LÄMPÖKÄSITTELYLINJASTOJEN NYKYTILA-ANALYYSI JA KEHITTÄMINEN

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Tuotantotalouden diplomityö

2022

Juho Pösö

Tarkastaja: Professori Janne Huiskonen

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

School of Engineering Science

Tuotantotalouden koulutusohjelma

Juho Pösö

Lämpökäsittelylinjastojen nykytila-analyysi ja kehittäminen

Tuotantotalouden diplomityö

2022

82 sivua, 9 kuvaa, 23 taulukkoa ja 1 liite

Tarkastaja: Professori Janne Huiskonen

Avainsanat: nykytila-analyysi, lean, suorituskyvyn mittaaminen, tuotanto

Tuotannon tehokkuuden nykytilan tunteminen ja jatkuva seuraaminen ovat tärkeässä roolissa yrityksissä. Kohdeyrityksen mielestä lämpökäsittelylinjastojen tuottavuus oli tippunut viime vuosina. Työn tavoitteena on selvittää kohdeyrityksen lämpökäsittelylinjastojen nykytilaa toteutuneen tuotantodatan ja strukturoimattomien haastatteluiden avulla.

Työn alussa tutustutaan kirjallisuuskatsauksen avulla tuotannonohjauksen, tuotantoprosessien, suorituskyvyn mittaamisen ja lean-ajattelun teoriaan. Näiden avulla luodaan teoriapohja, jonka avulla voidaan tarkastella toteutuneen tuotannon dataa ja eritellä lämpökäsittelylinjastojen toiminnan eri osa-alueita.

Tutkimuksessa havaittiin, että nykytilanteessa lämpökäsittelylinjastojen toiminnassa on suuria hukkatekijöitä. Nykytila-analyysissä tulleiden ongelmakohtien ratkaisemiseksi ja kehittämiseksi on ideoitu kehitysehdotuksia. Kohdeyrityksen tuntemus lämpökäsittelylinjastojen tuottavuuden laskusta oli oikeassa. Lämpökäsittelylinjastojen käyttöasteet olivat laskeneet kummallakin lämpökäsittelylinjastolla viimeisen kolmen vuoden aikana. Tutkimuksen perusteella tehdyt kehitysideoiden vaikutusta verrataan nykytilaan painomääräisten läpimenojen kautta.

ABSTRACT

Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT

School of Engineering Science

Degree Programme of Industrial Engineering and Management

Juho Pösö

Heat treatment lines current state analysis and development

Master's thesis

2022

82 pages, 9 figures, 23 tables and 1 appendix

Examiner: Professor Janne Huiskonen

Keywords: current state analysis, lean, performance measurement, production

Knowing the current state of production efficiency and constantly monitoring it plays an important role in companies. According to the target company the productivity of the heat treatment lines had dropped in recent years. The aim of the thesis is to find out the current state of the heat treatment lines of the target company with the help of past production data and unstructed interviews.

At the beginning of the work are literature review of production control, production processes, performance measurement and lean thinking theory. These theories are used to create a theoretical basis for examining the data on past production data and specifying the various aspects of the operation of heat treatment lines.

The study found that in the current situation the are major waste factors in the operation of heat treatment lines. Development proposals are introduced to solve and develop the problem areas that have arisen in the analysis of the current situation. The target company's hunch of the decline in productivity of the heat treatment lines was correct. The utilization rates of the heat treatment lines had decreased in both heat treatment lines during the last three years. The impact of the development ideas is compared to the current state through weighted throughputs.

KIITOKSET

Kahden vuoden jatko-opinnot tulevat nyt päätökseensä. Olen aina tykännyt asettaa itselleni tavoitteita ja nyt insinööriopintojen aikana syntynyt haave diplomi-insinöörin tittelistä on saavutettu. Nyt ei ole kuitenkaan aika jäädä tuleen makaamaan vaan suunniteltava uusia tavoitteita!

Haluan kiittää kohdeyritystä mielenkiintoisesta diplomityön aiheesta ja siitä, että olen saanut tehdä työtä täysipäiväsesti. Haluan myös kiittää kaikkia kohdeyrityksen työntekijöitä, jotka ovat tuoneet oman panoksensa työhön omien mielipiteiden ja näkökulmien kautta. Varsinkin ohjaajani apu on ollut korvaamatonta, suuret kiitokset siitä. Yliopiston puolelta haluan kiittää Janne Huiskosta työn ohjaamisesta.

Sydämelliset kiitokset perheelleni ja kavereilleni kannustuksesta matkan aikana. Erityisesti kiitokset avopuolisolleni Stefille, joka on jakanut ilot ja surut matkan varrella.

Lappeenrannassa 17.6.2022

Juho Pösö

Sisällysluettelo

1 JOHDANTO 9
1.1 Työn tausta 9
1.2 Tavoitteet ja rajaukset 10
1.3 Tutkimuksen toteutus 11
1.4 Raportin rakenne 11
2 TUOTANNONOHJAUS JA TUOTANTOPROSESSIT 13
2.1 Tuotannonohjausprosessi 13
2.1.1 Kokonaissuunnittelu 15
2.1.2 Karkeasuunnittelu 15
2.1.3 Hienosuunnittelu 16
2.2 Layout 16
2.2.1 Funktionaalinen layout 17
2.2.2 Tuotantolinja-layout 18
2.2.3 Solu-layout 19
2.3 Pullonkaulat 20
2.4 Kapasiteetti 20
3 SUORITUSKYVYN MITTAAMINEN 22
3.1 Suorituskyvyn määritelmä 22
3.2 Suorituskyvyn mittaaminen 24
3.3 Suorituskyvyn mittarit 25
3.4 Tuotannon suorituskyky 26
3.5 Suorituskyvyn mittaristot 27
4 LEAN-AJATTELU 30
4.1 Toyotan tapaan 30
4.2 Hukka 32
4.3 JIT (Just-in-time) 33
4.4 Kaizen eli jatkuva parantaminen 34
5 TUTKIMUSMENETELMÄT 35
5.1 Tutkimusstrategia 35

5.2 Aineiston keruu 35
5.2.1 Kvantitatiivinen data 36
5.2.2 Haastattelut 36
5.3 Reliabiliteetti ja validiteetti 37
6 LÄMPÖKÄSITTELYLINJASTOT 39
6.1 Henkilöstö 39
6.2 Lämpökäsittelylinjastojen toiminta ja layoutit 40
7 NYKYTILA-ANALYYSI 44
7.1 Lauttakokojen toteutuminen 45
7.2 Toteutunut tuotantoaika ja painomääräinen läpimeno 48
7.3 Siirtopöytä 51
7.4 Henkilöstöresurssit lämpökäsittelylinjastolla B 52
7.5 Henkilöstön tehokkuuden hajonta 54
7.6 Työntekijöiden haastattelut 58
8 KEHITYSEHDOTUKSET 59
8.1 Ylimääräisten lauttojen poiskitkeminen ja lauttakokojen tarkastelu 59
8.2 Tuotantoaika ja painomääräinen läpimeno 63
8.3 Siirtopöytä 66
8.4 Henkilöstö 68
9 YHTEENVETO 70
9.1 Jatkotutkimuskohde 72
Lähteet 74
Liitteet 82

KUVALUETTELO

Kuva 1. Tuotantoprosessin eri vaiheet (mukaillen Uusi-Rauva et al. 2003, 353). 14
Kuva 2. Funktionaalinen layout (Haverila & Uusi-Rauva & Kouri & Miettinen 2005, 477). 17
Kuva 3. Tuotantolinja-layout (Haverila et al. 2005, 476). 18
Kuva 4. Solu-layout (Haverila et al. 2005, 478). 19
Kuva 5. Nettokapasiteetin laskenta (mukaillen Haverila et al. 2005, 401). 21
Kuva 6. Balanced Scorecard mallipohja (Kaplan & Norton 1992, 72). 28
Kuva 7. Lämpökäsittelylinjaston A layout. 41
Kuva 8. Lämpökäsittelylinjaston B layout. 42
Kuva 9. Layoutin kehitysehdotus. 67

TAULUKKOLUETTELO

Taulukko 1. Lautan reunaehdot lämpökäsittelylinjastolla A. 40
Taulukko 2. Lautan reunaehdot lämpökäsittelylinjastolla B. 41
Taulukko 3. Tuotemixit vuosina 2019–2021 lämpökäsittelylinjastolla A. 44
Taulukko 4. Tuotemixit vuosina 2019–2021 lämpökäsittelylinjastolla B. 45
Taulukko 5. Lauttamäärien laskenta. 46
Taulukko 6. Vuosien 2019–2021 toteutuneet lauttamäärät ja teoreettiset lauttamäärät lämpökäsittelylinjastolla A. 47
Taulukko 7. Vuosien 2019–2021 toteutuneet lauttamäärät ja teoreettiset lauttamäärät lämpökäsittelylinjastolla B. 47
Taulukko 8. Teoreettisen läpimenoajan laskentaa. 49
Taulukko 9. Vuosittaiset toteutuneet läpimenoajat ja teoreettiset läpimenoajat lämpökäsittelylinjastolla A. 50
Taulukko 10. Vuosittaiset toteutuneet läpimenoajat ja teoreettiset läpimenoajat lämpökäsittelylinjastolla B. 50
Taulukko 11. Siirtopöydästä aiheutuva hukka-aika vuosien 2019, 2020 ja 2021 teoreettisessa tuotannossa lämpökäsittelylinjastolla A. 51
Taulukko 12. Siirtopöydästä aiheutuva hukka-aika vuosien 2019, 2020 ja 2021 teoreettisessa tuotannossa lämpökäsittelylinjastolla B. 52
Taulukko 13. Vuosittaiset tahtiajat. 53
Taulukko 14. Tahtiaika-alueiden prosentuaalinen jakauma vuosittain. 53
Taulukko 15. Työntekijöiden tehokkuus tn/h-mittarilla lämpökäsittelylinjastolla B vuonna 2019. 55
Taulukko 16. Työntekijöiden tehokkuus tn/h-mittarilla lämpökäsittelylinjastolla B vuonna 2020. 56
Taulukko 17. Työntekijöiden tehokkuus tn/h-mittarilla lämpökäsittelylinjastolla B vuonna 2021. 57

Taulukko 18. Vuosittaiset läpimenot keskimäärin yhdellä ja kahdella henkilöllä lämpökäsittelylinjastolla B. 58
Taulukko 19. Päästölämpötilan vaikutus päästöuunin maksimikuormitukseen lämpökäsittelylinjastolla B. 61
Taulukko 20. Vuosittaiset lauttamäärät päästölämpötila huomioon ottaen lämpökäsittelylinjastolla B. 61
Taulukko 21. Eri parannuksien vaikutukset läpimenoon lämpökäsittelylinjastolla A. 64
Taulukko 22. Eri parannuksien vaikutus läpimenoon lämpökäsittelylinjastolla B. 64
Taulukko 23. Lämpökäsittelylinjaston B läpimenot ottaen huomioon päästölämpötilat tai nostaen maksimikuormituksen 550 kg/m. 65

1 JOHDANTO

Diplomityössä tehtiin nykytila-analyysi kohdeyrityksen lämpökäsittelylinjastoille ja tuloksista tulleiden tietojen perusteella ideoitiin kehitysehdotuksia. Tässä kappaleessa käydään lävitse työn taustaa, työn tavoitteita ja rajauksia, tutkimuksen toteuttamista ja työn rakennetta. Kappaleen tarkoituksena on esitellä lukijalle työn yleispiirteitä.

1.1 Työn tausta

Kohdeyritys kierrättää jätemetallia valmistamalla siitä uutta terästä. Tuotettavia teräslaatuja on useita. Yritys myy eri jalostusasteella olevia tuotteitaan asiakkailleen. Tämä diplomityö sijoittuu yrityksen tuotanto-osastolle, jonka tuotantolinjan alussa on kaksi teräksen lämpökäsittelylinjastoa. Lämpökäsittelylinjastossa A on kolme karkaisu-uunia ja neljä päästöuunia. Lämpökäsittelylinjastossa B on neljä karkaisu-uunia ja viisi päästöuunia. Lämpökäsittelylinjastoilla työskentelee jokaisessa vuorossa kolme henkilöä. Linjastot ovat toiminnassa jatkuvasti. Vuorossa olevat kolme työntekijää jakautuvat siten, että kummallakin lämpökäsittelylinjastolla on yksi operaattori ja vuoron kolmas henkilö on lämpökäsittelylinjaston A apumies. Vuorossa olevat kolme henkilöä kierrättävät keskenään työtehtäviä eli jokainen työntekijä tekee jokaista työtehtävää.

Lämpökäsittelemällä saadaan teräkseen asiakkaiden haluamia ominaisuuksia. Lämpökäsittelyn jälkeen voidaan tuotteet lastata suoraan asiakkaalle meneviksi tai koneistaa asiakkaan haluamalla tavalla. Yritys on huomannut, että lämpökäsittelylinjastot toimivat pullonkaulana tuotantolinjalla. Kohdeyrityksen henkilöstöllä oli valmiina omia arvauksiaan, missä lämpökäsittelylinjastojen pullonkaulat olivat, mutta perusteellisempaa tutkimusta aiheeseen ei ole tehty. Kyseisillä tuotantolinjoilla valmistetaan yrityksen kaikista jalostetuimpia tuotteita. Nämä tuotteet ovat yritykselle todella kannattavia, joten pienikin parannus lämpökäsittelylinjaston toiminnassa olisi tervetullut.

Lämpökäsittelylinjastojen tuottavuus oli kohdeyrityksen mielestä heikentynyt jo jonkin aikaa. Lisäksi tilanne oli huonontunut, koska lämpökäsittelylinjastot oli jo alun perin ollut suuremman tuotantolinjan pullonkaulana. Alkutilanteessa lämpökäsittelylinjastoilla ei ollut käytännössä mitään selkeää ohjeistusta vaan tieto oli ripoteltuna sinne tänne ja työntekijät olivat soveltaneet näitä ohjeistuksia tai itseoppineet työn sisältöä. Olemassa olevat ohjeistukset löytyivät paperikopioista tai tietokoneelta. Työ ei ollut standardoitua vaan tapoja oli yhtä monta kuin tekijää.

1.2 Tavoitteet ja rajaukset

Työn tavoitteena oli luoda lämpökäsittelylinjastojen nykytila-analyysi. Nykytila-analyysistä yritys saisi käyttöönsä kuvauksen lämpökäsittelylinjastojen toiminnasta ja sen tuottavuuteen vaikuttavista tekijöistä eli mitkä resurssilisäykset tai työtapojen muutokset toisivat parannuksia lämpökäsittelylinjastojen toimintaan. Näiden kehitysideoiden laatimisessa käytettiin apuna työssä läpikäytyä teoriatietoa. Tietoa saatiin myös tuotannon datasta saatujen laskelmien avulla ja työntekijöiden haastatteluista.

Tutkimuksessa pyrittiin vastaamaan seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

1. Mitkä tekijät vaikuttavat lämpökäsittelylinjastojen tuottavuuteen?
2. Miten lämpökäsittelylinjastoja voidaan tehostaa?

Tutkimus on rajattu koskemaan kohdeyrityksen lämpökäsittelylinjastoja. Työssä havaitut tuotannon ongelmat ovat varmasti pitkälti samoja kummallakin lämpökäsittelylinjastolla, koska samat työntekijät toimivat kummallakin lämpökäsittelylinjastolla. Tutkimuksen ulkopuolelle jää koko muu tuotantolinjasto.

Tutkimus keskittyy lämpökäsittelylinjastojen operatiiviseen toimintaan. Teräksen lämpökäsittelyyn liittyvät metallurgiset aihealueet jäävät tutkimuksen ulkopuolelle. Metallurgisten

osa-alueiden ulosjäännin seurauksena työssä ei oteta kantaa laatuun, koska laatu on suoraan yhteydessä metallurgiseen prosessiin. Tuotannonsuunnitteluun ei suoranaisesti puututa, mutta valmistuksessa käytettäviä parametreja käytetään hyödyksi ja tarkastellaan. Kohdeyritys kokee, että heidän tuotannonsuunnittelunsa on pääpiirteittäin niin hyvällä mallilla, että sen kehittämiseen ei kannata käyttää aikaa ja resursseja.

1.3 Tutkimuksen toteutus

Tutkimuksessa käydään läpi ensimmäiseksi yleisesti lämpökäsittelylinjastojen toimintaa ja tutustutaan siihen. Tätä varten paneudutaan lämpökäsittelylinjastojen toteutuneen tuotannon dataan ja käydään paikan päällä tuotannossa seuraamassa visuaalisesti tuotannon toimintaa. Tällä tavoin saadaan luotua kokonaiskuvaa tutkimusaiheesta.

Toteutuneen tuotannon dataa analysoimalla ja mittaamalla sitä erilaisilla suorituskykymittareilla saadaan käsitys tuotannon tämänhetkisestä suorituskyvystä. Numeraalinen tarkastelu voi heti nostaa esille joitain osa-alueita, joiden toimintaa on hyvä tarkastella lähemmin. Tuotantoon menemisellä ja sen visuaalisella havainnoinnilla voidaan huomata sellaisia työn tekoon liittyviä lainalaisuuksia, jotka eivät näy numeraalisessa datassa.

Tutkimuksessa perehdytään ensiksi toteutuneeseen tuotantodataan, jonka jälkeen tietoa etsitään haastattelemalla henkilöstöä. Haastattelutuloksia peilataan tuotantodataan ja pohditaan, menevätkö ne yhteen vai onko tuotantodatassa jotain sellaista, mitä ei numeraalisesti voida ottaa huomioon lämpökäsittelylinjastojen toiminnassa.

1.4 Raportin rakenne

Raportin ensimmäinen kappale on johdanto. Johdannossa kuvataan sekä työn taustoja, sen tavoitteita ja rajauksia että tutkimuksen toteutusta. Toisessa, kolmannessa ja neljännessä kappaleessa läpikäydään tuotantoon ja tuotantolinjastoon liittyvää kirjallisuutta. Kirjallisuus

luo teoreettisen viitekehyksen, jonka avulla voidaan lämpökäsittelylinjastojen nykytilaa ymmärtää ja arvioida. Viides kappale sisältää tutkimuksessa käytettyjä tutkimusmenetelmiä, tutkimusstrategiaa ja niiden teoriaa.

Kuudennessa kappaleessa esitellään lämpökäsittelylinjastojen operatiivista toimintaa, layoutia ja henkilöstön työnkuvaa. Seitsemännessä kappaleessa läpikäydään toteutuneen tuotannon dataa suorituskykymittareiden avulla ja peilataan niitä haastattelututkimuksessa saatuihin näkemyksiin. Kahdeksannessa kappaleessa esitetään kehitysehdotuksia havaittuihin ongelmiin ja kehityskohteisiin. Yhdeksännessä kappaleessa tehdään koko tutkimuksesta yhteenveto ja esitellään jatkokehityskohde.

2 TUOTANNONOHJAUS JA TUOTANTOPROSESSIT

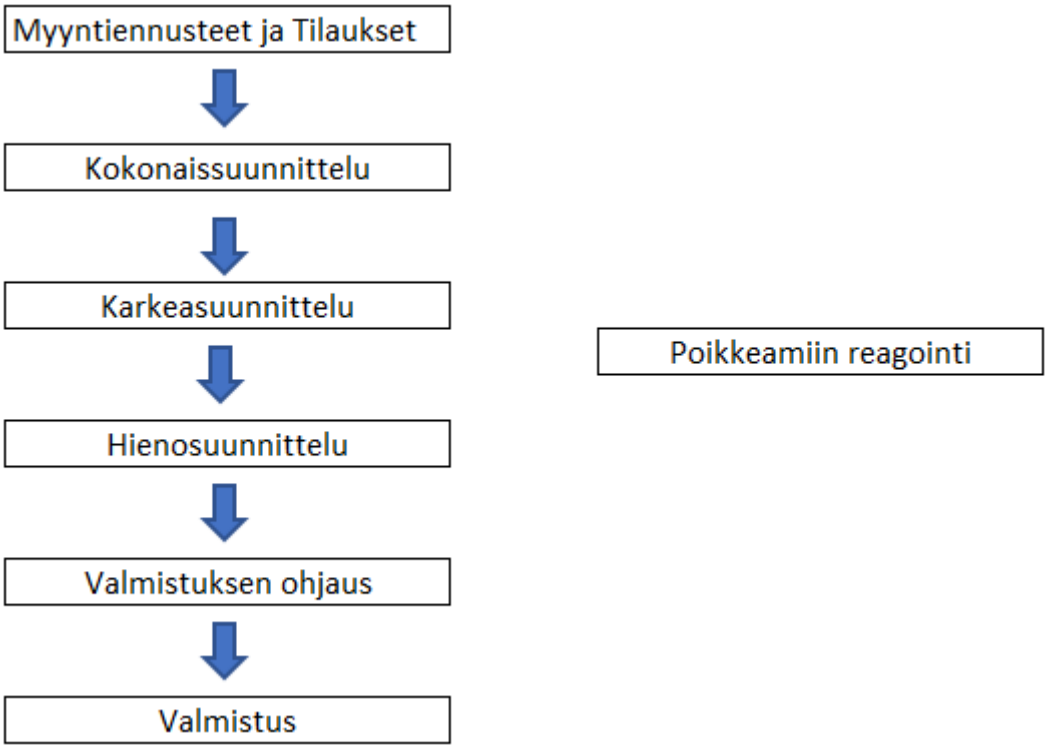
Tässä kappaleessa käydään lävitse tuotannonohjauksen ja tuotantoprosessien teoriaa. Teoriassa keskitytään tuotannonohjausprosessin eri tasoihin, layoutin eri vaihtoehtoihin, tuotantoprosessien pullonkauloihin ja kapasiteettiin. Tuotannonohjausprosessien ymmärtäminen auttaa hahmottamaan sitä, millaisia päätöksiä tehdään milläkin organisaatiotasolla. Työssä tarkastellaan tuotannonohjausta pääsääntöisesti kokonais- ja karkeasuunnittelun näkökulmasta. Työn tutkimusvaiheessa erilaisten layouttien tiedostamisella voidaan mahdollisesti haastaa lämpökäsittelylinjastojen nykyiset layoutit tai päätyä siihen, että ne pysyvät ennallaan. Tuotantoprosesseissa on aina jossain kohtaa prosessia pullonkaula, joka määrittelee tuotantoprosessin tehokkuuden. Pullonkaulojen teoreettinen viitekehys auttaa pullonkaulojen havaitsemisessa ja antaa kehitysideoita, miten pullonkaulojen negatiivista vaikutusta voidaan vähentää tuotannossa. Kapasiteetin teoria on tärkeä, koska sen avulla voidaan laskea ja määritellä teoreettisia nettokapasiteetteja, joiden arvoja voidaan verrata toteutuneen tuotannon dataan.

