



Vaasan yliopisto
UNIVERSITY OF VAASA

Henri Tarkkinen

Lean-perusteinen layoutin ja tuotantovirtojen suunnittelu komponenttivalmistuksessa

Tekniikan ja innovaatiojohtamisen yksikkö
Pro gradu -tutkielma
Industrial Management

Vaasa 2026

VAASAN YLIOPISTO
Tekniikan ja innovaatiojohtamisen yksikkö

Tekijä:	Henri Tarkkinen		
Tutkielman nimi:	Lean-perusteinen layoutin ja tuotantovirtojen suunnittelu komponenttivalmistuksessa		
Tutkinto:	Kauppatieteiden maisteri		
Koulutusohjelma:	Industrial Management		
Työn ohjaaja:	Petri Helo		
Valmistumisvuosi:	2026	Sivumäärä:	89

TIIVISTELMÄ:

Layout-suunnittelu on keskeinen vaihe uudelle tehtaalle siirryttäessä, ja systemaattinen lähestymistapa suunnitteluun tukee yrityksen pitkäaikaisten tavoitteiden saavuttamista. Sen avulla voidaan vaikuttaa siihen, kuinka tuotantotiloja muokkaavat tekijät, kuten erilaiset laitteet, sijoitetaan fyysisesti tehtaalla. Lisäksi suunnittelulla on suuri vaikutus siihen, kuinka ihmiset liikkuvat, sekä kuinka materiaalit ja tuotteet virtaavat tuotantoympäristössä. Tässä tutkimuksessa on suunniteltu Hitachi Energy Oy:n uudelle muuntajatehtaalle komponenttivalmistuksen layout ja tuotannon virtaus. Suunnittelun tukena on hyödynnetty Lean-ajattelun mukaista lähestymistapaa, jossa arvoa tuottavaa työtä pyritään kasvattamaan ja arvoa tuottamatonta työtä pienentämään.

Tutkimuksen teoria koostuu muuntajavalmistuksesta, engineer to order -valmistusmenetelmästä, Lean-ajattelusta, sekä tuotannon virtausta ja layout-suunnittelua koskevasta teoriasta. Tutkimuksen tavoitteeseen eli layout-ratkaisuun on päästy suunnittelutieteellisen tutkimuksen rungon avulla. Tutkimus alkaa nykyisen komponenttivalmistuksen layoutin ja virtauksen ongelmien tunnistamisella. Ongelmat huomioidaan layout-suunnittelun tavoitteiden asettamisvaiheessa ja ongelmiin pyritään vastaamaan suunnitteluvaiheessa. Suunnitteluvaihe on toteutettu SLP-menetelmää, Monte Carlo -simulaatiota ja Lean-ajattelusta tuttua 5S-menetelmää ja JIT-ajattelua hyödyntäen. Vaihtoehtoiset layoutit on puolestaan arvioitu painotettua tekijäarviointia käyttäen.

Tutkimuksen keskeiset havainnot kohdistuvat komponenttivalmistuksen ongelmiin ja layout-suunnittelun tuloksiin. Tutkimus osoittaa, kuinka ETO-tuotannolle tyypilliset ominaisuudet esiintyvät layoutissa ja tuotannon virtauksessa erilaisina haasteina. Erityisesti vaihtelu tuottaa ongelmia tuotannon ennustettavuudessa ja heijastaa ongelmiin erityisesti tuotannon ohjauksessa ja laadunhallinnassa, heikentäen myös prosessin virtaustehokkuutta. Suunnitteluvaihe osoittaa kuinka erilaisten menetelmien yhteensovittaminen tukee tutkimuksen tavoitteeseen pääsemisessä. Erityisesti SLP-menetelmän suunnittelurungon ja 5S-menetelmän yhteiskäyttö osoittaa, kuinka yleistason- ja yksityiskohtainen layout-suunnittelu voidaan toteuttaa saman tutkimuksen alla. Lisäksi tutkimus osoittaa, kuinka painotettua tekijäarviointia voidaan hyödyntää validina arviointimenetelmänä. Sen avulla suunnittelun tavoitteita voidaan arvioida systemaattisesti useiden arviointitekijöiden perusteella, mikä mahdollistaa layout-vaihtoehtojen vertailun ja perustellun päätöksenteon.

AVAINSANAT: Lean, 5S, Layout, SLP, Tuotantovirta

UNIVERSITY OF VAASA
School of Technology and Innovations
Author: Henri Tarkkinen

Title of the thesis: Lean-based layout and production flow planning in component manufacturing

Degree: Master of Science in Economics and Business Administration

Degree Programme: Industrial Management

Supervisor: Petri Helo

Year: 2026

Pages: 89

ABSTRACT:

Layout design is a critical phase when moving to a new factory, and a systematic approach to planning supports the approach towards organization's long-term objectives. With layout design, it is possible to influence on how elements of production, such as equipment, are physically arranged within the factory. It also has a big influence on how employees, materials and products move and flow within the production environment. In this study, a layout and production flow of a new component manufacturing department is designed for Hitachi Energy Oy's new transformer factory. The planning process is supported by a Lean-oriented approach, aiming to increase value-adding activities while reducing non-value adding activities.

The theory of the study consists of transformer manufacturing, engineer to order -production strategy, Lean-thinking, and theories related to production flow and layout design. The research objective, which is a new layout solution, is achieved using a design science approach. The study begins by identifying problems in the current component manufacturing layout and production flow. These problems are taken into account during the goal-setting phase of the layout design and addressed during the design phase. The design phase is carried out using the SLP method, Monte Carlo simulation, JIT approach, and the 5S method. The layout alternatives are evaluated using weighted factor analysis.

The key findings of the study focus on the challenges in component manufacturing and the outcomes of the layout design. The results show how characteristics typical to ETO production appear as challenges in both layout and production flow. Especially, variability causes issues in production predictability and is reflected to challenges in production control and quality management, while also reducing process flow efficiency. The design phase highlights how integrating different methods supports achieving the objectives of the study. Especially, the combined use of the SLP framework and the 5S method demonstrates how both block- and detailed layout design can be conducted within the same study. Also, the study shows how weighted factor analysis can be used as a valid evaluation method. It enables systematic assessment of design objectives based on multiple criteria, allowing the comparison of layout alternatives and supporting justifiable decision-making.

KEYWORDS: Lean, 5S, Layout, SLP, Production flow

Sisällys

1	Johdanto	8
1.1	Tutkimuksen tausta	8
1.2	Tutkimuksen tavoitteet ja tutkimuskysymykset	9
1.3	Tutkimuksen rakenne ja raja	10
2	Kirjallisuuskatsaus	11
2.1	Muuntajavalmistus	11
2.1.1	Muuntajatuoteperheet	12
2.1.2	Valmistusprosessi	13
2.1.3	Komponenttivalmistus	14
2.2	Engineer-to-order (ETO)	16
2.3	Lean-ajattelu	19
2.3.1	Hukan eri muodot	20
2.3.2	5S-menetelmä	22
2.3.3	Imuohjaus	23
2.4	Tuotannon virtaus	25
2.4.1	Virtaustehokkuus	25
2.4.2	Littlen laki	27
2.4.3	Pullonkaulat	27
2.4.4	Vaihtelu	29
2.4.5	Puskurit	30
2.5	Layout-suunnittelu	31
2.5.1	Layout-tyypit	32
2.5.2	Suunnitteluprosessi	34
2.5.3	Arviointi	37
2.6	Yhteenveto kirjallisuuskatsauksesta	38
3	Metodologia	40
3.1	Tutkimusstrategia	40
3.2	Tutkimusfilosofia ja teorian muodostus	42
3.3	Menetelmävalinnat	43

3.4	Aineistonkeruu ja -analysointi	44
3.5	Tutkimuksen eettisyys ja luottamuksellisuus	49
4	Tulokset	50
4.1	Nykytilan ongelmien tunnistaminen	50
4.1.1	Nykytilan tuotantoprosessi	50
4.1.2	Käämivalmistuksen ongelmat	51
4.1.3	Sydänvalmistuksen ongelmat	54
4.1.4	Nykytilan yhteenveto	55
4.2	Tavoitteiden asettaminen	56
4.3	Layout-suunnittelu	57
4.3.1	Lähtötiedot ja toiminnot	57
4.3.2	Toimintojen väliset suhteet	61
4.3.3	Tuotannon tilatarpeet	63
4.3.4	Yksityiskohtainen 5S-suunnittelu	68
4.4	Layout-vaihtoehtojen arviointi	70
4.4.1	Yhteistä vaihtoehtoillem	70
4.4.2	Vaihtoehdot	74
4.4.3	Arviointi	78
5	Johtopäätökset	81
5.1	Tutkimuksen yhteenveto	81
5.2	Tutkimuskysymysten tarkastelu	82
5.3	Tutkimuksen kontribuutio	83
5.4	Jatkotutkimuskohteet	84
	Lähteet	86

Kuvat

Kuva 1. WindSTAR-muuntaja.	13
Kuva 2. Ruuvikäämi.	15
Kuva 3. Muuntajan sydän ilman yläiestä.	16
Kuva 4. Valmistusmenetelmien kohdennuspisteet.	17
Kuva 5. Kysynnän vaihtelu ja monimutkaisuus eri valmistusmenetelmillä.	18
Kuva 6. Imuohjattu tuotanto.	24
Kuva 7. Virtaus- ja resurssitehokkuuden ero.	26
Kuva 8. Esimerkki rumpu-puskuri-köysi -menetelmästä.	29
Kuva 9. Layout-tyypit vaihtelun ja volyymin mukaan.	33
Kuva 10. SLP-menetelmän vaiheet.	35
Kuva 11. Tutkimussipuli.	40
Kuva 12. Layout-suunnittelun rajausta Vikbyn tehtaalla.	58
Kuva 13. Käämivalmistuksen lähtötilanne Vikbyn tehtaalla.	60
Kuva 14. Sydänvalmistuksen lähtötilanne Vikbyn tehtaalla.	60
Kuva 15. Materiaalin vastaanottoalueen koko vuosina 2027 ja 2030.	64
Kuva 16. Esimerkki simuloidusta puskurikuormituksesta ja kapasiteetin ylityksestä.	66
Kuva 17. Kalustusalueen yksityiskohtainen layout.	69
Kuva 18. Neljän pystykoneen layout.	70
Kuva 19. Sydänvalmistuksen layout-ratkaisu.	71
Kuva 20. Korkeavaraston layout-ratkaisu.	72
Kuva 21. Sydänvalmistuksen virtaus osastolla ja korkeavarastossa.	73
Kuva 22. Käämivalmistuksen materiaali- ja foliokäämivirtaus.	74
Kuva 23. Layout-vaihtoehto A.	75
Kuva 24. Käämivirtaus layout-vaihtoehdossa A.	76
Kuva 25. Layout-vaihtoehto B.	76
Kuva 26. Käämivirtaus layout-vaihtoehdossa B.	77
Kuva 27. Käämivirran keskimääräinen päivittäinen siirtomatka vuonna 2030.	78
Kuva 28. Käämipuskureiden kapasiteettijakauma.	79

Kuviot

Kuvio 1. SLP-menetelmän suunnitteluprosessi.	36
Kuvio 2. Tutkimusstrategia.	41
Kuvio 3. Komponenttivalmistuksen prosessikaavio nykytilassa.	51
Kuvio 4. Komponenttivalmistuksen prosessikaavio Vikbyn tehtaalla.	59
Kuvio 5. Toimintojen välinen suhdekaavio.	62

Taulukot

Taulukko 1. Käämivalmistuksen sisäisten puskurien hajonta.	52
Taulukko 2. Komponenttien kysyntäennuste 2027-2030.	58
Taulukko 3. Käämivalmistuksen from-to-tilauskoko vuodelle 2030 volyymillä.	61
Taulukko 4. Sydänvalmistuksen from-to-tilauskoko vuodelle 2030 volyymillä.	62
Taulukko 5. Esimerkki käämipuskurialueen simuloituista skenaarioista.	65
Taulukko 6. Esimerkki kalustusalueen 5S-aineistonkeruun tuloksista.	68
Taulukko 7. Layout-vaihtoehtojen arviointitulokset.	80

Lyhenteet

ATO	Tilauksesta kokoonpanoon (Assemble to order)
DSR	Suunnittelutieteellinen tutkimus (Design Science Research)
ETO	Tilauksesta suunnitteluun (Engineer to order)
JIT	Just-in-Time
MTO	Tilauksesta valmistukseen (Make to order)
MTS	Varasto-ohjautuva tuotanto (Make to stock)
SLP	Systemaattinen layout-suunnittelu (Systematic Layout Planning)
TPS	Toyota Production System
WFA	Painotettu tekijäarviointi (Weighted Factor Analysis)

1 Johdanto

Tämä tutkimus on toteutettu toimeksiantona Hitachi Energy Oy:lle, joka toimii Suomessa muuntajien ja reaktoreiden, sekä erilaisten sähköverkkojärjestelmien- ja ratkaisujen valmistajana, kehittäjänä ja kunnossapitäjänä. Vaasan muuntajatehtaalla toiminta näkyy erilaisten erikoismuuntajien valmistuksena ja kehittämisenä. Yhtiön kehittämät ratkaisut näkyvät arjessa muun muassa tuuli-, vesi- ja aurinkovoiman saatavuudessa tai liikenne- ja sairaalapalveluiden mahdollistajana (Hitachi Energy Oy, 2025, n.d.).

