

Opinnäytetyö (AMK)

Konetekniikka

2025

Ilari Pääkkönen

# Roottoripurjeen terästornin varusteluprosessin virtaviivaistaminen



Opinnäytetyö (AMK) | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Konetekniikka

2025 | 29 sivua

Ilari Pääkkönen

## Roottoripurjeen terästornin varusteluprosessin virtaviivaistaminen

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli virtaviivaistaa roottoripurjeen terästornin varusteluprosessia Norsepower Oy:n uudella roottoripurjetehtaalla. Tavoitteena oli löytää tuotantoa hidastavia ja haittaavia muuttujia ja kartoittaa kuinka varusteluprosessi tehtaalla etenee.

Opinnäytetyö sisältää kartoituksen varusteluprosessin lähtötilanteesta ja sen ongelmista sekä kehitysehdotuksia prosessin parantamiseksi. Kartoituksen apuvälineinä käytettiin Lean ja Six Sigma -menetelmien periaatteita. Näitä menetelmiä esitellään opinnäytetyön teoriaosuudessa tarkemmin.

Opinnäytetyön avulla saatiin käsitys varusteluprosessin etenemisestä tehtaalla ja löydettiin useita prosessia haittaavia ongelmia, jotka vaikuttavat varusteluprosessiin. Opinnäytetyön tekovaiheessa prosessia itsessään ei kehitetty, vaan esitettiin kehitysehdotuksia prosessin parantamiseksi tulevaisuudessa. Kehitysehdotukset liittyvät varusteluprosessiin, tehtaan ja Norsepowerin pääkonttorin väliseen kommunikaatioon, varusteluosien laatuun sekä työturvallisuuteen. Koska parannusehdotuksia ei vielä lähdetty kokeilemaan, ei niiden toimivuudesta ole tietoa. Tämä opinnäytetyö toimii pohjamateriaalina, kun varusteluprosessia kehitetään.

Asiasanat:

Roottoripurje, Lean, Six Sigma, Tuotanto, Prosessi, Kehittäminen

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Mechanical Engineering

2025 | 29 pages

Ilari Pääkkönen

## Streamlining the outfitting process of the rotor sail steel tower

The objective of this thesis was to streamline the outfitting process of the steel tower of the rotor sail at Norsepower Oy's new rotor sail factory. The aim was to identify variables that slow down or hinder production and to map out how the outfitting process proceeds at the factory.

The thesis includes an analysis of the initial state of the outfitting process and its issues, along with development proposals for improving the process. The principles of Lean and Six Sigma methods were used as tools for the assessment. These methods are introduced in more detail in the theoretical part of the thesis.

This thesis provided an understanding of how the outfitting process progresses at the factory and identified several issues that negatively affect the process. The process itself was not developed in this thesis, but improvement suggestions were presented for future implementation. These proposals are related to the outfitting process, communication between the factory and Norsepower's headquarters, the quality of outfitting components, and occupational safety. Since the suggested improvements have not yet been tested, their effectiveness is not known. This thesis serves as foundational material for future development of the outfitting process.

Keywords:

Rotor sail, Lean, Six Sigma, Production, Process, Development

# Sisältö

<b>Käytetyt lyhenteet tai sanasto</b>	<b>6</b>
<b>1 Johdanto</b>	<b>7</b>
1.1 Opinnäytetyön tausta	7
1.2 Opinnäytetyön tavoitteet	9
1.3 Roottoripurje	9
<b>2 Lean Six Sigma</b>	<b>12</b>
2.1 Lean	12
2.2 Six Sigma	13
2.3 Lean Six Sigma	14
<b>3 Tehtaan lähtötilanne</b>	<b>15</b>
3.1 Tehtaan varustelualueen layout	15
3.2 Varusteluprosessi	17
3.3 Työskentelyjärjestys ja pullonkaulat	17
3.4 Työohjeet	18
3.5 Hukkatoiminnot	19
3.6 Varusteluosien laatu	20
3.7 Työturvallisuus ja -ergonomia	20
<b>4 Varusteluprosessin kehittäminen</b>	<b>23</b>
<b>5 Kehitysehdotukset</b>	<b>24</b>
5.1 Työohjeet	24
5.2 Varusteluprosessi	24
5.3 Varusteluosien laatu	25
5.4 Layout	26
5.5 Turvallisuus	26
<b>6 Johtopäätökset</b>	<b>28</b>
<b>Lähteet</b>	<b>29</b>

## Kuvat

Kuva 1. Norsepowerin roottoripurjeella varustettu irtolastilaiva. (norsepower.com)	7
Kuva 2. Roottoripurjeen terästorni varusteltavana tehtaalla.	8
Kuva 3. Magnus-efekti. (Norsepower.com)	10
Kuva 4. Havainnekuva roottoripurjeen rakenteesta. (Norsepower.com)	11
Kuva 5. DMAIC-menetelmä. (ISO 13053-1. 2014, 14)	13
Kuva 6. Terästornien siirtelyyn käytettävä "kehto".	15
Kuva 7. Hahmotelma tehtaan layoutista	16
Kuva 8. Manuaalikäyttöinen nosturi.	21
Kuva 9. Alumiiniportaat.	22

## Käytetyt lyhenteet tai sanasto

5S	Viisivaiheinen menetelmä, joka on osa Leania.
DMAIC	Six Sigman viiden eri vaiheen nimien alkukirjaimista tuleva lyhenne.
Kaizen	Jatkuvan parantamisen malli, jota käytetään osana Leania.
Lean	Ajattelumalli, joka pyrkii optimoimaan työskentelyä kaikilla osa-alueilla.
Magnus-efekti	Fysikaalinen ilmiö, jossa pyörivän kappaleen eri puolille syntyy paine-ero.
NCR	Non-conformance report eli vaatimustenvastaisuusraportti
Propulsio	Työntövoima
Roottoripurje	Mekaaninen laite, jonka avulla laiva saa työntövoimaa tuulesta.
Six Sigma	Ajattelumalli, joka pyrkii vähentämään työssä tehtäviä virheitä.
Terästorni	Roottoripurjeen tukirakenne,
TPS	Toyota Production System

# 1 Johdanto

## 1.1 Opinnäytetyön tausta

Tämä opinnäytetyö on tehty toimeksiantona Norsepower Oy Ltd:lle. Norsepower on vuonna 2012 perustettu suomalainen yritys, joka suunnittelee, kehittää ja valmistaa roottoripurjeita (kuva 1) meriliikenteeseen.



Kuva 1. Norsepowerin roottoripurjeella varustettu irtolastilaiva.  
(norsepower.com)

Tämä opinnäytetyö keskittyy roottoripurjeen tukirankana toimivan terästornin (kuva 2) mekaanisen varusteluprosessin virtaviivaistamiseen.



Kuva 2. Roottoripurjeen terästorni varusteltavana tehtaalla.

Norsepower otti marraskuussa 2024 käyttöön tehtaan, jossa terästorneja varustellaan sarjatuotantona. Ennen tehtaan käyttöönottoa terästornit varusteltiin alihankintana tilaus kerrallaan useilla eri alihankkijoilla. Tämä aiheutti viivästyksiä tuotantoketjuun sekä vaihtelua terästornien varustelun laadussa. Omalla tehtaalla tapahtuvana tuotantona laadun odotetaan parantuvan sekä varusteluprosessin nopeutuvan. Tehtaan ollessa vielä kuitenkin melko tuore, prosessia on syytä tarkastella ja pyrkiä löytämään sitä hidastavia tai muuten haittaavia tekijöitä.