2.1 Tuotannonohjausprosessi

Tuotantoyritykset jalostavat tuotannossaan raaka-aineita asiakkaitaan hyödyttäväksi lopputuotteiksi (Martinsuo & Mäkinen & Suomala & Lyjy-Yrjänäinen 2016, 114). Tuotannonohjauksella helpotetaan yrityksen tuotantoprosessien johtamista. Tuotannonohjauksen tavoitteena on yleisesti nostaa tuotannon tuottavuutta sekä vähentää kustannuksia ja tätä kautta parantaa yrityksen kannattavuutta (Uusi-Rauva & Haverila & Kouri & Miettinen 2003, 346).

Tuotannonohjauksen suunnittelu tehdään hierarkkisesti eri organisaatiotasoille. Ylimmällä eli yrityksen johdon tasolla ei tehdä yksityiskohtaisia suunnitelmia vaan huolehditaan resurssien riittävyydestä ja toimintojen koordinoinnista. Mitä alemmas organisaatiossa mennään sitä tarkemmiksi tuotantosuunnitelmat menevät. (Uusi-Rauva et al. 2003, 353; Kletti 2007, 8–9) Ohjauksen hajauttamisella pystytään luomaan organisaation sisälle useita itse-

näisiä ohjausryhmiä, joilla kaikilla on selkeä vastuualue. Tämä motivoi ja selkeyttää työntekoa. (Uusi-Rauva et al. 2003, 355) Kuvassa 1. on esitetty hierarkkisen tuotantoprosessin eri vaiheista.



Kuva 1. Tuotantoprosessin eri vaiheet (mukaillen Uusi-Rauva et al. 2003, 353).

Jokaisen vaiheen välissä tapahtuu tuotannon uudelleensuunnittelua johtuen useasti poikkeamiin reagoinnista eli esimerkiksi laiteviasta tai muista resurssimuutoksista, jotka vaikuttavat saatavilla olevaan kapasiteettiin (Uusi-Rauva 2003, 353). Tästä syystä tuotantoa ei edes yritetä suunnitella yritysjohdossa liian yksityiskohtaisesti, koska jos joku on varmaa niin se, että poikkeamia tulee.

2.1.1 Kokonaissuunnittelu

Uusi-Rauva et al. (2003) määritelmän mukaan kokonaissuunnittelulla tarkoitetaan ylimmän tason suunnittelua, jossa tehdään tuotannon kokonaisvolyymiä ja taloutta koskevat suunnitelmat. Kokonaissuunnittelussa yrityksen johto tarkastelee tuotantovolyymin riittävyyttä verrattuna tilauskantaan ja sen hetkisiin varastoihin. Tuotantotilauksille määritellään karkeasti aloitusaika ja kuormitetaan kapasiteettiin. (Kletti 2007, 8) Keskeinen lähtökohta kokonaissuunnittelussa on menekkiennusteen laatiminen ja menekinvaihtelujen hallinta. Ennusteen laatimisen haastavuuteen vaikuttaa toimiala ja tuotteet mitä yritys myy. (Uusi-Rauva et al. 2003, 357–358) Esimerkiksi joulukinkkujen myyjät tietävät, että heidän myyntisesonkinsa on joulun alla. Tällöin heidän kannattaa valmistautua jo pitemmän aikaa tähän kysyntäpiikkiin kasvattamalla varastojaan, jotta tuotteita riittää kaikille asiakkaille. Menekinvaihtelua voidaan siis hallita pitämällä suurempia varastoja, muuttamalla kapasiteettia tarvittaessa, pidentämällä toimitusaikoja tai menekkiin vaikuttamalla eli esimerkiksi hinnoittelemalla tuote uusiksi (Uusi-Rauva et al. 2003, 358).

2.1.2 Karkeasuunnittelu

Karkeasuunnittelu on kokonaissuunnittelua yksityiskohtaisempaa suunnittelua. Uusi-Rauva et al. (2003) mukaan karkeasuunnittelun tehtäviä ovat:

1. Resurssien käytön yleissuunnittelu.
2. Toimituskyvyn määrittely.

Karkeasuunnittelussa määritellään yleensä muutamaksi viikoksi yleissuunnitelma resurssien käytöstä. Näihin kuuluvat henkilö-, kone- ja laitekapasiteetti. Tässä vaiheessa voidaan tehdä havaintoja riittääkö nykyiset resurssit suunniteltuihin vai onko resurssien lisäämiselle tarvetta. (Uusi-Rauva et al. 2003, 359–360; Martinsuo et al. 2016, 121) Vakiotuotteiden kohdalla materiaali- ja kapasiteettitarpeet tiedetään yleensä hyvin, mutta tilaustuotteiden kohdalla tarpeet ovat vaikeammin määriteltävissä (Uusi-Rauva et al. 2003, 359).

2.1.3 Hienosuunnittelu

Hienosuunnittelussa muodostetaan tuotannon yksityiskohtainen suunnittelu eli tuotantosuunnitelma. Hienosuunnittelu tehdään yleensä maksimissaan yhden työviikon ajaksi, joissain tapauksissa vain yhdelle työpäivälle. Hienosuunnittelun lähtökohtana pidetään karkeasuunnittelua. Hienosuunnittelussa määritellään tuotantoerät, suunnitellaan eri tuotantoerien työvaiheiden ajoitus ja resurssien käyttö. Suunnitelmien laadinnassa on tiedettävä nykyisten resurssien kapasiteetti. (Uusi-Rauva et al. 2003, 360–361; Martinsuo et al. 2016, 124) Ennen hienosuunnittelua ei olla voitu reagoida esimerkiksi laitevikoihin tai sairauspoissaoloihin, jotka tulevat yllättäen. Hienosuunnitteluvaiheessa nämä mahdolliset poikkeavat tilanteet eli muutokset ja häiriöt ovat tiedossa ja ne huomioon ottaen voidaan tehdä uusi tuotantosuunnitelma.

Hienosuunnittelulla pyritään luomaan työjärjestys, joka maksimoi tuottavuutta ja toimitusvarmuutta. Tuotannossa on pyrittävä minimoimaan asetusaikojen ja -kustannuksien muodostumista tuotantosuunnitelmalla. Tämä tapahtuu esimerkiksi nostamalla tuotantoerien suuruutta tai yhdistelemällä usean eri tilauksen tuotteet tehtäväksi putkeen. Yhdistelemällä tilauksia on vaarana, että toimitusajat kasvavat toisien tuotteiden kohdalla liian pitkäksi. (Uusi-Rauva et al. 2003, 361; Martinsuo et al. 2016, 124) Tällöin puhutaan osaoptimoinnista, joka voi olla huono ratkaisu koko tuotannon näkökulmasta (Uusi-Rauva et al. 2003, 363).

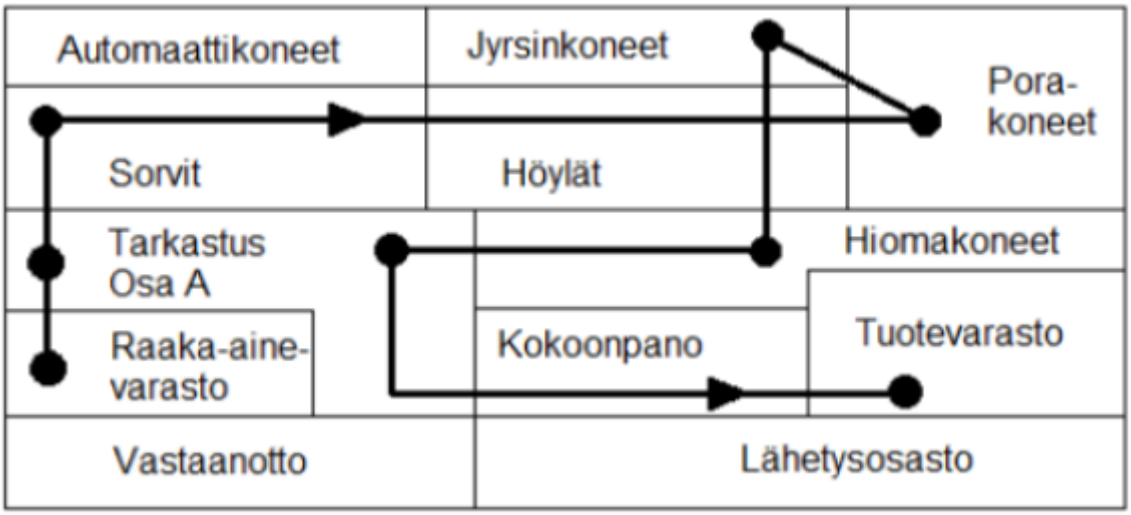
2.2 Layout

Layout tarkoittaa tuotantojärjestelmän fyysisten osien, kuten laitteiden, koneiden, varastopaikkojen ja kulkureittien sijoittelua tehtaassa (Uusi-Rauva et al. 2003, 407; Martinsuo et al. 2016, 130; Drira & Pierreval & Hajri-Gabouj 2007, 255–256). Layoutit voidaan jakaa kolmeen päätyyppiin näiden tuotantojärjestelmän osien sijoittamistyylin perusteella. Nämä päätyypit ovat tuotantolinjalayout, funktionaalinen layout ja solulayout (Uusi-Rauva et al. 2003, 407; Martinsuo et al. 2016; 130). Layout tyypin valinnassa on otettava huomioon käytettävissä olevan tilan ominaispiirteet, tuotevalikoiman laajuus ja valmistusmäärät. Tuotannossa voidaan myös yhdistellä yhden tuotantolinjaston sisällä useita eri layouttyyppejä. (Martinsuo

et al. 2016, 130) Hyvin suunniteltu tuotantolayout tehostaa suorituskykyä, selkeyttää tuotantoa ja luo kustannussäästöjä esimerkiksi vähentyneen materiaalin käsittelyn vuoksi (Xiao, Xie, Kulturel-Konak & Konak 2017, 187). Tässä luvussa läpikäydään nämä kolme layoutin päätyyppiä.

2.2.1 Funktionaalinen layout

Funktionaalisessa layoutissa työpaikat ja koneet on ryhmitelty työtehtävien samankaltaisuuden mukaan. Esimerkiksi kaikki höylät ovat höyläämössä ja kaikki hitsauspaikat ovat hitsaamossa. (Uusi-Rauva et al. 2003, 408; Martinsuo et al. 2016, 130) Funktionaalisen tuotantolayoutin etuna on tuotannon yleinen joustavuus ja pieni häiriöalttius. Häiriön sattuessa voi muu tuotantolinja toimia normaalisti. Tuotteiden valmistusmäärät voivat vaihdella suuresti. Tuotevalikoima voi olla laaja ja useasti vuodessa vaihtuva. Kuvassa 2. on esitelty funktionaalinen layout.



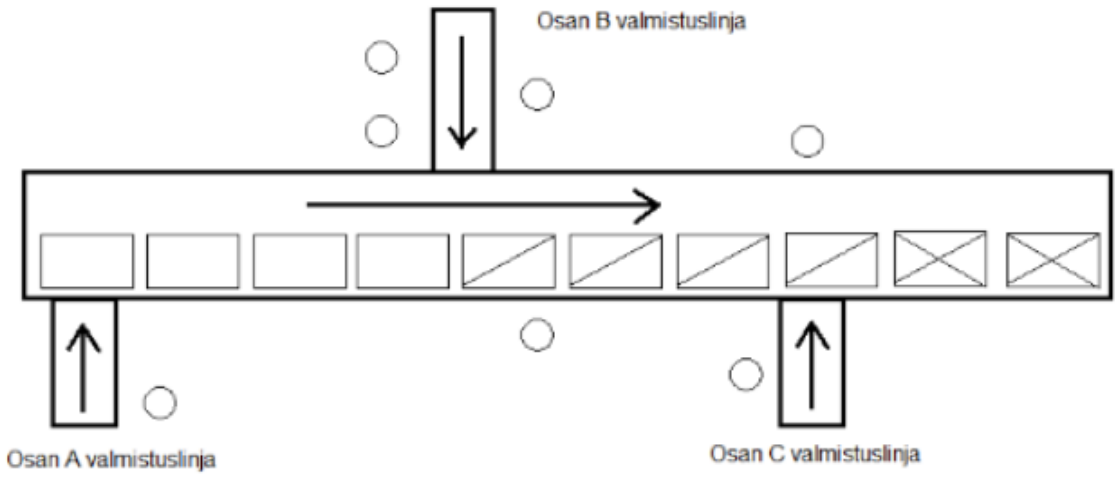
Kuva 2. Funktionaalinen layout (Haverila & Uusi-Rauva & Kouri & Miettinen 2005, 477).

Kuten kuvassa näkyy, voi funktionaalisessa layoutissa olla paljon ja pitkiä matkoja materiaalien siirtoja. Yksi suuri haaste onkin päästä näistä siirroista eroon hyvän tuotannonohjauksen avulla. Funktionaalisessa layoutissa muodostaa myös helposti välivarastoja tuotantoon,

jotka sitovat pääomaa ja heikentävät materiaalin virtausta tuotannon lävitse. (Martinsuo et al. 2016, 130)

2.2.2 Tuotantolinja-layout

Tuotantolinja-layoutissa koneet ja laitteet järjestetään valmistettavan tuotteen työnkulun mukaiseen järjestykseen (Uusi-Rauva et al. 2003, 407; Martinsuo et al. 2016, 133). Tuotannon on oltava suuri volyymista ja korkean kuormitusasteen omaavaa, jotta tuotantolinja kannattaa rakentaa. Tuotantolinja-layoutilla tuotteiden yksikköhinta saadaan poljettua alas, mutta linjaston alkuinvestoinnit voivat olla kalliita. Kapasiteetin lisääminen on haastavaa ja kallista rakentamisen jälkeen, joten se on määriteltävä halutuksi jo rakennusvaiheessa. On siis varmistettava, että suunniteltuja tuotteita tullaan tekemään pitkäaikaisesti. (Uusi-Rauva et al. 2003, 407–408; Martinsuo et al. 2016, 133) Kuvassa 3. on esitelty tuotantolinja-layout.

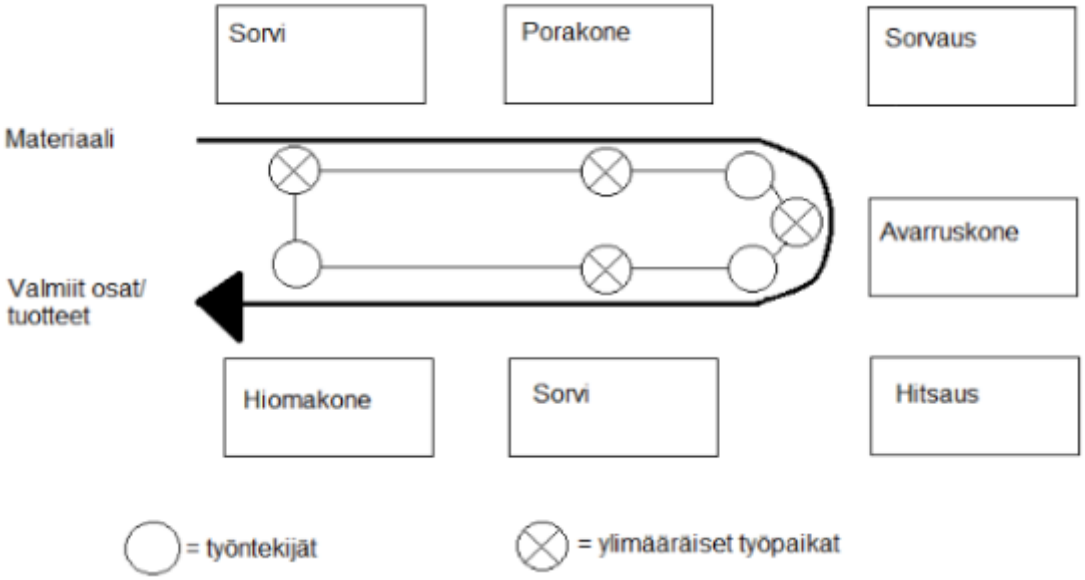


Kuva 3. Tuotantolinja-layout (Haverila et al. 2005, 476).

Tuotantolinja-layout on herkkä häiriöille. Häiriön sattuessa voi olla, että koko linjasto joudutaan seisauttamaan häiriön korjaamiseksi. (Uusi-Rauva et al. 2003, 407; Martinsuo et al. 2016, 133) Tuotantolinja-layoutin asetusten muuttaminen toisenlaisen tuotteen valmistukseen voi olla kallista ja aikaa vievää.

2.2.3 Solu-layout

Solu-layout on tuotantolinja-layoutin ja funktionaalisen layoutin yhdistelmä, jossa koneet ja työpisteet muodostavat itsenäisen tuotantosolun. Työpisteessä voidaan valmistaa jokin komponentti tai työvaihe kokonaan alusta loppuun itsenäisesti. (Uusi-Rauva et al. 2003, 409; Martinsuo et al. 2016, 136) Kuvassa 4. on esitetty solu-layout.



Kuva 4. Solu-layout (Haverila et al. 2005, 478).

Solu-layoutissa päästään lyhyempiin läpimenoaikoihin kuin funktionaalisessa layoutissa. Se ei kuitenkaan pysty kilpailemaan tuotantolinja-layoutin yksikköhinnan kanssa. Asetusajat ovat lyhyet siirryttäessä oman tuoteperheen sisällä. Solutuotannolla on huomattu olevan vaikutusta työntekijöiden motivaatioon ja tuottavuuteen positiivisessa mielessä. Solu-layoutin heikkouksia ovat valmistuksen ohjaus sekä työpisteiden ja koneiden kuormitusasteet. (Uusi-Rauva et al. 2003, 409; Martinsuo et al. 2016, 136) Solun sisällä kuormitusasteet voivat vaihdella huomattavasti, joka aiheuttaa hukka-aikaa seuraavaan työpisteeseen ja pitkittää läpimenoaikaa.

2.3 Pullonkaulat

Pullonkauloja on tutkittu vuosikymmeniä tuotannon tehostamisen toivossa. Tuotannon pullonkaulat tulevat esiin silloin, kun tuotannon kapasiteettia nostetaan tarpeeksi ylös. Pullonkauloja esiintyy muuallakin, kun tuotannossa. Käytännössä yrityksen jokaisessa toiminnassa on pullonkaula. (Hinckeldeyn & Dekkers & Altfeld & Kreutzfeldt 2014, 415) Pullonkaulojen työvaiheiden huomioonottaminen on erityisen tärkeätä tuotannonsuunnittelussa (Uusi-Rauva et al. 2003, 361). Hienosuunnittelussa kannattaa tuotannon pullonkaulojen kuormitusaste nostaa mahdollisimman korkeaksi (Martinsuo 2016, 124). Tällöin ei käy niin, että pullonkaulavaihe joutuu odottamaan materiaalia sitä edeltävistä työvaiheista. Vaikka yleensä tuotannon välivarastoja halutaan minimoida, on suotavaa, että ennen pullonkaulatyövaihetta on tuotannossa välivarasto. (Uusi-Rauva et al. 2003, 361) Tuotannon pullonkauloja etsiessä onkin hyvä keskittyä siihen minkä työvaiheen eteen kerääntyy välivarastoa. Välivarastojen ilmaantuminen tuotantovaiheiden väliin on yksi merkki pullonkaulasta (Betterton & Silver 2012, 4161).

2.4 Kapasiteetti

Haverilan et al. (2005, 399) mukaan ”kapasiteetti on tuotantokykyä kuvaava mittari, joka ilmoittaa tuotantoyksikön enimmäissuorituskyvyn aikayksikössä.” Kapasiteettiyksiköt vaihtelevat eri tuotantojen välillä riippuen siitä mikä kuvastaa parhaiten tuotannon onnistumista. Esimerkiksi paperitehtaissa kapasiteettiyksikkö tonnia/päivä on hyvä yksikkö, kun taas autotehtaassa se ei kertoisi mitään vaan parempi kapasiteettiyksikkö olisi valmista autoa/päivä. Kapasiteetin perusteella karkeasuunnittelussa tehdään alustavia kuormituksia koko tehtaan tuotannolle. Teoreettista kapasiteettiä on kuitenkin mahdotonta saavuttaa täydellisesti esimerkiksi häiriöiden, korjaustöiden tai viallisten tuotteiden valmistuksen takia. (Haverila et al. 2005, 399–400; Martinsuo et al. 2016, 303) Kuvassa 5. on esitetty nettokapasiteetin laskenta.