1.1 Tutkimuksen tausta

Hitachi Energy Oy rakentaa uuden tuotanto- ja teknologiakeskuksen Vikbyn teollisuusalueelle Mustasaareen. Investointi on noin 180 miljoonaa dollaria, kooltaan 40 000 neliömetriä, ja sen on suunniteltu työllistävän noin 600 henkilöä. Investoinnin uskotaan olevan valmis arvioltaan vuonna 2027 (Hitachi Energy Oy, 2025, n.d.). Tähän keskukseen rakennetaan uusi muuntajatehdas, joka kaksinkertaistaa tuotanto- ja testauskapasiteetin Suomessa. Uusi muuntajatehdas mahdollistaa tuotevalikoiman merkittävän laajentamisen nykyisestä ja tarjoaa Hitachi Energy Oy:lle mahdollisuuden suurempien muuntajien tuotantoon (Hitachi Energy Oy, 2025, n.d.).

Yksi muuntajatehtaan keskeisistä elementeistä on uusi komponenttivalmistusosasto, jonka tehtävänä on tukea muuntajatuotantoa valmistamalla muuntajan keskeiset komponentit, käämit ja sydämet. Uuden tehtaan asennusvaihe ja tuotannon käynnistäminen edellyttävät, että osaston layout sekä materiaali- ja tuotevirrat on suunniteltu vastaamaan tuotannon vaatimuksia sekä mahdollistamaan tehokas ja sujuva tuotanto.

Layoutin huolellinen suunnittelu jo ennen tuotannon käynnistämistä on tärkeää, sillä myöhemmät muutokset ovat usein kalliita ja vaikeasti toteutettavia (Muther & Hales, 2015, s. 15). Tämän vuoksi onkin tärkeää, ettei suunnittelua toteutettaisi muiden

tehtävien ohessa, vaan sille varattaisiin riittävästi aikaa ja resursseja. On myös tärkeää, että suunnitteluprosessi on selkeästi johdettu, jotta layoutin suunnittelu etenisi systemaattisesti, ja että kaikki suunnitteluun vaikuttavat tekijät tulisivat huomioitua. Tämän tutkimuksen tarkoituksena on suunnitella layout ja tuotantovirrat uudelle komponenttivalmistusosastolle, jotta uusi layout voitaisiin implementoida osaksi uutta muuntajatehdasta.

1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja tutkimuskysymykset

Tutkimuksen keskeisenä tavoitteena on löytää parhaiten tuotannon vaatimuksia ja edellytyksiä tukeva layout-vaihtoehto uuden tehtaan komponenttivalmistusosastolle. Tavoitteeseen päästään analysoimalla ja tunnistamalla nykyisen komponenttivalmistusosaston layout- ja virtausongelmat, joiden avulla tunnistetaan keskeisimmät suunnittelua ohjaavat tekijät. Ongelmien tunnistamisen avulla ja toimeksiantajan vaatimusten pohjalta muodostetaan tavoitteet uuden layoutin suunnittelulle. Tämän jälkeen vaihtoehtoiset layout-ratkaisut muodostetaan systemaattisia suunnittelutyökaluja ja AutoCAD-ohjelmistoa hyödyntäen. Lopuksi layout-vaihtoehdot arvioidaan yhdessä toimeksiantajan kanssa painotettua tekijäarviointia käyttäen. Tutkimukselle asetetut tutkimuskysymykset ovat:

- Kuinka Lean-periaatteita voidaan soveltaa uuden komponenttivalmistusosaston layoutin ja tuotantovirran suunnittelussa?
- Mitkä keskeiset tekijät ohjaavat layoutin ja tuotantovirran suunnittelua komponenttivalmistuksessa?

1.3 Tutkimuksen rakenne ja rajaus

Tutkimus koostuu viidestä pääluvusta. Ensimmäinen pääluku toimii tutkimuksen johdantona. Johdannon jälkeen siirrytään kirjallisuuskatsaukseen, jonka tarkoituksena on esitellä, mitä teoriaa tutkimusaiheesta on aiemmin esitetty. Kolmannessa pääluvussa käsitellään tutkimuksen metodologia. Neljännessä pääluvussa käydään läpi tutkimuksen tulokset, josta löytyy suunnitteluvaiheiden keskeisimmät tulokset ja lopullinen layout-ratkaisu. Viidennennessä eli tutkimuksen viimeisessä pääluvussa käydään läpi tutkimuksen johtopäätökset.

Tutkimus on rajattu siten, että se keskittyy ainoastaan komponenttivalmistusosaston layoutin ja tuotantovirran suunnitteluun, eikä se keskity tehtaan muiden osastojen suunnitteluun. Tutkimuksessa otetaan myös huomioon tehtaan yhteinen korkeavarastoalue, koska osa komponenttivalmistuksen materiaaleista, tuotteista, tai tuotannossa käytettävistä apuvälineistä voidaan suunnitella sinne sijoitettavaksi. Myös osa tuotannon materiaaleista ja tuotteista joudutaan kuljettamaan korkeavaraston läpi. Lisäksi tutkimuksessa analysoidut nykytilan ongelmat rajataan tutkimuksessa niihin osa-alueisiin, joihin layoutin ja tuotantovirran suunnittelun avulla voidaan vaikuttaa. Näin tutkimus pysyy rajattuna ja tutkimuksessa voidaan keskittyä keskeisiin layout-suunnittelua ja virtausta koskeviin tekijöihin.

2 Kirjallisuuskatsaus

Kirjallisuuskatsauksen tarkoituksena on esittää tutkimuksessa hyödynnetyt keskeiset teorian. Teorian on tarkoitus tukea tutkimuksen ymmärtämisessä ja antaa kokonaiskuva niistä teorioista, joita tutkimusongelman ratkaisemisessa hyödynnetään. Teorian muodostamisessa on hyödynnetty erilaisia artikkeleita sekä oppikirjoja, ja se on jaettu viiteen alalukuun.

Kirjallisuuskatsauksen kaksi ensimmäistä alalukua esittävät teoriaa muuntajavalmistuksesta ja engineer-to-order (ETO) -tuotannosta, jotka muodostavat tutkimuksen kontekstin ja toimintaympäristön. Kolmannessa alaluvussa tutkitaan Lean-ajattelua ja siihen sisältyviä työkaluja. Tämän osa-alueen on tarkoitus antaa käsitys siitä mitä tutkimuksessa sovellettu Lean-ajattelu on, mistä se on saanut alkunsa, ja millä työkaluilla ajattelua voidaan soveltaa käytännössä. Neljäs alaluku käsittelee tuotannon virtausta koskevia teorioita. Sen tarkoitus on antaa kuvaus siitä mitä tuotannon virtaus on ja mitä siitä on tutkittu. Tuotannon virtauksen osa-alueessa halutaan tuoda esille myös teoriaa ETO-tuotannolle tyypillisestä vaihtelusta. Viimeinen osa-alue puolestaan käsittelee layout-suunnittelulle keskeisimmät teorian. Se antaa ymmärryksen siitä mitä nykyisistä layout-tyypeistä on tutkittu, miten määritellään hyvä layout, sekä miten onnistunut layout-suunnitteluprosessi toteutetaan ja arvioidaan.

2.1 Muuntajavalmistus

Muuntaja on yli 100 vuotta vanha keksintö ja Vaasassa muuntajien valmistusta on harjoitettu jo vuodesta 1914 lähtien (ABB, 2007, s. 4). Muuntajat ovat keskeisessä asemassa yhteiskunnassa, sillä voimalaitokset voivat sijaita jopa tuhansien kilometrien päässä kuluttajasta, jolloin tuotanto ja kulutuspaikan välille tarvitaan laaja siirtoverkko. Ilman muuntajia tehohäviöt ja johtimien kustannukset kasvaisivat kohtuuttoman suuriksi. Muuntajan keskeinen tehtävä on muuttaa sähköteho yhdeltä jännitetasolta toiselle siten, että siirtyvän tehon määrä pysyy lähes muuttumattomana (Dasgupta, 2009, s. 4-5).

2.1.1 Muuntajatuoteperheet

Hitachi Energy Oy:n (2026, s. 10) mukaan muuntajien käyttökohteet ovat laajoja. Niitä käytetään muun muassa eri teollisuudenaloilla, rakennuksissa, lentokentillä, liikenteessä ja niitä voidaan tarpeen mukaan sijoittaa myös valtamerien pohjiin. Suomessa valmistettavat tuoteperheet voidaan Hitachi Energy Oy:n (2026, s. 18) mukaan jakaa seuraavasti:

- Mainstream-muuntajat
- Reaktorit
- Offshore- ja merenalaiset muuntajat
- Furnace
- WindSTAR-muuntajat
- Tasasuuntamuuntajat
- MV VSD
- Rail-muuntajat
- Muut erikoismuuntajat.

Esimerkiksi rakenteensa ja käyttöominaisuuksiensa puolesta WindSTAR-muuntajat ovat yleisiä ratkaisuja tuulivoimasovelluksiin. Ne ovat kompakteja ja energiatehokkaita, jotka soveltuvat erityisesti ympäristöön, jossa turbiinien koot kasvavat. WindSTAR-muuntajat ovat myös suunniteltu kestäämään haastavampia meriolosuhteita, jolloin niiden rakenteessa korostuu kestävyys (Hitachi Energy Oy, 2025, n.d.).



Kuva 1. WindSTAR-muuntaja (Hitachi Energy Oy, 2025, n.d.).

2.1.2 Valmistusprosessi

Muuntajien valmistusprosessi on yksinkertaistettu tuotannosta löytyvästä tarkastuskortista. Tarkastuskortin (n.d., s. 1) mukaan muuntajien valmistusprosessi on seuraava:

1. Käämintä, sydämen valmistus ja kannen kalustus
2. Kokoonpano
3. Puolivalmismittaukset
4. Uuni ja säiliöinti
5. Loppukalustus
6. Koestus
7. Lähetys.

Käämintä, sydämen valmistus ja kannen valmistus kuuluvat samaan alkuvaiheeseen, koska ne kaikki palvelevat kokoonpanoa. Joissakin erityistapauksissa muuntajan käämit ja sydämet voidaan myös ostaa ulkoiselta toimittajalta. Lisäksi puolivalmismittaukset voidaan suorittaa sekä kokoonpano että uuni ja säiliöintivaiheessa (Tarkastuskortti, n.d., s. 1).

2.1.3 Komponenttivalmistus

Muuntajan keskeisimpiä komponentteja ovat käämit ja sydän. Käämit jaetaan suur- ja pienjännitekäämeiksi ja ne rakennetaan yleensä sylinterimäisen rungon päälle. Suurjännitekäämeissä materiaaleina käytetään usein pyöreää eristettyä johdinta, kun taas pienjännitekäämeissä suorakaiteen muotoista johdinliuskaa. Suurjännitekäämit valmistetaan useista kerroksista, joissa alku- ja loppupäät tuodaan yleensä ulos käämin eri puolilta, kun taas pienjännitekäämeissä alku- ja loppupäät tuodaan useimmiten ulos samalta puolelta. Pienjännitekäämeille on myös tyypillistä, että ne valmistetaan usein käyttäen hitaampaa käämikonetta. Tämä johtuu siitä, että johtimet ovat paksumpia ja käämin rakenne erilainen kuin suurjännitekäämeissä (Dasgupta, 2009, s. 147-148).

