



Vaasan yliopisto
UNIVERSITY OF VAASA

Joona Lilja

Hukan vähentäminen lean-menetelmillä muuntajan valmistusprosessissa

School of Technology and Innovations
Pro Gradu-tutkielma
Industrial Engineering and Management

Vaasa 2026

VAASAN YLIOPISTO**School of Technology and Innovations**

Tekijä:	Joona Lilja
Tutkielman nimi:	Hukan vähentäminen lean-menetelmillä muuntajan valmistusprosessissa
Tutkinto:	Kauppätieteiden maisteri
Koulutusohjelma:	Industrial Engineering and Management
Opintosuunta:	Industrial Management
Työn ohjaajat:	Eemeli Nurminen (Hitachi) & Tauno Kekäle (Uwasa)
Valmistumisvuosi:	2026
Sivumäärä:	57

TIIVISTELMÄ:

Tässä pro gradu -tutkielmassa tarkastellaan tuotantolinjan tehokkuutta ja erityisesti hukan syntymistä Hitachi Energy Vaasan muuntajatehtaalla. Fokus on linjan 1 kokoonpano- ja säiliöintivaiheissa, joissa työn sujuvuudella on iso vaikutus koko tuotannon läpimenoaikaan. Työ lähti liikkeelle käytännön tarpeesta ymmärtää paremmin, miksi prosessi välillä tökkii ja mihin aika oikeasti kului.

Tutkimus tehtiin seuraamalla yhtä muuntajaprojektia tuotannossa paikan päällä. Aineisto kerättiin gemba-havainnoinnilla, työvaiheiden kellotuksella sekä kirjaamalla kaikki häiriöt ylös systemaattisesti. Lisäksi käytiin paljon keskusteluja asentajien ja työnjohdon kanssa, mikä auttoi hahmottamaan arjen todellisia ongelmia. Kerättyä dataa analysoitiin erityisesti pareto-analyysin ja arvovirtakuvausten VSM:män avulla.

Tulokset näyttivät aika selvästi, että suurin osa tuottamattomasta ajasta keskittyy muutamaaan keskeiseen ongelmaan. Eniten aikaa kului suunnittelun odottamiseen ja erilaisiin korjaustöihin, jotka johtuivat puutteellisista tai epäselvistä suunnitelmista. Erityisesti sisäiseen johdotukseen liittyvät ongelmat nousivat esiin toistuvasti. Lisäksi ohjeistuksen epäselvyys, tiedon hidas saatavuus ja pienetkin suunnitteluvirheet aiheuttivat yllättävän isoja viiveitä.

Tutkielman perusteella voidaan sanoa, että suurin kehityspotentialiaali ei ole itse tekemisessä, vaan tuotannon ja suunnittelun välisessä yhteistyössä sekä tiedonkulussa. Kun nämä saadaan toimimaan paremmin, vaikutus näkyy suoraan työn sujuvuudessa ja läpimenoajoissa. Tutkimus osoitti myös, että jo pelkkä ongelmien näkyväksi tekeminen auttaa viemään kehitystä eteenpäin käytännössä.

AVAINSANAT: lean-ajattelu, hukka, tuotantoprosessi, arvovirtakuvaus (VSM), gemba

UNIVERSITY OF VAASA**School of Technology and Innovations**

Author:	Joonas Lilja		
Thesis title:	Hukan vähentäminen	lean-menetelmillä	muuntajan valmistusprosessissa
Degree:	Kauppatieteiden maisteri		
Program:	Industrial Engineering and Management		
Field of Study:	Industrial Management		
Thesis Supervisors:	Eemeli Nurminen (Hitachi) & Tauno Kekäle (Uwasa)		
Year of Graduation:	2026	Pages:	57

Abstract:

This master's thesis examines the efficiency of a production line, and particularly the sources of waste at Hitachi Energy's transformer factory in Vaasa. The focus is on the assembly and tanking phases of line 1, where the smooth flow of work has a direct impact on the overall lead time of the production process. The study originated from a very practical need: to better understand why the process occasionally slows down and where the time actually goes.

The empirical part of the research was carried out by following a single transformer project on site. Data collection relied on gemba observations, time measurements of individual work steps, and systematic recording of all disruptions. In addition, numerous informal discussions were held with assemblers and supervisors. These conversations turned out to be valuable, as they helped reveal the everyday challenges that are not always visible in formal documentation. The collected data was then analyzed using pareto analysis and value stream mapping (VSM).

The results point quite clearly to a pattern. A large share of non-value-adding time can be tracked back to handful of recurring issues. The most significant delays were caused by waiting for design-related clarifications and by rework stemming from incomplete or unclear design documentation. Problems related to internal wiring appeared repeatedly throughout the observation period. On top of that, unclear instructions, slow access to information and even relatively small design errors created surprisingly large delays in the workflow.

Based on these findings, it becomes evident that the main development potential does not lie in the execution of the work itself. Instead, it is found at the interface between production and design, especially in communication and information flow. When these aspects function smoothly, the impact is immediately visible in improved workflow and shorter lead times. This study also highlights that simply making problems visible already supports practical improvement efforts.

AVAINSANAT: lean thinking, waste, production process, value stream mapping (VSM), gemba

Sisällys

1	Johdanto	7
1.1	Tutkimuksen tausta	7
1.2	Tutkimuksen tavoitteet ja tutkimus kysymys	8
1.3	Tutkimuksen rakenne, rajaus ja rajoitteet	8
2	Case Company Hitachi Energy Vaasa	10
2.1	Hitachi Energy	10
2.2	Vaasan muuntajatehdas	10
2.3	Muuntajan rakenne ja keskeiset komponentit	12
2.3.1	Sydän	13
2.3.2	Käämit	13
2.3.3	Eristysosat, muuntajaöljy ja puristusosat	13
2.3.4	Kokoonpano	14
2.3.5	Sisäinen johdotus ja kiskotus	14
2.3.6	Kuivaus ja öljyntäyttö	14
2.3.7	Säiliö	15
2.3.8	Paisuntasäiliö	15
2.3.9	Läpiviennit	15
2.4	Mainstream-muuntajat	16
3	Kirjallisuuskatsaus	18
3.1	Johdanto lean-ajatteluun	18
3.1.1	Lean historiaa	19
3.1.2	Lean-periaatteet	20
3.1.3	Lean työkalut ja menetelmät	23
3.1.4	Lean hukat	28
3.2	Laadunhallinnan 7 työkalua	31
4	Linjan 1 tuotantoprosessin nykytilanne	33
5	Metodologia	35

5.1	Tutkimusasetelma, rajaukset ja aiemmat mittaukset	35
5.2	Gemba tutkijan työkaluna	36
5.3	Työvaiheiden systemaattinen kellotus	37
5.4	Häiriöiden kirjaaminen ja Excel-aineisto	37
5.5	Haastattelut ja kokemustiedot keruu	39
5.6	Analyysimenetelmät: VSM ja Pareto	39
5.7	Eettiset ja luottamuksellisuusnäkökulmat	39
5.8	Luotettavuus ja validiteetti	40
6	Analyysi ja tulokset	42
6.1	Häiriö paretot	42
6.2	Häiriöesimerkkejä tuotannosta	44
6.3	VSM	44
6.4	Keskustelut tuotannossa	45
7	Yhteenveto, suositukset ja jatkotutkimusaiheet	47
7.1	Yhteenveto	47
7.2	Suosituks	49
7.3	Jatkotutkimusaiheet	50
	Lähteet	52
	Liitteet	57
	Liite 1. Häiriölogi (salattu excel-tiedosto)	57
	Liite 2. Keskustelut ja kehitysehdotukset (salattu word-tiedosto)	57
	Liite 3. Powerpoint raportti ja analyysi (salattu powerpoint-tiedosto)	57

Kuvat

Kuva 1. Uuden tehtaan rakennustyömaa 10/2025. (Hitachi Energy news & Events, 2025).	11
Kuva 2. Valmiin tehtaan kuvituskuva (Hitachi Energy news & Events, 2025).	12
Kuva 11. VSM current state map (LeanVision)	25
Kuva 12. VSM Future state map (LeanVision)	25
Kuva 13. Gemba-johtamisen talomalli	27
Kuva 14. Lean-tuotannon kahdeksan yleisintä hukkaa (Taher & Al Bashar, 2024).	29
Kuva 15. Esimerkki kuva häiriölogista	38
Kuva 16. Pareto tuottamaton työ minuutteina.	42
Kuva 17. Tuottamaton työ pareto lakisääteiset tauot huomioituna	43
Kuva 18. Pareto tuottamaton työ per päivä	43
Kuva 33. Esimerkkikuva keskusteluista nousseista ongelmista.	46

Taulukot

Taulukko 1. Taulukossa kuvattuna lean-ajattelun viisi periaatetta.	21
--	----

1 Johdanto

Tämä Pro Gradu-tutkielma on toteutettu Hitachi Energy Oy:n toimeksiantona. Tutkimus kohdistuu Vaasan muuntajatehtaan tuotantolinjaan 1, jossa valmistetaan mainstream-käämikytkinmuuntajia. Linjan tuotantoprosessi koostuu useista peräkkäisistä työvaiheista. Prosessin sujuvuudella on suuri vaikutus toimitusvarmuuteen sekä tuotantokapasiteettiin. Kun kuormitus kasvaa ja projektien aikataulut tiukkenevat, pienetkin tehottomuudet hidastavat kokonaisvirtausta. Tästä syystä linjan toimintaa haluttiin tarkastella tarkemmin lean-näkökulmasta.

1.1 Tutkimuksen tausta

Olen työskennellyt Hitachi Energyn Vaasan muuntajatehtaalla Quality Engineer Traineeena kevästä 2025 lähtien. Työskennellessäni Hitachin tehdasympäristössä olen saanut hyvän yleiskuvan tehtaalla esiintyvistä prosessiin liittyvistä kehitystarpeista, vaikka en henkilökohtaisesti seuraa tuotantolinjojen päivittäistä arkea. Olen ollut mukana myös toteuttamassa 5S- ja 6S-auditointeja. Auditointien yhteydessä käydyt keskustelut työnjohdon ja tuotannon henkilöstön kanssa antavat käsitystä siitä, että millaisia käytännön ongelmia eri vaiheissa kohdataan.

Tarve laajemmalla analyysillä on vahvistunut myös muista havainnoista. Laadun poikkeamaraporttien, tuotannon läpimenoaikojen vaihtelun ja työnjohdon esiin nostamien kehitystarpeiden perusteella on ilmennyt viitteitä siitä, että prosessin sujuvuudessa saattaa olla kohtia, joita on mahdollista parantaa. Laadussa työskennellessäni on myös syntynyt kiinnostus ymmärtää paremmin, miksi prosessi ajoittain hidastuu ja miten näitä haasteita olisi mahdollista vähentää lean-periaatteiden avulla.

Tehtaalla on viime vuosina pyritty vahvistamaan lean-ajattelua ja sen mukaista jatkuvan parantamisen kulttuuria. Tämä on lisännyt tarvetta systemaattisemmalle prosessianalyysille.

1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja tutkimus kysymys

Tutkimus toteutetaan Hitachi Energy Oy:n toimeksiantona ja sen tavoitteet on rajattu yrityksen käytännön tarpeiden sekä tutkijan omien tavoitteiden pohjalta. Tutkimuksen tärkein tavoite on tukea yrityksen lean-toimintatavan vahvistamista ja edistää jatkuvan parantamisen kulttuuria. Käytännössä työssä pyritään ensin tunnistamaan linjan 1 tuotantoprosessissa esiintyvät keskeiset hukkatyypit. Sen jälkeen tarkastellaan hukan taustalla vaikuttavia juurisyitä ja arvioidaan, miten ne heijastuvat prosessin sujuvuuteen. Lopuksi esitetään konkreettisia kehitysehdotuksia, joiden tarkoitus on parantaa prosessia ja tukea tuotannon tehokkuutta.

1.3 Tutkimuksen rakenne, rajaus ja rajoitteet

Tämä tutkielma koostuu seitsemästä eri luvusta. Ensimmäinen luku toimii johdantona ja se esittelee tutkimuksen taustaa, tavoitteita ja rajaukset. Toisessa luvussa esitellään case-yritystä. Kolmas luku kokoaa yhteen tutkimuksen kannalta keskeiset teoriat, kuten lean-periaatteet, hukan tunnistamisen sekä laadun kehittämisen työkalut. Neljännessä luvussa esitetään tuotantolinjan 1:n nykytilan kuvaus. Viides luku käsittelee tutkimusmenetelmiä ja aineistonkeruuta. Luvussa kuusi esitellään tutkimuksen tulokset ja analyysi. Viimeinen eli seitsemäs luku kokoaa yhteen johtopäätökset, kehitysehdotukset ja jatkotutkimusaiheet.

Tutkimus rajautuu Hitachi Energyn Vaasan muuntajatehtaan tuotantolinjan 1 kokoonpano- ja säiliöintiprosesseihin. Tarkastelu kohdistuu kotimaisiin 12 MVA, 16 MVA, 20 MVA, 25 MVA ja 31,5 MVA mainstream-käämikytkinmuuntajiin. Tutkielma perustuu

yhden valitun muuntajaprojektin tarkasteluun, jonka etenemistä seurataan läpi koko tuotantoprosessin.

Tutkimukseen liittyy myös joitakin rajoitteita. Tuloksia ei voida suoraan hyödyntää muihin tuotantolinjoihin tai muihin tehtaisiin, koska prosessit, tuotteet ja toimintamallit voivat erota toisistaan. Tutkimusaineisto on luottamuksellista, mikä rajoittaa joidenkin tarkkojen teknisten tai ajallisten tietojen esittämistä. Yhtä projektia seuraava tutkimusasetelma antaa syvällisen, mutta samalla rajatun näkökulman prosessiin eikä sen tarkoituksena ole kuvata kaikkia mahdollisia variaatioita linjan toiminnassa.

2 Case Company Hitachi Energy Vaasa

Tässä luvussa esitellään tutkimuksen kohteena oleva yritys ja sen Vaasan muuntajatehdas. Luvussa kuvataan muuntajan keskeisiä komponentteja sekä mainstream-muuntajien erityispiirteitä. Näiden avulla luodaan tekninen perusta myöhemmissä luvuissa tarkasteltaville työvaiheille ja prosessianalyysille. Luvun lopussa rajataan tarkemmin tuotantolinja 1, joka toimii tämän tutkielman tutkimuskohteena.

2.1 Hitachi Energy

Hitachi Energy on maailman suurin muuntajien valmistaja ja keskeinen toimija kestävän energian sekä sähköistymisen edistämisessä. Yritys kehittää, valmistaa ja huoltaa sähköverkon teknologioita, kuten muuntajia, reaktoreita ja sähköasemaratkaisuja. Yritys työllistää noin 45 000 työntekijää yli 60 eri maassa (Hitachi Energy, 2025).

2.2 Vaasan muuntajatehdas

Muuntaja on yli sata vuotta vanha keksintö. Sen perusrakenne on säilynyt lähes muuttumattomana koko ajan. Muuntajan perusosiin kuuluvat edelleen magneettisesti johtava sydän sekä sähköisesti johtavat käämit. Muuntaja on sähkölaite, joka hyödyntää sähkömagneettista induktiota siirtäessään ja muuttaessaan vaihtovirran ja vaihtojännitteen tasoa kahden tai useamman käämin välillä (Pitkänen, 2022).

