



Abdirisak Ahmed

Johdotusprosessin parantaminen MD:n tuotantolinjalla

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kone- ja automaatiotekniikka tutkinto-ohjelma

Insinöörityö

04.12.2023

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Abdirisak Ahmed Taajuusmuuttajalinjan johdotusprosessin kehittäminen 40 sivua + 1 liitettä 04.12.2023
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Konetekniikka
Ammatillinen pääaine	Koneautomaatio
Ohjaajat	Lehtori Heikki Paavilainen Tuotantolinjapäällikkö Toni Kontkanen
<p>Insinööriyön tarkoituksena oli kehittää ABB Oy:n System Drivesin Multidives-yksikön johdotusprosessia. Työtä aloittaessa taajuusmuuttajalinjan loppukokoonpanossa johdotustyöhön meni iso osa työajasta. Projektin tavoitteena oli pienentää johdotuksen työaikaa ilman suuria investointeja, henkilöstömäärän lisäystä tai johdotuksen tuotantomäärän ja laadun heikkenemistä. Projektin tavoitteena oli myös lyhentää tuotannon läpimenoaikaa arvoa tuottavampaan työskentelyyn.</p> <p>Projektin kehitystyö aloitettiin Kaizen-tilaisuudella, jossa määritettiin kehityskohteet, niiden tärkeysjärjestys ja toteutettavuus. Lisäksi tilaisuudessa luotiin käsitys siitä, millainen lopputulos tavoitteena on. Kehitysprosessi jaettiin Kaizenissa määritettyihin osa-alueisiin, joita toteutettiin erillisinä kokonaisuuksina projektin kuluessa. Prosessin läpimenoajan vähentämisessä olisi tarkoitus käyttää puoliautomaatteja Rittalin johdotusautomaatteja, joilla saataisiin läpimenoaikoja lyhennettyä ja prosessin sisäistä hukkaa poistettua kokonaan.</p> <p>Projektin tuloksena syntyi selkeämpi johdotusprosessi, jota helpottivat automaatiokoneet. Aiemmin prosessit olivat vieneet paljon aikaa ja ne oli määritelty eri toimintatavoilla. Prosessin kehittämällä vapautettiin aikaa tehokkaampaan toimintaan ja projektien nopeampaan läpivientiin. Tämä vaikutti pidemmällä aikavälillä merkittävästi tuotannon tehokkuuteen. Uudistuksen myötä prosessista tuli järjestelmällisempi ja siinä oli vähemmän hukkaa, mikä johti merkittäviin kustannussäästöihin ja paransi tuotannon laatua.</p>	
Avainsanat	Kaizen, Johdotuksen vähentäminen, Multidives

ohjelmalla.

Abstract

Author Title	Abdirisak Ahmed
Number of Pages Date	40 pages + 1 appendices Improving the wiring process in MD's production line
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical Engineering
Professional Major	Machine Automation
Instructors	Heikki Paavilainen, Senior Lecturer Toni Kontkanen, Production Line Manager

The purpose of the thesis was to develop the wiring process of ABB Oy's System Drives Multidrives unit. Before starting the work, a significant portion of the working time was dedicated to wiring in the final assembly of the frequency converter line. The goal of the project was to reduce the time spent on wiring without major investments, without increasing the number of personnel, or compromising the production volume and quality of wiring. Additionally, the project aimed to shorten the production lead time for more value-added work.

The development process of the project was initiated by a Kaizen event, where the development targets, their priority order, and feasibility were determined. Additionally, a concept of the desired end result was created during the event. The development process was divided into separate parts determined in the Kaizen, which were implemented as separate entities during the project.

To reduce the time needed for the wiring process, semi-automatic Rittal wiring machines were planned to be utilized, which would significantly reduce the lead times and eliminate internal waste.

As a result of the thesis project, a clearer wiring process was developed, aided by automation machines. Previously, the processes had taken up much time and had been defined using different operating methods. By developing the process, time was freed up for more efficient operation and faster project completion, leading to significant improvements in production efficiency in the long run. The renewed process became more systematic and contained less waste, resulting in significant cost savings and improved production quality.

Keywords	Kaizen, reducing wiring, Multidrives
----------	--------------------------------------

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Menetelmät ja taajuusmuuttajan toiminta	2
2.1	Taajuusmuuttaja	2
2.2	Lean-periaatteet	6
2.3	Kaizen	11
3	Johdotusprosessi	18
3.1	Johdotuksen parantaminen	18
3.2	Nykymalli	19
3.3	Työn tutkimusvaihe	21
3.4	Tarjonnan nykytila ja mahdollisuudet	21
3.5	Pilotointi	23
3.6	Manuaali vs. automaatti	25
3.7	Tuleva malli	28
4	Johdotuksen läpimenoajan vähentäminen	30
4.1	Kaizen-tapahtuma	30
4.2	Kehitysmahdollisuudet	35
5	Säästö ja takaisinmaksuaika	36
6	Yhteenveto	36
	Lähteet	37

Liitteet

Liite 1. Säästö ja takaisinmaksuaika

Liite 2. Palaverit

Lyhenteet

WORMPIIT *Waiting. Over production. Rejects. Motion. Processing. Inventory. Intellect.*

AC: Alternating Current. Vaihtovirta.

ACU: Auxiliary Control Unit. Lisäohjausyksikkö.

DCU: Drive Control Unit. Vaihtosuuntaajan ohjausyksikkö.

ICU: InComing Unit. Katkaisijakenttä.

DSU/TSU/ISU: Diode-/Thyristor-/IGBT Supply Unit. Tasasuuntaajatyyppejä.

IGBT: *Insulated-Gate Bipolar Transistor.*

INU: *Inverter Unit. Vaihtosuuntaukseen käytettävä yksikkö.*

SIPOC: Supplier, Input, Process, Output, Customer.

1 Johdanto

Tämä insinööri työ suoritettiin ABB Oy:n Pitäjänmäen Multidives-yksikölle. Työn tavoitteena oli vähentää taajuusmuuttajalinjan läpimenoaikaa ilman merkittäviä investointeja, henkilöstömäärän lisäystä tai johdotuksen tuotantomäärän ja laadun heikentymistä. Tavoitteena oli parantaa prosessia, koska suurin aikaa vaativa työvaihe tuotantolinjalla oli johdotus, vaikka itse prosessi toimi hyvin.

ABB Pitäjänmäki on osa ABB-konsernia, joka on yksi maailman johtavista sähköteknologiayrityksistä. Pitäjänmäen toimipiste sijaitsee Helsingissä, Suomessa, ja se on ollut merkittävä osa ABB:n toimintaa Suomessa.

ABB:n historia Pitäjänmäellä juontaa juurensa useiden eri yritysten yhdistymiseen. Alun perin Pitäjänmäellä toimi muun muassa suomalainen sähköteknologiayritys Oy Strömberg Ab, joka perustettiin vuonna 1889. Myöhemmin Asea ja BBC yhdistyivät muodostaen ABB:n vuonna 1988. Tämä yhdistyminen loi perustan nykyiselle ABB:lle.

Pitäjänmäen toimipiste on keskittynyt sähköteknologian kehittämiseen ja tuotteiden valmistukseen. Siellä on muun muassa tutkimus- ja kehitystoimintaa, tuotantoa sekä erilaisia palveluita asiakkaille, kuten sähköjärjestelmien suunnittelua ja käyttöönottopalveluita.

ABB Pitäjänmäki on ollut mukana monissa innovatiivisissa projekteissa ja teknologian kehityksessä, erityisesti sähkövoimaan ja automaatioon liittyvillä aloilla. Sen pitkä historia ja teknologinen osaaminen ovat tehneet siitä tärkeän osan ABB:n toimintaa Suomessa ja globaalisti. [1.]

Tausta ja tavoite

System Drivesin kaapituslinjoilla työskentelevät työntekijät ovat pitkään suorittaneet johdotustöitä manuaalisesti, kuten johtimien päiden kuorimista ja puristamista. Johdotusprosessi on säilynyt muuttumattomana ilman päivityksiä pitkään.

Johdotusprosessin kehittämisen tavoitteena oli tehostaa tuotantoprosessin nopeutta ja parantaa lopputuotteiden laatua. Samalla pyrittiin vähentämään aiemmin havaittuja laatu- ja terveysongelmia tuotannossa.

Työn tarkoituksena oli soveltaa leanin prosessinkehitystyökaluja uudelleen johdotusprosessiin. Insinööriyön pohjalta uusi prosessi suunniteltiin yksityiskohtaisesti ja analysoitiin siten, että siitä voisi olla hyödyksi asentajien päivittäiseen työhön. Insinööriyössä käsiteltiin myös johdotuksen vähentämisen käytännön vaikutuksia, koska henkilöstöllä ei ollut aiemmin käsitystä siitä, kuinka paljon aikaa nykyinen johdotustapa vei. Insinööriyön taustalla oli tutustumiskäynti ABB:n yhteistyökumppanin Promecon tehtaalle, jossa on jo pitkään käytetty puoliautomaattisia holkituslaitteita.

2 Menetelmät ja taajuusmuuttajan toiminta

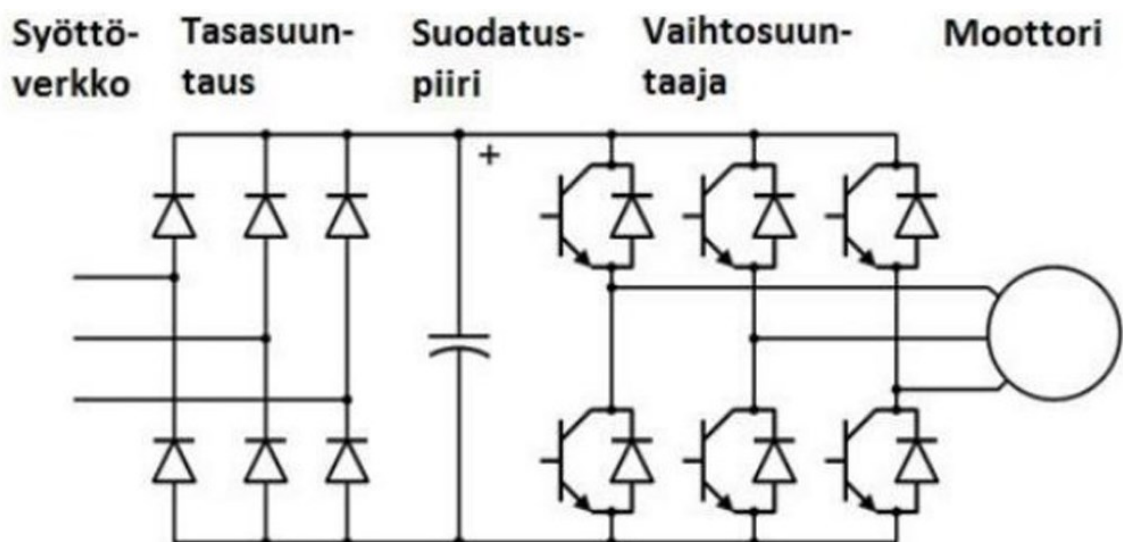
2.1 Taajuusmuuttaja

Taajuusmuuttajat ovat tehokkaita sähköteknisiä laitteita, joilla hallitaan sähkömoottoreiden nopeutta säätämällä syötetyn tehon taajuutta ja jännitettä. Ne jaetaan yleisesti kahteen pääkategoriaan: suoriin taajuusmuuttajiin ja välipiirillisiin taajuusmuuttajiin, joista jälkimmäiset ovat yleisimpiä. Suorat taajuusmuuttajat sisältävät matriisimuuttajat ja syklokonverterit. Välipiirilliset taajuusmuuttajat puolestaan jaetaan virta- ja jännitevälipiirillisiin muuttajiin, joissa välipiiri muuttaa vaihtovirran tasavirraksi ja sitten takaisin vaihtovirraksi. Tämä tapahtuu neljän pääkomponentin avulla: tasasuuntaaja, välipiiri, vaihtosuuntaaja ja ohjauspiiri. Näiden osien yhteistoiminta mahdollistaa tarkan ja tehokkaan moottorinohjauksen monenlaisissa sovelluksissa.

