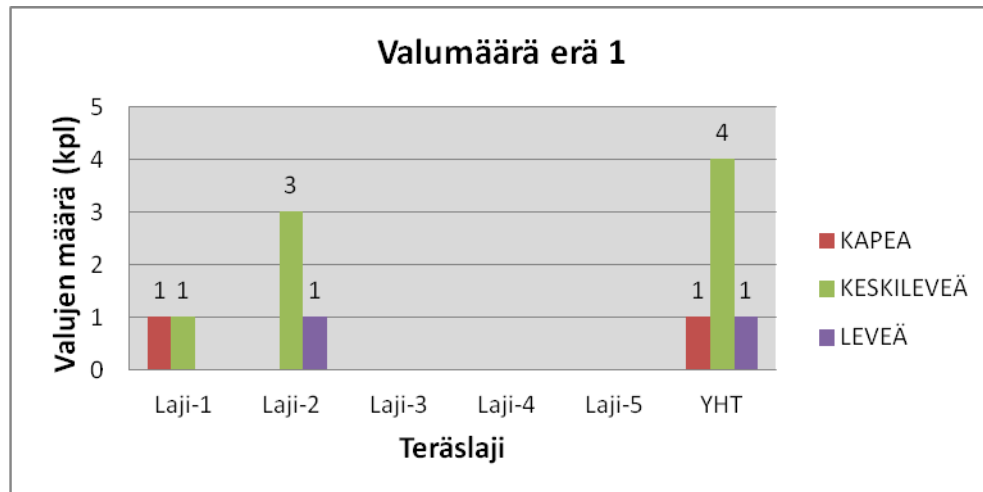
Kuva 14. Sulamäärät erässä 4/4

8.2. Valumäärien vertailu

Valumäärien vertailussa on pyritty kasvattamaan valusekvenssien pituudet mahdollisimman lähelle maksimia. Teräslajien jakamisella neljään erään vältetään lyhyiltä valusekvensseiltä ja saadaan myös taloudellista hyötyä vähenevillä valuväleillä ja tuotantotehokkuudella. Valusekvenssien keskiarvopituudet ovat jokaisessa valuerässä neljä senkallista. Tässä tarkastelussa viiden senkan sekvensseihin olisi ollut mahdollisuus useaa teräslajia tehdessä, mutta huomattavaa lisähyötyä siitä ei saada. Esimerkiksi kahdeksan senkan sekvenssistä olisi voitu valaa viiden ja kolmen senkan sekvenssi. Viiden senkan sekvenssissä on omat haasteet muun muassa valukoneen kuromisen vuoksi. Kurominen tapahtuu valuputkessa, jolloin sula teräs alkaa jähmettyä putken sisäosiin ja hidastaa sulan virtausta kokilliin. Lisäksi tulisi yksi valuväli riippumatta siitä valetaanko neljän vai viiden sulan sekvenssi kahdeksasta.

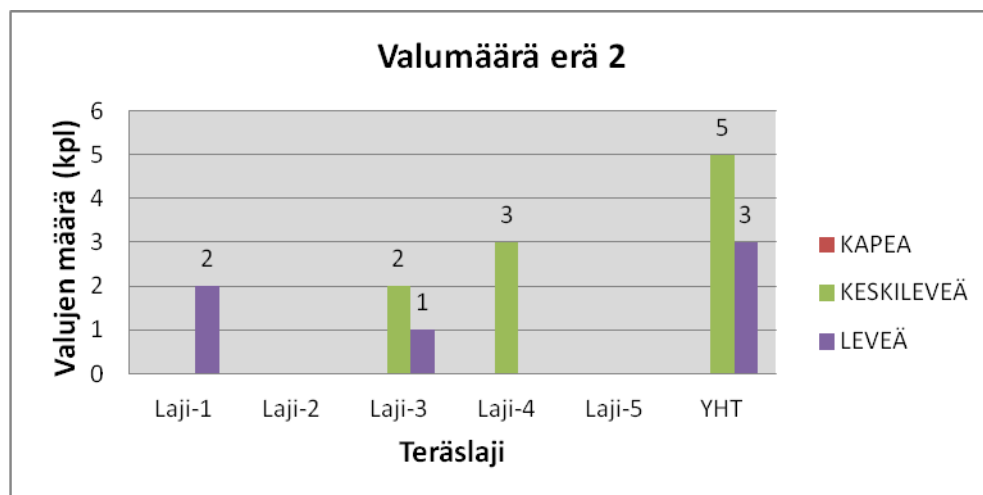
Nykyhetken valusekvenssien pituudet ferriittiserää valettaessa ovat keskimäärin kaksi senkallista. Se on vähän siihen nähden, että käytettäisiin JVK1:n kapasiteetti maksimaalisesti hyödyksi. Sulaeriin jakamalla ja tasapainottamalla voidaan teräslajit ja niiden leveydet jakaa siten, että valukoneesta saadaan enemmän hyötyä irti.

