

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

LUT School of Energy Systems

LUT Kone

BK10A0401 Kandidaatintyö ja seminaari

VALUKAPPALEIDEN VALMISTUSPROSESSIN KAPEIKOT TERÄSVALIMOSSA
THE CONSTRAINTS OF CASTINGS' MANUFACTURING PROCESS IN STEEL
FOUNDRY

Kotkassa 16.11.2015

Juho Aalto

Tarkastaja: Professori Jukka Martikainen

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto
LUT Energiajärjestelmät
LUT Kone

Juho Aalto

Valukappaleiden valmistusprosessin kapeikot teräsvalimossa

Kandidaatintyö

2015

32 sivua, 13 kuvaa ja 1 taulukko

Hakusanat: kapeikkoajattelu, TOC, pullonkaula, läpimenoaika, toimitusvarmuus, teräsvalimo, valimoprosessi, valukappaleen valmistus, tuotannon suunnittelu

Teräsvalimon toimitusprosessissa toimitusvarmuus on tärkeä tuotannon tunnusluku. Valimotuotannossa olevien lukuisten muuttujien vuoksi tuotannosuunnittelu ja läpivirtauksen hallinta on haasteellista. Tuotteiden, valumateriaalien ja näiden yhdistelmien suuri yhtäaikainen määrä tuotannossa vaikeuttaa tuotannon ennustettavuutta sekä vaikuttaa läpivirtaukseen ja toimitusvarmuuteen. Lisäksi tuotannon eri työvaiheissa ilmenevät kapeikot rajoittavat läpivirtausta ja kasvattavat läpimenoaikoja. Kapeikkoja voidaan hyödyntää tuotannonohjauksessa jos kapeikot ovat selkeästi havaittavissa. Kapasiteetin siirtäminen ei-kapeikosta kapeikkoon lisää tuotannon läpivirtausta. Pelkkä kapeikkojen hallinta ei paranna toimitusvarmuutta jos keskeneräisen tuotannon määrä on suuri ja järjestys väärä. Tuotannon työkuormien visuaalisuuden parantaminen kaikilla työvaiheilla antaa mahdollisuuksia ohjata tuotantoa tehokkaammin.

Kandidaatintyössä on tarkasteltu teräsvalimon valmistusprosessia ja selvitetty tuotannon eri vaiheissa ilmeneviä kapeikkoja. Selvitystyössä hyödynnettiin TOC-analyysiä. Keskeneräisen tuotannon määrää mitattiin useilla otannoilla eri työvaiheiden kohdalla. Tuloksia analysoimalla löydettiin tuotannon ongelmakohdat ja niihin tarvittavat kehitystoimenpiteet.

ABSTRACT

Lappeenranta University of Technology
LUT School of Energy Systems
LUT Mechanical Engineering

Juho Aalto

The constraints of castings' manufacturing process in steel foundry

Bachelor's thesis

2015

32 pages, 13 figures and 1 table

Keywords: theory of constraints, TOC, bottleneck, lead time, work-in-progress, WIP, on-time-delivery, OTD, steel foundry, foundry process, casting manufacturing, production planning

On-time-delivery (OTD) is important statistic for steel foundry's supply chain process. Several variables in foundry process causes difficulties for production planning and throughput. Different products, casting materials and their combinations in coincidental production makes predicting of production difficult and decreases throughput and OTD. Constraints in different stages of production process also decrease throughput and increase lead times. Constraints can be exploited in production planning if they can be easily recognized. Moving capacity from no-bottleneck stage to bottleneck stage increases throughput. Controlling the constraints doesn't improve OTD if the amount of work-in-progress (WIP) is high and is in wrong working order. Improving the visualization of workloads in different stages of production gives opportunities to control the whole process more efficiently.

This bachelor's thesis is focused on steel foundry's manufacturing process. TOC-analysis has been the main tool for searching the constraints of different process stages. Working loads and the amounts of WIP was measured with several samplings in different process stages. The problems of production and the needed improvements were found out by analyzing the measured data.

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO	5
1.1	Työn tavoite ja raja- aus.....	5
2	YRITYSESITTELY	6
3	PROSESSIKUVAUS	7
3.1	Kaavaamo	8
3.2	Sulatto	10
3.2.1	Valokaariuuni.....	10
3.2.2	AOD-konvertteri.....	11
3.2.3	Induktiouuni.....	13
3.3	Puhdistamo.....	14
3.4	Tuotannonohjaus puhdistamossa	16
4	KIRJALLISUUSKATSAUS	18
4.1	Peruskäsitteitä	18
4.2	TOC-prosessi	18
5	TUTKIMUSMETODIT	22
5.1	Laadulliset metodit	22
5.2	Määrälliset metodit	23
6	TULOKSET	24
7	JOHTOPÄÄTÖKSET	27
7.1	Tulosten analysointi.....	27
7.2	Kehitysehdotukset.....	28
7.3	Jatkotutkimukset	29
8	YHTEENVETO	30
	LÄHTEET	31

1 JOHDANTO

Tässä kandidaatintyössä selvitettiin Sulzer Pumps Finland Oy:n Karhulan valimon tuotteiden läpimenoaikaan sekä toimitusvarmuuteen vaikuttavia tekijöitä. Työssä perehdyttiin kapeikkoajattelun teoriaan, tarkoituksena löytää valukappaleiden tuotantoprosessin todelliset pullonkaulat.

Karhulan valimon valutuotteiden toimitusprosessissa yksi tärkeä tuotannon tunnusluku on toimitusvarmuus, jolla mitataan jatkuvasti asiakkaille ajallaan toimitettujen valukappaleiden määrää. Toimitusvarmuus on ollut alle tavoitetason enimmän osan vuotuisella ajanjaksolla mitattuna sekä sen keskihajonta on ollut liian suuri. Myöhästymän kasvu sekä etuajassa toimitetut valukappaleet aiheuttavat Karhulan valimon asiakkaille merkittävää haittaa omassa tuotantoprosessissaan.

Valukappaleiden tuotantoprosessin moninaisuudesta johtuen selkeiden pullonkaulojen löytäminen tuotannosta on ollut haastavaa. Tästä johtuen myös selkeiden kehityskohteiden osoittaminen ja konkreettisten toimenpiteiden tekeminen ei ole onnistunut odotetusti.

Tutkimusongelman perusteella voitiin asettaa seuraavat tutkimuskysymykset:

- Miksi valukappaleet valmistuvat väärässä järjestyksessä?
- Mitkä ovat valukappaleiden tuotantoprosessin kapeikkoja?
- Voiko kapeikkoja hyödyntää tuotannonohjauksessa?
- Miten tuotannon läpivirtausta saadaan suuremmaksi?

1.1 Työn tavoite ja rajaus

Tämän kandidaatintyön tavoitteena oli tunnistaa valukappaleiden toimitusprosessin ongelmakohdat, kapeikot, ja luoda selkeä käsitys tulevista kehityskohteista. Valimoprosessin laajuudesta sekä tuotannollisista rajoitteista johtuen valmistusprosessin tutkimisesta on rajattu pois kaavaamon ja sulaton osuus. Prosessianalyysissä on keskitytty valukappaleiden kulkuun jälkikäsitelyssä, eli puhdistamossa, jolla on merkittävä osuus valukappaleiden oikea-aikaiseen valmistumiseen.

2 YRITYSESITTELY

Sulzer Pumps Finland Oy valmistaa pumppuja ja sekoittimia muun muassa prosessiteollisuuden, vedenpuhdistuksen sekä voimalaitosteollisuuden tarpeisiin maailmanlaajuisesti. Sulzerin valmistamia tuotteita käytetään laajalti niin sellu- ja paperiteollisuudessa, öljy- ja kaasuteollisuudessa, lannoiteteollisuudessa kuin kemianteollisuudessa. Pumppu- ja sekoitinratkaisujen toimittamisen lisäksi Sulzer tuottaa laajalti huoltopalveluita niin omille kuin muiden valmistamille pumppu- ja sekoitintuotteille. Sulzer Pumps Finland Oy työllistää yhteensä noin 600 henkilöä ja yhtiön pääkonttori sekä tehtaot sijaitsevat Karhulassa, Kotkassa. (Sulzer Pumps Finland Oy, 2015.)

