

Akselivalutuotannon tehostaminen ja läpimenon kehitys

Miika Kinnunen

Opinnäytetyö
Toukokuu 2019
Tekniikan ala
Insinööri (AMK), konetekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä(t) Kinnunen, Miika	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Toukokuu 2019
	Sivumäärä 58	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Akselivalutuotannon tehostaminen ja läpimenon kehitys		
Tutkinto-ohjelma Insinööri (AMK), konetekniikan tutkinto-ohjelma		
Työn ohjaaja(t) Miikka Parviainen; Harri Peuranen		
Toimeksiantaja(t) Valmet Technologies Oy, Rautpohjan valimo		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Rautpohjan valimo on osa Valmetin paperikonetehtästä Jyväskylässä. Valimolla tuotetaan valurautakappaleita Valmetin sekä ulkoisten asiakkaiden tarpeeseen. Suuret valut ovat pääasiassa paperi- ja kartonkikoneiden teloja, akseleita ja kuivatussylitäreitä, joista akselit ovat tärkein ydinsaamisen alue. Projektiluontoisen tuotannon takia tuotevariaatioiden määrä on hyvin suuri ja valujen kokoluokan vuoksi läpimenoajat ovat useita viikkoja valmistuksen aloituksesta.</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli lisätä valimon akselivalujen tuotantokapasiteettia ilman suuria investointeja, ilman henkilöstömäärän lisäystä ja telavalujen tuotantomäärästä tinkimättä. Kapasiteetin lisäys tuli siis tehdä hakemalla valmistusprosessista kehityskohteita, joilla läpimenoaikoja saataisiin lyhennettyä ja prosessin sisäistä hukkaa poistettua. Lean-filosofia oli pääroolissa käytettävien menetelmien ja työkalujen osalta.</p> <p>Työ eteni tyypillisen lean-kehitysprojektin mukaisesti. Ensin tutustuttiin prosessiin, kartoitettiin vaiheet, kuvattiin asiakasarvon muodostuminen ja haettiin tulosten perusteella kehityskohteita läpimenon kehittämiseksi. Aineistoa kerättiin työntekijöitä haastatteleamalla ja heidän kanssaan keskustelemalla. Lisäksi prosessia tarkasteltiin itse havainnoimalla ja tutkimalla olemassa olevia toteumatietoja.</p> <p>Työn tuloksena löydettiin useita kehityskohteita valimon akselituotannosta, pääasiassa kaavausvaiheesta, jolla todettiin olevan suurin vaikutus kappaleiden läpimenoaikaan. Merkittävimpiä ehdotettuja kehitystoimenpiteitä tuotannon kehittämiseksi olivat erillisen keräilyvaiheen luominen ja kaavausvaiheen jakaminen pienempiin osavaiheisiin. Kehityskohteita löydettiin myös materiaalien virtauksesta ja tiedonkulusta. Tulosten myötä asetettuihin tavoitteisiin päästiin. Määrällisten tavoitteiden toteutuminen voidaan todentaa vasta, kun tulokset on viety käytäntöön.</p>		
<p>Avainsanat (asiasanat) Valimo, läpimenoaika, lean, vsm, smed, projektituotanto, valaminen, kaavaus, vaihtelu</p>		
<p>Muut tiedot Opinnäytetyön liitteet ovat salassa pidettäviä, ja ne on poistettu julkisesta työstä. Perusteena Julkisuuslain 621/1999 24§ kohdat 20 ja 21, yrityksen liike- tai ammattisalaisuudet ja kehittämistyö. Salassapitoaika kaksikymmentä (20) vuotta, salassapito päättyy 16.5.2039.</p>		

Author(s) Kinnunen, Miika	Type of publication Bachelor's thesis	Date May 2019 Language of publication: Finnish
	Number of pages 58	Permission for web publication: x
	Title of publication Manufacturing process improvement and cycle time reduction of nodular cast iron shaft blanks	
Degree programme Bachelor of Mechanical Engineering		
Supervisor(s) Parviainen, Miikka; Peuranen, Harri		
Assigned by Valmet Technologies Oy, Rautpohja Foundry		
Abstract <p>Rautpohja foundry is a part of Valmet's paper machine factory located in Jyväskylä, Finland. Foundry delivers castings for Valmet's own needs and for external customers. Large castings consist mainly from roll, shaft and dryer cylinder castings. The shaft castings are the core products for Rautpohja foundry. Due to nature of project manufacturing, there is large amount of product variations and cycle time of the manufacturing process is several weeks.</p> <p>The goal was to increase the manufacturing capacity of shaft manufacturing without major investments and without increasing the workforce. Also shaft manufacturing shouldn't interfere nor eat capacity from roll manufacturing. The improvement potential had to be sought primarily by analyzing the manufacturing process and identifying possibilities to reduce waste, which would lead to reduced cycle time. Used methods and tools were mainly adapted from lean philosophy.</p> <p>The project followed the structure of a typical lean development project, where first thing is to identify the process steps, then identify and map value stream, and implement different tools based on the results of the value stream mapping. Data was collected by self-observing and by interviews and conversations with floor workers, supervisors and managers.</p> <p>As a result, numerous development ideas were found, mainly on molding, which was found to have the most impact to lead time of all process steps. Most notable suggested changes to production was to create a separated picking process, which would prepare the materials and components for molding and dividing molding process to smaller steps. Development potential was found also on material and information handling. Goals were reached. Actual effects can be seen after the suggested actions are implemented.</p>		
Keywords/tags (subjects) Foundry, lead time, lean, vsm, smed, project manufacturing, casting, molding		
Miscellaneous Appendixes are confidential and have been removed from the public thesis. Grounds for secrecy: Act on the Openness of Government Activities 621/1999, Section 24, 20 & 21: business or professional secret & documents concerning the basic materials for a dissertation or other development project. The holding period lasts 20 years, the secrecy expires on 16.5.2039.		

Sisältö

Keskeiset käsitteet	3
1 Johdanto	5
2 Tutkimusasetelma	6
2.1 Tutkimuskohde	6
2.2 Tutkimusongelma, tavoitteet ja rajaus	7
2.3 Tutkimus- ja analyysimenetelmät	8
3 Valimoteollisuus	9
3.1 Valuraudat	10
3.2 Valaminen valmistusmenetelmänä	11
4 Tuotannonohjaus	12
4.1 Karkeasuunnittelu	13
4.2 Hienosuunnittelu	14
4.3 Läpäisy aika	15
5 Lean-filosofia	16
5.1 Vaihtelu	17
5.2 Hukka	19
5.3 VSM eli arvovirtakuvaus	20
5.4 SMED – Menetelmä tuotevaihtoaikojen minimoimiseen	22
5.5 Imu- ja työntöohjaus, JIT	23
6 Työn toteutus	25
6.1 Akseleiden valmistusprosessin kulku	25
6.2 Lähtötilanteen kartoitus	28
6.3 Prosessin analysointi	29
6.4 Kehityskohteiden hakeminen	31
6.4.1 Materiaalien virtaus	33

	2
6.4.2 Kunnossapito ja käyttäjähuollot	37
6.4.3 Työn vaiheistus ja vaiheiden ajoitus	38
6.5 Tahtotilan kuvaus	40
7 Tulokset	42
7.1 Kehityskohteet ja -ehdotukset	42
7.2 Jatkotoimenpiteet	44
8 Johtopäätökset ja pohdinta	45
Lähteet	47
Liitteet (salattu)	50
Kuviot	
Kuvio 1. Periaatekuva taipumakompensoidusta Sym CD -telasta	5
Kuvio 2. Valutuotanto tonneina Suomessa	10
Kuvio 3. Tyypillinen esimerkki valimon arvovirtakuvauksesta	21
Kuvio 4. SMED:n periaate	22
Kuvio 5. Imu- ja työntöohjauksen periaatteet	24
Kuvio 6. Lähetysvalmis Sym-akseli hiekkapuhalluspukeilla	28
Taulukot	
Taulukko 1. Ote arvovirtataulukosta periaatteen havainnollistamiseksi	31
Taulukko 2. Päättävalujen nyky- ja tahtotilan vertailu	41
Taulukko 3. Altavalujen nyky- ja tahtotilan vertailu	41

Keskeiset käsitteet

Asetusaika

Valmisteleviin toimenpiteisiin kuuluva aika jonkin toimenpiteen suorittamiseksi, esimerkiksi ennen tiettyä koneistusvaihetta vaadittavien toimenpiteiden aika. Käytetään myös nimitystä tuotevaihto aika.

Jäähdytyskokilli

Kappaleen jäähtymistä paikallisesti nopeuttava muotinvalmistuksen komponentti. Yksinkertaisimmillaan valurautainen tiiliskivi. Kokilleilla hallitaan ja ehkäistään kappaleiden sisään muodostuvia imuhuokoisuusalueita.

Kaatoallas eli kuusa

Allas, joka ohjaa valusangosta kaadettavan sulan raudan muottiin tai kaatokanavaan pohjassa olevan reiän tai reikien kautta.

Kaavaus

Kaavauksella tarkoitetaan muotinvalmistuksen työvaihetta, jossa valumalli ja tarvittavat muut varusteet asetetaan kaavauskehään ja kehä täytetään hiekalla samalla sulloen.

Kapasiteetti

Tuotannon enimmäissuorituskyky aikayksikössä. Voidaan ilmoittaa esimerkiksi kappalemääränä tunnissa (50 kpl/h) tai käytössä olevina työtunteina aikayksikössä (160 h/vk)

Keerna

Hiekasta valmistettava muottiin asetettava irtokappale, jolla saadaan valmiin kappaleen vastahellitykselliset ulkopuoliset tai sisäpuoliset muodot tehtyä.

Muotti

Halutun kappaleen muotoinen muottimateriaalin sisällä oleva tyhjä ontelo, jossa on tarvittavat valu- ja syöttöjärjestelmät.

Peitoste, peitostus

Peitosteet valmistetaan tulenkestävästä aineesta, joka on nestemäisessä väliaineessa. Tyypillisesti alkoholi- tai vesipohjaisia. Estävät raudan tunkeutumisen hiekkaan ja hiekan kiinnipalamisen valmiin kappaleen pintaan.

Ramppu

C-kirjaimen muotoinen kiinnitysväline, joilla kaksi muotin osaa voidaan kiristää toisiaan vasten asettamalla ramppu pintojen reunojen ympärille ja lyömällä kiila toisen pinnan ja rampun väliin.

Sullonta

Muottihiekan tiivistämistä joko koneellisesti tai käsin. Käsin sullottaessa apuna käytetään esimerkiksi puista melaa.

Syöttökupu

Valun syöttöjärjestelmä. Syöttää sulaa valun jälkeen jähmettymiskutistuman aiheuttaman imuhuokoisuuden ehkäisemiseksi.

Valumalli

Tyypillisesti puusta tai muovista valmistettu valmiin tuotteen tai sen osan muotoinen kappale. Malli asetetaan kaavatessa kaavauskehään, kehä täytetään hiekalla ja hiekan kovetuttua irrotetaan malli hiekasta. Hiekkaan saadaan tällä tavoin aikaiseksi halutun muotoinen tyhjä tila.

1 Johdanto

Valmet Technologies Oy on maailman johtava paperi- ja kartonkikoneiden valmistaja. Rautpohjan valimossa valmistetaan näihin koneisiin tela-, sylinteri- ja akselivaluja, sekä käsinkaavattuja pienempiä valuja. Pienimpien käsinkaavattujen valujen painot alkavat noin kymmenestä kilosta, kun taas suurien tela-, sylinteri- ja akselivalujen kokoluokka vaihtelee pituuden osalta yhdeksästä viiteentoista metriin, ja painon osalta noin 15 000 kilosta 65 000 kiloon. Näistä tämän opinnäytetyön aiheeksi valikoituivat akselivalut, joita tarvitaan taipumakompensoituihin Sym- ja SymBelt teloihin, joissa ne toimivat telan ”runkona” ja joihin telan sisällä oleva hydrauliiikka, pneumatiikka ja elektroniikka asennetaan. Akselivalujen valmistus on Rautpohjan valimon ydinosaamista, minkä vuoksi se haluaa panostaa osaamisen kehittämiseen. Kuviossa 1 on esitetty periaatekuva taipumakompensoidusta Sym-telasta.



Kuvio 1. Periaatekuva taipumakompensoidusta Sym CD -telasta (Hydrauliikka turvaa... 2015, 31)

Paperi- ja kartonkikoneet ovat hyviä esimerkkejä erittäin pitkälle räätälöidyistä tuotteista, sillä jokainen kone suunnitellaan ja mitoitetaan yksilöllisesti alusta lähtien asiakkaan tarpeiden ja vaatimusten mukaan. Myös osat suunnitellaan suurelta osin projektikohtaisesti. Tämä heijastuu valimon akselivalutuotantoon siten, että akselivaihtovaihtioita on kymmeniä. Akseleiden valaminen on asiakasohjautuvaa

projektituotantoa, joka valujen koon ja valimoprosessin luonteen takia vaatii merkittävän määrän miestyövoimaa. Prosessi on monivaiheinen ja vaiheajat pitkiä. Yhden akselin läpimenoaika on lähtötilanteessa noin neljä viikkoa valmistuksen aloittamisesta valmiin aihion toimitukseen.

2 Tutkimusasetelma

2.1 Tutkimuskohde

Opinnäytetyö suoritettiin Rautpohjan valimolle, joka on osa Valmetin paperikonetehtaan Jyväskylän Rautpohjassa. Kyseessä on rautavalimo, jossa valetaan suomu- ja pallografiittivaluraudasta tuotteita Valmetin omiin tarpeisiin sekä ulkoisille asiakkaille. Valimo työllistää tällä hetkellä noin 100 henkilöä, ja sen tuotanto on vuositasolla noin 8 000 tonnia. Teknistä kapasiteettia valimolla on noin 24 000 tonnia. Suurimpia ulkoisia asiakkaita ovat mm. Wärtsilä, ABB ja Andritz, joille valmistetaan pieniä ja keskisuuria käsinkaavattuja valuja. Telat, akselit ja sylinterit menevät lähes kokonaan Valmetin omaan käyttöön, joko uusiin koneisiin tai varaosaprojekteille. (Nikula 2019.)

Rautpohjan tehdas on perustettu vuonna 1938, ja valimo on toiminut paikalla vuodesta 1949. Tehdas oli alun perin valtion tykkitehdas, mutta lukuisten vaiheiden jälkeen tällä hetkellä se on Valmetin suurin yksittäinen tuotanto- ja tuotekehitysyksikkö. Lyhyt historia ei missään nimessä ole paperikoneidenkaan saralla, sillä ensimmäinen kone tontilta toimitettiin Puolaan vuonna 1953. (Historia n.d., Sinervä 2017.)

Valimon tuotanto on jaettu seuraaviin osastoihin: malliverstas, konekeernaosasto, sulatto, käsinkaavaus, tela- ja akselikaavaus sekä puhdistus, tarkastus ja lähetys. Kulakin osastolla on oma työnjohtajansa ja jokaisella osastolla omat tilansa valimossa. Valimolla on lisäksi omat laboratoriot valuraudan analysointiin sekä mekaaniseen testaukseen. Kunnossapito on ulkoistettu Maintpartner Oy:lle, mutta kunnossapidon tilatkin sijaitsevat valimolla.

2.2 Tutkimusongelma, tavoitteet ja rajaus

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia akselivalujen valmistusprosessia ja hakea kehityskohteita, joilla akselien valmistusmäärää voidaan lisätä lähtötilanteen yhdestä valusta per viikko puoleentoista valuun viikossa. Kehitystyö tuli tehdä ilman suuria investointeja ja ilman työvoiman lisäystä. Telavalujen tuotantomäärästä ei myöskään saanut tinkiä. Käytännössä tämä tarkoitti, että tuotantoa oli kehitettävä kartoittamalla prosessissa syntyvää hukkaa ja poistamalla sitä erilaisten työkalujen ja menetelmien avulla. Työn tietoperustaa lähdettiin muodostamaan tämän vuoksi lean-filosofian tiimoilta.