Opinnäytetyön tutkimus suoritettiin vieraillemalla Norsepowerin tehtaalla muutaman viikon ajaksi. Vierailun aikana seurattiin yhteensä neljän keskenään samanlaisen terästornin varusteluprosessia ja näiden terästornien varusteluprosessien etenemistä verrattiin toisiinsa. Havainnointia tehtiin paljon myöhemmin tässä opinnäytetyössä esiteltävien Lean ja Six Sigma metodologioiden periaatteita noudattaen. Yleiskuvaa varusteluprosessista

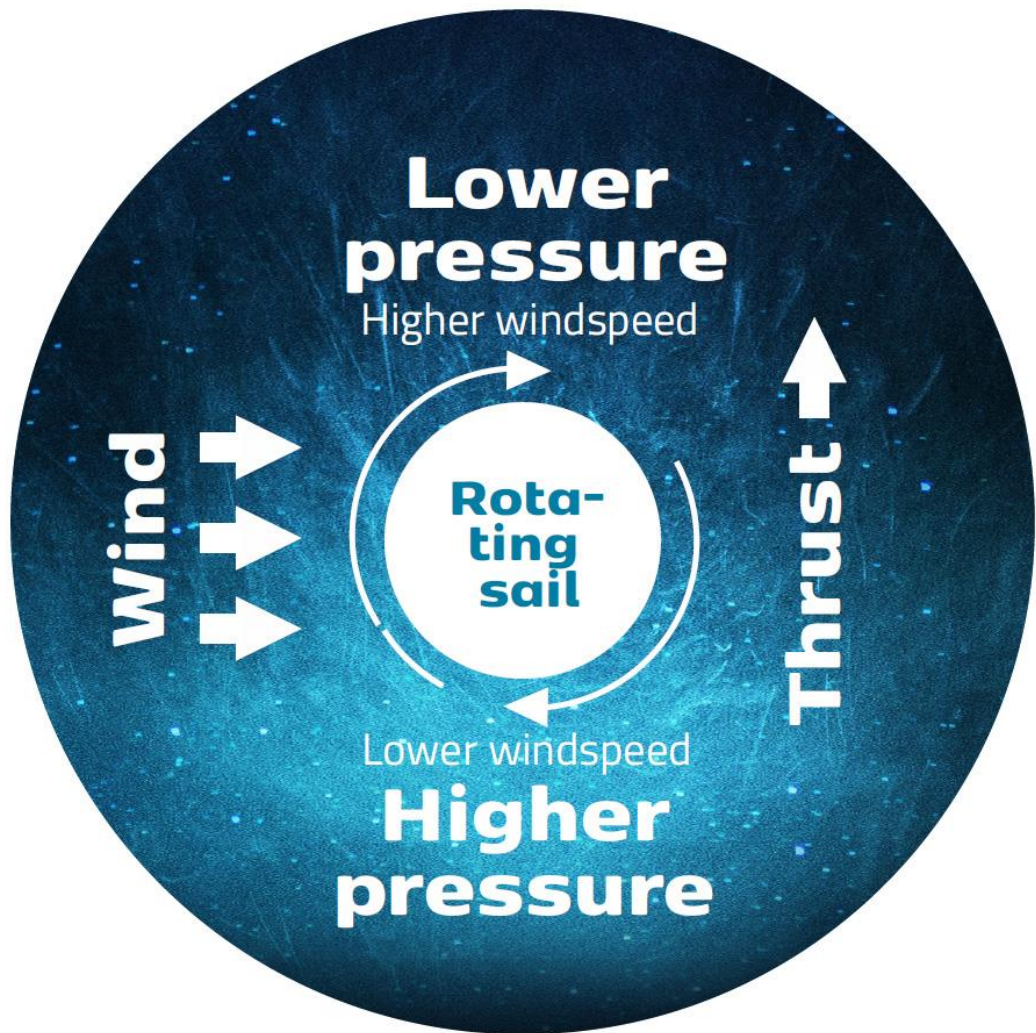
paransivat useat keskustelut tehtaan päälliköiden kanssa. Varusteluprosessin seuraamisen ja keskusteluiden yhdistelmällä saatiin yleiskuva varusteluprosessin todellisesta etenemisestä tehtaalla.

## 1.2 Opinnäytetyön tavoitteet

Opinnäytetyön tavoitteena on löytää Norsepowerin tehtaan tuotantoprosessia terästornien varusteluprosessin näkökulmasta haittaavia heikkouksia, sekä löytää niihin ratkaisuja. Toimeksiantajan toiveesta heikkouksia etsitään tuotantoprosessin taloudellisuuden, tuotannollisuuden sekä työturvallisuuden näkökulmista. Työssä esitellään ja hyödynnetään myös Lean- ja Six Sigma-menetelmiä työkaluina tuotannon tehostamiseen. Näiden menetelmien kautta löydettyjen metodien tarkoitus on nopeuttaa terästornin läpimenoaika tehtaalla sekä tehdä varustelusta tehokkaampaa, ja samalla kasvattaa tuotantokapasiteettia, parantaa terästornien varustelun tasalaatuisuutta sekä laskea yksittäisen terästornin varustelun kustannuksia.

## 1.3 Roottoripurje

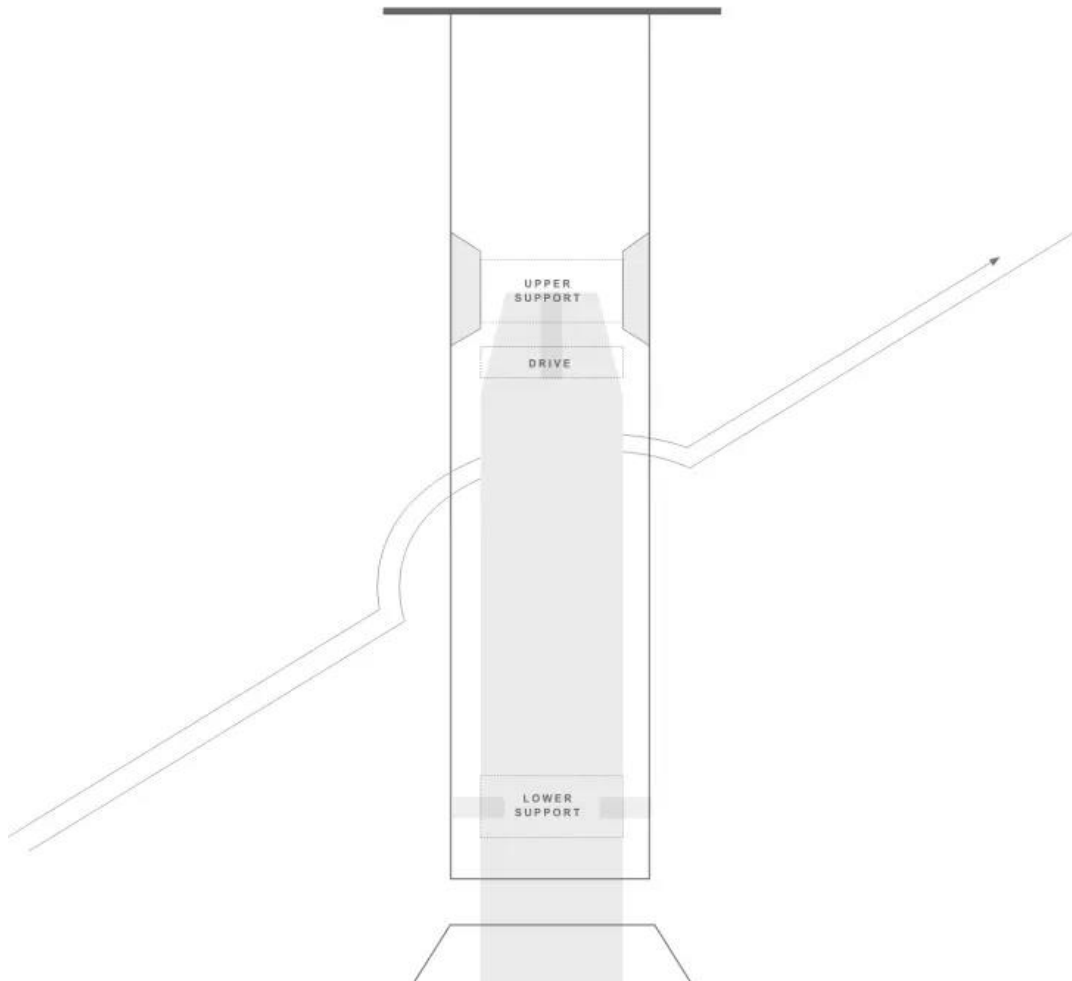
Roottoripurje on sylinterimäinen mekaaninen tuulipropulsio-laite laivan kannella, jota pyöritetään sähkömoottorin avulla. Tuulen tuoman ilmavirran osuessa pyörivään roottoriin ilmavirta hidastuu toisella puolella roottoria ja toisella puolella roottoria ilmavirta puolestaan kiihtyy. Tämä aiheuttaa paine-eron roottoripurjeen eri puolten välille, ja tästä syntyy työntövoimaa. Tätä ilmiötä kutsutaan Magnus-efektiksi (kuva 3). Roottoripurje mahdollistaa konetehon pienentämisen, jolloin polttoainetta kuluu vähemmän ja samalla päästöt pienenevät. Vaihtoehtoisesti saatu työntövoima voidaan käyttää nopeuden lisäämiseksi. (Norsepower Oy. 2025.)