Esimerkkitapaukseksi otetaan teräslaji-1: Normaalin viikkoerän yhteydessä teräslajia 1 valetaan seitsemän sulaa. Sulat on jaettu niin, että valetaan kaksi kapeaa, kaksi keskileveää ja kolme leveää. Tulee siis kolme valusekvenssiä seitsemälle sulalle. Tasapainottamalla eriin tämä voidaan jakaa siten, että kasvatetaan sulamäärää kahdeksaan ja valetaan neljän senkan sekvenssi kapeaa ja neljän senkan sekvenssi keskileveää. Kuvassa 15 on esitetty valumäärät erässä 1.



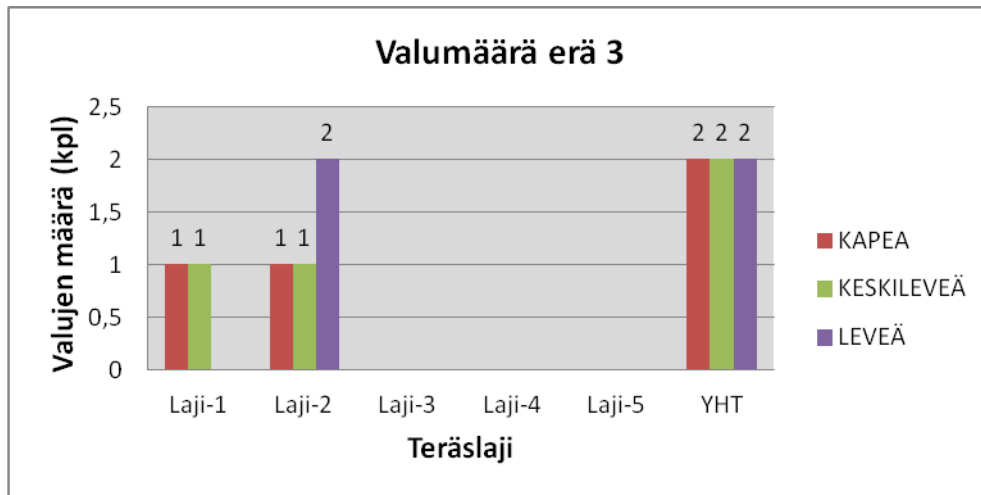
Kuva 15. Valumäärät erässä 1/4

Leveät aihiot valettaisiin seuraavassa erässä. Tällä toimenpiteellä päästään kahteen valusekvenssiin, jotka pituudeltaan olisivat optimaalisia, eli neljä senkallista. Kuvassa 16 on esitetty valumäärät erässä 2.



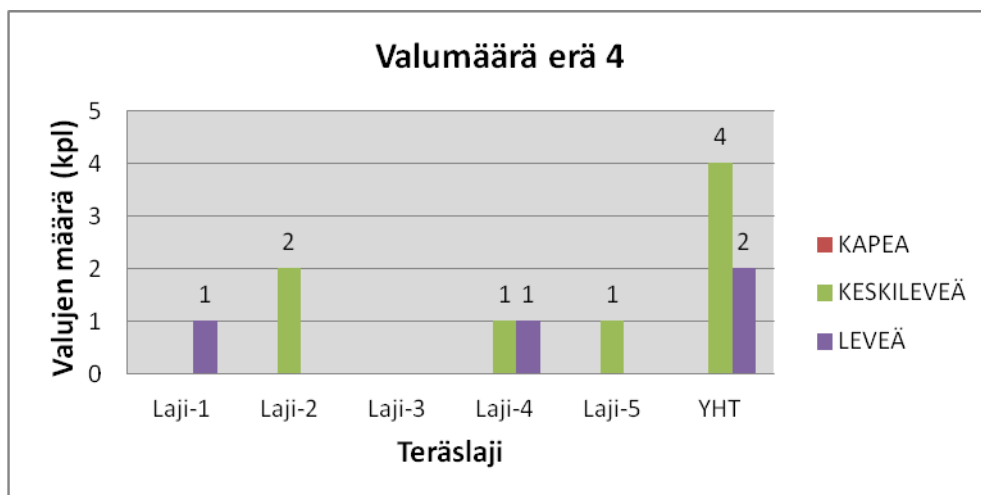
Kuva 16. Valumäärät erässä 2/4

Erä 3 saadaan suoritettua kuudella valusekvenssillä. Jokaista leveyttä valetaan kaksi sekvenssiä. Tässä erässä sekvenssien pituuksien keskiarvo on neljä sulatusta, jota voidaan pitää hyvänä. Kuvassa 17 on esitetty valumäärät erässä 3.