Aihe rajattiin koskemaan vain akselivalutuotantoa. Oli kuitenkin selvää, että kehitysehdotuksilla tulnaisiin saavuttamaan kehitystä myös telavalujen tuotantoon, koska menetelmät ja vaiheet ovat hyvin samanlaisia. Molempia valmistetaan samoilla työpisteillä ja pitkälti samoja välineitä käyttäen. Tästä aiheutui myös se, että kehitystoimenpiteitä suunniteltaessa oli pakko huomioida myös telavalujen valmistus. Malliversitas ja sulatto rajattiin aiheen ulkopuolelle, eikä niihin keskitytty työn aikana. Työtä rajattaessa määriteltiin oletus, että mallit ja sula tulevat ajallaan. Valmistusprosessia tarkasteltiin rajauksen perusteella valmiiden mallien luovuttamisesta tuotantoon valmiin aihion toimitukseen. Työn tutkimusongelmaksi muodostui täten:

- Miten valimon akselivalutuotantoa tulisi kehittää?

Tästä johdettavia tarkempia tutkimuskysymyksiä, joihin vastauksia lähdettiin hakemaan, olivat:

- Mikä valmistusprosessissa aiheuttaa hukkaa?
- Mitkä tekijät rajoittavat tuotantoa ja miksi?
- Mitkä ovat läpimenoajan ja tuottavuuden kannalta kriittisimmät vaiheet?

Kysymyksiin pyrittiin hakemaan vastauksia lean-filosofian tarjoamien menetelmien avulla, joista tässä opinnäytetyössä käytetyt on esitelty luvussa 5. Aineiston keräämisen osalta suuressa roolissa oli myös yrityksen sisäinen tieto prosessin nykytilasta, rajoitteista ja mahdollisuuksista.

2.3 Tutkimus- ja analyysimenetelmät

Opinnäytetyö suoritettiin sekä kvalitatiivisen tutkimuksen että kvantitatiivisen tutkimuksen elementtejä yhdistelevänä havainnointitutkimuksena. Aineisto kerättiin pääasiassa haastatteleamalla henkilöstöä ja itse havainnoimalla. Lisäksi yrityksestä saatavaa aiheesta jo olemassa olevaa toteumatietoa hyödynnettiin tutkimusta tehdessä. Kvantitatiivista tutkimusta suoritettiin prosessin nykytilaa ja tahtotilaa selvittäessä ja kuvatessa. Kvantitatiiviseen osuuteen kuului muun muassa arvovirtakuvauksen luominen sekä prosessin vaiheajojen ja läpäisyajojen kartoitus.

Haastattelumenetelmät

Haastattelu on yleinen tapa kerätä tietoa tutkittavasta aiheesta. Tavallisesti haastattelutilanne etenee siten, että haastattelijä johdattaa keskustelua enemmän tai vähemmän järjestelmällisesti eli strukturoidusti. Haastattelut jaetaankin tyypillisesti muodollisuusasteen mukaan strukturoituihin, puolistrukturoituihin eli teemahaastatteluihin sekä avoimiin haastatteluihin. Mikäli haastateltavia on useita, puhutaan paritai ryhmähaastattelusta. Ryhmähaastatteluissa tavoite on, että keskustelu on mahdollisimman avointa, joten strukturoitu haastattelu ei tällaisiin tilanteisiin sovi. (Saaranen-Kauppinen & Puusniekka 2006a; 2006b.) Tässä työssä käytettiin ainoastaan teemahaastattelua ja avointa haastattelua. Haastattelut suoritettiin pääasiassa parihaastatteluina, koska työntekijät toimivat tela- ja akselikaavauksessa työpareina.

Teemahaastattelu ryhmälle tai parille on rakenteeltaan melko avoin, tietyn aihepiirin ympärille sijoittuva haastattelu. Se etenee ennalta määritellyn teeman mukaisesti, jättäen kuitenkin tilaa keskustelulle, ja haastattelijä pyrkiikin koko ajan ylläpitämään keskustelua ja kannustamaan haastateltavia tuomaan omia näkökulmiaan esille. Haastattelutyyppien etuna on, että tietoa saadaan nopeasti ja samanaikaisesti useilta henkilöiltä. Lisäksi useamman haastateltavan läsnäolo saattaa rentouttaa ja vapauttaa keskustelua sekä tuoda esiin sellaisia näkökulmia, joita yksin haastateltaessa ei tulisi esille. Avoin haastattelu taas on nimensä mukaisesti rakenteeltaan avoin, ja muistuttaa pitkälti keskustelua. (Saaranen-Kauppinen & Puusniekka 2006b.)

Haastatteluja suoritettiin sekä teemahaastatteluna että rennompina, avoimina keskustelunomaisina haastatteluina. Teemahaastattelua käytettiin muun muassa tutkitessa leanin 7 hukkaa -mallin eri osioiden esiintymistä tuotannossa. Kysymykset oli ennalta laadittu, ja ne käytiin jokaisen työhön liittyvän vaiheen sillä hetkellä vuorossa olevien työntekijöiden kanssa läpi. Keskustelulle jätettiin kuitenkin tilaa, ja niistä nousikin hyviä huomioita valmiiksi mietittyjen kysymysten lisäksi.

Analyysimenetelmät

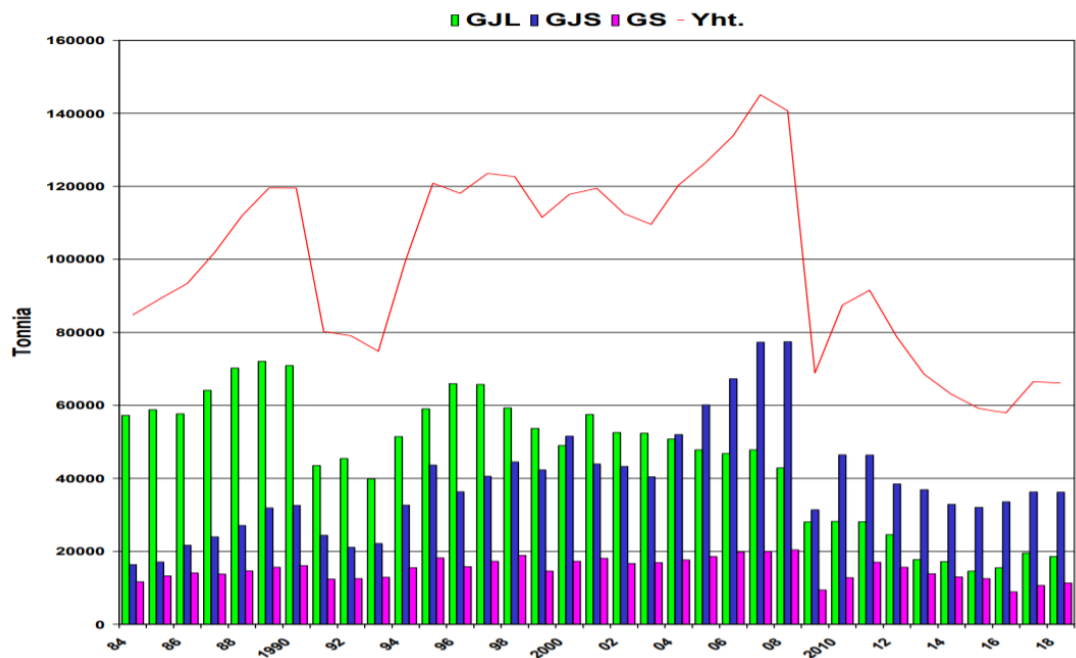
Valmistusprosessia analysoitaessa menetelminä käytettiin prosessikartoituksen ja arvovirtakuvauksen yhdistelmää, sillä kumpikaan yksinään ei olisi täysin soveltunut kyseessä olevaan tutkimukseen tutkimuskysymysten kannalta. Arvovirtakuvaukset luotiin Exceliin, jossa niitä pystyttiin analysoimaan sekä vertaamaan nykytilaa ja suunniteltua tulevaisuuden tilaa. Lisäksi työn aikana kerätyn aineiston luotettavuutta tarkasteltiin vertaamalla sitä olemassa oleviin toteumatietoihin sekä pyrkimällä hakemaan havaituille asioille vahvistusta useammasta lähteestä. Prosessikartoitusten ja arvovirtakuvauksien laatiminen on kuvattu tarkemmin luvussa 6 ja tutkimuksen luotettavuutta on arvioitu luvussa 8.

3 Valimoteollisuus

Valaminen on yksi vanhimmista metallituotteiden valmistusmenetelmistä. Raaka-aine saatetaan sulaan muotoon lämpöä hyväksi käyttäen, minkä jälkeen sula materiaali kaadetaan ennalta valmistettuun muottiin, jossa se jähmettyy muotin mukaiseen muotoon. Valamisella päästään täten lyhintä tietä sulasta metallista valmiiksi muotokappaleeksi. (Tennilä n.d., 1.)

Valimoteollisuus työllistää Suomessa lähes 1800 henkilöä (1751 henkilöä vuonna 2018) ja koko valutuotannon arvo oli vuonna 2018 noin 265 miljoonaa euroa. Vientiin rauta- ja teräsvaluista meni n. 32 %. (Orkas 2019, 3.) Kuviossa 2 on esitetty Suomen

valutuotanto valuraudan ja teräksen osalta tonneina vuosittain. GS on terästen OSUUS.



Kuvio 2. Valutuotanto tonneina Suomessa (Orkas 2019, 4)

3.1 Valuraudat

Valuraudat ovat yleisin valumateriaali ja ne koostuvat raudasta, hiilestä, piistä, fosforista sekä muista seosaineista ja epäpuhtauksista. Ne voidaan jakaa kemiallisen analyysin perusteella runsaasti seostettuihin, niukkaseosteisiin ja seostamattomiin valurautoihin. Mikrorakenteen, eli rakenteessa kiteytyneen grafiitin muodon, perusteella valuraudat jaetaan somu- (GJL) ja pallografiittivalurautoihin (GJS) sekä harvinaisempiin tylppägrafiittivalurautoihin (GJV). (Meskanen & Niini n.d., 1.) Näistä somu- ja pallografiittivaluraudat ovat ylivoimaisesti hyödynnetyimpiä ja myös Rautpohjan valimon kaikki valut ovat joko somu- tai pallografiittivalurautaa.

Somu- ja pallografiittivaluraudat ovat yleisesti käytettyjä materiaaleja koneenrakennuksessa niiden edullisuuden ja hyvän valettavuuden ja työstettävyyden takia. Lisäksi koneenrakennuksen kannalta edullisia ominaisuuksia ovat hyvä värähtelynvaimennus- ja lämmönjohtokyky, sekä suomugrafiittivaluraudan suomujen kyky sitoa öljyä,

joka on eduksi esimerkiksi liukulaakeripinnoilla tai muissa voitelua vaativissa koh-teissa. Suomugrafiittivaluraudat ovat mekaanisilta lujuusominaisuuksiltaan vaatimat-tomia, mutta pallografiittivaluraudoilla päästään rakenne- ja koneterästen luokkaan ja jopa yli kustannusten pysyessä alhaisina ja valettavuuden hyvänä. Grafiitin pallo-mainen muoto tuo materiaalille sitkeyttä ja poistaa suomugrafiittivaluraudalle omi-naisen halkeilualttiuden. (Mts. 8–10.) Työn aiheena olevat akselit valmistetaan pää-asiassa EN-GJS-600-10 liuoslujitetusta pallografiittivaluraudasta.

3.2 Valaminen valmistusmenetelmänä

Valamisen perusidea yksinkertaisuudessaan on valmistaa muotti eli periaatteessa muottimateriaalin sisällä oleva halutun kappaleen muotoinen ja kokoinen tyhjä ontelo, johon sula rauta kaadetaan. Rauta jähmettyy muotissa haluttuun muotoon ja aihio on valmis. Tämä ei kuitenkaan ole niin yksinkertaista kuin voisi kuvitella, vaan tilannetta mutkistavat esimerkiksi muotin tulenkestävyyden varmistaminen, erilaiset valukanavisto- ja syöttövaatimukset, jäähtyksen ja kaasunpoiston suunnittelu sekä lisäksi sulan ominaisuuksien loputon lista. Valun jälkeen kappale täytyy vielä puhdistaa ja viimeistellä sekä usein myös lämpökäsitellä. (Keskinen & Niemi 2019, 4–5.)

Valimotuotanto on pienikokoisten sarjatuotantokappaleiden osalta tänä päivänä hyvin pitkälle automatisoitua. Suuret kappaleet ovat kokonsa vuoksi hankalia ja kalliita automatisoida, joten niiden valmistaminen toteutetaan yhä käsinkaavaamalla. Käsinkaavauksen ja automaattikaavauksen raja on kuitenkin hämärtynyt teknologian tuomien etujen myötä, sillä käsinkaavauksessakin hiekat valmistetaan ja lasketaan muottiin automaattisella syöttösekoittimilla, ja suuri osa kaavauksen vaiheista tehdään nosturin avustuksella. Automaatioasteen pienuus aiheuttaa kuitenkin prosessiin runsaan määrän inhimillisistä tekijöistä johtuvaa vaihtelua. (Meskanen & Höök n.d., 35–37.)

Valukappaleen valmistusprosessi pähkinänkuoressa koostuu seuraavista vaiheista:

- Valumallien valmistus
- Kaavaus

- Peitostus
- Kaatoastian eli kuusan valmistus
- Valukuntoon laitto
- Valu
- Jäähtyminen
- Purku
- Lämpökäsittely
- Teräskuulapuhallus ja puhdistus
- Tarkastus ja lähetys

Kaikki tela-, sylinteri- ja akselivalut valetaan Rautpohjassa pystyasennossa. Kappaleiden pituudesta ja muodosta johtuen muotteja ei voida valmistaa kokonaisena, vaan kappale jaetaan 0,5-1 metrin mittaisiin osiin. Jaon mukaan kukin muotin osa valmistetaan oikean korkuiseen kaavauskehään, minkä jälkeen kehät kasataan kokonaiseksi muotiksi päällekkäin syvimmillään 12 metriä lattiapinnan alapuolelle ulottuviin valamonttuihin. Lopuksi muotin osat liitetään tiukasti toisiinsa sekä asennetaan kaatoallas ja muut tarvittavat varusteet paikalleen. Akselivalujen muotinvalmistus on erittäin pitkä ja monivaiheinen prosessi, jonka ohjaaminen ei ole helpoin tehtävä. Prosessi on kuvattu tarkemmin luvussa 6.

4 Tuotannonohjaus

Tuotannonohjaus oli ennen yleinen termi, kun puhuttiin koko yrityksen toiminnan hallitsemisesta. Termi todettiin kuitenkin jossain vaiheessa puutteelliseksi siinä asiayhteydessä, sillä myös muut toiminnot kuin tuotanto vaikuttavat yrityksen toiminnan hallintaan, kuten myynti, jakelu, suunnittelu ja hankinta. Nykyisin onkin siirrytty käyttämään termiä toiminnanohjaus, jolla tarkoitetaan koko tilaustoimitusketjun tehtävien ja toimintojen suunnittelua ja hallintaa. Toiminnanohjauksella pyritään organisoimaan yrityksen toiminnot siten, että asetetut tavoitteet saavutetaan mahdollisimman tehokkaasti. (Haverila, Kouri, Miettinen & Uusi-Rauva 2009, 397.)

Tuotannonohjaus käsitetään nykypäivänä nimensä mukaisesti pelkästään yrityksen tuotannon ohjauksena, jonka avulla yrityksen kapasiteetti pyritään sovittamaan myyntiin mahdollisimman tehokkaasti. Yleisesti käytetty termi samasta asiasta on

myös valmistuksenohjaus. Tämä jaetaan tyypillisesti kokonaissuunnitteluun, karkeasuunnitteluun ja hienosuunnitteluun. (Mts. 397.) Kokonaissuunnittelua ei käydä tarkemmin läpi, koska se ei ole tämän opinnäytetyön kannalta olennaista. Pääpiirteittäin kokonaissuunnittelulla tarkoitetaan pitkän aikavälin suunnittelua kokonaisvolyymien ja talouden suhteen toteutuneiden tilausten ja ennusteiden perusteella. Kokonaissuunnittelu tehdään yleensä vuositasolla ja sillä pyritään määrittämään muun muassa kapasiteettitarve. (Mts. 411-412.) Kuten sanottua, tämän työn puitteissa ei ole tarvetta ottaa kantaa tähän. Olennaisempaa tuotannonohjauksesta työn kannalta ovat lyhyemmän aikajänteen karkeasuunnittelu ja hienosuunnittelu.