Teoreettinen maksimikapasiteetti 100%

-valmistusprosessien häiriöt %
-materiaalipuutteet %
-konerikot %
-huollot %
-työnjärjestelyn puutteet
-viallisten tuotteiden valmistus %
-sairaslomat ja poissaolot %

Nettokapasiteetti, 50-90 % maksimikapasiteetista

Kuva 5. Nettokapasiteetin laskenta (mukaillen Haverila et al. 2005, 401).

Verratessa teoreettisia tuotantolukuja toteutuneisiin tuotantolukuihin onkin otettava nämä asiat huomioon ja käytettävä omaa harkintaa siitä, miten hyvin tuotannossa on onnistuttu. Tuotannon laaja-alainen tunteminen auttaa tämän arvioinnissa. Nettokapasiteetin seuranta onnistuu kuitenkin parhaiten erilaisten suorituskykymittareiden käytön avulla. Tällöin saadaan tunnuslukuja, joita voidaan verrata tuotantohistorian tunnuslukuihin.

3 SUORITUSKYVYN MITTAAMINEN

Nykypäivän yritysmaailmassa kilpailu on kovaa ja globaalia. Takanapäin ovat ne ajat, jolloin vain hinta ja laatu olivat määrittäviä tekijöitä kuluttajalle hänen valittaessaan eri valmistajien väliltä (Bozzone 2002, 8). Yrityksien on pyrittävä jatkuvasti kehittämään prosessejaan pyrkimällä kustannustehokkaampaan toimintaan ja palveluiden parantamiseen asiakkaan näkökulmasta. Suorituskyvyn mittaaminen on tullut jäädäkseen yritysmaailmaan. Sähköiset tietojärjestelmät ovat mahdollistaneet sen, että yritykset keräävät dataa eri toiminnoistaan niin paljon kuin haluavat. Ongelmaksi muodostuu tässä tapauksessa datan suuri määrä tai meidän ihmisten vajavaisuus, koska emme pysty käsittelemään tehokkaasti niin suuria määriä dataa kuin tietojärjestelmät. Tällöin meidän on mietittävä, mitä dataa kannattaa seurata ja mitata. Tähän ei ole yksiselitteistä vastausta. Yrityksen on itse pohdittava ja päätettävä, mitä mittareita sen kannattaa seurata, jotta se saa tarvittavan kokonaiskuvan toiminnastaan.

Tässä kappaleessa läpikäydään suorituskyvyn teoriaa. Suorituskyvyn määritelmä ja lyhyt historia antaa yleiskuvan siitä, mitä suorituskyvyllä tarkoitetaan. Tätä tietoa tarvitaan, jotta saadaan yleiskäsitys siitä, miten lähestyä lämpökäsittelylinjastojen nykytilanteen suorituskykyä ja sen mittaamista. Suorituskyvyn mittaamisen teorian avulla ymmärretään, että suorituskyvyn mittaaminen ja organisaation toiminnan johtaminen menevät käsikädessä. Näistä on hyötyä kehitysideoita luodessa. Tuotannon suorituskyvyn tärkeimpien mittareiden tunteminen auttaa nykytilanteen analysoinnissa. Suorituskyvyn mittaristojen teorian avulla ymmärretään, että yksittäiset suorituskyvyn mittarit ovat osa isompaa kokonaisuutta eli suorituskykymittaristoa.

3.1 Suorituskyvyn määritelmä

Yrityksen suorituskyky voidaan määritellä sen kyvyksi saada aikaan tuotoksia asetetuilla ulottuvuuksilla suhteessa asetettuihin tavoitteisiin. (Rantanen & Holtari 1999, 3; Lönnqvist

& Kujansivu & Antikainen 2006, 14; Laitinen 2002, 66) Näitä eri ulottuvuuksia ovat esimerkiksi voiton tuottaminen yrityksen osakkeenomistajille ja muiden sidosryhmien tarpeiden täyttäminen (Rantanen & Holtari 1999, 3).

Suorituskyvyn osa-alueet on perinteisesti nähty pelkästään taloudellisina ulottuvuuksina (Rantanen & Holtari 1999, 8). 1900-luvun alkupuolella DuPont ja General Motors kehittivät ensimmäisiä taloudellisen kontrollin välineitä esimerkiksi budjetoinnin. Taloudelliset mittarit voivat kuitenkin kertoa vain vähän koko yrityksen toiminnasta (Khakbaz & Hajiheydari 2015, 1049). Lisäksi ne kertovat yleensä pidemmän aikavälin tehokkuudesta ja näin ollen eivät ole aina tehokkaita nykyhetken tai tulevaisuuden näkymien seuraamiseen (Isoiraite 2008, 18). Niiden rinnalla on kuitenkin oltava myös ei-taloudellisia mittareita (Laitinen 1998, 47). Vasta 1980-luvulla alettiin huomata, että pelkästään taloudellisten mittareiden seuraaminen ei tuottanut tarvittavaa informaatiota. (Neely & Bourne 2000, 1) Pelkästään taloudellisia mittareita käyttämällä voi kokonaiskuva näyttää hyvältä, mutta ei-taloudellisilla mittareilla voidaan nähdä pintaa syvemmälle (Kaplan 1984, 2). Toisinaan hyvät taloudelliset tunnusluvut voivat aiheutua esimerkiksi tuotannon huoltamisen laiminlyönnistä. Kokonaisvaltaisella suorituskyvyn mittaamisella on siis suhteellisen lyhyt historia yritysmaailmassa ja kehittämisen alkusysäys syntyi siitä, että ymmärrettiin taloudellisten mittareiden sopimattomuus tuotannollisten aspektien arvioimiseen.

Rantanen ja Holtari (1999, 8–9) jakavat suorituskyvyn seitsemään osa-alueeseen:

1. Tuloksellisuus. Kuvastaa sitä, miten hyvin yritys on saavuttanut reaali- ja rahaprosesseille asetut tavoitteet.
2. Tehokkuus. Kuvaa suunnitellun panoskäytön ja toteutuneen panoskäytön suhdetta.
3. Laatu. Kertoo systeemin kyvystä täyttää asiakkaan tarpeet ja odotukset.
4. Kannattavuus. Ilmoittaa taloudellisten resurssien käytön tehokkuutta eli yrityksen kykyä tuottaa voittoa.
5. Tuottavuus. Kertoo, miten hyvin tuotantopanosteet muutetaan tuotanto tuloksiksi.

6. Työolosuhteiden laatu. Ilmaisee työntekijöiden tyytyväisyyttä ja motivaatiota yrityksessä.
7. Innovatiivisuus. Kuvaa yrityksen kykyä tuottaa ja ideoida uudistuksia.

Eri organisaatiotasoilla mitataan eri suorituskyvyn osa-alueita. Yritystasolla esimerkiksi kannattavuuden mittaamiselle voi olla edellytykset, mutta yksittäisen tuotantokoneen kohdalla ei. Toisaalta laadun mittaaminen ei ole yritystasolla järkevää, mutta yksittäisten tuotteiden kohdalla on. (Rantanen & Holtari 1999, 9)

Suorituskyky voidaan vielä jakaa kahteen pääalueeseen eli sisäiseen ja ulkoiseen suorituskykyyn. Sisäiseen suorituskykyyn liittyy esimerkiksi tuotannontekijöiden suorituskyky ja ulkoiseen suorituskykyyn esimerkiksi kilpailukyky. Se mitkä suorituskyvyn osa-alueet menevät sisäisen tai ulkoisen suorituskyvyn alle riippuu pitkälti näkökulmasta. (Rantanen & Holtari 1999, 11–12)

3.2 Suorituskyvyn mittaaminen

Raon (2016, 1) mukaan suorituskyvyn johtaminen tarkoittaa sitä, että jokainen organisaation työntekijä pyrkii siihen, että yritys kehittyisi jatkuvasti ja saavuttaisi lyhyen sekä pitkän aikavälin tavoitteita. Suorituskyvyn mittaaminen ja toiminnan ohjaaminen ovat erottamaton parivaljakko (Uusi-Rauva 1994, 3). Yrityksen tuloksellinen johtaminen vaatii suorituskyvyn mittaamista. Varsinkin globaalissa kilpailussa menestyäkseen on kyettävä seuraamaan suorituskykyä ja erityisesti sen taustalla olevien tekijöiden kehittymistä uusin tavoin. Ei voida tukeutua pelkästään johtajan kokemukseen ja näkemykseen tuotantoprosessin onnistumisesta. (Ukko & Karhu & Pekkola & Rantanen & Tenhunen 2007, 1–2) Pienessä yrityksessä johtajan kokemusperäinen suorituskyvyn arviointi voi olla vielä tarpeeksi tarkkaa ja analyyttistä, mutta jossakin vaiheessa yrityksestä kasvaa aina liian iso tällaiseen toimintamalliin.

Suorituskyvyn mittaamisella ja mittaustulosten analysoinnilla on tärkeä osa organisaation johtamisessa. Suorituskyvyn mittaamisen tärkein tarkoitus onkin tukea yrityksen ylintä johtoa päätöksenteossa. (Rantanen & Holtari 1999, 17) Se on myös tärkeä henkilöstöjohtamisen ulottuvuus, koska mittaristot määrittelevät mihin työntekijät kiinnittävät huomioita työssään (Ukko et al. 2007, 12; Neely & Gregory & Platts 1995, 83). Tällöin mittareista tulee strateginen henkilöstöohjauksen työkalu (Neely et al. 1995, 83). Sanonta ”sitä saat mitä mittaat” pätee paremmin kuin hyvin suorituskyvyn mittaamisessa. Uusi-Rauva (1994, 11) mukaan mittaus muun muassa:

1. Motivoi
2. Korostaa mitattavan asian arvoa
3. Ohjaa tekemään oikeita asioita
4. Selkiinnyttää tavoitteita
5. Aiheuttaa kilpailua ja kilvoittelua
6. Luo edellytykset palkitsemiselle.

Oikeiden mittareiden ja realististen tavoitteiden merkitys kasvaa, jotta yllälistatut positiiviset vaikutukset saadaan käyttöön. Tavoitteiden on oltava saavutettavissa. Epärealistiset tavoitteet ja vaikeaselkoiset mittarit kääntävät nämä positiiviset vaikutukset negatiiviseksi ja esimerkiksi työmotivaatio voi pudota lähtötilanteesta. (Ukko et al. 2007, 12)

3.3 Suorituskyvyn mittarit

Yksittäisten mittareiden tai tunnuslukujen luoma kuva yrityksen tai sen jonkin osan toiminnan suorituskyvystä on aina puutteellinen tai rajoittunut (Rantanen & Holtari 1999, 43). Vaikka tällä tavalla voidaan saada täsmällinen kuva yksityiskohdista se ei auta hahmottamaan kokonaisuutta (Laitinen 1998, 280). Tämän ongelman ratkaisemiseksi on kehitelty suorituskyvyn mittaristoja, jotka kokoavat yksittäiset suorituskyvyn mittarit helposti ym-

märrettäväksi ja seurattavaksi kokonaisuudeksi. Kokonaisuuden hahmottaminen on elintärkeää suorituskyvyn johtamisessa. Kehitettäville mittareille onkin asetettava ykkösvaatimukseksi, että niitä voidaan käyttää yritysjohdon päätöksenteossa (Laitinen 1998, 120). Mittareilla on oltava Laitisen (1998, 121–133) mukaan neljä muuta keskeistä ominaisuutta päätöksenteon tukemisen lisäksi, jotka ovat:

1. Edullisuus. Mittarin arvon tuottaminen ei saa aiheuttaa suurempia kustannuksia tai uhrauksia kuin sen tuottama hyöty on (hyöty-kustannusanalyysi).
2. Validiteettisyys. Mittarin täytyy olla luotettava eli esimerkiksi kustannuksia laskiessa täytyy mittarissa huomioida kaikki kustannukset eikä jättää joitakin kustannuksia pois.
3. Reliabiliteettisuus. Mittarin arvon täytyy olla mahdollisimman tarkka ja ohjeistus mittaamiselle täytyy olla yhtenäinen, jotta eri mittaajien välillä ei synny hajontaa.
4. Uskottavuus. Mittaristojen pääkäyttötarkoitus on auttaa yrityksen johtoa päätöksenteossa. Tilanteessa missä yrityksen johto ei ymmärrä mittarin laskentatapaa tai luota sen oikeudellisuuteen ei mittarilla ole tarkoitusta.

Mittareiden määrälle ei ole mitään yksityiskohtaista ohjetta. Liian suuri määrä mittareita voi aiheuttaa sen, että johtajien fokus siirtyy tärkeistä mittareista vähemmän tärkeisiin (Franceschini & Galetto & Maisano 2019, 146). Yrityksien on tapauskohtaisesti arvioitava mittareiden määrä. Tärkeintä on, että ne luovat hyvän kokonaiskuvan ja ovat tasapainossa keskenään eikä jotain tiettyä toimintaa mitata tarkemmin kuin muita. (Lönnqvist et al. 2006, 113)

3.4 Tuotannon suorituskyky

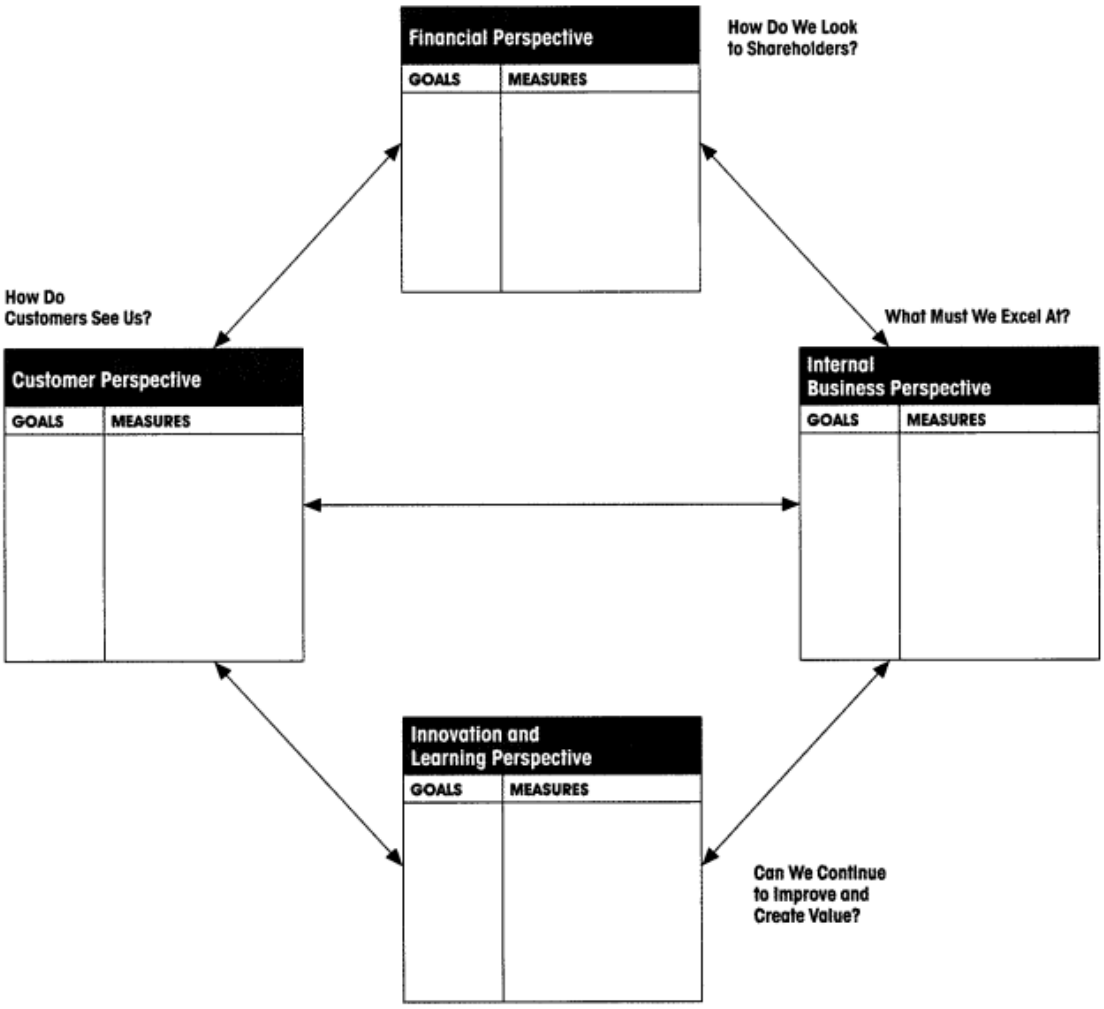
Teollisuusyrityksissä tuotantoprosessien onnistumista ja strategian jalkautumista voidaan seurata suorituskykymittareiden avulla (Winroth & Almström 2016, 842). Tuotannon suorituskykymittareilla arvioidaan koneiden ja henkilöstön toiminnan tehokkuutta. Tärkeitä tuotannon suorituskykymittareita ovat esimerkiksi tuottavuus, käyttöaste, laatu, tehokkuus ja

läpimenoaika. Näistä mittareista käytetään myös nimitystä KPI-mittari, joka tulee englannin kielen sanoista key performance indicator. (Zhu & Su & Lu & Wang & Zhang 2014, 806) Kaikkien näiden mittareiden laskentaan ei ole usein vain yhtä ainoaa tapaa, vaan osassa niiden laskenta riippuu niitä käyttävän yrityksen mieltymyksistä.

Tuotantolinjan tehokkuuden mittaamiseksi on kehitelty OEE-mittari (Overall Equipment Effectiveness), jonka avulla voidaan laskea tuotantolinjan kokonaistehokkuutta yhdistelemällä useampi tuotannon suorituskykymittari yhdeksi suorituskykymittariksi. OEE-mittarissa yhdistetään tuotantolinjan käytettävyys, nopeus ja laatu keskenään, jolloin ne antavat lukuarvon, joka kuvastaa tuotantolinjan kokonaistehokkuutta. (Wohlers & Dziwok & Pasic & Lipsmeier & Becker 2020, 4) OEE-mittari on todella suosittu tuotannon suorituskykymittari (Hörmann & Bizubac & Popa 2019, 2).

3.5 Suorituskyvyn mittaristot

Suorituskyvyn mittaristot sitovat suorituskyvyn mittarit kokonaisuudeksi, jota on helpompi hallita. Suorituskyvyn mittaristot sitovat mittarit yhteen yrityksen kaikki suorituskyvyn ulottuvuudet ja sidosryhmät (Rantanen & Holtari 1999, 43). Suosituin suorituskyvyn mittaristo on Kaplanin ja Nortonin vuonna 1992 kehittelemänä Balanced Scorecard (Rantanen & Holari 1999, 44). Muita suorituskyvyn mittaristoja on pilvin pimein ja niitä kaikkia yhdistää sama periaate eli mittariston tasapainottaminen eri osa-alueiden kesken ja sen sitominen yrityksen strategiaan ja visioon. Eri mittaristoja on pyritty kehittämään siten, että ne olisivat enemmän toimiala spesifejä. Suorituskykymittaristo estää suorituskyvyn osaoptimointia, joka on kokonaisuuden kannalta yleensä huono asia (Kaplan & Norton 1992, 73). Kuvassa 6. esitetty Balanced Scorecardin mallipohja.



Kuva 6. Balanced Scorecard mallipohja (Kaplan & Norton 1992, 72).

Balanced Scorecardissa on neljä perspektiiviä, jotka ovat (Kaplan & Norton 1992, 73–79):

1. Asiakkaan perspektiivi eli millaisena asiakkaat näkevät yrityksen.
2. Sisäinen perspektiivi eli sisäisten prosessien suorituskyky.
3. Innovatiivisuuden ja oppimisen perspektiivi eli yrityksen kyky innovoida, parantaa ja oppia uusia menetelmiä, joilla luodaan arvoa asiakkaalle.
4. Taloudellinen perspektiivi eli taloudellinen suorituskyky.

Balanced Scorecard sitoo yrityksen toiminnan sen visioon ja strategiaan (Isoraite 2008, 18). Balanced Scorecard laaditaan aina yritys. ja tapauskohtaisesti (Kaplan & Norton 1993, 135). Balanced Scorecardin kehittämissuunnitelma muistuttaa kehittämisprojektia, jolloin hankkeella täytyy olla johdon varaukseton tuki (Rantanen & Holtari 1999, 46). Kehittämisen vaiheet ovat mittariston ja mittareiden suunnittelu, implementointi ja käyttö. Jokainen näistä vaiheista on yhtä tärkeä kokonaisuuden onnistumisen kannalta. (Chytas & Glykas & Valiris 2011, 461) Monet yritykset, julkiset hallinnot ja voittoa tavoittelemattomat järjestöt ovat hyötyneet Balanced Scorecardin implementoinnista (Dimitropoulos & Kosmas & Douvis 2017, 362; Norton & Kaplan 1993, 135; Kasperskaya 2008, 363)

4 LEAN-AJATTELU

Yritykset voivat helposti tuudittautua ajatuksella, että näin on aina tehty, joten miksi sitä lähteä muuttamaan. Organisaation tulisi jatkuvasti tarkastella kriittisesti omaa tekemistään. Lean-johtamisfilosofia on moderni konsepti, jonka avulla optimoidaan yrityksen eri prosessien toimintaa (Helmold 2020, 1). Filosofia keskittyy arvon luontiin asiakkaille, hukan eliminointiin ja jatkuvaan parantamiseen (Marodin & Frank & Tortorella & Netland 2018, 1; Sahoo, A. K. & Singh, N. K. & Shankar, R. 2007, 453). Yksinkertaistettuna leanin avulla pyritään estämään prosessien osaoptimointia yrityksen monimutkaisten prosessien viidakossa pyrkien maksimaaliseen kannattavuuteen unohtamatta yrityksen inhimillisiä osa-alueita ja sitä, että jokainen parannus, olisi se sitten iso tai pieni, on parannus.