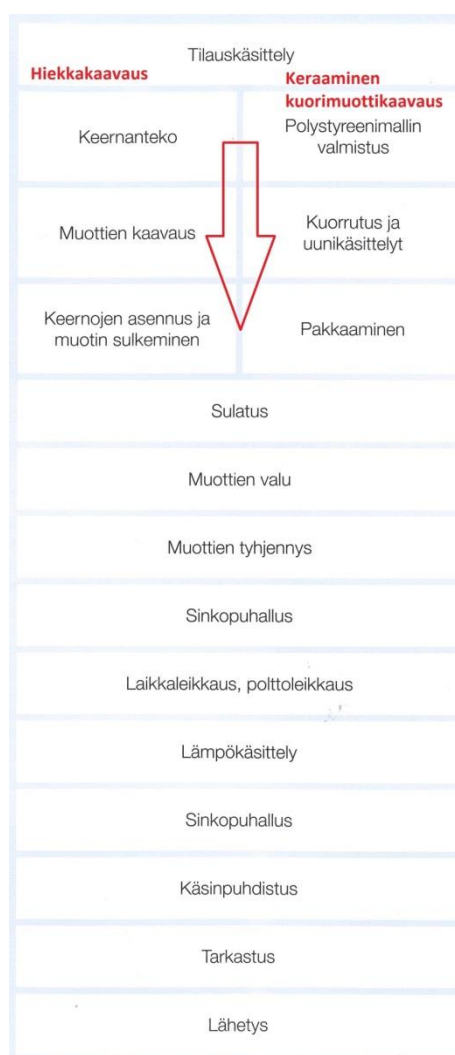
Karhulan valimo Kotkassa toimii osana Sulzer-konsernia ja valaa pääasiallisesti runsaasti seostettuja, ruostumattomia sekä haponkestäviä kappaleita teollisuuden pumppuihin sekä sekoittimiin. Yhtiön omat pumpputehtaot ympäri maailman sekä pumppuhuolto ovat pääasiallisia asiakkaita, mutta myös ulkopuolisille asiakkaille toimitetaan valuja. (Sulzer Pumps Finland Oy, 2015.) Henkilökuntaa Karhulan valimossa on noin 180 (Sulzer Pumps Finland Oy, 2011).

Duplex- ja superduplex-teräkset muodostavat valtaosan Karhulan valimon 1500 tonnin vuosituotannosta. Karhulan valimossa valetaan myös täysin austeniittista Avesta 654SMO -terästä sekä vaativia nikkelseoksia. Yksittäisten valukappaleiden massat vaihtelevat alle kilogrammasta jopa 15 tonniin. Suurin osa Karhulan valimon tuotteista valetaan hiekkakaavauksella tehtyihin muotteihin. Isoimmat kaavauskehät ovat mitoiltaan 3,6 x 3,6 metriä. (Sulzer Pumps Finland Oy, 2011.)

Perinteisen hiekkakaavauksen lisäksi Karhulan valimolla käytetään myös patentoitua keraamista kuorikaavausmenetelmää. Kyseistä menetelmää kutsutaan Replicast-menetelmäksi ja sillä saavutetaan hyvä pinnanlaatu sekä paremmat mittatoleranssit verrattaessa perinteiseen hiekkakaavaukseen. (Sulzer Pumps Finland Oy, 2011.)

3 PROSESSIKUVAUS

Prosessikuvauksessa tutustuttiin valukappaleen tärkeimpiin valmistusvaiheisiin alkaen valumuotin tekemisestä kaavaamossa sekä teräksen sulatuksesta sulatossa. Pääpaino prosessikuvauksessa annettiin kuitenkin jälkikäsittelylle eli valunpuhdistukselle, johon tämän kandidaatintutkielma keskittyy. Prosessikuvauksessa tarkasteltiin Karhulan valimon tavanomaisia tuotteita, joista muodostuu valtaosa päivittäisestä tuotannosta. Prosessikuvauksen tarkasteluista on rajattu pois erityisiä vaatimuksia sisältävät kappaleet sekä erikoisaineista valettavat tuotteet, joiden valmistusprosessin vaiheet poikkeavat tavanomaisesta. Teräsvalukappaleen valmistusprosessin päävaiheet on esitetty kuvassa 1.



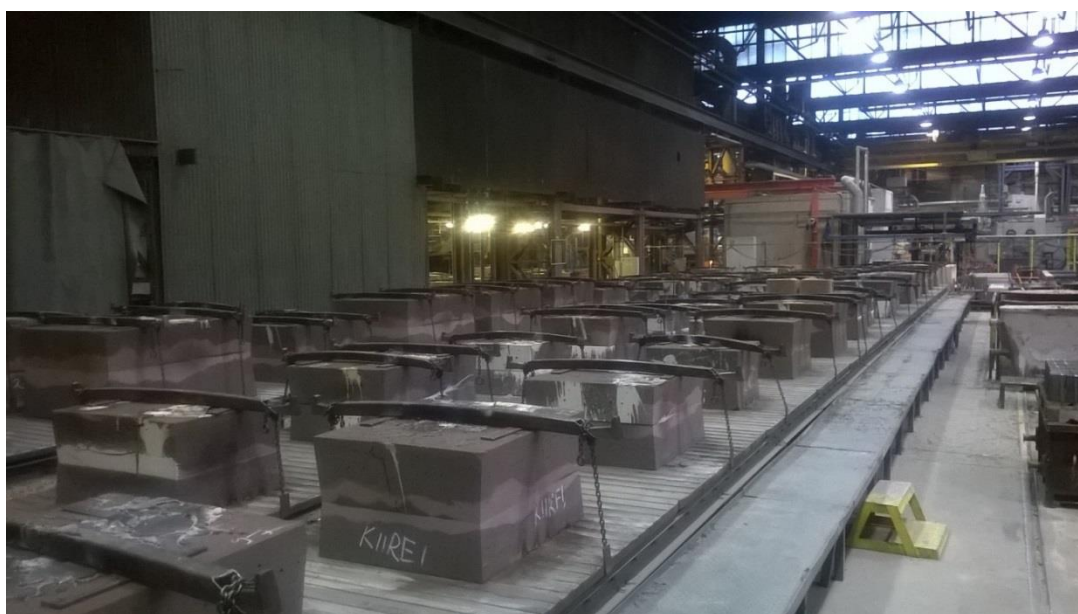
Kuva 1. Teräsvalukappaleen valmistusprosessin päävaiheet sekä hiekkakaavaus että keraaminen kuorimuottikaavaus –menetelmälle (Sulzer Pumps Finland Oy, 2011).

Kuvan 1 mukaisista teräsvalukappaleen valmistusvaiheista jälkikäsitteilyä eli valunpuhdistusta ovat kaikki työvaiheet alkaen ensimmäisestä sinkopuhalluksesta. Sitä edeltävät työvaiheet kuuluvat kaavaamoon ja sulattoon, joista on kerrottu tarkemmin seuraavissa kappaleissa 3.1 ja 3.2.

3.1 Kaavaamo

Työvaiheena kaavaaminen tarkoittaa valumuotin tekemistä kaavaushiekasta valumallin avulla. Kaavaus voidaan suorittaa joko käsin tai koneellisesti, mahdollisesti myös näiden yhdistelmällä. (Autere, Ingman & Tennilä, 1986, s. 247.)

Karhulan valimossa on viisi erilaista kaavauslinjaa, joilla kaavataan päivittäin yli 100 muottia valettavaksi. Kaavamon linjat on jaettu erikokoisten ja -tyyppisten kappaleiden mukaan. Käytössä on sekä käsinkaavausta että automatisoitua konekaavausta, ns. pullakaavausta. Käsinkaavaus tarkoittaa sitä, että kaavaushiekka sullotaan käsityönä teräksisen kaavauskehän ympäröimän valumallin päälle. Pullakaavaus on menetelmä, jossa ei käytetä valumuotin tekemiseen teräksistä kaavauskehää. (Autere et al., 1986, s. 247-248.) Kuvassa 2 on esitetty osittain automatisoidun pullakaavauslinjan valurata, jossa valmiit ”pullat” eli muotit odottavat sulaa valettavaksi. Kuvassa 3 on puolestaan käsinkaavaamalla tehtyjä teräksistä kaavauskehää käyttäviä valumuotteja.



Kuva 2. Pullakaavauslinjan valurata, jossa kehyksettömät muotit eli ”pullat” odottavat valuvuoroaan. Kuva on otettu Karhulan valimossa 2015.



Kuva 3. Erikokoisia käsinkaavattuja kehyksellisiä muotteja, joista osa on valettu ja osa odottaa yhä sulaa. Kuva on otettu Karhulan valimossa 2015.

Kaavamossa valmistetaan myös valumuottiin mahdollisesti kuuluvat keernat. Keernojen avulla voidaan valmistaa muodoiltaan monimutkaisia kappaleita, joissa on reikiä, onkaloita tai muita sisäpuolisia muotoja. Keernat valmistetaan hiekkaseoksesta, joka sopivan kovetteen avulla saavuttaa riittävän lujuuden käyttötarkoitukseensa. (Autere et al., 1986, s. 371-372.) Karhulan valimossa keernoja valmistetaan keernalaatikoiden avulla. Samaan tapaan kuin käsinkaavauksessa, keernanvalmistukseen käytettävä hiekka sullotaan keernalaatikkoon joko käsin tai puhalletaan paineilman avulla erityisellä keernatykillä. Kuvassa 4 on käsitäyttöisten keernalaatikoiden avulla valmistettuja keernoja pumpun pesien sisäpuolisia muotoja varten Karhulan valimossa.