4.1 Karkeasuunnittelu

Karkeasuunnittelulla tarkoitetaan kokonaissuunnittelun pohjalta tarkemman suunnitelman tekemistä tyypillisesti muutaman viikon ajalle. Karkeasuunnittelun kaksi tärkeintä tehtävää ovat resurssien käytön suunnittelu ja toimituskyvyn määrittäminen. Resurssisuunnittelussa halutun tuotannon vaatimat resurssit kartoitetaan ja tehdään yleissuunnitelma siitä, kuinka vaatimuksiin päästään. Tämän perusteella määräytyy myös toimituskyky, joten suunnittelussa täytyy ottaa huomioon vaaditut toimitusajat. (Haverila ym. 2009, 415-416)

Karkeasuunnittelun vaatimuksena on, että valmistettavien tuotteiden kapasiteetti- ja materiaalit tarpeet ovat tiedossa. Vakiotuotteilla nämä ovat tyypillisesti tarkasti tiedossa, mutta tilauksen perusteella valmistettavissa yksilöidyissä tuotteissa ne ovat hankalammin määriteltävissä. Tällöin joudutaan käyttämään likiarvoisia aikoja, jolloin ohjattavuus ja ennustettavuus heikkenevät. (Mts. 416) Näistä jälkimmäinen pätee valimon akselituotantoon, jossa lähes kaikki valmistettavat akselit ovat yksilöllisesti suunniteltuja.

Karkeasuunnittelun keskeinen määräävä tekijä on käytettävissä oleva valmistuskapasiteetti. Karkeasuunnittelulla laaditaan alustava tuotantosuunnitelma ja ylläpidetään karkeakuormitusta, eli yleisen tason kuormitussuunnitelmaa, joita verrataan käytössä olevaan kapasiteettiin. Näiden avulla pystytään tarkastelemaan kuormitusastetta, eli

kuinka paljon käytössä olevasta kapasiteetista on käytössä kyseisellä kuormalla, ja sitä kautta tekemään päätöksiä esimerkiksi tuotannon ajoituksesta tai tuotantoerien koosta. Karkeasuunnittelussa ei kuitenkaan tarkastella yksittäisten koneiden, solujen tai muiden yksityiskohtaisten yksiköiden kapasiteettia, vaan suunnittelu tehdään laajempien kuormitusryhmien pohjalta, kuten tehtaan tai koneryhmän kokonaiskapasiteetin mukaan. Tarkempi yksityiskohtainen suunnittelu kuuluu hienosuunnitteluun. (Mts. 416)

4.2 Hienosuunnittelu

Hienosuunnittelulla tarkoitetaan karkeasuunnitelman pohjalta luotua tarkkaa valmistussuunnitelmaa, jonka mukaan tuotteet valmistetaan. Hienosuunnittelussa määritellään työvaiheiden ajoitus, sekä määritellään tarkasti tuotantoresurssien käyttö. Mikäli kyseessä on sarjatuotanto, pyritään samojen tuotteiden tai osien niputtamiseen isommiksi sarjoiksi tuotevaihtoaikojen minimoimiseksi. (Haverila ym. 2009, 417)

Vaiheiden ajoituksen suunnittelu edellyttää työvaiheiden ja vaiheaikojen tuntemista. Mitä tarkemmin ne ovat tiedossa, sitä yksityiskohtaisempi suunnitelma on mahdollista tehdä. Riesana ovat kuitenkin erilaiset häiriöt ja muut yllättävät tapahtumat, joita ei pystytä ennalta suunnittelemaan. Suunnitelman tarkkuus onkin suoraan verrannollinen sen häiriönsietokykyyn. Tämän vuoksi suunnitelman tarkkuusvaatimus on määriteltävä tarkkaan, ja puntaroitava sopiva kompromissi tarkkuuden ja joustavuuden välillä. (Mts. 417-418)

Yleinen hienosuunnitteluperiaate on pullonkaulavaiheen kuormituksen pitäminen korkeana. Pullonkaulavaiheella tarkoitetaan vaihetta, jonka kapasiteetti rajoittaa eniten tuotantoa. Pullonkaulavaiheessa menetetty tunti on menetetty tunti koko tuotantoketjussa, sillä pullonkaulaa edeltävät vaiheet alkavat kehittää jonoa pullonkaulan eteen lopputuotannon hidastuessa tai jopa pysähtyessä, koska valmistettavaa ei ole. Tämän vuoksi on tärkeää huolehtia, ettei pullonkaulavaihe pysähdy aiempien vaiheiden myöhästymisen vuoksi. Kaikkien vaiheiden korkean kuormituksen ylläpitäminen tarkoittaa kuitenkin yleensä pidentyneitä läpimenoaikoja, sillä tuotteita täytyy

tyypillisesti valmistaa ilman varsinaista tarvetta korkean kuorman ylläpitämiseksi. Tällöin joudutaankin jälleen yhden tasapainotettavan asian väliin, korkea kuormitusaste vai lyhyt läpimenoaika. Yleensä muissa paitsi pullonkaulavaiheessa lyhyt läpimenoaika on korkeaa kuormitusastetta kannattavampaa. (Mts. 418)

Työvaiheiden ajoitusta voidaan tehdä joko eteenpäin tai taaksepäin ajoittamalla. Eteenpäin ajoittamisella tarkoitetaan sitä, että valmistukselle määritellään tietty aloituspäivämäärä, ja työvaiheet ajoitetaan aloituspäivämäärästä eteenpäin. Taaksepäin ajoituksessa taas määritellään valmistumisajankohta, josta lähdetään ajoittamaan vaiheita viimeisestä vaiheesta alkaen tuotantoketjun alkuun saakka, jolloin nähdään vaadittu aloitusajankohta ajallaan valmistumiseen. Molemmat menetelmät ovat yleisesti käytössä kaikissa toiminnanohjauksen tietojärjestelmissä, mutta taaksepäin ajoitus on yleisempi tapa. Molempien menetelmien huono puoli on, että ne eivät ota huomioon päällekkäistä työtä, vaan kuormitus tapahtuu rajattomaan kapasiteettiin. Toiminnanohjausjärjestelmästä nähtävää rajattomaan kapasiteettiin tehtyä ajoitusta voidaan kuitenkin hyödyntää tarkempaa hienosuunnittelua tehdessä. (Mts. 419-420)

4.3 Läpäisy aika

Tuotantojärjestelmän tehokkuutta mitatessa läpäisy aika on yksi tärkeimmistä käsitteistä ja mittareista. Läpäisy ajaksi kutsutaan aikaa jonkin toimintokokonaisuuden aloittamisesta sen valmistumiseen. Samasta asiasta käytetään myös yleisesti termiä läpimeno aika ja sillä tarkoitetaan samaa asiaa. Termeillä voidaan tarkoittaa koko tilauksen, valmistuksen, osavalmistuksen tai kokoonpanon läpäisy aikaa. (Kauppinen, Lapinleimu & Torvinen 1997, 53-55.) Tässä opinnäytetyössä ei käsitellä koko tilauksen läpäisy aikaa, sillä valmistuksen aloittamista edeltävät vaiheet on rajattu työn ulkopuolelle. Työssä käsitellään yksittäisten vaiheiden läpäisy aikoja ja valmistuksen kokonaisläpimeno aikaa. Ne eivät kuitenkaan koostu pelkästään työajoista, vaan tyypillisesti suurin osa muodostuu odotuksesta ja muusta kapasiteettia sitomattomasta työstä (Mts. 53-55).

Lyhyt läpäisy aika on merkki joustavasta, toimivasta ja tehokkaasta tuotantojärjestelmästä. Se antaa pelivaraa tuotannosuunnitteluun ja kasvattaa virhetilanteiden sietokykyä. Mikäli asiakas hyväksyy esimerkiksi 12 viikon toimitusajan ja oma läpäisy aika on kahdeksan viikkoa, voidaan ylijäävä aika käyttää kuorman tasaamiseen. Lyhyt läpäisy aika antaa lisäksi pelivaraa yllättävien tilanteiden, kuten konerikkojen varalle ja mahdollistaa nopeiden muutosten tekemisen tuotantojärjestykseen. (Mts. 55.)

Mikäli tuotteita valmistetaan asiakastilauksen perusteella, eli valmistus alkaa vasta kun tilaus on sisällä, puhutaan asiakasohjautuvasta tuotannosta. Tällöin on ehdottoman tärkeää, että läpäisy aika saadaan pidettyä huomattavasti toimitusaikavaati-
musta pienempänä, sillä muussa tapauksessa tuotannon kuormitus seilaa myynnin tahdissa heikentäen ohjattavuutta merkittävästi. Asiakasohjautuvassa tuotannossa ei pidetä yleensä tuotevarastoja, ja puolivalmisteverastojen kokokin pidetään minimaalisenä. (Mts. 55) Rautpohjan valimon kaikki tuotteet ovat asiakasohjautuvia.

Akselivalmistuksessa kaavausvaihe muistuttaa pitkälti kokoonpanoa, jonka vaatimien osien valmistus tapahtuu saman katon alla. Kokoonpanotuotannossa läpimenoajan lyhentämisen kannalta tärkeintä on, että loppukokoonpanossa tarvittavat osat ja komponentit ovat käytössä silloin kun niitä tarvitaan. Edellä mainittu toimii parhaiten juuri tämän tyyppisissä tiimipohjaisissa prosessiorganisaatioissa, jossa toimintojen väliset rajapinnat on häivytetty, jolloin organisaatio toimii tavalliset yksikkörajat ylittävänä kokonaisuutena. (Soronen 1999, 8.) Juuri ajallaan käytössä olevat osat ja materiaalit ovat myös lean-filosofian yksi merkittävimpiä pääteemoja.

5 Lean-filosofia

Lean -filosofia on jo vuosikymmeniä ollut lähes kaikilla teollisuuden aloilla vallitseva trendi, ja sen sisältämiä työkaluja ja menetelmiä käytetään laajalti ympäri maailmaa. Useimmat valmistavan teollisuuden yritykset pyrkivät tänä päivänä ”lean-tuotantoon” vaihtelevalla menestyksellä, mutta Toyotan erinomaisuus tällä saralla mainitaan lähes kaikissa aiheeseen liittyvissä lähteissä. (Liker 2006.) Tämä on täysin ymmärrettävää, sillä koko lean-ajattelu on alun perin lähtöisin Toyotalta Taiichi Ohnon

kehittämästä Toyota Production System -järjestelmästä (TPS), joka herätti suurta ihailua heti ensimmäisen julkitulonsa jälkeen 1970-luvulla. (Tätä on Lean n.d.; Leanin historiaa n.d.) Malli alkoi levitä suuressa mittakaavassa 1990-luvulla, josta lähtien se on kasvattanut suosiotaan aina tähän päivään asti, ja levinnyt jo lähes kaikille toimialoille. (Liker & Convis 2012.) Tässä luvussa käydään läpi tämän opinnäytetyön kannalta keskeisimmät lean-filosofian teemat ja menetelmät.

5.1 Vaihtelu

Vaihtelua esiintyy aina kaikessa toiminnassamme, joskus vähemmän, joskus enemmän. Tuotantojärjestelmän suorituskykyä arvioitaessa vaihtelu on yksi kriittisimmistä tekijöistä. Mitä suurempaa vaihtelua esiintyy, sitä tehottomammaksi systeemi muuttuu, ja jotta suorituskykyä voidaan parantaa, on vaihtelun pienentäminen olennaisessa roolissa. (Vaihtelu ja PDCA n.d.)

Vaihtelu syö aina kone- tai työaika, joka esiintyy lisääntyneenä resurssitarpeena. Tämän takia saattaa äkkiä vaikuttaa siltä, että tietyn toimenpiteen suorittamiseen ei ole riittäviä resursseja, vaikka tosiasiaassa kaikki johtuu liiallisesta vaihtelusta, olkoon se sitten tiedostettua tai tiedostamatonta. Vaihtelu lisää myös keskeneräisen tuotannon määrää hankaloittaen samalla tuotannosuunnittelua ja suunnitelman noudattamista, joka sitoo sekä tuottajan, että asiakkaan pääomia. Nämä tekijät yhdessä aiheuttavat luonnollisesti ylimääräistä odotusta ja viivettä, joka heijastuu lopputuotteen läpimenoaikaan. (Paalanen 2013, 16; Aliarvostettu vaihtelu 2017.) Monesti jää huomaamatta myös vaihtelusta aiheutuva toinen puoli. Koska vaihtelu on normaali-jakautunutta, tulee väkisin eteen tilanteita, että resurssilla ei yhtäkkiä olekaan tekemistä tavallista nopeamman läpimenoajan seurauksena, jolloin tehokkuus heikkenee. Tätä voidaan ehkäistä jakamalla asiakkaan läpimenoaika useammalle tuotantoketjun vaiheelle. (Paalanen 2013, 17.)

Myös Toyotan ajattelumallissa korostetaan aina vaihtelun pienentämistä ja vakiointia. Lisäksi tärkeää on aina pyrkiä erottamaan toisistaan normaali ja epänormaali tila.

Toyotan käyttämät keinot vaihtelun vaikutusten hallintaan ovat vaihtelun pienentäminen, kapasiteettipuskuri, sekä varasto- ja aikapuskuri. Näitä kolmea tekijää hallitsemalla pystytään minimoimaan prosessissa esiintyvää vaihtelua systemaattisesti. (Vaihtelu ja PDCA n.d.) Valimon akselituotannossa vaihtelu on hyvin suurta, jonka vuoksi tämä aihe haluttiin nostaa ensimmäiseksi käsiteltäväksi asiaksi leanin sarjalta, vaikka vaihtelu ei olekaan perinteisin ensimmäisenä käsiteltävä asia yleensä lean-filosofiaa esiteltäessä. Myös Paalanen (2013, 16.) toteaa valimoprosessin vaihtelua käsittelevässä artikkelissaan valimoprosessin suuren vaihtelun olevan juurisyy huonon laadun ja ylimääräisten korjauskustannusten aiheuttajana.

Vaihtelun pienentäminen

Vaihtelun pienentäminen on Toyotan mallissa jaettu kolmeen alakategoriaan, jotka ovat:

- Kysynnän vaihtelu
- Valmistuksen vaihtelu
- Toimittajien vaihtelu

Kysynnän vaihtelua pienennetään rajoitetulla määrällä malleja, ja mallin sisällä tehtäviä valintoja. Lisäksi kysynnän vaihtelu blokataan tehtaan ulkopuolelle, eli sitä hallitaan tahtiaikaa säätämällä. Tuotanto pyritään pitämään vakiotempoisena koko ajan. Valmistuksen vaihtelulla taas tarkoitetaan nimensä mukaisesti keskittymistä tuotteesta ja toiminnasta tulevan vaihtelun minimointiin. Tämä toteutetaan pitkälti perustuen vakiointiin, virheiden ennaltaehkäisymenetelmien ja työvälineiden kehittämiseen, sekä aikaisin virheisiin puuttumisen kulttuurin luomiseen. (Vaihtelu ja PDCA n.d.)

Toimittajien vaihtelussa taas keskitytään samoihin asioihin kuin tehtaan sisäisestikin, mutta katse suunnataan toimittajiin. Toimittajilta vaaditaan toimenpiteitä toimitettavien tuotteiden vaihtelun pienentämiseksi omalta osaltaan ja myös heitä vaaditaan pitämään puskurivarastonsa minimaalisina, koska se hidastaa laatuvirheisiin ja muihin poikkeamiin reagointia. Puskurivarastoihin liittyen toimittajilta ei myöskään oteta tavaraa yhtään sen enempää, kuin on tarve. (Mt.)

Kapasiteetti-, varasto- ja aikapuskurit

Kun lopputuotevarastot ja keskeneräinen tuotanto on ajettu minimiin, on vaihteluun varauduttava muilla keinoin. Kapasiteettipuskurilla tarkoitetaan tarkoituksellista pie-
nen ylikapasiteetin ylläpitämistä. Tämä ”ylimääräinen” kapasiteetti käytetään enna-
koivien kunnossapitotoimenpiteiden ja säännöllisten käyttäjähuoltojen suorittami-
seen, jotta toiminta jatkuisi sujuvasti myös seuraavan vuoron aikana. Tämä heikentää
aavistuksen perinteistä resurssitehokkuutta, mutta vastaavasti virtaustehokkuus pa-
ranee. Varasto- ja aikapuskureilla taas tarkoitetaan sitä, että varastot on rakennettu
tuotantosysteemin sisään ja vasteaika pidetään ennustettavana sopivan ylikapasitee-
tin avulla. (Vaihtelu ja PDCA n.d.) Tämä ajatus kuvaa hyvin leanin peruseriaatetta,
jossa resurssitehokkuus ei ole ykkösprioriteetti, vaan ensisijaisesti panokset laitetaan
sulavan virtauksen luomiseen.