ABB:n (2007, s. 18) mukaan käämejä on erilaisia johtuen muuntajan käyttötarkoituksesta ja käämin ominaisuuksista. Yleisimpiä käämejä ovat kuitenkin:

- Nauhakäämit
- Kerroskäämit
- Ruuvi- ja lieriökäämit
- Laippakäämit.

Nauhakäämit muodostuvat useista päällekkäisistä folionauhasta käämityistä kerroksista, joissa eristys tehdään kerrosten väliin eikä johtimiin. Tämän vuoksi nauhakäämeistä käytetään usein myös nimitystä foliokäämi. Kerroskäämejä puolestaan käytetään usein pienempien muuntajien jännitekäämeissä, ja ne valmistetaan useista edestakaisin käämityistä johdinkerroksista, joiden välissä on erillinen kerroseristys. Ruuvi- ja lieriökäämit muistuttavat usein toisiaan, mutta ruuvikäämit ovat rakenteeltaan risteileviä ja kerrosten välissä käytetään väliskeiteitä, kun taas lieriökäämi on rakenteeltaan yksinkertaisempi. Laippakäämit puolestaan koostuvat väliskeillä erotelluista laipoista. Avoimen rakenteensa puolesta öljy pääsee kulkemaan laippakäämin läpi tehokkaasti

parantaen jäähdytystä (ABB, 2007, s. 18-20). Kuvassa kaksi käämin havainnollistamiseksi on esitetty valmiiksi käämitty ruuvikäämi, joka on nostettu käämikoneelta käämilavalle.

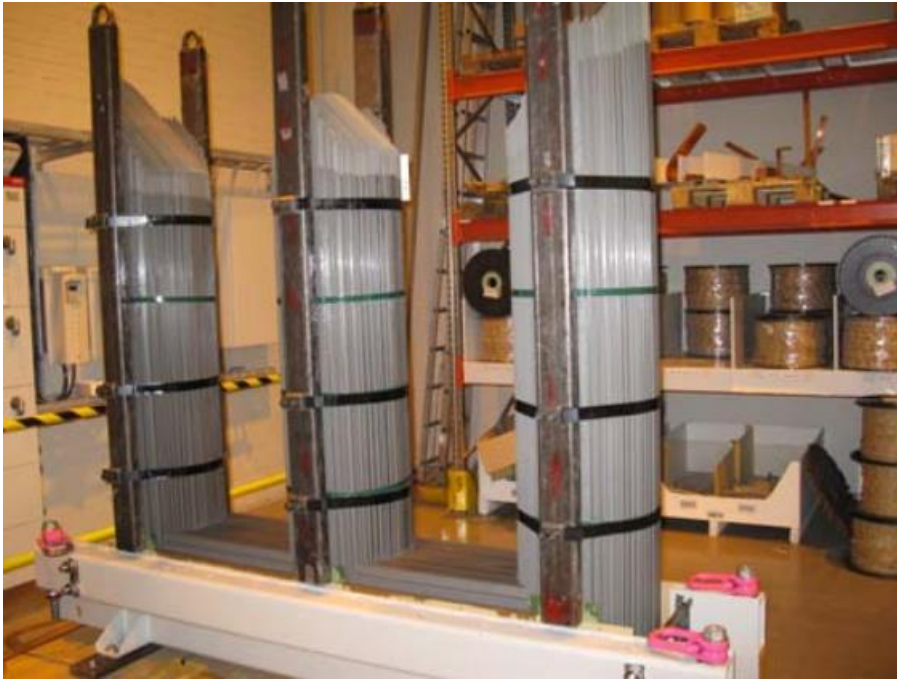


Kuva 2. Ruuvikäämi (ABB, 2007, s. 20).

Muuntajien sydämet puolestaan valmistetaan kidesuunnatusta muuntajalevystä, jonka tehtävä on ohjata magneettivuo kulkemaan käämien kautta (ABB, 2007, s. 14). Dasguptan (2009, s. 148) mukaan sydän koostuu keskipylväistä, sivupylväistä sekä ylä- ja alaikeistä. ABB:n opintomonisteessa (2007, s. 14) korostetaan, että sydämen koko ja pylväiden määrät voivat vaihdella, ja ne riippuvat usein muuntajan rakenteesta ja tehosta.

Sydämen valmistuksessa sydänlevy katkaistaan halutun pituisiksi rainoiksi. Rainat puolestaan leikataan halutun mittaisiksi levyiksi. Levyt ladotaan automaattisesti siten, että alaies ja pylväät ladotaan omalle alustellaan ja yläies ladotaan erikseen omalleen.

Yleisimmissä tapauksissa yläies ladotaan muuhun sydämeen kiinni vasta kokoonpanovaiheessa. Ladonnan jälkeen sydämen lujuutta parannetaan lakkaamalla tai liimaamalla sydämen pylväät (ABB, 2007, s. 14-16). Kuvassa kolme sydämen havainnollistamiseksi on esitetty kääntölaitteella käännetty muuntajan sydän ilman yläiestä. Kuvan sydämessä on myös kiinnitettynä sydämen kuljetuspalkit.



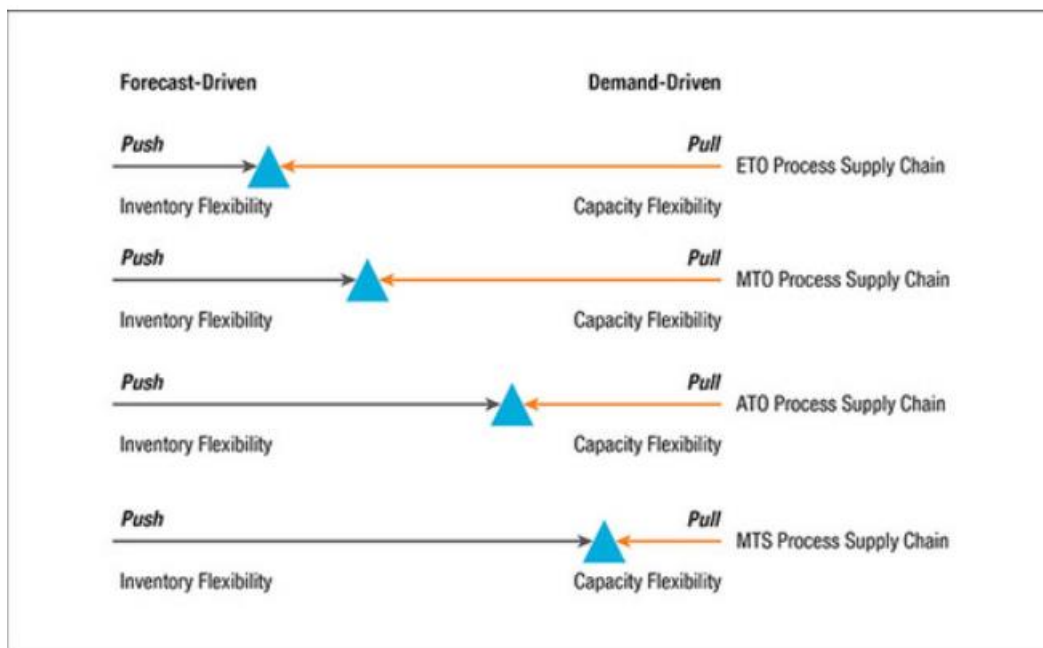
Kuva 3. Muuntajan sydän ilman yläiestä (ABB, 2007, s. 16).

2.2 Engineer-to-order (ETO)

Logistiikan maailman (2025, n.d.) mukaan engineer-to-orderilla (ETO) viitataan suomen kielellä tilauksesta suunnitteluun. Se on yksi neljästä valmistusmenetelmästä, jossa tuotteen valmistus toteutetaan täysin asiakaskohtaisesti alusta loppuun, joka mahdollistaa tuotteen korkean räätälöinnin. Se eroaa muista valmistusmenetelmistä siten, että niissä tuotanto on joko varasto-ohjautuvaa (MTS), tilauksesta kokoonpanoon (ATO) tai tilauksesta valmistukseen (MTO). ETO-tuotannolle on siis tyypillistä, että tuotannon toiminnot, kuten tuotteen suunnittelu, materiaalien tilaaminen ja tuotannon

käynnistyminen alkavat vasta asiakastilauksen vastaanottamisesta (Venkataraman, 2018, s. 349).

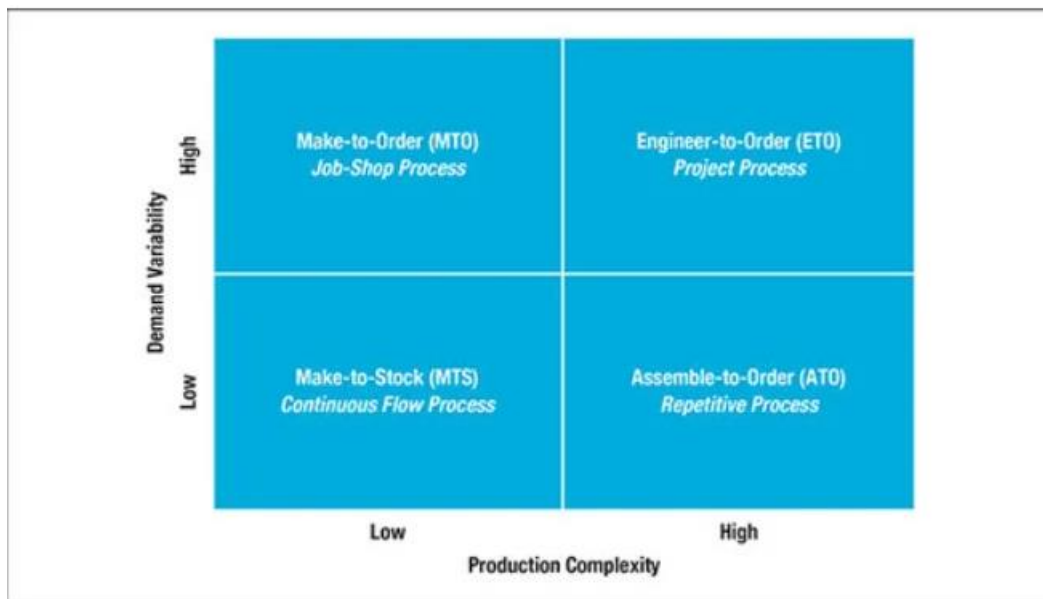
Neumann ja muut (2024, s. 2891) listaavat ETO-tuotannolle tunnusomaisia piirteitä. Heidän mukaansa tuotteet ovat vahvasti asiakaskohtaisia ja korkeasti räätälöityjä, jonka myötä valmistus toteutetaan usein pieninä erinä tai yksittäiskappaleina asiakkaan tilauksen perusteella. Tämän vuoksi työvaiheet ja tuoterakenteet ovat usein pitkiä, ja monimutkaisia. Asiakkaiden vaatimuksien vuoksi ETO-tuotannolle on usein myös tyypillistä, että projektin aikataulut muuttuvat projektin aikana. Lisäksi tuotteiden fyysiset ominaisuudet vaikuttavat merkittävästi tuotannon suunnitteluun, koska erilaisuudet vaikuttavat suoraan sekä resurssien käyttöön että tuotannon tilavaatimuksiin.



Kuva 4. Valmistusmenetelmien kohdennuspisteet (Venkataraman, 2018, s. 351).

Kuvassa neljä Venkataraman (2018, s. 351) vertaa ETO-tuotannon arvoketjua muihin valmistusmenetelmiin. Hän havainnollistaa eroja tilauksen kohdennuspisteiden avulla, josta käytetään englannin kielellä nimitystä decoupling point. Kuvassa tilauksen kohdennuspiste on esitetty sinisenä kolmiona. Chieran ja muiden (2021, s. 2) mukaan

tilauksen kohdennuspiste tarkoittaa arvoketjun kohtaa, jossa asiakkaan tilaus käynnistää tuotetta valmistavan yrityksen toiminnan. Kohdennuspistettä edeltävät vaiheet perustuvat ennusteisiin ja on työntöohjautuvaa, kun taas kohdennuspisteen jälkeinen toiminta on asiakaslähtöistä ja imuohjautuvaa. Venkataramanin (2018, s. 351) mukaan tilauksen kohdennuspiste määrittää myös valmistusmenetelmän joustavuuden varastoinnin ja kapasiteetin näkökulmasta. ETO:ssa varastoinnin joustavuus on tyypillisesti matalaa ja kapasiteetin joustavuus korkea.