Kuva 4. Spiraalipumppujen pesien keernoja odottamassa asennusta valumuotteihin Karhulan valimossa 2015.

3.2 Sulatto

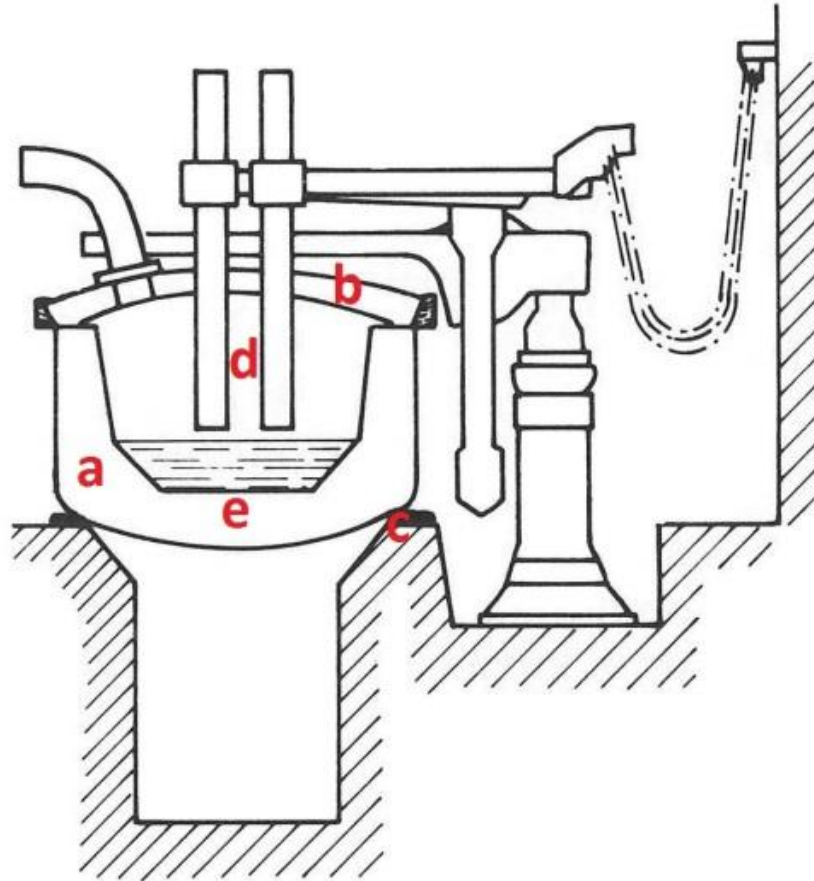
Karhulan valimon sulatossa on käytössä teräksen sulatukseen kolme erikokoista induktiuunia ja valokaariuuni. Lisäksi on käytössä AOD-konvertteri, jolla saadaan aikaiseksi mm. erittäin matalahiilisiä teräslaatuja sekä typpiseostettuja teräksiä. (Sulzer Pumps Finland Oy, 2011.)

3.2.1 Valokaariuuni

Valokaariuunien käyttö on yleisintä terästen sulatuksessa. Valokaariuunin perusrakenteeseen kuuluvat seuraavat osat (Autere, Ingman & Tennilä, 1982, s. 68-69.):

- pesä, jonne sulatettavat materiaalit panostetaan
- holvi, joka toimii pesän kantena
- kehto, joka kannattelee uunia
- elektrodit, joihin johdetun kolmivaihevirran avulla pesään panostetut materiaalit sulavat sekä
- kaatokouru, jonka avulla sula saadaan uunista pois.

Valokaariuunin suurimpiin etuihin voidaan lukea kiertoromun sekä heikkolaatuisempien raaka-aineiden hyödyntäminen sulan teossa (Autere et al., 1982, s.72.). Sulan jälkikäsitteily tehdään lopuksi AOD-konvertterilla. Valokaariuunin rakenne on esitetty kuvassa 5.



Kuva 5. Valokaariuunin periaatteellinen rakenne: a) pesä, b) holvi, c) kehto, d) elektrodit ja e) kaatokouru edestäpäin (Autere et al., 1982, s. 69).

3.2.2 AOD-konvertteri

Korkealaatuisen teräksen on oltava ehdottoman puhdasta ja jossa kaasu- sekä sulkeumapitoisuudet ovat mahdollisimman pieniä. Kaasu- sekä sulkeumapitoisuuksilla on suuri vaikutus valmistettavan teräksen lujuusominaisuuksiin. AOD-konvertterikäsitteilyssä (Argon-Oxygen-Decarburization-Converter) valokaariuunilla valmistettuun sulaan teräkseen puhalletaan argonin ja hapen seosta. (Keskinen & Niemi, 2011, s. 16.) Konvertoinnilla voidaan hyödyntää laadukkaan sulan tekemiseen kiertoromua sekä edullisempia runsashiilisiä seosaineita. Teräksen sitkeys paranee ja valuvikoja esiintyy vähemmän kun konvertterikäsitteilyssä saadaan rikkipitoisuus pienemmäksi. Lisäksi valokaariuunin tuotantokapasiteettia voidaan hyödyntää tehokkaammin, kun sitä käytetään

pelkästään teräksen sulattamiseen ja jälkikäsitteily hoidetaan AOD-konverterterilla. (Autere et al., 1982, s. 327-328.) Kuvassa 6 on Karhulan valimossa käytössä oleva AOD-konverterteri. Kuvassa 7 on esitetty Karhulan valimolla käytössä olevia erikokoisia senkkoja, joiden avulla sulaa siirretään valuradoille muoteille valettavaksi.



Kuva 6. Karhulan valimon AOD-konverterteri kuvattuna sen etupuolelta. Kuvan oikeassa laidassa sijaitsevalla valokaariuunilla valmistettu sula siirretään siirtosenkalla konverterterikäsitteilyyn ja siitä edelleen toisella senkalla valuradoille sijaitseville muoteille valettavaksi. (Sulzer Pumps Finland Oy, 2011.)



Kuva 7. Erikokoisia senkkoja sulien siirtelyyn. Kuva on otettu Karhulan valimossa 2015.

3.2.3 Induktiouuni

Induktiouunien toimintaperiaate perustuu pyörrevirtoihin, jotka syntyvät sulatettavaan panokseen kun uuniin johdetaan sähkövirtaa. Panokseen syntyvien pyörrevirtojen avulla lämpötila nousee niin korkeaksi, että panos sulaa. Induktiouunit ovat monikäyttöisiä, sillä niillä ei ole rajoituksia sulatettavien materiaalien suhteen. (Autere et al., 1982, s. 73-74.)

Karhulan valimossa on käytössä kolme erikokoista induktiouunia, joilla voidaan tehdä 0,5 t, 1,5 t ja 8 t sulaeriä. Induktiouuneissa hyödynnetään sulatuksessa AOD-käsiteltyjä valmiita panoksia, kiertoromua sekä täysin puhtaita raaka-aineita. Erikokoisilla induktiouuneilla saadaan tehtyä joustavasti sopivan kokoisia sulaeriä, jotta mahdollisimman suuri osa sulasta saadaan hyödynnettyä. Näin ollen voidaan valaa yksittäisiäkin kappaleita eri materiaaleista mahdollisimman tehokkaasti. Yleinen käytäntö Karhulan valimossa kuitenkin on tehdä kerralla mahdollisimman suuri sulatus ja valaa paljon kerralla. Kuvassa 8 on yksi Karhulan valimon kolmesta induktiouunista.



Kuva 8. 1,5 tonnin induktiouuni kuvattuna sen ylätasanteelta. Uuni on panostettu ja sulatus on käynnissä. Savunpoistojärjestelmä on panostusluukun yläpuolella. Kuva on otettu Karhulan valimossa 2015.

3.3 Puhdistamo

Yleisesti valunpuhdistuksen työvaiheet vaihtelevat riippuen käytetyistä kaavaus- ja valumenetelmistä, valumateriaalista ja asiakasvaatimuksista. Valunpuhdistuksen työvaiheet pääpiirteittäin voidaan jakaa seuraavasti:

- muotin tyhjennys ja keernojen poisto
- valukkeiden katkaisu termisesti tai mekaanisesti
- pintojen puhdistaminen esim. suihku- tai sinkopuhdistuslaitteella
- lämpökäsittely
- mahdollisen hilseen poistaminen
- tarkastus
- korjaus
- lopputarkastus ja
- lähetys asiakkaalle.

(Autere, et al., 1986, s. 419.)