Kuva 17. Valumäärät erässä 3/4

Viimeiseen valuerään sijoitetaan loput sulatukset. Kapealla koolla ei tässä erässä valeta yhtään sulatusta. Keskileveitä ja leveitä valetaan yhteensä kuusi sekvenssiä. Tähän erään on sijoitettu kaikki teräslajin-5 sulatukset, jolloin ne voidaan valaa yhdessä sekvenssissä kaikki. Kuvassa 18 on esitetty valumäärät erässä 4.



Kuva 18. Valumäärät erässä 4/4

8.3. Ahiomäärät ja hionta-ajat

Suuria määriä kuumana hiottavia teräslajeja valettaessa tulee varmistaa ahiomäärän varastoinnin kapasiteetin riittävyys. Kuumana hiottavien ahioiden varastointiin tarkoitetun kuumanapitokuopan maksimitäytön ollessa 100 ahiota on varmistuttava siitä, että kuoppa ei ylitäy. Laskenta osoitti, että leveää kokoa valaessa teräslajia 2 pystytään valamaan 30 tuntia, ennen kuin kuumanapitokuoppa alkaa ylitäytyä. Tähän laskutoimitukseen on huomioitu ainoastaan HK6. Kun mukaan lasketaan myös Hiomakoneet 4 ja 5, niin kokonaisvalupituudeksi on laskettu n. 40 tuntia. Tässä ajassa voidaan valaa n. 45 senkallista. /3/

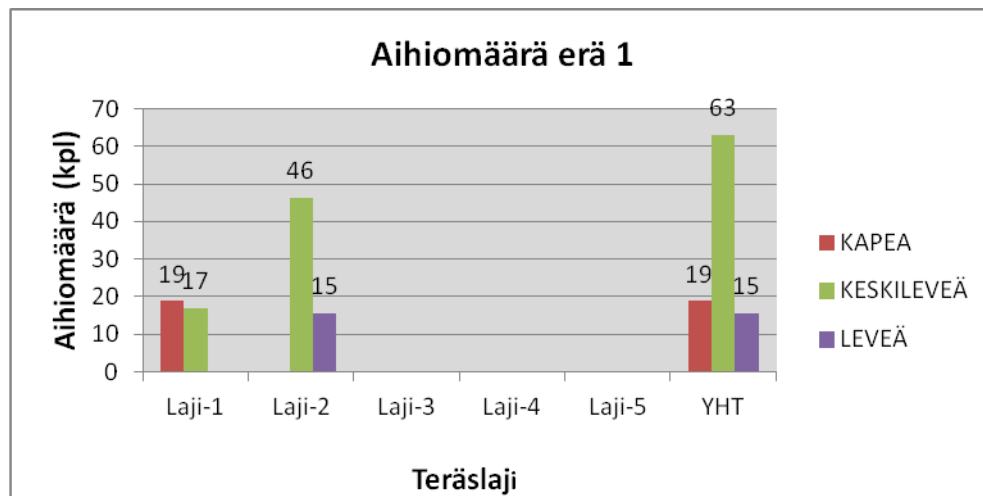
Taulukossa 9 on esitetty, millaisia etuja saavutetaan ahiokuumahiomossa erien tasapainotuksella. Kuten taulukosta voidaan nähdä, niin ahiota syntyy joka toiseen erään enemmän. Myös kuumana hiottavat on jaettu samalla tavalla. Tasapainottamalla eriä saavutetaan etuja tasaisemmalla kuormituksella ahiokuumahiomoon sekä kuumanapitokuoppiin. Eräkohtaisten hiontaindeksien keskiarvo on samaa luokkaa, kuin nykyhetken hiontaindeksi, joten huomattavaa ajallista hyötyä ei hionnoissa saavuteta.