Kuva 5. Kysynnän vaihtelu ja monimutkaisuus eri valmistusmenetelmillä (Venkataraman, 2018, s. 349).

Kuvassa viisi Venkataraman (2018, s. 349) vertailee valmistusmenetelmiä myös kysynnän vaihtelun sekä tuotannon monimutkaisuuden perusteella. Kysynnän vaihtelulla hän viittaa siihen, että valmistettavia tuotteita esiintyy usein monissa eri variaatioissa ja ovat alttiita muutoksille, kun taas tuotannon monimutkaisuudella hän viittaa tuotteiden prosessointiaikoihin sekä työn vaativuuksiin. Kuvan viisi mukaan ETO-tuotanto on altis sekä korkealle kysynnän vaihtelulle että korkealle tuotannon monimutkaisuudelle.

2.3 Lean-ajattelu

Lean-ajattelun taustalla on pyrkimys tehostaa tuotantoa vähentämällä kaikkea toimintaa, joka ei lisää arvoa asiakkaalle. Ajatus hukan poistamisesta nousi keskeiseksi erityisesti Toyota Production Systemissä (TPS), jossa Lean kehitettiin alun perin tuotannon sujuvoittamiseksi. Jo Henry Ford hyödynsi vastaavanlaisia periaatteita sata vuotta sitten Ford Motor Companyssa. Hänen mukaansa tuotantoprosessin lyhentäminen on ratkaisevaa kustannustehokkuudelle (Pazek, 2021, s. 3).

Sekä TPS että Lean rakentuvat kahteen keskeiseen periaatteeseen, joita ovat hukan vähentäminen sekä ihmisten kunnioittaminen. Molempia ajattelumalleja ohjaavat kolme tukipilaria: Just-in-Time (JIT), jatkuva parantaminen ja Jidoka (Pazek, 2021, s. 3). Vaikka Lean-ajattelun juuret ulottuvat pitkälle Henry Fordin ja TPS:n aikaan, ja Leanista käytetään nykyään uudempiä termejä, kuvaavat ne kaikki samaa perusideaa: resurssien tehokasta käyttöä, arvon korostamista ja hukan poistamista (Pedro García Márquez, 2020, s. 39-40).

Useat nykypäivän yritykset pyrkivät Leanin käyttöönottoon tehostaakseen toimintaansa ja tukeakseen yrityksensä pitkän aikavälin kasvua. Lean-muutos on merkittävä vaihe yritykselle, jonka onnistuminen edellyttää oikeiden menetelmien valintaa ja systemaattista lähestymistapaa. Tämän edellytyksenä on, että yritysten on ymmärrettävä arvon määrittämisen perusta. Asiakkaat eivät ole kiinnostuneita maksamaan tuotteesta tai palvelusta, jotka sisältävät arvoa tuottamattomia toimintoja (Pedro García Márquez, 2020, s. 40).

Arvoa voidaan tarkastella kolmesta eri näkökulmasta: asiakkaalle arvoa tuottavista toiminnoista, välttämättömistä mutta arvoa lisäämättömistä vaiheista sekä täysin turhista ja poistettavista toiminnoista (Pedro García Márquez, 2020, s. 40). Tätä jaottelua täydentää Radnorin ja muiden (2012, s. 365) esittämä Lean-ajattelun kolmen toisiinsa liittyvän käsitteen kokonaisuus: muda (arvoa tuottamattomat toiminnot), mura (epätasaisuus ja vaihtelu) ja muri (ylikuormitus). He korostavat, että näiden kolmen

näkökulman yhteisvaikutuksena Lean voidaan nähdä johtamiskäytäntönä, jossa pyritään jatkuvasti parantamaan prosesseja lisäämällä arvoa ja vähentämällä näitä haittatekijöitä.

2.3.1 Hukan eri muodot

Lean-ajattelun mukainen hukan tunnistaminen edellyttää tarkempaa ymmärrystä siitä millaisissa muodoissa arvoa tuottamattomat toiminnot ilmenevät tuotantoprosessissa. Hukaksi määritellään mikä tahansa vaihe tai toiminta, joka ei paranna tuotetta asiakkaan näkökulmasta ja josta asiakas ei ole valmis maksamaan. Tyypillisessä Lean-ajattelussa hukan eri muodot jaetaan seitsemään eri muotoon. Myöhemmin 90-luvulla näiden seitsemän muodon rinnalle lisättiin kahdeksas muoto (Pazek, 2021, s. 31).

Ensimmäinen hukan muoto on ylituotanto, ja sillä tarkoitetaan tilannetta, jossa valmistetaan enemmän kuin kysyntä edellyttää, aiheuttaen ylimääräisiä varastointikustannuksia ja pääoman sitomista. Ylituotantoa syntyy tyypillisesti työntöohjatuista tuotannosta, jossa tuotteita valmistetaan varmuuden vuoksi etukäteen. Ylituotantoa voidaan vähentää hyödyntämällä taktiaikaa, lyhentämällä erilaisia odotusaikoja sekä pienentämällä keskeneräisen tuotannon määrää muun muassa Kanban-ohjauksen avulla (Pazek, 2021, s. 32).

Toinen hukan muoto on odottaminen, ja sillä tarkoitetaan tuotantoprosessin viiveitä ja ylimääräistä aikaa, joiden aikana itse tuotteeseen ei synny arvoa. Kun koneita seisotetaan tai työntekijät ja materiaalit joutuvat odottamaan prosessia, syntyy odotusta. Tyypillisiä odotuksen muotoja ovat esimerkiksi tilanteet, joissa koneet seisovat epätasapainon ja vaihtelun vuoksi, tai operaattori ei saa materiaalia tai tuotetta ajoissa käsittelyynsä (Pazek, 2021, s. 32).

Kolmas hukan muoto on kuljetus, jossa laitteet, työntekijät tai materiaalit siirtyvät enemmän kuin on tarpeen tai ilman todellista lisäarvoa (Schwartz ja muut, 2025, n.d.).

Liiallinen resurssien kuljettaminen on usein suunnittelematon layoutin lopputulos. Tämä aiheuttaa tuotteiden ja laitteiston kulumisia ja rikkoutumisia (Pazek, 2021, s. 31).

Neljäs hukan muoto on liiallinen prosessointi, jolla tarkoitetaan tilannetta, jossa tuotetta prosessoidaan enemmän kuin olisi tarve. Se muodostaa hukkaa sitomalla resursseja työhön, joka voitaisiin käyttää arvoa tuottavaan toimintaan (Kumar ja muut, 2022, s. 1189). Jotta liiallista prosessointia voitaisiin välttää, tulee valmistusprosessista poistaa tarpeeton toiminta, sekä ajatella tuotantoa aina asiakaslähtöisesti (Pazek, 2021, s. 32).

Viides hukan muoto on varastointi. Liiallisten hyödykkeiden tuottaminen, keskeneräiset työt sekä liiallinen materiaalin ja tavaran hankinta voivat aiheuttaa liiallisen varastoinnin. Liiallinen varastointi on ajoittain välttämätöntä ja siitä voi olla hyötyäkin, mutta se voi aiheuttaa materiaali- ja tuotevaurioita sekä ylimääräisiä kustannuksia. Tätä voidaan kuitenkin välttää toimilla, joissa materiaaleja hankitaan vain tarvittaessa, ja luodaan jonojärjestelmä tuotantovaiheiden välille (Pazek, 2021, s. 31).

Kuudes hukan muoto on liike. Turhat liikkeet ovat työntekijöiden ja muiden resurssien ylimääräisiä ja tarpeettomia siirtymisiä tai liikkeitä. Turha liike aiheuttaa tuotannon läpimenoajan pidentymistä sekä työturvallisuushaasteita, ja siihen voidaan puuttua hyvällä suunnittelulla. Turhiin liikkeisiin voidaan puuttua muun muassa järjestelmällä työkalut ja materiaalit lähelle koneita ja toimintoja (Pazek, 2021, s. 32).

Seitsemäs hukan muoto on virheet. Virheiksi luokitellaan tuotteet, jotka eivät ole asiakasvaatimuksien mukaisia. Nämä tuotteet eivät usein täytä laatukriteereitä ja joutuvat hylätyksi. Virheet sitovat kustannuksia ja aiheuttavat ylimääräistä työtä (Pazek, 2021, s. 32).

Taidot ovat 90-luvulla ilmestynyt kahdeksas hukan muoto, joka määritellään ihmisten taitojen tuhlaukseksi. Taito hukkana kehittyy, kun yrityksen johto ei tunne työntekijöidensä taitoja organisaatioissa ja henkilöstöresursseja käytetään väärin

tarkoituksiin. Taitojen tuhlaus koituu ongelmaksi, kun henkilöstöresurssit allokoidaan väärin työtehtäviin, vaikka heidän taidoilleen voisi olla käyttöä jossain muualla (Pazek, 2021, s. 32).

2.3.2 5S-menetelmä

5S-menetelmä on visuaalinen viestintätyökalu, jonka avulla voidaan tukea organisaatiota hukan vähentämisessä. 5S:n käyttöönoton päämääränä on organisoitu ja siisti työpaikka, joka tukee työntekijöiden tyytyväisyyttä ja tuotantoprosessin tehokkuutta (Pedro García Márquez, 2020, s. 43). Oleksiakin ja muiden (2025, s. 355) mukaan 5S on luonnehdittu laajasti itsenäiseksi tekniikaksi, mutta se luokitellaan myös osaksi laajempia tuotannon- ja laadunhallintastrategioita tukemaan organisaation jatkuvaa parantamista. 5S on alun perin saanut alkunsa japanilaisesta kulttuurista. Sen nimi on peräisin viidestä japaninkielisestä sanoista: sortteeraus (seiri), järjestä (seiton), puhdistus (seiso), standardisoi (seikutsu) ja ylläpidä (shitsuke) (Oleksiak ja muut, 2025, s. 355).

Ensimmäisen vaiheen, eli sortteerauksen tavoite on määrittää mitä työalueella tarvitaan ja mitä ei. Mitä ei tarvita, hävitetään välittömästi. Ne mitä tarvitaan, voidaan luokitella kolmeen eri luokkaan niiden käyttöasteen mukaan. Ensimmäiseen luokkaan kuuluu korkean käyttöasteen tarvikkeet, joita käytetään lähes päivittäin. Nämä tulee sijoittaa työpisteen lähelle. Toiseen luokkaan kuuluu tarvikkeet, joita käytetään viikoittain. Nämä tarvikkeet sijoitetaan hieman kauemmas. Kolmanteen luokkaan taas kuuluu tarvikkeet, joita kulutetaan kerran kuukaudessa. Nämä tarvikkeet pidetään kaikista kauimmaisina (Pazek, 2021, s. 37).

Toinen vaihe, eli järjestä, tukee sortteerausta tarvikkeiden sijaintiin liittyvissä haasteissa. Tässä vaiheessa tarvikkeet sijoitetaan siten, että ne ovat kaikkien saatavilla ja kaikkien tulee olla tietoisia niiden sijainnista. Tarvikkeiden tunnistamisen tueksi voidaan ottaa käyttöön värikoodeja tai erilaisia merkintöjä (Pazek, 2021, s. 37).