Kuva 3. Magnus-efekti. (Norsepower.com)

Roottoripurje on noin kymmenen kertaa tavanomaista purjetta suorituskykyisempi, kun verrataan saatua työntövoimaa purjeen pinta-alaan. Roottoripurjeella voidaan säästää polttoainetta ja pienentää päästöjä tyypillisesti 5–25 % ja oikein suotuisissa oloissa jopa 70 %. (Norsepower Oy. 2025.)

Roottoripurje koostuu kahdesta sylinteristä (kuva 4). Näistä suurempi on ulospäin näkyvä pyörivä roottori ja pienempi on tukirakenteena toimiva terästorni, joka on asennettu laivan runkoon kiinnitettyyn jalustaan.



Kuva 4. Havainnekuva roottoripurjeen rakenteesta. (Norsepower.com)

Joihinkin laivoihin purje asennetaan kääntyvän jalustan päälle, jolloin purje voidaan kääntää horisontaaliin asentoon esimerkiksi lastauksen ajaksi tai siltoja alittaessa. Roottoripurjeita voidaan asentaa sekä uusiin aluksiin rakennusvaiheessa, että jälkiasentaa jo olemassa oleviin aluksiin telakoinnin yhteydessä. Roottoripurjeita voidaan asentaa laivaan yksi tai useita. (Norsepower Oy. 2025.)

## 2 Lean Six Sigma

### 2.1 Lean

Lean on Toyotan tuotantosysteemin (Toyota Production System, TPS) pohjalta kehittynyt tuotantofilosofia, jossa sovelletaan laatujohtamisen periaatteita tuottamiseen. Lean-ajattelussa keskitytään kokonaisuuden optimoimiseen yksittäisten asioiden sijaan. Tavoitteena Lean-ajattelussa on tuottaa asiakkaalle parasta mahdollista arvoa, samalla kuitenkin tuottajan tarpeet huomioiden. (Sixsigma.fi 2025.)

Lean-ajattelussa kaikki aktiviteetit voidaan jakaa arvoa tuottaviin aktiviteetteihin, tukitoimintoihin ja hukkaan. Arvoa tuottavia aktiviteetteja ovat toiminnot, jotka muokkaavat tietoa, materiaalia tai ihmistä asiakkaan haluamaan suuntaan. Tukitoiminnot ovat aktiviteetteja, jotka ovat välttämättömiä arvontuoton mahdollistamisessa tai välttämättömiä lainsäädännön, riskienhallinnan tai teknologisten rajoitteiden kannalta. Hukkatoiminnot ovat arvoa tuottamattomia aktiviteetteja, jotka voidaan poistaa pienillä investoinneilla. (Logistiikan maailma 2025.)

Lean-ajattelussa hukkatoimintoja ajatellaan olevan kahdeksaa erityyppistä, joista pyritään pääsemään eroon aktiivisella toiminnalla. Hukkatoimintoja ovat kuljetus, varasto, liike, odottaminen, ylituotanto, virheet, tarpeeton työ sekä taidot. Osa näistä on jossain määrin välttämättömiä toimintoja, eikä niistä koskaan pääse täysin eroon, mutta Leanissa niitä pyritään vähentämään mahdollisimman paljon. (Slack & Brandon-Jones 2019, 524–525.)

5S terminologia Lean-ajattelussa on metodologia, jota käytetään visuaalisen järjestyksen, siisteyden ja vakioinnin ylläpitämiseen. 5S:n avulla pyritään eliminoimaan epävarmuutta, odottelua, tiedon etsimistä ja muita vastaavia aikaa syöviä hukkatoimintoja. Kun kaikki tarpeeton eliminoidaan, toiminnoista tulee selkeämpiä, ennustettavampia, epäjärjestys vähenee ja tarvikkeet ovat aina samoissa paikoissa helpottaen ja nopeuttaen työtä. 5S tulee japaninkielisistä sanoista seiri (lajittele), seiton (järjestä), seisō (puhdistus), seiketsu (vakioi) ja shitsuke (ylläpidä). (Slack & Brandon-Jones 2019, 535–536.)

Lean-ajattelussa tavoitteet ovat ihanteita, joihin ei tulla koskaan pääsemään, mutta niitä kohti pyritään kehittymään jatkuvan parantamisen (kaizen) kautta. Parantamista pidetään tilapäisenä asiana, mutta kun tavoite on saavuttamattomissa, prosessin parantamisesta tulee jatkuvaa toimintaa. Jatkuva parantaminen on yksi Leanin kulmakivistä. Jatkuvassa parantamisessa arvostetaan pieniä helposti noudatettavia parannuksia, ja tärkeintä ei olekaan

tahti, jolla parannuksia ja muutoksia tehdään, vaan parannusten säännöllisyyttä arvostetaan enemmän. (Slack & Brandon-Jones 2019, 522, 551–552.)

## 2.2 Six Sigma

Six Sigman avulla on tarkoitus tuottaa enemmän voittoa ratkaisemalla vakavia, mahdollisesti pitkän aikaa esiintyneitä, liiketoiminnan ongelmia. Six Sigman perimmäisenä ajatuksena on lisätä liiketoiminnan kannattavuutta poistamalla ja ehkäisemällä virheitä. Virheiden määrässä Six Sigmassa pyritään tasoon alle 3,4 virhettä miljoonaa mahdollisuutta kohti. Six Sigmassa kaikille projekteille on oltava liiketoimintalähtöinen perustelu, jolla kaikkien projektien taustat tarkistetaan, sekä DMAIC-menetelmä (kuva 5), joita projekteissa noudatetaan. DMAIC on lyhenne, mikä tulee englanninkielisten sanojen ”Define” (määritä), ”Measure” (mittaa), ”Analyse” (analysoi), ”Improve” (paranna) sekä ”Control” (ohjaa) alkukirjaimista. (ISO 13053-1. 2014, 8, 14–16.)

Kysymys	Six Sigman jakso	Kuvaus
Mikä ongelma on kyseessä?	Määrittely	Määritellään käsiteltävä strateginen kysymys
Minkälainen prosessi on nyt?	Mittaus	Mitataan parannettavan prosessin tämänhetkinen suorituskkyky
Mistä se johtuu?	Analysointi	Analysoidaan prosessi, jotta voidaan määrittellä huonon suorituskyvyn perimmäinen syy
Mitä asialle voidaan tehdä?	Parantaminen	Parannetaan prosessia testaamalla ja tutkimalla mahdollisia ratkaisuja, joilla prosessista saadaan varmatoimisempi ja parempi
Kuinka tätä voidaan ylläpitää?	Ohjaus	Parannetun prosessin ohjaukseen perustetaan standardoitu prosessi, jota voidaan käyttää ja parantaa jatkuvasti niin, että suorituskkyky pysyy samana ajan mittaan

Kuva 5. DMAIC-menetelmä. (ISO 13053-1. 2014, 14)

DMAIC-menetelmää seurataan tyypillisesti askel kerrallaan. Määrittelyvaiheessa (D) prosessille määritetään ongelma, joka halutaan ratkaista. Tässä vaiheessa ongelmaa ei vielä pyritä ratkaisemaan. Mittausvaiheessa (M) määritellään onnistumisen mittarit ja määritetään lähtötilanne. Analysointivaiheessa (A) tunnistetaan ja määritetään ongelmien mahdolliset juurisyyt. Parantamisvaiheessa (I) tunnistetaan, testataan ja toteutetaan mahdollisia ratkaisuja aiemmissa vaiheissa tunnistettuihin ongelmiin. Ohjausvaiheessa (C) parannukset pyritään omaksumaan vakiintuneiksi käytännöiksi siten, että prosessin suorituskkyky pysyy jatkossa vähintään samalla tasolla. Ohjausvaihetta pidetään haastavimpana vaiheena Six Sigmassa. (Tarantino 2022, 21–41.)