5.2 Hukka

Prosessit sisältävät aina arvoa tuottavaa sekä arvoa tuottamatonta aikaa eli hukkaa.
Jotta sulava virtaus voitaisiin luoda, tulee huomio kiinnittää hukan tunnistamiseen ja
poistamiseen, jotta arvovirtaus saadaan optimoitua. Toyotan määritelmän mukaan
hukka voidaan jakaa seitsemään alaluokkaan seuraavasti:

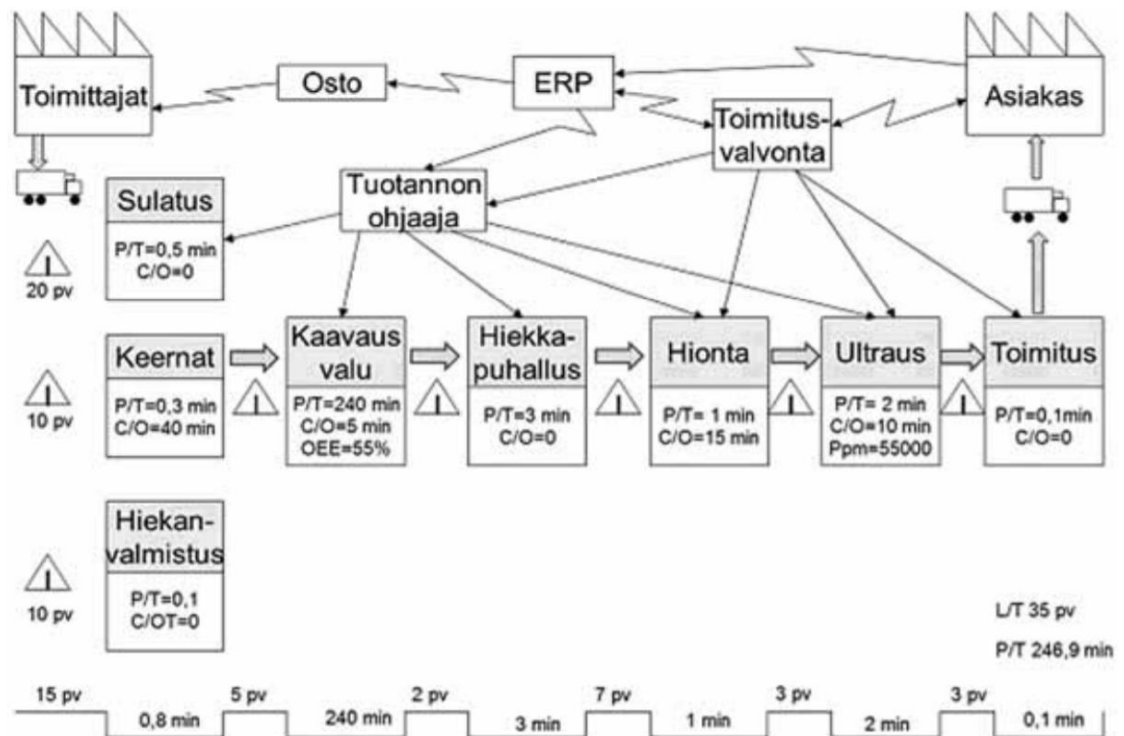
- Ylituotanto: Tuotteita valmistetaan ilman asiakastarvetta. Aiheuttaa ylimääräistä va-
rastointia ja käsittelyä, ja sitä kautta kustannuksia.
- Odotus: Esimerkiksi automaattisen koneen seuraaminen, edellisen vaiheen valmistu-
misen odottaminen, osatoimitusten odottaminen, pullonkaulavaiheen odottaminen
jne.
- Ylimääräinen prosessointi ja ylilaatu: Tarpeettomien vaiheiden suorittaminen osille
tai vaadittua laadukkaampien tuotteiden tuottaminen. Tehottomien välineiden käy-
tön vuoksi pidentynyt prosessiaika.
- Ylimääräiset kuljetukset: Tavaroiden, puolivalmisteiden tai tuotteiden edestakainen
kuljettelu paikasta, varastosta tai prosessista toiseen.
- Ylimääräinen liike: Kaikki turhat liikkeet, joita työn aikana täytyy tehdä. Työkalujen ja
osien haut, kurkottelu, etsiminen, pinoaminen tai purkaminen jne.
- Poikkeavat tuotteet: Viallisten tuotteiden tai puolivalmisteiden valmistaminen ja kor-
jaaminen, korvaavien tuotteiden valmistaminen ja niiden tarkastukset.

- Turha varastointi ja keskeneräinen työ: Liian suuret raaka-ainevarastot, välivarastot tai valmisvarastot. Suuret varastot kätkevät prosessin ongelmat, kuten tuotannon puutteellisen tasapainotuksen tai alihankkijoiden myöhästyneet toimitukset.
- Kahdeksanneksi hukkatyypiksi Toyotan seisemän kohdan lisäksi määritellään yleisesti työntekijöiden käyttämättä jätetty luovuus, eli työntekijöiden kehitysehdotuksia, ideoita ja parannuksia ei huomioida.

Näistä ylituotanto on yleensä vakavin, sillä se aiheuttaa itsessään myös kaikkia muita hukkatyyppejä. (Liker 2006, 28–29; Hukka, Muda, Waste 2017.) Asiakasohjautuvassa yksittäistuotannossa ylituotanto kuitenkin harvoin on ongelmana. Akselituotannossa ja muussakin yksittäistuotannossa suurimpina hukkatyypeinä ovat tyypillisesti odotus, poikkeavat tuotteet ja ylimääräinen liike. Hukkatyyppien tunnistamiseksi tuotantoa tulee lähteä tarkastelemaan asiakasarvon muodostumisen näkökulmasta arvovirtakuvauksen avulla (Liker 2006, 29–30).

5.3 VSM eli arvovirtakuvaus

Arvovirtakuvaus on yleinen prosessikehityksessä käytetty konsepti, jossa pyritään kuvaamaan tutkittavan prosessin vaiheet, niiden keskinäiset yhteydet, tapahtumataajuus, varastojen koot, sekä prosessien asiakkaalle arvoa tuottavat ja tuottamattomat ajat. Arvovirtakuvauksen avulla prosessista saadaan yksinkertainen kokonaiskuva, josta nähdään helposti pullonkaulat, kommunikaation kulku, sekä ongelmakohtat. Näiden tietojen perusteella fokus voidaan ohjata oikeisiin vaiheisiin, ja epäedulliselta osaoptimoinnilta vältytään. Arvovirta kuvataan aina asiakkaan näkökulmasta. (Liker 2006, 30–31.) Kuviossa 3 on esitetty Suomen Valimoteknisen Yhdistyksen jäsenlehden artikkelista poimittu esimerkkikuva tyypillisestä valimon arvovirtakuvauksesta.

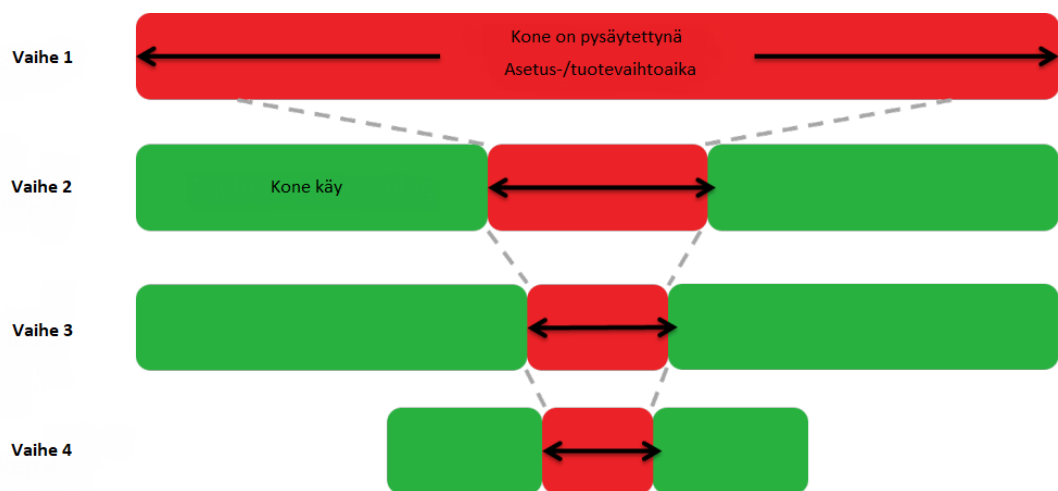


Kuvio 3. Tyypillinen esimerkki valimon arvovirtakuvauksesta (Paalanen 2013, 20.)

Kuvion mukainen arvovirtakuvaus sopisi vaiheistukseltaan myös Rautpohjan akseli-
tuotantoon prosessiaikoja lukuun ottamatta, mutta se olisi todella rajusti yksinker-
taistettu. Ohuet nuolet kuvaavat informaation ja paksut nuolet materiaalien liikku-
mista prosessin aikana. Alaosan aikajanalta nähdään arvoa tuottavan ja arvoa tuotta-
mattoman ajan suhde. Aikoja vertaamalla pystytään päättämään prosessin kulloi-
nenkin pullonkaula. (Piirainen 2015; Väisänen 2013.) Tällainen arvovirtakuvaus sopii
valimoympäristössä hyvin pienten valujen ja yksinkertaisilla muoteilla valettavien
kappaleiden arvovirran kuvaamiseen. Akselituotantoon sitä on sellaisenaan hankala
soveltaa, joten työn aikana päädyttiin hieman erilaiseen ratkaisuun. Peruseriaate
tuli kuitenkin täysin VSM:n teoriasta, eli kuvauksesta pystyttiin tarkastelemaan arvoa
tuottavan ja arvoa tuottamattoman ajan suhdetta sekä vaiheisiin kuluvia kokonaisai-
koja. Kokonaisajoista pystyttiin varmistumaan siitä, ettei osaoptimoida sellaista vai-
hetta, joka ei ole pullonkaula.

5.4 SMED – Menetelmä tuotevaihtoaikojen minimoimiseen

SMED on japanilaisen Shigeo Shingon kehittämä lean-menetelmä, jonka tarkoitus on pienentää merkittävästi tuotevaihtoihin tai asetuksiin kuluva aikaa. SMED on lyhenne englanninkielien sanoista Single-Minute Exchange of Dies, joka tarkoittaa karkeasti suomennettuna yksinumeroisia minuutteja kestävästä asetusajasta. Menetelmässä prosessi jaetaan ulkoisiin ja sisäisiin tehtäviin, minkä jälkeen ne analysoidaan ja siirretään mahdollisimman monta sisäistä vaihetta ulkoiseksi. Sisäisillä vaiheilla tarkoitetaan vaiheita, jotka suoritetaan vaihtoprosessin aikana toiminnan seisoessa, kun taas ulkoiset voidaan tehdä toiminnan aikana esimerkiksi koneen käydessä. (SMED n.d.) Kuviossa 4 on kuvattu yksinkertaisesti SMED:n periaate.



Kuvio 4. SMED:n periaate (Secrets behind succesful SMED n.d., muokattu)

Yleisimmin käytetty esimerkki menetelmän toimintaperiaatteesta on renkaanvaihto. Tavallisen ihmisen auton renkaanvaihto voi kestää tunnin, kun taas F1-varikolla vaihto tapahtuu sekunneissa. Formulan renkaanvaihdossa kaikki vaiheet renkaan irrotusta ja kiinnittämistä lukuun ottamatta on siirretty ulkoisiksi tehtäviksi, eli ne tehdään valmiiksi ennen varsinaista vaihtotoimenpidettä. Vain välttämättömät vaiheet, eli renkaan irrotus ja kiinnitys tehdään sisäisinä vaiheina, jolloin vaihtoaika jää minimaaliseksi. Esimerkki antaa hyvän kuvan potentiaalista, joka menetelmällä voidaan saavuttaa.

SMED ei kuitenkaan ole oikotie onneen, sillä sitä on helppo käyttää väärin, jos ei ymmärrä leanin kokonaiskuvaa. Monesti lähdetään päätä pahkaa kehittämään jotakin prosessin vaihetta minimoimalla sen asetusajat, mutta huomataan pian, ettei läpimennon kannalta merkittävää hyötyä saavutettu, koska kyseinen vaihe ei ollutkaan tuotannon pullonkaula. Erittäin tärkeää on siis ensin tunnistaa arvon virtaus ja vasta sen jälkeen lähteä soveltamaan SMED:n periaatteita kulloiseenkin pullonkaulavaiheeseen. Tällöin lyhentyneiden asetusajojen hyöty saadaan ulosmitattua lyhentyneenä läpimenoaikana. (SMED n.d.)

SMED:n avulla asetusajojen lyhentäminen alkaa kartoittamalla tietyn prosessin vaiheen kaikki vaadittavat toimenpiteet, kuten työkalujen ja välineiden haut, kiinnitykset, mittaukset jne. ja sen jälkeen listaamalla ne selkeästi muistiin. Lähtötilanteessa ne myös jaotellaan nykyisen toimintatavan mukaisesti sisäisiin ja ulkoisiin vaiheisiin täsmälleen siten kuin ne sillä hetkellä tehdään. Tämän jälkeen pystytään tarkastelemaan, mitkä toimenpiteistä on tosiasiaa pakko tehdä koneen tai toiminnan seisoessa. Pakollisia sisäisiä vaiheita ei yleensä ole monta, ja huomattava osa toimenpiteistä pystytään siirtämään ulkoisiksi. (Mt.)

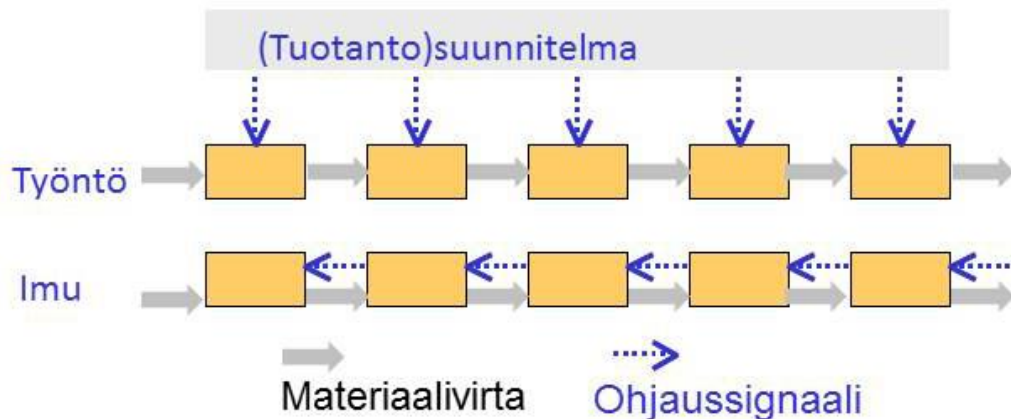
Kun vaiheet on siirretty halutulla tavalla ulkoisiksi ja sisäisiksi, tulee miettiä, miten tahtotilaan päästään. Tarvitaanko esimerkiksi uusia erikoisvälineitä, työpisteitä, kuljetuslavoja tai muita vastaavia toimenpiteitä? Kehitystoimenpiteitä suunniteltaessa tulee myös olla selkeästi määritelty, mihin asti tiettyä asetusta on järkevää kehittää. Tähän vaikuttaa muun muassa tieto, missä vaiheessa kehitettävä vaihe ei enää ole pullonkaula. Tällöin siirrytään uudeksi pullonkaulaksi muodostuneen vaiheen pariin samalla kaavalla. (Mt.)

5.5 Imu- ja työntöohjaus, JIT

Lean-ajattelussa tavoiteltava sulava virtaus perustuu aina asiakkaan tarpeeseen eli kysyntään. Materiaalin virtauksen kannalta imu- ja työntöohjausten periaatteet ovat merkittävässä roolissa. Työntöohjatussa tuotannossa tilaukset ajetaan tuotannon läpi

ennalta määritellyn suunnitelman mukaisesti, kun taas imuohjauksessa ohjaus perustuu seuraavan vaiheen kysyntään, eli seuraava vaihe nimensä mukaisesti ”imee” tarvittavat materiaalit edelliseltä vaiheelta. (Liker 2006, 22–23; JIT ja imuohjaus n.d.)