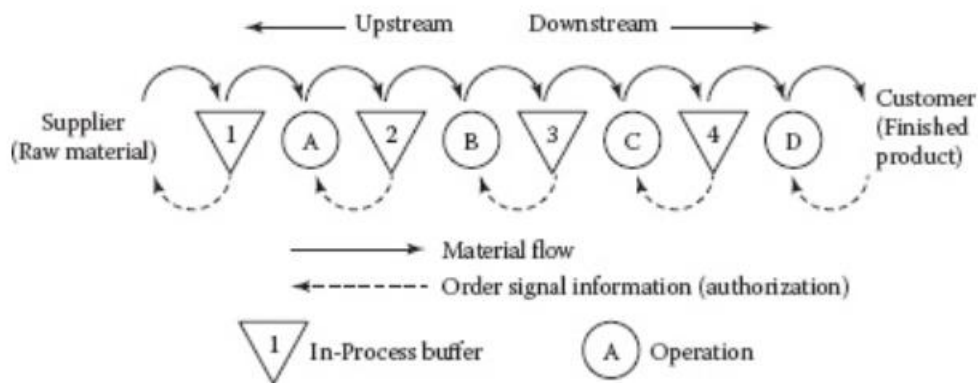
Kolmannessa vaiheessa, eli puhdistuksessa, tuetaan työympäristön siisteyttä. Tämän vaiheen keskeisin tavoite on ylläpitää työalueen puhtautta. Puhdistus ei ole ainoastaan siivousprosessi, vaan sen tarkoitus on etsiä sekä poikkeavuuksia työtilan puhtaudesta että tutkia niiden perimmäisiä syitä (Pazek, 2021, s. 37).

Neljännän vaiheen, eli standardisoinnin, keskeinen tavoite on luoda standardeja ja yhdenmukaisia menettelytapoja, joilla varmistetaan järjestyksen kestävyyttä ja seurantaa (Oleksiak ja muut, 2025, s. 355). Sen avulla luodaan luotettavia, toistuvia, ja kykeneviä menettelytapoja. Standardisointia tarvitaan, jotta aiemmin mainitut vaiheet saadaan vakiinnutettua (Pazek, 2021, s. 37).

Viidennen vaiheen, eli ylläpidon yksi tarkoituksista on saada kaikki ymmärtämään ja omaksumaan ensimmäiset neljä vaihetta. Ylläpito ei tarkoita pelkästään ymmärtämistä ja omaksumista, vaan jatkuvaa vaiheiden käyttöä ja kehittämistä. Ylläpitovaiheen tueksi voidaan liittää myös auditointeja (Pazek, 2021, s. 37).

2.3.3 Imuohjaus

Tuotannonohjauksen yksi keskeisimmistä tehtävistä on ohjata tuotantoa asiakkaan kysynnän mukaisesti. Imuohjaus perustuu siihen, että tuotteita valmistetaan vain ja ainoastaan asiakkaan vaatimusten mukaisesti mahdollistaen sen, ettei tuotteita valmisteta yli kysynnän. Sen käyttöönotto rajoittaa järjestelmässä olevan varaston määrää, sekä vähentää ennusteisiin liittyvää epävarmuutta (Bicheno & Holweg, 2016, s. 14).



Kuva 6. Imuohjattu tuotanto (Nicholas & Schonberger, 2018, s. 256).

Kuvassa kuusi Nicholas & Schonberger (2018, s. 256) havainnollistavat imuohjausta konkreettisella esimerkillä. Esimerkissä oikealla puolella on kuvattu prosessin loppupäätä ja vasemmalla puolella prosessin alkupäätä. Siinä tuotanto ohjautuu signaalien ja edessä olevien tuotantovaiheiden tahtiin. Kun prosessin viimeinen vaihe D valmistaa lopullisen tuotteen pienenee puskurialue neljä, jonka mukaan tuotantovaihe C täydentää puskurialuetta neljä. Ketju jatkuu aina prosessin alkupäähän asti muodostaen imuohjatun tuotannon.

Kanban on yksi Lean-ajattelun ja imuohjauksen keskeisimmistä työkaluista. Sen perusajatuksena on ohjata tuotantoa ja siihen liittyvää logistiikkaa todellisen kysynnän mukaan. Kanban toimii järjestelmänä, jossa materiaalivirtaa ja varastotasoa ohjataan signaaleille. Tavallisesti signaaleina käytetään Kanban-kortteja. Nämä signaalit ilmoittavat, milloin tiettyä tuotetta tulee valmistaa tai siirtää eteenpäin tuotantoprosessissa, joko työpisteiden välillä tai ulkoiselta toimittajalta tehtaaseen (Medhat & Nounou, 2025, s. 3905).

Kanbanissa hyödynnetään kahta eri signaalityyppiä: tuotantosignaaleja ja kuljetussignaaleja. Tuotantosignaali antaa luvan valmistaa ennalta määrättyä tuotetta, kun taas kuljetussignaali oikeuttaa siirtämään ennalta määrätyn määrän tuotteita prosessin seuraavaan vaiheeseen. Koko järjestelmä perustuu imuohjaukseen, jossa

seuraava työvaihe tai asiakas vetää tarvitsemansa määrän tuotteita tai materiaaleja edelliseltä vaiheelta (Medhat & Nounou, 2025, s. 3905).

Kanban menetelmän tarkoituksena on saavuttaa Just-in-Time (JIT) mukainen lopputulos, kun sitä käytetään yhdessä imuohjausjärjestelmän kanssa (Medhat & Nounou, 2025, s. 3905). Venkataramin (2018, s. 561) mukaan JIT:llä viitataan strategiaan, jossa yritys pyrkii vähentämään varastoihin sitoutunutta tilantarvetta ja pääomaa. Hänen mukaansa se saavutetaan viivästyttämällä tuotannossa käytettävien materiaalien vastaanottamista siihen asti, kunnes niitä oikeasti tarvitaan. Slack ja muut (2023, s. 364) korostavat, että JIT:llä pyritään saavuttamaan tilanne, jossa asiakaskysyntä ohjaa tuotantoa. Heidän mukaansa strategialla pyritään saavuttamaan tuotannon sujuva virtaus ja vähentämään prosessien välisten varastojen kokoja.

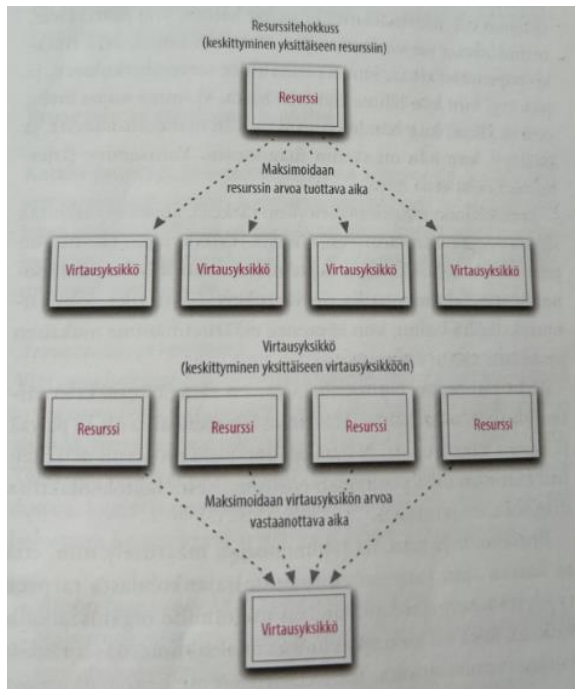
2.4 Tuotannon virtaus

Vaikka tuotannon virtaus käsittelee hyvin paljon samoja käsitteitä ja teoriaa Lean-ajattelun kanssa on tarkoituksenmukaista käsitellä sitä eri alaluvussa. Alaluvun tarkoituksena on tutkia teoriaa virtaus- ja resurssitehokkuus ajattelujen välillä. Lisäksi siinä käsitellään tuotannon virtaukseen liittyviä keskeisiä lakeja, joita ovat Littlen laki, pullonkaulojen laki, sekä vaihtelun laki. Alaluvun lopussa tutkitaan vaihtelua sekä tuotannon puskureita ja niiden eri tyyppejä.

2.4.1 Virtaustehokkuus

Tehokkuuden muodot voidaan jakaa resurssi- ja virtaustehokkuuteen, joista resurssitehokkuutta pidetään perinteisempänä. Resurssitehokkuudessa painopiste on arvoa tuottavien resurssien mahdollisimman tehokkaassa hyödyntämisessä, kun taas virtaustehokkuudessa resurssien sijasta huomio kiinnitetään jalostettavaan virtausyksikköön. Teollisuusympäristössä virtausyksiköiksi luokitellaan usein prosessin

läpi virtaavat tuotteet, joita valmistetaan prosessiin syötettävien materiaalien avulla. Muissa ympäristöissä prosessien läpi kulkeviksi virtausyksiköiksi voidaan luokitella myös ihmiset tai informaatio (Modig ja muut, 2013, s. 19-20).



Kuva 7. Virtaus- ja resurssitehokkuuden ero (Modig ja muut, 2013, s. 21).

Kuvassa seitsemän Modig ja muut (2013, s. 21) havainnollistavat resurssi- ja virtaustehokkuuden eroavaisuutta. Resurssitehokkuudella keskitytään pitämään resurssit mahdollisimman korkeassa käytössä, mikä tarkoittaa, että resursseilla pyritään jatkuvasti pitämään jokin virtausyksikkö jalostettavana. Virtaustehokkaassa ympäristössä painopiste on puolestaan pitää prosessin virtaus käynnissä, eikä resurssien jatkuvaa käyttöä pidetä ensisijaisena tavoitteena. Hyvä virtaustehokkuus edellyttää, että virtausyksiköllä olisi aina jokin resurssi, joka jalostaa sitä. Näin odotusajat pienenisivät ja arvoa tuottava osuus kasvaisi (Modig ja muut, 2013, s. 20-21).

2.4.2 Littlen laki

Läpimenoaika (TH) sekä jaksoaika (CT) ovat mittareita, joilla voidaan mitata tuotannon virtausta. Läpimenoaika määritellään ajaksi, joka virtausyksiköltä kuluu, kun se etenee prosessin alusta prosessin loppuun. Jaksoaika puolestaan määrittää keskimääräisen tahdin, jolla virtausyksiköt poistuvat prosessista (Modig ja muut, 2013, s. 34-35). Näiden kahden muuttujan välistä yhteyttä voidaan tarkastella Littlen lain avulla. Littlen lain alkuperäinen esitysmuoto on:

$$L = \lambda W \quad (1)$$

missä L kuvaa jonossa olevien termien lukumäärään, λ viittaa keskimääriseen jonoonsaapumisnopeus aikayksikössä ja W viitataan keskimääriseen jonotusaikaan. Nykyisin kaava voidaan kuitenkin nähdä eri muodossa (SixSigma, 2025, n.d.). Hopp ja Spearman (2011, s. 674) esittävät Littlen lain toiseksi muodoksi:

$$\text{Keskenäinen työ (WIP)} = \text{läpimenoaika (TH)} * \text{jaksoaika (CT)} \quad (2)$$

Modigin ja muiden (2013, s. 22) mukaan keskenäisellä työllä viitataan virtausyksiköihin, joiden prosessointi on aloitettu, mutta eivät ole vielä saavuttaneet prosessin loppua. Tompkinsin ja muiden mukaan (2010, s. 293) keskenäinen työ on keskeinen tekijä tuotannon virtauksen kannalta. Optimaalisessa tilanteessa virtausyksiköt etenisivät toimintojen välillä ilman varastointia, mutta käytännössä toimintojen välille joudutaan usein suunnittelemaan välivarastoja keskenäisen työn vuoksi. Nämä välivarastot suojaavat tuotantoa prosessissa tapahtuvilta muutoksilta ja lisäävät tuotannon joustavuutta.

2.4.3 Pullonkaulat

Lin ja muiden (2009, s. 5019) mukaan keskeinen läpimenoaikoihin vaikuttava tekijä on prosessin pullonkaula, jonka tunnistaminen on keskeistä tuotantojärjestelmän toiminnan kannalta. Tunnistamalla pullonkaulat voidaan järjestelmän läpimenoa lisätä ja

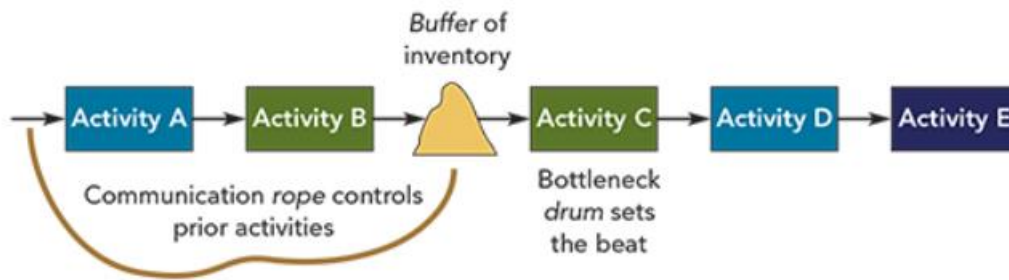
sen kokonaiskustannuksia minimoida. Lin (2009, s. 6929) mukaan pullonkaulaksi määritellään se toiminto prosessissa, joka suoriutuu huonoiten koko järjestelmän kannalta, muodostaen prosessin heikoimman lenkin. Modig ja muut (2013, s. 37) korostavat prosessin virtauksen olevan heikointa pullonkauloissa, mikä rajoittaa koko prosessin läpimenoa.