Taajuusmuuttajat ovat sähkötehon säätölaitteita, joilla hallitaan sähkömoottoreiden nopeutta muuttamalla syötetyn sähkötehon taajuutta ja jännitettä. Nämä laitteet hyödyntävät puolijohdekomponentteja, kuten diodeja, GTO- tai IGBT-komponentteja, ohjaten näiden kytkentätilaa virran johto- ja estotilan välillä.

Puolijohdekomponentit jaetaan kahteen pääluokkaan: verkkokommutaatioon ja pakko-ohjattuihin puolijohteisiin. Verkkokommutaatio perustuu verkon jännitteeseen, kun taas pakko-ohjattuja komponentteja ohjataan antamalla jännite- tai virtapulsseja. [2.]

Kuvassa 1 esitellään jännitevälipiirillisen taajuusmuuttajan peruskaavio, joka käyttää pulssinleveysmodulointitekniikkaa. Kolmivaiheinen vaihtojännite syötetään ensin 6-pulssiselle tasasuuntaajalle, joka muuttaa sen tasajännitteeksi. Jännitevälipiirissä oleva kondensaattori toimii energiavarastona ja suodattaa mahdollisia tasajännitteen epäpuhtauksia. Jos kyseessä olisi virtavälipiirillinen taajuusmuuttaja, käytettäisiin kelaa kondensaattorin sijaan. Välipiiriä voidaan myös käyttää ohjauslaitteiden käyttöjännitteen syöttämiseen. Vaihtosuuntaus toteutetaan IGBT-transistoreilla, joissa kunkin vaihejännitelähtö kytketään vuorotellen tasajännitevälipiiriin positiiviseen ja negatiiviseen puoleen. Pulssinleveysmoduloinnissa rajoitetaan esimerkiksi sähkömoottorille syötetyn virran määrää nopeilla puolijohdekomponenttien kytkentämuutoksilla. Lopullinen virta määräytyy pulssisuhteen (D) perusteella, joka lasketaan kaavasta $D = t / T$, missä D on pulssisuhte, t on puolijohdekomponentin johtoajan pituus ja T on puolijohdekomponentin johto- ja estoajien yhteenlaskettu aika. [3.]



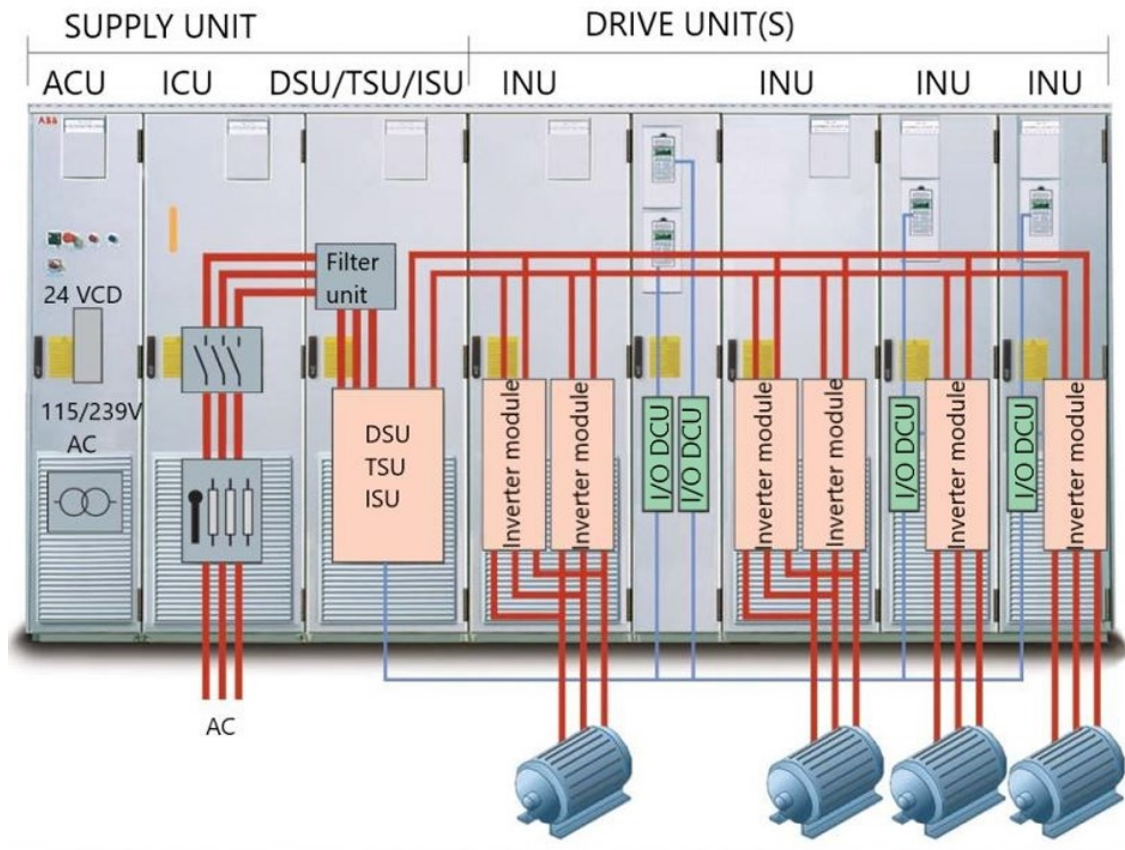
Kuva 1. Yksinkertaistettu kaavio PWM- taajuusmuuttajasta [4].

Tietyissä sovelluksissa monimutkaisempia Multidrive-taajuusmuuttajia voidaan käyttää yksinkertaisten taajuusmuuttajien sijaan. Nämä Multidrive-taajuusmuuttajat mahdollistavat samanaikaisesti useiden laitteiden ohjaamisen, koska ne hyödyntävät tasasähkökiskorakennetta. Multidrive-taajuusmuuttaja koostuu yleensä yhdestä syöttöyksiköstä ja kahdesta tai useammasta vaihtosuuntaajayksiköstä, jotka muodostavat yhdessä kokonaisuuden, jota kutsutaan kuljetuspituudeksi.

Kuvassa 2 näkyy esimerkki valmiista Multidrive-taajuusmuuttajasta, jossa syöttöyksikkö koostuu kolmesta eri osasta: lisäohjauskentästä (ACU), katkaisijakentästä (ICU) ja tasasuuntaajakentästä (DSU/TSU/ISU). Lisäohjauskenttä sisältää erilaisia taajuusmuuttajan ohjaus- ja turvapiirejä muuntajineen. Katkaisijakentässä on pääkatkaisija, ja asiakas liittyy laitteistoon kaapeleilla tai olemassa olevalla kiskorakenteella. Tasasuuntaajakenttä voi olla toteutettu erilaisilla tekniikoilla, kuten diodeilla, tyristoreilla tai IGBT-transistoreilla.

Vaihtosuuntaajayksiköt sisältävät invertteriyksiköitä (INU), joissa tasasähkö muunnetaan edelleen vaihtosähköksi. Kentissä on myös mekaniikkaosia, kuten pikaliittimiä, joiden avulla vaihtosuuntaajamoduulit voidaan kytkeä nopeasti. Lisäksi vaihtosuuntaajayksiköt sisältävät taajuusmuuttajan ohjausyksiköitä (DCU).

Multidrive-taajuusmuuttajia käytetään pääasiassa prosessiteollisuudessa, kuten paperi-, kaivos- ja energia-alalla. Ne suunnitellaan asiakkaan tarpeiden mukaisesti, ja ne voivat olla joko ilma- tai vesijäähdytteisiä. Multidrive-taajuusmuuttajat ovat monimutkaisempia ja monipuolisempia kuin yksinkertaiset taajuusmuuttajat, ja niitä voidaan soveltaa vaativiin teollisuusympäristöihin.



Kuva 2. Multidrive-taajuusmuuttajamalli [4].

Multidrive-taajuusmuuttaja on monimutkainen sähköinen järjestelmä, joka mahdollistaa useiden laitteiden samanaikaisen ohjauksen. Tämä järjestelmä koostuu useista osista:

Syöttöyksikkö (Supply Unit): Syöttöyksikkö on Multidrive-taajuusmuuttajan keskusosa. Se vastaanottaa syöttöjännitteen ja tarjoaa sähköisen perustan järjestelmälle. Syöttöyksikkö sisältää lisäohjauskentän (ACU), katkaisijakentän (ICU) ja tasasuuntaajakentän (DSU/TSU/ISU). Lisäohjauskentässä on erilaisia ohjaus- ja turvapiirejä sekä tarvittavia muuntajia.

Katkaisijakenttä (ICU): Katkaisijakenttä sisältää pääkatkaisijan, joka mahdollistaa liittymisen laitteistoon. Asiakas voi liittää laitteensa kaapeleilla tai olemassa olevan kiskorakenteen kautta tähän osaan.

Tasasuuntaajakenttä (DSU/TSU/ISU): Tasasuuntaajakenttä muuntaa syöttöjännitteen tasasähköksi, ja tämä voi olla toteutettu erilaisilla tekniikoilla, kuten diodeilla, tyristoreilla tai IGBT-transistoreilla.

Vaihtosuuntaajayksiköt (Drive Units): Nämä yksiköt koostuvat invertteriyksiköistä (INU), jotka muuttavat tasasähkön vaihtosähköksi. Kentissä on myös mekaniikkaa, kuten pikaliittimiä, joiden avulla vaihtosuuntaajamoduulit voidaan kytkeä nopeasti.

Ohjausyksiköt (DCU): Vaihtosuuntaajayksiköt sisältävät ohjausyksiköt, jotka vastaavat koko järjestelmän toiminnasta. Ne ohjaavat ja valvovat moottorien toimintaa sekä säätelevät niiden nopeutta ja tehonkulutusta.

Mekaaniset ja jäähdytysosat: Järjestelmässä on myös mekaanisia komponentteja, kuten pikaliittimiä, jotka mahdollistavat nopean vaihtosuuntaajayksiköiden liittämisen. Lisäksi järjestelmä voi olla varustettu jäähdytysratkaisuilla, kuten ilmatäi vesijäähdytyksellä, jotta komponentit pysyvät optimaalisessa lämpötilassa.

Multidrive-taajuusmuuttajia käytetään yleisesti prosessiteollisuudessa, ja niitä räätälöidään asiakkaan tarpeiden mukaisesti. Tämä monimutkainen järjestelmä mahdollistaa useiden laitteiden tarkan ja samanaikaisen ohjauksen vaativissa teollisuussovelluksissa.

2.2 Lean-periaatteet

Lean-ajattelu on menetelmä liiketoiminnan kehittämiseen, jonka keskiössä on hukkan poistaminen, vakioitujen prosessien luominen ja jatkuva parantaminen. Tavoitteena on tuottaa korkealaatuisia tuotteita tai palveluita asiakkaille pienemmillä kustannuksilla ja nopeammalla toimitusajalla. Se tarkoittaa käytännössä sitä, että pyritään tekemään oikeita asioita oikeaan aikaan ja vältetään turhaa työtä.