Tutkimusten mukaan Six Sigmalla voidaan vähentää virheiden määrää keskimäärin 35 %, joillakin aloilla virheiden määrä tuotantolinjoilla on vähentynyt

jopa 50 %. Hukan eliminoiminen ja prosessien optimointi puolestaan vähentävät kustannuksia keskimäärin 20 %. Tuotteen läpimenoaika vähenee keskimäärin 30 % prosessin virtaviivaistamisella ja kehittyneemmillä laaduntarkkailumenetelmillä. (Tanha ym. 2025.)

Kun terästornin varusteluprosessia lähdetään parantamaan Six Sigman kautta, määrittelyvaiheen kysymys on: ”Miten prosessista saadaan tehokkaampi ja parempi?”. Tässä opinnäytetyössä suoritetaan Six Sigman mittaus- ja analysointivaihe. Parantamis- ja ohjausvaiheisiin ei tässä opinnäytetyössä edetä, mutta parantamisvaiheelle annetaan ehdotuksia.

Jotta Six Sigmaa voisi todella hyödyntää täydellä potentiaalilla, tarvittaisiin koulutettuja perehdyttäjiä tehtaalle ohjeistamaan ja perehdyttämään henkilöstöä. Lisäksi aikaa tarvittaisiin enemmän kuin tämän opinnäytetyön puitteissa on mahdollista käyttää, joten Six Sigman periaatteita käytetään tämän opinnäytetyön kohdalla suuntaa antavasti. Mikäli tulokset tässä vaiheessa ovat suotuisia, voi Norsepower panostaa Six Sigmaan myöhemmin suuremmalla kapasiteetilla, ja saada menetelmästä täyden hyödyn. Tässä opinnäytetyössä Six Sigman avulla ratkaistavana ongelmana on roottoripurjeen terästornin varusteluprosessin parantaminen.

### 2.3 Lean Six Sigma

Lean Six Sigma -menetelmässä yhdistetään Leanin aikaan ja aikahukkaan keskittyvä lähestyminen Six Sigman tuote- /ominaisvaihtelun määrään, materiaalihukkaan ja virheisiin keskittyvään lähestymiseen. Tällä yhdistetyllä menetelmällä voidaan siis parantaa tuotteiden tasalaatuisuutta samalla kun prosessin aikahukka vähenee. (Piirainen 2023.)

Terästornin varusteluprosessiin Lean Six Sigmaa lähdetään tuomaan ensin perehtymällä nykyiseen varusteluprosessiin ja tutkimalla prosessista löytyviä Leanin hukkatointoja sekä Six Sigman materiaalihukkaa ja virheitä. Hukkatointoja etsitään sekä yksittäisistä varustelun työvaiheista sekä varusteluprosessista kokonaisuutena. Näiden havaintojen pohjalta lähdetään luomaan ehdotuksia varusteluprosessin parantamiseksi.

### 3 Tehtaan lähtötilanne

Tehtaalla on toimintoja sekä ulko- että sisätiloissa. Sisätiloissa tapahtuu terästornien varustelu. Lisäksi sisätiloista löytyy varasto sekä tuotannon toimistotilat. Loput toimisto- ja sosiaalityilat ovat erillisessä rakennuksessa. Ulkona tapahtuu puolestaan roottorien varustelu ja asennus, sekä valmiiden purjeiden testaus. Tässä opinnäytetyössä tehtaan tarkastelu tapahtuu terästornin varusteluprosessin näkökulmasta.

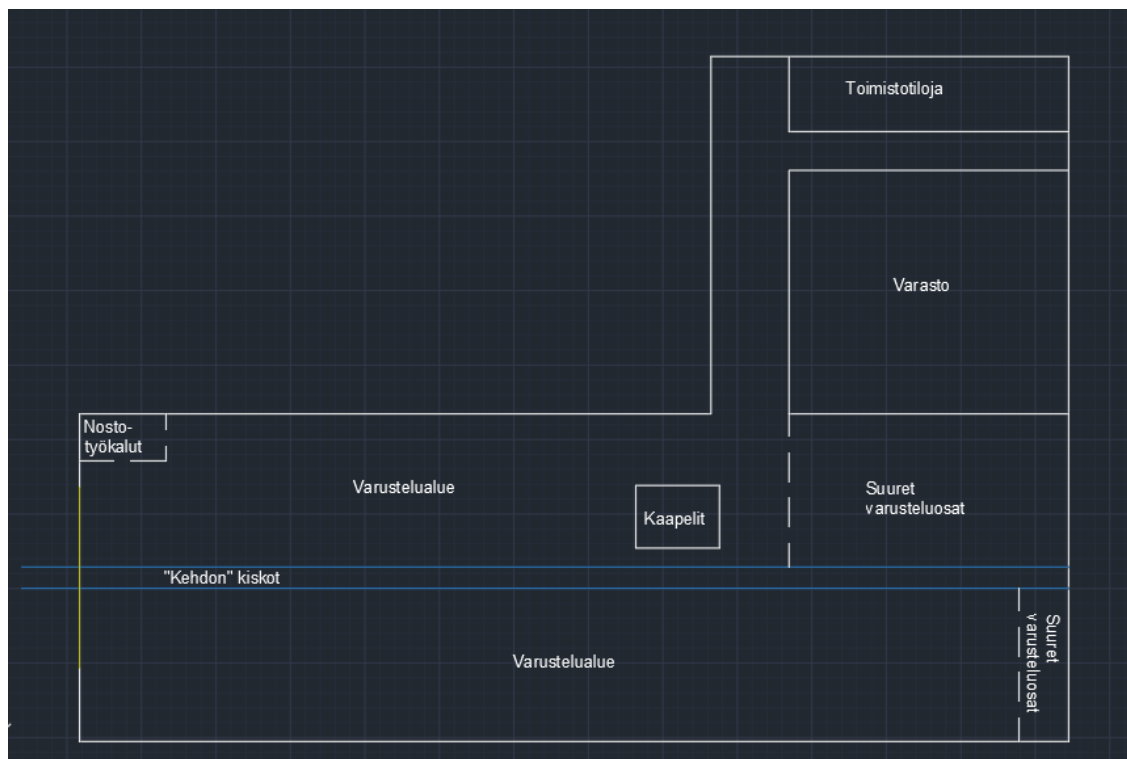
#### 3.1 Tehtaan varustelualueen layout

Terästornien varustelu tapahtuu tehtaan sisätiloissa, ja kerrallaan varusteluhalliin mahtuu 6–10 terästornia. Terästornien maksimimäärä varusteluhallissa riippuu niiden koosta. Terästornien siirtäminen varustelualueille tapahtuu kiskoilla kulkevan ”kehdon” (kuva 6) sekä hallissa olevien nostureiden avulla. Varustelualueilla terästornit ovat rullapetien päällä, joiden avulla varusteltavana olevia terästorneja voidaan pyöritellä työvaiheiden kannalta sopivaan asentoon.



Kuva 6. Terästornien siirtelyyn käytettävä ”kehto”.

Kuten tehtaan layout-hahmotelmasta (kuva 7) käy ilmi, kulkevat ”kehdon” kiskot keskeltä hallia koko hallin läpi ulos saakka nosto-oven kautta, mahdollistaen terästornien siirtämisen ”kehdolla” ulkoa sisälle halliin ja hallista ulos.