Vaasan tehtaalla muuntajia on valmistettu vuodesta 1947 alkaen (ABB, 2007). Vaasan muuntajatehtaalla työskentelee noin 350 ammattilaista ja sen erityisosaaminen keskittyy erikoismuuntajien ja reaktoreiden suunniteluun ja valmistukseen. Tehdas palvelee sekä kotimaisia että kansainvälisiä asiakkaita. Vaasan tehdas on yksi Hitachi Energyn keskeisistä tuotantoyksiköistä Euroopassa (Hitachi Energy, 2024).

Viime vuosina Hitachi Energy on panostanut todella merkittävästi tuotantokapasiteettinsa laajentamiseen. Yhtiö on ilmoittanut noin miljardin dollarin suuruisesta globaalista investoinnista, jonka tarkoituksena on vastata nopeasti kasvavaan kysyntään. Tästä summasta noin 180 miljoonaa dollaria kohdistuu Vaasan seudulle, johon rakennetaan huipputeknologiaa edustava uusi tehdas (ks. kuvat 1 & 2). Tämä on erittäin merkittävä investointi alueellisesti ja koko Suomelle, koska se luo suuren määrän uusia työpaikkoja. Hanke kaksinkertaistaa Suomen muuntajatuotannon kapasiteetin ja turvaa Suomen kriittistä infrastruktuuria, kuten sähkön tuotantoa ja siirtoa. Uuden tehtaan on tarkoitus olla toiminnassa kesällä 2027 (Hitachi Energy, 2024).



Kuva 1. Uuden tehtaan rakennustyömaa 10/2025. (Hitachi Energy news & Events, 2025).



Kuva 2. Valmiin tehtaan kuvituskuva (Hitachi Energy news & Events, 2025).

2.3 Muuntajan rakenne ja keskeiset komponentit

Tässä kappaleessa tarkastellaan muuntajan perusrakennetta sekä sen tärkeimpiä komponentteja ja niiden tehtäviä. Muuntajan toiminta perustuu ennen kaikkea kahteen rakenteeseen. Ne ovat magneettivuota johtava sydän ja sähköenergiaa siirtävät käämit, joiden vuorovaikutus mahdollistaa jännitteen muuntamisen. Lisäksi käsitellään lyhyesti valmistukseen liittyviä periaatteita, sillä materiaalivalinnat ja valmistusmenetelmät vaikuttavat ratkaisevasti muuntajan häviöihin, mekaaniseen kestävyYTEEN ja käyttöikään. Seuraavissa alaluvuissa esitellään nämä osat tiiviisti osana muuntajan kokonaisrakennetta.

Tähän kappaleeseen liittyvät kuvat on poistettu julkaistavasta versiosta toimeksiantajan luottamuksellisen tiedon vuoksi.

2.3.1 Sydän

Muuntajan sydän muodostaa rakenteen, jonka läpi magneettivuo ohjataan mahdollisimman pienin häviöin. Sydän valmistetaan kidesuunnatusta raudasta, jonka rakenne johtaa vuota tehokkaasti pitkittäissuuntaan ja vähentää poikittaissuuntaisia häviöitä. Rakenteellisesti se koostuu pylväistä ja ieksistä, jotka mitoitetaan muuntajan teholuokan mukaan. Sydämen tarkoituksena on tarjota magneettisesti mahdollisimman hyvä virtapiiri ja toimia samalla käämien mekaanisena tukena (ABB, 2007).

2.3.2 Käämit

Käämit muodostuvat muuntajan sähköisistä johdinrakenteista, jotka muuttavat jännitteen tasoa ensiön ja toision välillä. Ne valmistetaan kuparista tai alumiinista ja eristetään jännite- ja virtaominaisuuksien mukaan. Alajännitekäämi sijoitetaan yleensä sydämen viereen ja yläjännitekäämi sen ulkopuolelle. Käämin rakenne valitaan muuntajan jännitetason perusteella. Käämityyppejä on useita erilaisia, kuten nauhakäämi, kerroskäämi, laippakäämi sekä ruuvi- ja lieriökäämi (ABB, 2007).

2.3.3 Eristysosat, muuntajaöljy ja puristusosat

Muuntajan erityisosat ja öljy muodostavat kokonaisuuden, jonka tehtävänä on eristää jännitteisiä rakenteita toisistaan ja samalla huolehtia lämmön poistumisesta aktiiviosasta. Öljy tunkeutuu paperi- ja prespaanieristeisiin ja parantaa niiden jännitekestoa, minkä vuoksi nämä materiaalit muodostavat yhdessä erittäin toimivan eristerakenteen. Eristyksen ohella muuntajan mekaanista rakennetta tukevat puristusosat, jotka valmistetaan yleensä metallista, puusta ja prespaanista. Niiden tarkoituksena on pitää sydän, käämit ja sisäinen johdotus paikoillaan ja kestää käämeihin oikosulkujen aikana kohdistuvat aksiaaliset ja radiaaliset voimat (ABB, 2007).

2.3.4 Kokoonpano

Kokoonpanossa muuntajan aktiiviosa rakennetaan vaiheittain siten, että eriste-, jäähdytys- ja tukirakenteet muodostavat toimivan kokonaisuuden. Alussa sydämen alaosaan asennetaan eristysosat ja tukiosat. Sen jälkeen alajännitekäämit lasketaan paikoilleen ja niiden ympärille asennetaan jäädytyskanavia muodostavat prespaanirakenteet. Tämän jälkeen sijoitetaan yläjännitekäämi ja mahdollinen säätökäämi. Lopuksi kokonaisuus tuetaan yläpään puristusosilla ennen sydämen yläikeen asentamista (ABB, 2007).

2.3.5 Sisäinen johdotus ja kiskotus

Muuntajan sisäinen johdotus ja kiskotus varmistavat, että käämien päät ja muut sähköiset liitännätpisteet kytkeytyvät toisiinsa turvallisesti ja häviöitä minimoiden. Johtimet mitoitetaan virran ja lämpötilan mukaan ja ne eristetään sekä mekaanisesti tuetaan oikosulkuvoimien kestämiseksi. Kiskot ja liitososat sijoitetaan niin, että sähköiset kentät pysyvät hallittuina ja öljyn virtaus jäähdyttää rakenteet tasaisesti (ABB, 2007).

2.3.6 Kuivaus ja öljyntäyttö

Kuivaus on välttämätön vaihe, koska käämien ja eristysosien on oltava täysin kuivia ennen öljyn lisäämistä. Eristysosat sisältävät 6–8 % painostaan kosteutta. Muuntajan aktiiviosa kuivataan yleensä tyhjiöuneissa, jolloin kosteus poistuu sekä paperieristeestä että prespaanista. Kuivauksen jälkeen muuntaja täytetään öljyllä tyhjiössä, jotta öljy tunkeutuu kaikkiin rakenteisiin ja syrjäyttää mahdolliset ilmakuplat. Huolellinen kuivaus- ja täyttöprosessi varmistaa eristyksen kunnon ja estää osittaispurkaukset käytön aikana (ABB, 2007).

2.3.7 Säiliö

Muuntajan säiliö suojaa aktiiviosaa ja toimii samalla öljyn säiliönä sekä jäähdytysrakenteena. Pienemmissä tehoissa käytetään yleensä aaltolevysäiliöitä, joiden joustavat seinämät kompensoivat öljyn lämpenemisen. Suurempitehoisissa muuntajissa säiliö on jäykempi rakenteinen ja sille liitetään erilliset radiaattorit jäähdytystä varten. Säiliö valmistetaan hitsaamalla teräslevystä, joka lopuksi pintakäsitellään korroosion estämiseksi (ABB, 2007).

2.3.8 Paisuntasäiliö

Paisuntasäiliö toimii muuntajaöljyn laajenemistilana, sillä öljyn tilavuus muuttuu lämpötilan mukana. Säiliö mitoitetaan niin, että kuumimmalla mahdollisella hetkellä se on lähes täynnä ja kylmimmällä hetkellä siellä on riittävästi öljyä, että muuntajan aktiiviosa pysyy aina kokonaan öljyn peitossa. Joissain ratkaisuissa paisuntasäiliö varustetaan kumisäkillä, joka estää öljyn ja ilman suoran kosketuksen ja vähentää öljyn kostumista pitkällä aikavälillä (ABB, 2007).

2.3.9 Läpiviennit

Läpiviennit muodostavat rajapinnan, jonka kautta muuntaja kytketään sähköverkkoon. Läpiviennit eristävät käämeiltä tulevat johtimet muuntajan maapotentiaalista. Yleisimpiä ovat posliiniläpiviennit, kun taas korkeilla jännitteillä käytetään kondensaattorirakenteisia läpivientejä parempien sähkökenttäominaisuuksien vuoksi. Rakenteellisesti läpivienti sisältää eriste-elementin ja sen sisällä kulkevat kupari- tai messinkitangon. Se asennetaan yleensä kannen päälle tarvittaessa säiliön kylkeen (ABB, 2007).

2.4 Mainstream-muuntajat

Vaasan muuntajatehtaalla mainstreameilla viitataan muuntajiin, joiden rakenne perustuu pitkälle valikoituihin ratkaisuihin. Tyypillisesti ne ovat sähkölaitosten ja voimalaitosten käyttöön suunnattuja käämikytkinmuuntajia. Näitä toimitetaan pääasiassa pohjoismaihin, mutta myös muille asiakkaille. Mainstream-muuntajat voidaan valmistaa sekä käämikytkimellä tai ilman sitä. Niiden läpiviennit noudattavat pääasiassa öljy-ilma periaatetta sekä YJ- ja AJ-puolella (ABB, 2019; Hitachi Energy, 2025a).

Vaikka mainstreamissa on joitakin sarjatuotannon piirteitä, sitä ei voida pitää varsinaisena sarjatuotteena. Muuntajat valmistetaan yhä projektikohtaisesti ja niihin vaikuttavat asiakasvaatimukset, kuten jännitetasot. Mainstream ei ole erikoistuote siinä missä Windstar- ja offshore-muuntajat, jotka voivat vaatia täysin projektikohtaisia rakenteita ja paljon laajempia teknisiä selvityksiä. Mainstream sijoittuu näiden kahden väliin, jossa perusratkaisu on vakio, mutta valmistus ei ole puhdasta sarjatuotantoa (ABB, 2019; Hitachi Energy, 2025a).

Mainstreamia on pyritty standardisoimaan mahdollisimman pitkälle. Kun rakenteita on yhdenmukaistettu, laskentaohjelmat pystyvät tuottamaan luotettavia tuloksia ilman laajoja simulointeja, joita taas erikoismuuntajat yleensä vaativat. Standardisointi näkyy selvästi esimerkiksi säiliö- ja sydänrakenteissa, joissa on tehty useita suunnitelmallisia kevennyksiä. Säiliön kokoa on pienennetty optimoimalla jännite-etäisyyksiä ja siirtämällä suuria kalustusosia suoraan säiliöhitsattuihin rakenteisiin. Pohjan viistäminen sekä kapeampi rakenne mahdollistavat pienemmän teräsmäärän ja selvästi pienemmän öljytilavuuden. Tämä ei pelkästään vähennä materiaalikustannuksia, vaan lyhentää myös kalustamiseen käytettävää aikaa (ABB, 2019; Hitachi Energy, 2025a).

Vastaavia yhdenmukaistuksia on tehty myös muissa rakenteissa. Sydämen kiinnitys on suunniteltu niin, että kannen ja sydämen välinen etäisyys on mahdollisimman pieni. Se laskee muuntajan korkeutta ja pienentää tarvittavaa öljyn määrää. Tämä taas vähentää

kustannuksia. YJ-läpivientien pöntöt ovat identtisiä, joka vähentää komponenttivaihtelua ja helpottaa hitsaamista. Samalla hitsausaumoja on optimoitu siten, että käytetään pääasiassa pienhitsejä, jotka ovat valmistusystävällisiä ja vähentävät vuotoriskejä (ABB, 2019; Hitachi Energy, 2025a).

Standardoinnilla on vaikutuksia hankintaan ja myyntiin. Kun valokuvia ja mitoituksia voidaan käyttää toistuvasti, tarjouksien tekeminen tulee nopeammaksi ja valmistajat oppivat muokkaamaan omia prosessejaan vakiorakenteisiin. Joitain säiliöitä voidaan ottaa jopa varastoon, mikä pienentää läpimenoaikoja merkittävästi. Myynnin näkökulmasta vakio-osat helpottavat hinnanmäärittystä ja se mahdollistaa valmiiden teknisten erittelyjen tekemistä erilaisille optioille (ABB, 2019; Hitachi Energy, 2025a).

Kuljetuksessa ja asennuksessa mainstream-rakenne näkyy käytännöllisenä ratkaisuna. Muuntajasta tarvitsee irrottaa vain paisuntasäiliö ja YJ-läpiviennit. Tyhjiön veto onnistuu asennuspaikalla maatasolta kiinteiden ilmakuivaimien putkien kautta (ABB, 2019; Hitachi Energy, 2025a).

Vaikka mainstream-rakenne on osittain standardisoitu, se joustaa tarpeeksi palvelemaan eri asiakastarpeiden mukaisesti. Käytännössä sama perusdesign kattaa useat teho- ja jännitevaihtoehdot. Käämit, käämilangat ja sisäinen johdotus ovat pääasiassa yhtenäisiä kaikille variaatioille. Jatkossa myös sydänmallit pyritään vähentämään kahdesta → yhteen. Tämä vähentää suunnittelun vaihtelua ja yksinkertaistaa valmistusta (ABB, 2019; Hitachi Energy, 2025a).

3 Kirjallisuuskatsaus

Tässä kirjallisuuskatsauksessa tarkastellaan tutkimuksen kannalta keskeisiä teorioita ja menetelmiä, joiden avulla tuotantolinjan 1 toimintaa ja siinä esiintyvää hukkaa voidaan ymmärtää ja analysoida. Luvun painopiste on lean-ajattelussa ja sen tarjoamissa työkaluissa ja menetelmissä. Niiden avulla pyritään tunnistamaan prosessin pullonkauloja ja tehottomuutta. Tässä luvussa esitellään myös leanin määrittelemät hukkatyypit sekä laadunhallinnan seitsemän työkalua, jotka tukevat juurisyiden selvittämistä. Näiden teoreettisten näkökulmien avulla muodostetaan viitekehys, joka selittää miksi juuri lean-menetelmät soveltuvat tämän tutkimuksen tavoitteisiin ja auttavat ymmärtämään tuotantolinjan 1 haasteita.

3.1 Johdanto lean-ajatteluun

Lean-ajattelu johtamisen periaatteena tarkoittaa sitä, että johtajien ja esimiesten tulisi ajatella, että prosessien kehittämiseksi on aina mahdollisuus, vaikka se ei heti olisikaan ilmeistä. 1980-luvulla painopiste oli erityisesti hukan vähentämisessä ja tuotteiden laadun varmistamisessa, mikä puolestaan johti kustannusten hallintaan. Lean ajattelun perusta on siinä, että organisaation resurssit tulisi kohdentaa niihin toimintoihin, jotka oikeasti luovat arvoa kaikille sidosryhmille. Samalla tulisi poistaa toiminnot, joilla ei ole lisäarvoa ja rinnakkaisia toimintoja organisaation sisällä tulisi yhdistää (Ramezani, 2014).