Tässä luvussa tutustutaan lean-ajattelun ja -filosofian keskeisempien osa-alueiden teoriaan. Ensiksi luvussa pohjustetaan leanin historiaa, jotta ymmärretään mistä näkökulmasta lean-filosofiassa asioita tarkastellaan. Sen jälkeen käydään lävitse lean-filosofian keskeisintä osa-aluetta eli hukan teoriaa ja työkaluja, joita voidaan käyttää hukan pienentämiseen prosesseissa. Hukan teoreettinen viitekehys auttaa työn tutkimuksellisessa vaiheessa tunnistamaan erityyppisiä hukkia lämpökäsittelylinjastoilla. Lopuksi luvussa käydään lävitse JIT-tuotannon ja kaizenin teoriaa. JIT-tuotannon ymmärtämisen avulla tiedostetaan sen tärkeys, että tuotantolinjastolla yksikään laite tai kone ei ole yksin vaan se keskustelee muiden koneiden ja laitteiden kanssa. Tätä tarvitaan esimerkiksi siihen, että lämpökäsittelylinjastoja ennen olevissa välivarastoissa olisi aina materiaalia valmiina lämpökäsittelylinjastoille. Yksikään kehitysprojekti ei ole siinä mielessä ikinä valmis, koska kehitettävää löytyy aina. Kaizenin oppien avulla voidaan ideoida tapoja ja kulttuuria, joiden avulla lämpökäsittelylinjastojen kehitystyö tulee jatkumaan hamaan tulevaisuuteen asti.

4.1 Toyotan tapaan

Toyota Motor Corporationin perusti Kiichiro Toyoda vuonna 1937. Alusta lähtien Kiichiro pyrki luomaan yritykseen kulttuuria ja filosofiaa, jossa keskitytään jatkuvasti parantamaan

toimintoja ja poistamaan hukkaa. (Modig & Åhlström 2016, 70) Toyota nimesi tämän tuotantofilosofian Toyota Production Systemiksi eli TPS:ksi. Yksi TPS:n alkusysäyksistä oli se, että Toyotan johtavat vierailivat 1930-luvulla Fordin tehtailla. Tällöin he tajusivat, ettei Toyota voi luoda samanlaista massatuotantojärjestelmää kuin Ford sillä heillä puuttui kysyntä ja pääoma, jonka massatuotantojärjestelmä olisi vaatinut. (Liker 2004, 20) Länsimaisten tietoisuuteen TPS nousi 1980-luvulla, kun länsimaiset tutkijat toivat sen länsimaihin. Länsimaissa tämä tuotantofilosofia sai nimekseen lean. (Modig & Åhlström 2016, 77) TPS:ssä on Henry Fordin keksimän massatuotantojärjestelmän jälkeen seuraava suurempi yritysprosessin kehitysvaihe (Liker 2004, 15).

Kasvava trendi 2000-luvulla on ollut yrityksien pyrkimys toimia asiakaslähtöisesti (Pekovic & Rolland 2016, 2162). Asiakaslähtöisyys ei ole kovin uusi ilmiö yritystoiminnassa. Asiakaslähtöisessä ajattelussa pyritään tuottamaan asiakkaalle mahdollisimman paljon arvoa ja luomaan tätä kautta pitkäkestoisia asiakassuhteita. Nykyään asiakaslähtöinen ajattelu ei ole pelkästään yrityksen johtoa ohjaava tekijä vaan siitä on tullut organisaation läpileikkaava kaikkia ohjaava tekijä (Homburg & Schäfer & Schneider 2012, 6). TPS:ssä valmistusprosessin suunnittelu lähtee aina asiakkaan näkökulmasta (Liker 2004, 27; McKay & Peters 2015, 116). Asiakas voi olla joko sisäinen tai ulkoinen. Sisäisellä asiakkaalla tarkoitetaan sitä, että tuotantolinjan seuraavat tuotantopisteet ovat sitä edeltävän tuotantopisteen asiakkaita. Ulkoiset asiakkaat ovat nimensä mukaisesti yrityksen ulkopuolisia asiakkaita, joille myydään lopputuotteita. Asiakasnäkökulmaa hyödyntäen TPS:ssä pyritään parantamaan prosesseja, jotta ne toisivat enemmän arvoa sisäiselle tai ulkoiselle asiakkaalle. (Liker 2004, 27)

Leanin avulla Toyotasta on tullut yksi maailman suurimmista autovalmistajista ja kannattavuudeltaan selkeästi kaikista paras (Bernau Jr. 2021). Yritykset käytännössä jokaisella alalla ovat yrittäneet omaksua Toyotan lean-tuotantojärjestelmän ja houkutella Toyotan entisiä työntekijöitä töihin, jotta he voisivat toimia lean-asiantuntijoina. (Liker 2004, 4–5)

4.2 Hukka

Hukka on kaikkea sellaista yrityksen toimintaa, josta asiakas ei ole valmis maksamaan (Marod et al., 1). Hukka ei siis tuota lisäarvoa asiakkaalle tai yritykselle. Toyotan mukaan hukan päätyyppejä on seitsemän kappaletta. Liker lisää kirjassaan näiden päätyyppien lisäksi vielä yhden hukan päätyypin, joka on työntekijän luovuuden käyttämättä jättäminen. Hukan päätyypit ovat (Liker 2004, 28–29):

1. Ylituotanto.
2. Odottelut.
3. Tarpeeton kuljettelu.
4. Ylikäsittely tai virheellinen käsittely.
5. Tarpeettoman varastot.
6. Tarpeeton liikkuminen.
7. Viat.
8. Työntekijän luovuuden käyttämättä jättäminen.

Ylituotanto on listalla ensimmäisenä, koska monesti siitä johtuen listan muut hukat kasvavat. Ylituotannon takia varastot kasvavat ja kasvaneiden varastojen vuoksi tarvitaan enemmän kuljettelua, josta syntyy tarpeetonta liikkumista ja ylikäsittelyä.

Hukan minimoimiseksi on erilaisia lean-työkaluja (Eroglu & Hofer 2011, 357). Yksi työkaluista on 5S, jonka lyhenne tulee japanin kielen sanoista seiri (lajittele), seiton (järjestä), seiso (siisti), seikutse (standardoi) ja shitsuke (ylläpidä) (Randhawa & Ahuja 2017, 336). 5S-työkalun avulla työympäristöstä poistetaan ylimääräiset työkalut ja tarvikkeet. Tämän jälkeen organisoidaan työpiste siten, että kaikki työssä tarvittavat työkalut ja -välineet ovat työntekijän lähellä ulottuvissa. Seuraavassa vaiheessa hyväksi todetut työpisteiden layoutit

standardisoidaan ja viedään mahdollisesti muille työpisteille. Lopuksi seurataan, miten hyvin lopputuloksen ylläpito onnistuu tarkastamalla työpiste säännöllisesti. (Bayo- Moriones & Bello-Pintado & Merino-Diáz de Cerio 2010, 217–218)

4.3 JIT (Just-in-time)

JIT-tuotannossa pyritään siihen, että kaikki tuotantoprosessit muuttuvat imuohjautuviksi, jolloin varastojen määrä ja varastotasot pienenevät (Haverila et al. 2005, 428–429; Sendil Kumar & Panneerselvam 2007, 393). Tuotantoerät ovat suhteellisen pieniä mikä mahdollistaa erinomaisen joustavuuden (Liker 2004, 23). Tuotteiden valmistus lähtee aina asiakkaan tilauksesta, oli se sitten sisäinen asiakas tai ulkoinen asiakas. Toisin sanoen prosessi valmistaa vain sitä ja sen verran mitä seuraava prosessi tai asiakas on tilannut ja toimitetaan se silloin kun seuraava prosessi tai asiakas sen tarvitsee (Liker 2004, 23). Tällöin tuotantoon sitoutuvan pääoman määrä laskee ja sitä voidaan käyttää muihin tarkoituksiin. JIT-tuotanto on tärkeä osatekijä Toyotan loistavassa kilpailukyvyssä (White & Pearson & Wilson 1999, 1).

JIT-tuotanto ei ole mahdollista ilman sitä, että eri prosessit keskustelevat keskenään. Tähän tarkoitukseen Toyota on kehitellyt kanban-järjestelmän (Sendil Kumar & Panneerselvam 2007, 393). Kanban tarkoittaa esimerkiksi kylttiä, merkkiä tai korttia mikä ilmoittaa sen, että edellisen prosessin tarvitsee reagoida asiaan. Helppo esimerkki kanban-järjestelmän osasta on kaksi varaosalaatikkoa. Toisen varaosalaatikon tyhjennettyä sen sisään laitetaan esimerkiksi kortti mikä ilmoittaa, että se on täyttöä vailla. Varaosien täydennyksistä vastaavat huomaavat kanban-kortin ja täyttävät varaosalaatikon. (Liker 2004, 106–107; Lage Junior & Godinho Filho 2010, 13; Haverila et al. 2004, 422) Kanban visualisoi varastotilanteen helposti luettavaksi.

4.4 Kaizen eli jatkuva parantaminen

Kaizen eli jatkuva parantaminen on japanilainen ohjausperiaate. Ohjausperiaatteen perustana on, että vanhaa osaamista kehitetään jatkuvasti ja määrätietoisesti. (Uusi-Rauva 1996, 12; Iwao 2017, 30) Yritys voi tehdä uudistuksia sen lukuisiin prosesseihin ilman suuria tai pieniä investointeja perehtymällä prosessin toimintaan ja muuttamalla sitä sisäisesti esimerkiksi paremmalla ohjeistuksella. Omalla tavallaan pieni- tai nollabudjetti kehitysprojektit ovat yrityksen oppimisen kannalta parhaita, koska niissä ei voi laiskistua ja hakea rahalla parempaa tulosta prosessin tehokkuuteen. Tämä aiheuttaa sen, että kehitysprojektissa työskentelevät henkilöt joutuvat haastamaan omaa ajatteluaan enemmän kuin tilanteessa, jossa ostetaan esimerkiksi tehokkaampi tuotantokone tuotannon läpimenoajan lyhentämiselle. Länsimaisessa ajattelussa on korostettu liikaa juuri näitä kertainvestointeja (Uusi-Rauva 1996, 12). Kaizenissa jokainen parannus on eteenpäin eikä parannuksen suuruusluokalla ole merkitystä (Liker 2004, 23). Kaizenin avulla organisaatio pyrkii luomaan innovaatiokulttuuria, joka läpäisee organisaation. Kaizenissa korostuukin työntekijöiden aloitekyky uusiin innovaatioihin, koska heillä on paras tuntemus operationaalisen työn tekemisestä (Iwao 2017, 31; Suárez-Barraza & Ramis-Pujol & Kerbache 2011, 390).

5 TUTKIMUSMENETELMÄT

Oikeiden tutkimusmenetelmien valinta on tärkeä osa tutkimuksen toteuttamista. Tässä kappaleessa läpikäydään työssä käytettyjä tutkimusmenetelmiä ja niitä tukevaa teoriatietoa.

5.1 Tutkimusstrategia

Työssä tehtävä tutkimus on tapaustutkimus. Hirsjärven & Remeksen & Sajavaaran (2009, 134) mukaan tapaustutkimuksessa tutkitaan yksityiskohtaista, intensiivistä tietoa yksittäisestä tapauksesta tai pienestä joukosta toisiinsa suhteessa olevia tapauksia. Tutkimuksessa on tarkoitus hyödyntää työntekijöiltä saatavaa tietoa, jota hankitaan haastattelututkimuksen avulla. Kvalitatiivista tietoa on käytettävissä runsaasti kohdeyrityksen tietojärjestelmissä. Näitä tietojärjestelmien tietoja hyödynnetään työssä paljon.

5.2 Aineiston keruu

Työn tekeminen aloitetaan paneutumalla työhön liittyvän teorian tutustumiseen. Seuraavaksi läpikäydään vuosien 2019, 2020 ja 2021 tuotantodata. Tästä tuotantodatasta tehdään suorituskykymittausta ja verrataan sitä teoreettisiin suorituskykyihin. Kolmannessa vaiheessa otetaan työntekijät mukaan tutkimukseen ja haastatellaan heitä. Työntekijöiden antamien haastatteluiden tuloksia verrataan sillä hetkellä oleviin suorituskykymittauksiin ja tarkastellaan, ovatko ne yhteneväisiä. Työ suoritetaan tässä järjestyksessä siksi, etteivät työntekijöiden mielipiteet vaikuttaisi datan analyyttiseen läpikäymiseen vaan sitä katsottaisiin mahdollisimman ennakkoluulottomasti.

5.2.1 Kvantitatiivinen data

Kvantitatiivinen data saatiin kohdeyrityksen tietojärjestelmistä. Tuotantodataa olisi ollut saatavilla pitkältä aikajaksolta. Data rajattiin kolmeen vuoteen. Vaikka dataa oli paljon saatavilla se ei ollut sellaisessa muodossa suoraan, mitä olisi voinut hyväksikäyttää tutkimuksessa. Eri tuotantoraportteja yhdistelemällä saatiin kuitenkin lopuksi kaikki halutut tiedot koottua. Otanta käsittää vuosien 2019, 2020 ja 2021 tuotantodatan. Datasta saadaan selville, miten viime vuosina tuotanto on muuttunut.

5.2.2 Haastattelut

Haastattelut kuuluvat kvalitatiivisiin tutkimusmenetelmiin (Roulston 2006, 515). Haastatteluita on erityyppisiä esimerkiksi lomakehaastattelu, puolistrukturoimaton haastattelu ja strukturoimaton haastattelu. Lomakehaastattelussa kysymykset esitetään aina samassa järjestyksessä ja niiden vastausvaihtoehdot voivat olla valmiiksi rajattu (Roulston 2006, 520; Hirsjärvi & Hurme 2015, 44–45). Lomakehaastattelun etuna on se, että haastattelu on itsessään helppo ja nopea toteuttaa ja sen voi levittää laajalle joukolle esimerkiksi sähköisesti tai puhelimitse. Lisäksi haastatteluissa kerätty data voidaan läpikäydä nopeasti. (Hirsjärvi & Hurme 2015, 44–45)

Puolistrukturoidussa haastattelussa haastattelija voi vaihdella kysymysten järjestystä ja haastateltavat voivat antaa niihin laajoja vastauksia eikä heitä ole sidottu vastausvaihtoehtoihin. Myös kysymyksien sanamuodot voivat vaihdella eri haastateltavien välillä. Strukturoimattomassa haastattelussa kysymyksiä tai vastausvaihtoehtoja ei ole määritelty tarkasti. Haastattelu on enemmänkin keskustelu, jossa haastattelija reagoi haastateltavan vastauksiin ja niiden kautta vie haastattelua eteenpäin. (Hirsjärvi & Hurme 2015, 45–48)

Haastattelut suoritettiin kvantitatiivisen tutkimuksen jälkeen strukturoimattomana haastatteluna. Tällä pyrittiin vähentämään ennakkoluuloja mitä haastattelun eripuolilla voisi olla aiheesta. Haastattelututkimuksessa haastattelun eri osapuolet tuovat aina tilanteeseen aiemmat

kokemuksensa ja näiden pohjalta syntyneet mielipiteensä (Hirsjärvi & Hurme 2015, 41). Haastatteluissa pyrittiin kartoittamaan työntekijöiden mietteitä lämpökäsittelylinjastojen nykytilan toiminnasta, miten he viihtyvät työssään ja mitä parannusehdotuksia tai parannuskohteita he ovat työssään havainneet. Haastattelujen muodoksi valittiin strukturoimaton haastattelu sen vuoksi, että haastateltavia ei ollut montaa ja tällä tavoin haastattelutilanteista saatiin juttutuokion tapaisia.

5.3 Reliabiliteetti ja validiteetti

Tieteellisessä tutkimuksessa on tärkeää, että tutkimukset ovat toistettavissa sekä todennettavissa (Avoimen tieteen ja tutkimuksen kansallisen koordinaation sihteeristö 2018). Tutkimuksen reliaabelius tarkoittaa tutkimuksen toistettavuutta eli sitä pystyykö toinen tutkija toistamaan tehdyn tutkimuksen niillä tiedoilla ja menetelmillä mitkä ensimmäinen tutkija on antanut tutkimuksessaan. Jos tutkijat päätyvät samaan lopputulokseen, tutkimuksella on hyvä reliabiliteetti. Tutkimuksen validiteetti tarkoittaa sitä, kuinka hyvin tutkimuksessa käytetyt mittarit oikeasti mittaavat haluttua mittauskohdetta. (Hirsjärvi et al. 2009, 231; Kihn & Ihantola 2015, 234) Esimerkiksi kyselylomaketutkimuksessa tutkija voi analysoida tai käsittää väärin haastateltavien antamia vastauksia.

Tutkimuksessa kvantitatiiviseen osuuteen käytetyt tiedot ovat kaikkien käytettävissä, joilla on oikeus kohdeyrityksen tietojärjestelmiin. Näitä tietoja käsittelemällä eri tutkijoiden pitäisi päästä lähes samaan lopputulokseen. Pientä eroa lopputuloksien välillä voivat aiheuttaa laskentatapojen mieltymykset. Käytetyt mittarit ovat tarkkoja eli niiden validiteetti on hyvä. Työntekijöiden tuottavuus mittaria voidaan kyseenalaistaa, koska tämän tiedon saamiseksi on laskentaa jouduttu soveltamaan enemmän kuin muissa mittareissa.

Kvalitatiivisen osuuden strukturoimattomien haastatteluiden osalta tutkimuksen reliabiliteetti on kyseenalainen. Kaikkia lämpökäsittelylinjastolla olevia henkilöitä ei haastateltu. Haastatteluihin otettiin kahdeksan henkilöä. Kuusi heistä olivat työntekijöitä ja kaksi toimi-

henkilöä. Haastatteluja haluttiin rajata ja haastateltavaksi valittiin työntekijät, joiden työkokemustaustat olivat erilaisia. Huonolla tuurilla haastateltujen ja haastatteluiden ulkopuolelle jääneiden henkilöiden mielipiteet olisivat voineet olla jopa päinvastaisia. Haastatteluiden validiteetti on myös heikompi kuin tutkimuksen kvantitatiivisessa osuudessa. Haastatteluiden strukturoimaton muoto mahdollistaa haastattelijalle tilaisuuden käsittää haastateltavien vastaukset siten, kun hän haluaa. Tutkimuksessa haastattelijalla oli haastatteluja tehtäessä kvantitatiivisen osan perusteella mielipide siitä, kuinka hyvin linjasto toimii. Tämä mielipide on voinut vaikuttaa haastattelijan objektiivisuuteen. Työn tekijä kuitenkin päätyi työn suorittamisessa tekemään ensiksi suurimman osan kvantitatiivisesta tutkimuksesta ennen kvalitatiivista tutkimusta. Työn tekijä päätyi tähän ratkaisuun siitä syystä, että työn tekijän mielestä tutkimuksen kvantitatiivinen osuus kertoo enemmän linjaston toiminnasta kuin kvalitatiivinen osuus.

6 LÄMPÖKÄSITTELYLINJASTOT

Terästä lämpökäsittelemällä pystytään luomaan erilaisia teräslaatuja. Eri laadut sopivat toista paremmin erilaisiin lopputuotteisiin. Lämpökäsittelemällä teräksestä voidaan siitä tehdä esimerkiksi erittäin kovaa tai helposti koneistettavaa. (Bryson 2015, 20) Karkaisu-uuneissa lämpötila on 900 celsiusastetta. Tässä lämpötilassa teräs normalisoituu, jolloin teräksen rakenne homogenoituu (Chandler 1995, 2). Normalisoinnin jälkeen teräs voidaan karkaista jäähdyttämällä se nopeasti (Kivivuori 2016, 75). Kohdeyritys käyttää jäähdytykseen vesi- tai öljyallasta riippuen kumpi tapa on teräksen halutun standardin mukainen. Päästöuuneissa teräs päästetään, jolloin sen ominaisuudet muuttuvat. Teräksestä tulee joustavampaa, mutta samalla se menettää kovuuttansa. (Chandler 1995, 3)

Tässä kappaleessa käydään lävitse lämpökäsittelylinjastojen toimintaa, layoutteja ja lämpökäsittelylinjastoilla työskentelevien henkilöiden rooleja. Kappaleen jälkeen on käsitys siitä millaiset kohdeyrityksen lämpökäsittelylinjastot ovat, ymmärrys niiden toiminnan perusperiaatteista ja henkilöstön työtavoista ja henkilöstöresursseista.