Pullonkauloja sisältävällä prosessilla on kaksi ominaispiirrettä. Ensimmäisen ominaispiirteen mukaan pullonkaulojen eteen syntyy aina jonoa. Toisen ominaispiirteen mukaan pullonkaulan heikko läpivirtaus johtaa siihen, että pullonkaulan jälkeiset toiminnot joutuvat aina odottamaan vuoroaan. Tämä johtaa siihen, ettei näitä toimintoja usein kyetä hyödyntymään täysin (Modig ja muut, 2013, s. 38). Edellä kuvatut ominaispiireet syntyvät tyypillisesti kahdesta eri syystä. Ensimmäisen syyn mukaan pullonkaulat syntyvät sen seurauksen, että prosessin toiminnot joudutaan tekemään tiettyjen vaiheiden ehdoin. Toinen syy pullonkaulojen esiintymiseen liittyy vaihteluun, joka syntyy usein virtausyksiköiden eripituisista prosessiajoista (Modig ja muut, 2013, s. 39).

Rajoitteiden teoria (TOC) on filosofia, joka keskittyy prosessin heikoimman lenkin kehittämiseen. Sen ymmärtäminen on tärkeää, jos prosessia ja organisaatiota halutaan kehittää (Şimşit ja muut, 2014, s. 930). Techt & VISTEM (2015, s. 44) havainnollistavat Goldrattin luomaa rumpu-puskuri-köysi -menetelmää, englanniksi drum-buffer-rope, joka on yksi keskeinen kehittämismenetelmä rajoitteiden teorian filosofiassa.

Menetelmässä rumpu kuvaa prosessin pullonkaulaa, eli toimintoa joka määrittää koko prosessin tahdin. Puskuri on aika materiaalien vapauttamisen ja rajoitteella tapahtuvan kysynnän välillä. Sen pituus määritetään siten, että rajoitteen eteen muodostuu riittävä puskurivarmuusvarasto tukemaan tuotantoa häiriöiltä. Köysi puolestaan on yhteys rajoitteen sekä materiaalien oikea-aikaseen vapauttamiseen (Techt & VISTEM, 2015, s. 49). Slack ja muut (2023, s. 313) korostavat, että puskurit eivät aina ole prosessin heikkous, vaan niiden tehtävä on suojata prosessia läpimenoilta. Heidän mukaansa

puskureita on välttämätöntä pitää pullonkaulan edessä, koska pullonkaulat määrittävät koko prosessin tahdin. Kuvassa kahdeksan rumpu-puskuri-köysi -menetelmää on havainnollistettu esimerkin avulla.



Kuva 8. Esimerkki rumpu-puskuri-köysi -menetelmästä (Slack, 2023, s. 313).

2.4.4 Vaihtelu

ETO-ympäristölle on ominaista korkea räätälöinnin aste sekä matala volyyymi, minkä vuoksi vaihtelu on niissä erityisen yleistä. Tästä syystä kyky ymmärtää, mitata, sekä hallita vaihtelua on keskeisessä roolissa tuotannon suorituskyvyn kannalta (Hopp & Spearman, 2011, s. 264). Vaihtelun lähteet voidaan karkeasti luokitella kolmeen pääluokkaan: resurssit, virtausyksiköt, sekä ulkoiset tekijät. Resurssivaihtelu syntyy esimerkiksi työntekijöiden tehokkuuseroista tai koneiden suorituskyvyn vaihteluista. Virtausyksiköiden ominaisuudet ja erilaisuus vaikuttavat puolestaan prosessointi- ja läpimenoaikoihin aiheuttaen vaihtelua. Ulkoiset tekijät liittyvät usein kysynnän ja saapumisvirran vaihteluun (Modig ja muut, 2013, s. 40).

Vaihtelun mittaamista voidaan toteuttaa tilastollisten mittareiden kautta. Se edellyttää kuitenkin, että analysoitava aineisto on numeerisesti esitettyä. Keskeiset tilastolliset mittarit ovat varianssi sekä sen neliöjuuri, keskihajonta, jotka kuvaavat vaihtelun absoluuttista määrää (Hopp & Spearman, 2011, s. 268). Montgomeryn ja muiden (2011, s. 71) mukaan satunnaismuuttujan X varianssi on mitta sen mahdollisten arvojen

hajonnasta tai vaihtelusta. Heidän mukaansa satunnaismuuttujan X varianssia merkitään joko symbolilla σ^2 tai $V(X)$. Keskihajonta saadaan varianssin neliöjuurena:

$$\sigma = \sqrt{V(X)} \quad (3)$$

Usein kuitenkin absoluuttinen vaihtelu ei anna prosessin käyttäytymisestä yhtä hyvää kuvaa kuin suhteellinen vaihtelu. Tällöin vaihtelua voidaan kuvata variaatiokertoimen (coefficient of variation, CV) avulla (Hopp & Spearman, 2011, s. 268). Heidän mukaansa variaatiokerroin (c) saadaan jakamalla aineiston keskihajonta (σ) aineiston keskiarvolla (t):

$$c = \frac{\sigma}{t} \quad (4)$$

2.4.5 Puskurit

Vaihtelun alaisessa tuotantoympäristössä puskurit ovat välttämätön osa tuotannon toimivuutta. Puskurit voidaan jakaa aika-, varasto- ja kapasiteettipuskureihin (Hopp & Spearman, 2011, s. 347-348). Varastopuskurit koostuvat niistä tuotteista ja materiaaleista, jotka on valmistettu ennen kysyntää ja jotka odottavat toimitusta. Aikapuskuri kuvaa odotusaikaa asiakkaan tilauksesta siihen hetkeen, kun tilaus on toimitettu. Kapasiteettipuskurilla puolestaan tarkoitetaan sitä, kuinka paljon tuotannon kapasiteetti ylittää keskimääräisen kysynnän tason (Spearman, 2014, s. 1875).

Edellä mainitut puskurityypit ovat usein riippuvaisia toisistaan, koska ne eivät yksinään pysty tukemaan tuotannon kokonaisuutta. Esimerkiksi pelkkään varastopuskurointiin nojautuminen tarkoittaisi, että jokaista lukematonta erityyppistä tuotetta tai materiaalia jouduttaisiin varastoimaan etukäteen. Pelkkään aikapuskurointiin nojautuminen tarkoittaisi taas sitä, että kaikki valmistuksessa käytettävät materiaalit ja komponentit jouduttaisiin tilaamaan aina erikseen asiakkaan tilauksesta, joka lisäisi asiakkaan odotusaikaa entisestään. Kapasiteettipuskurointi puolestaan vaikuttaa suoraan varasto- ja aikapuskurin tarpeeseen. Mikäli tuotannon kapasiteetti ylittää keskimääräisen kysynnän tason, voidaan tuotteet usein valmistaa ilman merkittävää varastointia tai jonoja. Jos tuotannon kapasiteetti puolestaan alittaa keskimääräisen kysynnän tason,

joudutaan keskeneräistä tuotantoa usein varastoimaan merkittävästi enemmän, joka johtaa jonojen muodostumiseen (Spearman, 2014, s. 1875).

Tuotantoympäristössä puskurit toteutetaan usein erilaisina fyysisinä ratkaisuinä, kuten supermarketteina tai FIFO-linjoina. Supermarketit tarkoittavat puskurialueita, joihin materiaalia, keskeneräistä työtä, tai valmiita tuotteita kootaan yhteen toimitusten ja hallinnan helpottamiseksi. Supermarketit ovat yleisiä silloin, kun materiaali- ja tuotevariaatioita on useita erilaisia tai niiden käytön ajankohdassa ja määrissä esiintyy epävarmuutta. FIFO-linjat ovat puolestaan keskeneräisten tuotteiden puskurialueita, jotka siirtyvät työpisteiden välillä järjestyksessä (Bicheno & Holweg, 2016, s. 216).

2.5 Layout-suunnittelu

Tuotantotilojen suunnittelun keskeisenä tekijänä on tuotantotilojen layout. Tuotantotilojen layout-suunnittelulla viitataan prosessiin, jossa tuotantojärjestelmiä muokkaavat tekijät järjestetään fyysisesti siten, että ne tukevat organisaation pitkäaikaisia tavoitteita (Pérez-Gosende ja muut, 2021, s. 3804). Stephens (2019, s. 2-3) luokittelee tuotantotiloja muokkaaviksi tekijöiksi työpisteet, ihmiset, materiaalien sijainnit sekä erilaiset koneet ja laitteet. Koska ihmiset ja fyysinen ympäristö toimivat tiiviissä vuorovaikutuksessa, layout-ratkaisut vaikuttavat suoraan työn tekemisen tapoihin ja työskentelyolosuhteisiin (Slack ja muut, 2023, s. 120).

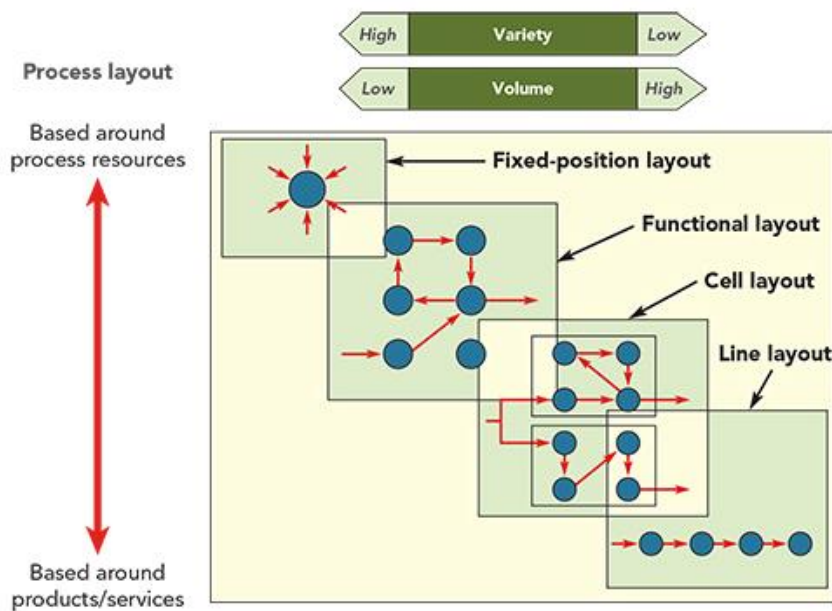
Hyvin suunniteltu layout tukee toimintaa parantamalla toimintojen turvallisuutta, joustavuutta ja tehokkuutta, ja sillä pyritään vaikuttamaan myönteisesti työntekijöiden ja asiakkaiden kokemuksiin (Slack ja muut, 2023, s. 120). Mutherin & Halesin (2015, s. 15) mukaan layoutin keskeisin tavoite on tukea ja tehostaa valmistusprosessia. Heidän mukaansa layoutilla on myös muita tärkeitä tavoitteita, kuten lattiatilan taloudellinen ja tehokas hyödyntäminen, materiaalikäsittelyn minimointi, layoutin joustavuus, työvoiman tehokkaan käytön edistäminen, työntekijöiden turvallisuuden ja hyvinvoinnin tukeminen sekä läpimenon tehostaminen ja keskeneräisen tuotannon minimointi.

Lean-ajatteluun perustuvat layout-ratkaisut konkretisoivat näitä tavoitteita korostamalla erityisesti peräkkäisten tuotantovaiheiden läheisyyttä, sekä vaiheiden välisten virtausten tasaisuutta. Kokonaislayoutissa tämä tulisi näkyä siten, että seuraavan vaiheen toiminnon syöttöpiste sekä edellisen vaiheen ulostulo olisivat sijoitettuna toistensa lähelle. Koko prosessin ulostulo tulisi myös sijaita sisäisen asiakkaan tai lähetysalueen läheisyydessä (Muther ja Hales, 2015, s. 216).