Lean-ajattelussa johto pyrkii karsimaan turhia tehtäviä, yhdistämään päällekkäisiä prosesseja ja suunnittelemaan sekä toteuttamaan toimintoja, jotka oikeasti tuottavat lisäarvoa. Se on asenne ja toimintapa, joka tähtää tuottavuuden lisäämiseen, kestävävään arvonluontiin ja hukan minimoimiseen. Lean ei siis ole vain työkalu tai menetelmä, vaan ajattelutapa. Se muokkaa koko organisaation toimintaa tehokkaammaksi ja merkityksellisemmäksi (Ramezani, 2014).

Lean on viimevuosikymmenten aikana noussut yhdeksi eniten keskustelluista ja sovelletuista tuotannon kehittämisen periaatteista. Sitä pidetään lähestymistapana, joka yhdistää operatiivisen suorituskyvyn parantamisen ja asiakaslähtöisyyden. Se on osoittautunut toimivaksi todella erilaisissa toimintaympäristöissä. Thangarajoo ja Smith (2015) huomauttavat, että lean on juurtunut osaksi yrityksen arkea nimenomaan sen vuoksi, että se tähtää sekä asiakastyytyväisyyden parantamiseen että jatkuvaan prosessien kehittämiseen. Toisin sanoen lean-ajattelu edellyttää organisaatiolta kykyä havainnoida omaa toimintaansa kriittisesti ja nähdä parantamisen mahdollisuuksia myös sellaisissa tapauksissa, joissa ongelmat eivät ole ilmeisiä. Lean on siten sekä käytännön menetelmä ja lisäksi tapa ajatella ja organisoida toimintaa.

Lean-tuotannon vaikutus oli laajempi kuin pelkkä vaihtoehto perinteiselle massatuotannolle. Se haastoi vallitsevia toimintatapoja ja muutti käsityksen siitä, miten tuottavuuden ja laadun välistä tasapainoa voidaan tarkastella. Samalla lean-ajattelu käynnisti uudenlaisen pohdinnan monissa muissa valmistus- ja palveluympäristöissä (Holweg, 2007; Womack, Jones & Roos, 1990).

3.1.1 Lean historiaa

Lean-termi viittaa yritysten tuotannonhallinnan lähestymistapoihin, joissa pyritään tuottamaan juuri sitä, mitä asiakas haluaa mahdollisimman halvalla ja ilman hukkaa. Itse asiassa lean-ajattelun filosofia perustuu Toyotan tuotantojärjestelmään (TPS), jonka kehittivät vuosikymmenten saatossa Toyotan insinöörit ja johtajat. Lean oli Toyotan ratkaisu niukkoihin resursseihin ja vaikeaan taloudelliseen tilanteeseen toisen maailmansodan jälkeisenä aikana (Ramezani, 2014).

Lean-ajattelun tausta kytkeytyy vahvasti juuri autoteollisuuteen ja erityisesti Toyotan kehittämään tuotantomalliin. Thangarajoo ja Smith (2015) tuovat esiin, että lean on lähtöisin valmistavan teollisuuden tarpeesta kehittää joustavampi ja tehokkaampi tapa tuottaa laadukkaita tuotteita. Vaikka lean syntyi autoteollisuudessa, sen periaatteet

alkoivat nopeasti levitä myös muille sektoreille, kuten raskaaseen teollisuuteen, palvelualoille ja terveydenhuoltoon. Lean-ajattelua voidaan soveltaa oikeastaan kaikilla aloilla.

Useiden tutkijoiden mukaan leanista ei kuitenkaan ole olemassa vain yhtä selkeää ja oikeaa määritelmää. Jotkut korostavat määritelmässään erityisesti työkaluja ja käytäntöjä, joita lean-yrityksissä hyödynnettiin. Toiset taas painottavat sen filosofisia piirteitä. Suurin osa tutkijoista kuitenkin kannattaa yhdistelmää näistä molemmista näkökulmista. Lean on pääasiassa joukko ideoita ja työkaluja, jotka muodostavat järjestelmän, jolla on näkyvä ja näkymätön osa. Näkyvä osa tarkoittaa menettelytapoja, työkaluja ja periaatteita. Näkymätön osa tarkoittaa ajattelun johtamista ja ajattelutapoja (Ramezani, 2014).

Lean kehittyi samalla vastareaktionä massatuotannon rajoitteille. Perinteinen massatuotanto ei pystynyt vastaamaan asiakkaiden kasvavaan tarpeeseen saada laadukkaita tuotteita pienissä erissä ja laajalla tuotevalikoimalla. Tämän vuoksi leanin periaatteet alkoivat korostaa joustavuutta, virtausta ja kykyä muokata tuotantoa nopeasti muuttuvien tarpeiden mukaan (Thangarajoo & Smith, 2015).

Lean-ajattelun katsotaan nousseen vastauksen siihen, että yritysten oli kyettävä reagoimaan entistä nopeammin asiakkaiden muuttuviin odotuksiin. Lean tarjosi keinon yhdistää tehokkuus, laatu ja nopeus. Sen ansiosta yritykset pystyivät tuottamaan arvoa asiakkaille ja hallitsemaan kustannuksia paremmin. Sen myötä leanista muodostui 1990-luvun aikana yksi teollisuuden ja myöhemmin myös palvelualojen keskeisistä toimintaperiaatteista (Thangarajoo & Smith, 2015).

3.1.2 Lean-periaatteet

Lean-ajattelun viisi peruseriaatetta määriteltiin alun perin Womackin ja Jonesin (1996) toimesta, mutta myöhemmin tutkimukset ovat täsmentäneet ja vahvistaneet niiden

sisältöä. Nämä periaatteet muodostavat yhdessä kokonaisuuden, joka ohjaa organisaatiota tunnistamaan arvoa, poistamaan hukkaa ja parantamaan prosessin virtausta. Periaatteet kuvattuna alla taulukossa 1. Taulukon sisältö on koottu ja muokattu seuraavien lähteiden pohjalta: (Womack & Jones, 1996; Hines et al., 2004; Stone 2012).

Lean-periaate	Kuvaus	Tavoite
Arvon määrittäminen (Value)	Arvo määritellään asiakkaan näkökulmasta: mitä asiakas todella tarvitsee ja mistä hän on valmis maksamaan.	Poistaa arvoton työ ja kohdentaa resurssit asiakkaan arvoon.
Arvovirran tunnistaminen (Value Stream)	Prosessin kaikki vaiheet kuvataan ja erotellaan arvoa tuottavat sekä arvoa tuottamattomat toiminnot.	Hukan järjestelmällinen tunnistaminen ja poistaminen.
Virtautuksen luominen (Flow)	Työn tulisi kulkea prosessin läpi ilman turhia keskeytyksiä, odotuksia, siirtelyä tai välivarastoja.	Sujuva virtaus ja lyhyempi läpimenoaika.
Imuohjaus (Pull)	Tuotanto perustuu todelliseen kysyntään, ei ennusteisiin. Valmistetaan vain sitä, mitä tarvitaan.	Yli tuotannon ja varastojen vähentäminen.
Täydellisyyteen pyrkiminen (Perfection)	Prosessia parannetaan jatkuvasti pienin askelin. Tavoitteena virheetön, sujuva ja oppiva toiminta.	Jatkuva parantaminen ja lean-kulttuurin vahvistaminen.

Taulukko 1. Taulukossa kuvattuna lean-ajattelun viisi periaatetta.

Arvon määrittäminen (Value). Arvo tulee ymmärtää aina asiakkaan näkökulmasta. Mitä asiakas oikeasta tarvitsee ja mistä hän on valmis maksamaan? Kaikki toiminta on suhteutettava juurikin tähän asiakasarvoon. Tutkijat ovat myöhemmin korostaneet, että arvon määrittäminen vaatii syvempää ymmärrystä asiakkaan prosesseista ja käyttöympäristöstä. Siihen ei riitä ainoastaan tuotteen teknisten ominaisuuksien ymmärtäminen. Arvoa syntyy siitä, että yrityksen tarjoama tuote tai palvelu ratkaisee asiakkaan ongelman luotettavasti ja tehokkaasti. Tällä tavoin on helppoa erottaa toiminta, joka tuo lisäarvoa ja joka ei tuo lisäarvoa. Arvon periaate toimii koko lean-järjestelmän perustana. Sen tavoite on ohjata katse pois sisäisestä tehokkuusoptimoinnista kohti asiakkaan kokeman hyödyn ymmärtämistä (Hines, Holweg & Rich, 2004; Womack & Jones, 1996).

Arvovirran tunnistaminen (Value Stream). Arvon määrittämisen jälkeen seuraavaksi tunnistetaan ne toiminnot, jotka muodostavat arvovirran. Arvovirta tarkoittaa polkua, jota pitkin tuote tai palvelu kulkee ideasta valmiiksi lopputuotteeksi. Arvovirran analysointi näyttää lisäarvoa tuottavat vaiheet sekä ne vaiheet, jotka aiheuttavat odotusta tai muuta hukkaa. Tavoitteena ei ole syyllistää yksittäisiä työntekijöitä, vaan

ymmärtää suurempaa kokonaisuutta. Missä kohdassa virta katkeaa? Missä vaiheessa odotusta syntyy? Missä tieto tai materiaali kulkee tehottomasti? Arvovirta visualisoidaan ja puretaan eri vaiheiksi. Sen avulla voidaan löytää konkreettisia parannuskohtia, joita ei arjen keskellä muuten välttämättä huomattaisi (Hines, Holweg & Rich, 2004; Womack & Jones, 1996).

Virtaus (Flow). Arvovirran tunnistamisen jälkeen täytyy varmistaa, että työ etenee prosessin läpi mahdollisimman sujuvana virtauksena. Virtaus korostaa sitä, ettei tuotantoa tulisi katkaista turhilla odotusajoilla, siirroilla tai ylimääräisillä välivarastoilla. Häiriötön virtaus syntyy vasta silloin, kun työn kuormitus ja kapasiteetti ovat tasapainossa keskenään. Virtauksen toimiessa tuotteen läpimenoaika lyhenee ja koko prosessi muuttuu helpommin ennakoitavaksi. Samaan aikaan laatu paranee, koska keskeytykset ja siirtymät ovat usein juurisyyttä. Virtaus ei ole ainoastaan tekninen tuotannonohjauskysymys, vaan tapa ohjata koko prosessia niin, että arvo ei katkea missään vaiheessa (Hines, Holweg & Rich, 2004; Shah & Ward, 2007; Womack & Jones, 1996).

Imuohjaus (Pull). Imuohjauksen perusajatus on todella yksinkertainen. Tuotanto käynnistetään vasta, kun sille on todellinen tarve. Tämä tarkoittaa, että tuotteita ei valmisteta varastoon varmuuden vuoksi, vaan niitä aletaan tekemään asiakkaan kysynnän tahdissa. Imuohjaus vähentää ylituotantoa, joka on yksi merkittävimmistä hukkan muodoista. Se auttaa myös pitämään materiaalivirran selkeänä. Imuohjauksen toiminta vaatii läpinäkyvän järjestelmän, jossa ohjausmekanismit ovat yksinkertaisia. Kaikkien prosessien osien tulee tietää, koska on oikea hetki tehdä seuraava työvaihe. Oikein toteutettuna imuohjaus tasoittaa työkuormaa, pienentää varastotasoa ja lyhentää läpimenoaikoja (Hines, Holweg & Rich, 2004; Bhamu & Sangwan, 2014; Womack & Jones, 1996).

Täydellisyyspyrkiminen (Perfection). Lean-ajattelun viimeinen periaate on jatkuva parantaminen. Se ei ole yksittäinen projekti vaan pysyvä toimintatapa. Täydellisyyspyrkiminen tarkoittaa prosessien jatkuvaa kriittistä tarkastelua. Parannuskohteita etsitään silloinkin, kun kaikki näyttää toimivan kohtuullisen hyvin. Jatkuva parantaminen edellyttää oppimista, avoimuutta ja rohkeutta kyseenalaistaa myös hyväksi todettuja menetelmiä. Kun pienet parannukset tehdään näkyväksi osaksi arkea, tuotantojärjestelmä kehittyy vähitellen kohti tehokkaampaa ja laadukkaampaa toimintaa. Täydellisyys ei ole leanissa päätepiste, vaan suunta. Jokainen muutos luo pohjaa seuraavalle parannukselle (Hines, Holweg & Rich, 2004; Shah & Ward, 2007; Womack & Jones, 1996).

3.1.3 Lean työkalut ja menetelmät

Lean-työkaluja ja menetelmiä on nykyään todella valtava määrä. Niitä on kehitetty jo useita vuosikymmeniä samaan aikaan lean-ajattelun nopean laajenemisen kanssa. Kirjallisuudessa puhutaan jo yli sadasta erilaisesta työkalusta, mutta kaikki niistä eivät tietenkään ole jokaisella yritykselle tarpeellisia tai edes sopivia. Ongelma ei siis aina ole työkalujen puute, vaan enemmänkin vaikeus valita sopiva työkalu. Todella monet yritykset ovat heti alussa jo vaikeuksissa, koska ne valitsevat väärin menetelmiä omaan toimintaympäristöönsä. Jos ensimmäinen lean-ratkaisu tehdään huonosti, toisen yrityksen tekeminen myöhemmin on usein paljon vaikeampaa (Knapić, Licul & Jelenc, 2024).

Lean-työkalujen ja menetelmien oikea valinta on valmistajille todella merkittävä haaste. Useista eri vaihtoehdoista pitäisi pystyä tunnistamaan sellainen kokonaisuus, joka parhaiten tukee yrityksen suorituskykykymittareita ja samalla vähentää tuotannosta tulevaa hukkaa. Jos työkalut valitaan väärin tai niitä käytetään väärin, lean-työkalut voivat päinvastoin lisätä arvoa tuottamattomia toimintoja. Oikeiden työkalujen valinta parantaa laatua, tehokkuutta, kustannusten ja ajanhallintaa sekä tukee lean-johtamisen toteuttamista työpaikalla (Naeemah & Wong, 2023).