Kuva 7. Hahmotelma tehtaan layoutista

Keskellä hallin lattiaa, aivan kiskojen vieressä, on terästornin varustelussa tarvittavat sähköjohdot ja -kaapelit. Kyseinen säilytyspaikka ei ole Leanin 5S metodologian mukainen ja se tuottaa ongelmia, kun toiminta saavuttaa täyden kapasiteetin ja tehdashallissa on täysi määrä terästorneja varustelussa. Näille on kuitenkin tilattu teline, jossa säilytys on järkevämpää ja vie vähemmän tilaa. Teline tullaan sijoittamaan tehtaan seinustalle.

Tehtaan varastoalue on pienehkö, ja kaikkein suurimmat varustelussa terästorniin kiinnitettävät varusteluosat, kuten sähkömoottorit ja päälaakerit, eivät varastoon mahdu, joten näitä säilytetään hallin perällä ja reunoilla. Näiden säilytys varustelualueella pienentää kerrallaan varusteluhalliin mahtuvien terästornien määrää.

Varusteluprosessin kannalta tehdas on toimiva tämänhetkisille tuotantomäärille. Terästorneille on riittävästi tilaa tehdashallissa ja vaikka terästornit ovatkin melko lähellä toisiaan, on niiden ympärillä riittävästi tilaa työskennellä, sillä varusteluprosessissa ei terästornien ulkopuolelle tehdä mitään. Varusteluhallin layoutia tulee kuitenkin kehittää, sillä tilankäyttö ei ole optimaalista.

### 3.2 Varusteluprosessi

Kun terästornit saapuvat tehtaalle, on niihin jo valmiiksi asennettu kaapeliradat, tikapuut ja tarvittavat telineet. Norsepowerin tehtaalla asennetaan siis vain roottoripurjeen toiminnan takaavat komponentit kuten sähkömoottori ja päälaakeri, tukirullat sekä sähkökaapit ja muut sähkökomponentit.

Terästornien varustelu tapahtuu neljän mekaanikon ja viiden sähköasentajan voimin. Mekaanikot työskentelevät pääosin yhtenä ryhmänä ja sähköasentajat työvaiheesta riippuen yksin, kaksin tai kolmestaan. Mekaanikkojen työmäärä on sähköasentajien työmäärää pienempi, ja siitä syystä mekaanikot vastaavat mekaanisen varustelun lisäksi varusteluhallin siisteydestä ja terästornien siistimisestä varusteluprosessin valmistuttua.

Sama työvaihe saattaa viedä eri terästornien varustelussa eri verran aikaa. Tämä on merkki siitä, että työskentelymetodeja ei ole optimoitu. Optimoimattomat työskentelymenetelmät hidastavat varusteluprosessia ja tekevät aikataulutuksesta hankalaa. Aikataulutuksen haastavuus vaikeuttaa koko tuotannon suunnittelua.

Yhden terästornin mekaaniseen varusteluprosessiin kuluu noin neljä työpäivää. Lisäksi terästornin sähkövarustelu vie noin seitsemän työpäivää. Osa sähkövarustelun vaiheista on mahdollista tehdä samaan aikaan tiettyjen mekaanisten varusteluvaiheiden kanssa. Kokonaisuudessaan terästornin varusteluprosessi vie noin kaksi työviikkoa.

Tulevaisuudessa tuotantomäärien kasvaessa on tärkeää, että valmistunut terästorni saadaan varusteluprosessin jälkeen tuotannossa seuraavaan vaiheeseen mahdollisimman pian, että vapautuu tilaa aloittaa seuraavan terästornin varusteleminen.

Kun uusi terästorni saapuu tehtaalle, se tarkastetaan heti. Usein uuden terästornin varusteluprosessia itsessään ei ehditä aloittamaan edes viikon sisällä saapumisesta. Terästornien saapuminen pitäisi pystyä ajoittamaan tarkemmin tehtaan rajallisen säilytyskapasiteetin vuoksi. Nykyisillä tuotantomäärillä ongelmaa ei vielä ole, mutta riski terästornien säilytyskapasiteetin loppumiselle tulevaisuudessa on olemassa.

### 3.3 Työskentelyjärjestys ja pullonkaulat

Työskentelyjärjestys tehtaalla vaihtelee jokaisen terästornin kohdalla. Varustelujärjestyksen eläminen johtuu siitä, kun sähkövarustelu vie mekaanista

varustelua enemmän aikaa, ja tämä aiheuttaa pullonkaulan tuotannossa mekaanisen ja sähkövarustelun välille.

Varusteluprosessin työvaiheiden järjestyksen eläminen altistaa varusteluprosessin virheille. Kun työvaiheita tehdään satunnaisessa järjestyksessä, kasvaa riski jonkin työvaiheen unohtamiselle. Kun työvaihe unohtuu, saattaa tulla tarve purkaa varustelua unohduksen korjaamiselle, ja tämä aiheuttaa viivästyksiä varusteluprosessiin.

Huono työjärjestys voi myös hankaloittaa muita työvaiheita. Asennettu moottoriyksikkö hankaloittaa moottoritasolla työskentelyä, sillä moottori vie suuren osan tilasta. Tämän vuoksi esimerkiksi kaapelointi hankaloituu, mikäli moottoriyksikkö on asennettu ennen kaapeleita.

Tehtaalla terästoreja varustellaan siten, että useisiin terästoreihin tehdään sama työvaihe peräkkäin ja sitten tehdään seuraava työvaihe useisiin terästoreihin. Tämän takia terästornit valmistuvat sykleissä muutama kerrallaan, aiheuttaen pullonkaulan terästornien varustelun ja ulkona tapahtuvan roottorin asentamisen ja testaamisen välille.

### 3.4 Työohjeet

Kaikkiin varusteluprosessin vaiheisiin ei ole olemassa selkeitä ja ajantasaisia ohjeistuksia. Ohjeiden puute aiheuttaa ylimääräistä selvitystyötä ja viivästyttää prosessia. Asentajat saattavat myös tehdä joitain työvaiheita vanhoilla ohjeilla tai jopa kokonaan ilman ohjeita, jolloin riski virheellisille asennuksille on huomattava. Vanhoilla ohjeilla tehdyt asennukset ovat erityisen riskialttiita erityisesti silloin, kun varusteluosan design on uudistunut.

Tarkastelujakson aikana tapahtui yksi helposti vältettävissä oleva asennusvirhe, jossa moottoriyksikköön asennettiin kaapeliläpivientiosa, joka ei kyseisen roottoripurjeen designiin kuulunut. Tämä aiheutti ylimääräistä työtä, kun jo valmiiksi saatua ja asennettua kokoonpanoa piti purkaa kaapeliläpivientiosan poistamiseksi.

Kyseisen kaapeliläpivientiosan asentaminen kulutti myös ylimääräistä aikaa, sillä sen asentaminen ei sujunut ongelmitta. Kyseinen kaapeliläpivientiosa olisi kuulunut asentaa aikaisempaan työvaiheeseen, mikäli se olisi kyseiseen kokoonpanoon oikeasti kuulunut.

Työohjeiden puute aiheuttaa myös paljon tilanteita, joissa työntekijät eivät tiedä työhön ryhtyessään kaikkia tarvittavia työkaluja, ja näiden hakeminen kesken työn aiheuttaa viivästyksiä ja odottelua. Huomioimalla Leanin pääperiaatteet jo työohjeita tehdessä, saadaan varusteluprosessia nopeutettua monessa

vaiheessa ilman, että työntekijöiden tarvitsee nopeuttaa omaa työskentelytahtiaan ja alkaa kiirehtimään.

### 3.5 Hukkatoiminnot

Varusteluprosessista löytyy useita helposti vähennettäviä Lean-ajattelun hukkatoimintoja. Selkeimmin ilmi tulevia hukkatoimintoja ovat odottaminen, ylimääräinen työntekijöiden liike, kuljetus sekä virheet. Kuljetuksella tässä asiayhteydessä tarkoitetaan materiaalien kuljetusta tehtaan sisällä. Nämä hukkatoiminnot osaltaan hidastavat, tai haittaavat muuten varusteluprosessia. Muitakin hukkatoimintoja varusteluprosessista löytyy, mutta nämä ovat merkittävimmät.