Taulukko 9. Tasapainottamisen edut ahiokuumahiomossa nykyhetkeen verrattuna

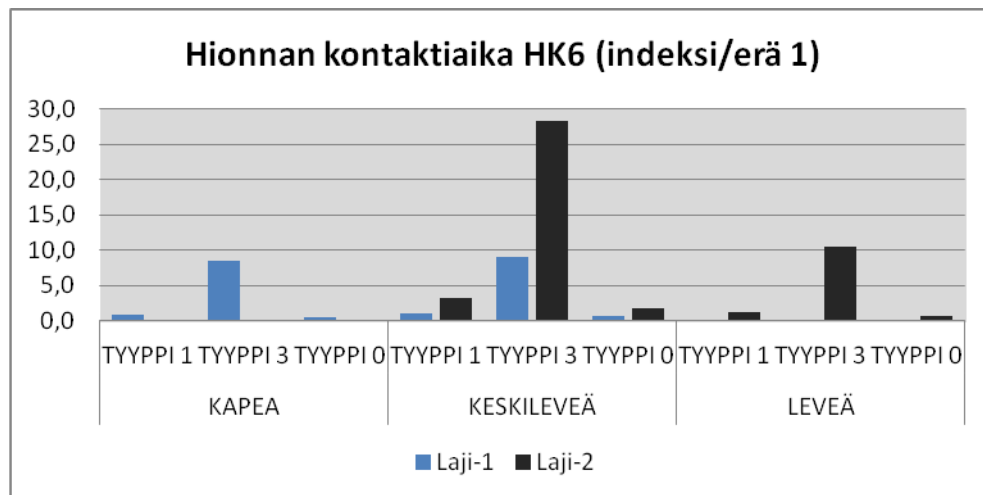
	Ahiomäärä	hiottavia	Kuumana hiottavia	Erän hiontaindeksi
Nykyhetki	104	87	54	125
Tasapainotettu erä 1.	97	97	61	129
Tasapainotettu erä 2.	123	79	50	122
Tasapainotettu erä 3.	98	98	50	129
Tasapainotettu erä 4.	106	78	50	112

Hionta-aikoja vertaillessa on hyvä kiinnittää huomiota, kuinka kylmänä ja kuumana hiottavat teräslajit ovat jaettu suhteessa toisiinsa. Tällä tasapainotuksella saadaan kuumanapitokuopan kapasiteetti riittämään ja ahiokuumahiomon käyttöaste korkeaksi. Hiontakapasiteettiin on laskettu vain hiomakone 6, lukuun ottamatta hiomakoneille 4 ja 5 siirrettävät valun ensimmäiset ahiot, eli tyyppin 1-ahiot. Hiontaindeksi on jokaiselle erälle laskettu 85 % käyttöasteen mukaan.

Aihiomäärien vertailussa erä 1:ssä kuumana hiottavien aihoiden määrä on 61 aihiota ja kylmänä hiottavia erässä on 36. Kuumana hiottavien kokonaishionta indeksi on 87, kokonaisuudessaan tämän erän hiottavien aihoiden hiontaindeksi 129. Kokonaishiontaindeksi 129 on eristä korkein. Se johtuu suuresta syntyneiden aihoiden määrästä ja siitä, että kaikki erässä syntyvät aihiot hiotaan. Kuumana hiottavien aihoiden määrä koostuu kokonaan teräslajista 2. Kuvassa 19 on esitetty aihiomäärät erässä 1. Kuvassa 20 on esitetty hionnan kontaktiajat erässä 1.