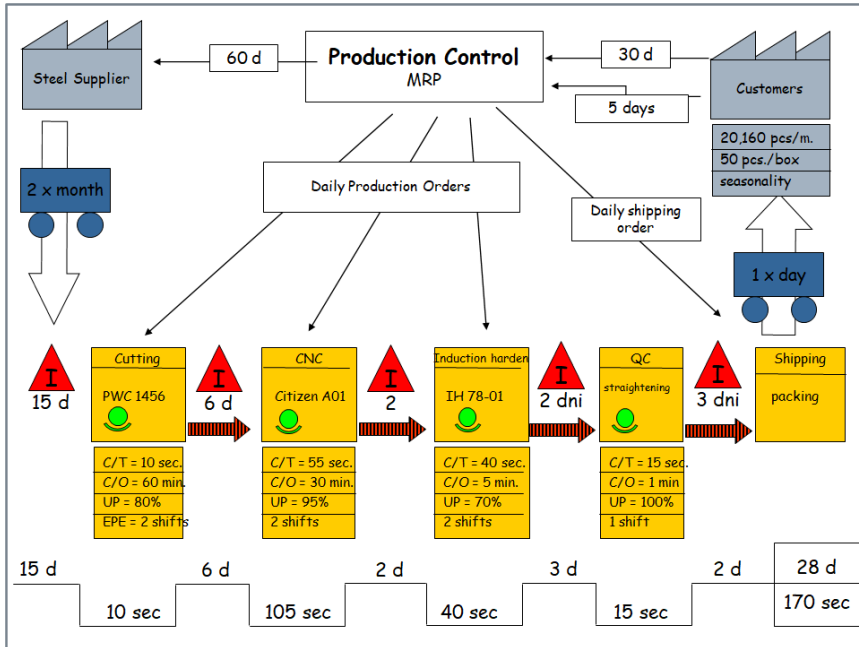
Tässä tutkielmassa on yhdessä Hitachi Energyn kanssa rajattu ja valittu ne työkalut ja menetelmät, jotka sopivat parhaiten tarkasteltavaan kohteeseen eli tuotantolinjaan 1. Tässä työssä tullaan käyttämään Value Stream Mapping (VSM) ja gemba-kävelyä. VSM:n toteuttaminen edellyttää tuotannon ajallista seuraamista ja pysähdysten kellottamista, koska silloin prosessin todellinen virtaus ja hukka saadaan näkyväksi. Yrityksessä on lisäksi vahvasti läsnä kaizen-kulttuuri ja oman työskentelyni aikana olen tehnyt myös 5S- ja 6S-auditointeja. Näitä menetelmiä hyödynnetään tässä työssä taustalla, mutta varsinainen analyysi keskittyy VSM:mään ja gembaan.

Value Stream Mapping (VSM) on lean-periaatteisiin perustuva työkalu, jonka avulla analysoidaan materiaalin virtausta, jota tarvitaan tuotteen tai palvelun toimittamiseksi asiakkaalle. VSM on saanut paljon huomioita etenkin teollisuudessa sekä valmistavan teollisuuden että palveluteollisuuden alalla. VSM-työkalujen kehitys on edennyt todella nopeasti. Iso osa VSM:mää hyödyntävästä tutkimuksesta tehdään yliopistoissa ja teollisuudessa (Setiawan, Tumanggor & Purba, 2021).

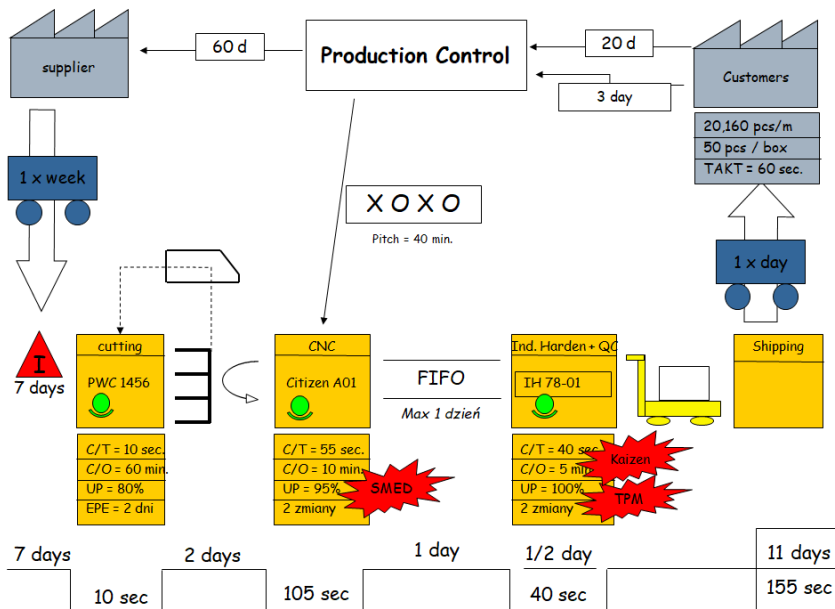
VSM on yksi vahvimmista lean-työkaluista liiketoimintaprosessien hukan tunnistamiseen. VSM kuvaa uudelleensuunnitteluprosessin tulevassa tilassa, jossa prosessivaiheet ja informaatiovirrat muotoillaan uudelleen, yksinkertaistetaan ja tiivistetään. Se on hyödyllinen arvoa tuottavien vaiheiden tunnistamisessa ja sujuvoittamisessa. Sen avulla voidaan tunnistaa ja poistaa sellaisia vaiheita, jotka eivät tuota lisäarvoa. Yritys saa useita etuja VSM:n käyttöönotosta. Esimerkiksi puutteellisten informaatiovirtojen parantamista, liian pitkien odotusaikojen lyhentämistä sekä koko liiketoimintaprosessin tehostamista (Setiawan, Tumanggor & Purba, 2021).

VSM on valittu tähän tutkielmaan, koska se soveltuu erityisen hyvin monivaiheisten tuotantolinjojen tarkasteluun, jossa materiaalivirta, odotusajat ja pullonkaulat eivät aina ole suoraan nähtävissä arjessa. Tämä työkalu tarjoaa selkeän visuaalisen kuvan prosessista ja tekee hukan paikan konkreettisiksi. Tämä tukee käytännön kehittämistyötä tuotantoympäristössä. Tässä tutkimuksessa hyödynnetään VSM:mää nykytilan eli

current state map kuvaamiseen. Alla on esitetty esimerkki VSM eri vaiheista kuvissa 11 ja 12.



Kuva 3. VSM current state map (LeanVision)



Kuva 4. VSM Future state map (LeanVision)

Gemba tarkoittaa Japaniksi ”oikeaa paikkaa”, sitä paikkaa, jossa työ todellakin tehdään. Japanissa sanaa gemba käytetään jokapäiväisessä arkikielessä eikä vain teollisuudessa. Japanilaisessa teollisuuskulttuurissa sana gemba on yhtä yleinen ja tunnettu käsite kuin kaizen. Gemban ydinajatus on mennä itse paikan päälle ja nähdä sekä ymmärtää tilanne sellaisena kuin se oikeasti on, eikä sellaisena kuin raportit ja oletukset kertovat (Imai, 1997, s.13).

Gemballa viitataan myös paikkaan, jossa asiakkaalle tuotettava arvo oikeasti syntyy. Liiketoiminnassa asiakkaan tyytyväisyyttä tuottavat ja arvoa lisäävät toiminnot tapahtuvat gembassa. Isossa kuvassa gemba kattaa kaikki yrityksen tulokseen liittyvät ydintoiminnot. Niihin kuuluvat kehittäminen, tuottaminen ja myynti. Ilman näitä toimintoja yritys ei voi olla olemassa (Imai, 1997, s. 13–14).

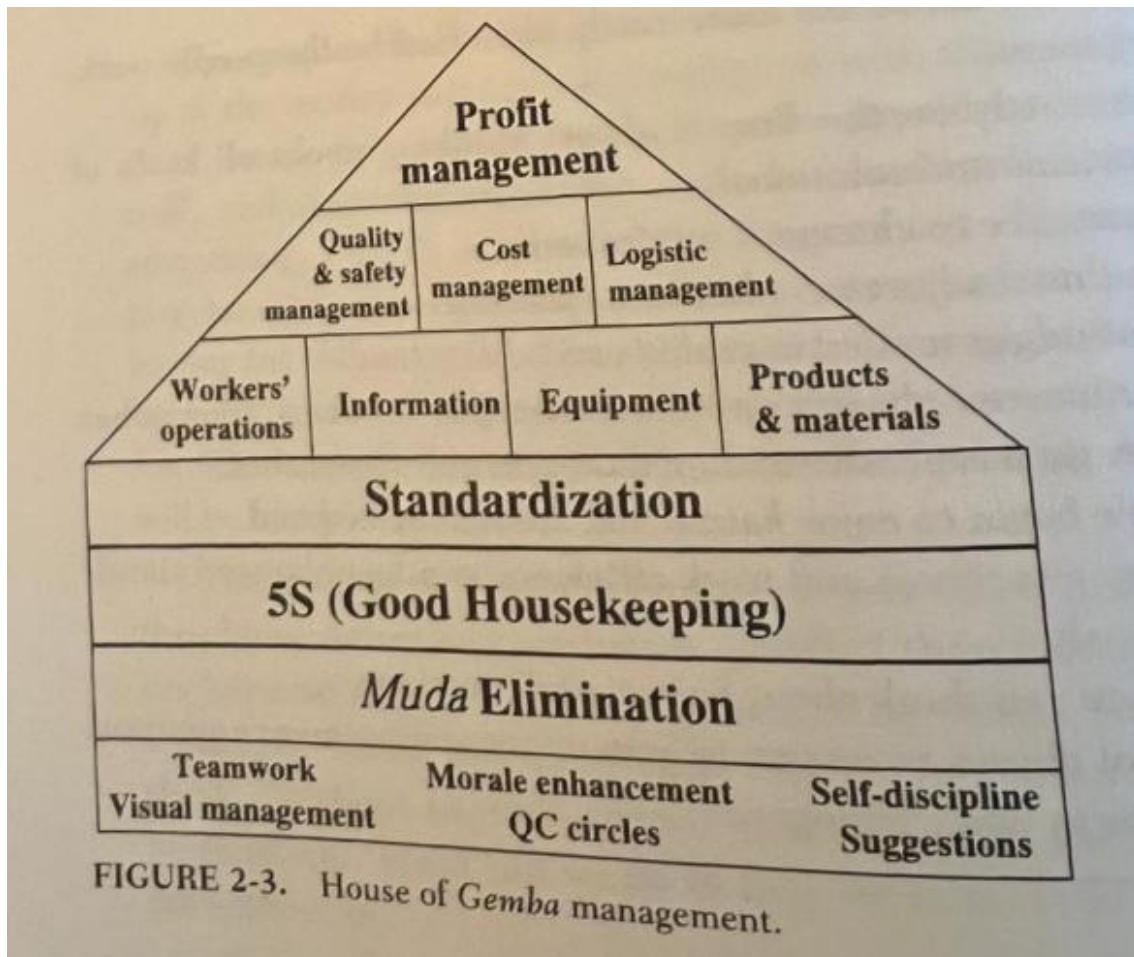
Gemba kytkeytyy vahvasti myös johtamiseen. Arvo tuotteeseen tai palveluun lisätään gembassa. Tämä mahdollistaa yrityksen selviytymisen ja menestymisen. Johtamisen tehtävä on tukea gembaa ja pysyä lähellä käytännön työtä ja todellisuutta. Jos johto etäännyy gembasta, päätöksenteko voi perustua oletuksiin eikä konkreettisiin havaintoihin päivittäisen työn toiminnasta ja sen todellisuudesta (Imai, 1997, s. 14).

Gemban merkitys ei rajoitu ainoastaan tuotantoon, vaan se on kaikkialla missä asiakas kohtaa palvelun. Esimerkiksi hotellien vastaanotoissa, ravintoloissa ja pankkien palvelupisteissä. Gemba voidaan näin ollen ymmärtää sekä fyysisenä paikkana että ajattelutapana. Mennään sinne missä asiat todellat tapahtuvat, kuunnellaan ihmisiä ja tehdään havainnot omin silmin (Imai, 1997, s. 14).

Tässä tutkimuksessa gemba on valittu keskeiseksi menetelmäksi, koska tavoitteena on tarkastella prosessia siellä, missä työ todellisuudessa tehdään. Olen jo aikaisemmin toteuttanut tuotantolinjalla 5S- ja 6S-auditointeja, minkä lisäksi aion seurata päivittäistä toimintaa paikan päällä, havainnoida kokoonpanoa, haastatella työntekijöitä sekä kellottaa tuotantoa ja pysähdyksiä. Näiden käytännön havaintojen avulla on mahdollista

tunnistaa arjen todelliset ongelmakohdat ja kehittämistarpeet, joita ei välttämättä tavoiteta pelkkien dokumenttien ja mittariraporttien perusteella. Gemba soveltuu siksi hyvin tämän työn lähestymistavaksi, koska sen perusajatus on mennä sinne, missä arvo syntyy ja perustaa analyysi todellisiin havaintoihin eikä oletuksiin.

Alla on esitetty kuva 13 Gemban johtamisen talomallista. Se kuvaa juuri niitä periaatteita, joihin tämän tutkielman lähestymistapa perustuu. Niitä ovat läsnäolo gembassa, työn havainnointi ja ongelmien ratkaisu paikan päällä. Kuva havainnollistaa myös, miksi gemba sopii hyvin tähän tutkimukseen. Samoja periaatteita toteutuu käytännön menetelmissä, kuten havainnoinnissa, haastatteluissa ja tuotannon kelloituksessa.



Kuva 5. Gemba-johtamisen talomalli

3.1.4 Lean hukat

Tässä kappaleessa käsitellään lean-ajattelun keskeistä kokonaisuutta eli erilaisien hukkien tunnistamista ja niiden poistamista. Hukka tarkoittaa toimintaa, joka kuluttaa aikaa, rahaa tai resursseja ilman, että siitä syntyy lisäarvoa asiakkaalle. Lean-hukkien tunnistaminen on tämän tutkimuksen kannalta erittäin tärkeää, koska tavoitteena on löytää tuotantolinjasta 1 ne kohdat, joissa syntyy arvoa tuottamatonta toimintaa. Kun hukka saadaan näkyväksi ja poistettua, tuotantoprosessista tulee sujuvampi, tehokkaampi ja laadukkaampi.

Lean-kirjallisuudessa tunnistetaan yleensä seitsemän klassista hukkatyyppiä: Ylituotanto (overproduction), odotus (waiting), kuljetus (transportation), yliprosessointi (overprocessing), turha liike, (motion), liialliset varastot (inventory) sekä virhe ja laatuviat (defects). Nämä hukat ilmenevät erilaisina prosessin tehottomuuksina, kuten tarpeettomina siirtoina, odottavina työvaiheina, reworkkina tai tuotteina, joille ei ole kysyntää. Näiden seitsemän hukan tunnistaminen muodostaa perustan tälle tutkimuksella, koska niiden avulla voidaan tunnistaa tuotantolinjan ongelmat ja kehittää niitä (Arunagiri & Gnanavelbabu, 2014).

Joissakin lean-kirjallisuuden lähteissä tarkastellaan seitsemän eri hukkaa, mutta toisissa ne jaetaan kahdeksaan hukkaan. Ero liittyy siihen, mitä pidetään erillisenä hukan muotona. Osassa kirjallisuudessa kahdeksanneksi hukan lajiksi lisätään ajan hukka tai työntekijöiden osaamisen ja potentiaalin hyödyntämättömyys. Gemba Kaizen-teoksessa kahdeksan hukan luokittelussa mainitaan ylituotanto, varastot, virheet, liike, prosessointi, odotus, kuljetus ja ajanhukka (Imai, 1997). Vastaavasti uudemmassa tutkimuskirjallisuudessa esitetään kahdeksan hukan malli, jossa perinteisen seitsemän hukan rinnalle nostetaan osaamisen hyödyntämättömyys (Taher & Al Bashar, 2024). Seitsemän ja kahdeksan hukan mallit pohjautuvat samaan perusajatukseen, mutta painotukset vaihtelevat hieman lähteen mukaan. Kirjallisuuden perusteella ei voida olla täysin varmoja siitä, montako hukkatyyppiä lean-ajatteluun kuuluu. Tärkeämpää kuin

tarkka lukumäärä on kuitenkin se, että hukan eri muodot tunnistetaan ja niitä pyritään vähentämään.