6.1 Henkilöstö

Lämpökäsittelylinjastot pyörivät vuorokauden ympäri viikon jokaisena päivänä. Jokaisessa vuorossa työskentelee kolme henkilöä. Heistä kaksi istuvat valvomossa ja yksi on niin sanottu kenttämies. Molemmat lämpökäsittelylinjastot jakavat saman valvomon. Kummallakin lämpökäsittelylinjastolla työskentelee yksi operaattori, jonka vastuulla on lämpökäsittelyprosessin seuranta ja ylläpito. Tämän lisäksi lämpökäsittelylinjaston A operaattori käy täyttämässä lämpökäsittelylinjaston B syöttöpöydät. Lämpökäsittelylinjaston B operaattori vastaa oman lämpökäsittelylinjastonsa laaduntarkastamisesta ja materiaalin siirtämisestä seuraavaan välivarastoon. Nämä kolme henkilöä muodostavat työryhmän, jotka työskentelevät aina samassa vuorossa. Vuorojen sisällä he kierrättävät työtehtäviä keskenään. Suurin osa työstä tehdään valvomossa tietokoneen avustuksella. Kenttämiehen vastuulla on täyttää

lämpökäsittelylinjastolla A syöttöpöydät, huolehtia laaduntarkistuksesta ja materiaalin nostamisesta seuraavaan välivarastoon.

6.2 Lämpökäsittelylinjastojen toiminta ja layoutit

Tuotannon hienosuunnittelussa on tilausriveittäin määritelty tilaus. ja sulatusnumero. Näiden kahden tunnistetiedon avulla voidaan tuotannossa tunnistaa mitkä taakat kuuluvat millekin tilausriville. Kohdeyrityksen sisällä taakka nimitystä käytetään isoille pyörötankonipuille. Pyörötangot kulkevat taakkoina koko tuotantolinjan lävitse. Eri taakkojen materiaaleja ei saa sekoittaa keskenään, ellei niillä ole sama tilaus- ja sulatusnumero. Tällöin teräksen jäljitettävyys varmistetaan asiakkaalle asti. Yhdessä taakassa on useamman lautan materiaalit. Lautta on nimitys tuotannossa olevalla erälle pyörötankoja. Tuotannon hienosuunnittelu tehdään tuotannonsuunnittelijan toimesta noin kolmeksi viikoksi eteenpäin. Tuotannon hienosuunnittelussa on määritelty lämpötilat, pitoajat, sammutustapa, sammutusajat ja halutut kovuudet.

Lämpökäsittelylinjastojen lävitse kulkee vuoron perään lauttoja. Lautat koostuvat pyöröteräksistä, jotka voivat olla halkaisijaltaan 20–200 mm. Se, kuinka monta pyöröterästä yhdessä lautassa on, määrittyy linjaston kantokyvyn tai leveyden perusteella. Taulukossa 1. on esitetty lautan reunaehdot lämpökäsittelylinjastolla A.

Taulukko 1. Lautan reunaehdot lämpökäsittelylinjastolla A.

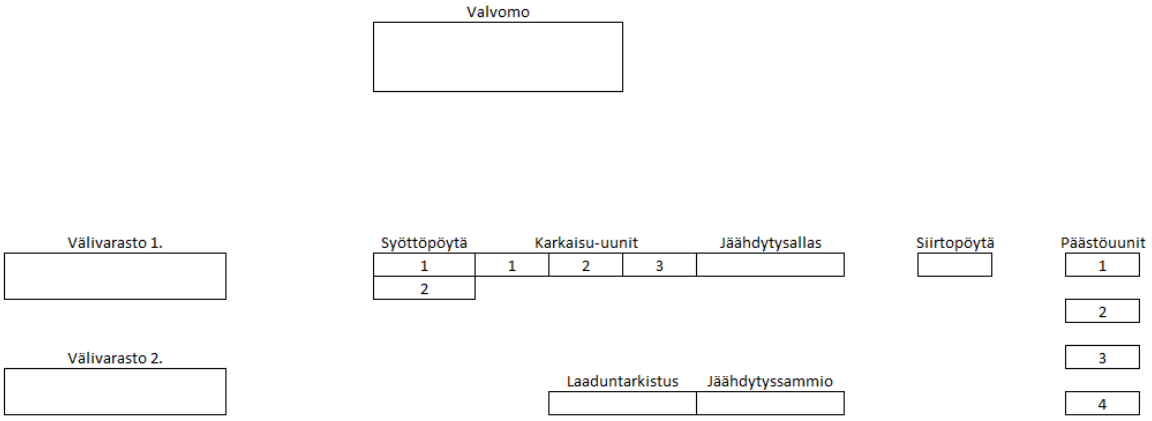
Lämpökäsittelylinjasto A	Lautan maksimileveys	Maksimipaino (kg/m)
Karkaisu- ja päästöuunit	1400 mm	500

Lämpökäsittelylinjastolla lauttojen reunaehdot pysyvät samana koko lämpökäsittelylinjaston matkan. Taulukossa 2. on esitetty vastaavat tunnusluvut lämpökäsittelylinjastolla B.

Taulukko 2. Lautan reunaehdot lämpökäsittelylinjastolla B.

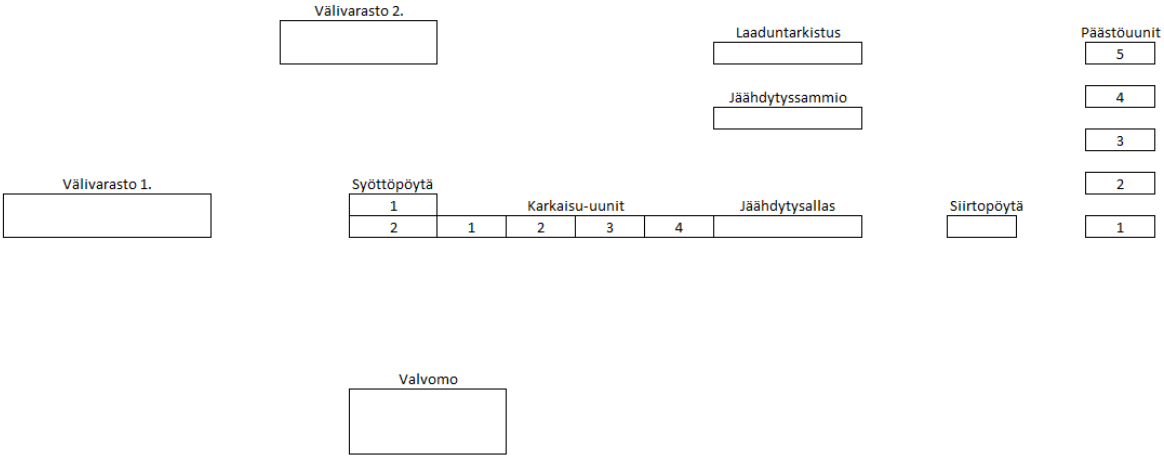
Lämpökäsittelylinjasto B	Lautan maksimileveys	Maksimipaino (kg/m)
Karkaisu-uunit	1100 mm	750
Päästöuunit	1100 mm	500

Linjastolla B normalisointiprosessissa lautat voivat olla isompia kuin sellaisissa prosesseissa, joissa lautat menevät myös päästöuunien lävitse. Tuotanto pyörii tilausrivimäisesti, ja yhdellä tilausrivillä voi olla yhdestä lautasta useampaan lauttaan. Yleensä tilausrivit käsittävät useamman kuin yhden lautan. Lämpökäsittelylinjaston A layout on esitelty kuvassa 7.



Kuva 7. Lämpökäsittelylinjaston A layout.

Lämpökäsittelylinjastolla A ajetaan pääsääntöisesti ohuempia pyöröteräksiä kuin lämpökäsittelylinjatolla B. Lämpökäsittelylinjaton B layout on esitetty kuvassa 8.



Kuva 8. Lämpökäsittelylinjaston B layout.

Lautat kulkevat jokaisen karkaisu-uunin lävitse ja siitä ensimmäiseen jäähdytysaltaaseen. Jäähdytys voi tapahtua joko vesi- tai öljyaltaassa riippuen valmistettavan teräslajin standardin vaatimuksesta. Normalisoitavat teräkset eivät mene ollenkaan jäähdytysaltaaseen tai päästöuuneihin. Ne ilmajäähdytetään, jonka jälkeen ne menevät suoraan seuraavaan välivarastoon. Jäähdytyksen jälkeen lautta siirtyy siirtopöydälle, joka vie sen päästöuuniin. Päästöuunista lautta siirtyy takaisin siirtopöydälle mistä operaattori nostaa siltanosturilla lautan jäähdytyssammioon ja siitä laaduntarkastuspisteelle. Jäähdytyssammioiden tarkoituksena on estää päästöhaurauden syntymistä ja jäähdyttää teräksiä, jotta niitä voidaan käsitellä laaduntarkistuspisteellä. Siirtopöydällä menee kummassakin työvaiheessa noin 2,5 minuuttia per työvaihe kummallakin lämpökäsittelylinjastolla.

Laaduntarkistuksessa lautan yhdestä pyöröteräksestä otetaan kovuus Brinell-menetelmällä tai asiakkaan vaatiessa useammasta. Jokaiselle teräslajille on määritelty omat raja-arvot, joiden väliin kovuuden on mentävä. Lisäksi yhdestä lautan pyörötangosta sahataan näytekappale tarkempia jatkotutkimuksia varten, jotka suoritetaan kohdeyrityksen omassa laboratoriossa. Laboratoriossa toistetaan kovuusmittaus ja sen lisäksi suoritetaan veto- ja iskusitkeyskokeet. Materiaalin virheet voivat tulla esiin vasta laboratoriokokeissa. Tällöin laboratorio antaa käskyn tuotannolla uusia kyseiset materiaalit. Asiakkaan vaatimuksesta myös laboratoriotestejä voidaan joutua suorittamaan useammasta saman lautan pyörötangosta.

Kovuusmittauksessa esille tullutta liiallista pehmeyttä ei voida korjata muuten, kun ajattamalla lautta uusiksi koko lämpökäsittelylinjaston lävitse. Liian kovaksi jäänyttä terästä voidaan päästää lisää päästöuunissa, jolloin se pehmenee haluttuihin raja-arvoihin. Hyväksytyt lautat siirtyvät tuotannon seuraavaan välivarastoon, josta ne menevät asiakkaalle suoraan tai koneistuksen kautta.

7 NYKYTILA-ANALYYSI

Nykytila-analyysin tavoitteena on luoda kuva lämpökäsittelylinjastojen tämänhetkisestä toiminnasta. Nykytila-analyysissä käytettiin kohdeyrityksen tietojärjestelmistä löytyvää tuotantodataa, havainnointiin linjastojen toimintaa ja haastateltiin linjastojen ympärillä työskenteleviä henkilöitä. Vuosien 2019, 2020 ja 2021 toteutunutta tuotantoa käytettiin tutkimuksen otantana. Näin suuri määrä dataa aiheutti omia ongelmia sen käsittelyyn. Lisäksi vaikka dataa oli paljon se ei ollut yhdessä paikassa vaan ripoteltuna useampaan eri järjestelmästä saatavaan raporttiin. Näiden raporttien yhdisteleminen oli työlästä. Analysoitavien vuosien tuotemixit lämpökäsittelylinjastolla A on esitelty taulukossa 3.

Taulukko 3. Tuotemixit vuosina 2019–2021 lämpökäsittelylinjastolla A.

Halkaisija (mm)	Vuosi 2019	Vuosi 2020	Vuosi 2021
20–30	10,6 %	7,7 %	10,8 %
30–40	14,7 %	12,8 %	13,2 %
40–50	27,7 %	24,1 %	26,1 %
50–60	18,9 %	15,2 %	16,8 %
60–70	13,1 %	19,1 %	17,1 %
70–80	8,5 %	8,4 %	7,5 %
80–95	6,2 %	8,6 %	7,2 %
95–110	0,3 %	3,2 %	1,0 %
110–125	0,1 %	0,9 %	0,3 %
Painotettu keskiarvo	50,0 mm	55,1 mm	51,6 mm

Lämpökäsittelylinjastolla A tuotemixeissä oli jonkun verran eroavaisuuksia. Vuotena 2020 tuotannon keskimääräinen halkaisija oli selkeästi suurempi kuin vuosina 2019 ja 2021. Lämpökäsittelylinjaston B tuotemix on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Tuotemixit vuosina 2019–2021 lämpökäsittelylinjastolla B.

Halkaisija (mm)	Vuosi 2019	Vuosi 2020	Vuosi 2021
20–30	2,5 %	3,6 %	3,0 %
30–40	2,8 %	5,3 %	3,1 %
40–50	7,0 %	8,7 %	5,8 %
50–60	3,3 %	5,1 %	4,7 %
60–70	6,5 %	6,9 %	6,6 %
70–80	5,4 %	4,6 %	3,3 %
80–95	17,6 %	11,7 %	12,6 %
95–110	19,3 %	21,5 %	22,1 %
110–125	14,1 %	15,0 %	14,6 %
125–150	13,6 %	10,8 %	14,6 %
150–175	6,7 %	5,8 %	8,6 %
175–200	1,3 %	1,1 %	1,0 %
Painotettu keskiarvo	96,3 mm	91,4 mm	98,0 mm

Lämpökäsittelylinjastolla B tuotemixeissä on samantyylistä eroavaisuutta kuin lämpökäsittelylinjastolla A eri vuosien välillä. Lämpökäsittelylinjastolla B materiaalit ovat pääsääntöisesti paksummalla halkaisijalla kuin lämpökäsittelylinjastolla A. Tämä on tietoinen valinta, sillä lämpökäsittelylinjasto B on uudempi ja kyvykkäämpi, jolloin se sopii paremmin paksumman halkaisijan teräksille.

7.1 Lauttakokojen toteutuminen

Lämpökäsittelylinjastojen tehokuuden kaksi tärkeintä osatekijää ovat lauttojen läpimenoaika ja lauttojen paino. Lauttojen koolle on kaksi reunaehtoa. Toinen on lautan fyysinen leveys ja toinen on lautan kilomääräinen paino metrille. Työntekijöillä on paperinen taulukko, josta he katsovat kappalemäärät lautalle. Alle 30,1 millimetrisiä pyörötankoja laitetaan kahteen kerrokseen siten, että ylemmässä kerroksessa on 80 % siitä määrästä, joka on alemmalla rivillä. Tähän sääntöön luo poikkeuksen se, että joissakin tapauksissa asiakkaan määräyk-

sestä pyörötankoja ei saa ajaa kahdessa kerroksessa. Asiakassuhteet ovat yleensä pitkäaikaisia. Operaattoreilla on käytössä lista asiakkaista, joiden teräksiä ei saa ajaa kahdessa kerroksessa.

Tutkimuksessa selvitettiin lauttakokojen toteutuminen ohjeistuksen mukaan vuosien 2019, 2020 ja 2021 tuotannossa. Tilausrivillä on näkyvissä sen kokonaiskappalemäärä, mutta tähän ei voi luottaa täysin. Tilausrivillä ilmoitetun kappalemäärän synnyttää automatisoitulaskuri, joka on epätarkka varsinkin pienemmän halkaisijoiden pyörötangoilla. Tästä syystä teoreettisten lauttamäärien laskennassa piti ensiksi muuttaa tilausrivien paino kappalemääräksi. Kappalemäärän laskettua voitiin luoda lautan kappalekoolle laskentakaava, joka laskee kumpaa reunaehtoa on käytettävä eli tuleeko ensiksi vastaan linjaston kantokyky vai leveys. Tämän jälkeen jaettiin tilauksen kokonaispyörötankomäärä maksimaalisella lauttakoolla, josta saatiin teoreettinen lauttamäärä. Toteutunut lauttamäärä pystyttiin hakemaan toteutuneen tuotannon datasta, jolloin voitiin vertailla teoreettista ja toteutunutta lauttamäärää. Taulukossa 5. näkyy esimerkki tilausrivin lauttamäärän laskennasta.

Taulukko 5. Lauttamäärien laskenta.

Halkaisija	Pituus	Paino	Tangonmetripaino	Tankomäärä	Kappaletta per lautta	Lauttamäärä	Toteutunut lauttamäärä	Ylimääräisiä lauttoja
170 mm	6,2 m	7640 kg	178,2 kg/m	7	4	2	4	2

Kuten esimerkkirivistä pystyy havainnoimaan, on tuotannossa ajettu neljä kappaletta lauttoja, kun kaksi kappaletta olisi riittänyt. Tässä tapauksessa on mennyt 50 % tuotantoaikaa hukkaan. Taulukossa 6. on esitetty vuosien 2019–2021 toteutuneet lauttamäärät ja teoreettiset lauttamäärät lämpökäsittelylinjastolla A.

Taulukko 6. Vuosien 2019–2021 toteutuneet lauttamäärät ja teoreettiset lauttamäärät lämpökäsittelylinjastolla A.

Vuosi	2019	2020	2021
Toteutuneet lautat	12570	8927	10710
Teoreettiset lautat	10659	7594	8959
Erotus	1911	1333	1751
Erotus prosentteina	15,2 %	14,9 %	16,3 %

Toteutuneet lauttamäärät olivat selkeästi suurempia vuosittain kuin teoreettiset lauttamäärät. Näistä on syntynyt huomattava määrä hukkaa. Taulukossa 7. on esitetty lämpökäsittelylinjaston B vastaavat tunnusluvut.

Taulukko 7. Vuosien 2019–2021 toteutuneet lauttamäärät ja teoreettiset lauttamäärät lämpökäsittelylinjastolla B.

Vuosi	2019	2020	2021
Toteutuneet lautat	10128	9747	10363
Teoreettiset lautat	9692	8901	9683
Erotus	436	846	680
Erotus prosentteina	4,3 %	8,7 %	6,6 %

Lämpökäsittelylinjastolla B lauttamäärät ovat toteutuneet paremmin kuin lämpökäsittelylinjastolla B, mutta hukkaa on silti huomattavasti. Monella tilausrivillä lauttoja ei tullut, kun yksi tai kaksi enemmän kuin olisi ollut tarpeen. Tilausrivejä on kuitenkin vuositasolla useita tuhansia, joten nämä pienetkin lauttaylitykset kertaantuvat vuositasolla merkittäväksi hukaksi. Suurimmat määrät ylimääräisiä lauttoja oli mennyt tilausriveillä, joita saisi ajaa kahdessa kerroksessa. Toteutuneesta datasta huomasi, että ne oli ajettu vain yhdessä kerroksessa, jolloin tilauksen lauttamäärä tuplaantui minimimäärästä. Lämpökäsittelylinjastolla B oli vuotena 2020 mennyt enemmän ylimääräisiä lauttoja kuin muina vuosina, koska vuotena 2020 tuotannon keskimääräinen halkaisija oli pienempi kuin vuosina 2019 ja 2021.

7.2 Toteutunut tuotantoaika ja painomääräinen läpimeno

Vuosilomista johtuen lämpökäsittelylinjastot ovat noin viisi viikkoa vuodesta kiinni. Tämän lisäksi huolto- tai häiriöseisakit voivat aiheuttaa päiviä, jolloin tuotantoa seisoo. Toteutuneesta tuotantodatasta voidaan kuitenkin katsoa ne päivät, jolloin on valmistunut vähintään yksi tilausrivi. Kertomalla työpäivät, jolloin vähintään yksi tilausrivi on valmistunut 24 tunnilla saadaan arvio kyseisen vuoden tuotantoajasta tunteina. Tuotantotunteja tarvitaan, jotta voidaan verrata toteutunutta tuotantoa teoreettiseen tuotantoon. Teoreettisen tuotannon selvittäminen aiheutti päänvaivaa, dataa oli liikaa käsin tehtävään tuotannon simulointiin, ja tuotannonsimulointityökaluihin ei saanut järkevästi ajettua näin suurta määrää dataa. Muutaman pienen otannan (toteutuneet tuotantoajat 21 tuntia ja 41 tuntia) käsin simuloinnin seurauksena saatiin teoreettiset tavoiteajat, jotka pyrittäisiin toistamaan laskennallisesti.

Lämpökäsittelylinjastoilla päästöuunit luovat pullonkaulan linjastolle, koska päästöaikojen on toteuduttava tarkasti ohjeistuksen mukaan. Karkaisu-uuneissa ohjeistuksien toteutuminen ei ole niin tarkkaa. Teräksien on kuitenkin saavutettava läpikotaisin karkaisu-uunien lämpötila, jotta jäähdytysvaiheessa ne karkaistuvat. Liian kylmäksi jääneet teräkset eivät karkaistu, kun ne upotetaan jäähdytysaltaaseen. Teräkseen voi syntyä hiilikatoa karkaisu-uunien lämpötilassa, mutta tämä vaatii huomattavan pitkän ylimääräisen pitoajan. Näin suuria yliaikoja ei karkaisu-uuneissa synny.

Päästöuunien pitoaika on taas teräksen ominaisuuksille paljon kriittisempi, koska liian lyhyt päästöaika jättää teräksen liian kovaksi ja liian pitkä päästöaika pehmittää terästä liikaa. Tällöin laskennan on lähdettävä siitä, että päästöajat ovat tuotantoa ohjaava parametri. Tämä ei tietysti päde normalisoitavissa teräksissä, koska ne menevät vain karkaisu-uunien lävitse. Normalisoitavissa teräksissä on otettava karkaisuaika ohjaavaksi parametriksi.