Työvaiheissa käytetään usein työvaiheeseen nähden liian montaa työntekijää, jolloin osa työntekijöistä ei tuo lisäarvoa prosessille. Esimerkiksi tukirullakokoonpanojen asennuksessa on mukana neljä työntekijää, vaikka missään vaiheessa prosessia ei useampi kuin kolme työntekijää kerrallaan aktiivisesti osallistu. Tämän takia koko ajan vähintään yksi työntekijä odottaa vuoroaan.

Tukirullakokoonpanojen asentaminen tapahtuu pienellä alueella, eikä useampi työntekijä ole perusteltua esimerkiksi ylimääräisen liikkeen vähentämiseksi. Kyseinen työvaihe ei ole myöskään fyysisesti raskas, sillä kaikki nostaminen tapahtuu nosturilla, joten ylimääräisten taukojenkaan vuoksi ei ylimääräisille työntekijöille ole tarvetta.

Monessa työvaiheessa syntyy ylimääräistä liikettä, kun kaikkia työkaluja ei aina olla haettu valmiiksi työvaihetta aloittaessa ja työkaluja lähdetään hakemaan kesken työskentelyn. Samalla aiheutuu ylimääräistä odottelua muille työntekijöille, mikäli työntekoa ei voi edistää samalla kun työkalua odotetaan.

Moottoriyksiköiden kokoonpanolle ei ole varattu tiettyä aluetta varusteluhallista, vaan kokoonpanot tapahtuvat milloin missäkin, aiheuttaen ylimääräistä tarvetta siirrellä tarvikkeita eri puolille hallia. Moottoriyksikköön kuuluvat osat ovat suuria ja raskaita, ja niitä siirrellään hallissa käyttäen nostureita. Nostureilla osien siirtely on hidasta, minkä vuoksi sitä on syytä pyrkiä välttämään mahdollisuuksien mukaan.

Mikäli kaikki moottoriyksiköt kasattaisiin samalla alueella, lähellä komponenttien varastointialuetta, olisi ainoa nosturilla tehtävä suurempi siirto, kun moottoriyksikkö asennetaan paikalleen terästorniin.

### 3.6 Varusteluosien laatu

Joidenkin varusteluosien laatu on osin heikkoa, ja ne saapuvat tavarantoimittajilta Norsepowerille viallisina. Tehtaan tarkastelujakson aikana huomattiin useita eri virheitä eri varustelukomponenteissa.

Osa viallisista komponenteista pystytään korjaamaan Norsepowerin tehtaalla, mutta vikojen korjaaminen vie aina ylimääräistä aikaa ja sitoo työvoimaa. Jotkin viat puolestaan vaativat uusien osien tilaamista, mikä puolestaan saattaa hidastaa varusteluprosessia, jos osaa pitää odottaa ennen kuin varusteluprosessia voi jatkaa eteenpäin.

Joidenkin varustelukomponenttien laadunvarmistuksessa on epäonnistuttu. Tuotantoprosessin tehokkuuden varmistamiseksi on elintärkeää, että kaikki komponentit vastaavat vaadittua, sillä vialliset komponentit aiheuttavat tuotantoprosessissa suuria ongelmia.

Dokumenttien täsmävyys ei ole täydellistä, ja tämä aiheuttaa vääränlaisten komponenttien tilaamista. Komponentteja on tilattu materiaalilistan perusteella, mutta materiaalilistojen ja piirustusten täsmävyys toisiinsa ei ole ollut täydellinen ja tästä on aiheutunut varusteluprosessin lomassa ylimääräistä työtä ja ylimääräisiä hankintakustannuksia uusien komponenttien tilaamisesta.

### 3.7 Työturvallisuus ja -ergonomia

Terästornit ovat pyörivien rullapetien päällä, joten terästorneja voi kääntää aina työvaiheen kannalta sopivaan asentoon, jolloin tornin sisällä ei tarvitse kiipeillä ja raskaita varusteluosia ei tarvitse asentaa korkealle. Raskaiden varusteluosien nostamiseen terästornin sisälle käytetään joko tehdashallin katossa olevia nostureita tai pientä manuaalikäyttöistä nosturia (kuva 8), mikä vähentää raskaiden nostojen määrää. Raskaat nostot lisäävät tuki- ja liikuntaelinsairauksien vaaraa ja voivat myös aiheuttaa hengitys- ja

verenkiertoelimistön kuormittumista sekä tapaturmia (Työsuojelu.fi. 2025).



Kuva 8. Manuaalikäyttöinen nosturi.

Ainoa merkittävästi lihasvoimaa vaativa varusteluosa on yksi sähkökaappi, jonka asennuspaikka on hankalasti tason takana noin 2 metriä terästornin sisällä. Sähkökaappi nostetaan trukilla terästornin sisälle ja tason päälle, mutta laskeminen alas tapahtuu usean henkilön yhteisellä lihasvoimalla. Tämä aiheuttaa riskin sähkökaapin putoamiselle sekä työntekijöiden loukkaantumiselle.

Terästorniin kulkemiseen käytetään alumiinista valmistettuja portaita (kuva 9). Portaiden käytöllä helpotetaan torniin nousemista sieltä poistumista ja samalla horjautumisen ja kaatumisen riski pienenee. Portaita on tehtaalla kahdessa eri koossa, joista matalammat (kuvassa) ovat sopivat terästorniin nousemisessa sen alaosasta, kun taas korkeammat ovat sopivimmat terästorniin

nousemiseen sen yläosasta.



Kuva 9. Alumiiniporaat.

Koska portaat on valmistettu alumiinista, ovat ne kevyet ja helposti siirrettävissä myös ilman pyöriä. Pyörättömyys tekee portaista tukevampia.

Kaikille työntekijöille on tarjottu riittävät suojavarusteet, mutta niiden käyttäminen on puutteellista. Merkittävimpänä puutteena silmien sekä kuulon suojaus. Kaikilla työntekijöillä on kypäriin asennettuna suojalasit, joten niiden käyttö olisi erittäin helppoa, mutta lasia ei useimmiten lasketa alas, vaikka se olisi tärkeää terästä porattaessa tai kulmahiomakonetta käytettäessä. Terästornin sisällä sähkötyökaluja käyttäessä on erityisen tärkeää suojata kuulo, sillä terästornin sisällä äänet kaikuvat voimakkaasti.

## 4 Varusteluprosessin kehittäminen

Nykyisessä varusteluprosessissa on useita tuottavuutta heikentäviä epäkohtia. Epäkohtien korjaamiseen tarvitaan paljon aikaa ja resursseja sekä avointa ja saumatonta kommunikaatiota sekä yhteistyötä Kiinassa sijaitsevan tehtaan ja Suomessa sijaitsevan pääkonttorin välillä.

Varusteluprosessin yksittäisiä työvaiheita seurattaessa huomiota kiinnitettiin Leanin eri hukkatointoihin ja hukkatointojen vähentäminen on merkittävässä roolissa parannusehdotuksissa. Eri työvaiheiden aikaa seurattiin ja aikoja verrattiin eri terästornien varusteluprosessien välillä. Joidenkin työvaiheiden kohdalla huomattiin, että työvaiheeseen käytettävä aika vaihtelee merkittävästi eri terästornien varusteluprosessien välillä. Ajan mittaaminen toimi osana Six Sigman mittausvaihetta.

Norsepowerin tehtaalla Leanin hukkatoinnoista merkittävimmin esiin nousivat odottaminen, työntekijöiden liike, kuljetus sekä virheet. Hukkatoinnot hidastavat tuotantoprosessia ja aiheuttavat ylimääräisiä lisäkustannuksia. Näiden hukkatointojen vähentämisellä saadaan siis tehtaan tuotantoprosessia virtaviivaistettua ja tuotanto pysyy paremmin aikataulussa. Myös valmistuneiden roottoripurjeiden laatu paranee, kun virheitä saadaan vähennettyä.