Kuva 6. Lean-tuotannon kahdeksan yleisintä hukkaa (Taher & Al Bashar, 2024).

Transport (Kuljetus) tarkoittaa tarpeetonta materiaalien, komponenttien tai tuotteiden siirtelyä prosessin aikana. Sitä voi tunnistaa esimerkiksi pitkänä siirtomatkoina, moninkertaisina käsittelyinä tai tilanteina, joissa tuote kiertää edestakaisin ilman mitään lisäarvoa. Poistamista tukevat layoutin parantaminen, työpisteiden järkevä sijoittelu, virtaustehokkuuden lisääminen sekä turhien siirtojen karsiminen (Arunagiri & Gnanavelbabu, 2014; Imai, 1997; Taher & Al Bashar, 2024).

Overproduction (Ylituotanto) syntyy, kun valmistetaan enemmän tai aiemmin kuin asiakas oikeasti tarvitsee. Se näkyy varastoina, keskeneräisenä työnä ja tarpeettomana sitoutuneena pääomana. Tunnistaminen onnistuu kysynnän ja tuotannon epäsuhdanteesta tai täydestä varastosta. Hukan vähentämisessä tärkeää on tuotannon tasaaminen, pienemmät eräkoot, JIT-ajattelu ja kysyntälähtöinen ohjaus (Arunagiri & Gnanavelbabu, 2014; Imai, 1997; Taher & Al Bashar, 2024).

Motion (Tarpeeton liike) liittyy työntekijöiden ja laitteiden ylimääräisiin ja kuormittaviin liikkeisiin, joilla ei ole lisäarvoa asiakkaalle. Se tarkoittaa kurottelua, etsimistä, kumartelua tai turhaa pyörimistä työpisteellä. Hukan poistaminen liittyy ergonomiaan, työpisteen selkeyteen, 5S-menetelmään sekä työkalujen ja materiaalien tarkoituksenmukaiseen sijoitteluun (Arunagiri & Gnanavelbabu, 2014; Imai, 1997; Taher & Al Bashar, 2024).

Inventory (Varasto) tarkoittaa ylimääräisiä raaka-aine-, lopputuote- ja välivarastoja. Se sitoo pääomaa ja peittää prosessiongelmiä. Varastohukka näkyy täysinä hyllyinä, pitkinä läpimenoaikoina ja vanhenevina tuotteina. Sen vähenemistä tukevat virtaukseen perustuvat tuotanto, pienemmän eräkoot, luotettava toimitusketju ja tarkempi kysyntäohjaus (Arunagiri & Gnanavelbabu, 2014; Imai, 1997; Taher & Al Bashar, 2024).

Waiting (Odotus) syntyy, kun ihmiset, materiaalit tai koneet odottavat seuraavaa työvaihetta. Se näkyy seisokkeina, jonotuksena, kuormituksen epätasapainona ja hukattuna aikana. Odotusta voidaan vähentää tasoittamalla työnkulkua, poistamalla pullonkauloja, parantamalla aikataulutusta sekä varmistamalla laitteiden luotettavuus ja kunnossapito (Arunagiri & Gnanavelbabu, 2014; Imai, 1997; Taher & Al Bashar, 2024).

Overprocessing (Yliprosessointi) tarkoittaa liian tarkkaa, monimutkaista tai ylimääräistä työskentelyä. Se ilmenee turhina tarkastusvaiheina, päällekkäisinä toimenpiteinä tai yli turhan korkeana laatuna asiakkaan tarpeisiin nähden. Sen poisto edellyttää asiakkaan arvon ymmärtämistä, prosessin yksinkertaistamista ja vaiheiden tarpeellisuuden kriittistä tarkastelua (Arunagiri & Gnanavelbabu, 2014; Imai, 1997; Taher & Al Bashar, 2024).

Unutilized talent (Osaamisen hyödyntämättömyys) tarkoittaa työntekijöiden taitojen, kokemuksen tai ideoiden jäämistä hyödyntämättä. Se näkyy yksipuolisessa työssä, osallistumisen puutteessa ja siinä, että ongelmanratkaisua ei tehdä siellä missä työ tapahtuu. Sen poistamisessa korostuu henkilöstön osallistaminen, kaizen-kulttuuri,

gembaan meneminen sekä koulutus ja vastuun jakaminen (Arunagiri & Gnanavelbabu, 2014; Imai, 1997; Taher & Al Bashar, 2024).

3.2 Laadunhallinnan 7 työkalua

Laadunhallinnassa seitsemän perustyökalua ovat keskeisiä välineitä, joiden avulla tuotantoprosessien ongelmat voidaan tunnistaa ja ratkaista. Niiden tavoitteena on tukea prosessien kehittämistä, häiriöiden tunnistamista sekä juurisyiden analysointia. Näiden työkalujen avulla yksinkertainen tilastollinen ja visuaalinen luonne tekee niistä helposti käytettäviä, mutta niiden tehokkuus piilee systemaattisessa soveltamisessa jatkuvan parantamisen kontekstissa (George, Singh, & Bhaisare, 2018; Ayenigba, Afariogun, & Aina, 2025).

Pareto-diagrammi auttaa tunnistamaan ne ongelmat, jotka vaikuttavat eniten tuotantoprosessin sujuvuuteen. Työkalu perustuu siihen, että pieni osa syistä aiheuttaa suurimman osan seurauksista. Käytännössä diagrammia rakennetaan keräämällä häiriöiden, virheiden ja reklamaatioiden määrä ja järjestämällä ne suuruusjärjestykseen. Silloin voidaan selkeästi nähdä mihin ongelmaan kannattaa ensisijaisesti keskittyä (Memon et al., 2019; George, Singh, & Bhaisare, 2018).

Syy-seuraus eli Ishikawa-diagrammi on tarkoitettu juurisyiden tunnistamiseen. Ongelma asetetaan päälopputuotteeksi ja sen mahdolliset syyt ryhmitellään esimerkiksi ihmisiin, koneisiin, materiaaleihin, menetelmiin ja ympäristöön liittyviin tekijöihin. Diagrammin avulla prosessissa havaittuja häiriöitä voidaan jäsentää selkeäksi kokonaisuudeksi, mikä helpottaa korjaavien toimenpiteiden suunnittelua (Ayenigba, Afariogun, & Aina, 2025; Memon et al., 2019).

Histogrammit tarjoavat graafisen kuvan mittaustulosten jakautumisesta. Niiden avulla voidaan havainnollistaa prosessin vaihtelua ja tunnistaa poikkeamat normaalista toiminnasta. Tuotantoprosessissa histogrammi voi esimerkiksi näyttää kuinka paljon

yksittäiset mittaukset poikkeavat keskiarvosta. Se auttaa ennakoimaan mahdollisia häiriöitä (George, Singh, & Bhaisare, 2018; Ayenigba, Afariogun, & Aina, 2025).

Ohjaukortit (control charts) seuraavat prosessin käyttäytymistä ajassa. Ne osoittavat milloin prosessi toimii normaalisti ja milloin ilmenee poikkeamia, jotka vaativat puuttumista. Käytännössä ohjaukorttien avulla voidaan erottaa satunnainen vaihtelu todellisista ongelmista ja estää virheisiin reagoiminen turhaan (Memon et al., 2019).

Hajontakaavio (scatter plot) tarkastelee kahden muuttujan välistä suhdetta. Työkalu auttaa esimerkiksi selvittämään vaikuttaako tietty prosessiparametri lopputuotteen laatuun. Hajontakaavio tekee näkyväksi yhteyksiä, mikä helpottaa päätöksentekoa ja prosessimuutosten suunnittelua (Ayenigba, Afariogun, & Aina, 2025; George, Singh, & Bhaisare, 2018).

Graafit ja diagrammit, kuten pylväs- ja viivadiagrammit havainnollistavat tietoa ja tukevat päätöksentekoa. Niiden avulla voidaan seurata kehitystä ajassa, vertailla eri tekijöitä keskenään ja tehdä visuaalisesti selkeitä johtopäätöksiä prosessista ilman monimutkaista analyysiä (George, Singh, & Bhaisare, 2018).

Tarkistuslistat ovat yksinkertainen tapa kerätä tietoa järjestelmällisesti. Niiden avulla voidaan seurata havaintoja häiriöistä, vioista tai poikkeamista. Tarkistuslistan avulla kerätty tieto toimii usein lähtökohtana muiden työkalujen, kuten Pareto-diagrammien ja histogrammien käytölle (Memon et al., 2019; Ayenigba, Afariogun, & Aina, 2025).

4 Linjan 1 tuotantoprosessin nykytilanne

Tehtaan valmistusprosessi etenee yksinkertaistetusti seuraavassa järjestyksessä Hitachi Energy Oy:n ja muuntajatehtaan sisäisen tuotantokortin (2025) mukaan:

1. Sydämen valmistus
2. Käämintä
3. Käämien kalustus
4. Kokoonpano
5. Puolivalmismittaukset
6. Uunitus ja säiliöinti
7. Loppukalustus
8. Koestus
9. Lähetys

Kyseinen prosessikuvaus toimii yleisellä tasolla runkona muuntajan valmistukselle, mutta todellisuudessa kokonaisuus on huomattavasti monimutkaisempi. Yksittäisten vaiheiden sisällä suoritetaan useita erilaisia työvaiheita. Tietyissä tilanteissa valmistusprosessi voi poiketa esitetystä järjestyksestä esimerkiksi tuotekohtaisten vaatimusten tai resurssitilanteen vuoksi.

Edellä kuvattu valmistusprosessi muodostaa toimintaympäristön tuotantolinjalle 1. Linja avattiin muutamia vuosia sitten pääasiassa Windstar-tuotteiden valmistukseen. Tuotanto on perustunut suurten sarjojen tehokkaaseen ja tasarytmiseen valmistukseen. Windstar-tuotteiden korkea kysyntä on mahdollistanut vakiintuneet työmenetelmät, selkeän työnjaon sekä suhteellisen ennustettavan häiriökuvan.

Linjalla on alettu valmistamaan esimerkiksi Mainstream, Ruotsin KYRY ja KTMU-tyyppisiä muuntajia, jotka poikkeavat rakenteeltaan ja prosessivaatimuksiltaan. Nämä tuotteet eivät ole jatkumoa Windstar-sarjalle, vaan edustavat erilaisia tuotekokonaisuuksia, jotka vaativat linjalta joustavampaa toimintaa ja lisäävät tuotannon vaihtelua.

Nykytilannetta määrittää osaltaan myös se, että muuntajatehdas on siirtymässä uusiin tiloihin ensi vuoden aikana. Rakenteilla oleva uusi tehdasalue Vikbyyhyn tuo mukanaan merkittäviä muutoksia tuotantoympäristöön, toimintamalleihin ja tilaratkaisuihin. Tuleva muutto vaikuttaa jo tässä vaiheessa tuotannon kehittämiseen, sillä kaikkia nykyisiin tiloihin kohdistuvia investointeja ja laajoja muutoksia joudutaan tarkastelemaan myös tulevan tehdassiirron näkökulmasta. Tämä luo väliaikaisen tilanteen, jossa tuotantolinjaa kehitetään nykyisten ehtojen puitteissa, mutta samalla tulevaa toimintaympäristöä silmällä pitäen.

Tuotantolinja 1:llä työskentelee useita eri ammattilaisia, joihin kuuluu asentajia, työnjohtoa, linjapäällikkö ja tuotantoinsinööri. Linjan päivittäinen toiminta perustuu näiden toimijoiden tiiviiseen yhteistyöhön. Muuttunut tuotantotilanne sekä lähestyvä muutto uuteen tehtaaseen korostavat erityisesti tiedonkulun, suunnittelun ja reagointikyvyn merkitystä. Kun tuotanto ei enää perustu yhden tuotetyypin pitkäaikaiseen sarjatuotantoon, silloin pienetkin poikkeamat voivat heijastua useisiin työvaiheisiin ja lisätä häiriöiden määrää.

Tuotantolinjan 1 nykytila voidaan näin ollen kuvata murrosvaiheeksi, jossa aiemmin sarjatuotantoon optimoitu toimintamalli kohtaa uudenlaisia vaatimuksia. Samanaikaisesti tuleva tehdassiirto asettaa kehitystyölle omat rajoitteensa ja mahdollisuutensa. Tämä muodostaa lähtökohdan tälle Pro Gradu -tutkielmalle, jossa keskitytään tuotantolinjan 1:n häiriöiden tunnistamiseen, analysointiin sekä kehittymismahdollisuuksien arviointiin muuttuneessa tuotantoympäristössä.

Tässä työssä keskitytään analysoimaan tuotantolinjan 1:n kokoonpano- ja säiliöintivaiheita, jotka muodostavat keskeisen osan linjan kokonaisläpimenoajasta ja joissa häiriöiden vaikutukset korostuvat erityisesti muuttuneessa tuotantoympäristössä.

5 Metodologia

Tässä luvussa kuvataan tutkimusmenetelmä, aineistonkeruu ja analyysit, joiden avulla tunnistettiin ja mitattiin hukkaa tuotantolinjan 1 kokoonpano- ja säiliöintiprosessissa. Menetelmä rakentui gemba-havainnoinnista, työvaiheiden systemaattisesti kellotuksesta, häiriöiden kirjaamisesta ja luokittelusta, epämuodollisista haastatteluista sekä VSM- ja pareto-analyyseistä. Luvun lopussa käsitellään tutkimuksen luotettavuutta ja validiteettia. Menetelmä kytkeytyy suoraan luvussa 3 esiteltyyn lean-viitekehykseen ja erityisesti VSM:mään ja gembaan.

5.1 Tutkimusasetelma, rajaukset ja aiemmat mittaukset

Tutkimus kohdistui tuotantolinjan 1 kokoonpano- ja säiliöintivaiheisiin, joissa häiriöiden vaikutukset korostuivat ja jotka muodostivat merkittävän osuuden kokonaisläpimenoajasta. Aineisto kerättiin seuraamalla yhden valitun muuntajaprojektin etenemistä alusta loppuun, mikä mahdollisti työvaiheiden tarkan kellotuksen ja häiriöiden reaaliaikaisen kirjaamisen. Linjalla oli aiemmin toteutettu Ruotsin KYRY-tuotteisiin liittyviä mittauksia. Näitä mittauksia hyödynnettiin jonkun verran apuna luokittelun ja virtaushahmotuksen näkökulmasta, mutta tuotteen ja prosessirakenteen erojen vuoksi aiempaa asetelmaa ei voitu soveltaa sellaisenaan.

Kellotus rajattiin aamuvuoroon resurssi- ja työaikasyistä. Iltavuoron analysointi perustui asentajien kirjauksiin sekä aamuvuorosta laskettuihin keskiarvoihin oletuksella, että prosessirakenne ja tekijämäärät olivat vuorojen välillä samat. Iltavuorossa tukitoimintojen poissaolo saattoi lisätä häiriöherkkyyttä ja siksi tuloksia tulkittiin varovaisesti.

5.2 Gemba tutkijan työkaluna

Gemba toteutettiin menemällä paikan päälle, havainnoimalla työvaiheita omin silmin ja kirjaamalla tilanteet sellaisena kuin ne ilmenivät. Käytännössä olin fyysisesti linjalla prosessin läpi ja seurasin vaiheita reaaliajassa. Kirjasin pysähdykset ja häiriöt heti ylös tapahtumahetkellä. Keskustelin työntekijöiden kanssa työn ohessa ja dokumentoin työpistejärjestelyjä, liikkeitä, odotuksia ja materiaalivirtoja. Tällainen välitön läsnäolo auttoi tunnistamaan käytännön ilmiöt, jotka eivät olisi näkyneet pelkissä dokumenteissa tai leimauksissa.