Lean-ajattelu sai alkunsa Toyotan tuotantolinjoilla Japanissa, kun Sakichi Toyodan kehittämä kutomakone pysähtyi automaattisesti vikatilanteissa. Tämä esti virheellisten tuotteiden valmistamisen ja säästi resursseja. Myöhemmin Toyotan

insinööri Taiichi Ohno kehitti tästä ideasta Toyota Production Systemin (TPS), joka oli Lean-ajattelun edeltäjä. Nykyään Lean tunnetaan tehokkuuden ja laadun parantamisen filosofiana. [5.]

Lean-ajattelun viisi peruseriaatetta ovat:

Arvon määrittäminen: Tärkeintä on ymmärtää, mitkä asiat ovat asiakkaalle arvokkaita. Tämä vaatii syvää asiakastuntemusta ja kykyä tunnistaa piileviä tarpeita.

Arvovirran kartoittaminen: On olennaista selvittää, miten tuote tai palvelu liikkuu organisaatiossa. Tarkoitus on tunnistaa turhat vaiheet ja prosessit, jotka eivät lisää arvoa.

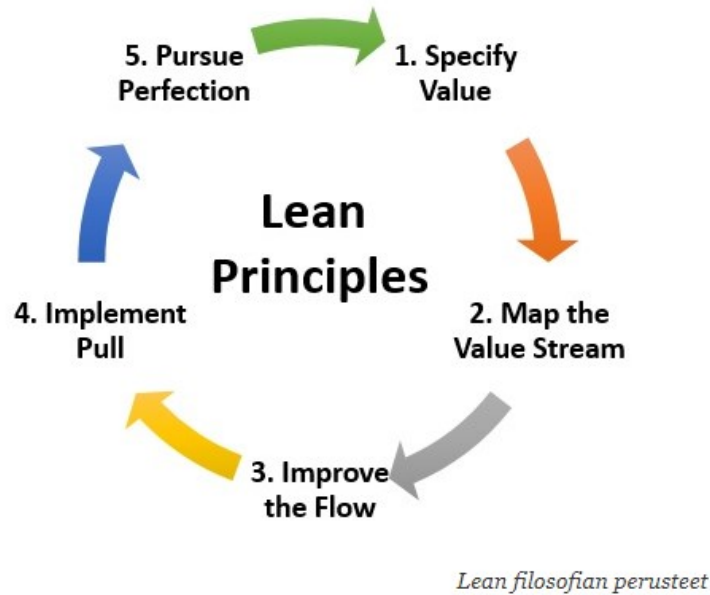
Virtauttaminen: Prosessien tulisi toimia sujuvasti ilman keskeytyksiä tai turhia odotteluaikoja. Tavoite on poistaa kaikki häiriöt prosessista.

Tehokkuus: Tuotantoa ei käynnistetä ennen kuin asiakas tarvitsee tuotetta tai palvelua. Tämä vähentää varastointitarvetta ja minimoi hukan.

Jatkuva parantaminen: Lean-ajattelun ytimessä on jatkuva kehittyminen. Organisaatio pyrkii jatkuvasti löytämään tapoja parantaa toimintaansa ja poistamaan hukkaa.

Lisäksi Lean-ajattelu korostaa asiakkaan tarpeiden ymmärtämistä, mukaan lukien piilevät tarpeet, joita asiakas ei välttämättä osaa itse ilmaista. Tämä vaatii erilaisia tutkimusmenetelmiä, kuten kyselyitä, haastatteluja ja datan analysointia.

Yhteenvetona Lean-ajattelu on tehokas tapa parantaa liiketoiminnan suorituskykyä ja asiakastytyvyyttä keskittymällä olennaiseen ja poistamalla turhaa työtä. [6.]



Kuva 3. Leanin Viisi Olennaista Toimintaperiaatetta [6].

Kun asiakkaan näkökulmasta tärkeät arvot on määritetty, ne asetetaan tavoitteeksi, ja sitten tarkastellaan kaikkia niihin vaikuttavia toimintoja arvovirtakuvauksen avulla. Arvovirtakuvauksen avulla voidaan hahmottaa, miten prosessi toimii ja mitkä ovat sen keskeiset vaiheet. Tässä vaiheessa määritellään toiminnot, jotka lisäävät arvoa asiakkaalle, sekä ne, jotka eivät lisää.

Arvovirtakuvauksessa tunnistetut toiminnot jaetaan yleensä kolmeen luokkaan:

Arvoa tuottavat toiminnot: Nämä ovat niitä toimintoja, jotka suoraan lisäävät tuotteen tai palvelun arvoa asiakkaalle. Ne ovat välttämättömiä ja tavoiteltavia.

Arvoa tuottamattomat, mutta välttämättömät toiminnot: Näitä ovat toiminnot, jotka ovat tarpeellisia, mutta eivät suoraan lisää arvoa asiakkaalle. Ne voivat liittyä esimerkiksi laadunvalvontaan tai turvallisuuteen.

Täysin arvoa tuottamattomat toiminnot (hukka): Nämä ovat toiminnot, jotka eivät lisää arvoa asiakkaalle millään tavalla. Ne ovat turhia ja lisäävät kustannuksia ilman hyötyä. [6.]

Lean-ajattelun keskeinen periaate on pyrkiä poistamaan täysin arvoa tuottamattomat toiminnot, eli hukka. Hukan kahdeksan eri muotoa voidaan kuvata WORM-PIIT-akronymin avulla (kuva 4):

W - Odottaminen (Waiting): Odottaminen ja seisokkiajat ovat hukkaa. Lean pyrkii minimoimaan odottamisen.

O - Ylituotanto (Overproduction): Tuottaminen enemmän kuin asiakas tarvitsee, on hukkaa. Lean tavoittelee kysyntäohjattua tuotantoa.

R - Uudelleen käsittely (Rework): Tuotteen tai palvelun uudelleen käsittely virheiden korjaamiseksi on hukkaa. Laatu on Leanin keskeisiä painopisteitä.

M - Liikkuminen (Motion): Turhat liikkeet ja siirtymät ovat hukkaa. Lean pyrkii järjestämään työympäristön niin, että työntekijät voivat toimia tehokkaasti.

P - Käsittely (Processing): Tarpeettomat käsittelyt ja monimutkaiset prosessit ovat hukkaa. Lean kannustaa yksinkertaistamaan toimintaa.

I - Inventointi (Inventory): Liian suuri varasto on hukkaa. Lean pyrkii minimoimaan varastot ja käyttämään juuri tarvittavaa materiaalia.

I - Äly (Intellect): Työntekijöiden potentiaalin hyödyntämättä jättäminen on hukkaa. Lean rohkaisee osallistavaa johtamista ja ideoiden jakamista.

T - Kuljetus (Transportation): Tarpeettomat kuljetukset ja siirrot ovat hukkaa. Lean tavoittelee tehokasta materiaalien liikkumista.

Lisäksi Lean kiinnittää huomiota ajan hukkaan, joka syntyy kehityspotentiaalin menettämisestä. Lean-ajattelu kannustaa organisaatiota jatkuvaan parantamiseen poistamalla hukkaa ja tehostamalla toimintaa. [7.]



Kuva 4. Leanin kahdeksan hukkaa [8].

Hukkien poistaminen on keskeinen osa Lean-ajattelua, mutta se ei ole päämäärä sinänsä. Sen sijaan tavoitteena on varmistaa, että jäljelle jääneet toiminnot toimivat sujuvasti ja tuottavat arvoa asiakkaalle. Tämä saavutetaan sujuvan virtauksen luomisella.

Sujuvan virtauksen varmistamiseksi voidaan tehdä useita toimenpiteitä:

Tuotantovaiheiden erittely: Tuotantovaiheet eritellään tarkasti, jotta jokainen vaihe on selkeästi määritelty ja ymmärretty.

Vaiheiden uudelleenjärjestely: Tarvittaessa vaiheita järjestellään uudelleen niin, että tuotteen tai palvelun kulku on mahdollisimman sujuvaa ja katkeamatonta.

Työmäärien tasoittaminen: Työmääriä tasoitetaan siten, että yksittäiset vaiheet eivät ylikuormitu tai ole alikuormitettuja. Tämä auttaa välttämään odottamista ja ylimääräisiä varastoja. [8.]

Monitaitoisuus ja mukautuvuus: Työntekijöitä koulutetaan monitaitoisiksi, jotta he voivat suorittaa eri tehtäviä tarpeen mukaan. Tämä tekee työvoimasta joustavampaa ja mukautuvampaa muutoksiin.

Leanissa pyritään usein vetopohjaiseen toimitusketjuun. Vetopohjaisessa toimitusketjussa tuotanto ja jakelu perustuvat suoraan asiakkaan kysyntään. Tämä poikkeaa työntöpohjaisesta toimitusketjusta, joka perustuu ennusteisiin. Vetopohjaisessa järjestelmässä tavoitteena on pitää varastot ja prosessoitavien kohteiden määrä mahdollisimman pieninä. Tämä saavutetaan varmistamalla, että tarvittavat materiaalit ja tiedot ovat saatavilla juuri silloin, kun niitä tarvitaan, mikä on osa Lean-ajattelua.

Vetopohjainen järjestelmä mukautetaan aina asiakkaan tarpeiden mukaan, ja sen avulla voidaan toteuttaa Just-In-Time (JIT) -toimintaa, jossa tuote tai palvelu valmistetaan vain silloin ja siinä määrin kuin asiakas tarvitsee. Tämä vähentää hukkaa ja varastoja

Lean-ajattelun viides periaate on täydellisyyden tavoitteleminen. Se korostaa jatkuvaa parantamista ja Lean-filosofian integroimista organisaation kulttuuriin. Kaikki organisaation jäsenet osallistuvat tähän pyrkimykseen, ja tavoitteena on päivä päivältä tulla entistä paremmaksi ja täyttää asiakkaiden tarpeet. Täydellisyyden tavoittelu on Leanin ydin, ja se ajaa organisaatiota kohti jatkuvaa kehitystä. [8.]

2.3 Kaizen

Kaizen on olennainen osa Lean-filosofiaa, ja se keskittyy jatkuvaan parantamiseen pienin ja nopein askelin. Tavoitteena on poistaa prosesseista edellisessä luvussa mainittuja hukkia ja tehdä toiminnasta tehokkaampaa. Kaizen perustuu usein tehokkaisiin työpajoihin, joissa osallistujat työskentelevät yhdessä ongelmien ratkaisemiseksi ja prosessien parantamiseksi.

Kaizen-työpajojen tehokkuus perustuu muun muassa seuraaviin periaatteisiin:

Ihmisten osallistaminen: Kaizen edellyttää kaikkien osallistumista prosessin parantamiseen. Kaizen-työpajoihin osallistuvilla on mahdollisuus jakaa tietoaan ja kokemuksiaan, mikä edistää tehokasta ongelmanratkaisua.

Nopea siirtyminen suunnittelusta toteutukseen: Kaizen-työpajoissa pyritään nopeaan toimintaan. Tavoitteena on siirtyä nopeasti ongelman analysoinnista ja suunnittelusta käytännön toteutukseen.

Pienet parannukset ovat positiivisia: Kaizenissa ei tarvitse etsiä täydellisiä ratkaisuja ongelmiin. Pienetkin parannukset ovat arvokkaita, ja niitä arvostetaan.

Ongelman juurisyiden selvittäminen: Kaizenissa pureudutaan ongelman juurisyihin. Tavoitteena on ratkaista ongelma perusteellisesti eikä vain oireiden lieventäminen.