2.5.1 Layout-tyypit

Kun eri layout-tyyppejä harkitaan, on tärkeä ymmärtää tuotannon volyymin ja vaihtelun vaikutusta päätökseen. Tuotantoympäristöissä, joissa vaihtelu on vähäistä ja volyymi suurta, voidaan suosia erilaisia layout-ratkaisuja kuin ympäristöissä, joissa vaihtelu on suurta ja volyymi pientä. Tämä johtuu siitä, että osassa tuotantoympäristöissä tuotannon virtausta voidaan standardoida, kun taas toisissa virtaus on luonteeltaan epäsäännöllisempää (Slack ja muut, 2023, s. 120). Tompkinsin ja muiden (2010, s. 295) mukaan tuotannon layoutit voidaan jakaa neljään eri tyyppiin:

- kiinteän paikan layout
- funktionaalinen layout
- solulayout
- tuotantolinja.



Kuva 9. Layout-tyypit vaihtelun ja volyymin mukaan (Slack ja muut, 2023, s. 120).

Kuvassa yhdeksän Slack ja muut (2023, s. 120) havainnollistavat kuinka tuotannon volyyymi ja vaihtelu vaikuttavat siihen, mikä layout-tyyppi soveltuu parhaiten käyttöön. Kiinteän paikan layout on layout-tyypeistä parhaiten soveltuva suuren vaihtelun sekä pienen volyyymiin valmistukseen. Valmistuksessa on usein projektiluontoinen raskas tai herkkä tuote, jonka takia tuote pysyy paikallaan ja tuotannon resurssit liikkuvat tuotteen mukaan, jolloin tuotannon virtaus on lähes olematonta (Slack ja muut, 2023, s. 120-122).

Funktionaalisessa layout-tyypissä samankaltaiset toiminnot pyritään ryhmittelemään yhteen ja tuotannon virtaus on usein sekava (Logistiikan maailma, 2025, n.d.). Toimintojen yhteen ryhmittäminen johtuu usein tuotannon tehokkuuden tai käytännöllisyyden parantamisesta. Funktionaalinen layout tukee myös hyvin korkean vaihtelun ja pienen volyymin tuotantoa. (Slack ja muut, 2023, s. 120).

Solulayout-tyypissä on samankaltaisuuksia sekä funktionaalisen- että tuotantolinjalayoutin kanssa. Jokainen solu hoitaa tietyn tuoteryhmän tai asiakkaan, jotka sisältävät kaikki tarvittavat resurssit tuotteen valmistamiseen (Slack ja muut, 2023,

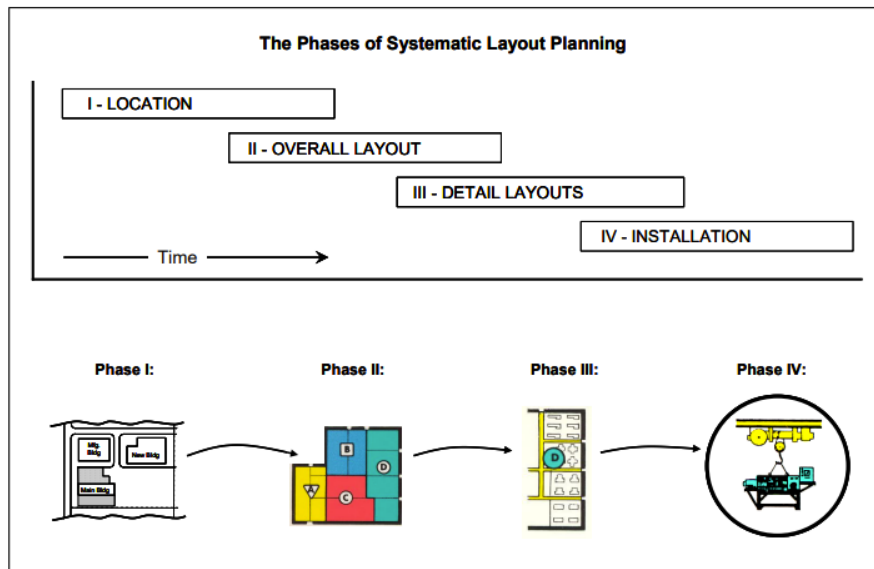
s. 120). Tämä helpottaa virtausta, sillä materiaaleja ei tarvitse kuljettaa paikasta toiseen valmistuksen pysyessä samassa solussa (Venkataraman, 2018, s. 357).

Tuotantolinja puolestaan sopii parhaiten suuren volyymin sekä standardoitujen tuotteiden valmistamiseen. Valmistusprosessi on usein mekaanista ja automatisoitua, jolloin koneet ja laitteet ovat sijoiteltuna valmistettavien tuotteiden valmistusvaiheiden mukaisesti. Tuotantolinjalle ominaista on korkea kuormitusaste sekä tuotteiden alaiset yksikkökustannukset (Haverila ja muut, 2009, s. 475).

2.5.2 Suunnitteluprosessi

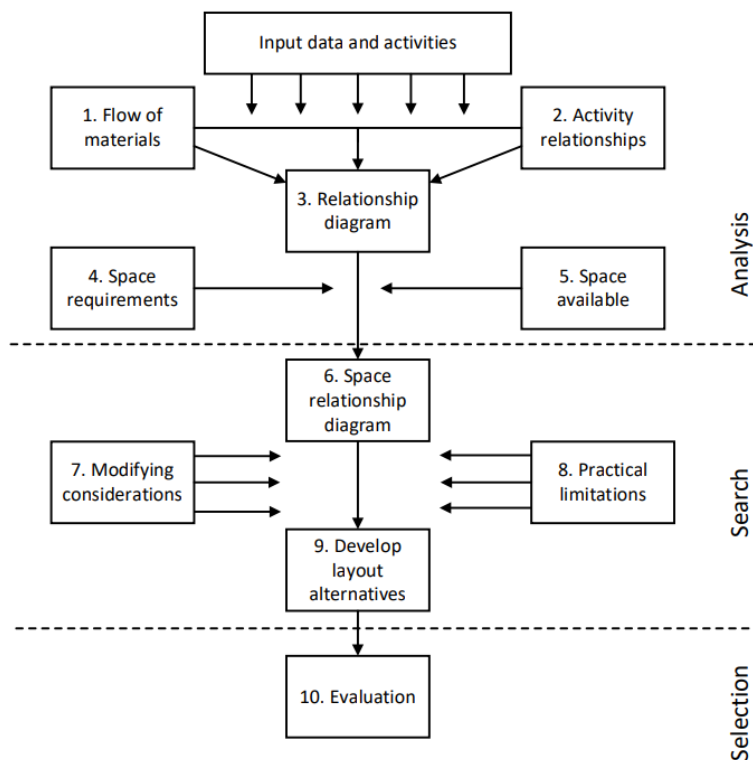
Muther & Hales (2015) esittävät layoutin suunnitteluun systemaattisen lähestymistavan: Systemaattinen layout-suunnittelu -menetelmän. Lyhennettä ”SLP” käytetään menetelmän englanninkielisen nimen ”Systematic Layout Planning” vuoksi. SLP-menetelmä sai alkunsa 1950-luvulla, kun Richard Muther kehitti systemaattisen ja vaiheittaisen lähestymistavan tehdaslayoutien suunnitteluun. Menetelmän varhaisessa kehitystyössä häntä tukivat aikakauden keskeiset teollisuuden asiantuntijat, joiden käytännönläheiset periaatteet ja ohjaus vaikuttivat merkittävästi SLP-menetelmän syntyyn (Muther & Hales, 2015, s. 5).

Monet kansainväliset organisaatiot ovat käyttäneet SLP-menetelmää layout-hankkeidensa läpivientiin. Kokeneet layout-suunnittelijat ovat osoittaneet SLP-menetelmän johdonmukaiseksi kyvyksi kehittää ja arvioida layouteja lyhyelläkin aikavälillä. SLP-menetelmästä osoittautuu myös tehokkaaksi työkaluksi Lean-valmistuksen-, Six Sigman-, ja jatkuvan kehittämisen (Kaizen) johtavien harjoittajien keskuudessa, jossa SLP-menetelmä nähdään tehokkaana menetelmänä lyhyiden tiimipohjaisten layout-suunnitteluiden läpivientiin (Muther & Hales, 2015, s. 299).



Kuva 10. SLP-menetelmän vaiheet (Muther & Hales, 2015, s. 23).

Kuvassa 10 Muther & Hales (2015, s. 23) havainnollistavat SLP-menetelmän neljää eri vaihetta: (1) sijainti, (2) yleislaitout, (3) yksityiskohtainen layout ja (4) asennus. Vaikka vaiheet esitetään loogisena järjestyksenä, tulisi vaiheet parhaiden tulosten saavuttamiseksi toteuttaa osittain päällekkäin (Muther & Hales, 2015, s. 22). Tämä periaate tulee myös esille yllä esitetystä aikajanaassa, jossa vaiheiden välinen lomittuminen on suunnittelun kannalta suotuisaa.



Kuvio 1. SLP-menetelmän suunnitteluprosessi (Tompkins ja muut, 2010, s. 299).

Kuviossa yksi Tompkins ja muut (2010, s. 299) havainnollistavat SLP-menetelmän suunnitteluprosessia. Heidän mukaansa se voidaan jäsentää kolmeen päävaiheeseen: analyysiin, etsintään, ja valintaan. Prosessin yläosassa esitetyt lähtötiedot ja toiminnot kuvaavat niitä tekijöitä, joita koko layout-suunnitteluprosessi edellyttää, ja jotka muodostavat perustan suunnittelun kaikille vaiheille. Mutherin & Halesin (2015, s. 16-17) mukaan lähtötiedot voidaan jakaa viiteen eri osa-alueeseen:

- tuote (valmistettavat tuotteet ja niiden ominaisuudet)
- määrä (valmistettavien tuotteiden määrät)
- prosessin kulku (tuotteen valmistusvaiheet ja niiden järjestys)
- tukipalvelut (tuotantoa tukevat toiminnot)
- aika (toiminnan aikavaatimukset).

Lähtötietojen ja toimintojen määrittelyn jälkeen suunnitteluprosessissa edetään systemaattisesti kohti konkreettisia tuotoksia. Ensimmäisessä vaiheessa muodostetaan

toimintojen välinen suhdekaavio (relationship diagram), joka perustuu from-to-
taulukkoon (from-to-chart) sekä toimintojen läheisyysuhdetaulukkoon (activity
relationship chart). Seuraavaksi laaditaan tilasuhdekaavio (space relationship diagram),
jossa huomioidaan toimintojen tilantarpeet sekä käytettävissä oleva tila. Tämän jälkeen
prosessissa edetään layout-vaihtoehtojen muodostamiseen, jossa otetaan huomioon
layoutia muokkaavat tekijät ja käytännön rajoitteet. Lopuksi layout-vaihtoehdot
arvioidaan (Tompkins ja muut, 2010, s. 299).

Tilatarpeita määriteltäessä voidaan hyödyntää Monte Carlo -menetelmää. Se on
simulointimenetelmä, jossa matemaattinen malli rakennetaan todellisesta
järjestelmästä, kuten puskurijärjestelmästä, ja sen toimintaa tarkastellaan toistamalla
malli useita kertoja satunnaisotannan avulla. Menetelmän keskeinen periaate on ajaa
mallia useita kertoja käyttäen satunnaisesti generoituja syötearvoja, jotta jokainen
simulaatio tuottaisi erilaisen mahdollisen lopputuloksen. Näiden ajokertojen tulokset
muodostavat aineiston, jota voidaan analysoida järjestelmän suorituskyvyn
arvioimiseksi (Thomopoulos, 2013, s. 1-3).