Havaintotyötä tuki se, että asentajat osoittivat selvästi yhteistyöhalukkuutta. He vastasivat kysymyksiin avoimesti, täydensivät havaintoja omilla esimerkeillään ja auttoivat tarvittaessa etsimään häiriöiden juurisyitä. Samalla he toivat esiin, että ulkopuolinen kiinnostus heidän jokapäiväiseen työhönsä ja sen kehittämiseen koettiin myönteisenä. Käytännössä läsnäolo madalsi kynnystä nostaa esiin pieniä, mutta arjessa toistuvia ongelmia, jotka muuten jäävät helposti pimentoon.

Gemba-havainnoinnin aikana tehty häiriöseuranta toimi myös muutosten liikkeellepanijana, kun pysähdykset ja niiden syyt dokumentoitiin reaaliaikaisesti. Toistuviksi osoittautuneet rakenteelliset ja komponenttitason ongelmakohdat voitiin viedä linjapäällikölle nopeasti. Tämän seurauksena käynnistettiin jo tutkimusjatkon aikana rakennesuunnitteluun kohdistuneita muutoksia nimenomaan niihin kohtiin, joiden todettiin aiheuttavat viiveitä tai ylimääräisiä työvaiheita.

Gemban periaatteet ja johtamisen näkökulma oli avattu teorialuvussa. Tässä kappaleessa ne sidottiin konkreettisesti aineistonkeruuseen ja analyysin pohjaksi

5.3 Työvaiheiden systemaattinen kellotus

Koko kokoonpano- ja säiliöintiprosessi kellotettiin vaiheittain. Kullekin vaiheelle kirjattiin aloitus- ja lopetusaika, kokonaiskesto, vaihtelevat tekijämäärät sekä kaikki havaitut häiriöt (päivämäärä, alku, loppu, kesto, tekijämäärä, syy). Vaiheistus noudatti linjan käytäntöä ja muodosti myös VSM-kuvauksen rungon:

1. Kääminlasku
2. Yläikeen ladonta
3. Käämien suuntien ja kierrosten mittaus
4. Sisäinen johdotus
5. Puolivalmismittaus
6. Aktiiviosakatselmointi
7. Kannen irrotus ja uunin valmistelu
8. Uunitus
9. Kiristely ja säiliöinti

Vaiheittainen mittaus tuotti tärkeää tietoa ja arvoa tuottavasta työstä, odotuksista ja keskeytyksistä. Nämä arvot siirrettiin myöhemmin VSM-kaavioon ja paretoihin.

5.4 Häiriöiden kirjaaminen ja Excel-aineisto

Kaikki pysähdykset, viiveet ja poikkeamat kirjattiin järjestelmällisesti excel-taulukkoon, joka toimi aineiston pääasiallisena dokumentointialustana. Jokaisesta häiriöstä merkittiin vähintään päivämäärä, työvaihe, häiriön alku- ja loppuaika, häiriön kuvaus tai syy, hukkakategoria sekä kyseisessä vaiheessa toimineiden henkilöiden määrä. Kirjaus tehtiin reaaliaikaisesti gemba-havainnoinnin yhteydessä, jotta ajankohdat ja sisällöt pysyisivät mahdollisimman tarkkoina.

Tutkimusjakson aikana kirjattiin yhteensä yli 130 erillistä pysähdystä tai häiriötä, mikä osoitti selvästi, että prosessin sisällä esiintyi paljon arvoa tuottamatonta aikaa ja vaihtelua. Laaja häiriömäärä tarjosi myös vahvan tilastollisen pohjan myöhemmälle analyysille. Alla esimerkkikuva häiriölogista:

	A	B	C	D	E	F
1	Päivä	Alku	Loppu	Kesto (min)	Tekijöitä (kpl)	Luokitus
2	22.1	06:30:00	06:50:00	20	2 Odotus	Aamun odotus, että aloitetaan työt
3	22.1	07:20:00	07:25:00	5	2 Korjaus	Lakkapientojen raaputtelua epätasaisuuksista
4	22.1	07:50:00	08:05:00	15	2 Tauko	Kahvitauko
5	22.1	08:05:00	08:15:00	10	2 Extra tauko	Kahvi tauko jatkuu
6	22.1	08:15:00	08:40:00	25	2 Odotus/ohjeet	Ohjeiden lukua/epäselvyydet oheissa
7	22.1	08:58:00	09:20:00	22	2 Materiaalivirhe	Pöytälevy ei mene paikalle / alihankkijan reiät vinossa?
8	22.1	10:00:00	10:20:00	20	2 Tauko	Ruokatauko
9	22.1	10:20:00	10:35:00	15	2 Extra tauko	Ruokatauko jatkuu
10	22.1	11:15:00	11:35:00	20	2 Nosto-ongelma	Käämi vinossa, nostettaessa yksi nurkka alempana
11	22.1	11:40:00	11:50:00	10	2 Odotus/ohjeet	Etsitään ohjeita
12	22.1	11:53:00	12:00:00	7	2 Odotus/ohjeet	Ykköskäämi ei mene paikalleen heti, apuja soitetaan
13	22.1	12:00:00	12:15:00	15	2 Tauko	Kahvitauko
14	22.1	12:15:00	12:20:00	5	2 Extra tauko	Kahvitauko jatkuu
15	22.1	12:20:00	12:35:00	15	2 Odotus/ohjeet	Poka-ilmoituksen tekeminen, koska kiiloja ei mene tarpeeksi monta p
16	22.1	12:45:00	12:50:00	5	2 Odotus/työkalut	Kääminlaskun kiila hukassa – etsitään
17	22.1	12:50:00	12:55:00	5	2 Odotus/työkalut	Nostolaitetta säädetään
18	22.1	13:00:00	13:15:00	15	2 Tauko	Taukojumppa
19	22.1	13:15:00	13:20:00	5	2 Odotus/ohjeet	Keskustelu työnjohdon kanssa
20	22.1	13:22:00	13:24:00	2	2 Odotus/työkalut	Sorkkaraudan haku
21	22.1	13:26:00	13:29:00	3	2 Korjaus	Sahataan kääminlasku-työkalua
22	22.1	13:53:00	14:00:00	7	2 Korjaus	Liimataan irronneita täytepaloja
23	22.1	14:00:00	14:55:00	55	2 Siivous/vuoron vaihto	Siivoilua, vuoronvaihto
24	23.1	06:20:00	06:50:00	30	2 Odotus	Odotellaan/valmistellaan työn aloitusta
25	23.1	06:55:00	07:30:00	35	2 Odotus	Liiman kuivumisen / käämin johdotuskorjaus odotus
26	23.1	07:45:00	08:10:00	25	2 Extra tauko	Kahvitauko venyy
27	23.1	08:10:00	08:35:00	25	2 Tauko	Kahvi ja Tier
28	23.1	09:05:00	09:20:00	15	2 Siirrot/logistiikka	Telineiden siirto
29	23.1	09:20:00	09:50:00	30	2 Odotus/logistiikka	Odotetaan siirtelijää
30	23.1	09:50:00	10:10:00	20	2 Tauko	Ruokatauko
31	23.1	10:10:00	11:00:00	50	2 Extra tauko	Ruokatauko venyy
32	23.1	11:00:00	12:00:00	60	3 Korjaus	Ladonnan korjausta ja uudelleen tekemistä, puristimen haku ja laitto
33	23.1	12:00:00	12:15:00	15	3 Tauko	Kahvitauko
34	23.1	12:15:00	12:45:00	30	3 Extra tauko	Kahvitauko venyy
35	23.1	13:45:00	14:45:00	60	2 Korjaus	Ladontakoneen ansat, korjausta
36	26.1	06:25:00	06:45:00	20	2 Odotus	Aamun odotus
37	26.1	07:25:00	07:30:00	5	2 Muu pysähdys	Työnjohdon ohjeistama tehtävänvaihto
38	26.1	07:50:00	08:15:00	25	2 Extra tauko	Kahvitauko venyy
39	26.1	08:15:00	08:40:00	25	2 Tauko	Kahvi + Tier
40	26.1	09:10:00	09:15:00	5	2 Odotus/työkalut	Kiilojen haku

Kuva 7. Esimerkki kuva häiriölogista

Excel aineiston avulla saatiin muun muassa päivittäinen tuottavan ja tuottamattoman työn osuus, vaihekohtaiset kokonaisajat sekä häiriöiden jakautuminen eri hukkakategorioiden. Näitä tietoja hyödynnettiin suoraan myös pareto-analyysissä.

5.5 Haastattelut ja kokemustiedot keruu

Havainnoinnin rinnalla kerättiin kokemustietoa epämuodollisin haastatteluin. Keskustelut käytiin työn ohessa asentajien, työnjohdon, linjapäällikön, suunnittelun ja muiden keskeisten sidostyhmiensä kanssa. Kommentit kirjattiin ylös, kuten huolet, häiriöt ja ongelmakohdat. Haastattelut täydensivät havaintoaineistoa tarjoamalla kontekstia kelloituksille ja häiriömerkinnöille. Varsinaiset muutospäätökset perustuivat gembahavainnoinnissa ja häiriölogissa tunnistettuihin ongelmiin, kun taas haastattelut syvensivät ymmärrystä ja auttoivat niiden tulkinnassa.

5.6 Analyysimenetelmät: VSM ja Pareto

Value Stream Mapping rakennettiin kelloitusten, häiriöiden ja odotusten perusteella kuvaamaan nykytilan virtausta. VSM teki näkyväksi arvoa tuottavat jaksot, virtauskatkokset ja pullonkaulat. Tavoitetilan hahmottelu perustui nykytilan pullonkaulojen poistamiseen tai lieventämiseen sekä materiaalivirran ja ohjauksen selkeyttämiseen. Pareto-analyysit laadittiin kahdesta näkökulmasta. Hukan jakautuminen hukkakategorioihin sekä päivittäisen tuottamattoman ajan osuus. Paretojen avulla priorisoitiin toimenpiteitä, koska pieni määrä syitä muodosti suurimman osan kokonaisviiveestä. Tulokset esiteltiin ja tulkittiin tarkemmin luvussa 6.

5.7 Eettiset ja luottamuksellisuusnäkökulmat

Aineisto käsiteltiin toimeksiantajan näkökulmasta luottamuksellisena. Tutkimuksessa ei kerätty eikä julkaistu henkilötietoja. Raportissa käytettävät kuvat tuotantoympäristöstä ja osa analyysista ja tuloksista sisältävät toimeksiantajan liikesalaisuuksia tai muutoin arkaluontoista tietoa. Näitä kohtia ei ole rajattu tai peitetty sisäisessä versiossa, mutta niiden jakelua on rajoitettu. Tämän vuoksi tutkielmasta laadittiin kaksi versiota:

1. Toimeksiantajan sisäinen versio, joka sisältää kaikki kuvat, häiriöt sekä täydet analyysit ja tulokset
2. Julkaistava yliopistoversio, josta luottamukselliset kuvat, tietyt analyysit ja numeeriset tulokset on poistettu, ettei toimeksiantajan tuotantoympäristön yksityiskohtia tai kilpailukykyä vaaranneta.

Julkaistavan version rajaaminen on linjassa toimeksiantajan tietoturva- ja salassapitokäytänteiden kanssa ja mahdollistaa samalla metodologian keskeisten johtopäätösten esittämisen akateemisesti läpinäkyvällä tavalla.

5.8 Luotettavuus ja validiteetti

Sisällöllinen validiteetti perustui siihen, että aineisto kerättiin gemba-lähtöisesti suoraan paikan päältä. Havainnot, kellotus ja keskustelut kiinnittyivät todellisiin tilanteisiin eivätkä jälkikäteen tehtyihin arviointeihin. Vaiheittaista mittausta hyödynnettiin VSM-malliin, joka oli tässä kontekstissa teoreettisesti perusteltu ja johdettu työn kirjallisuuskatsauksesta.

Mittausten reliabiliteettia vahvistaa yhtenäinen kirjausprotokolla: samat kentät, aikaleimat ja luokitteluperiaatteet läpi aineiston. Inhimillistä vaihtelua syntyi väistämättä mikrohäiriöiden rajauksissa ja päällekkäisten tapahtumien aikaleimoissa.

Ulkoinen validiteetti oli rajallinen. Tulokset kuvasivat tätä linjaa, tätä tuotetta ja tarkasteluhetken toimintaympäristöä. Menetelmäkokonaisuus on kuitenkin toistettavissa muille linjoille, kunhan kontekstin erot huomioidaan.

Erityinen rajoite liittyi vuoroihin, koska iltavuoroa ei kellotettu. Sen analyysi perustui asentajien kirjauksiin ja aamuvuorosta otettuihin keskiarvoihin. On myös huomioitava, että iltavuorossa tukitoiminnon, kuten työnjohto ja suunnittelu eivät ole paikalla, joka saattaisi lisätä häiriöherkkyyttä ja pidentää pysähdyksiä. Tästä syystä tuloksia on

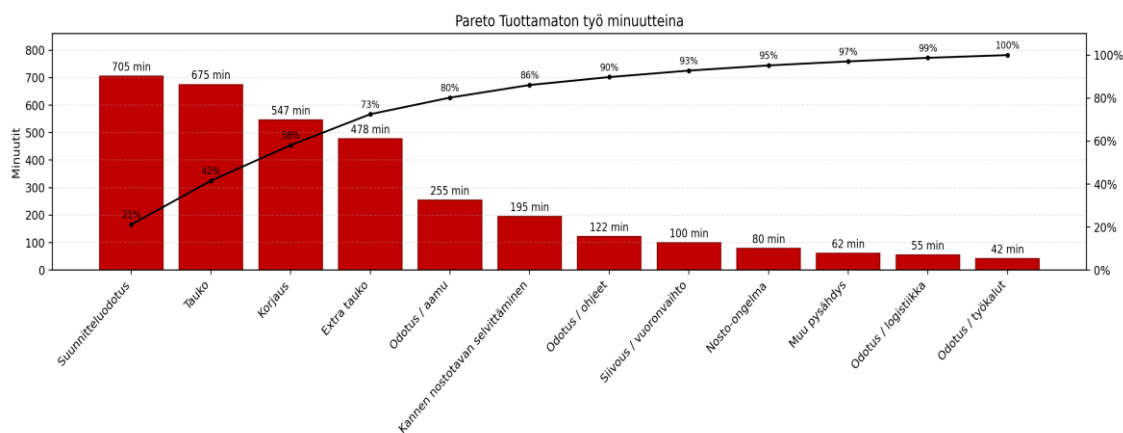
tulkittava konservatiivisesti. Aamuvuoron mittausten perusteella muodostettu kuva saattaa aliarvioida iltavuoron häiriöiden määrää ja vaikutusta.

Vuorovaikutus ja reaaliaikaiset keskustelut vähensivät muistivirheitä ja raportointiharhaa. Osaan löydöksistä reagoitiin jo tutkimuksena aikana, mikä vahvisti havaintojen käytännöllistä relevanssia.