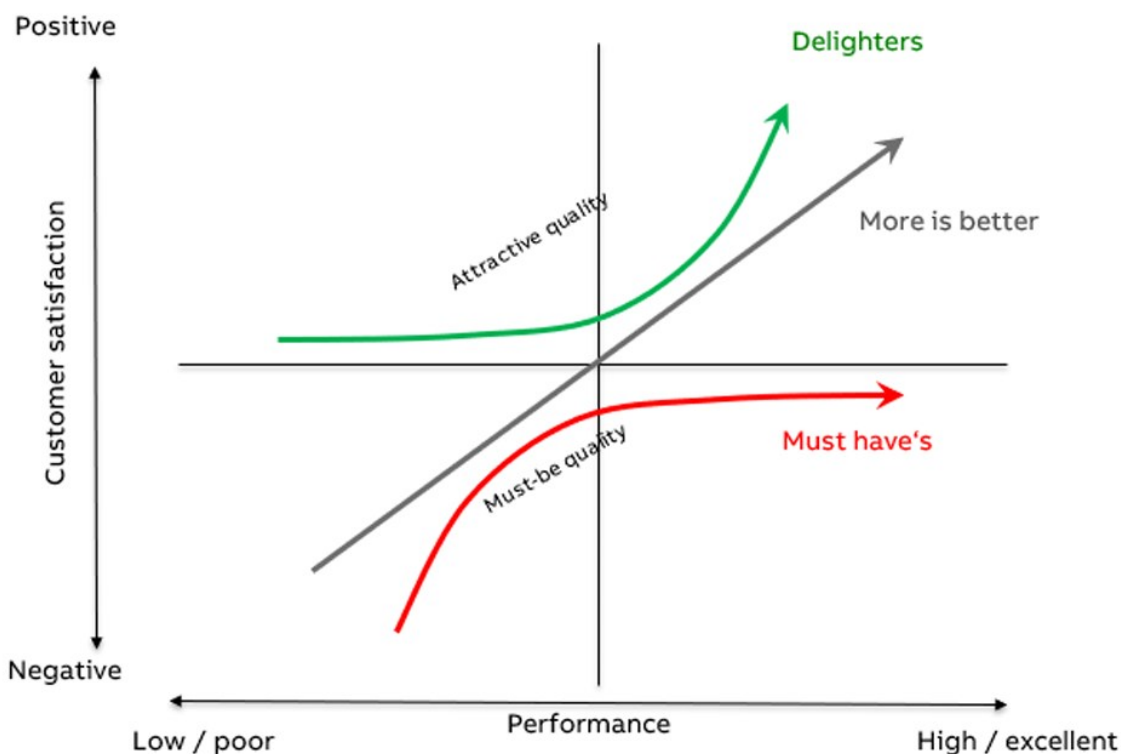
Kaizen-työpajoja toteutetaan tiimeissä, ja ne keskittyvät ennalta määritettyihin kehittämisen kohteisiin. Työpajojen kesto vaihtelee yleensä kahdesta viiteen päivään, ja niiden aikana tarkastellaan tarkasti kehitettävää kohdetta sekä aloitetaan käytännön kehittämistoimet.

Kaizenin onnistumisen kannalta on tärkeää asettaa selkeä tavoite ja viestiä se osallistujille. Kun kaikki tietävät tavoitteen, he ovat motivoituneempia ja sitoutuneempia toimintaan. Osallistujien sitoutuminen tavoitteeseen on avainasemassa tuloksellisessa Kaizen-työskentelyssä.

Kaizen-aihe tai teema valitaan huolellisesti ennen työpajaa. Usein teema valitaan organisaation toiminnallisesti ja taloudellisesti merkittävien alueiden perusteella. Kaizenin toteuttamisesta vastaa fasilitaattori, joka valmistelee työpajan ja kerää tarvittavat taustatiedot ongelman analysointia varten.

Kaizen perustuu systemaattiseen 14 kohdan toimintamalliin, ja sen järjestämisestä vastaa fasilitaattori. Työpaja alkaa aiheen esittelyllä ja sisältää KANO-analyyysin, joka auttaa määrittämään, mitkä toiminnot tuovat lisäarvoa asiakkaalle.

Tämä auttaa keskittymään niihin asioihin, jotka vaikuttavat merkittävimmin asiakastyytyvyyteen ja prosessin laatuun. [9.]



Kuva 5. XY-akselisto KANO-analyysissa.

KANO-analyysissä käytetään yleensä xy-akselistoa (kuva 5), joka auttaa luokittelemaan erilaisia toimintoja niiden vaikutuksen ja tyytyväisyyden perusteella. Tämä auttaa organisaatiota ymmärtämään, mitkä toiminnot ovat kriittisiä asiakaille ja mitkä eivät. Kuviossa x-akselilla on yleensä toiminnon vaikutus asiakastyytyvyyteen ja y-akselilla toiminnon toteutuksen tyytyväisyys.

Delighters (Iloittelijat): Nämä ovat toiminnot, jotka voivat yllättää ja ilahduttaa asiakasta. Ne eivät ole välttämättömiä, mutta kun ne toteutetaan, ne voivat erottaa tuotteen tai palvelun kilpailijoista. Delightersit voivat parantaa asiakastytyvyyttä huomattavasti.

More is better (Lisää on parempi): Tällaiset toiminnot ovat niitä, joita asiakas haluaa enemmän. Mitä enemmän, sitä parempi. Näitä toimintoja lisäämällä voidaan lisätä asiakastytyväisyyttä, mutta niiden puuttuminen ei välttämättä heikennä sitä merkittävästi.

Must be (Täytyy olla): Nämä ovat perustoimintoja, jotka asiakkaat odottavat. Ne ovat välttämättömiä, ja niiden puuttuminen johtaa huonoon asiakastytyväisyyteen. Vaikka niiden läsnäolo ei välttämättä lisää tyytyväisyyttä, niiden puuttuminen voi heikentää sitä merkittävästi.

KANO-analyysi auttaa organisaatiota tunnistamaan, mitkä toiminnot ovat todella tärkeitä asiakkaille ja mitkä voivat olla kilpailuedun lähde. Se auttaa myös priorisoimaan toimenpiteitä ja keskittymään niihin asioihin, jotka vaikuttavat merkittävimmin asiakastytyväisyyteen ja prosessin laatuun.

KANO-analyysin jälkeen SIPOC-kaaviota hyödyntäen suoritetaan nykytila-analyysi. SIPOC edustaa lyhenteitä seuraavista sanoista: Supplier (Toimittaja), Input (Syöte), Process (Prosessi), Output (Tuotos) ja Customer (Asiakas). Nykytila-analyysi keskittyy ymmärtämään tarkasti nykyisen prosessin tai toiminnon vaiheet ja vaikutukset eri vaiheisiin.

Nykytila-analyysin tavoitteena on:

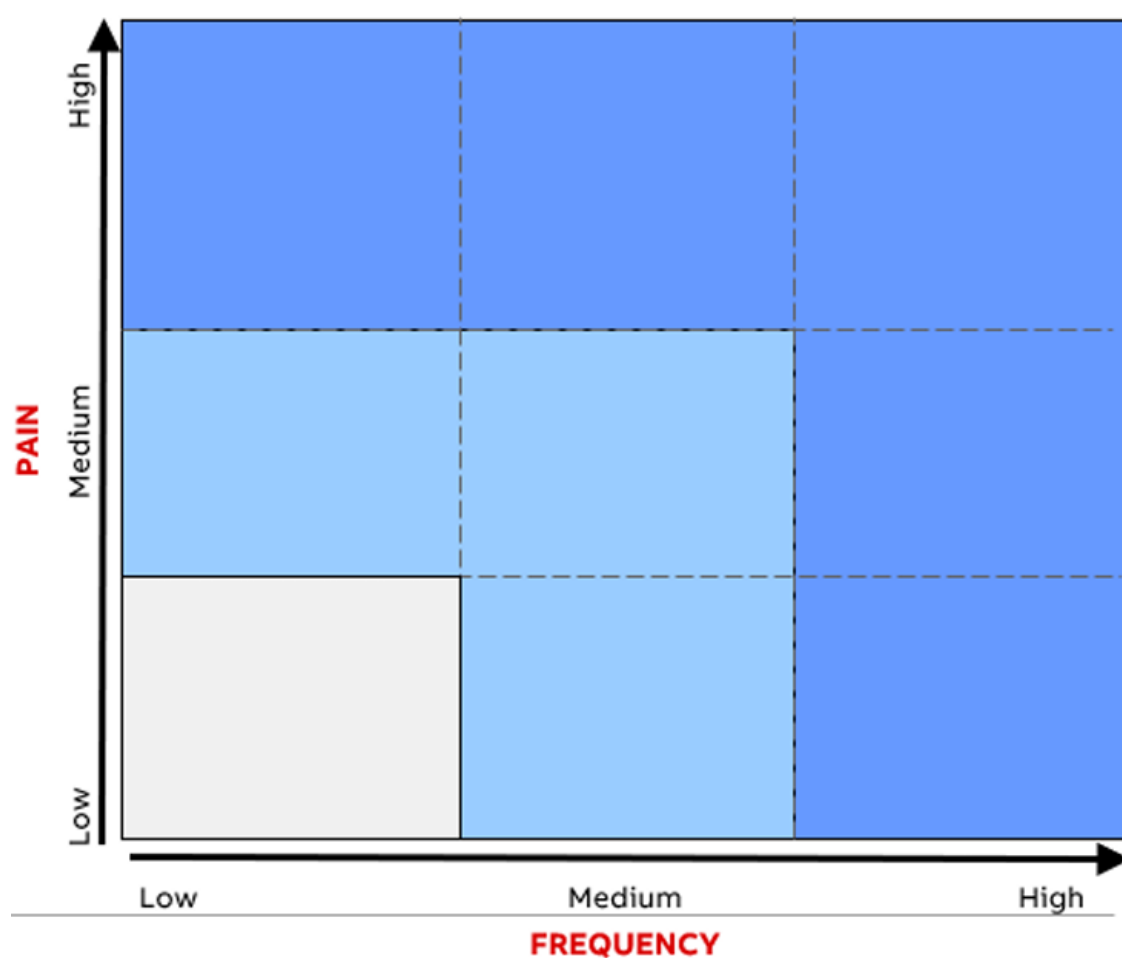
Kuvata prosessi: Tämä vaihe vaatii prosessin yksityiskohtaista kuvaamista vaihe vaiheelta. Siinä määritellään, mitä syötteitä prosessi saa, miten se niitä käsittelee, ja mitä tuloksia se tuottaa.

Tunnistaa ongelmakohdat: Nykytila-analyysin avulla havaitaan prosessin pullonkaulat, ongelmat ja hukka. Tämä auttaa tunnistamaan, missä prosessi voi parantua.

Kerätä tietoa: Analyysin aikana kerätään tietoa prosessin suorituskyvystä, kestoista ja vaikutuksista. Tämä tieto auttaa hukkien ja ongelmakohtien tunnistamisessa.

Valmistella pohja parannuksille: Nykytila-analyysi tarjoaa perustan parannuksille ja auttaa organisaatiota ymmärtämään, mitkä osat prosessista vaativat huomiota ja korjausta.

Kun nykytila-analyysi on suoritettu SIPOC-kaavion avulla, organisaatio voi siirtyä seuraavaan vaiheeseen, joka on parannussuunnitelman laatiminen ja hukkien eliminointi prosessista.



Kuva 6. Hukka-analyysissä hyödynnettävä taulukko.