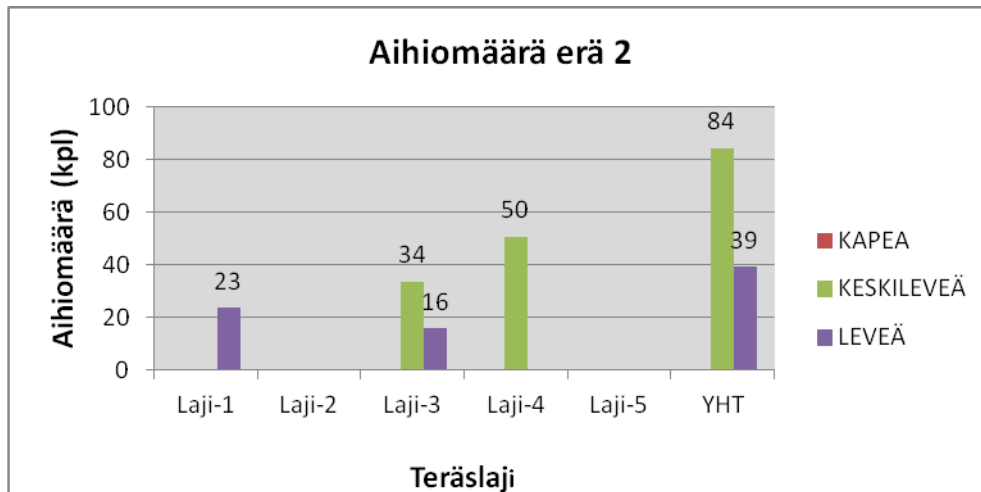


Kuva 19. Aihiomäärät erässä 1/4

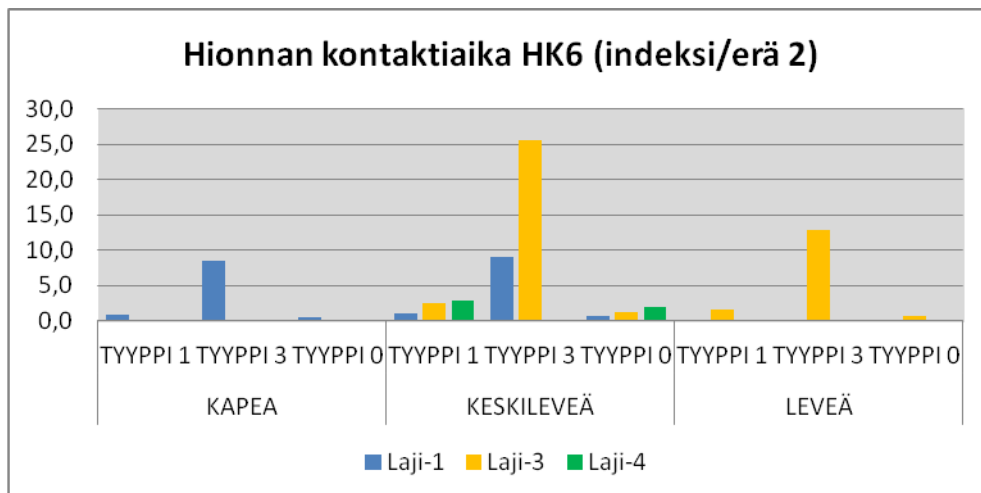


Kuva 20. Hionnan kontaktiaika erässä 1/4

Erässä 2 kuumana hiottavien aiheiden määrä on 50 aiheita ja kylmänä hiottavia erässä on 23. Lisäksi hiontamäärää kasvattaa kuudella aiheilla teräslajin 4 1 ja 0 tyyppin aiheita. Teräslajin 4 aiheityypin 3 määrä on 44, mutta kyseisiä aiheita ei hiota, ellei niissä havaita pintavikoja. Kuumana hiottavien kokonaishionta indeksi on 81. Kokonaisuudessaan tämän erän hiottavien aiheiden hiontaindeksi on 122. Kuvassa 21 on esitetty aiheilmäärät erässä 2. Kuvassa 22 on esitetty hionnan kontaktiajat erässä 2.