Karhulan valimossa puhdistamon osuus kappaleen tuotantoprosessissa alkaa valukkeiden, valukanaviston ja syöttökupujen termisellä sekä mekaanisella katkaisemisella eli leikkaamisella. Leikkaus on yleisin tapa poistaa valukkeet varsinaisesta valukappaleesta kun kyseessä on sitkeä ja luja materiaali, kuten teräs. Hauraiden materiaalien valukkeet poistetaan usein iskemällä esimerkiksi lekalla. (Meskanen & Höök, 2013, s. 1-3.)

Suihku- ja sinkopuhdistus ovat valukappaleen pintapuhdistusmenetelmiä, joissa on tarkoituksena poistaa kappaleen pintaan kiinni palanut muotti- tai keernahiekka. Valumateriaalista riippuen valaminen tai lämpökäsittely voi myös muodostaa oksidikerroksen kappaleen pintaan, joka saadaan poistetuksi suihku- tai sinkopuhdistuslaitteella. Laitteiston perusajatus pohjautuu suurella nopeudella kappaleen pintaan singottaviin rakeisiin, jotka ovat yleensä teräksisiä. (Meskanen, et al., 2013, s. 4-5.)

Lämpökäsittely tehdään, jotta voidaan varmistaa teräsvalukappaleiden oikea mikrorakenne. Erilaisilla lämpökäsittelyllä haetaan valukappaleisiin ominaisuuksia, kuten lujuutta, sitkeyttä tai parempaa lastuttavuutta. Tyypillinen teräsvaluille tehtävä lämpökäsittely on liuotushehkutus, jossa kappaleita hehkutetaan korkeassa n. 1150 °C lämpötilassa pitkään, jopa kymmeniä tunteja. Tavoitteena liuotushehkutuksessa on poistaa valamisessa epähomogeenisesti syntynyt mikrorakenne ja tasata seosaineiden suotautumat. (Valuatlas, 2015.) Valunpuhdistuksessa merkittävä viimeistelevä työvaihe on käsinpuhdistus, joka on myös pintojen puhdistamista. Pintojen puhdistamista tehdään myös suihku- ja sinkopuhdistuslaitteilla, mutta lopullinen laatu saadaan aikaiseksi yksilöllisesti käsityönä. Käsinpuhdistuksessa suurin osa työstä on pintojen tasoitusta, jota tehdään erilaisilla talttausmenetelmillä sekä hiomalla. Tarkoitus on poistaa kappaleista mm. valuvikoja, leikkausvaiheesta jääneitä kantoja, pinnan epätasaisuuksia ja valupurseita. (Meskanen, et al., 2013, s. 7-8.)

Valunpuhdistus on lähes kokonaan käsityötä ja etenkin hiekkakaavausta käyttävissä teräsvalimoissa puhdistuskustannusten osuus valukappaleen valmistuskustannuksista on 30-50 %. Valukappaleiden laadulla on merkittävä vaikutus puhdistustyön helppouteen ja nopeuteen. (Autere et al., 1986, s. 419.) Valunpuhdistuksen ja siihen liittyvien työvaiheiden periaattellinen kulkukaavio Karhulan valimossa on esitetty kuvassa 1.

3.4 Tuotannonohjaus puhdistamossa

Puhdistamossa pyritään noudattamaan jokaisessa yksittäisessä työvaiheessa "First in, First out" -periaatetta (FI-FO), jonka mukaan kappaleet otetaan työn alle siinä järjestyksessä kun ne saapuvat edellisestä työvaiheesta. Ensimmäiseksi otetaan työn alle jonoon ensimmäiseksi tuotu ja niin edelleen. Tuotannonohjauksen helpottamiseksi käytetään visuaalisia apukeinoja, kuten merkitsemällä kappaleisiin tietyn työvaiheen tekopäivämääriä sekä käyttämällä värikoodeja. Visuaalisten keinojen avulla kappaleet pyritään saamaan mahdollisimman oikeassa järjestyksessä FI-FO -läpivirtausradalle, josta valunpuhdistajat ottavat kappaleita työn alle. Kuvassa 9 on puhdistamossa käytössä oleva FI-FO-läpivirtausrata. Työnjohto seuraa päivämäärien ja värikoodien avulla, että oikeat kappaleet ovat oikeaan aikaan oikeassa paikassa. (Seppänen, 2015.)

Puhdistamon tavoite on käsitellä päivittäin valmiiksi noin 100 kappaletta tai 5,5 tonnia teräsvaluja. Yksittäisen valunpuhdistajan päivätavoitteeksi on asetettu yhdeksän valukappaletta, muille työvaiheille ei ole toistaiseksi asetettu tavoitteita. Valukappaleiden laatu määrittelee lähtökohtaisesti päivätavoitteiden onnistumisen, sillä hyvälaatuisessa valukappaleessa on vähemmän puhdistettavaa. (Seppänen, 2015.)

Puhdistamon tuotantoprosessissa pullonkaulat vaihtelevat, eikä yksittäistä jatkuvaa kapeikkoa ole selkeästi havaittavissa. Tarvittaessa puhdistamon kapasiteettia voidaan säätää olemassa olevilla henkilöstöresursseilla, tietysti osaamistaitojen mukaisesti. Pullonkaulojen eliminoimiseen on käytössä kapasiteetin tasapainottamisen lisäksi alihankintapalveluita, joilla teetetään säännöllisesti valunpuhdistusta, korjaushitsausta ja tarkastustöitä. Lisäksi tarvittaessa tehdään ylitöitä omilla resursseilla. Työnjohdon ja valmistuspäällikön valvonnan perusteella tehdään päivittäin ratkaisuja, miten kapasiteettia jaetaan sinne, missä tarve on suurin. (Seppänen, 2015.)



Kuva 9. FI-FO-läpivirtausvarasto käsinpuhdistukseen jonottaville valukappaleille. Kuvan kappaleet ovat edenneet valukkeiden termisen sekä mekaanisen poiston jälkeen lämpökäsittelyyn ja edelleen sinkopuhalluksen jälkeen käsinpuhdistukseen.

4 KIRJALLISUUSKATSAUS

Kirjallisuuskatsauksessa tutustuttiin kapeikkoajattelun teoriaan, jonka pohjalta valimon tuotannon kapeikkoja, pullonkauloja, voitaisiin löytää ja tulkita paremmin. Tässä kappaleessa on myös avattu muutamia peruskäsitteitä, jotka ovat kapeikkoajattelun teorian kannalta oleellisia. Kapeikkoajattelun teorian avulla pyrittiin pääsemään pintaa syvemmälle, löytämään tuotannon todelliset ongelmakohdat ja ratkaisut niiden eliminoimiselle.

4.1 Peruskäsitteitä

Toimitusvarmuudella kuvataan tietylle kaudelle, ajanjaksolle, luvattujen tuotteiden valmistumisen onnistumista, joka ilmoitetaan yleensä prosenttilukuna (Lehtonen, 2008, s. 56). Toimitusvarmuus kuvaa toimitusten onnistumista, sillä asiakkaalle pitää toimittaa oikeat tuotteet oikeaan aikaan, paikkaan, hintaan, laatuun sekä oikealla toimitustavalla (Tieke, 2015).

Tämän kappaleen yhteydessä läpivirtauksella tarkoitetaan sitä, mitä myymällä yritys tuottaa rahaa. Keskeneräistä tuotantoa jalostamalla ja varastoa poistamalla yritys muuttaa investointinsa tavoitteen mukaisesti, rahaksi. Lisäämällä läpivirtausta yritys tuottaa enemmän rahaa. Toimintakustannuksilla tarkoitetaan tässä yhteydessä yrityksen panostamia rahasummia, joilla päästään tavoitteeseen. (Navigen, 2015).

4.2 TOC-prosessi

Kapeikkoajattelun perusteorian lähtökohtana on yrityksen tavoite, joka on tuottaa mahdollisimman paljon voittoa. Tämä on mahdollista kun varastot ja keskeneräinen tuotanto pidetään pieninä ja toimintakustannukset alhaisina, mutta tuotannon läpivirtaus korkeana. Kapeikkoajattelun systeemiteoriassa painotetaan näiden toisistaan riippuvien asioiden keskinäisen tasapainon hallitsemista, optimointia. (Navigen, 2015)

Englanninkieliseltä nimeltään ”Theory of Constraints” (TOC), on systeemiteoria kapeikkoajattelusta ja jatkuvan kehittämisen prosessista, joka julkaistiin alunperin Eliyahy Goldrattin novellimuotoisessa kirjassa ”The Goal - Process of ongoing improvement”,

suom. Tavoite, vuonna 1984 (Scheinkopf, 1999, s. 2). Teoriaa voidaan havainnollistaa ketjuanalogialla, jossa järjestelmä tai prosessi muodostuu ketjuista ja niiden linkittymisestä verkkomaisesti toisiinsa. Jokaisessa ketjussa on lenkki, joka on muita heikompi. Heikoin lenkki määrittelee koko ketjuverkon maksimikestävyyden, toisin sanoen se voi toimia prosessin kapeikkona. Kapeikko tai heikoin lenkki tulee ilmi kun ketjuverkkoa kuormitetaan riittävästi. Kun heikointa lenkkiä vahvistetaan, ketju pottää jostakin toisesta kohdasta. (Dettmer, 1998, s. 11-12.)