Matriisin oikeaan yläkulmaan sijoitetaan kiireelliset ja usein toistuvat ongelmat, jotka vaativat nopeita ratkaisuja. Nämä ongelmat voivat edellyttää innovatiivisia ja yllättäviä lähestymistapoja, jotka tuottavat arvoa asiakkaille. Vasemman

yläkulman ongelmat ovat "ärsykeitä", jotka eivät ole suuria, mutta ne toistuvat säännöllisesti prosessissa. Niihin voi löytyä ratkaisuja, jotka kiertävät ongelman. Oikeaan alakulmaan asetetaan pienet ongelmat, jotka toistuvat prosessissa usein. Näiden ongelmien ratkaisut löytyvät "kiva olla" -toiminnoista, jotka voivat tarjota mukavuutta, mutta eivät ole välttämättömiä. On tärkeää arvioida näiden toimintojen tarpeellisuutta ja niiden tuomaa lisäarvoa prosessille ja asiakkaille.

Vasempaan alakulmaan asetetaan ongelmat, jotka eivät ole prosessin ja asiakkaiden kannalta tarpeellisia. Nämä ongelmat ovat prioriteetiltaan alhaisimpia. Seuraavaksi korkean prioriteetin ongelmille suoritetaan juurisyyanalyysi käyttäen Five Whys -menetelmää. Tämä menetelmä perustuu toistuvaan kysymykseen "miksi". Kysymysketju alkaa ongelmasta ja jatkuu neljän "miksi"-kysymyksen avulla, kunnes saavutetaan juurisyy tässä, on esimerkki Five Whys -juurisyyanalyysistä:

Esimerkkiongelmia: Tuotteiden laatu on heikentynyt ja asiakkaat ovat antaneet palautetta.

Miksi tuotteiden laatu on heikentynyt? Tuotantolinjalla on ollut useita virheitä ja vikoja.

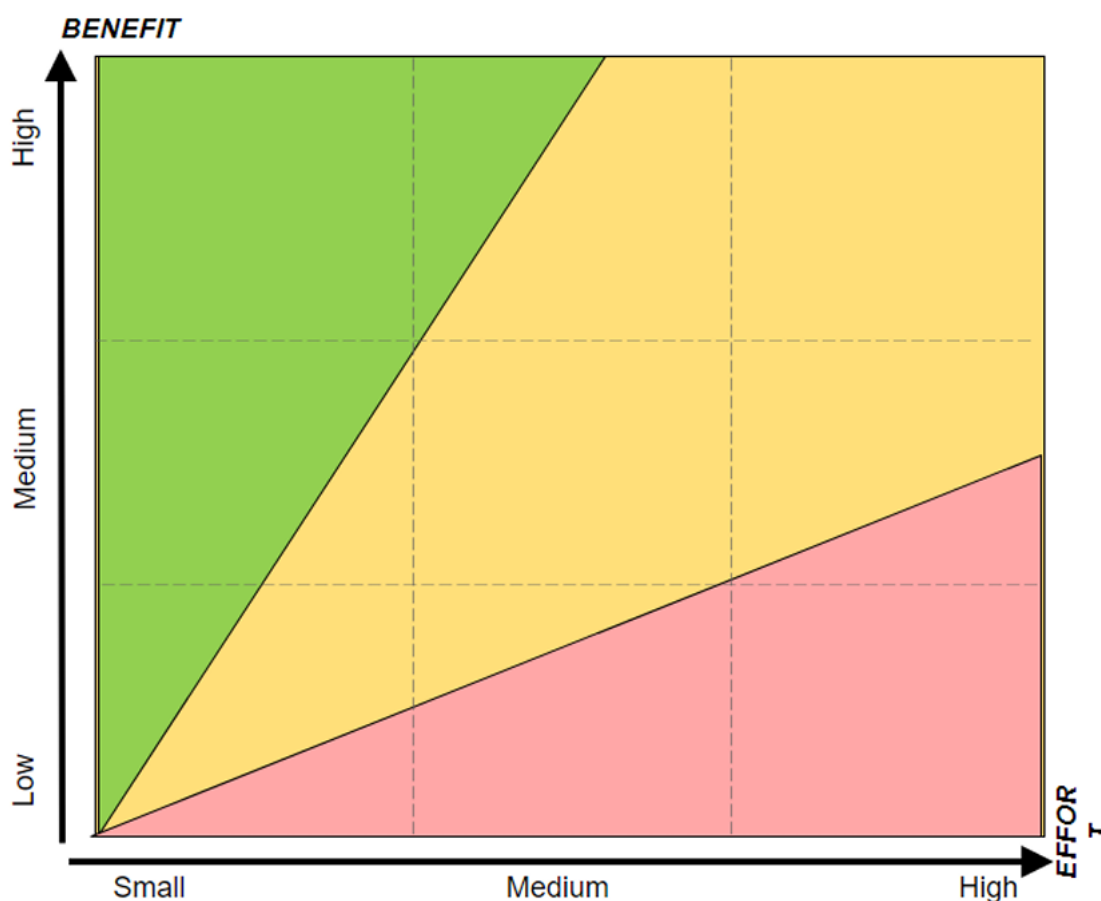
Miksi tuotantolinjalla on ollut virheitä ja vikoja? Työntekijät eivät ole noudattaneet tarkasti tuotantoprosessin ohjeita.

Miksi työntekijät eivät ole noudattaneet ohjeita? Tuotantoprosessin ohjeet eivät ole olleet selkeitä ja ymmärrettäviä.

Miksi ohjeet eivät ole olleet selkeitä ja ymmärrettäviä? Ohjeet eivät ole päivitetty pitkään aikaan, ja uusia parannuksia ei ole otettu huomioon.

Juurisyyanalyysin tuloksena havaittiin, että ongelman perussyynä oli vanhentuneiden tuotantoprosessin ohjeiden käyttö. Tämän perusteella voitiin ryhtyä toimenpiteisiin ohjeiden päivittämiseksi ja varmistaa, että ne ovat selkeitä ja ajan tasalla.

Tämä prosessi auttaa tunnistamaan syvemmällä olevat juurisyyt ongelmaan. Kaizenin kahdeksannessa vaiheessa SIPOC-kaaviota käytetään suunniteltaessa tulevaa prosessia. Kuvauksen ei tarvitse olla äärimmäisen yksityiskohtainen, mutta siinä on tunnistettava muutokset ja edut, joita uusi prosessi tuo. Tärkeät muutokset hyväksytään, vastuuhenkilöt nimetään, ja toimenpiteet aikataulutetaan eri aikajaksoille, kuten viikko, kuukausi ja puoli vuotta. Optimaalisten prosessin toteutustapojen arviointiin käytetään hyötysuhdeanalyysiä, jonka avulla voidaan arvioida toimenpiteiden vaivaa ja niiden vaikutusta hyötyyn [8.]



Kuva 7. Hyötysuhdeanalyysin kaavio.

Lopuksi laaditaan implementointisuunnitelma, raportoidaan tilaisuuden sponsoorivalle taholle saavutetuista tuloksista ja hyväksytään seuraavat toimenpiteet.

3 Johdotusprosessi

3.1 Johdotuksen parantaminen

Käyttämällä puoliautomaattisia laitteita voidaan edistää johdotuksen parantamista entisestään. Nämä laitteet tarjoavat tehokkaampia työkaluja sähköjohtojen käsittelyyn ja liitosten tekemiseen, mikä voi merkittävästi lisätä työn tehokkuutta ja tarkkuutta. Puoliautomaattiset laitteet tarjoavat myös mahdollisuuden päivittää vanhentuneita menetelmiä ja vähentää inhimillisten virheiden riskiä, mikä edistää johdotuksen turvallisuutta ja laatua.

Johdotuksen parantaminen automaatiolaitteilla on nykyaikaa ja se vaatii monia eri toimenpiteitä, joilla pyritään optimoimaan järjestelmän suorituskykyä, turvallisuutta ja viankestävyyttä. Tämä voi vaatia tarkkoja suunnitelmia, säännöllistä ylläpitoa ja tarvittaessa järjestelmän päivittämistä vastaamaan uusimpia standardeja ja vaatimuksia. Automaatiolaitteilla johdotuksen parantaminen voi olla keskeinen osa koko automaatiojärjestelmän toimivuuden ja turvallisuuden varmistamista. Tässä muutamia tapoja, joilla johdotuksen parantaminen liittyy automaatiolaitteisiin:

Johdotuksen suunnittelu: Automaatiojärjestelmien (EPlan) johdotuksen suunnittelu on avainasemassa. Se kattaa kaapeleiden reitityksen, liitosten sijoittelun ja tarvittavan eristyksen varmistamisen. Suunnittelussa pyritään optimaaliseen ja turvalliseen johdotukseen.

Tarkastus ja ylläpito: Automaatiolaitteiden johdotuksen tulee olla säännöllisten tarkastusten ja ylläpidon kohteena. Tämä sisältää liitosten tarkastuksen, mahdollisten vikojen havaitsemisen ja korjaamisen sekä johdotuksen yleisen kunnon tarkastelun.

Tehokas johdotusprosessi on olennainen osa tuotannon sujuvuutta ja laadun varmistamista. Sen tulee olla helppokäyttöinen ja selkeä monesta syystä.

1. Nopeus ja tehokkuus: Helppokäyttöinen johdotusprosessi säästää aikaa.

2. Vähemmän virheitä: Selkeät ja helppokäyttöiset ohjeistukset vähentävät virheiden riskiä. Työntekijät voivat noudattaa selkeitä vaiheita ja välttää virheitä johdotuksessa.

3. Laadunvarmistus: Helppokäyttöinen prosessi auttaa varmistamaan, että jokainen vaihe suoritetaan oikein, mikä puolestaan takaa laadukkaan lopputuloksen.

4. Koulutuksen helppous: Selkeä ja yksinkertainen prosessi on helpompi opettaa uusille työntekijöille tai kouluttaa olemassa olevaa henkilöstöä.

5. Työntekijöiden sitoutuminen: Helppokäyttöiset prosessit voivat lisätä työntekijöiden luottamusta ja sitoutumista työhönsä, mikä voi parantaa tuottavuutta ja työtyytyväisyyttä.

Johdotuksen parantaminen automaatiolla voi vaikuttaa merkittävästi ergonomiaan tuotantoympäristössä.

3.2 Nykymalli

Nykyisessä Multidrive-tuotantolinjassa johdotuksessa ja liitosten tekemisessä käytetään useita perinteisiä menetelmiä, joissa työntekijöiden taidot ja perinteiset työkalut ovat keskeisessä roolissa. Kaksi yleisintä menetelmää ovat johtimien kuorinta kuorintapihdeillä ja puristaminen puristustyökaluilla.

Johdinsarjojen valmistuksen vakiovaiheet



Kuva 8. Kaapelivalmistuksen tämänhetkinen tapa.

Nykyisessä valmistusprosessissa on seitsemän vaihetta, jotka vaativat tarkkuutta ja välitarkistuksia. Näistä keskeisimpiä vaiheita ovat johtimien kuorinta ja manuaaliset puristukset.

Johtimien kuorintavaihe:

- Työntekijä varmistaa oikean johdon pituuden liitosta varten.
- Kuorintapihdit säädetään eristyksen paksuudelle.
- Pihdit asetetaan johdinmateriaalin ja eristyksen väliin, ja niitä puristetaan varovasti.
- Eristys poistetaan varovasti johdinmateriaalin ympäriltä.
- Asentaja tarkistaa kuoritun osuuden pituuden ja johdon kunnon.