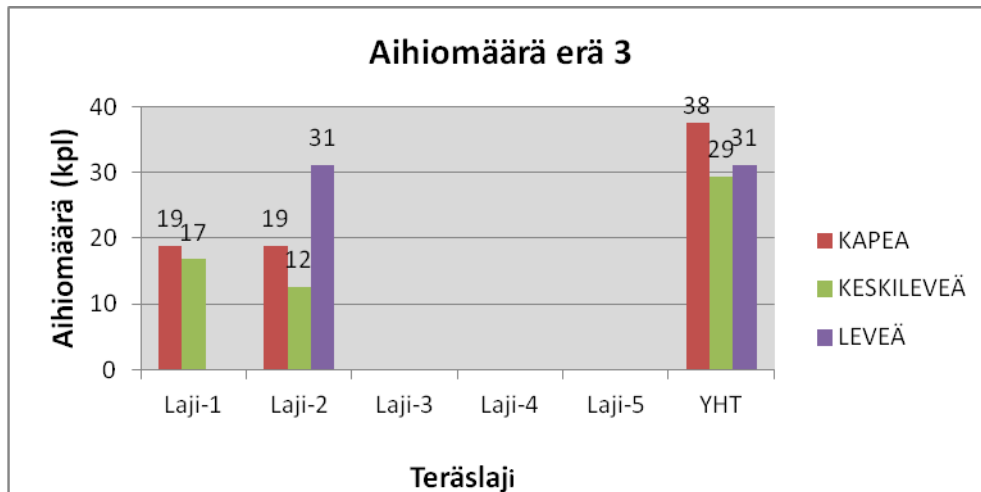


Kuva 21. Aihiomäärät erässä 2/4

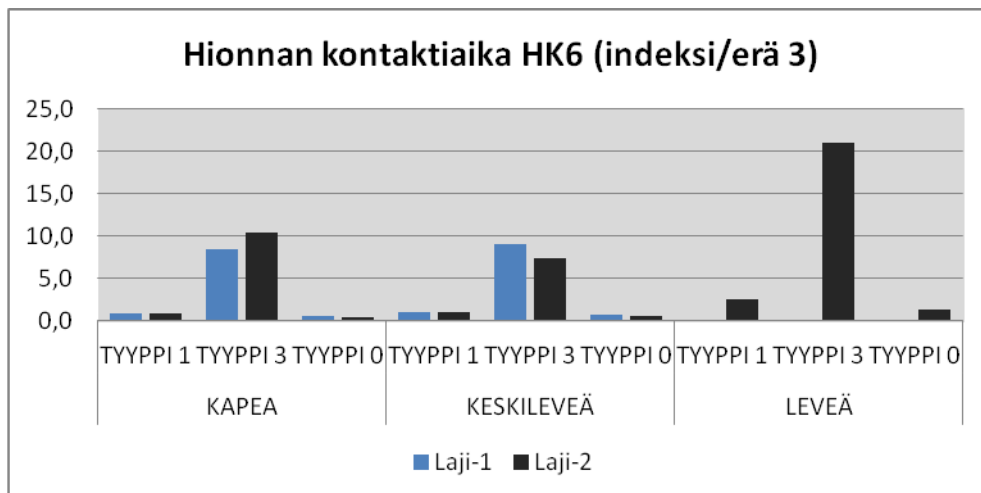


Kuva 22. Hionnan kontaktiaika erässä 2/4

Erässä 3 kuumana hiottavien aiheiden määrä on 62 aiheita ja kylmänä hiottavia erässä on 36. Kuumana hiottavien kokonaishionta indeksi on 87. Kokonaisuudessaan tämän erän hiottavien aiheiden hiontaindeksi on 129. Erä 3:n hiontaindeksit on samaa luokkaa kuin aiemmin esitetyn erä 1:n. Erien sisältö koostuu samoista teräslajeista. Myös tämän erän suuri kuumana hiottavien aiheiden määrä asettaa haasteen hiomakoneille. Kuvassa 23 on esitetty aiheilmäärät erässä 3. Kuvassa 24 on esitetty hionnan kontaktiajat erässä 3.