Ketjuanalogialla voidaan kuvata tuotantoprosessia, jossa jokainen ketjun lenkki on peräkkäinen työvaihe. Ketjun lenkit, eli tuotannon työvaiheet, muodostavat toisiinsa linkitettyä prosessin. Kuvattava prosessi voi olla peräkkäisistä työvaiheista muodostuva suoraviivainen tai verkkomainen ketju, jossa peräkkäisistä työvaiheista voidaan palata aiempiin työvaiheisiin. Kuvassa 10 on havainnollistettu ketjuanalogian periaatetta. (Navigen, 2015.)



Kuva 10. Suoraviivainen ketju kuvaa peräkkäisistä työvaiheista muodostuvaa prosessia. Verkkomainen ketju kuvaa prosessia, jossa peräkkäisistä työvaiheista voidaan palata edeltäviin vaiheisiin. (mukaillen Dettmer, 1998, s. 11.)

Mahdolliset häiriöt työvaiheilla heikentävät kapasiteettia, jolloin työvaiheesta voi syntyä kapeikko koko prosessin kannalta. Tuotantoprosessissa tämä näkyy käytännössä eri työvaiheiden välille muodostuneena varastona eli keskeneräisenä tuotantona. Kapeikoksi muodostuneessa työvaiheessa on ruuhkaa samalla kuin joillekin muille työvaiheille ei riitä tekemistä. (Navigen, 2015.)

Goldratt esittää kirjassaan ”The Goal”, että yrityksen tavoitteeseen pääsemistä rajoittaa aina ainakin yksi kapeikko eli pullonkaula tuotannossa. Tuotannon kapeikko määrittelee koko prosessin lopullisen läpivirtauksen ja tehostamalla kapeikkoa voidaan parantaa kokonaisläpivirtausta. Kapeikossa menetetty tunti merkitsee samanpituista menetystä koko tuotantoprosessissa, mutta säästetty tunti työvaiheessa, joka ei ole kapeikko, on merkityksetön, koska pullonkaula määrää kokonaisläpivirtauksen. (Navigen, 2015.)

Kapeikkoajattelun perusteoriassa Goldratt esittää viisivaiheisen lähestymistavan tuotannon kapeikkojen hallitsemiseen ja eliminoimiseen:

1. Tunnistetaan tuotannon kapeikot.
2. Päätetään kuinka kapeikkoja voidaan hyödyntää.
3. Alistetaan kaikki muu edellisen kohdan päätöksen tueksi.
4. Nostetaan tunnistetun kapeikon kapasiteettia.
5. Kapeikon avauduttua palataan kohtaan yksi ja tunnistetaan uusi kapeikko. Muutosvastarintaa on vältettävä.

(Dettmer, 1998, s. 14-15)

Tuotannossa pullonkaula voi olla fyysinen resurssi tai toimintapolitiikka, joka estää tavoitteen saavuttamisen (Navigen, 2015). Ensimmäinen askel on määritellä tarkasti mikä osa prosessia muodostuu heikoimmaksi lenkiksi (Dettmer, 1998, s. 15). Keskeneräisen työn määrä jonottamassa työpisteelle pääsyä on yksi tapa todeta tuotantoprosessin pullonkaulakohtia (Nave, 2002, s. 75).

Kapeikkojen hyödyntämisessä tärkeintä on löytää ratkaisu, jolla saadaan suurempi kapasiteetti irti löydetystä kapeikosta. Tarkoitus on virittää kapeikko maksimiinsa olemassa olevalla, nykyisellä, kokoonpanolla tai resurssilla. Yksi keino voi olla tyhjäkäyntiaikojen, kuten taukojen, hyödyntäminen tuotantoaikana. Tärkeää kapeikon maksimaalisessa hyödyntämisessä on tehdä laadultaan vain kelvollisia kappaleita. Laaduntarkkailun pitää tapahtua tarpeeksi aikaisessa vaiheessa, jolloin epäkelvo kappale ei jalostu turhaan pidemmälle tuotantoprosessin edetessä eikä tuotannon kapeikon työaikaa mene hukkaan. (Dettmer, 1998, s.15.)

Tuotantoprosessin kaikki muut työvaiheet tulee säätää toimimaan kapeikon mukaisesti, koska kapeikko määrää koko prosessin lopullisen läpivirtauksen. Goldrattin viisivaiheisessa lähestymistavassa kapeikon poistamiseen voi riittää jo kolme ensimmäistä vaihetta. Ketjuanalogian mukaisesti syntyy kuitenkin uusi kapeikko, jonka purkaminen alkaa jälleen kohdasta 1. (Dettmer, 1998, s. 15.)

5 TUTKIMUSMETODIT

Tämän kandidaatintyön lähtökohtana oli löytää ne seikat, jotka vaikuttavat merkittävimmin valukappaleiden tuotantoprosessin loppupään läpivirtaukseen ja toimitusvarmuuteen. Kirjallisuuskatsauksessa esitettiin tutkimuksen tueksi kapeikkoajattelun teoria. Teoriaa hyödynnettiin tutkimuksen käytännön osuuksissa eli lattiataason tutkimuksissa ja sitä käytettiin tämän kandidaatintyön ideologisena perustana. Tutkimus sisältää sekä kvalitatiivisia että kvantitatiivisia metodeja.

5.1 Laadulliset metodit

Tutkimuksen lähtökohtana oli ymmärtää perusteellisesti valukappaleen tuotantoprosessi vaihe vaiheelta. Valmistusprosessin vaiheiden ja kappaleiden läpivirtauksen havainnoinnin tukena hyödynnettiin valmistuspäälliköiden, työnjohtajien sekä tuotantotyöntekijöiden kokemusta.

TOC-systeemiteorian periaatteita hyödynnettiin valukappaleiden tuotantoprosessin kapeikkojen etsinnässä. Havainnointikierroksilla käytiin aina lävitse valunpuhdistuksen jokainen yksittäinen työvaihe sekä niiden eteen kertynyt keskeneräinen tuotanto. Keskeneräisen tuotannon määrää verrattiin yksittäisen työvaiheen päiväkapasiteettiin ja sen perusteella arvioitiin ylittääkö jonotusaika asetetun tavoitteen.

Jotta tuloksien esittäminen oli mahdollisimman havainnollista, sisällytettiin päätyövaiheisiin yksityiskohtaisempia työvaiheita. Leikkaus -työvaihe sisälsi kaikki puhdistamossa tehtävät valukkeiden leikkaustavat, joita ovat terminen leikkaus, eli kaasuleikkaus ja mekaaninen leikkaus kuten laikkaleikkaus. Käsinpuhdistus sisälsi kaikki kappaleet, jotka oli leikattu valukkeista, sekä lämpökäsitelty ja sinkopuhallettu. Tarkastus -työvaihe tarkoitti ainoastaan visuaalista tarkastusta, sillä erityisvaatimuksellisia kappaleita, joille tehdään mm. tunkeumanestetarkastus tai röntgenkuvaus, ei tässä tutkimuksessa tarkasteltu. Lisäksi runsaasti hitsauskorjauksia vaativia kappaleita ei tarkasteltu, koska ne liittyivät yleensä aina erikoisiin valumateriaaleihin tai vaatimuksellisiin kappaleisiin.

Otannat tuotannosta pyrittiin pitämään mahdollisimman todenmukaisina, jolloin valimon tuotantomäärät olivat normaalit ja poikkeuksellisia häiriöitä tuotannossa ei ollut. Otantoja tehtiin yhteensä viisi, joista kolme ensimmäistä olivat alkuviikosta ja kaksi jälkimmäistä loppuviikosta. Kahden jälkimmäisen ja kolmen ensimmäisen otannan välissä on viikon tauko.

5.2 Määrälliset metodit

Havainnoimalla tehdyt otannat tuotannosta taulukoitiin eri työvaiheiden keskeneräisen tuotantomäärän mukaisesti taulukkolaskentaohjelmistoa hyödyntäen. Keskeneräinen tuotanto mitattiin kuormalavakohtaisesti jokaisella työpisteellä. Työmäärän arvioimisen sekä tavoitteisiin vertailun helpottamiseksi kuormalavojen sisältö muutettiin myös kappalemääräksi. Yhden kuormalavan sisällön keskiarvoksi päätettiin viisi valukappaletta. Jos kappaleita oli työvaiheelle jonossa enemmän kuin sallitun kahden päivän odotusajan, katsottiin kyseisen työvaiheen olevan pullonkaula.