Puristusvaiheet:

- Oikean puristustyökalun ja holkin valinta.
- Työntekijä asettaa johdot ja liittimet puristussovittimeen oikeassa järjestyksessä ja asennossa.
- Puristus suoritetaan puristustyökalulla.
- Vetotesti suoritetaan liittimen lujuuden varmistamiseksi.
- Tarvittaessa ylimääräiset johdot tai eristeet leikataan.

Näiden tehtävien merkittävät terveysriskit työntekijöille on tärkeä tiedostaa. Toistuvat liikkeet ja voiman käyttö voivat aiheuttaa fyysistä raskautta, kuten rasitusvammoja, käsivammoja ja ergonomisia ongelmia. ABB:n prioriteetti on

työntekijöiden terveys ja turvallisuus, mikä vaatii oikeanlaisen koulutuksen, turvallisten työvälineiden käytön ja riittävien taukojen pitämisen

3.3 Työn tutkimusvaihe

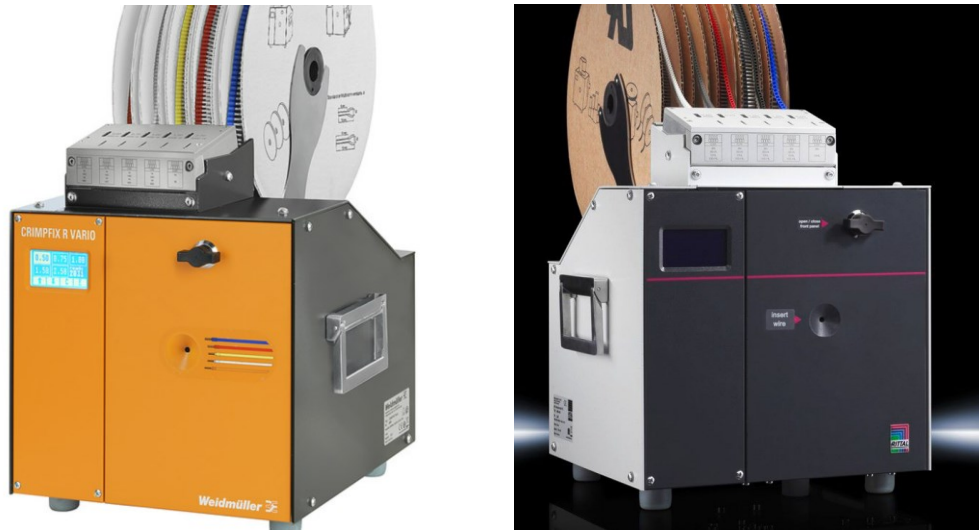
Tuotantolinjalla vakiojohdinsarjojen vähäinen käyttö johtui pääasiassa johdon epäsopivasta pituudesta – ne olivat joko liian pitkiä tai liian lyhyitä. Tämä johtui valmistettavien laitteiden suuresta variaation määrästä. Tuotannon työntekijöiden työmäärään kohdistui merkittävä vaikutus, kun heidän oli valmistettava kaapeleita ja johdinsarjoja manuaalisesti. Tämä huomattavasti kasvatti työaikaa ja -kuormaa. Aloituspalaverissa tuotantolinjanpäällikön kanssa arvioitiin nykytilannetta ja havaittiin, että maailmassa on olemassa täysin automaattisia laitteita, jotka voivat suorittaa kaapeleiden kuorimisen, holkituksen ja merkkäamisen. Päätettiin kuitenkin pilotoida ABB:lle puoliautomaattinen ratkaisu, joka mahdollistaisi paremman hyödyn nykytilanteessa suhteessa investointeihin.

Tavoitteena on vuoteen 2025 mennessä vähentää johdotukseen käytettyä aikaa, ja samalla harkita jatkokehitysmahdollisuuksia tulevaisuutta ajatellen. Pitkän aikavälin tavoitteena on käyttää täysin automatisoituja laitteita, jotka edelleen helpottavat johdotuksen prosessia

3.4 Tarjonnan nykytila ja mahdollisuudet

Erilaisia tapoja parantaa johdotusprosessia etsittiin, ja päätettiin aluksi tutustua eri yritysten tarjoamiin puoliautomaattisiin johdotuskoneisiin. Suomessa tällaisia koneita toimittavat pääosin Rittal, Phoenix ja Weidmuller. Tarkastelun jälkeen huomattiin, että näiden toimijoiden tarjonnassa Rittal ja Weidmuller käyttivät käytännössä samoja laitteita, vaikka niiden ulkoasu saattoi poiketa eri yritysten logojen myötä. Esimerkiksi Rittalin RC-puristusautomaatti vastasi täysin Weidmullerin CRIMPFIX R VARIO-laitetta.

Laajemman tarjonnan tutkimuksen yhteydessä havaittiin, että toimittajia oli runsaasti, mutta laitteiden toimintaperiaate oli käytännössä identtinen.



Kuva 9. Valtaosa toimittajista tarjosi samantyyppisiä puristusautomaatteja [10.]

Mainituilla puristusautomaateilla voidaan samanaikaisesti käsitellä viittä eri kokoista holkkia (0,5; 1; 1/5; 2 ja 2,5). Työntekijä voi valita kosketusnäytöltä haluamansa johdinkoon, jota haluaa kuoria tai holkittaa. Laite mahdollistaa holkitsemisen tai pelkästään johdon kuorimisen ilman holkitusta. Näihin laitteisiin on saatavilla sekä sähkövirralla että ilmapaineella toimivia versioita. Kumpikin järjestelmätyyppi voi olla luotettava eri käyttötilanteissa, sillä sähkövirralla toimivat järjestelmät voivat tarjota tarkempaa ohjausta herkemmissä sovelluksissa, kun taas ilmapaineella toimivat ovat tehokkaampia ja kestävämpiä raskaammassa käytössä, erityisesti teollisissa ympäristöissä tai kosteissa olosuhteissa.

MD:n tuotantolinjalle paras vaihtoehto olisi ilmapaineella toimiva versio. Ilmapaineella toimivat ovat luotettavampia, ja jokaiselle MD:n työpisteelle on helposti saatavilla ilmapaineletkuja, mikä helpottaa järjestelmän käyttöä ja ylläpitoa.

Phoenix-puristusautomaatti CF 3000-2,5 poikkeaa näistä kahdesta toimijan laitteista. Phoenix-laitteen koko ja paino oli pienempi, vaikka silläkin pystyi kuorimaan ja holkittamaan 0.25–2.5 mm johtoja. [10.]



Kuva 10. Phonenix CF 3000

Kun opinnäytetyössä tutkittiin ja testattiin Phoenix Contactin puristusautomaattia Vantaan tehtaalla, huomattiin, että se ei sovellu MD-tuotantolinjalle. Tämä johtui siitä, että automaatti ei mahdollista usean holkkikoon käyttöä samanaikaisesti ja lisäksi automaatin terän on vaihdettava joka kerta, kun holkin kokoa vaihdetaan. Tämä toimintaperiaate ei sovi tuotantolinjan tarpeisiin, koska terien ja holkkien vaihtaminen lisäisi työtaakkaa tuotannossa. [10.]

3.5 Pilotointi

Pitkän tutkimuksen jälkeen päätettiin pilotoida Rittalin RC-puristusautomaattia MD:n tuotantolinjalla. Automaattilaitte herätti mielenkiinnon, ja pilotoinnin tavoitteena oli arvioida sen toimivuutta tuotannon tiloissa. Testijakso toteutettiin syksyllä 2023.

Testijakson aikana puoliautomaattista konetta testattiin tuotannon osakokoonpanossa sekä loppukokoonpanossa, jossa johdotusta tehdään eniten. Laitte oli käytössä ABB:llä noin 30 päivää, ja tuona aikana suoritettiin monia erilaisia testejä laitteen toiminnallisuuden arvioimiseksi.

Laitteen saapuessa tuotantoon järjestettiin aloituspalaveri, johon osallistui muun muassa Rittalin asiantuntijoita. He tarjosivat arvokasta neuvontaa ja tukea varmistukseen laitteen sujuvan käyttöönoton, helpottaakseen sen ensimmäistä päivää tuotannossa. [10].

Rittal Puristusautomaatti RC osakokoonpanossa.

Hyvät puolet:

-Työergonomia paranee huomattavasti. (Kädet rasittuu vähemmän)
-Nopeuttaa hieman työn tekoa.

Huonot puolet:

-Rittal holkit ovat aavistuksen paksumpia kuin mitä on tehtaalla normaalisti. Merkintäluokan vaatiessa johdin-merkinnän sukalla, sukka pitää muistaa laittaa johtimeen ennen holkittamista. (Merkintäsukka ei mahdu menemään rittal-holkin ylitse)
-Ei voi käyttää isoille johtimille 4mm ² , 6mm ² ja 16mm ² (Paksut johtimet rasittaa käsiä kaikkein eniten)
-Pelkkä kuorinta toiminto puuttuu pikavalinnoista.

Muita huomioita:

-Yksi asentaja oli huolissaan siitä, että johtimen karvat eivät tule pidemmälle kuin holkki. Riittääkö kiinnitys, riviliittimeen laitettaessa..?
-Koneen käyttö vaatii tarkkaavaisuutta. Koneesta valittava oikea johdinkoko manuaalisesti.

Kuva 11. Asentajien palautteet.

Puoliautomaattisen holkituskoneen pilotointi suunniteltiin siten, että tavoitteena oli merkittävästi vähentää johdotusaikaa ja parantaa ergonomiaa. Lisäksi tehtiin

huolellisia valmisteluja ja suunnitelmia, jotta laite integroituu saumattomasti linjalle ja on käytännöllinen käytössä. [10.]

Asentajille laadittiin valmiiksi kysymyksiä, ja jätettiin tyhjää paperia, johon voitaisiin tarvittaessa lisätä laitteen hyvät ja huonot puolet. Tuotantoon valmistettiin säädettävä pöytä laitteelle, mikä mahdollistaa sen, että laitetta voidaan tarpeen mukaan nostaa ja laskea. Kaapituslinjan kokoonpanossa johdotustyöt tehdään vaihtelevasti kaapin ylä- ja alaosassa.

Top of Form



Kuva 12.Kosketusnäyttö

Laitteen käyttöjärjestelmä oli helppokäyttöinen: kosketusnäytöltä valittiin haluttu johdin- tai holkkikoko, jonka jälkeen laitteen sisään työnnettiin johdin. Laitteen toiminta, jossa se holkitti ja kuori johdinta, tapahtui sekunneissa.

3.6 Manuaali vs. automaatti

Tuotannossa suoritettiin laitteella testejä sekä manuaalisesti että automaattisesti 15 johdinsarjalle. Testiin valittiin kaikkein eniten käytetyt johdinkoot: 1 mm², 1,5 mm² ja 2,5 mm², testaten jokaista kokoa viidellä eri johdinsarjalla.



Kuva 13. Manuaalisen kokeen suorittaminen.

Ennen varsinaisen kokeen suorittamista kuorintapihdeillä tarvittiin alustavia toimenpiteitä. Näihin toimenpiteisiin kuului oikean kuorintapituuden säätäminen asettamalla toimiva rajoitin ja tarvittaessa siirtämällä sitä, erityisesti isojen johtimien (4–6 mm²) kuorimisen yhteydessä.

Testissä havaittiin, että pihtien käyttö rasitti erityisesti käsiä 2,5 mm² johtimien kuorimisessa ja holkituksessa. Lisäksi työhanskoja käytettäessä pienten holkkien asettaminen johtimiin oli haastavaa. Manuaalisten testien yhteydessä huomattiin suuri siivottavan määrä ja kuorien paloja putoili lattialle.