Kuviossa 5 on kuvattu molempien ohjaustapojen toimintaperiaate. Luvussa 3 esitellyt tuotannosuunnittelumenetelmät edustavat täysin työntöohjausta.



Kuvio 5. Imu- ja työntöohjauksen periaatteet (JIT ja imuohjaus n.d.)

Imuohjaus perustuu ennalta tehdyn suunnitelman sijasta seuraavan vaiheen kysyntään, jota voidaan ilmentää esimerkiksi erilaisilla ohjaukskortteilla, joita kutsutaan kanban-kortteiksi. Korttiin on merkitty tiedot valmistuserän koosta ja muista tarvittavista parametreista, jolloin vaihe, jolle kortti toimitetaan, tietää tehdä juuri oikean määrän oikeanlaista tuotetta. Korttien määrällä voidaan säädellä keskeneräisen tuotannon määrää, sillä se on suoraan verrannollinen korttien määrään. (Liker 2006, 105–107.)

Toinen tapa imuohjauksen järjestämiseen on niin kutsuttu kaksilaatikkojärjestelmä. Menetelmä toimii siten, että esimerkiksi jotakin osaa on tietty määrä kahdessa laatikossa tai muussa vastaavassa säilytyspaikassa. Kun toinen laatikko tyhjenee, se toimii ohjaussignaalinä kyseisen osan valmistajalle/toimittajalle, joka valmistaa oikean määrän osia laatikkoon. Menetelmä on hyvin visuaalinen, ja sen avulla lähes kenen tahansa on helppo saada nopeasti selville puskurivarastojen tila. Kaksilaatikkojärjestelmän haittapuoli on kuitenkin samassa asiassa, eli se vaatii puskurivarastojen olemassaolon, jotta sitä voidaan soveltaa. (Mts. 105–107.)

Vaikka puskurivarastot ovat yleensä sarjatuotannossa välttämättömiä, imuohjauksen taustalla on ajatus, jonka mukaan ylimääräinen varastointi lisää kustannuksia ja piilottaa prosessissa esiintyviä ongelmia. Ideaalitulanteessa varastoja ei siis olisi ollenkaan ja tuotteet valmistettaisiin alusta loppuun äärimmäisen nopeasti suoraan tarpeeseen. Käytännössä siihen ei sataprosenttisesti voida päästä, mutta silti varsinkin sarjatuotantona valmistettavia vakiotuotteita kokoonpantaessa imuohjaus on erittäin toimiva järjestelmä. Se vähentää ylimääräistä varastointia, koska osia ei valmisteta, mikäli tarvetta ei ole. Asiakasohjautuvassa tuotannossa puskurivarastoja on hyvin vähän, jolloin imuohjaus ei ole helposti sovellettavissa siihen muuten kuin vakio-komponenttien osalta. (Mts. 105-107.) Akselituotantoon imuohjausta voisi soveltaa kaavattaviin vakiokomponentteihin ja osto-osiiin.

6 Työn toteutus

Opinnäytetyö aloitettiin tutustumalla akselivalmistukseen, sen vaiheistukseen ja valitseviin käytäntöihin. Tämä tehtiin isolta osin itse havainnoimalla ja työntekijöitä haastatteleamalla ja heidän kanssaan keskustelemalla. Samalla tutustuttiin ohjausperiaatteisiin, tuotannosuunnitteluun sekä päivittäiseen ohjaukseen. Koska akselit valmistetaan projektituotantona ja saman työn montaa vaihetta tehdään samanaikaisesti monessa paikassa, oli ohjaukseen aluksi hankala päästä kiinni. Seuraavassa on kuvattu selvennykseksi pääpiirteittäin akselivalmistuksen vaiheet.

6.1 Akseleiden valmistusprosessin kulku

Kun suunnitelma on valmis, akselivalujen valmistusprosessi alkaa valumallien valmistuksesta malliverstaalla. Valunsuunnittelu toimittaa malliverstaalle tiedot vaadittavista muutostöistä olemassa oleviin malleihin tai kokonaan uusista malleista. Mallit valmistetaan tyypillisesti puusta tai muovista. Valmiit mallit toimitetaan mallivarastoon, josta kaavaamo käy ne tarpeen mukaan hakemassa. Malliverstas oli rajattu tämän opinnäytetyön ulkopuolelle, joten mallien valmistusta ei käsitellä tarkemmin.

Kun kaavaus aloitetaan, mallit haetaan mallivarastosta kaavauspaikalle, ja niiden avulla kaavataan kehät tiivistämällä muottihiekkaa mallin ympärille asetetun metallikehän sisään. Muottia voidaan vahvistaa kaavaamalla hiekan sisään esimerkiksi tukirautoja tai -verkoja. Lisäksi esimerkiksi jäähtymisen hallitsemiseksi tai muottikaasujen ohjausta varten voi olla tarpeellista kaavata jäähdytyskokilleja tai kaasunpoistonaruja hiekan sisään. Mikäli kyseessä on niin sanottu alta valettava kappale, muottiin täytyy kaavata tarkasti paikoitettuna myös sisäänmenokanava, jota pitkin rauta kulkee muotin päällä olevasta kaatoastiasta muottiontelon alaosaan ja täyttyminen tapahtuu muottiontelon alhaalta alkaen. Kun muottikehä on sullottu, odotetaan hiekan kovettumista, jonka jälkeen malli poistetaan ja muotin annetaan tuulettua. Lisäksi kaavausvaiheessa valmistetaan tarvittavat keernat, kuten koesauvakeernat, suodatin- ja jakokanavistokeernat, kauluskeernat, tappikeernat sekä altavaluissa tarvittavat päätykeernat.

Kehien kaavauksen, kovettumisen ja tuuletusajan jälkeen sulan kanssa kosketuksissa olevat pinnat peitostetaan tulenkestävällä peitosteella. Peitoste estää raudan tunkeutumisen hiekkaan, jolloin vältytään hiekan kiinnipalamiselta ja sintraantumislta. Peitostekalvon paksuudella on suuri vaikutus kappaleen laatuun, sillä liian ohut peitostekalvo ei riitä estämään raudan tunkeumaa muottihiekkaan ja liian paksu peitoste jää helposti kosteaksi, jolloin se lähtee sulan vaikutuksesta helposti irti muotin pinnasta jääden pahimmassa tapauksessa jähmettyneen kappaleen sisään.

Peitostuksen jälkeen kehät kasataan keernoineen järjestyksessä valumonttuun päällekkäin ja kiinnitetään toisiinsa joko pulttiliitoksella tai ramppuja apuna käyttäen. Kaatoastia eli kuusa valmistellaan kappalekohtaisesti kiinnittämällä kaavausvaiheessa valmistettu suunnitelman mukainen kauluskeerna valukuntoon laiton yhteydessä. Tämän jälkeen kuusa asetetaan muotin päälle, kiinnitetään muottiin ja asetetaan ylitulokanava ja ylivuotoastia paikalleen. Kun nämä toimenpiteet on tehty, on muotti ns. ”valukunnossa” ja valu voidaan suorittaa. Sula rauta tuodaan valupaikalle valusangolla eli senkalla, josta se kaadetaan kaatoastiaan ja sitä kautta muottiin. Hieman valutapahtuman jälkeen kuusa poistetaan muotin päältä ja sulan pinnalle levitetään eksotermistä pulveria ja eristemateriaalia pitämään syöttökupu sulana mahdollisimman kauan.

Kappale jätetään jäähtymään muottiin valun jälkeen ennalta määritellyksi ajaksi, akselien tapauksessa seitsemäksi vuorokaudeksi, jotta liian nopea jäähtyminen ei aiheuta liian suuria sisäisiä jännityksiä kappaleeseen. Kun jäähtymisaika on täynnä, kappale voidaan purkaa muotista, mikä tarkoittaa kehien nostamista ylös kappaleen ympäriltä yksi kerrallaan alimmaisista lukuun ottamatta. Kun kehät on saatu poistettua kappaleen ympäriltä, kappale nostetaan ylös muotista alimmaisten kehien kanssa ja kaadetaan purkupaikalle loppujen kehien poistoa varten ja karkeaa puhdistusta varten.

Purun jälkeen kappale menee lämpökäsittelyyn, jossa sille suoritetaan jännityksenpoistohehkutus. Kun akseli on lämpökäsitelty, se nostetaan teräskuulapuhallukseen. Puhalluksen jälkeen kappaleen yläpää sahataan suunniteltuun mittaan poistamalla syöttökupu kappaleen yläpäästä. Altavalujen tapauksessa vaaditaan myös alapään valukanaviston sahaus, jolloin kappale pitää kääntää ympäri sahalta.

Kun sahaukset on suoritettu, voidaan aloittaa kappaleen puhdistus, joka tapahtuu käsityönä paineilmatyökaluja apuna käyttäen. Ensimmäisenä kappaleesta irrotetaan mekaanisten ominaisuuksien testaamista varten kappaleen pintaan kiinni valetut koesauva-aihiot, jotka toimitetaan koesauvasorvaamoon ja siitä vetokoelaboratorioon. Tämän jälkeen kappaleesta poistetaan kaikki valupurseet ja muut asiaankuulumattomat ulokkeet sekä hiotaan auki mahdolliset valuvirheet. Varsinkin hiekan kiinnipalaminen aiheuttaa huomattavasti ylimääräistä puhdistustyötä.

Puhdistuksen jälkeen kappale käy vielä viimeistelypuhalluksessa, jonka jälkeen tehdään lopullinen visuaalinen tarkastus ja varmistetaan että puhdistustulos on hyväksyttävä. Mikäli visuaalisessa tarkastuksessa ei todeta lisäpuhdistustarvetta, kappale on valmis toimitettavaksi ja lähetysten jälkeen prosessi tulee valmistuksen osalta päätökseen. Lähetysvalmis tuote on esitetty kuviossa 6.



Kuvio 6. Lähetysvalmis Sym-akseli hiekkapuhalluspukeilla

6.2 Lähtötilanteen kartoitus

Aluksi tuotantoa oli tarkoitus lähteä kartoittamaan arvovirtakuvauksen avulla, mutta vaiheikojen suuren vaihtelun ja prosessin monimutkaisuuden vuoksi perinteisen aiemmin esitellyn arvovirtakuvauksen teko osoittautui haastavaksi.

Arvovirtakuvauksen sijasta tuotantoa lähdettiin kartoittamaan kirjaamalla ensin kaikki akselivalmistuksen työvaiheet kaikkine alavaiheineen ja liikkeineen ylös, eli tekemällä eri tyyppisten akseleiden valmistusprosessien vaihekartoitus. Tietoa kerättiin henkilöhaastatteluiden avulla, sisäisistä ohjeista ja dokumenteista sekä itse toimintaa seuraamalla ja havainnoimalla. Akselituotanto jaettiin kahteen pääkategoriaan, päältä- ja altavaluakseleihin ja nämä vielä kahteen alaryhmään, Sym- ja SymBelt -akseleihin. Jokaisen neljän prosessin kaikki vaiheet listattiin omiksi kokonaisuuksikseen ja jäsenneltiin ne selkeästi luettavaan muotoon Excel – taulukkoon. Liitteessä 1 on esitetty esimerkki päältävalettavien Sym-akselien vaihekartoituksesta. Prosessia seurattiin samalla myös mittaamalla vaiheikojen pituuksia ja vaiheiden välisiä odotusaikoja. Tästä saatiin selville lähtötilanteen

läpimenoaika, joka oli päättävalujen osalta noin neljä viikkoa valmistuksen aloittamisesta.

Valmistuksen kannalta välttämättömien vaiheiden selvityksen jälkeen oli aika pureutua siihen, mitä muuta vaiheiden aikana tapahtuu. Hukkaa lähdettiin kartoittamaan puolistrukturoidulla teemahaastattelulla, jonka aiheena oli leanin mukaiset 7 hukkaa jotka esiteltiin aiemmin, sekä lisäksi muita valmistukseen liittyviä aiheita kuten kunnossapito ja vaiheistus. Haastattelun rakenne ja kysymysten aiheet oli ennalta laadittu. Ne esitettiin samassa järjestyksessä kaikkien päävaiheiden sillä hetkellä vuorossa oleville työntekijöille, mutta haastattelun kulun aikana keskustelun annettiin mennä myös omalla painollaan hieman kysymyksien ulkopuolellekin, pysyen kuitenkin aiheessa.

Haastattelujen rakenne oli seuraavanlainen:

- Varastoinnit: Mikä aiheuttaa ylimääräistä varastointia, onko varastoinnissa ongelmia?
- Odotusajat: Mitkä ovat yleisimmät ylimääräisten odotusaikojen syyt?
- Muualla kuin työpisteellä olevat työvälineet: Mitkä ovat yleisimmät etsimistä aiheuttavat työvälineet?
- Kuljetukset: Mitkä tekijät aiheuttavat ylimääräistä kuljetusta?
- Työpisteet ja välineet: Onko työpisteissä tai työvälineissä puutteita?
- Kunnossapito: Onko kunnossapitoon liittyviä ongelmia?
- Valmistelevat työt: Mitkä vaiheet mielestänne tulisi tehdä valmistelevinä vaiheina?

Vastaukset kirjattiin ylös myöhemmän arvovirtataulukon laatimista varten.

Haastattelujen aikana syntyi myös suoraan kehitysehdotuksia työntekijöiltä, jotka tiedotettiin eteenpäin saman tien. Haastattelujen luotettavuutta heikensi pieni otanta (yhden vuoron työntekijät), mutta otannasta ei olisi joka tapauksessa saanut kovin suurta. Luotettavuutta lisäävinä tekijöinä olivat haastateltavien käytännön kokemus käsiteltävistä asioista, sekä samojen asioiden esille nouseminen myöhemmin muiden työntekijöiden kanssa keskustellessa.

6.3 Prosessin analysointi

Kun vaiheiden kulku oli kirjattu ylös ja vaiheaikojen vaihteluväli oli tiedossa, ne sijoitettiin toiseen Excel –taulukkoon, jossa jokaiselle vaiheelle kirjattiin minimaiaika ja

maksimiaika. Samalla määriteltiin värien avulla onko vaihe arvoa tuottava, arvoa tuottamaton välttämätön vaihe, vai turha arvoa tuottamaton vaihe, eli hukka. Arvoa tuottavat merkittiin vihreiksi, välttämättömät arvoa tuottamattomat keltaiseksi ja turhat vaiheet punaiseksi. Menetelmä oli siis sekoitus prosessikuvausta ja arvovirtakuvausta. Sym- ja SymBelt -akselien vaiheet olivat niin lähellä toisiaan, että taulukoiden selkeyttämisen takia ne päätettiin tehdä yhdistämällä kategoriat pelkästään päältä- ja altavaluihin, joissa on merkittävästi enemmän eroavaisuutta.

Taulukoiden avulla prosessin päävaiheiden kulku saatiin kuvattua selkeästi hahmotettavaan muotoon ja punaisella merkityt turhat arvoa tuottamattomat vaiheet oli helppo havaita pitkien vaiheketjujen seasta. Rinnakkaista työtä taulukkoon ei kuitenkaan saanut järkevästi näkymään, sillä lähtötilanteessa työn vaiheistusta ei ollut tarkkaan ajoitettu, vaan eri osavaiheet tehtiin silloin kun sattui parhaiten kerkeämään ja vaihtelu eri töiden välillä oli suurta. Tämän vuoksi taulukoihin päädyttiin merkitsemään kaikki työvaiheet peräkkäin kustakin päävaiheesta, jolloin pystyttiin tarkastelemaan arvoa lisäävien ja arvoa tuottamattomien toimintojen suhdetta. Taulukon avulla oli tämän jälkeen helppo saada vaiheista ja niiden vaatimuksista selkeä kuva, jonka avulla rinnakkaisuuksia ja muita kehitystoimenpiteitä lähdettiin pohtimaan.