SAP-tietojärjestelmästä ajettiin havaintojen tueksi raportti, josta tuloksia rajaamalla saatiin läpimenoajan muutokset tämän kandidaatintyön tekemisajankohtana. Havainnoimalla tehtyjen otantojen tuloksia ja niiden perusteella tehtyjä tuotannonohjauksellisia muutoksia verrattiin SAP-tietojärjestelmästä kerättyyn läpimenoaika -tietoon. Läpimenoaikkaa tarkasteltiin raportissa vain tavanomaisten tuotteiden ja materiaalien suhteen eli kaikki erikoisvaatimuksia tai poikkeuksellisia työvaiheita sisältäneet työt rajattiin raportista pois. Raportin antama puhdistamon läpimenoaika perustui SAP-järjestelmästä saatuihin kuittaustietoihin. Tässä tapauksessa kuittaustietoina olivat kappaleen valu- sekä valmistumispäivä. Läpimenoajan kehitys tutkimusjakson aikana on esitetty kappaleessa 6.

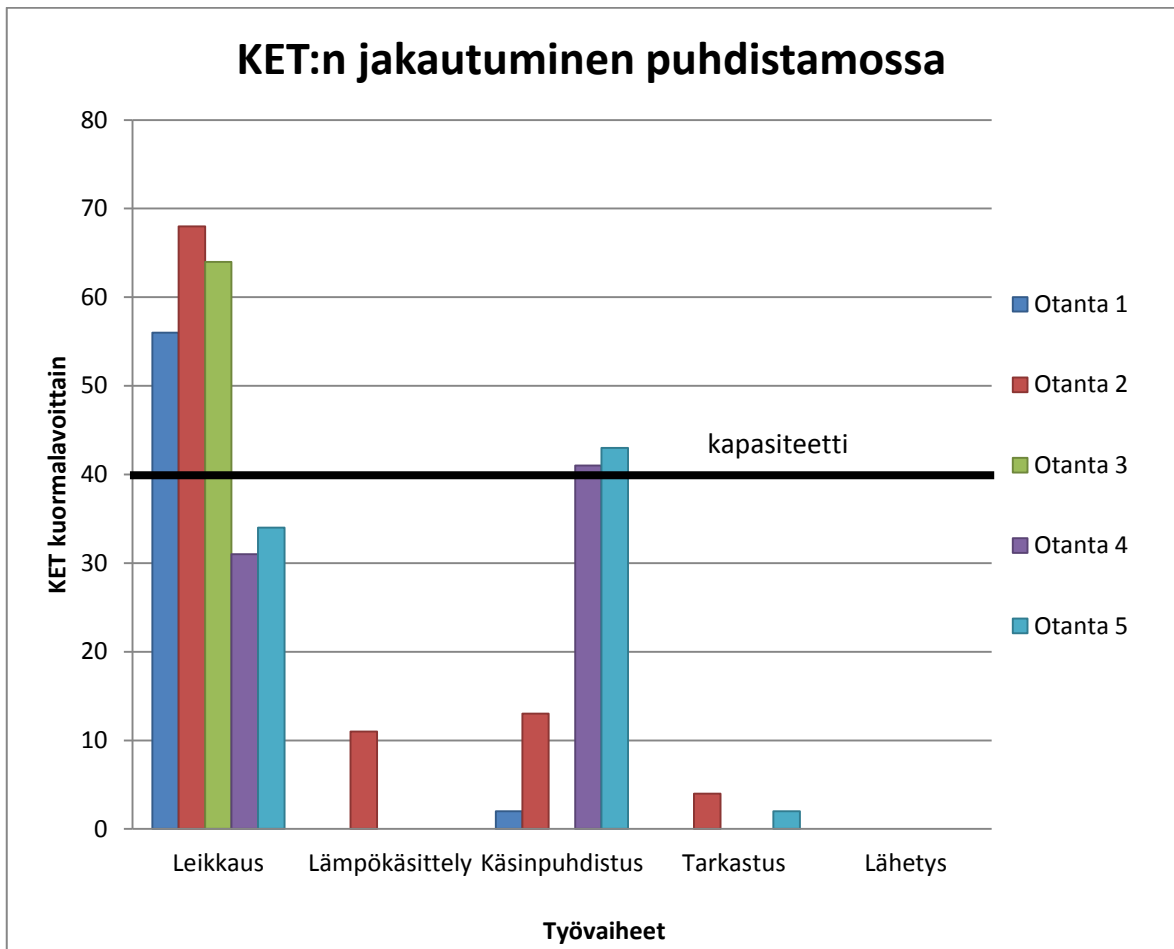
6 TULOKSET

Tulokset kuvaavat keskeneräisen tuotannon määrää puhdistamon eri työvaiheilla. Tuotannosta kerättyjen eri otantojen tulokset on esitetty taulukossa 1. Kuvassa 11 on havainnollistettu taulukon 1 tuloksia visuaalisemmassa muodossa. Kuvassa 12 on esitetty puhdistamon päätyövaiheiden päivittäiset valukappaleiden läpäisymäärät sekä eritelty vertailtavaksi jonossa oleva keskeneräinen tuotanto tehtyjen otantojen perusteella. Keskimääräinen läpimenoaika tämän kandidaatin tutkimusaikana puhdistamossa on esitetty kuvassa 13. Saatujen tulosten perusteella tehtiin johtopäätökset ja pohdittiin jatkotoimenpiteitä. Johtopäätökset, kehitysehdotukset sekä jatkotutkimusaiheet on esitetty kappaleessa 7.

Taulukossa 1 on tarkat lukemat keskeneräisestä tuotannosta kuormalavoittain otantojen 1-5 aikana. Kuvassa 11 on esitetty valunpuhdistuksen perustyövaiheiden eteen kasaantunut keskeneräinen tuotanto otantojen 1-5 aikana. Vaakasuora musta viiva osoittaa puhdistamon kapasiteetin, joka vastaa sallitun kahden työpäivän mukaista keskeneräistä tuotantoa. Kun keskeneräisen tuotannon määrä ylittää kapasiteetin, sallittu jonotusaika ylittyy ja tuotantoa alkaa kasaantua liiaksi.

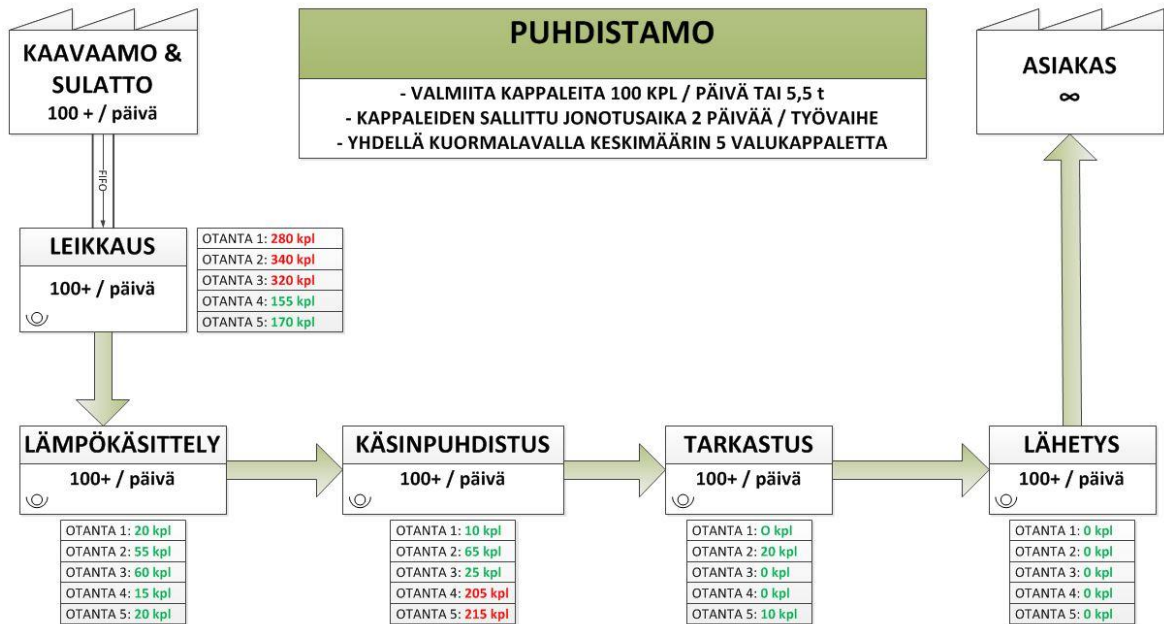
Taulukko 1. Keskeneräinen puhdistamon tuotanto kuormalavoittain jakautuneena eri työvaiheille.