Kuva 14. Tutkimuksen suorittaminen automaattisesti.

Rittalin puoliautomaattilaitteella testattiin myös 15 eri johdinta. Testauksen yhteydessä automaatilla ei ilmennyt minkäänlaisia ongelmia. Työ sujui helposti käsi-
neet kädessä, ja työpiste pysyi siistinä. Tämä vahvistaa laitteen sujuvaa toimintaa ja käyttäjäystävällisyyttä.

Laitteen tuotekuvus.

Rakenne:

- Kosketusnäyttö
- Johtimen poikkipinnan valinta kosketusnäytöllä
- Telineeseen asennettavissa enintään 23 000 johdinpääteholkkia

Tekniset tiedot:

- Puristusalue 0,5–2,5 mm² (AWG 20–14)
- Puristinpituus 8 ja 10 mm
- Sisäänvientipituus 27 mm (1,06 tuumaa)

Mitat:

- Leveys: 335 mm
- Korkeus: 565 mm
- Syvyys: 485 mm

Paineilmaliitäntä:

- 5,5 bar

Perinteiseen manuaalitapaan verrattaessa Rittalin puoliautomaattisessa laitteessa huomattiin välitön ero suorituskyvyssä ja tehokkuudessa. Automaattinen laite tarjosi nopeamman ja vaivattomamman käyttökokemuksen, joka merkittävästi paransi työn suorituskykyä.

3.7 Tuleva malli

Markkinoilla olevia laitteita tarkasteltaessa huomattiin, että ne kaikki toimivat periaatteessa samalla tavalla kuin Rittalin puoliautomaattinen laite. Rittalin puoliautomaattista holkituskonetta kokeiltiin, ja päätettiin, että se on tällä hetkellä paras vaihtoehto johdotusprosessin kehittämiseksi. Puoliautomaattisilla laitteilla on useita etuja tuotantolinjalla, ja tässä joitakin niistä.:

- Tehokkuus: Puoliautomaattiset holkituskoneet voivat suorittaa holkitusprosessin nopeasti ja toistettavasti. Tämä voi lisätä tuottavuutta ja vähentää tuotantoaikaa.
- Tarkkuus: Koneet tarjoavat tarkan ja luotettavan holkituksen, mikä parantaa liitosten laatua ja lujuutta. Tämä on erityisen tärkeää sähköisissä ja mekaanisissa liitoksissa.
- Säännöllisyys: Puoliautomaattiset koneet suorittavat holkituksen samalla tavalla joka kerta, mikä vähentää inhimillisiä virheitä ja varmistaa, että jokainen liitos on konsistentti ja luotettava.
- Fyysisen rasituksen väheneminen: Koneet voivat suorittaa fyysisesti vaativat holkitustehtävät, mikä voi vähentää työntekijöiden kuormitusta ja terveysriskejä.
- Laadunvalvonta: Koneet voivat sisältää laadunvalvontatoimintoja, kuten liitosten testaamisen, mikä auttaa varmistamaan, että jokainen liitos on turvallinen ja toimiva.
- Ajansäästö: Koneet voivat vapauttaa työntekijöitä muille tehtäville, kun holkitusprosessi on automatisoitu. Tämä voi parantaa työnkulkua ja tehokkuutta.

4 Johdotuksen läpimenoajan vähentäminen

4.1 Kaizen-tapahtuma

Projektin alkuvaiheessa järjestettiin Kaizen-tilaisuus, jossa tarkasteltiin puoliau-
tomaattista laitetta taajuusmuuttajalinjalla. Mukana olivat taajuusmuuttajalinjan
laatuinsinööri, työnjohto ja tuotannosuunnittelu. Tilaisuus käynnistyi perintei-
sesti KANO-analyysillä, jossa määriteltiin yhdeksän arvoa, joita prosessi tuottaa
asiakkaalle, erityisesti puoliauomaattisen laitteen arvot loppukokoonpanolle,
osakokoonpanolle ja asiakkaalle.

KANO Model

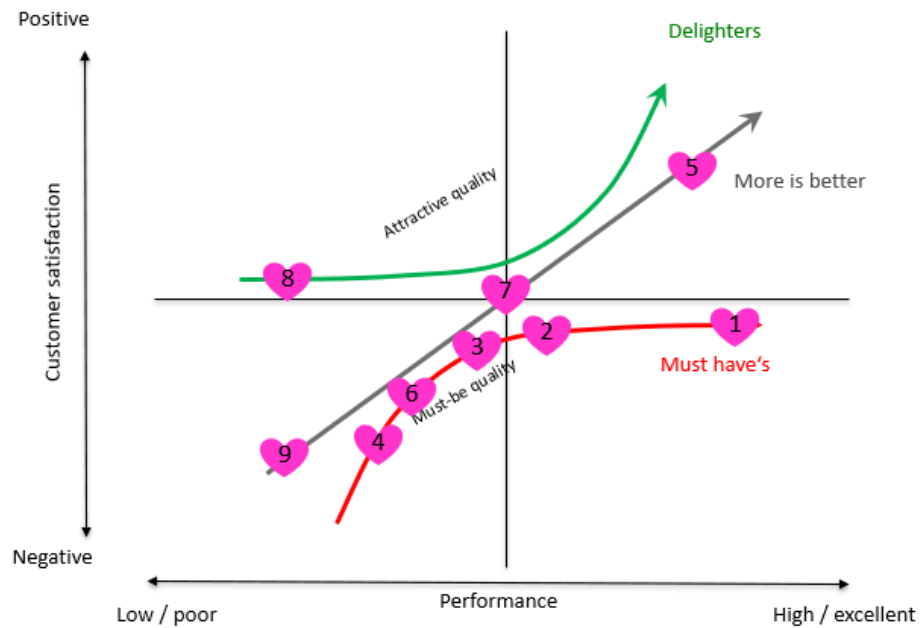
- 1 Holkkien kiinnitys
- 2 Tasalaatuisuus / Asennusprosessin standardointi
- 3 Ergonomia (käsien säästö)
- 4 Asennusaika
- 5 Johdinmerkintöjen selkeys
- 6 Sopivan mittaiset johdot (ei turhaa täyttöö johtokouruille)
- 7 Pehdytyksen helpottaminen
- 8 Omien johtosarjojen tekeminen
- 9 Suunnittelun standardisointi johdotuksen suhteen

Kuva 15. Yhdeksän määritettyä arvoa

Kuvaajan 10 avulla analysoitiin määritetyjä arvoja, mikä mahdollisti prosessin
tuotosten priorisoinnin. Kuvaajasta voidaan päätellä, että holkkien kiinnitys he-
rätti suurinta huomiota, ja laitteen suoritus sen kanssa on avainasemassa. Joh-
dotuksen prosessin toimivuus vaikuttaa erityisesti loppukokoonpanoon. Nykyi-
sellään loppukokoonpanon työntekijät keskittyvät pääasiassa johdotukseen.
ACU- ja MOU-kentät valmistuneissa osakokoonpanoissa eroavat merkittävästi.
Tällä hetkellä loppukokoonpanossa joudutaan joskus muokkaamaan osako-
koonpanossa tehtyä johdotusta. Tulevaisuudessa voisi olla hyvä tarkastella

myös johdotusprosessin yhtenäistämistä. Johdotusprosessin yhtenäisyys on erittäin tärkeää asiakkaille.

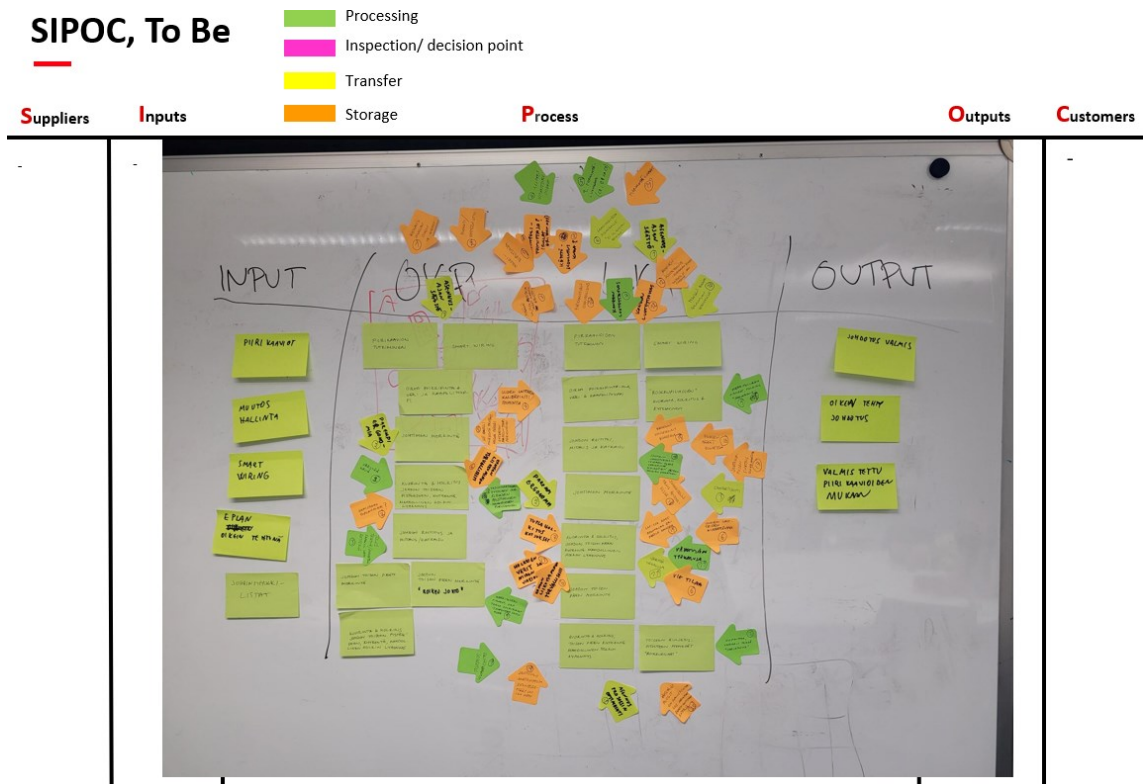
KANO Model



Kuva 16. Analyysissä käytetty akselisto.

Työpajassa laadittiin arvovirtakuvaus SIPOC-kaavion avulla prosessin nykytilasta ja tunnistettiin prosessin kannalta merkittävimmät riskit ja hyödyt. Kaavion täyttö aloitettiin prosessin toimittajien määrittämisellä: Smart wiring, EPlan ja johdinmerkkilista.

EPLAN tarjoaa optimaalisia ratkaisuja moniin eri sovelluksiin ja jos sen avulla saisimme piirrettyä kaikille johtimille oikeat johdinreitit, se ja smart wiring tuottaisivat prosessille tarvittavat dokumentit. Prosessin tuotoksena olisi laite, joka johdettaisiin aina samalla tavalla loppuasiakkaalle asti. Prosessia kuvaava kaavio on avattu nykyisen prosessin kuvauksen yhteydessä.



Kuva 17. SIPOC-kaavio.

SIPOC-kaavion luomisen jälkeen prosessista tunnistettiin kahdeksan prosessin toimivuuteen vaikuttavaa hukkaa ja tutkittiin niiden juurisyitä. Kahdeksan prosessista löydettyä hukkaa on nimetty seuraavasti:

Tunnistettuja ongelmia pohdittiin hukka-analyysin avulla (kuva 8). X-akselilla mitataan hukan toistuvuutta prosessissa (frequency) ja y-akselilla kuinka suuri vaikutus hukalla on asiakkaan kokemuksiin (pain). Matriisista voidaan tulkitä kahdeksi suurimmaksi ongelmaksi, että ei tiedetä, mitä tehdään ja aikaa on yksinkertaisesti liian vähän.