6 Analyysi ja tulokset

Tässä luvussa kokoan kokoonpano- ja säiliöintivaiheesta kerätyn aineiston ja näytän mihin tuottamaton työ todellisuudessa kului. Aloitan kolmella paretolla, koska ne antavat yhdellä silmäyksellä selkeän kokonaiskuvan. Ensin on luokituskohtainen jakauma ja sitten päiväkohtainen vaihtelu. Tämän jälkeen avaan havainnot konkreettisten esimerkkien ja kuvien kautta. Luvussa esitetään myös VSM-kaavio. Lopussa esitetään myös muita häiriöitä ja haastatteluista esiin nousseita ongelmia ja kehityskohteita.

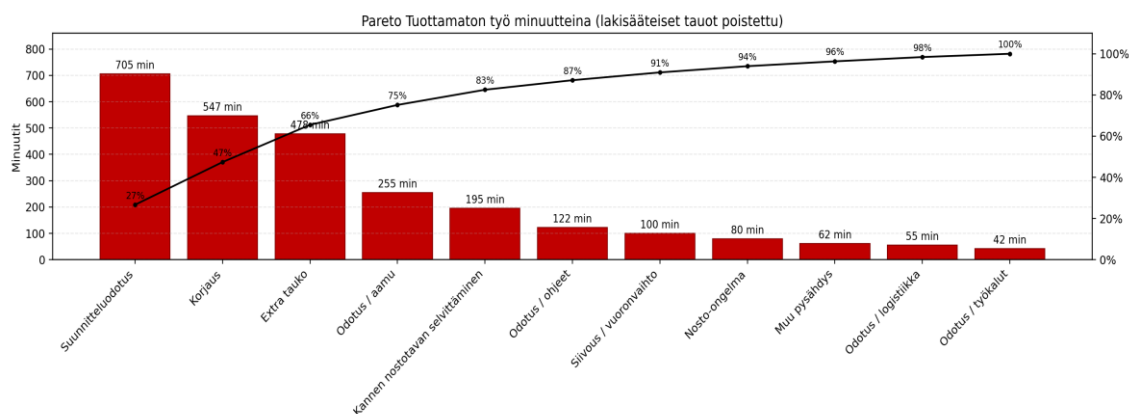
6.1 Häiriö paretot



Kuva 8. Pareto tuottamaton työ minuutteina.

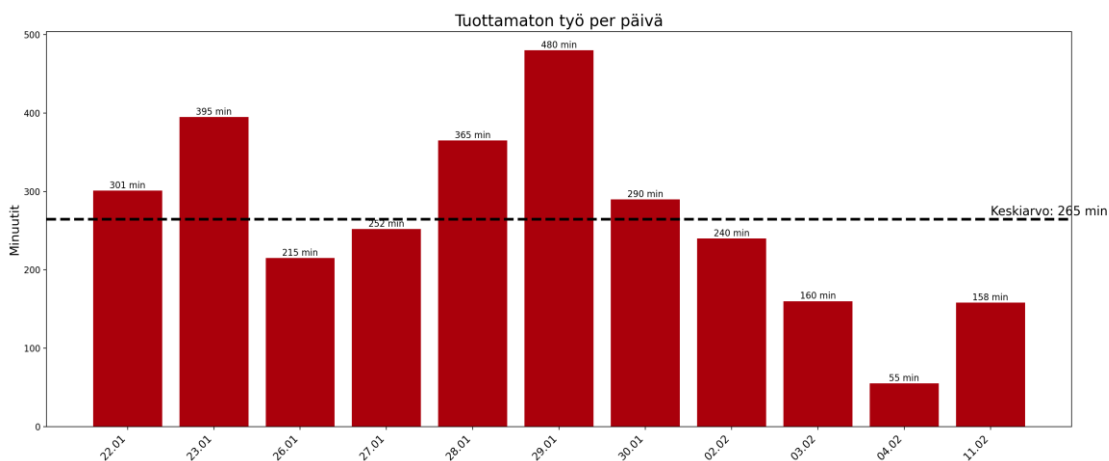
Tuottamaton työ pareto osoittaa, että aika ei jakaudu tasaisesti, vaan se keskittyy muutamaankin isompaan häiriöön. Suurimmat hukat syntyivät suunnittelun odotuksesta, korjaamisesta ja tauoista. Aineistoa kertyi gemba-seurannasta reilusti. Häiriöitä kirjataan yli 130 kappaletta, minkä jälkeen ne yhdisteltiin analyysiä varten yhteiseen luokitteluun. Tässä kuvassa on kuvattuna kaksitoista suurinta luokkaa, koska ne selittävän valtaosan tuottamattomasta ajasta. Pienempiä luokkia ja yksittäisiä pysähdyksiä on lisäksi taustalla, mutta niiden osuus kokonaisajasta on selvästi vähäisempi. On hyvä täsmentää, mitä kuvassa mitataan. Luokituskohtainen pareto kuvaa nimenomaan

häiriöminuutteja per luokka. Se kertoo, että paljonko aikaa on kulunut kussakin tuottamattoman työn luokassa yhteensä. Kuvassa näkyy myös lakisääteisten taukojen kertymä 675 minuuttia. Tämä on tarkoituksella mukana kokonaiskuvan johdonmukaisuuden vuoksi, jotta lukija näkee kaikki tuottamattomaksi kirjatut jaksot samassa kuvassa.



Kuva 9. Tuottamaton työ pareto lakisääteiset tauot huomioituna

Kuvan pareto on sama kuin ylempänä, mutta tästä on poistettu lakisääteiset tauot.



Kuva 10. Pareto tuottamaton työ per päivä

Kuvan 18 pareto kuva täydentää tulkintaa päiväkohtaisesta näkökulmasta. Siinä on kuvattu vain aamuvuorot. Lakisääteiset tauot on merkitty tuottamattomaksi työksi, jotta vertailu luokituskuvan kanssa pysyy yhdenmukaisena. Päivien välillä on huomattavaa vaihtelua. Huippupäivänä tuottamattoman työn määrä nousee selvästi keskiarvon yläpuolelle, kun taas osassa päivistä pysytään matalammalla tasolla. Käytännössä korkeat päivät kasautuvat tilanteisiin, joissa päätöksiä ja ohjeita joudutaan odottamaan tai joudutaan tekemään korjaustyötä ennen kuin prosessi voi valmistua. Matalat päivät syntyvät silloin, kun tieto ja komponentit ovat valmiina työn hetkellä ja asennusvaihe etenee ilman häiriöitä. Matalimpana päivänä 4.2 on mitattu vain 3 tuntia, koska silloin kokoonpano vaihe valmistua ja siksi se on erittäin matala.

6.2 Häiriöesimerkkejä tuotannosta

Tämä kappale ja siihen liittyvät kuvat on poistettu julkaistavasta versiosta toimeksiantajan luottamuksellisen tiedon vuoksi.

6.3 VSM

Tässä tutkielmassa seurattiin ainoastaan yhtä projektia ja tarkastelu rajattiin koskemaan kokoonpano- ja säiliöintivaiheita. Kuvassa esitetty arvovirtakuvaus ei siten ole koko muuntajalinjaa kattava tai kaikilta osin täydellinen VSM, vaan se on laadittu nimenomaan tutkimuksen kannalta oleellisiin työvaiheisiin keskittyen. Mukaan on otettu vain ne prosessin osat, joita tässä työssä on mitattu, havainnoitu ja analysoitu. Tavoitteena ei ollut kuvata koko tuotantoketjua yksityiskohtaisesti, vaan tehdä näkyväksi juuri ne työvaiheet ja ajat, joilla on merkittävin vaikutus tutkittuun kokonaisuuteen.

Tämän kappaleen liittyvät kuvat ja analyysi on poistettu julkaistavasta versiosta toimeksiantajan luottamuksellisen tiedon vuoksi.

6.4 Keskustelut tuotannossa

Projektin aikana kävin myös epämuodollisia keskusteluja tuotannon työntekijöiden kanssa. Kyse ei siis ollut varsinaisista haastatteluista, vaan juttelimme työn ohessa päivittäisistä työtehtävistä, prosessin haasteista sekä arjen kuulumista. Kokonaisuus eteni todella sujuvasti ja minut otettiin tehtaalla yllättävän lämpimästi vastaan, vaikka liikuin jatkuvasti työvaiheiden läheisyydessä ”kyttäämässä” ja kellottamassa eri vaiheita. Avoimuus oli silmiin pistävää. Asentajat kertoivat rehellisesti omia kokemuksiaan ja ajatuksiaan. He toivat esiin konkreettisia ongelmia sekä pidempiaikaisia huolia liittyen työympäristöön ja kokoonpano- ja säiliöintiprosesseihin.

Minulle tuli sellainen vaikutelma, että he olivat aidosti kiinnostuneita työn kehittämisestä ja halusivat osallistua parannusten ideointiin. Moni myös totesi arvostavansa sitä, että joku ”toimiston puolelta” tuli muutamaksi viikoksi heidän arkeensa, pysähtyi oikeasti kuuntelemaan ja kirjasi havainnot ylös. Tällä oli selvästi merkitystä ja se loi luottamusta koko projektin ajan.

Näissä keskusteluissa nousseet havainnot, kommentit ja kehitysehdotukset koottiin erilliseen word-tiedostoon, johon on tiivistettynä tärkeimmät teemat. Dokumentti on käyty läpi ja jaettu tuotannon esimiehille jatkotarkastelua ja mahdollisia toimenpiteitä varten. Seuraavan sivun kuva havainnollistaa, miten aineistoa kirjattiin projektin aikana.

Tiivistetty kooste havaituista ongelmista

1. Ohjeet ja kansiot

- Ohjeiden etsimiseen kuluu paljon aikaa, koska:
 - Kansiot ovat epäselviä, sekavia ja huonosti kategorisoituja.
 - Ohjeita löytyy vääristä luvuista ja eri paikoista.
 - Kuvat voivat olla keskenään ristiriitaisia, vanhoja tai väärästä muuntajasta.
 - Samasta työvaiheesta voi olla kymmeniä kuvia ilman loogista järjestystä.
- Useat ohjeista sisältävät virheitä:
 - Säättökämit eri asennoissa eri kuvissa.
 - Pöytälevyjen paksuuksista ja mitoista ei ole selkeää tietoa.
 - Pöytälevyjen mukana tulee väärä osia (esim. puutapit metallisten sijaan).
- Monet ohjeissa pilkotut osakokonaisuudet ovat turhia, koska osa tulee valmiina kokonaisina.
- Kansio on liian pieni: sivut repeytyvät, eivät mahdu ja niitä on vaikea selata.
- **Toive:**
Sähköinen järjestelmä, josta voi hakea ohjeet suoraan projektinumerolla tai työvaiheen nimellä. Tämä nopeuttaisi hakemista (2 min vs. 30 min kansioista).

2. Sähköiset järjestelmät / tietokoneet

- Asentajien on vaikea käyttää tietokonetta ja löytää oikeat tiedot.
- Joudutaan usein soittamaan apua toimistolta → aikaa kuluu.
- Järjestelmiä on paljon ja ne ovat monimutkaisia.
- Kuvia katoaa näytöltä, näyttö sammuu aikakatkaisun vuoksi eikä kirjautuminen onnistu ilman salasanoja.
- Salasanat ja koodit vaihtuvat jatkuvasti, eikä niitä ole ylhäällä.
- Ei ole perehdytystä tähän

3. Pöytälevyt, täytepalat ja tasot

- Jokaiseen 1-linjan muuntajaan on jouduttu lisäämään täytepalajoja, koska pöytälevyt eivät ole oikealla korkeudella.
- Täytepalajoja menee vaihteleva määrä per levy ja projekti → hidastaa työtä.
- Pöytälevyt keikkuvat ja ovat epätasaisia.
- Epätasaisuuden mahdollisia syitä:
 - Sydänosaston palkit?
 - Yj-puolella olevat palkinsuojat?
- Nostotasojen kaiteet ovat liian korkeita ja haittaavat työskentelyä, ladonta.
- Tason kolmiot antavat periksi ladonnassa, kaikissa tasoissa ei ole niitä.
- Tasoja on nostettu vaneerilla windstar-projekteja varten.
- Tasot voisivat olla leveämpiä, jotta muuntajan molemmat päät näkisi kunnolla.

4. Ladonta ja ladontakone

- Ladontakone tekee "ansoja":
 - Levyjä pitäisi tulla 6 paria, mutta väliin tulee 2–3 paria → niitä on vaikea huomata.
 - Puutteelliset parit pitäisi siirtää portaan päähän, ei väliin.
- Ladonta onnistuu huonosti ja aiheuttaa korjaustarvetta.
- Ladonta-apukädet "siivet" eivät toimi:
 - Painavat selkää ja lupaluita.
 - Rajoittavat liikkumista.
 - Ihmiset eri kokoisia → yksi ratkaisu ei sovi kaikille.
- Ladontapöytä liian kapea:
 - Levyt eivät mahdu molemmille puolille yhtä aikaa → paino kallistaa sydäntä.
 - Sydäntä joutuu tukemaan käsin ja apuvälineillä, ettei kaadu.

Kuva 11. Esimerkkikuva keskusteluista nousseista ongelmista.

7 Yhteenveto, suositukset ja jatkotutkimusaiheet

7.1 Yhteenveto

Tämän tutkielman tavoitteena oli tunnistaa ja analysoida tuotantolinjan 1 kokoonpano- ja säiliöintivaiheissa esiintyvää hukkaa sekä selvittää, että mihin tuottamaton työ käytännössä kohdistuu. Tutkimus perustui gemba-havainnointiin, työvaiheiden systemaattiseen kellotukseen, häiriöiden kirjaamiseen sekä pareto- ja VSM-analyyseihin. Aineisto kerättiin seuraamalla yhtä mainstream-muuntajaprojektia tuotannon arjessa suoraan paikan päällä.

Tulokset osoittivat hyvin selkeästi, että tuottamaton työ ei jakaudu tasaisesti eri tekijöiden kesken, vaan keskittyy muutamaankeskeiseen häiriöryhmään. Suunnittelun odottaminen ja suunnitteluvirheistä johtuvat korjaukset aiheuttivat lähes puolet kaikesta mitatusta tuottamattomasta työstä. Tämä tukee vahvasti pareto-periaatetta 20/80, jonka mukaan pieni osa syistä aiheuttaa valtaosan seurauksista. Tässä tutkimuksessa nimenomaan muutama suunnittelun ja tiedonkulkuun liittyvä tekijä selitti suurimman osan kokonaisviiveistä.

Eryteisesti sisäinen johdotus nousi esiin selkeimpänä yksittäisenä ongelma-alueena. Johdotuksiin liittyi useita konkreettisia haasteita, kuten liian tiukat mutkat, puutteelliset jännite-etäisyydet, johdotuspuukehikkojen yhteensopivuusongelmat sekä epäselvät tai puutteelliset suunnitteluohjeet. Nämä ongelmat aiheuttivat tilanteita, joissa asentajien työ keskeytyi useiksi tunneiksi suunnittelun vastauksia odottaessa tai jossa jo tehtyä työvaiheita jouduttiin purkamaan ja tekemään uudelleen.