Kaikista hukkatoinnoista ei tulla pääsemään eroon, mutta niiden osuutta tuotantoprosessissa voidaan jatkuvan parantamisen kautta vähentää ajan myötä. Jotkin toimenpiteet vähentävät useaa hukkatointoa kerrallaan. Esimerkiksi moottoriyksiköiden kokoonpanon keskittäminen yhteen paikkaan vähentää samaan aikaan kuljetusta, työntekijöiden liikettä sekä odottamista.

Terästornin varusteluprosessin eri työvaiheiden ajan ja työvoiman käyttöä seurattiin tehtaalla Six Sigman periaatteita mukaillen. Joissain työvaiheissa aikaa ja työvoimaa käytetään enemmän kuin todellisuudessa olisi tarpeellista ja virheitä ilmenee liikaa. Varusteluprosessia tullaan havaintojen perusteella kehittämään. Ohjausvaihe tulee vaatimaan työtä ja resursseja, että muutoksesta saadaan pysyvää ja että prosessi tulee parantumaan tulevaisuudessa jatkuvasti.

Varusteluprosessin kehittämiseksi muutoksia tulee tehdä järjestelmällisesti ja antaa muutoksille riittävästi aikaa. Tekemällä muutokset rauhasa, voidaan dokumentoida yksittäisten muutosten vaikutuksia tuotantoon tarkemmin, ja prosessin parissa työskenteleville ei tule kerralla liikaa uutta informaatiota ja tarvetta opetella uusia työskentelymetodeja.

## 5 Kehitysehdotukset

### 5.1 Työohjeet

Työohjeiden hallintaan tarvitaan selkeä prosessi, jolla varmistetaan työohjeiden ajantasaisuus tehtaalla jokaisen projektin aikana. Ajantasaiset työohjeet sekä nopeuttavat varusteluprosessia, että parantavat tuotteen laatua vähentyneiden asennusvirheiden myötä. Työohjeet pitäisi jakaa projektikohtaisesti tarkistettuna versiona siten, että tehtaalla työntekijöillä on niihin helppo pääsy, ja siten etteivät eri projektien ohjeet sekoitu keskenään.

Ajantasaiset työohjeet helpottavat myös oikeiden työkalujen ja tarvikkeiden keräämistä työalueelle ennen työvaiheen aloittamista, jolloin työkaluja ei tarvitse lähteä niin usein hakemaan kesken työskentelyn. Tällöin työnteko ei katkea niin usein ja työskentely pysyy tehokkaampana, ylimääräinen liike vähentyy ja odottamista ei tule niin paljoa.

Tarkistuslistat tulevat tukemaan työohjeita ja helpottamaan ja nopeuttamaan asennuksia sekä asennusten jälkeisiä tarkastuksia, kun tarkistuslistoista löytyy kriittisimmät tarkistettavat tiedot.

Työohjeiden kehittämiseksi tarvitaan avointa kommunikaatiota tehtaalla ja työohjeiden kehittäjän välillä. Tehtaalla täytyy pystyä antamaan palautetta ja kommentteja eri työvaiheista ja ohjeista. Työohjeiden tulee olla selkeät ja niissä pitää huomioida asentajien kielitaito, sillä suurin osa asentajista osaa puhua ja lukea ainoastaan kiinaa.

### 5.2 Varusteluprosessi

Varusteluprosessin kehittämisessä tällä hetkellä tärkeintä on saada sähkövarusteluun kuluvaa aikaa vähennettyä. Mekaanikot pystyvät keventämään sähköasentajien työtaakkaa tekemällä sähköosien kuten valokatkaisimien ja pistorasioiden mekaanisen asennuksen terästornissa oleviin telineisiin. Tämän jälkeen sähköasentajille riittäisi sähkökytkentöjen tekeminen.

Sähköosien mekaaninen asennus on myös hyvä työtoteuttava mekaanikoille, jotka ovat ylimääräisinä tietyissä mekaanisen varustelun vaiheissa. Tällä saadaan tehostettua varusteluprosessia, vähennettyä odottamista ja suhteutettua työntekijöiden määrää paremmin työtoteuttavaa vastaavaksi.

Toinen sähköasentajien työtaakan keventämisen kohde, missä mekaanikot voivat auttaa on varusteluprosessin alkuvaiheessa tehtävä kaapelien asentaminen kaapeliradoille. Tähän tarvitaan yksi sähköasentaja varmistamaan, että oikeat kaapelit menevät oikeille kaapeliradoille ja ovat oikean mittaisia, ja mekaanikot voivat hoitaa kaapeleiden kiinnittämisen nippusiteillä kaapelirataan. Tällöin muut sähköasentajat voivat jatkaa varustelua edellisen tornin kytkentöjen viimeistelyä, samalla kun seuraavan tornin varustelua saadaan sähkövarustelun osalta edistettyä.

### 5.3 Varusteluosien laatu

Varusteluosien laadunvarmistusta tulee parantaa. Kun tavarantoimittajilta tilataan komponentteja, jotka valmistetaan erikseen Norsepowerin tarpeisiin, on komponenttien piirustusten mukaisuus erityisen tärkeää asianmukaisen valmistuksen takaamiseksi. Uusien tavarantoimittajien kohdalla pitäisi varmistaa komponenttien oikeellisuus ennen kuin komponentit lähetetään tehtaalte. Laadunvarmistus voisi tapahtua esimerkiksi vierailuilla tavarantoimittajan luokse, tai vähintäänkin pyytämällä kunnollisia kuvia ja videoita komponenteista ennen lähettämistä.

Komponenttien laadun takaamiseksi tärkeää on myös käytettävien piirustusten oikeellisuus sekä materiaalilistojen täsmävyys piirustuksiin. Näiden tarkastamiseen tulee kiinnittää huomiota ja kehittää metodeja, joilla oikeellisuus varmistetaan.

Laadun parantamiseksi pitäisi varmistua siitä, että tehdastyöntekijät tuovat esiin huomaamansa virheet varusteluosissa sekä terästorneissa. Huomatuista virheistä pitäisi aina saada tehtyä vaatimustenvastaisuusraportti eli NCR (non-conformance report), jotta virheiden juurisyyt saadaan selvitettyä ja vastaavien virheiden toistumista voidaan ehkäistä.

Tehdastyöntekijöiden on haastavaa tehdä NCR-raportit itse, sillä raporttien tulisi olla englanninkielisiä ja mekaniikoista tai sähköasentajista kukaan ei osaa englantia tarpeeksi raportointia varten. Raportointi pitäisi siis mahdollistaa tehdastyöntekijöille kiinan kielellä, jonka jälkeen raportti käännettäisiin englanniksi, tai vaihtoehtoisesti raportoinnin pitäisi tehdä joku englanninkielentaitoinen muu henkilö suoraan englanniksi.

## 5.4 Layout

Varusteluhallin lattialla säilytetyt kaapelit tullaan siirtämään varusteluhallin seinustalle asennettaviin telineisiin, joista tarvittava määrä kaapeleita on helppo käydä katkaisemassa. Kaapelien asentaminen seinustalle telineisiin tulee säästämään runsaasti varusteluhallin lattiapinta-alaa. Samalla varusteluhallin yleisilmeestä tulee siistimpi. Pyörivistä telineistä on myös helpompaa vetää riittävä määrä kaapelia, kuin lattialla pystyssä olevasta kaapelikelasta. Tämä nopeuttaa kaapeloinnin aloittamista.

Moottoriyksiköiden kokoonpanolle katsotaan alue, jossa kokoonpano jatkossa tehdään. Kokoonpanolle järkevin alue on mahdollisimman lähellä päälaakerikokoonpanojen säilytysaluetta osien siirtelyn minimoimiseksi. Samalle alueelle tulee sijoittaa myös moottoriyksikön nostotyökalu sekä muiden komponenttien nostamiseen tarvittavat liinat. Liinon ja nostotyökalun siirtely ympäri tehdashallin on hidasta ja aikaa vievää, joten niiden siirtelyä on syytä välttää.

Nämä muutokset varusteluhallin tilankäytössä selkeyttävät toimintaa, ja vähentävät materiaalien siirtelyn lisäksi työntekijöiden odotteluun kuluvaan aikaa.