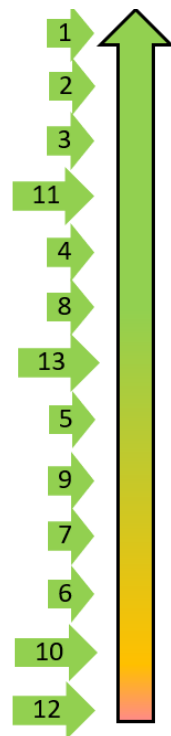
Toimiva prosessi on erityisen merkityksellinen koestamon ja loppuasiakkaan näkökulmasta. Nykyisessä prosessissa suurin haaste toimivuuden kannalta on tupl-paholkkien valmistus, minkä vuoksi loppukokoonpanon on edelleen tehtävä ne perinteisellä tavalla.

Seuraavaksi suoritettiin Kaizenissa hukka-analyysin, joka muodosti perustan toistuvalla hukilla. Analyysin perustana käytettiin Five Whys -menetelmää, joka auttoi tunnistamaan hukkailmiön juurisyyn.

Sen jälkeen käytin hyötysuhdeanalyysin kaaviota. Tulevien kuvien lukeminen: "Effort" (vaiva) on nuolen alaosa ja "Benefit" (hyöty) on nuolen yläosa. nuoli on jaoteltu kolmeen eri luokkaan: "Small", "Medium" ja "High" ja sen tunnistaan väreistä. Tämä antaa käsityksen siitä, mitkä luokat vaativat enemmän vaivaa, mutta voivat tuottaa korkeamman hyödyn, ja päinvastoin.

Hyödyt

- 1 Asennusajan säästö
- 2 Parempi ergonomia ja käsien säästö
- 3 Johdotus vakiojohdotusreitillä
- 4 Johdotusmateriaalin säästö
- 5 Merkintäluokkien määrän pienentyminen
- 6 Asiakkaalle näkyvä laatu
- 7 Koneen luotettavuus
- 8 Henkinen kuormitus vähenee
- 9 LKP työn väheneminen roikkuvuissa piuhoissa
- 10 Pysytään mukana teknologian kehityksessä
- 11 Shovelin johtosarjat
- 12 Työkalujen väheneminen
- 13 Asennusprosessin optimointi



Kuva 18. Hyödyt

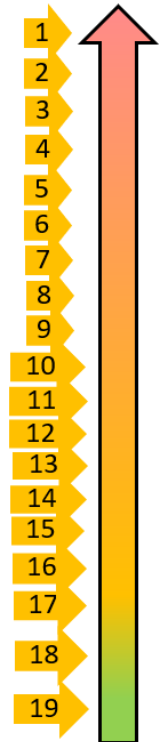
Hyötysuhdeanalyysin kaavion avulla (kuva 7) saadut tulokset korostavat kolmea merkittävää etua hyötysuhdeanalyysissä. Ensinnäkin asennusajan säästö on keskeinen, osoittaen, että käytössä olevat laitteet tarjoavat merkittäviä

aikasäästöjä asennusvaiheessa. Toiseksi parempi ergonomia on toinen merkittävä tulos, mikä viittaa siihen, että laitteet edistävät käyttäjien työskentelymukavuutta ja tehokkuutta. Kolmanneksi johdotuksen vakioreitit ovat osoitus siitä, että laitteet tarjoavat ennustettavamman johdotusympäristön, mikä voi parantaa yleistä suorituskykyä ja vähentää virhemahdollisuuksia.

Nämä havainnot tarjoavat arvokasta tietoa päätöksentekoon ja tukevat valintaa Rittalin puoliautomaattisen laitteen hyväksi. On tärkeää huomata, että näiden kolmen tekijän korostaminen voi tuoda merkittäviä hyötyjä kokonaisvaltaisen tuotantoprosessin parantamiseen.

Riskit

- 1 Kustannus vs. hyöty
- 2 Pilotointi ja käyttöönotto
- 3 UL/CSA auditointi uusiksi
- 4 Uuden laitteen kalibrointi ja toiminta
- 5 HF-kaapelin merkintä ja printtaus
- 6 Koneen liikuttaminen turvallisesti? LKP:ssa 2 konetta/piste
- 7 Tuplaholkkien tekeminen (?)
- 8 Kaapelikelat erilaisia
- 9 Holkkitoimittajat uusiksi (?)
- 10 Piirikaavioiden oikeellisuus
- 11 Merkintäluokat
- 12 Koneen luotettavuus
- 13 Holkkien värit ja niiden vakiointi
- 14 Johtonippujen sotkeentuminen (?)
- 15 Sivuleikkurin korvaaminen isolla koneella
- 16 Piuhojen määrä koneessa?
- 17 Sukitus
- 18 Reititys suunnittelussa
- 19 Plugit on osaluetteloitava



Kuva 19.Riskit

Kuvan perusteella havaittiin kolme merkittävää riskiä, jotka vaativat erityistä huomiota. Ensinnäkin kustannus vs. hyöty -riski korostaa tasapainon haastetta kustannusten ja hyötyjen välillä, mikä voi vaikuttaa päätöksentekoon ja pitkän aikavälin kannattavuuteen. Toiseksi pilotointi ja käyttöönotto -riski osoittaa, että

näiden vaiheiden toteuttamiseen liittyy riskejä, jotka vaativat huolellista suunnittelua ja hallintaa. Kolmanneksi UL/CSA-auditoinnin uusiminen -riski tuo esiin vaatimukset auditoinnin säännöllisestä päivittämisestä, mikä vaatii huolellista noudattamista ja valvontaa.

Nämä riskit korostavat tarvetta huolelliselle suunnittelulle ja strategioille, joiden avulla voidaan hallita riskejä ja varmistaa, että laitteiden käyttöönotto ja ylläpito ovat mahdollisimman sujuvia ja tehokkaita

4.2 Kehitysmahdollisuudet

Projektin aikana on noussut esiin lupaavia mahdollisuuksia siirtymisestä puoli-automattisista ratkaisuista kohti täysin automatisoitua laitetta, ja ABB on ottanut tämän kehityssuunnan vahvasti huomioon. Jatkokehitystoimenpiteenä suositellaan selvitystä, jonka tavoitteena on tuoda tuotantolinjoille kokoautomaattinen laite, joka suorittaa johdotuksen, kaapeleiden kuorinnan ja merkinnän.



Kuva 20. Wire Terminali

Kokoautomaattinen laite tehostaa johdotuksen prosessia merkittävästi alusta loppuun. Käyttämällä kokoautomaattisia laitteita johdot saadaan oikeaan pituuteen, ne merkitään ja tulostetaan Eplanin listauksen mukaisesti, mikä edistää tuotantotehokkuutta.

5 Säästö ja takaisinmaksuaika

Puristusautomaatin investoinnin hyötyjä ja takaisinmaksuaikaa arvioitiin vuosittaisten tuotantomäärien ja läpimenoajan lyhentymisen suhteen. Tarkemmat laskelmat on esitetty liitteessä 1.

6 Yhteenveto

Yhteenvetona puoliautomaattiset holkituskoneet tarjoavat merkittäviä etuja tuotantolinjalle, erityisesti sähköisten ja mekaanisten liitosten osalta, joissa tarvitaan tarkkuutta ja luotettavuutta. Lisäksi tuotannon ergonomia paranee erityisesti tietyissä työpisteissä. Pilotoinnin aikana saatu palaute oli pelkästään positiivista, ja suurin osa työntekijöistä olisi valmis käyttämään konetta. Kuitenkin selvisi, että laite on erityisen hyödyllinen tietyissä vaiheissa laitteen rakentamisessa, erityisesti osakokoonpanossa, varsinkin ACU- ja MOU-levyjen tekemisessä.

Jatkotoimenpiteenä suositellaan yhden Rittalin puoliautomaattisen laitteen hankkimista ja sen kiinnittämistä liikuteltavaan alustaan, koska se helpottaa merkittävästi johdotusta. Laite osoittautui hyödylliseksi myös loppukokoonpanovaiheessa, erityisesti tietyissä työvaiheissa. Tässä tapauksessa laitetta voidaan tilapäisesti lainata osakokoonpanotyöpisteiltä, varsinkin kun laite on varustettu liikuteltavalla pöydällä.

Tämän laitteen käyttöönotto voisi tarjota ratkaisun, joka nostaa tuotantoprosessin suorituskyvyn ja luo mahdollisuuden merkittävään parannukseen tuotannon tehokkuudessa sekä lopputuotteiden laadussa.

Lähteet

- 1 Suomalaiset juuret. 2023. Verkkoaineisto. Strömbergin jalanjäljillä vuodesta 1889 <https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/historia/suomalaiset-juuret> Luettu 27.11.2023.
- 2 Farin, Juho. 2009. Generaattorikäytössä käytettävien taajuusmuuttajien rakenne, mitoitus ja säätö. Verkkoaineisto. VTT. <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/julkaisut/muut/2009/TAMU-loppuraportti.pdf>. Luettu 1.11.2023.
- 3 Taajuusmuuttajat. 2020. Verkkoaineisto. SähköNet. <https://blogit.gradia.fi/sahkonet/sahko-ja-automaatioasennukset/oppimistehtavat/teollisuudensahkoasennukset/moottori-kaytot/taajuusmuuttajat/>. Luettu 1.11.2023.
- 4 ACS880. 2023. Dokumentti. ABB. Luettu 1.11.2023.
- 5 Doanh, Do. 2017. The Five Principles of Lean. Verkkoaineisto. The Lean Way. <https://theleanway.net/The-Five-Principles-of-Lean>. Luettu 10.11.2023.
- 6 Kinney, Hayley. 2018. What's Lean? Verkkoaineisto. <<https://www.codot.gov/business/process-improvement/self-service/books/what-is-lean>>. Luettu 01.11.2023.
- 7 What is lean? 2023. Verkkoaineisto. Planet lean. <https://www.planet-lean.com/what-is-lean>. Luettu 26.10.2023.
- 8 Lean Way. 2017. The 8 wastes of lean. Verkkoaineisto. <https://theleanway.net/The-8-Wastes-of-Lean>. Luettu 26.11.2023
- 9 Kaizen-menetelmä jatkuvaan kehittymiseen. 2019. Verkkoaineisto. Mielenihmeet. <https://mielenihmeet.fi/kaizen-menetelma-jatkuvaan-kehittymiseen/>. Luettu 23.10.2023.
- 10 Puristusautomaatti. 2023. Verkkoaineisto. Inspectioneering. <https://www.rittal.com/fi-fi/products/PGRP18861RAS1/PGRP18864RAS1/PRO88163> Luettu 8.10.2023.

Palaverit

Osallistujat	Aihe	Pvm	Kesto
MD Tuotantopäällikkö, opin- näytetyön ohjaaja.	Aloituspalaveri	17.6.2023	60 min
MD tuotantopäällikkö, työ- paikkaohjaaja	Työn edistyminen ja käytän- nönosuus	Viikottai- nen	20 min
CD laatuinsinööri ja MD laa- tuinsinööri	Prosessin läpikäynti	24.9.2023	30 min
MD tuotantopäällikkö	Uuden prosessin läpikäynti	2.10.2023	20 min
MD tuotantolinjapäällikkö, OKP/runko työnjohtaja, LKP työnjohtaja	Uuden prosessin läpikäynti ja suositukseni	28.11.2020	30 min