Kuvauksien suuren koon vuoksi niitä ei kokonaisuudessaan pysty mitenkään tässä raportissa esittämään, mutta taulukossa 1 on esitetty havainnollistamisen vuoksi pieni osa yhdestä taulukosta, josta käy ilmi toteutusperiaate. Liitteissä 2 ja 3 on esitetty nykytilan arvovirtakuvausten kokonaiskuvat. Niistä ei pysty näkemään yksittäisiä vaiheita tai niiden aikoja, vaan tarkoitus on havainnollistaa arvoa lisäävän ajan jakautuminen vaiheittain. Työn kannalta olennaiset havainnot ja muut huomiot taulukoista käydään kukin vuorollaan läpi seuraavissa luvuissa.

Taulukko 1. Ote arvovirtataulukosta periaatteen havainnollistamiseksi

Kaavaus	6-h	Valusuunnitelman odotus	Mallien odotus	Valusuunnitelman tarkkominen	Mallien haku 1-hallissa	Tilan rakvaaminen jotta mallit pääsee hakemaan	Kehien esirminen ja haku	Päätien muuttaminen	
	Meters								
VA (hours)	Min								
	Max								
NVA (hours)	Min			0,2	0,5				
	Max			0,2	0,5				
NVA (hours)	Min	0	0			0,5	0,5	1	
	Max	48	48			1	1	2	
Kasaus	7-h	Valusuunnitelman tarkastelu	Petikehien haku tarvittaessa	Moottorin korkeuden säätö petikehien avulla	Kaavavertailun kehien nostot	Ketäkuullattimelta monittuun nipuksi	Kobesalauhan ja keemallisen levityksen kehien jakopinnalle	Suoruuasta kestelun jokaisen kehän asennuksen jälkeen mikäli hiekkaturpia ei ole käytetty	Kehien muuttaminen
	Meters								
VA (hours)	Min								
	Max								
NVA (hours)	Min	0,2		2	2	0,1	0		
	Max	0,2		2	3	0,2	0,1		
NVA (hours)	Min		0					0	
	Max		2					0,2	
Purku	7-h	Purku ympäristä	Köylien nosturin vuun	Köylien ammin	Ympäristölle	Ennen nostoa	Ennen kaatoa	Ennen kehien vapalleen päästä	

Vaikka kaikkia vaiheita ei yksityiskohtaisesti näe, liitteinä olevista arvovirtataulukoiden kokonaiskuvista voidaan nähdä, että valmistusprosessi on todella pitkä ja monivaiheinen. Muotin eri osia valmistetaan samanaikaisesti vaihtelevassa järjestyksessä, ja ohjaus on pitkälti työntöohjausta valusuunnitelman saapuessa. Työn ollessa suurelta osin käsityötä, ja jokaisen akselin ollessa oma yksilöllisesti suunniteltu projektinsa, prosessi-aikeihin syntyy huomattavia määriä vaihtelua eri tuotteiden välillä. Vaiheita tarkastellessa huomattiin kuitenkin, että kaavausvaihe muistuttaa hyvin pitkälti kokoonpanoa, sillä jokaiseen kehään vaaditaan asennettavaksi tietyt ennalta määrätyt materiaalit ennen kuin se voidaan täyttää. Tämä havainto oli merkittävässä roolissa kehitystoimenpiteitä suunniteltaessa.

6.4 Kehityskohteiden hakeminen

Kun prosessi oli kuvattu selkeään muotoon, kehityskohteiden haarukoiminen voitiin aloittaa. Punaisilla merkityt kohdat arvovirtataulukoissa olivat ensimmäinen asia, josta kehityskohteita lähdettiin hakemaan. Sen jälkeen siirryttiin pohtimaan prosessin osia, jotka voitaisiin siirtää valmisteleviksi/ulkoisiksi vaiheiksi SMED:n mukaisesti.

Kuten liitteistä 2 ja 3 voidaan nähdä, lähtötilanteen ylin vaihe, eli kaavausvaihe sisältää sekä alta-, että päältävalujen valmistuksessa todella suuren määrän erilaisia vaiheita. Tämä vahvisti jo valmiiksi syntyneen ajatuksen tuotannon vaiheiden jakamisesta pienempiin osiin. Myös Kauppisen, Lapinleimun ja Torvisen (1997, 58) mukaan kokoonpanotuotannon läpimenoajan lyhennyskeinoja ovat kokoonpanotyön levittäminen rinnakkain tehtävissä oleviin osakokoonpanoihin, sekä niiden valmistuksen ja ohjauksen kehittäminen saumattomaksi. Rinnakkaisella vaiheistuksella ei aina ole suoraa vaikutusta lopputuotteen kokonaisläpimenoaikaan, mutta tuotteita saadaan samassa ajassa tuotettua enemmän vaiheiden limityksen ansiosta, eli läpimenneiden tuotteiden määrä aikayksikössä kasvaa.

Kuvauksesta nähtiin myös nopeasti, että merkittävässä roolissa hukkaa aiheuttamassa oli erinäiset välineiden ja materiaalien haut, jotka tehtiin työn lomassa. Materiaalinvirtauksessa ja yleisessä järjestyksessä oli siis selkeästi parannettavaa. Havainnon myötä ajatus alkoi muodostua toiminnan kehittämissuunnasta varsinkin kaavausvaiheen osalta, jolla on suurin merkitys kappaleen läpäisy aikaan, koska kaavaus vaikuttaa myös puhdistusvaiheen pituuteen kappaleen laadun kautta. Suurin osa valun jälkeisestä hukasta syntyy kappaleen laatu puutteista, joita pystytään ehkäisemään vain kaavausvaiheen ja sulaton toiminnalla. Sulaton ollessa rajattu työn ulkopuolelle, pääpaino keskitettiin tästä eteenpäin kaavausvaiheen kehittämiseen. Kaavausvaihe on myös eniten aikaa vievä vaihe, mikäli kappaleiden laatu on hyvä. Täten SMED:n mukaisesti kaikki toiminnot, joita ei ole välttämätön tehdä ”koneen käytössä”, eli tässä tapauksessa itse kaavauksen aikana, tulisi siirtää mahdollisuuksien mukaan ulkoisiksi toiminnoiksi, eli ne tehtäisiin valmistelevalta tai rinnakkaisina vaiheina. Tällä pyritään vakioimaan toimintatapoja, sekä selkeyttämään ja nopeuttamaan valmistusprosessia.

Suorien tuotevaihtoaikojen lyhentäminen ei projektiluontoisessa akselivalutuotannossa ole relevanttia, koska niitä ei käytännössä ole. Periaatteessa kaikki vaiheet ennen varsinaista valua olisivat tuotevaihtoaikaa. Ajatus käännettiin niin, että esimerkiksi jokaista täytettävää kehää tai keernalaatikkoa ajateltiin omana tuotteenaan ja niiden ”asetusaika” tulisi minimoida. Tämän perusteella tuotantoon alettiin suunnitella

nitella erillistä keräilyvaihetta, jonka aikana työt valmisteltaisiin mahdollisimman hyvin ennen varsinaisen valmistuksen aloittamista. Tämäkin on hyvin tyypillinen toimintamalli kokoonpanotuotannossa, johon kaavausta alettiin vertaamaan.

6.4.1 Materiaalien virtaus

Jotta tavaroiden etsimistä ja turhaa liikettä ei pelkästään sysättäisi uuden keräilyvaiheen alle lopputuloksen muuttumatta, tuli alkaa pohtimaan miten tosiasiallinen hyöty tästä saataisiin irti. Olennaista oli, että myös keräilyvaiheen liikkeet ja toimenpiteet on hyvin suunniteltu ja mietitty, sillä muuten tilanne saattaisi kääntyä jopa negatiiviseksi lähtötilanteeseen nähden. Varsinkin kehien haku aiheutti suuren määrän ylimääräistä etsimistä ja haeskeltua. Tämä johtui pitkälti siitä, että kehiä varastoitiin pitkin valimoa ilman selkeitä järjestelmällisiä varastopaikkoja. Kehille oli kyllä tietyt paikat, joissa niitä säilytettiin, mutta niitä ei ollut millään tavalla jaoteltu esimerkiksi kokoluokan mukaan, vaan kaikki kehät olivat sekaisin siellä, minne ne olivat sattuneet mahtumaan. Osa kehistä oli myös saatettu varastoida tyhjentämättä, eli ennen seuraavaa käyttökertaa kehä täytyisi tyhjentää vanhoista hiekoista.



Kuvio 7. Kehien varastoinnin nykytila 3-hallissa



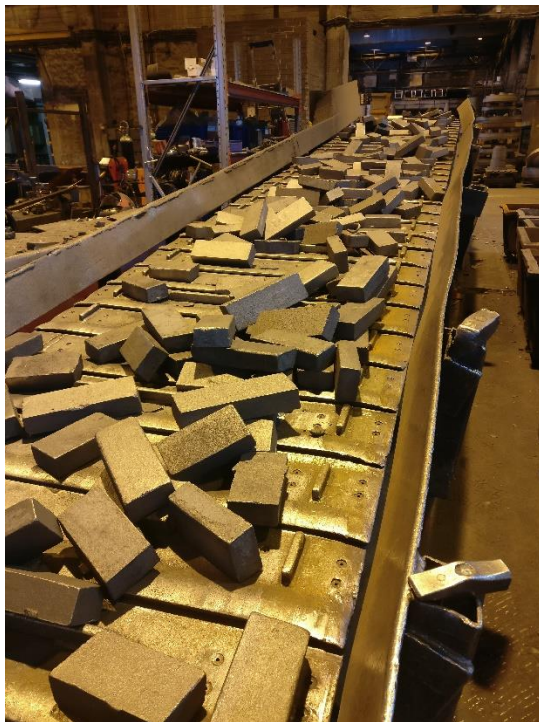
Kuvio 8. Kehien varastoinnin nykytila 4-hallissa, ”L-monttu”

Kuvioista 7 ja 8 voidaan nähdä kehien varastoinnin nykytila. Kuvissa on esitetty kaksi paikkaa, jossa kehiä säilytetään. Kuviossa 8 on myös nähtävissä tyhjentämättömänä varastoitu kehä, jonka hiekat tulee tyhjentää ennen kuin se voidaan ottaa käyttöön seuraavan kerran. Nämä eivät suinkaan ole ainoat paikat, vaan kehiä säilytetään myös ulkona ja lukuisissa muissa paikoissa hallin sisällä. Alueet, joilta kehiä lähtötilanteessa etsitään, on merkitty valimon layouttiin sinisellä liitteessä 4.

Kehien lisäksi haettavia materiaaleja olivat muun muassa valumallit, keernalaatikot, ja jäähdytyskokillit, joiden varastointipaikat sijaitsevat 6-hallin kaavauspaikasta nähdessä toisella puolella valimoa. Tilanpuutteen vuoksi näitä varastopaikkoja ei ole kokonaan mahdollista järjestää kaavauspaikan läheisyyteen, mutta keräilyvaiheen ja -alueiden avulla kulloinkin tarvittavat välineet saataisiin tuotua kaavauspaikan välittömään läheisyyteen.

Kokilleihin liittyen havaittiin myös toinen ongelma. Kun kappaleen kehät tyhjenetään, muottihiekkaan kaavatut erilaiset kokillit menevät purkupaikalla väkisin sekaisin keskenään. Niitä käsitellään suurella sähkömagneetilla, koska ne ovat valurautaa eli painoa pieneltä näyttävillekin kokilleille kertyy huomattava määrä. Lisäksi yhden kappaleen muotti saattaa sisältää satoja kiloja kokilleja, joten niitä ei ole työergonomian kannalta missään tapauksessa järkevää käsitellä käsivoimin niin suurina määrinä kerrallaan.

Purkupaikalta kokillit nostetaan magneetilla metallilaatikkoon, jossa ne kuljetetaan teräskuulapuhallukseen/myllytykseen. Myllytyksen jälkeen niitä ei pääasiassa lajitella muutamia erikoiskokilleja lukuun ottamatta, vaan ne ajetaan myllyn purkuhihnalta suoraan metallilaatikoihin sekaisin, josta niitä tarvitsevat käyvät tekemisen lomassa etsimässä ja kaivelemassa tarvitsemansa kokillit. Tämä on selkeä hukkaa aiheuttava vaihe, mutta kokillien muodon ja painon vuoksi kustannuksiltaan järkevää ratkaisua ei työn aikana löydetty, joten nykyiseen toimintamalliin jouduttiin toistaiseksi tyytymään. Ennakoitavasti tehtävällä keräilyllä tämän vaikutus kappaleiden läpimenoaikaan saataisiin kuitenkin minimoitua. Kuviossa 9 on havainnollistettu ongelmaa. Valurauta painaa noin 7 kg/dm^3 , joten kuvan pienimmätkin kokillit painavat useita kiloja, ja suurimmat yli kymmenen kiloa kappaleelta.



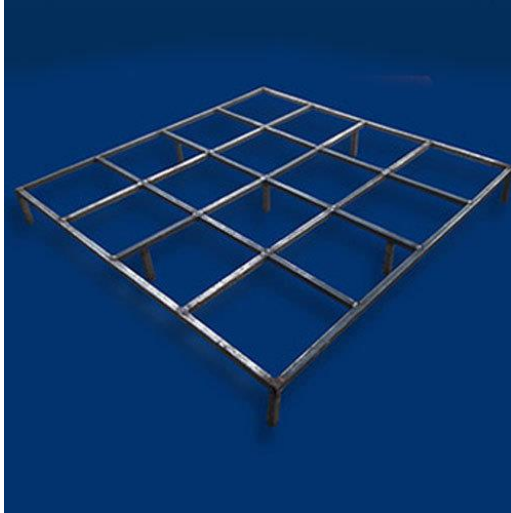
Kuvio 9. Kokillien ajo myllystä laatikkoon

Kaavauksen aikana ylimääräistä liikettä aiheuttavana tekijänä olivat myös erilaiset pientarvikkeet, kuten pultit, mutterit ja prikat. Näitä oli työpisteillä niin kutsutuissa miljoonalaatikoissa, ja mikäli jotakin tiettyä kokoa tarvittiin, sitä lähdettiin etsimään muun muassa käsinkaavauksen työpisteiltä, tai pahimmillaan jopa konepajan puo-

lelta toiselta puolelta tehdasaluetta. Tarvikkeita lähdettiin etsimään kappalekohtaisesti, eikä niille ollut mitään määriteltyä varastopaikkaa lähtötilanteessa. Tällaisten osien ohjauksessa imuohjaus tai kaksilaatikkojärjestelmä on hyvinkin tehokas ohjauskeino, jolloin välttyään turhalta etsimiseltä. Alueella toimii myös Würth, joka varmasti pystyy järjestämään myös hyllyynkantopalvelun tai kaupintavaraston tarvittaville pientarvikkeille. Tämän selvitys lähti käyntiin työn aikana.

Viimeisenä huomiona altavalujen kaavauksessa olivat tiiliputket, joita käytetään kaatokanavan rakentamiseen, jota pitkin rauta menee kuusasta muottiontelon alapäähän valun aikana. Kun kehää aletaan varustelemaan, katsotaan valusuunnitelmasta kehäkohtainen tiiliputkilinjan rakenne (putken halkaisija ja pituus & käytettävä supistus), käydään hakemassa tarvittava määrä vakiomittaisia tiiliputkia viereisestä varastosta, kasataan ne kehän sisään suunnitelman mukaiseksi nipuksi, verrataan pituutta kehän jakosaumaan, ja sen jälkeen merkitään ja sahataan putket oikean mittaiseksi. Tämä tehdään kaavauksen aikana. Koska suunnitelmassa on olemassa jo valmiiksi kehäkohtaisesti putkien vaatimukset ja mitat, olisi tämä täysin mahdollista tehdä keräilyvaiheen aikana, jolloin putket voitaisiin liittää kuumaliimalla valmiiksi nipuiksi, ja kaavauksen aikana ne nostettaisiin kehään valmiina kokonaisuuksina.

Kuumaliiman toimivuus testattiin työn aikana liimaamalla kolme 100 mm sisähalkaisijaista putkea yhteen. Liiman jäähtyttyä putkinippua kannettiin ylimmästä putkesta, heilutettiin, potkittiin ja kopisteltiin trukkilavan reunaan. Liima pitää suunnitellussa käyttötarkoituksessa erittäin hyvin, eikä se pettänyt normaalia huomattavasti rajummassakaan käsittelyssä, vaan se vaati reilun vääntämisen ennen sauman pettämistä. Kuviossa 10 on esitetty ehdotus trukkilavaan liitettävästä kehikosta, jonka osiot pystyttäisiin numeroimaan kehänumeroiden mukaan. Tiiliputket valmistettaisiin oikeisiin lokeroihinsa keräilyvaiheen aikana. Tällöin kehien kaavausjärjestyksellä ei olisi väliä, vaan ne voitaisiin ottaa kunkin kehän lokerosta suunnitelman mukaan. Kuvassa näkyvät kehikon jalat tulisivat olla noin 40-60 cm pitkät, jotta putket kestävät pystyssä ja lavoja pystyttäisiin tarpeen mukaan myös kuljettamaan trukilla.