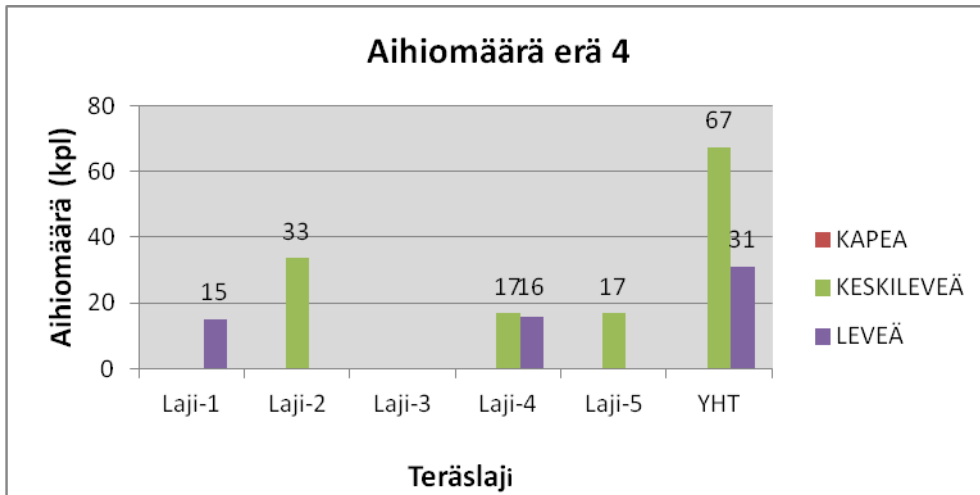


Kuva 23. Aihiomäärät erässä 3/4

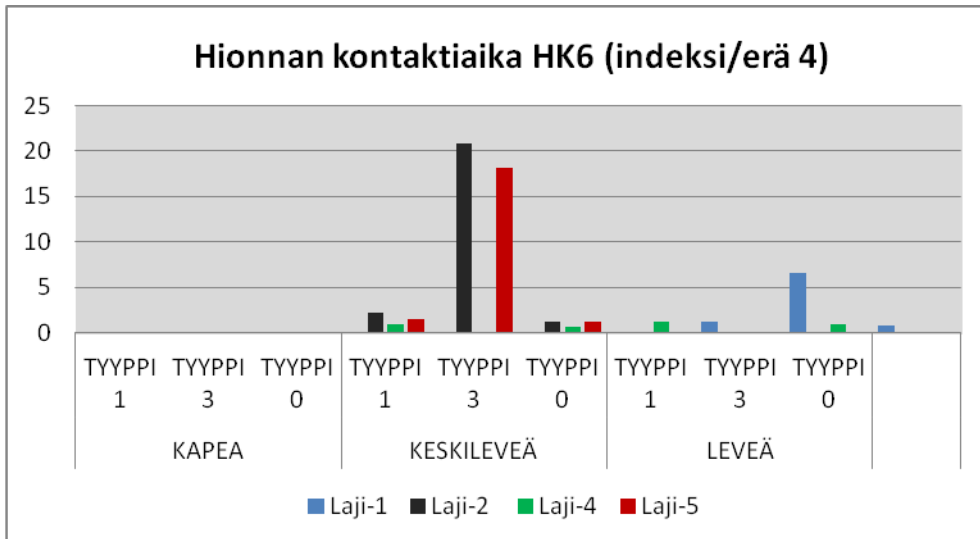


Kuva 24. Hionnan kontaktiaika erässä 3/4

Ferriittiserään 4 on suunniteltu kaikki teräslajin-5 sulatukset. Tällä ratkaisulla päästään siihen, että kaikki teräslajin-5 sulat voidaan valaa yhdessä sekvenssissä. Teräslaji-5 valetaan ennen terälajia 4, koska näille teräslajeille on määritelty valujärjestys johon vaikuttaa seosaineet. Erässä 4 kuumana hiottavien aihoiden määrä on 50 aihiota ja kylmänä hiottavia erässä on 19. Kuumana hiottavien kokonaishionta indeksi on 83, kokonaisuudessaan tämän erän hiottavien aihoiden hiontaindeksi on 112. Kuvassa 25 on esitetty aihiomäärät erässä 4. Kuvassa 26 on esitetty hionnan kontaktiajat erässä 4.



Kuva 25. Aihiomäärät erässä 4/4



Kuva 26. Hionnan kontaktiaika erässä 4/4

9. LOPPUTULOSTEN KÄSITTELY

Ferriittisten ruostumattomien teräslajien valmistaminen suurempana massana ja sen yhteensovittaminen muun tuotannon kanssa on varsin haastavaa. Ferriittituotannon maksimoiminen suuremmilla ferriittiserillä ja pidemmällä valusekvensseillä antaa tuotannollisia ja taloudellisia etuja, mutta samalla asettaa kovan haasteen teräs aihoiden jatkokäsittelylle. Suuri osa ferriittisistä teräslajeista hiotaan kuumina ja tämän vuoksi ahiokuumahiomon tulisi pystyä vastaamaan tuotannon antamaan paineeseen.

Ferriittituotannon yhteensovittaminen terässulaton ja kuumavalssaamon välillä tuo myös oman haasteensa. Kuumavalssaamo alkaa ferriittisjakson valssaukseen, kunhan aihioita on syntynyt tarpeeksi valssausjaksoa varten. Ristiriitaisuutta terässulaton ja kuumavalssaamon toimintaan tekee valujärjestys. Terässulatolla pyritään valamaan kapeasta leveään. Kuumavalssaamolla valssausjärjestys on leveästä kapeaan. Kuumavalssaamon vaatima leveysvaihtelu ja terässulaton pitkät valusekvenssit eivät sovi kovinkaan hyvin yhteen. Nykyhetkellä on käytössä ajoitusnäyttö, josta molemmat osapuolet voivat seurata ahiomääriä leveysalueittain sekä sekvenssitiedoittain. Ajoitusongelmat ferriittisjaksoja tehdessä lisäävät terässulaton ja kuumavalssaamon kuumanapitokuoppien liian nopeaa täyttymistä.

Työn lopputuloksia tarkastellessa voidaankin sanoa, että parantamalla aihio logistiikkaa sekä ferriittiserien tarkemmalla tuotannosuunnittelulla teräslajeittain, voidaan valmistaa suurempia massoja taloudellisemmin. On kuitenkin muistettava, että tuotantomäärien kasvaessa on myynnin reagoitava ja pystyttävä myymään teräslajeja siten, että se antaa mahdollisuuden valmistaa tuotteita suuremmalla volyyymilla. Ferriittiserien suunnittelussa tulisi myös huomioida erien kuumana hiottavien sekä kylmänä hiottavien aihoiden kokonaishionnan kestot ja suhteuttaa ne eriin, kuten työssä on esitetty.

Ferriittiserien kasvattaminen on mahdollista, mutta samalla eriä pitäisi muuttaa valukoneen kannalta suotuisammaksi. Erien jakaminen siten, ettei kaikkia teräslajeja valeta yhdessä erässä, vaan tietyt lajit tietyssä erässä toisi pidempiä sekvenssejä ja vähemmän valuvälejä. Täytyy myös muistaa, että vaikka pitkät valusekvenssit terässulatolla ovat tuotannon

kannalta tärkeitä, niin liike-toiminnan kannalta myös oikea-aikainen valmistus on tärkeää. Oikea-aikaisuudella tarkoitetaan, että vältetään turhalta varastoinnilta ja toimitusaikojen viivästymisiltä.