Teoreettisen tuotantoajan laskenta oli luultua yksinkertaisempaa. Jokaiselle tilausriville laskettiin teoreettinen tuotantoaika siten, että katsottiin ensin, onko karkaisu- vai päästöaika

ohjaava parametri. Tämän jälkeen tilausrivin karkaisu- tai päästöaika jaettiin sen lämpökäsittelylinjaston karkaisu- tai päästöuunien lukumäärällä, jolloin saatiin laskettua tahtiaika kyseiselle tilausriville. Tahtiaika on teoreettinen läpimenoaika yhdelle lautalle. Tämä siitä syystä, että vaikka yksi lautta viipyy käytännön tuotannossa pitempää se ei kuitenkaan vie, kun yhden paikan tuotannosta. Voidaan ajatella, että esimerkiksi lämpökäsittelylinjastolla B päästöuunien teoreettinen käyttöaika tunnissa on 60 minuuttia kertaa päästöuunien lukumäärä eli viisi. Tällöin tuotantoaikaa on joka tunti käytössä 300 minuuttia. Tahtiaika on kerrottava tilausrivin lauttamäärällä, jolloin saadaan teoreettinen läpimenoaika koko tilausriville. Tilausriveillä, jossa lautat menevät myös päästöuunien lävitse on teoreettiseen läpimenoaikaan lisättävä viisi minuuttia per lautta, koska tämä aika menee siirtopöydällä, kun se tyhjentää ja täyttää päästöuunin. Taulukossa 8. on esitelty teoreettisen läpimenoajan laskennan perusteita lämpökäsittelylinjastolla B silloin kun teräkset menevät myös päästöuunien lävitse.

Taulukko 8. Teoreettisen läpimenoajan laskentaa.

Tilauksen lauttamäärä	Päästöaika (min)	Teoreettinen läpimenoaika(min)
1	100	(100/5)*1+5=25
2	100	(100/5)*2+2*5=50
5	100	(100/5)*5+5*5=125

Käsin tehdyt simuloinnit tukivat laskentaa osumalla lähes samaan lopputulokseen kuin laskenta. Laskentaa voidaan siis pitää tarpeeksi tarkkana tutkimuksessa käytettäväksi. Tilausrivien teoreettisten läpimenoaikojen yhteen laskemisella saatiin teoria-aika, jossa sen vuoden tuotanto olisi voitu teoriassa ajaa. Taulukossa 9. on esitetty vuosittaiset toteutuneet läpimenot ja teoreettiset läpimenot lämpökäsittelylinjastolla A.

Taulukko 9. Vuosittaiset toteutuneet läpimenoajat ja teoreettiset läpimenoajat lämpökäsittelylinjastolla A.

Vuosi	2019	2020	2021
Toteutunut työaika	6912 h	5088 h	6456 h
Teoreettinen työaika	5421 h	4462 h	6242 h
Toteutunut läpimeno	3165 kg/h	3220 kg/h	2907 kg/h
Teoreettinen läpimeno	3330 kg/h	3488 kg/h	3289 kg/h
Läpimenojen prosentuaalinen erotus	4,9 %	7,7 %	11,6 %

Teoreettinen työaika ja läpimenoaika on laskettu käyttäen toteutuneita lauttamääriä. Ero toteutuneen ja teoreettisen laskennan välillä syntyy siitä, että teoreettisessa laskennassa uunien käyttöaste olisi huomattavasti suurempi kuin toteutuneessa tuotannossa. Teoreettisessa laskennassa on kuitenkin vaikea ottaa kaikki hukat huomioon, joten laskennassa päädyttiin käyttämään 0,95 kerrointa. Tämän viiden prosentin arvioitiin riittävän kattamaan esimerkiksi eri tilausrivien lämpötilamuutoksien odotusajat. Samaa 0,95 kerrointa käytettiin kaikissa työn teoreettisten läpimenojen laskennassa. Taulukosta on nähtävissä, että toteutuneessa ja teoreettisessa läpimenossa on suuri eroavaisuus jokaisena vuotena ja vuosittain tilanne on mennyt vain pahempaan suuntaan. Taulukossa 10. on esitetty samat tunnusluvut lämpökäsittelylinjastolta B.

Taulukko 10. Vuosittaiset toteutuneet läpimenoajat ja teoreettiset läpimenoajat lämpökäsittelylinjastolla B.

Vuosi	2019	2020	2021
Toteutunut työaika	7296 h	7104 h	7968 h
Teoreettinen työaika	5487 h	4932 h	5479 h
Toteutunut läpimeno	2838 kg/h	2654 kg/h	2690 kg/h
Teoreettinen läpimeno	3584 kg/h	3632 kg/h	3716 kg/h
Läpimenojen prosentuaalinen erotus	20,8 %	26,9 %	27,6 %

Lämpökäsittelylinjastolla B läpimenojen prosentuaaliset erot ovat selkeästi suurempia kuin lämpökäsittelylinjastolla A. Samoin kuin lämpökäsittelylinjaston A kohdalla on lämpökäsittelylinjastolla B myös viime vuosina toteutuneen ja teoreettisen läpimenon kuilu kasvanut.

Erot lämpökäsittelylinjastojen läpimenossa eli pitkälti käyttöasteessa selittää pitkälti henkilöstön määrä, joka työskentelee lämpökäsittelylinjastolla. Voidaan sanoa, että lämpökäsittelylinjastolla A on noin 1,9 henkilöä koko ajan töissä, kun taas lämpökäsittelylinjastolla B 1,1 henkilöä töissä. Lämpökäsittelylinjastolla työskentelevä operaattori käy täyttämässä lämpökäsittelylinjastolla B syöttöpöydän, jolloin lämpökäsittelylinjaston B operaattorin ei tarvitse huolehtia siitä, mutta muuten hän joutuu tekemään prosessin kaiken.

7.3 Siirtopöytä

Lämpökäsittelylinjastojen layouttien takia nykytilanteessa jokainen päästöuunin tyhjentäminen ja täyttäminen tapahtuu saman siirtopöydän avulla. Tämä tarkoittaa sitä, että päästöuunien maksimikapasiteetista joudutaan vähentämään siirtopöydästä johtuva hukka-aika. Mittauksien mukaan siirtopöydällä kestää noin viisi minuuttia tyhjentää ja täyttää päästöuuni. Tällöin kaikkien paitsi nuorrutusteräksien kohdalla joudutaan tuotantoaikaan lisäämään viisi minuuttia lauttaa kohti. Taulukossa 11. on esitetty siirtopöydästä aiheutuva hukka-aika vuosien 2019, 2020 ja 2021 toteutuneissa tuotannoissa lämpökäsittelylinjastolla A.

Taulukko 11. Siirtopöydästä aiheutuva hukka-aika vuosien 2019, 2020 ja 2021 teoreettisessa tuotannossa lämpökäsittelylinjastolla A.

Vuosi	2019	2020	2021
Teoreettiset lautat	10399	7594	8959
Siirtopöydän aiheuttama hukka	866,6 h	632,9 h	746,6 h

Laskennassa käytettiin teoreettista lauttamäärää. Se kertoo paremmin, kuinka isoksi hukan aiheuttajaksi siirtopöydän viiden minuutin viive aiheutuu vuositasolla parhaimmillaankin. Taulukossa 12. on esitetty samat tunnusluvut lämpökäsittelylinjastolla B.

Taulukko 12. Siirtopöydästä aiheutuva hukka-aika vuosien 2019, 2020 ja 2021 teoreettisessa tuotannossa lämpökäsittelylinjastolla B.

Vuosi	2019	2020	2021
Teoreettiset lautat	8935	8170	8811
Siirtopöydän aiheuttama hukka	744,6 h	680,8 h	734,3 h

Taulukoista on selkeästi nähtävissä, että siirtopöydästä johtuvat odotusajat ovat merkittäviä vuositasolla. Vuositasolla työaikaa on mennyt jopa yli kuukausi siirtopöydän odottelussa. Siirtopöytä muodostuu sitä suuremmaksi pullonkaulaksi, mitä optimaalisemmin lämpökäsittelylinjastojen muut osat toimivat.

7.4 Henkilöstöresurssit lämpökäsittelylinjastolla B

Lämpökäsittelylinjastolla A uunien käyttöasteet ovat paljon korkeammat kuin lämpökäsittelylinjastolla B. Kohdeyritys epäilee, että tämä johtuu siitä, että lämpökäsittelylinjastolla B ei henkilöstöresurssit riitä paremman käyttöasteen saavuttamiseksi. Lämpökäsittelylinjaston B operaattori joutuu prosessin ohjaamisen ja seurannan lisäksi hoitamaan laaduntarkistukseen liittyvät työtehtävät ja siirtämään valmiit pyörötangot seuraavaan tuotannon välivarastoon. Operaattori joutuu siis pomppimaan valvomon ja tuotannon välillä. Se, kuinka tiheästi operaattori joutuu käymään tuotannossa, riippuu valmistuvien lauttojen tahtiajasta. Tahtiajat myös määrittelevät kuinka kauan hänellä on aikaa ennen, kun hänen pitäisi olla valvomossa siirtelemässä materiaaleja prosessin seuraaviin vaiheisiin tietokoneella. Haastattelututkimuksien mukaan operaattorilla kestää maksimissaan noin 15 minuuttia, kun hän suorittaa laaduntarkistuksen ja materiaalin siirtämisen välivarastoon. Taulukossa 13. on esitetty vuosittaisia tahtiaikoja.

Taulukko 13. Vuosittaiset tahtiajat.

Vuosi	2019	2020	2021
Tahtiajan painotettu keskiarvo	28,3 min	27 min	28 min
Lyhin tahtiaika	11 min	9 min	11 min
Pisin tahtiaika	50 min	50 min	50 min

Taulukosta on nähtävissä, että lyhimpien tahtiaikojen kohdalla tämänhetkiset henkilöstöresurssit eivät voi riittää siihen, että prosessi pyörisi optimaalisesti. Taulukossa 14. on esitetty eri tahtiaika-alueiden prosentuaaliset jakaumat vuosittain.

Taulukko 14. Tahtiaika-alueiden prosentuaalinen jakauma vuosittain.

Tahtiaika (min)	Vuosi 2019	Vuosi 2020	Vuosi 2021
9–19	3,1 %	4,7 %	4,1 %
20–29	65,9 %	71,0 %	67,7 %
30–39	22,9 %	17,9 %	23,1 %
40–49	7,9 %	6,0 %	5,0 %
50	0,3 %	0,3 %	0,1 %

Tuloksien mukaan vuosittaisesta tuotannosta pitäisi alle viiden prosentin olla sellaista, jonka tuottamiseen tarvittaisiin toinen henkilö työskentelemään. Toinen työntekijä kerkeisi suorittamaan tarvittavat työtehtävät pienemmässä ajassa kuin operaattori, koska hänen ei tarvitsisi kävellä edestakaisin tuotannon ja valvomon välillä. Suurin osa tuotannosta on sellaista, jossa tahtiaika on 20–39 minuuttia. Tämä käsittää 88,8–90,8 % koko tuotannosta. Mitä pitempi tahtiaika on sitä paksumpia pyöröteräkset ovat. Tällöin niiden näytekappaleiden sahaamiseen laaduntarkistuspisteellä kuluu pitempi aika, mutta tämä aika kompensoituu tahtiajassa. Ajanhallintaongelmia voi tulla tuotannon vaiheissa, kun tilaukset menevät paksummasta halkaisijasta ohuemmalla halkaisijalla olevaan pyöröteräkseen. Tällöin edellisen tilausrivin paksuja pyöröteräksiä joudutaan sahaamaan pidempään, mutta pidemmän tahtiajan kompensaatioetu menetetään.

7.5 Henkilöstön tehokkuuden hajonta

Nykytilanteessa työntekijöiden tehokkuudessa oli visuaalisesti havaittavia eroavaisuuksia. Tämä ei tietysti ole mitenkään ennenkuulumatonta, jokainen henkilö luo omat työtavat ja työtemponsa. Hajontaa kuitenkin varmasti lisää entisestään se, että linjastolla ei ole vankkoja yhtenäisiä ohjeistuksia vaan jokaisen työntekijän omat mieltymykset vaikuttavat työn tuottavuuteen. Ihmisluonteeseen kuuluu se, että tulemme herkästi sokeaksi omalla tekemisellemme ja rutiinit luotuamme haluamme pitää niistä kiinni. Tällöin todellisuudessa epätehokas toiminta tuntuu mukavalta ja sitä on vaikea katsoa kriittisesti. Linjastolla ei työn tehokkuuden hajonnat johdu esimerkiksi työntekijöiden fyysisten ominaisuuksien eroavaisuuksista, koska työ ei ole itsessään fyysisesti raskasta. Fyysisiä työtehtäviä on ketjujen asettelu taakkoja nostellessa. Tällöin voimme sanoa, että hajonta johtuu enemmänkin työtavoista tai lauttakokojen ohjeistuksen erilaisesta noudattamisesta kuin mistään muusta.

Kohdeyrityksen tietojärjestelmistä pystytään katsomaan tilausriveittäin ketkä operaattorit ovat merkanneet tilausrivin valmiiksi. Samalla tilausrivillä voi olla useampi henkilö töissä. Tämä tilanne tapahtuu varsinkin vuoronvaihtojen yhteydessä. Tämä ei ole ongelma, koska tutkimuksen ideana ei ole saada tarkkoja henkilöstön tehokkuuksia vaan osoittaa, että työtapojen eroavaisuudet muodostavat huomattavaa hajontaa tuottavuudessa. Tuottavuuseroavaisuuksia mihin työntekijä ei voi vaikuttaa voisi tulla myös siitä minkälaisia tilausrivejä hänelle on osunut. Pienemmän halkaisijan tavaralla ei saada yhtä suurta painomääräistä läpimenoa kuin paksumman halkaisijan tuotteilla. Tutkimuksen otantana on käytetty koko vuoden tuotantoa, joten tämän muuttujan vaikutus ei pitäisi olla suuri. Työntekijöiden tehokkuuden eroavaisuuksia ei voinut vertailla lämpökäsittelylinjastolla A, koska jokaisella tilausrivillä oli kaksi työntekijää kirjautuneena koko ajan. Tästä syystä vain lämpökäsittelylinjaston B dataa käytiin lävitse. Työntekijät on nimetty arpomalla anonyymiyden suojelemiseksi. Eri vuosien tarkastelussa on käytetty samalle työntekijälle samaa nimeä eli yksilöllistä numeroa. Taulukossa 15. on esitetty työntekijöiden tuottavuus tn/h-mittarin avulla vuoden 2019 tuotannossa lämpökäsittelylinjastolla B.

Taulukko 15. Työntekijöiden tehokkuus tn/h-mittarilla lämpökäsittelylinjastolla B vuonna 2019.

Nimi	tn/h
Työntekijä 16	2,80
Työntekijä 14	2,75
Työntekijä 11	2,70
Työntekijä 5	2,67
Työntekijä 4	2,60
Työntekijä 1	2,59
Työntekijä 7	2,52
Työntekijä 13	2,47
Työntekijä 10	2,45
Työntekijä 6	2,30
Työntekijä 2	2,11

Taulukosta on nähtävissä, että tehokkaimman ja epätehokkaimman työntekijän välillä on 24,6 % ero. Taulukossa 16. on vuoden 2020 vastaavat tunnusluvut.

Taulukko 16. Työntekijöiden tehokkuus tn/h-mittarilla lämpökäsittelylinjastolla B vuonna 2020.

Nimi	tn/h
Työntekijä 11	2,99
Työntekijä 9	2,96
Työntekijä 14	2,90
Työntekijä 4	2,86
Työntekijä 5	2,81
Työntekijä 12	2,78
Työntekijä 15	2,62
Työntekijä 6	2,60
Työntekijä 10	2,58
Työntekijä 2	2,55
Työntekijä 16	2,50
Työntekijä 1	2,47
Työntekijä 7	2,43
Työntekijä 3	2,28
Työntekijä 13	2,18

Vuotena 2020 tehokkaimman ja epätehokkaimman työntekijän välillä oli 27,1 % ero. Taulukossa 17. on samat tunnusluvat vuodelta 2021.

Taulukko 17. Työntekijöiden tehokkuus tn/h-mittarilla lämpökäsittelylinjastolla B vuonna 2021.

Nimi	tn/h
Työntekijä 5	2,89
Työntekijä 12	2,74
Työntekijä 1	2,70
Työntekijä 11	2,67
Työntekijä 14	2,64
Työntekijä 4	2,61
Työntekijä 8	2,55
Työntekijä 15	2,55
Työntekijä 9	2,53
Työntekijä 16	2,52
Työntekijä 10	2,49
Työntekijä 6	2,42
Työntekijä 2	2,40
Työntekijä 13	2,38
Työntekijä 7	2,37
Työntekijä 3	2,36

Vuotena 2021 tehokkaimman ja epätehokkaimman työntekijän välillä oli 18,3 % ero. Tutkimus osoittaa, että esimerkiksi työntekijä 14 on jokaisena vuotena saanut enemmän läpimenoa kuin henkilöstö keskimäärin ja toisaalta työntekijä 2 on suoriutunut keskimääräistä huonommin joka vuosi.

Lämpökäsittelylinjastolla B voitiin toteutuneesta tuotantodatasta poimia myös läpimenot tilausriveille, joissa oli kaksi henkilöä töissä. Taulukossa 18. on esitelty vuosittaiset keskimääräiset läpimenot yhdellä ja kahdella henkilöllä.

Taulukko 18. Vuosittaiset läpimenot keskimäärin yhdellä ja kahdella henkilöllä lämpökäsittelylinjastolla B.

Vuosi	2019	2020	2021
Yksi henkilö	2,54 tn/h	2,63 tn/h	2,55 tn/h
Kaksi henkilöä	3,20 tn/h	2,88 tn/h	3,18 tn/h
Prosentuaalinen erotus	20,6 %	8,7 %	19,8 %

Taulukosta on nähtävissä se, että kahdella henkilöllä läpimenoa saadaan kasvatettua, vaikka työtapoihin tai -ohjeistuksiin ei puututa. Otantavuosien läpimenojen eroavaisuuksiin on vaikuttanut osaksi tuotemixien eroavaisuudet vuosien välillä. Hajonnat eivät ole yksinomaan työntekijöiden vika. Samat hajonnan eroavaisuudet ovat varmasti myös lämpökäsittelylinjastolla A, koska samat työntekijät työskentelevät kummallakin lämpökäsittelylinjastolla. Hajonta on tuskin yhtä voimakasta, koska henkilöstöresurssit ovat siellä melkein kaksinkertaiset. Linjastolta puuttuvat yhteneväiset ohjeistukset, joiden suunnittelu ja valvonta on esimiesten vastuulla. Hajonta kuitenkin osoittaa sen, että asiaan kannattaa paneutua, koska hajonnat ovat sen verran merkittäviä.

7.6 Työntekijöiden haastattelut

Työntekijöiden haastattelut suoritettiin strukturoimattomana haastatteluna työntekijöiden töiden ohessa. Haastattelut suoritettiin kvantitatiivisen tutkimuksen jälkeen, jotta haastattelija pystyisi paremmin kyselemään ja tarvittaessa haastamaan nykyisiä toimintatapoja. Haastatteluiden tulokset puolsivat pitkälti kvantitatiivisia tutkimuksia. Työntekijöiden mukaan, vaikka periaatteessa yhden henkilön pitäisi riittää lämpökäsittelylinjastolla B niin käytännössä tämä on mahdotonta, koska kiireen lisääntyessä virheiden määrä kasvaa. Työntekijöiden mukaan 30 mm ja alle halkaisijoiden kahden kerroksen ajamisessa ohjeistuksen noudattaminen on vaikeaa, koska niin suurten kappalemääräisten lauttojen tekeminen on vaikeaa ja hidasta. Toimihenkilöpuolen haastatteluissa kaava noudatteli samaa kuin työntekijöiden haastatteluissa. Samoja ongelmakohtia nähtiin ja suurimmaksi ongelmaksi nostettiin henkilöstöresurssien puuttuminen lämpökäsittelylinjastolla B.

8 KEHITYSEHDOTUKSET

Tutkimuksen nykytila-analyysissä kartoitettiin lämpökäsittelylinjaston toimintaa suorituskykymittareiden avulla. Tässä kappaleessa läpikäydään näiden suorituskykymittareiden kertomaa tilannetta ja ideoidaan kehitysehdotuksia, joilla näitä suorituskyvyn osa-alueita voisi parantaa.

8.1 Ylimääräisten lauttojen poiskitkeminen ja lauttakokojen tarkastelu

Ylimääräisten lauttojen poiskitkeminen toisi huomattavan hukan säästön kummallekin lämpökäsittelylinjastolle. Nykytilanteessa suurimmat ongelmat aiheutuivat lautoilla, joissa pyörötankoja olisi pitänyt ajaa kahdessa kerroksessa. Ongelman korjaamiseksi voitaisiin ottaa käyttöön esimerkiksi liitteen 1. Excel-laskentapohja. Tämän tyylisen yksinkertaisen työkalun avulla työntekijät pääsisivät paperitaulukosta eroon. Tässä laskentapohjassa työntekijä voi merkata pyörötangon halkaisijan ja saa selville mikä on maksimi lauttakoko. Nuorrutukseen tulevien teräksien kohdalla täytyy painoraja muuttaa 750 kg/m. Liitteen työkalua parempi vaihtoehto olisi merkitä tuotannon hienosuunnitteluun lauttakoko valmiiksi.

Työntekijöiden ja toimihenkilöiden haastatteluissa tuli ilmi, että lämpökäsittelylinjastolle tulevat pyöröteräkset ovat monesti vääntyneitä. Tämä ongelma on yleisempi ohuempien pyörötankojen kohdalla. Tämä aiheuttaa ongelmia lämpökäsittelylinjastolla lauttojen tekemisessä. Vääntyneet pyörötangot vievät enemmän tilaa kuin niiden halkaisija on. Ongelman ratkaisemiseksi lämpökäsittelylinjastot eivät voi tehdä mitään, mutta näiden vaikutus on negatiivinen lämpökäsittelylinjastojen tuottavuuteen.