Kuvio 10. Tiiliputkien keräilylavaan liitettävä numeroitava kehikko (Kuva: indiamart.com)

6.4.2 Kunnossapito ja käyttäjähuollot

Kunnossapitoon ja käyttäjähuoltoihin liittyen suurena hukkaa aiheuttavana tekijänä nousi hiekkamikserin tukkeutuminen kesken kaavauksen. Mikäli mikseri tukkeutuu kesken kehän täyttämisen, aiheuttaa se välittömästi kehän hylkäyksen, sillä jo laskettu hiekka kerkeää kovettua ennekuin mikseri saadaan putsattua ja hiekan laskeamista jatkettua. Kehän tyhjentämiseksi malli ja muut mahdolliset varusteet tulee poistaa kehästä hiekan kovetuttua, jonka jälkeen kehä viedään purkupaikalle ja tyhjennetään. Tyhjennyksen jälkeen kehä ajetaan takaisin kaavauspaikalle, ja aloitetaan homma varustelusta lähtien alusta, kunhan mikseri on ”ammuttu” puhtaaksi eli puhdistettu paineilmatallta ja muita työkaluja apuna käyttäen. Tämä aiheuttaa merkittävän määrän ylimääräistä työtä.

Lähtötilanteessa mikserille ei ollut määritelty säännöllistä käyttäjähuoltoa, vaan se tehtiin joko tukkeuman ilmetessä tai jos tuotannossa sattui hiljaisempi hetki. Tällainen tilanne havainnollistaa lean-ajattelun kapasiteettipuskurin ideaa käytännössä – mikäli mikserin säännölliseen puhdistukseen varattaisiin kapasiteetista tietty osuus jo oletuksena, ylimääräiseltä tukkeutumien aiheuttamilta töiltä vältyttäisiin ja lopputulemana kapasiteettia olisi tosiasiallisesti enemmän käytössä ja virtaus paranisi häiriöiden vähentyessä.

Korjausta vaativien kehien kierrossa ja niihin liittyvässä tiedonkulussa havaittiin myös puutteita. Viallisiksi huomattuihin kehiin merkattiin rasvaliidulla kylkeen teksti ”kiero”, jonka jälkeen ne ajettiin kunnossapidon tilojen läheisyyteen. Ongelma muodostui siinä vaiheessa, kun kehät palautuivat korjauksesta, mutta teksti kyljessä säilyi. Tuotannossa olevassa kehässä saattoi siis lukea isolla kyljessä ”kiero”, ja korjauksen tila perustui jostakin kuultuun tietoon tai silmämääräiseen tarkasteluun. Tällainen käytäntö mitätöi viallisten kehien merkinnän tarkoitusta, koska myös vialliseksi merkityjä kehiä käytettiin säännöllisesti, jolloin riski oikeasti kieron kehän käytölle tuotannossa kasvaa.

Työntekijöiden kanssa keskustellessa nousi kunnossapidon osalta myös huomio, että sovittujen remonttien aloitusajankohdat olivat yleensä kohtuullisen hyvin tiedossa, mutta homman valmistumisesta ei välttämättä tullut tietoa saman tien. Tieto saattoi tulla vasta siinä vaiheessa, kun remontin tilasta alettiin kysymään, jolloin homma saattoi olla ollut jo tunteja valmis. Tätä ei kuitenkaan tätä työtä tehdessä tapahtunut, eli tosiallista esiintymistiheyttä ja ongelman vakavuutta ei päästy todentamaan. Ongelma on kuitenkin hyvin todennäköisesti olemassa ja siihen on helppo kehittää tilannetta parantavia toimintatapoja.

6.4.3 Työn vaiheistus ja vaiheiden ajoitus

Valimon tuotannon karkeakuormitus tehdään noin pari-kolme viikkoa eteenpäin luomalla valuohjelma, jonka mukaan töiden tarkempi ajoitus tehdään. Valujärjestys perustuu osaltaan tiettyyn toistuvaan rytmiin ja osaltaan kehien riittävyteen. Viikoittain valetaan tietty määrä sylintereitä, tietty määrä telavaluja ja lähtötilanteessa yksi akseli. Akseleiden ja telavalujen muotit valmistetaan kehistä, jolloin jokainen niistä varaa tietyn määrän tietyn kokoisia kehiä. Tämän vuoksi mitä tahansa tuotetta ei voi valmistaa minkä tahansa tuotteen kanssa samaan aikaan tai edes limittäin, sillä kehät ovat tyypillisesti kiinni työllä noin kaksi viikkoa hieman tuotteesta riippuen.

Kehien määrästä on olemassa taulukko, josta käy ilmi kaikkien tela- ja akselikaavauksessa käytössä olevien kehien määrät. Missään ei kuitenkaan ole reaaliaikaista tietoa,

minkä verran kehä on kiinni meneillään olevissa töissä, petikehinä montuissa, tai odottamassa korjausta. Valujen järjestely perustuu täysin suunnittelun ja työnjohdon ammattitaitoon ja havainnointiin. Vaikka tämä järjestely onkin toimivaksi todettu, suunnittelun ja työnjohdon työmäärää voisi keventää hallitsemalla kehien kiertoa toiminnanohjausjärjestelmässä. Kehät määriteltäisiin varastonimikkeiksi ja lisättäisiin kappaleiden tuoterakenteeseen tai routingiin, eli reititykseen. Ensimmäinen tarvitseva vaihe varasisi kehät ja purkuvaihe vapauttaisi ne takaisin varastoon. Tämä helpottaisi myös karkeakuormituksen tekoa, kun järjestelmästä nähtäisiin suoraan myös hieman pidemmällä aikavälillä, minkä verran kehä on milläkin hetkellä käytössä. Muutosta ei kuitenkaan ole järkevää toteuttaa tämänhetkiseen toiminnanohjausjärjestelmään, sillä valimolle on parasta aikaa tulossa käyttöön uusi toiminnanohjausjärjestelmä. Vaihtoehtoa kannattaa kuitenkin harkita uutta järjestelmää luodessa ja käyttöönottaessa.

Hienokuormituksen osalta kaavausvaiheen ajoitus perustuu lähtötilanteessa tiettyyn kokemuspohjaiseen tietoon ja arvioon, minkä aikaa kulloinkin työn alla olevan akselin valmistus valukuntoon asti vie. Mikäli aiempi työ valmistuu odotettua aiemmin, yleensä seuraavaa työtä aletaan tekemään ennakkoon. Tästä aiheutuu tilanteita, joissa kehät on kaavattu valmiiksi, ja ne odottavat useita päiviä välivarastossa ennen kuin ne kasataan valukuntoon juuri ennen valua.

Valimolla on tehty päätös, että valut järjestetään valuohjelmaan sulaton aikataulun mukaisesti, jotta sulatusuunien kuormitus saadaan pidettyä tasaisena. Tämä tarkoittaa sitä, että vaikka kaavaus valmistuisi aiemmin, valua ei välttämättä aikaisteta sen mukaan. Tämä ei toki aina pidä paikkaansa, jos puhutaan suuremmista muutoksista, mutta pääasiassa pyritään menemään tehdyn valuohjelman mukaisesti. Nyt mikäli kaavaus saataisiin valmistumaan nopeammin, ei siitä saavuteta kappaleen läpimenon kannalta välttämättä mitään hyötyä. Tämän vuoksi etenkin kaavauksen vaiheistus tulisi pilkkoa pienempiin osiin, jolloin pisimmän ajan vievät vaiheet, kuten sementtiä sisältävien kehien kaavaus saataisiin eriytettyä muista vaiheista ohjattavuuden säilyessä. Tämä mahdollistaisi myös kaavauksen vaiheiden tarkemman taaksepäin ajoituksen valupäivän mukaan, kun tietyt osavaiheet voitaisiin suunnitella alkamaan juuri oikeaan aikaan. Tällöin välttyttäisiin turhalta välivarastoinnilta.

Mikäli kaavausvaihe jaettaisiin muusta kaavauksesta erillisiin osavalmistuvaiheisiin, kuten sementtiosien ja keernojen valmistukseen, voitaisiin näitä ohjata parhaassa tapauksessa jopa imuohjauksella tietyiltä osin. Lisäksi tämä tukisi ajatusta, että jäljelle jäävää kaavausvaihetta ajateltaisiin enemmän loppukokoonpanona, jossa valmiiksi keräillyt osat ja puolivalmisteet kokoonpantaisiin lopulliseksi tuotteeksi, tässä tapauksessa valmiiksi muotiksi. Loppukokoonpanon (=jäljelle jäävän kaavauksen) vaihe-aika olisi huomattavasti nykyistä lyhyempi ja ohjattavuus selkeämpi.

Sementtiosien eriyttämistä muusta kaavauksesta tukee myös kappaleen laatuun vaikuttavat tekijät. Sementtiä sisältävien kehien kuivatusajat ovat huomattavasti pidempiä kuin muiden kehien. Niiden valmistamisella muusta kaavauksesta erillään pystytään varmistamaan riittävät kuivatusajat, joka heijastuu lopputuotteeseen laadun paranemisena. Tämä vaikuttaa samalla merkittävästi puhdistusvaiheen pituuteen lyhentäen sitä reilusti. Kappaleiden laadun ollessa hyvä, puhdistusvaihe ei muodostu pullonkaulaksi, vaikka akseleita valettaisiin nykyistä tiheämmin.

6.5 Tahtotilan kuvaus

Kun kehityskohteet oli kartoitettu, oli aika tehdä tahtotilan arvovirtakuvaukset samanlaiseen taulukkoon kuin nykytilan kuvauksetkin, jotta pystyttäisiin vertaamaan suunniteltuja kehitysehdotuksia nykytilaan ja näkemään arvoa tuottavan ajan muutokset. Koska kehityskohteet ovat vasta ehdotuksia, tahtotilan kuvauksen tarkkuus perustui vain opinnäytetyön tekijän omaan arvioon. Kuvaus antaa kuitenkin suuntaa kehitystoimenpiteiden vaikutuksista, jonka pohjalta voidaan lähteä harkitsemaan ehdotusten toteuttamista. Tahtotilan arvovirtataulukoiden rakenne sekä päältä-, että altavaluista on kuvattu liitteissä 7 ja 8.

Loppupään vaiheissa suuri määrä mahdollista hukkaa jäi myös tahtotilaan, koska sen määrä on täysin riippuvainen kappaleen laadusta. Hukkaa aiheuttava aika valmistuksen loppupäässä johtuu pääasiassa kappaleen laaturvirheiden, kuten kiinnipalaneiden

hiekkojen poistamisesta, sekä mahdollisista vetokoesauvojen epäpuhtauksista. Pahasti kiinnipalaneen kappaleen virheiden poistoon voi mennä useita päiviä normaalin puhdistuksen lisäksi. Tätä hukka-aikaa ei siistin kappaleen kohdalla synny, joten vaihtelu on erittäin suurta, eikä se ole helposti ennakoitavissa. Kappaleen laatu on täysin kiinni kaavausvaiheesta, valutavasta ja sulasta.

Luotujen taulukoiden avulla pystyttiin selkeästi vertaamaan nyky- ja tahtotilan tuloksia, jotka on esitetty taulukoissa 2 ja 3.

Taulukko 2. Päättävalujen nyky- ja tahtotilan vertailu

Current State			Future State		
	Worst Case	Best Case		Worst Case	Best Case
Value adding time (h)	145,6	104,4	Value adding time (h)	144,6	104,6
Non value adding time (h)	491,8	264,2	Non value adding time (h)	502,3	269,6
Non value adding time (h)	543,4	21,1	Non value adding time (h)	230,4	3,6
Total time	1180,8	389,7	Total time	877,3	377,8
Value Adding %	8,8 %	37,4 %	Value Adding %	11,9 %	38,3 %

Taulukko 3. Altavalujen nyky- ja tahtotilan vertailu

Current State			Future State		
	Worst Case	Best Case		Worst Case	Best Case
Value adding time (h)	150,1	112,5	Value adding time (h)	148,6	111,3
Non value adding time (h)	291,2	214,9	Non value adding time (h)	286,5	212,3
Non value adding time (h)	387,2	10,3	Non value adding time (h)	187,6	5,3
Total time	828,5	337,7	Total time	622,7	328,9
Value Adding %	13,6 %	44,4 %	Value Adding %	17,9 %	45,2 %

Taulukoiden ajoissa täytyy huomioida, että rinnakkainen työ ei näy, vaan taulukko laskee samanaikaisesti tehtävien vaiheiden ajat yhteen, jolloin luvuista tulee todella suuret, eivätkä ne osoita suoraan läpimenoaikaa. "Worst case" tapauksessa ajat ovat sellaisesta tilanteesta, jossa kaikki menisi yhden kappaleen valmistuksessa pieleen ja aiheuttaisi maksimimäärän hukka-aikaa. "Best case" kuvaa taas tilannetta, jossa kaikki menisi ideaalitulanteen mukaan, joka sekään ei ole realistinen tilanne, vaikkakin se on tavoitteena. Tosiasiassa läpimenoaika on jotakin tuolta väliltä, ja hukan määrä vaihtelee.

Mitä taulukoista pystytään kuitenkin näkemään, on tilojen välinen ero. Luvut osoittavat selvästi, että suunnitelluilla kehitystoimenpiteillä saavutettaisiin hyötyä kappaleen arvon muodostumiseen hukan vähentymisenä. Tärkeimpänä tietona taulukoista tulee katsoa hukka-ajan erotusta niin minimi-, kuin maksimitilanteessa, joissa ero on merkittävä. Myös näissä luvuissa pätee taulukon rakenteen vuoksi rinnakkaisuuden puuttuminen ja sitä kautta lukujen suuruus, mutta suunta on selvä. Tosiasiallisen hyödyn pääsee kuitenkin mittaamaan vasta, kun kehitystoimenpiteet viedään tuotantoon. Kehitystoimenpiteissä on myös sellaisia toimenpiteitä, joilla ei välttämättä ole suoraa lyhentävää vaikutusta kappaleen läpimenoaikaan, mutta ne parantavat työn sujuvuutta ja sitä kautta työntekijöiden viihtyvyyttä.

7 Tulokset

7.1 Kehityskohteet ja -ehdotukset

Opinnäytetyön tuloksena akselivalutuotannon nykytilasta löydettiin lukuisia kehityskohteita, joiden avulla valmistusmäärää saadaan lisättyä, läpimenoaika lyhennettyä, työvaiheiden ohjattavuutta parannettua sekä materiaalien ja arvon virtausta selkeytettyä. Merkittävin tekijä tuloksissa on akselituotannon yksittäisten vaiheiden läpimenoaikojen lyhentyminen vaiheistuksen kehittämisen myötä. Tämä mahdollistaa useamman kappaleen valmistamisen samassa ajassa, mikä on tavoitteen kannalta olennaista. Kehitystoimenpiteet lyhentäisivät hyvin todennäköisesti myös valmistuksen kokonaisläpimenoaika. Toimenpiteiden myötä akseleiden valmistuskapasiteetti nousisi ilman miestyövoiman lisäystä ja kaavausajan lyhentyessä puolentoista akselin kaavaaminen viikossa olisi mahdollista. Tätä ei kuitenkaan päästä todentamaan, ennen kuin toimenpiteet on viety tuotantoon.

Merkittävimpiä kehitysehdotuksena tela- ja akselikaavaukseen tulisi ottaa käyttöön erillinen keräilyvaihe, jolla tavaroiden etsiminen saatiin karsittua kaavausprosessin sisältä pois. Layoutiin suunniteltiin erilliset keräilyalueet, joille merkitään kullonkin kerättävän kappaleen tiedot, esimerkiksi jokaisella keräilyalueella olevan taulun

avulla. Taulut olisivat selkeitä paikkoja, joihin keräilylistat ja muut tarvittavat tiedot toimitettaisiin.