Otanta	Leikkaus	Lämpökäsittely	Käsinpuhdistus	Tarkastus	Lähetys
1	56	0	2	0	0
2	68	11	13	4	0
3	64	0	0	0	0
4	31	0	41	0	0
5	34	0	43	2	0



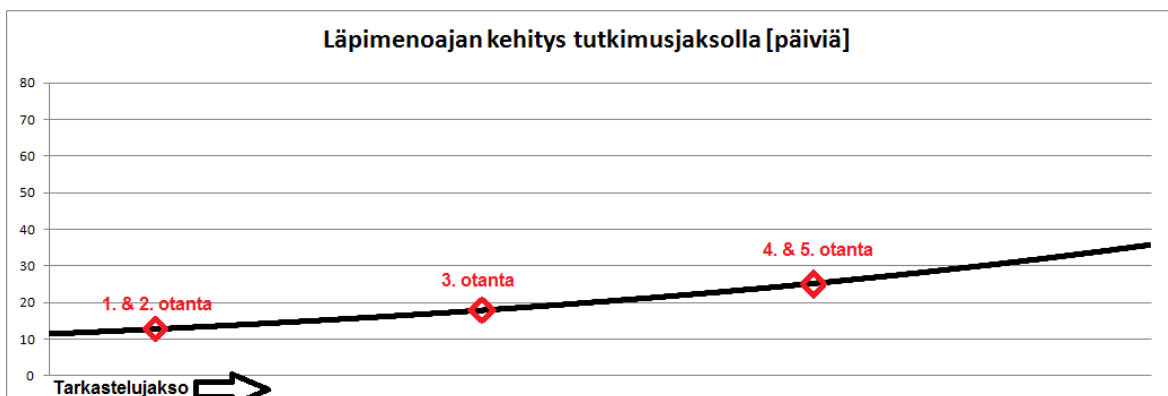
Kuva 11. Keskeneräisen tuotannon jakautuminen puhdistamon eri työvaiheille. Otannat 1-3 on tehty alkuviikosta ja 4-5 loppuviikosta. 40 kuormalavan kapasiteetti vastaa sallitun kahden työpäivän keskeneräistä tuotantoa, joka on 200 valukappaletta.

Kuvassa 12 on kuvattu puhdistamon päätyövaiheiden kierto ja jokaisen työvaiheen päivittäinen läpäisymäärä. Työvaiheen vieressä on esitetty keskeneräinen tuotanto kappaleittain, joka on saatu kertomalla kuormalavojen määrä keskimääräisellä kuormalavan sisällön määrällä, joka on viisi valukappaletta. Hälyttävänä raja-arvona on käytetty kuvan 11 tapaan sallittua keskeneräisen tuotannon määrää, joka vastaa kahden työpäivän kuormaa.



Kuva 12. Puhdistamon päätyövaiheet järjestyksessä. Päivittäinen kappaleiden läpäisymäärä on kuvattu työvaiheen alla (Seppänen, 2015). Työvaiheen vierellä on kuvattu eri otantojen tulokset jonossa olevasta keskeneräisestä tuotannosta.

Kuvassa 13 on esitetty keskimääräinen läpimenoaika tutkimusjakson aikana. Kuvaajaan on merkitty tehtyjen otantojen ajankohdat. 1. ja 2. otannan sekä 4. ja 5. otannan välissä on kulunut aikaa noin kuusi viikkoa. Läpimenoajan kehitystä on tarkasteltu tarpeeksi laajalla aikavälillä, jotta tehtyjen kapasiteettisiirtelyiden ja pullonkaulojen poistamisen vaikutukset olisivat nähtävillä. 1. ja 2. otannan jälkeen kapasiteettia siirrettiin puhdistamossa leikkaus-työvaiheelle. 4. ja 5. otannan jälkeen käsinpuhdistus -työvaiheen kapasiteettia nostettiin.



Kuva 13. Puhdistamon keskimääräisen läpimenoajan kehitys tutkimusjakson aikana. Kuvaan on merkitty otantojen 1-5 ajankohta tutkimusjakson edetessä.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Käytettyjen tutkimusmetodien pohjalta saatujen tulosten perusteella löydettiin selkeitä viitteitä puhdistamon tuotannon ongelmakohtiin läpivirtauksen ja toimitusvarmuuden kannalta. Tieteellisen tutkimuksen ollessa kyseessä, tuloksia analysoitiin asiaankuuluvalla kriittisyydellä. Analyysin perusteella esitettiin kehitysehdotuksia toiminnan parantamiseksi sekä tarkasteltiin mahdollisia jatkotutkimusaiheita.

7.1 Tulosten analysointi

Tehtyjen otantojen perusteella voitiin nostaa esille kaksi toisistaan erillään olevaa työvaihetta, joiden ympärille kasaantui keskeneräistä tuotantoa selkeästi eniten. Leikkausvaiheen ruuhkaantuessa otannoissa 1-3, muiden työvaiheiden läpivirtaus oli normaali eikä KET:a kasaantunut yli sallitun jonotusajan. Leikkausvaiheen läpivirtauksen ollessa paremmassa tasapainossa otannoissa 4-5, kasaantui KET:a käsinpuhdistukselle enemmän kuin työvaihekohtainen kahden työpäivän jonotusaika salli.

TOC-analyysin mukaisesti tunnistettua kapeikkoa pyrittiin hyödyntämään tuotannonohjauksessa. Työnjohdon havaitessa KET:n kasvua työvaiheella, lisättiin kyseisen työvaiheen kapasiteettia siirtämällä olemassa olevia resursseja toiselta ei-pullonkaula-työvaiheelta. Pullonkaulan avartaminen näkyi käytännössä otannoissa 4 ja 5, joissa leikkaus-työvaiheen kuorma laski. Samoissa otannoissa havaittiin KET:n kasvua käsinpuhdistus-työvaiheessa, koska leikkaukseen siirretty resurssi oli peräisin käsinpuhdistuksesta. Vastaavasti käsinpuhdistuksen KET:n taittuessa pullonkaula siirtyi leikkaukseen.

Pullonkaulan avartaminen kapasiteetin lisäyksellä puhdistamossa siirsi pullonkaulan toisaalle vain hetkeksi, kunnes toisen työvaiheen kuorma kasvoi niin suureksi, että tarvittiin jälleen kapasiteetin siirtoja. Tehtyjen otantojen perusteella muilla työvaiheilla kuin käsinpuhdistuksessa ja leikkauksessa, ei havaittu kasvanutta työkuormaa.

Työkuorman kasvaminen ja pullonkaulojen syntyminen tietyillä työvaiheilla aiheutti ongelmia läpivirtauksen kanssa. Keskimääräinen läpimenoaika ei pienentynyt havaittavasti

pullonkaulojen poistamisen jälkeen. Tästä syystä myöskään toimitusvarmuuden osalta ei päästy tavoitteeseen, joka on 95 %. Kappaleiden kasaantuessa liiallisiksi määräksi työvaiheiden eteen, niitä jouduttiin varastoimaan paikoissa, joissa niiden oikean järjestyksen ylläpitäminen ei ollut helppoa. Oikea tekojärjestys rikkoontui ja työn alle otettiin kappaleita väärässä järjestyksessä.

Kappaleessa 3.4 esitettiin, miten tuotannonohjaus toimii puhdistamossa. Käytössä on ns. päivävärit, joissa jokaiselle viikonpäivälle on määritetty oma värinsä. Leikkauksen ja lämpökäsittelyn jälkeen käsinpuhdistus-työvaiheelle siirtyvään kappaleeseen maalataan ko. päivän väri osoittamaan oikea työjärjestys. Käsinpuhdistus-työvaiheella on käytössä fyysinen FI-FO-läpivirtausrata, jolla kappaleet odottavat päivävärien mukaisessa järjestyksessä työn alle siirtymistä. Kun ylitetään asetettu kahden työpäivän sallittu jonotusaika, kappaleita alkaa kasaantua hallitsemattomasti niille kuulumattomiin paikkoihin. Vaikka päivävärit ovatkin maalattuna kappaleisiin, ei aina voida olla varmoja minkä viikon väreistä on kysymys. Toisin sanoen kappaleet voivat joutua jonottamaan pahimmillaan usean viikon ajan, vaikka sallittu jonotusaika on kaksi työpäivää. Kun järjestys rikkoontuu jo ennen fyysistä FI-FO-läpivirtausrataa, työn alle otetaan kappaleita väärässä järjestyksessä jatkuvasti. Osa kappaleista valmistuu ennenaikaisesti sillä kustannuksella, että osa kappaleista myöhästyy.