Kehitysehdotuksena esitetään lämpökäsittelylinjastoille sitä, että työntekijöiden vaaditaan lauttakokojen ohjeistuksen noudattamista tarkemmin, jotta ylimääräisiä lauttoja ei tulisi. Tapauksissa, joissa lauttoja tulee enemmän kuin ohjeistuksen mukaan on tämä perusteltava, miksi näin kävi. Tällöin aina, kun ohjeistukset eivät toteudu voidaan siihen reagoida ja etsiä

syitä, miten estää jatkossa ylimääräisten lauttojen syntymisen. Tapauksissa, joissa lauttoja tuli enemmän kuin piti tilausriville sen takia, että pyörötangot eivät olleet suoria on tämä raportoitava tietojärjestelmään ja/tai esimiehelle. Tämä tieto olisi suuremman kokonaisuuden kannalta tärkeä. Huomattaessa, että lämpökäsittelylinjastoilla syntyy huomattavaa hukkaa sen takia, että aikaisempi tuotanto tekee huonoa jälkeä, voisi kohdeyritys pohtia kannattaako aikaisempia prosesseja tarkastella kriittisesti.

Tilausriveittäin pyörötankojen kappalemäärä on yleensä sellainen, ettei siitä synny tiettyä määrää täysiä lauttoja. Sen takia kannattaa laskea ensiksi tilausrivin pyörötankojen kappalemäärän perusteella ensiksi monta lauttaa tilausriville on tehtävä. Tämän jälkeen tilausrivin pyörötankojen kappalemäärä jaetaan lauttamäärällä. Tämä työohjeistus vähentäisi vääntyneiden pyörötankojen vaikutusta ylimääräisten lauttojen syntymiseen ja lisäksi helpottaisi kahden kerroksen ajojen lauttojen tekemistä, koska tämän ohjeistuksen avulla lautat eivät olisi yleensä teoreettisen maksimimäärän kokoisia vaan hieman pienempiä. Suuremmilla halkaisijoilla ohjeistus ei muuttaisi todennäköisesti mitään, mutta juuri ongelmahalkaisijoilla eli pienemmillä halkaisijoilla saataisiin ilmainen hyöty.

Kohdeyritys tietää sen, että lämpökäsittelylinjastolla B päästöuunien sallittuun maksimikuormitukseen vaikuttaa päästölämpötila. Tätä tietoa ei kuitenkaan olla otettu käytäntöön tuotannon puolella. Lämpökäsittelylinjastolla A samanlaista tilannetta ei ole. Taulukossa 19. on esitetty päästölämpötilan vaikutus maksimikuormitukseen lämpökäsittelylinjastolla B.

Taulukko 19. Päästölämpötilan vaikutus päästöuunin maksimikuormitukseen lämpökäsittelylinjastolla B.

Päästölämpötila (°C)	kg/m
0–595	750
596–625	726
626–655	650
656–685	590
686–715	545
716–750	513

Ottaen nämä muuttujat huomioon voidaan lauttakokoja kasvattaa, jolloin läpimeno parantuisi. Taulukossa 20. on esitetty päästölämpötilan huomioon ottamisen vaikutus vuosittaisiin lauttamääriin.

Taulukko 20. Vuosittaiset lauttamäärät päästölämpötila huomioon ottaen lämpökäsittelylinjastolla B.

Vuosi	2019	2020	2021
Teoreettinen lauttamäärä	9692	8901	9683
Teoreettinen lauttamäärä päästölämpötila huomioon ottaen	8693	8372	8798
Erotus prosentteina	10,3 %	5,9 %	9,1 %

Kuten taulukosta tulee esille päästölämpötilojen vaikutuksen huomioon ottaminen maksimikuormituksessa, olisi suuri parannus nykytilanteeseen. Päästölämpötilojen huomioon ottamisella voitaisiin vuosittaisia lauttamääriä leikata 5,9–10,3 %.

Nykytilanteessa ohjeistuksen käyttöönottoon liittyy muutama ongelma ja/tai selvitettävä asia. Lämpökäsittelylinjaston B jäähdytysaltaan nostokyvykkyys ei ole täysin tiedossa. Kohdeyritys tietää sen, että jäähdytysaltaan nostopöydän neljän sylinterin nostoteho on yhteensä 40 tonnia. Tilanteessa, jossa päästölämpötila mahdollistaisi päästöuuneissa 750 kg/m kuormituksen tarkoittaisi sitä, että lautan kokonaispaino olisi maksimissaan noin 4650 kg. Tällöin jäähdytysaltaan nostopöydän oma paino ei saisi olla yli 35 tonnia. Siirtopöydän oman painon varmistaminen kannattaa suorittaa asiantuntevalla suunnittelijalla. Siirtopöydästä löytyy piirustukset, joiden avulla pöydän painon laskenta ei ole varmasti iso työ osaavalle henkilölle. Toinen ongelma, joka nousi toimihenkilöiden haastatteluissa esille, oli huoli siitä, että lauttojen massan noustessa jopa 50 % riittääkö nykyisten jäähdytysaltaiden sammutusteho siihen, että teräkset karkaistuvat kunnolla. Tämän selvittämiseksi ei todennäköisesti ole muuta vaihtoehtoa kuin empiirinen tutkimus.

Lisäkehitysidea, joka ei liity yksinomaan tuotantoon on lauttakokojen huomioon ottaminen kohdeyrityksen myynnin puolella. Lämpökäsittelylinjastojen tuotantokustannukset ovat samat riippumatta siitä, onko lautassa yksi tai useampi pyöröteräs. Tästä syystä tilauserien pyöröteräksien kappalemäärät kannattaisi mitoittaa siten, että siitä tulisi jokin lauttamäärä täysiä lauttakokoja. Tilauserien kokoon ei kuitenkaan kohdeyritys voi suoraan vaikuttaa, koska tilauserien koot tulevat asiakkaalta. Tästä päästään kuitenkin siihen, että samaa lauttakokolaskentaa voisi käyttää myös kohdeyrityksen myynnin puolella. Kohdeyritys voisi hinnoitella tuotteensa siten, että myyntimäärässä otettaisiin huomioon lauttojen määrä. Tilanteessa, jossa tilauksen lauttaan jäisi ylimääräistä tilaa voitaisiin asiakkaalle yrittää myydä isompaa määrää, jotta lautta saataisiin täyteen. Tämän voisi toteuttaa esimerkiksi antamalla asiakkaalle kaksi tarjousta, jossa toisessa olisi heidän haluamansa määrä tietyllä hinnalla. Toisessa tarjouksessa olisi määrä, jossa lautat tulisi täyteen. Tässä toisessa tarjouksessa pyörötankojen yksikköhinta olisi hieman pienempi, kun ensimmäisessä tarjouksessa. Käytännössä tämä idea toimisi paremmin paksumpien halkaisijoiden kuin pienempien halkaisijoiden kanssa sillä pienemmillä halkaisijoilla teoreettisten maksimilauttakokojen tekeminen on haastavampaa kuin paksummilla halkaisijoilla.

8.2 Tuotantoaika ja painomääräinen läpimeno

Tuotantoajan minimoimisen ja tätä kautta painomääräisen läpimenon kasvattamiseksi on kaksi asiaa korjattava:

1. Työskentelytavat
2. Lauttakoot

Nämä samat ongelmat toistuvat kummallakin lämpökäsittelylinjastolla. Työskentelytapojen muuttaminen pitäisi lähteä siitä, että uunien käyttöaste maksimoidaan ja lauttakokojen ohjeistuksia noudatetaan tarkemmin ja niiden ohjeistuksien toteutumista seurataan toimihenkilöiden puolelta. Kenttämiehen täytyy pitää syöttöpöydät aina täynnä. Karkaisu-uuneihin on tällöin aina valmiina lautta menossa, kun sitä tarvitaan.

Karkaisu-uuneihin voidaan halutessaan käytännössä aina laittaa lautta sisään, kun se vain mahtuu sinne. Karkaisu-uuneissa lautat voivat viettää pidemmän ajan, kun on ohjeistettu. Teräksen metallurgisille ominaisuuksille ei käytännössä tapahdu mitään, vaikka ne ovatkin haluttua pitempään karkaisu-uuneissa. Todella pitkät karkaisuajat voivat aiheuttaa teräksen pintaan hiilikatoa ja synnyttää hilsettä, mutta tämä vaatii niin kauan aikaa, että sen tapahtuminen ei ole mahdollista kuin häiriötilanteissa. Taulukossa 21. on esitelty läpimenoja mihin päästäisiin eri parannuksilla lämpökäsittelylinjastolla A.

Taulukko 21. Eri parannuksien vaikutukset läpimenoon lämpökäsittelylinjastolla A.

Vuosi	2019	2020	2021
Toteutunut läpimeno	3165 kg/h	3220 kg/h	2907 kg/h
Teoreettinen läpimeno toteutuneilla lautoilla	3330 kg/h	3487 kg/h	3289 kg/h
Teoreettinen läpimeno ilman ylimääräisiä lauttoja	3916 kg/h	4078 kg/h	3938 kg/h
Prosentuaalinen parannus toteutuneen ja parhaimman teoreettisen läpimenon välillä	19,2 %	21,0 %	26,2 %

Teoriassa lämpökäsittelylinjastolla A voitaisiin nostaa huomattavasti läpimenoa. Se vaatisi lauttakoko-ohjeistuksien parempaa noudattamista, jos uunien käyttöaste pysyy samalla tasolla kuin vuotena 2021. Taulukossa 22. on esitelty lämpökäsittelylinjaston B vastaavat tunnusluvut eri parannuksien avulla.

Taulukko 22. Eri parannuksien vaikutus läpimenoon lämpökäsittelylinjastolla B.

Vuosi	2019	2020	2021
Toteutunut läpimeno	2793 kg/h	2544 kg/h	2892 kg/h
Teoreettinen läpimeno toteutuneilla lautoilla	3773 kg/h	3823 kg/h	3912 kg/h
Teoreettinen läpimeno ilman ylimääräisiä lauttoja	3902 kg/h	4153 kg/h	4130 kg/h
Prosentuaalinen parannus toteutuneen ja parhaimman teoreettisen läpimenon välillä	28,4 %	38,7 %	30,0 %

Lämpökäsittelylinjastolla B toisin kuin lämpökäsittelylinjastolla A suurin tuotannollinen ongelma on uunien käyttöaste, mutta myös ohjeistettujen lauttakokojen toteutuminen toisi lisäarvoa.

Lämpökäsittelylinjaston B kohdalla toteutuneesta tuotantodatasta oli havaittavissa, että välillä työntekijät olivat kuormittaneet päästöuuneja 550 kg/m eli ohjeistusta enemmän. Voidaan siis olettaa, että koko lämpökäsittelylinjaston kyvykkyys riittää ainakin tähän kuormitukseen, vaikka kohdeyrityksen tietojen mukaan päästöuuneja ei voisi korkeissa lämpötiloissa kuormittaa kuin 500 kg/m. Taulukossa 23. on esitetty läpimenot, joihin päästäisiin sillä, että maksimikuormitusta vaihdeltaisiin päästölämpötilan mukaan tai, että muutettaisiin tämänhetkinen 500 kg/m ohjeistus 550 kg/m. Prosentuaalisessa läpimenon kasvu-sarakkeessa ollaan vertailtu saman vuoden eri vaihtoehtojen prosentuaalista tuotannon läpimenon kasvattamista edelliseen vaihtoehtoon.

Taulukko 23. Lämpökäsittelylinjaston B läpimenot ottaen huomioon päästölämpötilat tai nostaen maksimikuormituksen 550 kg/m.

Vuosi	2019	Prosentuaalinen läpimenon kasvu	2020	Prosentuaalinen läpimenon kasvu	2021	Prosentuaalinen läpimenon kasvu
Nykyisten ohjeistuksien noudattaminen	3902 kg/h		4153 kg/h		4130 kg/h	
Ohjeistuksen muuttaminen 550 kg/h	4143 kg/h	5,8 %	4362 kg/h	4,8 %	4352 kg/h	5,1 %
Päästölämpötilan huomioonotto	4399 kg/h	5,8 %	4490 kg/h	2,9 %	4618 kg/h	5,8 %

Kuten taulukosta huomataan nostamalla maksimikuormitusta 50 kg/m saataisiin huomattava etu nykytilanteeseen verrattuna. Päästölämpötilan huomioonottamisella päästäisiin vielä parempiin tuloksiin. Ongelmaksi kuitenkin muodostuu se, että jäähdytysaltaan nostopöydän nostotehosta ei ole varmuutta ja lisäksi jäähdytysaltaiden jäähdytysteho on kysymysmerkki paljon suuremmilla massoilla. Lauttoja, jotka ovat 550 kg/m on jo mennyt lämpökäsittelylinjaston B lävitse eli täten se kestää ne ja jäähdytysaltaiden teho riittää tähän massaan. On siis suositeltavaa, että lämpökäsittelylinjaston B maksimikuormitus nostetaan 550 kg/m.

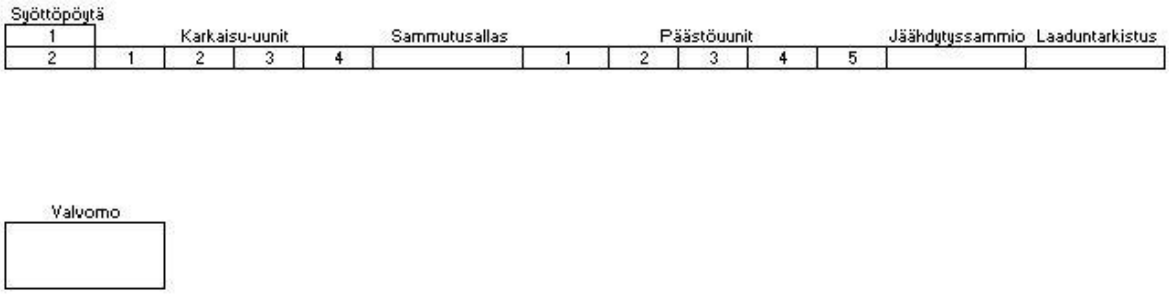
Nykyiset tilausrivien karkaisuajat ovat johdettu suoraan päästöajoista. Tuotannonsuunnittelun simuloinnin seurauksena huomattiin, että lyhentämällä karkaisuaikaa sammutusajan verran otannan kokonaisläpimenoaika tippui 14,1 %. Jokaisella tilausrivillä ei kuitenkaan pystytä karkaisuajasta ottamaan aina sammutusaikaa pois, koska tällöin ei karkaisuaika riittäisi. Karkaisuajat kannattaisi silti läpikäydä ja mahdollisuuksien mukaan lyhentää niitä, koska simuloinnin mukaan jokainen karkaisuajoista poisotettu turha minuutti on kotiinpäin.

8.3 Siirtopöytä

Samalla siirtopöydällä joudutaan tyhjentämään päästöuuni ennen, kun päästöuuni voidaan täyttää. Tästä aiheutuu jokaisessa vaihdossa noin viiden minuutin odotusaika. Tästä ongelmasta ei päästä eroon ilman layoutin muuttamista. Layoutin muuttaminen on suuri kertainvestointi, jossa tuotanto joudutaan lakkauttamaan muuntotöiden ajaksi. Siirtopöytää ei voi liikuttaa nopeammin kuin se liikkuu tällä hetkellä. Siirtopöydän aiheuttamaan hukka-aikaan on mahdotonta vaikuttaa muuten kuin muuttamalla lämpökäsittelylinjastojen layoutia. Toimivin layout muutos olisi asetella koko linjasto yhdeksi putkeksi, kuten karkaisu-uunit ovat nykytilanteessa. Tällöin päästäisiin eroon siirtopöydän aiheuttamasta hukasta.

Layout muutos olisi huomioitava tuotannonsuunnittelussa siten, että ajettaisiin peräkkäin mahdollisimman isoja määriä saman päästölämpötilan omaavia tilausrivejä. Tämä siitä syystä, että päästöuuneissa joutuisi pitämään samaa lämpötilaa putken alusta loppuun. Karkaisu-uuneissa tämä ei haittaa, koska karkaisulämpötila on kaikille teräksille sama, mutta

päästölämpötila ei. Sama layoutin kehitysehdotus pätee molemmille lämpökäsittelylinjastoille. Layout kehitysidea lämpökäsittelylinjastolle on esitetty kuvassa 9.



Kuva 9. Layoutin kehitysehdotus.

Lähdettäessä tekemään layout muutosta olisi nykyiset päästöuunit on joko korvattava uusilla tai nykyisiin tehtävä huomattavia muutoksia. Tällä hetkellä päästöuuneissa on vain toisessa päässä luukku, joten ne eivät sovellu läpivirtaustyyliseen tuotantoon. Päästöuunien uusiminen mahdollistaisi kuitenkin niiden ostaessa kohdeyrityksen määritellä uusiksi heidän tarpeensa, jotka kohdistuvat päästöuuneihin. Nykyiset päästöuunit ovat kymmeniä vuosia vanhoja ja toimivat maakaasulla. Vallitsevan maailmantilanteen vuoksi maakaasun käytölle kannattaisi löytää vaihtoehtoinen energiamuoto, jonka toimitusvarmuus olisi parempi. Lämpökäsittelylinjastolla B voisi tämän lisäksi ostaa päästöuunit, joiden kyvykkyys oli saman kuin nykytilanteen karkaisu-uuneilla eli 750 kg/m.

Vaihtoehtoisesti kohdeyrityksen kannattaisi myös pohtia tilannetta, jossa investoitaisiin kokonaan uuteen lämpökäsittelylinjastoon. Ajatus, että yhdellä lämpökäsittelylinjastolla pystyttäisiin saavuttamaan sama läpimeno kuin nykytilanteen kahdella lämpökäsittelylinjastolla tuskin on absurdi. Uudella lämpökäsittelylinjastolla voisi linjaston kyvykkyyttä nostaa siten, että sen lauttakoon kumpikin reunaehto lisääntyisi huomattavasti, jäähdytysaltaiden jäähdytysteho nousisi tukemaan tätä massan lisääntymistä ja laaduntarkistuspistettä voisi automatisoida tukemaan lisääntynyttä tuotantoa. Lisäksi itse uunien lukumäärää voisi kasvattaa, jolloin useampi lautta mahtuisi kerralla tuotantoon. Tällainen kertainvestointi olisi todella suuri, mutta modernisoisi koko lämpökäsittelytuotannon kohdeyrityksessä kertaheitolla. In-

vestoinnin takaisinmaksuaikaa helpottaisi myös se, että nykytilanteessa lämpökäsittelylinjastoille tarvittaisiin neljä työntekijää. Täysin uudella lämpökäsittelylinjastolla riittäisi kaksi työntekijää, joten henkilöstöä voitaisiin leikata ja tätä kautta saada kustannussäästöjä.

8.4 Henkilöstö

Lämpökäsittelylinjaston B uunien käyttöasteen nostamiselle ei ole muuta vaihtoehtoa, kun lisätä henkilöstöresursseja yhdellä kokoaikaisella työntekijällä. Tutkimukset osoittavat sen, että nykytilanteessa, jos lämpökäsittelylinjastolle B asetetaan toinen työntekijä nykyisillä ohjeistuksilla tuottavuus kasvaa jopa 20 %. Tämän lisäksi lämpökäsittelylinjaston A tutkimus osoittaa, että viime vuosina lämpökäsittelylinjaston A käyttöaste on noussut vuosittain ja vuotena 2021 se on saavuttanut erinomaisen tason. Samat työntekijät työskentelevät kummallakin lämpökäsittelylinjastolla, joten ei ole epäilystä, että tarvittavilla henkilöresursseilla sama ei toistuisi lämpökäsittelylinjastolla B.

Vaikka tahtiaikojen perusteella yhden työntekijän pitäisi teoriassa riittää niin käytännössä tämä ei toteudu. Teoria ei ota huomioon inhimillisiä tekijöitä. Työtehtävien paremmalla rytmityksellä voidaan kapasiteettia nostaa hiukan, mutta työn fyysinen ja henkinen rasitus nousee samalla ja voi aiheuttaa henkilöstön uupumista ja tätä kautta sairaslomia tai irtisanoutumisia. Lisäksi kiireen noustessa myös työtapaturmien ja virheiden taajuus voi kasvaa.

Tilanne, jossa henkilöstön määrää ei nosteta, on silti mahdollista nostaa läpimenoa. Työn luonteen vuoksi eli pääsääntöisesti tietokoneella tekemisen seurauksena henkilöstön tehokkuudessa ei pitäisi olla nykyisiä hajontoja lämpökäsittelylinjastolla B. Hajonnan minimoimiseksi ja keskimääräisen tuottavuuden nostamiseksi on lämpökäsittelylinjastolle kehiteltävä yhtenäiset ohjeistukset, joiden jalkauttamista lähiesimiehen täytyy opastaa, olla apuna tarvittaessa ja valvoa. Mahdollisuuksien mukaan on hyvä ottaa työntekijät ja heidän mielipiteensä huomioon ohjeistuksien suunnitteluvaiheessa. Työntekijöiden operatiivisen toiminnan ymmärrystä ei pidä aliarvioida ja heillä voi olla parempi kuva siitä kuin toimihenkilöillä.

Muutosprojektin alussa on huomioitava muutosvastaisuus mitä on todennäköisesti luvassa. Monet työntekijät ovat olleet vuosia samassa työtehtävässä. Heidän rutiininsa tulevat selkärangasta ja näihin puuttuminen voi aiheuttaa epämukavuuden tunnetta, joka ilmaantuu muutosvastaisuutena. Muutosvastaisuutta voidaan lieventää kertomalla työntekijöille, miksi työtavat ohjeistetaan uusiksi ja mitä näillä toimenpiteillä haetaan. Ohjeistuksien jalkauttamisen jälkeen olisi hyvä muodostaa kulttuuri missä työntekijöitä kannustetaan kehitysideoimaa linjaston toiminnan kehittämistä ja näiden kehitysehdotuksien tuomista esimiesten tietoisuuteen.