Kehien varastointi ja kierto suunniteltiin uudelleen palvelemaan keräilyvaihetta ja koko tela- ja akselituotantoa tehokkaammin. Suunnitellut kehien varastointialueet, korjattavien kehien alueet ja keräilyalueet on piirretty layouttiin liitteessä 6. Kehien tilantarve laskettiin, ja ne jaoteltiin halkaisijan mukaan omille alueilleen. Tämä selkeyttäisi huomattavasti kehien hakemista ja olisi eduksi myös silloin, kun kehien saatavuutta tarkastellaan tuotantosuunnitelmaa tehdessä. Lisäksi korjattavien kehien ohjaus ulos niille merkitylle alueelle pois tuotannossa olevien kehien seasta parantaisi nykyistä käytäntöä. Tämä tosin edellyttää myös, että merkintöjen poistokäytännöt sovitaan.

Myös muotin eri osien valmistus tulisi hajauttaa pienempiin kokonaisuuksiin, jolloin töiden ajoitus olisi helpompaa valupäivään nähden JIT-ajattelun mukaisesti. Sementtimylly sijaitsee 4-hallissa, jossa sementtiä sisältävät kehät voitaisiin kaavata valmiiksi asti peitostuksineen. Näin ne voitaisiin toimittaa oikea-aikaisesti kasausvaiheen tarpeeseen. Kaikki akselivalmistuksessa tarvittavat keernat taas voitaisiin valmistaa keskitetysti 5-hallin keernapäässä, jossa myös käsinkaavauksen keernat valmistetaan.

Muita ehdotettuja kehitystoimenpiteitä ovat muun muassa aiemmin määrittelemättömien käyttäjähuoltojen käytäntöjen sopiminen hiekkamiksereille. Lisäksi tuotannossa tarvittavien pientarvikkeiden varastointi ja täydennys tulisi järjestää, jotta turhalta etsimiseltä ja kuljetuksilta vältytään. Kutakin työvaihetta koskevien remonttien tilasta olisi myös hyvä olla jokin selkeä paikka, esimerkiksi taulu, josta asianomaiset pääsisivät tarkastelemaan remonttien tilaa, ja suunnittelemaan myös omaa toimintaansa sen mukaan.

Kokillien lajitteluun ei työn aikana löydetty nykyistä järkevämpää ratkaisua, mutta ajatus kehitystavasta kannattaa kuitenkin pitää hautumassa, ja kannustaa työntekijöitäkin edelleen miettimään käypäisiä ratkaisuja. Kaikki kehitysehdotukset, mukaan lukien kokillien lajitteluun liittyvät, on esitetty taulukkomuodossa liitteessä 5.

7.2 Jatkotoimenpiteet

Keräilylistat ovat valusuunnitelmissa pääosin olemassa jo lähtötilanteessa, joten keräilyyn voi aluksi toteuttaa kaavauksen lomassa, mikäli nähdään, ettei erillistä resurssia ole järkevää irrottaa keräilyvaihetta hoitamaan. Ennakkoon tehtävä keräily nopeuttaa tuotantoa silti, vaikka kaavaajat tekisivät sen kaavauksen aikana. Kun kehät, varusteet ja muut tarvittavat materiaalit haetaan valmiiksi kaavauspaikan läheisyyteen, ensinnäkin varmistutaan, että kaikki tarvittavat materiaalit ovat saatavilla, ja lisäksi ne ovat valmistuksen aikana helposti otettavissa ilman erillistä etsimistä ja hakua. Lisäksi kun kehät ja muut materiaalit on varastoitu selkeästi omille paikoilleen, hakuajat minimoituvat ja sujuvuus paranee.

Keräilyvaiheeseen liittyen myös tiiliputkien ennakkoon valmistus on helppo testata ilman suuria muutoksia. Lavat putkille ovat edullisia valmistaa, jos valmiita ei helposti löydy. Aluksi kehikko ei ole edes välttämätön, vaan putken kylkeen voi merkitä tussilla suunnitelman mukaisen kehänumeron ja ne voi kerätä pystyyn normaalille trukkilavalle. Tällöin päästään testaamaan, onko ennakkoon kasaamisesta konkreettista hyötyä.

Hiekkamikserien käyttäjähuoltojen sopiminen ei myöskään vaadi kuin päätöksen ja sopimisen työntekijöiden kanssa. Mikserin tukkeutuminen aiheuttaa usean tunnin ylimääräisen työn puhdistuksen lisäksi, joten kapasiteettia kuluu tälläkin hetkellä riittämättömän käyttäjähuollon johdosta. Ennakoiva puhdistus pienentää vaihtelua ja lisää valmistuksen sujuvuutta.

Kehien varastoisiksi L-montun 5-hallin puoleinen neliömonttu tulee tyhjentää hiekasta, ja siihen on oltava portaat, ennen kuin kehiä voidaan sinne varastoida. Muuten paikat ovat vain järjestelyä vaille, joten järjestelmällisten paikkojen käyttöönotto ei vaadi merkittäviä ponnisteluja. Kokillien lajittelua kannattaa myös edelleen pohtia ja kannustaa myös työntekijöitä miettimään ratkaisua.

Työssä esitettyjä kehitysehdotuksia suunnitellessa on oletettu rajauksen mukaisesti, että valusuunnitelmat, mallit ja sula tulevat ajallaan. Tämä on kuitenkin tärkeää varmistaa myös käytännössä, sillä varsinkin keräilyvaihetta ja osavalmistusta ajatellen suunnitelmien ja mallien riittävän aikainen toimitus tuotantoon on elinehto. Haastatteluissa nousi työn aikana esille havaittuja ongelmia mallien saatavuudessa suunniteltuina valmistuksen alkamisajankohtina, mikä rajoitti tietyissä tapauksissa töiden oikea-aikaista aloittamista. Koska malliverstas oli rajattu aiheen ulkopuolelle, tämä jätetään vain maininnaksi eikä aiheita lähdetty tutkimaan tarkemmin tämän opinnäytetyön puitteissa.

8 Johtopäätökset ja pohdinta

Opinnäytetyö on onnistunut, sillä työtä tehdessä tutkimuskysymyksiin saatiin vastaukset ja perusteltuja kehitysehdotuksia tuotantoon löydettiin. Numeerista tavoitetta ei päästä mittaamaan, ennen kuin kehitystoimenpiteet on viety tuotantoon, mutta ainakin tekijän henkilökohtainen mielipide lopputulosten perusteella on, että työlle asetetut tavoitteet saavutettiin erinomaisesti ja työn laajuus oli oikein hyvällä tasolla. Toimeksiantajayritys sai työn tuloksena akselituotannosta laaditut arvovirtakuvaukset sekä kehitysehdotukset listattuna perusteluineen ja alustavine suunnitelmineen, joita se pystyy hyödyntämään viedäkseen toimenpiteet käytäntöön.

Luotettavuuden suhteen tuotevariaatioiden suuren määrän ja sitä kautta prosessiaikojen vaihtelun vuoksi tulosten luotettavuus olisi sitä parempi, mitä pidemmältä aikaväliltä esimerkiksi vaiheaikoja olisi mitattu. Myös luotettavuus sen osalta, mikä on normaalia vaihtelua ja mikä epänormaalia, paranee tutkimuksen aikaväliä pidentäessä. Tulosten luotettavuus saatiin kuitenkin riittävälle tasolle tämän opinnäytetyön kannalta, ja johtopäätöksiä pystyttiin niiden avulla tekemään. Tukiaineiston luotettavuus, jota kerättiin muun muassa haastatteluilla, on hyvä, koska suurin osa asioista tuli ilmi useasta lähteestä ja haastateltavilla oli erittäin pitkä työkokemus Rautpohjan valimolla.

Valimoprosessit ovat ylipäättään mainio kohde kehitystutkimuksille, sillä ne sisältävät tyypillisesti suuren määrän vaihtelua ja automaatioaste on varsinkin suurempien kappaleiden osalta pieni. Kehityskohteita on kohtuullisen helppo löytää moniin vaiheisiin. Tässä tosin piilee myös sudenkuoppa tutkimuksen tekijälle. On äärimmäisen helppo sortua kehittämään sellaisia vaiheita, jotka ovat kaikista ilmeisimpiä ja helpoimpia kehittää. Silloin korostuu kehitystyötä suunnittelevan tahon ymmärrys kokonaiskuvasta, joka on välttämätöntä, mikäli kehitystoimenpiteillä halutaan saavuttaa mahdollisimman suuri hyöty läpimenoajallisesti. Lean-filosofia tarjoaa kuitenkin hyvät työkalut ja toimivat menetelmät perusteelliseen analyysiin ja kehityskohteiden hakemiseen.

Lean-filosofian lisäksi Six Sigman vaihtelunhallintakeinojen yhdistäminen lean-menetelmiin olisi varmasti kaikista toimivin kombinaatio valimojen prosesseja kehittäessä. Mikäli työtä lähtisi nyt esitettyjen tulosten jälkeisellä tiedolla tekemään uudelleen, olisi lähestymistapa todennäköisesti hieman erilainen. Vaikka vaihtelun suuruus oli tiedossa alusta lähtien, sen roolia ei täysin hahmottanut työtä suunnitellessa. Vaihtelun tutkimiseen, ymmärtämiseen ja hallintaan Six Sigma olisi tarjonnut hyviä työkaluja, mutta samalla työn luonne olisi muuttunut täysin. Tavoitteiden kannalta olennaiset asiat kuitenkin löydettiin ja vaihtelua pienennettiin osaltaan havaittujen kehityskohteiden avulla eli kokonaisuudesta tuli oikein onnistunut.

Lähteet

Haverila, M., Kouri, I., Miettinen, A. & Uusi-Rauva, E. 2009. Teollisuustalous. 6. p. Tampere: Infacs

Historia. N.d. Julkaisu Valmet Oyj:n verkkosivuilla. Viitattu 9.5.2019
<https://www.valmet.com/fi/valmet-yrityksena/valmet-lyhyesti/historia/>

Hukka, Muda, Waste. 2017. Artikkele Lean5-sanomat -verkkolehdestä. Lean5 Europe Oy. Viitattu 10.3.2019. <https://www.lean5.fi/hukka-muda-waste/>

Hydrauliikka turvaa paperikoneen korkean käyttöasteen ja pienet elinkaarikustannukset. 2015. Artikkele FLUID Finland -ammattilehdestä, 2, 28-32. Viitattu 2.5.2019. https://issuu.com/ammattilehti.fi/docs/fluidfinland2_2015/31

JIT ja imuohjaus. N.d. Julkaisu Logistiikan Maailman verkkosivuilla. Viitattu 2.3.2019.
<http://www.logistiikanmaailma.fi/logistiikka/tuotanto/prosessien-kehittaminen/jit-just-in-time-ja-imuohjaus/>

Kauppinen, V., Lapinleimu, I., & Torvinen, S. 1997. Kone- ja metalliteollisuuden tuotantojärjestelmät. Porvoo: WSOY

Keskinen, R. & Niemi P. 2015. Muotinvalmistustekniikka: Valamisen periaate. Artikkele ValuAtlaksen verkkoversiossa. Viitattu 14.5.2019.
http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/PN_muotinvalmistustekniikka_2.pdf

Leanin historiaa. N.d. Six Sigma. Viitattu 9.5.2019.
<http://www.sixsigma.fi/fi/lean/leanin-historiaa/>

Liker, J. 2006. Toyotan tapaan. Helsinki: Readme.fi

Liker, J. & Convis, G. 2012. Toyotan tapa lean-johtamiseen. Helsinki: Readme.fi

Meskanen, S. N.d. Valimotekniikan perusteet: Peitostaminen. Artikkele ValuAtlaksen verkkoversiossa. Viitattu 25.3.2019.
http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/vtp_menet_peitostaminen.pdf

Meskanen, S. & Höök, T. N.d. Hiekkavalimon valimoprosessi: Kaavaus. Artikkele ValuAtlaksen verkkoversiossa. Viitattu 12.2.2019. http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/valimoprosessi_16.pdf

Meskanen, S. & Niini, E. N.d. Valimotekniikan perusteet: Valuraudat. Artikkele ValuAtlaksen verkkoversiossa. Viitattu 15.4.2019
http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/vtp_mat_valuraudat.pdf

Nikula, H. 2019. Valimon johtaja. Valmet Technologies Oy. Haastattelu 16.5.2019.

- Orkas, J. 2019. Valutuotanto Suomessa. Valimoteollisuus ry:n seminaariesitys valunkäytön seminaarista 28.3.2019. Viitattu 14.5.2019.
https://teknologiateollisuus.fi/sites/default/files/file_attachments/1_orkas_valutuotanto_suomessa_2018.pdf
- Paalanen, T. 2011. LEAN. Artikkelin Suomen Valimoteknisen Yhdistyksen jäsenlehdessä, 3, 18-21. Viitattu 9.5.2019.
www.svy.info/sites/default/files/valimoviesti/valimoviesti_3_11.pdf
- Paalanen, T. 2013. Läpimenoaikojen vaihtelun pienentäminen. Artikkelin Suomen Valimoteknisen Yhdistyksen jäsenlehdessä, 4, 16-19. Viitattu 9.5.2019.
http://www.svy.info/sites/default/files/valimoviesti/4-2013valimoviesti_web%20%281%29.pdf
- Piirainen, A. 2015. VSM – Mihin tätä käytetään?. Six Sigma. Viitattu 10.2.2019.
<http://www.sixsigma.fi/fi/artikkelit/vsm/>
- Piirainen, A. 2017. Aliarvostettu vaihtelu. Quality Knowhow Karjalainen Oy. Viitattu 12.3.2019. <http://www.qk-karjalainen.fi/fi/artikkelit/aliarvostettu-vaihtelu/>
- Saaranen-Kauppinen, A. & Puusniekka, A. 2006a. Haastattelut. KvaliMOTV - Menetelmäopetuksen tietovaranto, verkkojulkaisu. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoarkisto. Viitattu 22.3.2019.
https://www.fsd.uta.fi/menetelmaopetus/kvali/L6_3.html
- Saaranen-Kauppinen, A. & Puusniekka, A. 2006b. Ryhmähaastattelu. KvaliMOTV - Menetelmäopetuksen tietovaranto, verkkojulkaisu. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoarkisto. Viitattu 13.5.2019.
https://www.fsd.uta.fi/menetelmaopetus/kvali/L6_3_4.html
- Secrets behind succesful SMED. N.d. Artikkelin Industry Forum -verkkosivustolla. Birmingham: SMMT Industry Forum Ltd. Viitattu 15.3.2019.
<https://www.industryforum.co.uk/resources/blog/secrets-behind-successful-smed/>
- Sinervä, I. 2017. Valmetin tehdas tykittää kartonkikoneita ennätystahtia - Kiinalaiset ostavat jopa kokonaisia valmistuslinjoja. Artikkelin Kauppalehden verkkoversiossa. Viitattu 22.5.2019. <https://www.kauppalehti.fi/uutiset/valmetin-tehdas-tykittaa-kartonkikoneita-ennatystahtia-kiinalaiset-ostavat-jopa-kokonaisia-valmistuslinjoja/0b30c272-0aab-3627-93b3-63f8b2d58e65>
- SMED N.d. Single-Minute Exchange of Dies. LeanProductionin julkaisema artikkeli. Viitattu 10.2.2019. <https://www.leanproduction.com/smed.html>
- Soronen, O. 1999. Massaräätälöinti asiakasmyötäisessä tuotannossa. Helsinki: Metalliteollisuuden Kustannus
- Tennilä, P. N.d. Valimotekniikan perusteet: Suomen valimoteollisuus. Artikkelin ValuAtlasin verkkoversiossa. Viitattu 25.3.2019.
http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/vtp_johd_toimiala_pt.pdf

Vaihtelu ja PDCA. N.d. Six Sigma. Viitattu 12.3.2019.

<http://www.sixsigma.fi/index.php/fi/lean/vaihtelu-ja-pdca/>

Väisänen, J. 2016. VSM (Value Stream Mapping) – Arvovirtakuvaus. Quality Knowhow

Karjalainen Oy. Viitattu 10.2.2019 [http://www.qk-karjalainen.fi/fi/artikkelit/vsm-](http://www.qk-karjalainen.fi/fi/artikkelit/vsm-value-stream-mapping-arvovirtakuvaus/)

[value-stream-mapping-arvovirtakuvaus/](http://www.qk-karjalainen.fi/fi/artikkelit/vsm-value-stream-mapping-arvovirtakuvaus/)

Liitteet (salattu)