7.2 Kehitysehdotukset

Pullonkauloista ei voida hankkiutua olemassa olevilla resursseilla täysin eroon, mutta niitä voidaan hyödyntää tuotannonohjauksessa. Kapasiteetin siirtäminen joustavasti sinne, missä sitä tarvitaan, on avainasemassa pullonkaulojen hallitsemisessa. Kapasiteettia tulee siirtää sitä tarvitsevaan työvaiheeseen riittävän ajoissa, ettei työkuorma kasva hallitsemattomaksi.

Tällä hetkellä tarvittavan kapasiteetin siirto tehdään silmämääräisten arvioiden perusteella, toisin sanoen silloin kun jollekin työvaiheelle kerääntyy suuri määrä keskeneräistä tuotantoa. Tarvittavalle työmäärälle ja olemassa olevalle kapasiteetille tulee määritellä selvä yhteys. Tämä voisi olla lukuarvo osoittamaan minkälaisella kapasiteetilla työkuorma saadaan hoidetuksi sallitun jonotusajan puitteissa. Tämän perusteella voidaan päivittäin määritellä olemassa oleva kapasiteetti ja eri työvaiheilla oleva työmäärän ja niiden perusteella tehdä tarvittavat siirrot tavoitteeseen pääsyyn. Kapasiteetin siirtelyn ehtona on

henkilökunnan riittävän moniosaamisen varmistaminen. Päivätavoitteen asettaminen jokaiselle yksittäiselle työvaiheelle helpottaa kapasiteettisuunnittelua. Kun työnjohdon päivittäisjohtamiseen sisällytetään työmäärä-lukeman perusteella asetettu päivätavoite työpistekohtaisesti, kapasiteetin hallinta on selkeää ja perusteltua. Lisäksi päivätasolla voidaan seurata työpistekohtaisesti tavoitteeseen pääsyä tai pohtia syitä miksi tavoitteeseen ei päästy.

Kapasiteetin siirtelyn hallitsemisen lisäksi kappaleiden työjärjestykseen tulee kiinnittää suurta huomiota. Olemassa olevat käytännöt, kuten päivävärien maalaaminen kappaleisiin, eivät ole riittävän luotettavia, jos työkuorma kasvaa yli kapasiteetin. Lisäksi kappaleille ei ole osoitettu selkeitä jonotusalueita tai jonojen purkamiskäytäntöjä. Tyypillinen tilanne on ottaa ensimmäiseksi työn alle kuormalava, joka on viimeiseksi jonoon tuotu. Tällöin pisimpään työvaiheelle jonottanut kuormalava pääsee työn alle viimeisenä. Näin tapahtuu käytännössä kaikissa muissa työvaiheissa paitsi käsinpuhdistuksessa, jossa on käytössä fyysinen FI-FO-läpivirtausrata. Vastaavanlaisia järjestelmiä tulisi harkita käyttöön otettavaksi muissakin työvaiheissa. ”First in, first out”-periaatteen mukaisesti toimivasta läpivirtausradasta ei ole hyötyä yhdellä työvaiheella, jos sille tuodut kappaleet ovat valmiiksi väärässä järjestyksessä.

7.3 Jatkotutkimukset

Tämän kandidaatintyön seurauksena avautui mahdollisuuksia tehdä jatkotutkimuksia ilmenneiden ongelmien syvällisempään selvittämiseen. Hyödyllisiä jatkotutkimusaiheita ovat:

- Kapasiteetin hallintatyökalun kehittäminen puhdistamon tuotannonohjaukseen
- Työkuormien ja -määrien visualisoinnin parantaminen
- Työpisteiden keskeneräisen tuotannon hallitsemisen kehittäminen

8 YHTEENVETO

Teräsvalimon tuotannossa on lukuisia muuttujia, jotka tekevät tuotannon suunnittelusta ja läpivirtauksen hallitsemisesta haasteellista. Erilaisten tuotteiden sekä valumateriaalien yhdistelmien suuri määrä tekee ennustettavuudesta vaikeaa ja asettaa haasteita toimitusvarmuustavoitteen saavuttamiselle.

Teräsvalimotuotannon kapeikkoja tutkittaessa havaittiin selkeitä pullonkauloja, jotka vaihtelivat eri työvaiheiden välillä, riippuen kapasiteetin siirtelystä. Kapeikkoja hyödynnettiin tuotannonohjauksessa siirtämällä kapasiteettia ei-pullonkaulasta pullonkaulalle. Tällä tavalla paikallinen pullonkaula saatiin poistettua, mutta samalla syntyi uusi pullonkaula toiselle työvaiheelle. Kapasiteetin siirtelyllä ja pullonkaulojen poistamisella ei kuitenkaan havaittu selkeää vaikutusta koko tuotannon läpimenoajan lyhenemisen kannalta.

Keskeneräisen tuotannon määrä ei ollut tuotannon suurin ongelma, vaan sen kokonaisvaltainen hallitseminen. Valukappaleiden valmistuminen väärässä järjestyksessä oli seurausta keskeneräisen tuotannon riittämättömästä hallitsemisesta. Tämä aiheutti hajontaa toimitusvarmuuteen sekä heikensi läpivirtausta ja muiden tuotteiden läpimenoaika.

Tutkimuksen seurauksena havaittiin tarpeita jatkotoimenpiteille. Tuotannon työkuormien visuaalisuuden parantaminen kaikilla työvaiheilla antaa mahdollisuuksia ohjata tuotantoa tehokkaasti. Kuormitusmittarien kehittäminen ja käyttöönotto antavat tulevaisuudessa mahdollisuuksia parantaa läpivirtausta sekä pienentää läpimenoaika. Näitä kaikkia edellä mainittuja asioita tukee keskeneräisen tuotannon hallitseminen, joka jatkuvasti kasvavilla markkinoilla haastaa valimotuotannon ja antaa aihetta jatkuvalla parantamiselle.

LÄHTEET

Autere, M., Ingman, Y. & Tennilä, P. 1982. Valimotekniikka 1. Suomen Metalliteollisuusyhdistys ry. Insinööritieto Oy. 415 s.

Autere, M., Ingman, Y. & Tennilä, P. 1986. Valimotekniikka 2. Suomen Metalliteollisuusyhdistys ry. INSKO ry:n kirjapaino. 636 s.

Dettmer, H. 1998. Breaking the Constraints to World-Class Performance. USA: ASQ Quality Press. 288 s.

Keskinen, R. & Niemi, P. 2011. Valuteräksen sulatus ja käsittely [verkkodokumentti]. Päivitetty 10.11.2011. [Viitattu 22.5.2015]. Saatavissa: http://www.valuatlas.fi/tietomat/koosteet/sulatus_tao/index.html

Lehtonen, J.-M. 2008. Tuotantotalous. 3. painos. Helsinki: WSOY Oppimateriaalit Oy. 292 s.

Meskanen, S. & Höök, T. 2013. Valukappaleiden puhdistus [verkkodokumentti]. Päivitetty 31.10.2013. [Viitattu 18.5.2015]. Saatavissa: <http://www.valuatlas.fi/tietomat/koosteet/valimoprosessi/index.html>

Nave, D. 2002. How to Compare Six Sigma, Lean and the Theory of Constraints [verkkodokumentti]. Päivitetty maaliskuussa 2002. [Viitattu 11.2.2015]. Saatavissa: http://www.asq1530.org/images/Compare_Lean_Six_Sigma_TOC.pdf

Navigen. 2015. The Goal. [Navigenin www-sivuilla]. [Viitattu 23.3.2015]. Saatavissa: <http://www.navigen.com/kirjapinkka/strategia/69-the-goal>

Scheinkopf, L. 1999. Thinking for a Change – Putting the TOC Thinking Processes to Use. USA: CRC Press LLC. 255 s.

Seppänen, J. 2015. Insinööri; valmistuspäällikkö, Sulzer Pumps Finland Oy Karhulan valimon puhdistamo. Kotka. Suullinen tiedoksianto 3.3.2015. Muistiinpanot kandidaatintyöntekijän hallussa.

Sulzer Pumps Finland Oy. 2011. Karhulan valimo. Karhulan Valimon virallinen esite. 9 s.

Sulzer Pumps Finland Oy. 2015. [Sulzerin www-sivuilla]. Viimeksi päivitetty 2015. [viitattu 26.1.2015]. Saatavissa: <http://www.sulzer.com/en/About-us/Our-Businesses/Pumps-Equipment/Global-Manufacturing-Network/Sulzer-Pumps-Finland-Oy>

Tieke, 2015. [Tietoyhteiskunnan kehittämiskeskus ry:n www-sivuilla]. Viimeksi päivitetty 26.3.2015 [viitattu 26.3.2015]. Saatavissa: <http://www.tieke.fi/display/julkaisut/Toimitusvarmuus>

Valuatlas. 2015. [Valuatlaksen www-sivuilla]. Viimeksi päivitetty 2015. [viitattu 22.5.2015]. Saatavissa: <http://www.valuatlas.fi/tietomat/koosteet/valimoprosessi/index.html>