## 5.5 Turvallisuus

Säännölliset koulutukset, joissa työntekijöitä muistutetaan henkilösuojainten käytöstä ja niiden käyttämättömyydestä mahdollisesti aiheutuvista seurauksista saavat työntekijät todennäköisemmin käyttämään henkilösuojaimia. Lisäksi henkilösuojainten käytöstä muistuttavien kylttien strateginen sijoittelu muistuttaa työntekijöitä suojainten käytöstä. (Shaw 2024.)

Tehtaan työturvallisuutta voidaan tässä vaiheessa parantaa parhaiten järjestämällä säännöllisesti turvallisuuskoulutuksia. Koulutuksilla pitää pyrkiä vaikuttamaan työntekijöiden asenteisiin sillä turvallisuuskäytäntöjen heikkous johtuu työntekijöiden totumuksista ja asenteista. Turvallisuuskoulutuksissa tulisi painottaa alkuun henkilösuojainten käyttöä, sillä se on suurin yksittäinen työturvallisuutta heikentävä asia tehtaalla. Lisäämällä henkilösuojainten käytöstä muistuttavia kylttejä terästornien läheisyyteen, saadaan työntekijöitä muistutettua henkilösuojaimista siellä, missä niiden käyttö on aidosti tarpeellista.

Turvallisuutta tulisi parantaa myös sopivalla nostotyökalulla aiemmin mainitulle hankalalle sähkökaapille. Kunnollinen nostotyökalu parantaa noston

turvallisuutta, kun manuaalinen nostaminen jää pois, ja samalla asennuksesta tulee tehokkaampaa pienemmän tarvittavan työvoiman vuoksi.

## 6 Johtopäätökset

Ajanpuutteen vuoksi kehitysideoita ei ehditty testaamaan ja toteuttamaan, joten tuloksia ei tässä vaiheessa saatu. Tässä vaiheessa saatiin kuitenkin hyvä käsitys varusteluprosessista ja sen ongelmista. Opinnäytetyön pohjalta kehittämistyötä on helpompi lähteä tekemään, kun tiedetään mihin asioihin muutosta tarvitaan.

Muutosten tekeminen vaatii paljon työtä jatkossa eivätkä tässä opinnäytetyössä esitellyt ratkaisuehdotukset välttämättä tule toimimaan sellaisenaan. Jatkossa muutoksia tulisi lähteä toteuttamaan suunnitellusti ja järjestelmällisesti. Ensimmäisten muutosehdotusten suunnittelu toteutettavaksi on jo aloitettu.

Muutosten toteuttamisessa tulee huomioida kiinalainen työkuulttuuri, ja osa ehdotetuista muutoksista ei välttämättä toimi kulttuurierojen vuoksi. Omat kokemukseni kiinalaisesta työkuulttuurista ovat tämän yhden vierailun varassa, joten ristiriidat työkuulttuurien välillä ovat hyvinkin todennäköisiä.

Tehtaalla vietetyn seurantajakson aikana ilmeni muutamia ongelmia, jotka hidastivat normaalia tuotantoa tehtaalla. Tuotannon hidastuminen ja työvoiman sitoutuminen muihin kuin normaaleihin toimintoihin hankaloitti normaalin varusteluprosessin seuraamista.

Jatkuvaa parantamista tehtaalla edistetään jo luonnostaan ja parannuksia tehtaalla tehdään säännöllisesti toiminnan kehittämiseksi. Toistaiseksi muutokset ovat olleet tehtaan sisäistä toimintaa parantavia. Tämän opinnäytetyön aikana havaituista ongelmakohdista osa onkin ratkaistavissa enemmän pääkonttorilla tehtävillä parannuksilla, jotka näkyvät suoraan tehtaan toiminnassa.

Opinnäytetyössä heikkouksia etsittiin tuotantoprosessin taloudellisuuden, tuotannollisuuden sekä työturvallisuuden näkökulmista. Tuotannollisia ja työturvallisuuteen vaikuttavia heikkouksia löytyi useita, ja näiden ratkaisu vaikuttaa suoraan myös varusteluprosessin taloudellisuuteen. Tehokkaampi varusteluprosessi vähentää varusteluun käytettävää aikaa ja mahdollistaa suuremmat tuotantomäärät. Suurempi tuotantomäärä mahdollistaa useamman tilauksen vastaanottamisen.

Tämä opinnäytetyö tulee jatkossa toimimaan pohjamateriaalina terästornien varusteluprosessin kehittämisessä, ja ehdotettuja parannusehdotuksia lähdetään viemään tuotantoon. Tuotantoprosessia tulee jatkossa tarkastella myös muiden tuotannon vaiheiden kohdalla, sillä terästorni on vain yksi osa roottoripurjeesta. Osa parannusehdotuksista saattaa tehostaa myös muita tuotantovaiheita tulevaisuudessa.

## Lähteet

ISO 13053-1:fi. 2014. Prosessin kehittämisen kvantitatiiviset menetelmät. Six sigma. Osa 1: DMAIC-Menetelmä. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, 8, 14–16.

Logistiikan maailma 2025. Tuotanto. Prosessien kehittäminen. Lean-ajattelu. Viitattu 3.3.2025. <https://www.logistiikanmaailma.fi/tuotanto/prosessien-kehittaminen/lean-ajattelu/>

Norsepower Oy 2025. Product. Viitattu 4.3.2025. <https://www.norsepower.com/product/>

Piirainen A. 9.8.2023. Sixsigma.fi. Lean Six Sigma. Viitattu 5.3.2025. <https://sixsigma.fi/lean-six-sigma-menetelma/>

Shaw, J. 12.7.2024. Safeopedia.com. Behavioral Strategies to Encourage PPE Usage. Viitattu 19.5.2025. <https://www.safeopedia.com/2024/03/15/behavioral-strategies-to-encourage-ppe-usage>

Sixsigma.fi. Lean. Viitattu 4.3.2025. <https://sixsigma.fi/lean/>

Slack, N. & Brandon-Jones, A. 2019. Operations Management, Ninth edition, Harlow, United Kingdom: Pearson Education Limited

Tarantino, A. 2022. Smart Manufacturing: The Lean Six Sigma Way, New Jersey: USA: John Wiley & Sons, Inc

Työsuojelu.fi. Työolot. Fyysinen kuormitus. Nostot käsin. Viitattu 20.3.2025. [https://tyosuojelu.fi/tyoolot/fyysinen-kuormitus/nostot-kasin?\\_cf\\_chl\\_tk=2QQ3ZP784SupW6WAm7vFBUW\\_2l6Z0cW2ZyB1y8qDLc0-1742437950-1.0.1.1-vmllMm1NbTY2DI96YGRDkEYNmD4gF\\_bRwid7Sm7ayUo](https://tyosuojelu.fi/tyoolot/fyysinen-kuormitus/nostot-kasin?_cf_chl_tk=2QQ3ZP784SupW6WAm7vFBUW_2l6Z0cW2ZyB1y8qDLc0-1742437950-1.0.1.1-vmllMm1NbTY2DI96YGRDkEYNmD4gF_bRwid7Sm7ayUo)

Tanha, N.; Sumi, S.; Rahman, T. & Azad, A. 2025. Viitattu 13.5.2025. Optimizing Manufacturing Efficiency through Six Sigma: A Comprehensive Approach in Industrial Engineering. [https://www.researchgate.net/profile/Nadia-Islam-Tanha/publication/390580113\\_Optimizing\\_Manufacturing\\_Efficiency\\_through\\_Six\\_Sigma\\_A\\_Comprehensive\\_Approach\\_in\\_Industrial\\_Engineering/links/67f4cc2649e91c0feae9f2f1/Optimizing-Manufacturing-Efficiency-through-Six-Sigma-A-Comprehensive-Approach-in-Industrial-Engineering.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Nadia-Islam-Tanha/publication/390580113_Optimizing_Manufacturing_Efficiency_through_Six_Sigma_A_Comprehensive_Approach_in_Industrial_Engineering/links/67f4cc2649e91c0feae9f2f1/Optimizing-Manufacturing-Efficiency-through-Six-Sigma-A-Comprehensive-Approach-in-Industrial-Engineering.pdf)