Taulukossa 10 on esitetty, kuinka tarkastelussa olleet skenaario 1 ja tuotannon tasapainottaminen ovat valukoneen kannalta huomattavasti suotuisampia, kuin nykyhetken tilanne. Aihioita saadaan syntymään enemmän sekvenssiä kohti.

Taulukko 10. Valusekvenssien pituuden kasvu valumäärään nähden

	Valumäärä	Ahiomäärä	Syntyneet aihiot/sekvenssi ka.
Nykyhetki	12	104	9
Skenaario 1	17	208	12
Tasapainotettu tuotanto	27	425	16

10. YHTEENVETO

Työ vaiheistettiin siten, että aluksi käytiin läpi Outokumpu Tornio Works:n terässulaton ja kuumavalssaamon tuotantoprosessit. Ferriittisten teräslajien valmistamisessa olennaisimmat prosessit on käyty hieman tarkemmin läpi. Teoriaosuudessa on käyty läpi mitä on ferriittinen ruostumaton teräs ja esitelty eri teräslajien käyttökohteita. Lisäksi on kerrottuna Outokummun yleisimpien ferriittisten ruostumattomien terästen käyttökohteita. Tuotannon ohjaus ja tuotannon ajoittaminen on myös käyty läpi teoriapohjalta.

Tarkasteluosuudessa tutkittiin ferriittisjakson nykytilannetta. Vertailukohteeksi otettiin nykytilanne kaksinkertaistetulla tuotannolla. Lopuksi tarkasteluosuudessa on selvitetty mahdollisuutta eräkokojen muuttamiseen ja määrien lisäämiseen. Nykyhetken eräkokoja tarkastellessa sulamäärältään, valumäärältään, ahiomäärältään ja hionnan kestoiltaan lopputulos oli hyvinkin odotetunlainen.

Mahdollisuuksia tuotannon kasvattamiseen olisi. Rajallisiksi mahdollisuudet tekee kuitenkin hiontakapasiteetti ja kuumana hiottavien ahioiden varastointikapasiteetti nykyhetkellä. Työssä on tarkasteltu ainoastaan HK-6:n käyttöä. Hiontakapasiteetti kasvaa, jos mukaan otetaan hiomakoneet 4 ja 5. Näiden käyttöönotto ferriittiserän hiontaan tarkoittaisi kuitenkin toisen tuotantolinjan aihiovaraston kasvua, koska hiontaan siirtäessä ahioiden hiontareitit hankaloittaisivat toistensa kulkua huomattavasti.

11. LÄHDELUETTELO

- /1/ Haverila, Matti, Uusi-Rauva, Erkki, Kouri, Ilkka & Miettinen, Asko, Teollisuustalous, 6.painos, Infacs, 2009.
- /2/ Juntunen Veikko, Kupari Pentti, Pitkälä Jyrki, Romupohjainen ruostumattoman teräksen valmistus, esite, Outokumpu Tornio Works, 2010.
- /3/ Koivisto, Eeva, Terässulaton tutkimusinsinöörin haastattelu, Outokumpu Tornio Works, 2.5.2013.
- /4/ Leinonen, Virpi, Polarit 812-1-aihioiden kuumahionta ja tuotantomäärän kasvatusmahdollisuudet, raportti, Outokumpu Tornio Works, 15.08.2008.
- /5/ Logiikanmaailma internetsivusto, www.logistiikanmaailma.fi/wiki/Tuotannonohjaus Luettu 20.04.2013.
- /6/ Mansikka, Jukka, Sulatusohje 812-1 Terässulatto 2012.
- /7/ Mansikka, Jukka , Terässulaton kehitysinsinöörin haastattelu, Outokumpu Tornio Works 17.4.2013.
- /8/ Outokumpu Tornio Works, Ferriittisten raaka-aineohje, sulatto, 2010.
- /9/ Outokumpu Tornio Works, intranet-sivut, <http://hotcircle/>, 19.7.2011.
- /10/ Outokumpu Tornio Works, Kromimalmista ruostumattomaan teräkseen, esite, 2010.
- /11/ Outokumpu Tornio Works, Outokumpu Ferritic Stainless Steels, esite, 2012.
- /12/ Taulavuori, Tero, Kyröläinen, Antero, Manninen, Timo, Ruostumattomat teräkset, 5.painos, Teknologiainfo Teknova Oy, 2012.
- /13/ Ylimaula, Janne Kuumavalssaamon käyttöinsinöörin haastattelu, Outokumpu Tornio Works 2.5.2013.