9 YHTEENVETO

Tutkimuksen tavoitteena oli kartoittaa kohdeyrityksen lämpökäsittelylinjastojen nykytilaa ja ideoida kehitysehdotuksia. Tutkimuksessa saatiin kattava kokonaiskuva lämpökäsittelylinjastojen nykytilasta ja kehitysideoita, joiden avulla kohdeyrityksen on mahdollista nostaa lämpökäsittelylinjastojen läpimenoa. Kohdeyrityksellä oli aavistuksensa, että lämpökäsittelylinjastojen tuottavuus olisi tippunut viime vuosien aikana. Tämän vuoksi tutkittiin viime vuosien tuottavuutta lämpökäsittelylinjastoilla. Tutkimuksessa keskityttiin lämpökäsittelylinjastojen operatiiviseen tuotantoon ja metallurgiset osa-alueet jätettiin pois. Tutkimuksen lähtökohtana oli kahteen tutkimuskysymykseen vastaaminen:

1. Mitkä tekijät vaikuttavat lämpökäsittelylinjastojen tuottavuuteen?
2. Miten lämpökäsittelylinjastoja voidaan tehostaa?

Tutkimuksen teoriaosuudessa tutustuttiin aihealueeseen liittyvään teoriatietoon tieteellisten artikkeleiden ja kirjojen avulla. Teoriatieto tuki lämpökäsittelylinjastojen pilkkomista useampaan eri osa-alueeseen. Tämä helpotti nykytilan tuottavuuden määrittämistä, koska pienempiä osa-alueita oli helpompi hallita ja arvioida. Myös kehitysideat pystyttiin jakamaan usean eri osa-alueen alle, jolloin kohdeyritys voisi luoda priorisointilistan eri osa-alueiden kesken.

Tutkimuksen empiirisessä osuudessa paneuduttiin ensiksi kohdeyrityksen tietojärjestelmistä saatuun toteutuneeseen tuotantodataan. Otannan suuruudeksi valittiin vuodet 2019–2021. Toteutuneen tuotannon datan käsittely muodostui pitkälti suorituskykymittaamiseksi ja tätä kautta lämpökäsittelylinjastojen nykytila-analyysiksi. Toteutuneen tuotantodatan läpikäymisen jälkeen seurattiin tuotannon toimintaa empiirisesti havainnoimalla tuotannon jokapäiväistä työtä lämpökäsittelylinjastoilla. Havainnoimisen yhteydessä pidettiin strukturoimattomat haastattelut, joiden tuomaa tietoa verrattiin datasta saatuun tietoon. Haastatte-

luissa saatiin myös pohtimisen aiheita, joita ei ollut osattu ottaa huomioon datan läpikäynnin yhteydessä. Nämä asiat otettiin huomioon kehitysideoita luodessa esimerkiksi jäähdytysaltaiden jäähdytystehon riittävyys ei mahdollisesti riittäisi lämpökäsittelylinjastolla B siihen, että päästölämpötilojen mahdollistavat metripainot otettaisiin käytäntöön.

Lämpökäsittelylinjastojen tuottavuuteen vaikuttaviksi tekijöiksi määriteltiin tutkimuksessa:

1. Työskentelytavat
2. Lauttakoot
3. Henkilöstöresurssien riittävyys, jotta kohta 1 toteutuu

Tutkimuksessa huomattiin, että kohdeyrityksen epäily lämpökäsittelylinjastojen tuottavuuden tippumisesta viime vuosina oli oikea. Molempien lämpökäsittelylinjastojen uunien käyttöasteet olivat pudonneet edellisiin vuosiin verrattuna. Tämän trendin kääntäminen on välttämätöntä, jos kohdeyritys haluaa säilyttää kilpailukykynsä. Lauttakokojen toteutuminen oli saman tyylistä otannan jokaisena vuonna.

Ylimääräisten lauttojen kitkemiseksi kohdeyrityksen on alettava aktiivisesti seuraamaan toteutuneita lauttoja teoreettisiin lauttamääriin verrattuna. Ylimääräiset lautat on raportoitava aina, jotta ongelman aiheuttajat voidaan tunnistaa. Työohjeistukset on päivitettävä ja mahdollisesti järjestettävä lisäkoulutusta, jotta uusittujen työohjeistuksen jalkautuminen varmistetaan. Lämpökäsittelylinjastoilla on alettava laskemaan ja seuraamaan teoreettisen ja toteutuneen työajan suhdetta. Ilman tätä ei voida mitenkään järkevästi seurata sitä, että saadaanko uunien käyttöastetta nostettua.

Kummallakin lämpökäsittelylinjastolla olisi paljon potentiaalia käytettävissä. Lämpökäsittelylinjastolla A läpimenoa pystyisi nostamaan keskimäärin noin 22 % ja lämpökäsittelylin-

jastolla B keskimäärin noin 32 %. Uusimalla lämpökäsittelylinjastolla painomääräisen reunaehdon mahdollisuuksien mukaan päästään lämpökäsittelylinjastolla B vielä suurempiin läpimenon kasvuihin. Nostamalla reunaehdon kaikilla lautoilla 550 kg/m päästäisiin keskimäärin noin 36 % läpimenon kasvuun ja ottamalla päästölämpötilan huomioon noin 39 % läpimenon kasvu verrattuna toteutuneeseen tuotantoon. Yhteensä lämpökäsittelylinjastoilla pystyisi käsittelemään yli puolet enemmän terästä kuin nykytilanteessa. Vaikka tästä teoreettisesta läpimenosta ei pystyisi valjastamaan kuin puolet, olisi kyseessä silti yli neljänneksen parannus verrattuna toteutuneeseen tuotantoon. Näin suuret läpimenon parannukset todennäköisesti siirtäisivät tuotantolinjan pullonkaulan lämpökäsittelylinjastoista seuraaviin tuotantolinjan koneisiin.

Lämpökäsittelylinjastojen prosessituotannossa voidaan sanoa, että kone tekee työn ja ihminen on palvelemassa koneen työskentelyä. Tästä syystä uuden työntekijän palkkaaminen pudottaisi mahdollisesti tämänhetkisen B-lämpökäsittelylinjaston työntekijän aktiivista työaikaa. Kokonaishyödyt olisivat silti suuremmat kohdeyritykselle lisääntyneen tuottavuuden kautta. Teoreettisten maksimaalisten lauttakokojen toteutumiseen on otettava käytäntö, jossa työntekijöiltä vaaditaan pienin mahdollinen määrä lauttoja. Ylimääräisten lauttojen syntyessä on sen syy selvitettävä ja raportoitava esimiehelle.

Lämpökäsittelylinjastojen kyvykkyys eli kapasiteetti on kaikista suurin rajoittaja. Kohdeyritys voi saada lisättyä tuottavuutta hienosuunnittelun parantamisella, jolloin lämpötilavaihteluista johtuvat odotusajat pienentyvät. Muissa tapauksissa kohdeyritys voi vain pyrkiä nostamaan nettokapasiteettia lähemmäs ja lähemmäs 100 %.

9.1 Jatkotutkimuskohde

Jatkotutkimuskohteena olisi mielenkiintoisa palata jo aikaisemmin työssä mainittuun lämpökäsittelylinjastojen layoutin täysivaltaiseen muutokseen ja sen kannattavuuden arviointiin. Suuret investoinnit varsinkin tilanteessa, jossa taloutta on ensiksi horjuttanut korona-

pandemia ja sen jälkeen heti perään Venäjän hyökkäyssota Ukrainaan, eivät houkuttele yrityksiä suurinvestointeihin. Samaan aikaan kuitenkin, kun sota aiheuttaa epävakaita aikoja, niin se mahdollisesti avaa tilanteen kohdeyritykselle, jossa sen kannattaisi tehdä jotain valtavirrasta poikkeavaa eli tehdä suurinvestointi. Tätä puoltavia asioita ovat se, että sota on aiheuttanut Keski-Euroopan metalliteollisuudelle suuria ongelmia raaka-aineiden saannissa, koska heidän raaka-aineensa ovat tulleet Venäjältä, Valko-Venäjältä ja Ukrainasta.

Kohdeyritys käyttää omassa tuotannossaan kierrätysmetalleja, joten he eivät ole samalla lailla riippuvaisia Venäjän, Valko-Venäjän ja Ukrainan raaka-ainetoimituksista. Nykytilanteen Euroopan unionin talouspakotteet Venäjää ja Valko-Venäjää vastaan eivät todennäköisesti ole lähitulevaisuudessa ole lieventymässä, joten tilanne ei tule muuttumaan niiltä osin hetkeen. Myöskään Ukraina ei tule saamaan omaa teräs- ja kaivosteollisuuttaan pyörimään vielä pitkään aikaan samalle tasolle missä se oli ennen sotaa.

Lähteet

Avoimen tieteen ja tutkimuksen kansallisen koordinaation sihteeristö. 2018. Todennettavuus ja toistettavuus. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 11.4.2022]. Saatavissa: https://avoin-tiede.fi/fi/ajankohtaista/todennettavuus-ja-toistettavuus.

Bayo-Moriones, A. & Bello-Pintado, A. & Merino-Diáz de Cerio, J. 2010. 5S use in manufacturing plants: contextual factors and impact on operating performance. The International journal of quality & reliability management. Vol. 27. s. 217-230. ISSN 0265-671X.

Bernau Jr., A. 2021. Which Major Car Companies Were the Most and Least Profitable in 2020. [verkkoaineisto]. [viitattu 21.3.2022]. Saatavissa: https://alansfactoryoutlet.com/which-major-car-companies-were-the-most-and-least-profitable-in-2020/.

Betterton, C.E. & Silver, S.J. 2012. Detecting bottlenecks in serial production lines – a focus on interdeparture time variance. International Journal of Production Research. Vol. 50, nro. 15, s. 4158-4174. ISSN 0020-7543.

Bozzone, V. 2002. Speed to market: lean manufacturing for job shops. 2. painos. New York: AMACOM. ISBN 0-8144-0694-7.

Bryson, W. 2015. Heat Treatment: master control manual. Munich: Hanser Publishers. ISBN 978-1-56990-485-5.

Chandler, H. 1995. Heat Treater's Guide: Practices and Procedures for Irons and Steels. 2. painos. ASM International. ISBN 978-0-87170-520-4.

Chytas, P. & Glykas, M. & Valiris, G. 2011. A proactive balanced scorecard. International journal of information management. Vol. 31. nro, 5. s. 460-468. ISSN 0268-4012.

Dimitropoulos, P. & Kosmas, I. &Douvis, I. 2017. Implementing the balanced scorecard in a local government sport organization: Evidence from Greece. International journal of productivity and performance management. Vol. 66. s. 362-379. ISSN 1741-0401.

Drira, A. & Pierreval, H. & Hajri-Gabouj, S. 2007. Facility layout problems: A survey. Annual Reviews in Control. Vol. 31. s. 255–267. ISSN 1367-5788.

Eroglu, C. & Hofer, C. 2011. Lean, leaner, too lean? The inventory-performance link revisited. Journal of operations management. Vol. 29. s. 356-369. ISSN 0272-6963.

Franceschini, F. & Galetto, M. & Maisano, D. 2019. Designing Performance Measurement Systems Theory and Practice of Key Performance Indicators. Cham: Springer International Publishing. ISBN 978-3-030-01192-5.

Haverila, M. & Uusi-Rauva, E. & Kouri, I. & Miettinen, A. 2005. Teollisuustalous. 5. painos. Tampere: Infacs Oy. ISBN 951-96765-5-4.

Helmold, M. 2020. Lean Management and Kaizen: Fundamentals from Cases and Examples in Operations and Supply Chain Management. Cham: Springer Nature Switzerland AG. ISBN 978-3-030-46980-1.

Hinckeldeyn, J. & Dekkers, R. & Altfeld, N. & Kreutzfeldt, J. 2014. Expanding bottleneck management from manufacturing to product design and engineering processes. Computers & Industrial Engineering. Vol. 76, s. 415-428. ISSN 0360-8352.

Hirsjärvi, S. & Hurme, H. 2015. Tutkimushaastattelu: teemahaastattelun teoria ja käytäntö. Helsinki: Gaudeamus Helsinki University Press. ISBN 978-952-495-886-8.

Hirsjärvi, S. & Remes, P. & Sajavaara, P. 2009. Tutki ja kirjoita. 15. uudistettu painos. Helsinki: Tammi. ISBN 978-951-31-4836-2.

Homburg C. & Schäfer, H. & Schneider, J. 2012. Sales Excellence: Systematic Sales Management. Berlin: Springer Berlin Heidelberg. ISBN 978-3-642-29168-5.

Hörmann, B. O. & Bizubac, D. & Popa, M. S. 2019. Industrial Intelligent Software Applications of the Overall Equipment Effectiveness (OEE) in Manufacturing. MATEC Web of Conferences. Vol. 299. ISSN 2261-236X.

Isoraite, M. 2008. THE BALANCED SCORECARD METHOD: FROM THEORY TO PRACTICE. Intelektine ekonomika. Vol. 1. s. 18-28. ISSN 1822-8011.

Iwao, S. 2017. Revisiting the existing notion of continuous improvement (Kaizen): literature review and field research of Toyota from a perspective of innovation. Evolutionary and institutional economics review. Vol. 14. s. 29-59. ISSN 1349-4961.

Kaplan, R. S. & Norton, D. P. 1992. The balanced scorecard—measures that drive performance. Harvard business review. Vol. 70. s. 71-79. ISSN 0017-8012.

Kaplan, R. S. & Norton, D. P. 1993. Putting the balanced scorecard to work. Harvard business school. Vol. 761. s. 134-147. ISSN 0017-8012.

Kaplan, R. S. 1984. Yesterday's accounting undermines production. Harvard business review. Vol 62. s. 95-101. ISSN 0017-8012.

Kasperskaya, Y. 2008. IMPLEMENTING THE BALANCED SCORECARD: A COMPARATIVE STUDY OF TWO SPANISH CITY COUNCILS – AN INSTITUTIONAL PERSPECTIVE. Financial accountability & management. Vol. 24. s. 363–384. ISSN 0267-4424.

Khakbaz, S. B. & Hajiheydari, N. 2015. Proposing a basic methodology for developing balanced scorecard by system dynamics approach. Kybernetes. Vol. 44. s. 1049-1066. ISSN 0368-492X.

Kihn, L-A. & Ihantola, E-M. 2015. Approaches to validation and evaluation in qualitative studies of management accounting. Qualitative research in accounting and management. Vol. 12. nro. 3. s. 230-255. ISSN 1176-6093.

Kivivuori, S. 2016. Lämpökäsittelyoppi 2: Lämpökäsittelytietoa suunnittelijoille. Helsinki: Teknologiainfo Teknova Oy. ISBN 978-952-238-154-5.

Kletti, J. 2007. Manufacturing Execution Systems – MES. 7. painos. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. ISBN 978-3-540-49743-1.

Lage Junior, M. & Godinho Filho, M. 2010. Variations of the Kanban system: Literature review and classification. International journal of production economics. Vol. 125. s. 13-21. ISSN 0925-5273.

Laitinen, E. 1998. Yritystoiminnan uudet mittarit. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy. ISBN 952-14-0050-1.

Laitinen, E. 2002. A dynamic performance measurement system: evidence from small Finnish technology companies. Scandinavian journal of management. Vol. 18. s. 65-99. ISSN 0956-5221.

Liker, J. K. 2004. Toyotan tapaan. Jyväskylä: WS Bookwell Oy. ISBN 978-952-220-226-0.

Lönnqvist, A. & Kujansivu, P. & Antikainen, R. 2006. Suorituskyvyn mittaaminen: Tunnusluvut asiantuntijaorganisaation johtamisvälineenä. 2. uudistettu painos. Helsinki: Edita Publishing Oy. ISNB 951-37-4768-9.

Marodin, G. & Frank, A. & Tortorella, G. & Netland, T. 2018. Lean product development and lean manufacturing: Testing moderation effects. International Journal of Production Economics 203. s. 301-310. ISSN 0925-5273.

Martinsuo, M. & Mäkinen, S. & Suomala, P. & Lyjy-Yrjänäinen, J. 2016. Teollisuustalous kehittyvässä liiketoiminnassa. Helsinki: Edita. ISBN 978-951-37-6921-5.

McKay, D. R. & Peters, D. A. 2015. What is Lean? An overview and its emerging role in health care. Plastic surgery. Vol. 23. s. 116–118. ISSN 2292-5503.

Modig, N. & Åhlström, P. 2016. Tätä on lean: ratkaisu tehokkuusparadoksiin. 6. painos. Hamstad: Rheologica Publishing. ISBN 978-91-980393-3-7.

Neely, A. & Bourne, M. 2000. WHY MEASUREMENT INITIATIVES FAIL. Measuring Business Excellence. Vol. 4. s. 3-7. ISSN 1368-3047.

Neely, A. & Gregory, M. & Platts, K. 1995. Performance measurement system design: A literature review and research agenda. International journal of operations & production management. Vol 15. s. 80-116. ISSN 0144-3577.

Pekovic, S. & Rolland, S. 2016. Customer orientation and firm's business performance: A Moderated Mediation Model of Environmental Customer Innovation and Contextual Factors. European journal of marketing. Vol. 50. s. 2162–2191. ISSN 0309-0566.

Randhawa, J. S. & Ahuja, I. S. 2017. 5S – a quality improvement tool for sustainable performance: literature review and directions. The International journal of quality & reliability management. Vol. 34. s. 334-361. ISSN 0265-671X.

Rantanen, H. & Holtari, J. 1999. Yrityksen suorituskyvyn analysointi. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu. ISSN 0784-7688.

Rao, T. V. 2016. Performance management: towards organizational excellence. 2. painos. Thousand Oaks: SAGE Publications. ISBN 978-93-515-0730-7.

Roulston, K. 2006. Close encounters of the 'CA' kind: a review of literature analysing talk in research interviews. Qualitative research*: QR*. Vol. 6. nro. 4. s. 515-534. ISSN 1468-7941.

Sahoo, A. K. & Singh, N. K. & Shankar, R. 2007. Lean philosophy: implementation in a forging company. International journal of advanced manufacturing technology. Vol. 36. s. 451-462. ISSN 0268-3768.

Sendil Kumar, C. & Panneerselvam, R. 2007. Literature review of JIT-KANBAN system. International journal of advanced technology. Vol. 32. s. 393-408. ISSN 0268-3768.

Suárez-Barraza, M. F. & Ramis-Pujol, J. & Kerbache, L. 2011. Thoughts on kaizen and its evolution. International journal of lean six sigma. Vol. 2. nro. 4. s. 288-308. ISSN 2040-4166.

Ukko, J. & Karhu, J. & Pekkola, S. & Rantanen, H. & Tenhunen, J. 2007. Suorituskyky nousuun! Hyödynnä henkilöstösi osaaminen. Helsinki: Työministeriö. ISBN 978-952-490-074-4.

Uusi-Rauva, E. & Haverila, M. & Kouri, I. Miettinen, A. 2003. Teollisuustalous. 4. painos. Tampere: Infacs Johtamistekniikka Oy. ISBN 951-96765-3-8.

Uusi-Rauva, E. 1994. Ohjauksen tunnusluvut ja suoritusten mittaus. Opetusmonisteita 2/94. 2. korjattu painos. ISSN 1236-8687.

White, R. E. & Pearson, R. E. & Wilson, J. R. 1999. JIT Manufacturing: A Survey of Implementations in Small and Large U.S. Manufacturers. Management science. Vol. 45. s. 1-15. ISSN 0025-1909.

Winroth, M. & Almström, P. 2016. Sustainable production indicators at factory level. Journal of manufacturing technology management. Vol. 27. nro. 6. s. 842-873. ISSN 1741-038X.

Wohlers, B. & Dziwok, S. & Pasic, F. & Lipsmeier, A. & Becker, M. 2020. Monitoring and control of production processes based on key performance indicators for mechatronic systems. International journal of production economics. Vol. 220. ISSN 0925-5273.

Xiao, Y. & Xie, Y. & Kulturel-Konak, S. & Konak, A. 2017. A problem evolution with linear programming for the dynamic layout problem – A general layout formulation. Computers & operations research. Vol. 88. s. 187–207. ISSN 0305-0548.

Zhu, L. & Su, H. & Lu, S. & Wang, Y. & Zhang, Q. 2014. Coordinating and Evaluating of Multiple Key Performance Indicators for Manufacturing Equipment: Case Study of Distillation Column. Chinese journal of chemical engineering. Vol. 22. nro. 7. s. 805-811. ISSN 1004-9541.

Liitteet

Liite 1: Excel-laskentataulukko työntekijöille.

			Nuorrutuksessa 750 kg/m						
			Painoraja kg/m			Halkaisijaraja mm			
			500			1100			
Halkaisija	30	mm							
Pituus	6200	mm							
Paino per metri	6	kg							
Paino per tanko	34	kg							
			≥ 30,1 mm						
			Paino 500 kg/m			Leveys 1100 mm			Kpl per lautta
			0	kpl per lautta		0	kpl per lautta		0
			≤ 30 mm						
			Leveys 1100 mm						
			64	kpl per lautta					
			36	kpl alempi rivi		HUOM! Saako ajaa kahdessa kerroksessa?			
			28	kpl ylempi rivi					