Haluan korostaa, että tutkimus ei jäänyt vai ongelmien tunnistamisen tasolle. Osa havaituista suunnittelu- ja rakenneongelmista, erityisesti johdotukseen liittyviä ongelmia vietiin eteenpäin jo tutkimuksen aikana. Näiden pohjalta tehtiin käytännön korjauksia, kuten johdotusrakenteiden muuttaminen, mikä näkyy konkreettisesti kuvista 34 ja 35. Näiden muutosten odotetaan vähentävän vastaavia häiriöitä merkittävästi tulevissa

projekteissa. Useiden ongelmien takia jouduttiin tekemään useita muutoksia ja lähes koko johdotus tehtiin eri tavalla. Johdotuksesta on poistettu johdotuspuukehikko ja laitettu tilalle kourut. Säätekäämien tukipannan ulosottojen kiinnitysmutteri osui johdotuspuurakenteeseen, jonka vuoksi puukehikkoa ei saatu asennettua.

Tutkimuksen aikana kerätty häiriödata sai linjapäälliköltä ja työn ohjaajalta erittäin myönteisen vastaanoton. Palautteen mukaan kyseessä oli poikkeuksellisen arvokasta ja käytännönläheistä aineistoa, jota ei normaalissa tuotannon seurannassa synny. Useampi todettu häiriö vietiin myös suoraan eteenpäin jo työn aikana, mikä vahvistaa tutkimuksen käytännöllistä vaikuttavuutta.

Tutkimus sai myönteistä palautetta myös asentajilta. Useampi asentaja nosti esiin, että tutkimusta pidettiin poikkeuksellisen mielenkiintoisena ja hyödyllisenä, koska sen koettiin tuovan esiin tuottamattoman ajan todelliset syyt. Asentajien näkökulmasta merkittävää oli se, että tarkastelun kohteena ei ollut pelkästään työn määrä tai työntekijöiden tehokkuus. Tutkimuksessa selvitettiin mihin aika oikeasti kului ja mitkä tekijät aiheuttivat häiriöitä, keskeytyksiä, odotusta ja korjaustyötä. Tämä koettiin tärkeäksi erityisesti, koska tutkimus ei syyllistänyt asentajia. Tulokset toivat näkyväksi suunnittelun, tiedonkulun, prosessin, alihankkijoiden sekä muiden tekijöiden vaikutuksen päivittäiseen työhön. Tällainen lähestymistapa lisäsi hyväksyttävyyttä tutkimusta kohtaan ja vahvisti kokemusta siitä, että kehittämistyötä tehdään yhdessä eikä yksittäisten työntekijöiden kustannuksella.

Excel-pohjaisien häiriölogien lisäksi tutkimuksen aikana laadittiin erillinen dokumentti, johon koottiin sekä tutkijan että asentajien esiin nostamia havaintoja prosessista, ongelmista ja arjen työskentelystä. Dokumentista saatu palaute oli sanasta sanaan, että ”tämä pitäisi ripustaa seinälle ja käydä havainnot läpi yksi kerrallaan.” Tämä korostaa sitä, että tuotannossa on paljon hiljaista tietoa, jonka systemaattinen kerääminen ja näkyväksi tekeminen tarjoaa merkittäviä kehitysmahdollisuuksia.

Kokonaisuutena tutkimus osoitti, että suurin kehityspotentiaali ei ole yksittäisissä asentajissa tai työvaiheissa, vaan tuotannon ja suunnittelun rajapinnassa, tiedonkulussa sekä ennakoivassa suunnittelussa. Kun nämä pullonkaulat saadaan hallintaan, vaikutus ulottuu suoraan myös läpimenoaikoihin, taukojen pituuteen ja tuotannon sujuvuuteen.

7.2 Suositukset

Tutkimuksen havaintojen perusteella voidaan esittää useita konkreettisia kehityssuosituksia tuotantolinjan häiriöiden vähentämiseksi.

Ensinnäkin suunnittelun ja tuotannon välistä yhteistyötä tulisi vahvistaa entisestään. Suunnittelun ”jalkautuminen” tuotantoon nousi esiin havaintojen sekä keskustelujen perusteella. Käytännössä tämä tarkoittaisi sitä, että suunnittelijat viettäisivät enemmän aikaa tuotantolinjalla, tarkastelisivat toteutuneita rakenteita ja näkisivät omin silmin, miten suunnitelmat käyttäytyvät todellisessa asennustilanteessa. Tämä vähentäisi tulkinnanvaraisia ratkaisuja ja suunnittelun sekä tuotannon välistä kitkaa.

Suunnittelun odotuksesta johtuvaa hukkaa voitaisiin vähentää lisäämällä suunnittelun saatavuutta iltavuorossa. Tällä hetkellä iltavuorossa ei ole suunnittelun tukea, mikä kasvattaa häiriöitä silloin, kun ongelma ilmenee iltavuorossa. Käytännön vaihtoehtoja voisivat olla esimerkiksi vuorotteleva iltavuoropäivystys, kevennetty etätuki tai selkeästi määritelty kontaktimalli tietyn aikarajan sisällä ratkaistaville kysymyksille.

Johdotukseen liittyen suositellaan, että muutetut rakenteet ja opit dokumentoidaan heti ja viedään osaksi vakioratkaisuja. Lisäksi johdotusohjeiden ja muiden ohjeiden visuaalisuutta tulisi parantaa merkittävästi. Selkeät ja ajantasaiset projektikohtaiset kuvat vähentäisivät tulkinnanvaraa ja nopeuttaisivat asennusta. Samalla asentajille tulisi tarjota koulutusta sähköisten järjestelmien käyttöön, jotta tiedon etsiminen ei muodostuisi omaksi häiriötyypikseen.

Tutkimuksessa esiin nousseet pitkät ja hajanaiset tauot liittyvät osittain siihen, että työtä ei ollut mahdollista jatkaa tiedon, päätöksen tai korjauksen puuttuessa. Kun suunnittelun ongelmat saadaan paremmin hallintaan, myös ylimääräiset tauot lyhenevät luontevasti ilman erillisiä kurinpidollisia toimenpiteitä. Tämä tukee lean-ajattelun periaatetta, jossa ongelman juurisyy poistetaan sen sijaan, että puututaan oireisiin.

Kokonaisuutena suositellaan, että tuotantolinjan häiriödataa kerätään jatkossakin systemaattisesti ja käsitellään yhdessä tuotannon, suunnittelun ja johdon kanssa. Tässä tutkimuksessa kerätty aineisto osoitti selvästi, että jo pelkkä näkyväksi tekeminen käynnistää kehitystoimia.

7.3 Jatkotutkimusaiheet

Tämä tutkimus avaa luontevia jatkotutkimuspolkuja. Alla on esitetty keskeisimmät jatkotutkimusaiheet:

1. Suunnittelun ja tuotannon rajapinnan syväanalyysi:

Jatkotutkimuksessa voitaisiin keskittyä nimenomaan suunnitteluprosessiin ja selvittää, missä vaiheissa viiveet ja ongelmat syntyvät sekä miten niitä voitaisiin ehkäistä jo ennen tuotannon käynnistymistä.

2. Koko tuotantolinjan tarkastelu:

Tässä tutkimuksessa analyysi rajautui kokoonpano- ja säiliöintivaiheisiin. Jatkotutkimuksessa olisi perusteltua tarkastella koko tuotantolinjaa alusta alkaen lähetykseen asti ja analysoida, miten eri vaiheiden häiriöt vaikuttavat kokonaisläpimenoaikaan.

3. Eri tuoteperheiden vertailu:

Tutkimus kohdistui yhteen mainstream-muuntajaan. Jatkossa voitaisiin vertailla eri Hitachi Energyn tuoteperheitä ja selvittää, poikkeavatko häiriökuvat merkittävästi tuotteiden välillä.

4. Iltavuoron erillinen analyysi:

Tässä työssä iltavuoroa ei mitattu systemaattisesti. Iltavuoron tukitoimintojen puute ja erilainen häiriöherkkyyys tarjoaisivat mielenkiintoisen tutkimuskohteen.

5. Muiden tuotantolinjojen vertailu:

Hitachi Energyn Vaasan tehtaalla on useita tuotantolinjoja. Vertailututkimus voisi auttaa tunnistamaan parhaita käytäntöjä ja siirrettäviä ratkaisuja linjojen välillä.

6. Digitaalisten työkalujen ja reaaliaikainen häiriöseuranta

Lisäksi yhtenä mahdollisena aiheena voidaan mainita digitaalisten työkalujen ja reaaliaikaisen häiriöseurannan hyödyntäminen tuotannon ohjauksessa sekä tiedon systemaattinen kerääminen osaksi jatkuvaa parantamista.

Lähteet

- ABB. (2007). *Muuntajatekniikan perusteet*. Sisäinen dokumentti. [Rajattu pääsy]
- ABB. (2019). *MVA kotimaan säiliö design DtV Mainstream*. Sisäinen dokumentti. [Rajattu pääsy]
- Arunagiri, P. & Gnanavelbabu, A. (2014). Identification of major lean production waste in automobile industries using weighted average method. *Procedia Engineering*, 97, 2167–2175. Noudettu 5.1.2026 osoitteesta <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.460>
- Ayenigba, A. A., Afariogun, D. A., & Aina, O. A. (2023). A systematic review of seven core quality control tools and their applications in manufacturing process improvement. *Journal of Engineering Research and Reports*, 24(4), 1–15. Noudettu 23.2 osoitteesta https://www.researchgate.net/publication/395448053_A_Systematic_Review_of_Seven_Core_Quality_Control_Tools_and_Their_Applications_in_Manufacturing_Process_Improvement
- Bhamu, J. & Sangwan, K. S. (2024) Lean manufacturing: Literature review and research issues. *International Journal of Operations & Production Management*, 34(7), 876-940. Noudettu 9.12.2025 osoitteesta <https://doi.org/10.1108/IJOPM-08-2012-0315>
- George, J., Singh, A. & Bhaisare, A. K. (2018). A study of basic 7 quality control tools and techniques for continuous improvement. *Journal of Engineering & Technology*, 5(1), 115–119. Noudettu 23.2 osoitteesta https://www.researchgate.net/publication/334056570_A_Study_of_Basic_7_Quality_Control_Tools_Techniques_for_Continuous_Improvement

- Hines, P., Holweg, M. & Rich, N. (2004). Learning to evolve: A review of lean thinking. *International Journal of Operations & Production Management*, 24(10), 994–1011. Noudettu 4.12.2025 osoitteesta <https://doi.org/10.1108/01443570410558049>
- Hitachi Energy. (2025a). *Mainstream muuntajat*. Sisäinen dokumentti [Rajattu pääsy]
- Hitachi Energy. (2024) *News & Events*. Noudettu 4.11.2025 osoitteesta <https://www.hitachienergy.com/news-and-events/press-releases/2024/04/fi-hitachi-energy-investoi-noin-180-miljoonaa-dollarua-uuteen-tuotanto-ja-teknologiakampukseen-mustasaaren-vikbyhyn-tukemaan-energiasiirtymaa>
- Hitachi Energy. (2025). *Meet our people*. Noudettu 2.12.2025 osoitteesta <https://www.hitachienergy.com/about-us/our-people-and-culture/meet-our-people>
- Hitachi Energy. (2025). *News and events*. Noudettu 4.11.2025 osoitteesta <https://www.hitachienergy.com/news-and-events/features/2025/10/fi-uusi-muuntajatehdas-hariakorkeudessa-sisa-tyot-kaynnissa>
- Holweg, M. (2007). The genealogy of lean production. *Journal of Operations Management*, 25(2), 420–437. Noudettu 4.12.2025 osoitteesta <https://doi.org/10.1016/j.jom.2006.04.001>
- Imai, M. (1997). *Gemba kaizen: A commonsense, low-cost approach to management*. McGraw-Hill.
- Knapić, V., Licul, G. & Jelenc, L. (2024). A literature review of lean methods and tools: Research trends and issues. *International Journal of Productivity and Quality*

- Management*, 43(3), 320–349. Noudettu 4.1.2026 osoitteesta https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=5114770
- LeanVision. (n.d.). *Value stream mapping (VSM)*. Noudettu 4.1.2026 osoitteesta <https://leanvision.com/lean-info/vsm/>
- Memon, I. A., Jamali, Q. B., Jamali, A. S., Abbasi, M. K., Jamali, N. A., & Jamali, Z. H. (2019). Defect reduction with the use of seven quality control tools for productivity improvement at an automobile company. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 9(2), 4044–4047. Noudettu 23.2 osoitteesta https://www.researchgate.net/publication/346751187_Defect_Reduction_with_the_Use_of_Seven_Quality_Control_Tools_for_Productivity_Improvement_at_an_Automobile_Company
- Naeemah, A. J. & Wong, K. Y. (2023). Selection methods of lean management tools: A review. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 72(4), 1077–1110. Noudettu 4.1.2026 osoitteesta <https://doi.org/10.1108/IJPPM-04-2021-0198>
- Pitkänen, J. (2022) *Muuntajan suojarahjeen koestusohjelman kehittäminen* [Opinnäytetyö, Oulun Ammattikorkeakoulu]. Theseus. Noudettu 29.11.2025 osoitteesta https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/703604/Pitkanen_Juha.pdf;jsessionid=256862C70934FC7D09795CC92DB39B0F?sequence=2
- Ramezani, A. (2014). Lean and its Basic Components. *International Journal of Accounting Research*, 2, 36-45. Noudettu 20.11.2025 osoitteesta https://www.researchgate.net/publication/305597120_Lean_and_its_Basic_Components

- Setiawan, I., Tumanggor, O. S. P. & Purba, H. H. (2021). Value stream mapping: Literature review and implications for service industry. *Jurnal Sistem Teknik Industri*, 23(2), 2021. Noudettu 4.1.2026 osoitteesta <https://doi.org/10.32734/jsti.v23i2.6038>
- Shah, R. & Ward, P. T. (2007). Defining and developing measures of lean production. *Journal of Operations Management*, 25(4), 785-805. Noudettu 9.12.2025 osoitteesta <https://doi.org/10.1016/j.jom.2007.01.019>
- Stone, K. B. (2012). Four decades of lean: A systematic literature review. *International Journal of Lean Six Sigma*, 3(2), 112–132. Noudettu 4.12.2025 osoitteesta <https://doi.org/10.1108/20401461211243702>
- Taher, M. A., & Al Bashar, M. (2024). The impact of lean manufacturing concepts on industrial processes' efficiency and waste reduction. *International Journal of Progressive Research in Engineering Management and Science*, 4(6), 338–349. Noudettu 5.1.2026 osoitteesta <https://www.researchgate.net/publication/381250819> THE IMPACT OF LEAN MANUFACTURING CONCEPTS ON INDUSTRIAL PROCESSES' EFFICIENCY AND WASTE REDUCTION
- Thangarajoo, Y. & Smith, A. (2015). Lean thinking: An overview. *Industrial Engineering & Management*, 4. Noudettu 27.11 osoitteesta <https://www.researchgate.net/publication/281189935> Lean Thinking An Overview
- Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (1990). *The machine that changed the world: The story of lean production*. Rawson Associates.

Womack, J. P., & Jones, D. T. (1996). *Lean thinking: Banish waste and create wealth in your corporation*. Simon & Schuster.

Liitteet

Liite 1. Häiriölogi (salattu excel-tiedosto)

Liite 2. Keskustelut ja kehitysehdotukset (salattu word-tiedosto)

Liite 3. Powerpoint raportti ja analyysi (salattu powerpoint-tiedosto)