2.5.3 Arviointi

Muther ja Hales (2015, s. 175) esittävät kolme keskeistä menetelmää, joilla layout-
vaihtoehtojen arviointi voidaan toteuttaa: (1) etujen ja haittojen vertailu, (2)
kustannusten vertailu ja perustelu sekä (3) painotettu tekijäarviointi (WFA). Etujen ja
haittojen vertailu on kaikista yksinkertaisin, mutta myös epäluotettavin. Kustannusten
vertailu ja perustelu on toisaalta haastava työkalu, sillä kaikkia tekijöitä ei
suunnitteluvaiheessa kyetä taloudellisiin mittarein arvioimaan. Painotettu tekijäarviointi
puolestaan on yksi tehokkaimmista työkaluista layout vaihtoehtojen arvioimiseen
(Muther ja Hales, 2015, s. 178-181). Mutherin ja Halesin (2015, s. 181) mukaan
painotettu tekijäarviointi menetelmä etenee seuraavien vaiheiden mukaisesti:

1. Määritetään arviointitekijät
2. Painotetaan tekijöiden tärkeys

3. Pisteytetään vaihtoehdot
4. Lasketaan kokonaispisteet.

Mutherin ja Halesin (2015, s. 181-183) mukaan arviointi alkaa arviointitekijöiden määrittämisellä, jotka usein johdetaan layoutin tavoitteista eli niistä ominaisuuksista, joita tulevalta layoutilta halutaan saavuttaa. Tämän jälkeen arviointitekijöille määritetään painokertoimet sen perusteella, kuinka tärkeänä ne nähdään suhteessa toisiinsa. Lopuksi painotetut kokonaispisteet lasketaan kertomalla kunkin tekijän pistemäärä sitä vastaavalla painokertoimella, jonka jälkeen arvot summataan layoutkohtaisesti yhteen vertailua varten.

2.6 Yhteenveto kirjallisuuskatsauksesta

Kirjallisuuskatsauksessa esitettyä teoriaa on käytetty tutkimusongelman ratkaisemiseen eli lopullisen layout-ratkaisun luomiseen. Ensimmäiset kaksi alalukua antoivat kokonaiskuvan tutkimuksen kontekstista ja siitä ympäristöstä, jossa tutkimusta tehdään. Ensimmäinen alaluku antoi käsityksen Hitachi Energy Oy:n komponenttivalmistusosastolla valmistettavista käämeistä ja sydämistä, niiden yhteydestä muuntajavalmistukseen, sekä niiden lopullisen käyttötarkoituksen hahmottamista. Seuraava alaluku puolestaan käsitteli teoriaa toimeksiantajan hyödyntämästä ETO-valmistusmenetelmästä, sen tunnusomaisista piirteistä, eroista valmistusmenetelmien kohdennuspisteistä, sekä kysynnän vaihtelusta ja tuotannon monimutkaisuudesta.

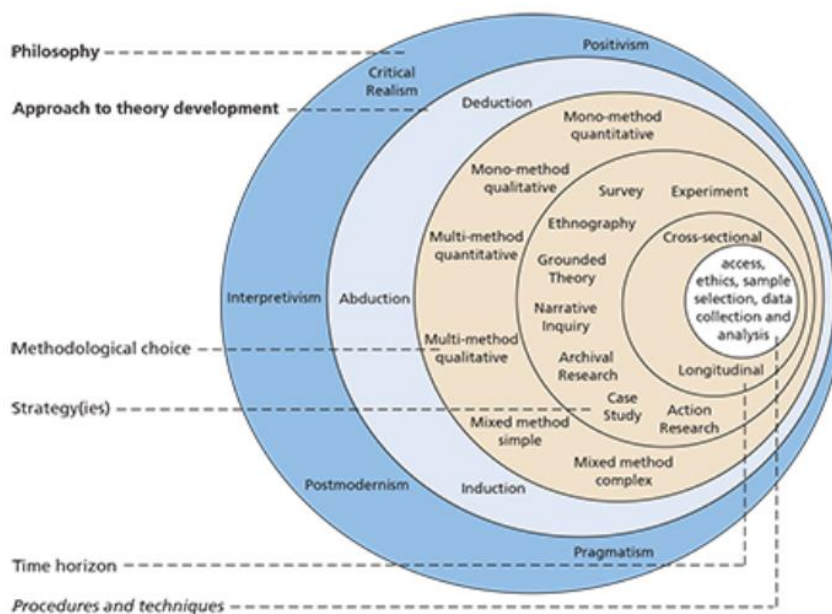
Seuraavat kaksi alalukua käsittelivät teoriaa Lean-ajattelusta ja tuotannon virtauksesta. Lean-ajattelun ymmärtäminen auttaa hahmottamaan sitä ajattelutapaa, jota suunnittelulla on pyritty tavoittelemaan. Se auttaa ymmärtämään miten arvo määritellään, mitkä tekijät luovat arvoa tuotantoympäristössä ja mitkä eivät, sekä millä työkaluilla ja menetelmillä arvoa tuottavaa toimintaa voidaan lisätä. Tuotannon virtaus

alaluku puolestaan auttaa käsittämään virtaustehokkuuden perustan, sekä teorian tutkimuksessa hyödynnettävistä virtauksen eri laeista ja puskurityypeistä.

Kirjallisuuskatsauksen viimeinen alaluku käsitteli teoriaa layout-suunnittelusta. Se antaa yleisen käsityksen siitä miten Lean-ajattelu, ja tuotannon virtaus linkittyvät yleisesti määriteltyyn hyvään layoutiin. Näiden lisäksi alaluvussa määritellään se miten tutkimuksen tuotantoympäristö ja eri layout-tyypit ovat sidoksissa toisiinsa. Se antaa myös ymmärryksen niistä työkaluista ja menetelmistä, joita tutkimuksessa on käytetty layout-ratkaisun suunnitteluun ja arviointiin.

3 Metodologia

Tässä luvussa käydään läpi tutkimuksessa käytettyjä metodologisia ratkaisuja. Luvun tavoitteena on tuoda esille, mitä tutkimuksessa on tehty ja mitä keinoja sen toteuttamiseen on käytetty. Luvun tarkoitus on antaa riittävästi yksityiskohtia, jotta lukija pystyy tulkitsemaan tulokset oikein, ja että tutkimus olisi periaatteessa toistettavissa. Kuvassa 11 Saunders ja muut (2023, s. 177) esittävät tutkimussipulin, jota luvussa käytetään tämän tutkimuksen metodologian kokonaisuuden esittämiseksi. Tutkimussipuli koostuu eri kerroksista, joita käsitellään alaluvuissa.



Kuva 11. Tutkimussipuli (Saunders ja muut, 2023, s. 177).

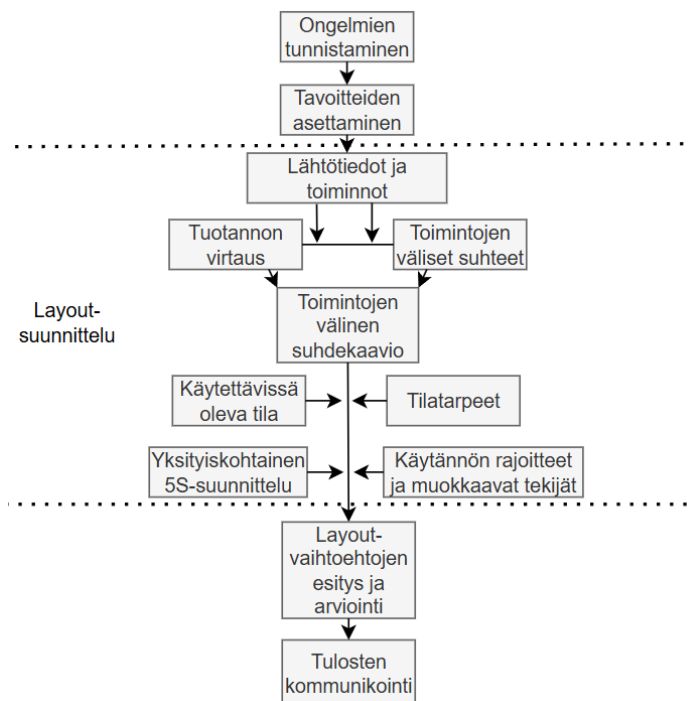
3.1 Tutkimusstrategia

Oikean tutkimusstrategian valinta ohjaa tutkimuksen toteutusta, sillä se edesauttaa tutkimuskysymyksiin vastaamisessa sekä tutkimustavoitteisiin pääsemisessä (Saunders ja muut, 2023, s. 191). Vom Brocke ja muut (2020, s. 1) esittävät suunnittelutieteellisen tutkimuksen (DSR), jonka keskeisenä tavoitteena on tuottaa sekä toimivia artefakteja että uutta tietoa artefaktin toimivuudesta niiden toimintaympäristössä. Peffers ja muut

(2007, s. 55) kuvaavat suunnittelutieteellisen tutkimuksen etenevän iteratiivisena prosessina, joka koostuu kuudesta eri vaiheesta:

1. Ongelman tunnistaminen ja tärkeys
2. Ratkaisun tavoitteiden asettaminen
3. Artefaktin suunnittelu ja kehittäminen
4. Ratkaisun demonstraatio
5. Arviointi
6. Tulosten kommunikointi.

Kuvio kaksi havainnollistaa tämän tutkimuksen strategian, joka on rakennettu DSR - tutkimusta mukaillen. Tässä tutkimuksessa artefaktina toimii layout-ratkaisu, jonka suunnittelu toteutettiin erilaisia menetelmiä ja työkaluja hyödyntäen. Todellisuudessa tutkimuksen eri vaiheet toteutettiin osittain päällekkäin tai eri järjestyksessä.



Kuvio 2. Tutkimusstrategia.

Tutkimuksen ensimmäisessä vaiheessa tunnistettiin komponenttivalmistuksen nykytilan layoutissa ja virtauksessa esiintyvät ongelmat, joihin suunnittelutyöllä pyrittiin

vastaamaan. Näin pyrittiin välttämään samojen ongelmien toistuminen uudessa layoutissa. Tämän jälkeen uuden layoutin suunnittelulle asetettiin tavoitteet, jotka ohjasivat layoutin ja tuotantovirran suunnittelua ja toimivat arviointitekijöinä layout-vaihtoehtojen arvioinnissa. Seuraavassa vaiheessa siirryttiin layout-suunnitteluun, joka toteutettiin SLP- ja 5S -menetelmiä hyödyntäen. SLP toimi yleistason layout-suunnittelua ohjaavana menetelmänä ja 5S -menetelmä puolestaan ohjasi yksityiskohtaista suunnittelua. Itse suunnittelu alkoi lähtötietojen ja toimintojen määrittämisellä ja eteni toimintojen välisen suhdekaavion muodostamiseen. Tämän jälkeen toimintojen tilatarpeet määriteltiin JIT-ajattelua ja Monte Carlo -simulointityökalua hyödyntäen. Suunnittelussa edettiin yksityiskohtaiseen suunnitteluun, ja käytännön rajoitteisiin sekä suunnittelua muokkaaviin tekijöihin, jotka yhdessä loivat edellytykset vaihtoehtoisten layoutien luomiselle. Viimeisessä vaiheessa vaihtoehtoiset layoutit esitettiin toimeksiantajalle ja arvioitiin painotettua tekijäarviointia käyttäen, jonka jälkeen arviointitulokset esitettiin toimeksiantajalle.

3.2 Tutkimusfilosofia ja teorian muodostus

Tutkimusfilosofialla tarkoitetaan niitä käsityksiä ja lähtöoletuksia, jotka ohjaavat tiedon ymmärtämistä ja tuottamista (Saunders ja muut, 2023, s. 131). Teorianmuodostus taas voidaan jakaa kolmeen pääsuuntaan: deduktiiviseen, induktiiviseen ja abduktiiviseen. Deduktiivisessa lähestymistavassa tutkimus perustuu valmiin teorian testaamiseen, kun taas induktiivisessa lähestymistavassa tavoitteena on muodostaa havaintojen pohjalta uutta teoriaa. Abduktiivinen lähestymistapa sijoittuu näiden kahden väliin. Siinä pyritään iteratiivisesti luomaan uutta teoriaa, tai muokkaamaan olemassa olevaa teoriaa (Saunders ja muut, 2023, s. 155).

Tämä tutkimus nojautui pragmatistiseen tutkimusfilosofiaan ja abduktiiviseen lähestymistapaan. Pragmatismissa huomio keskittyy tutkimuskysymyksiin ja tutkimusongelmiin, ja näitä kysymyksiä ja ongelmia pyritään ratkaisemaan tutkimukseen sopivilla menetelmillä (Wilson, 2014, s. 8). Pragmaattinen tutkimusfilosofia sopii tähän

tutkimukseen parhaiten, sillä tutkimus keskittyi käytännön layout-ratkaisun kehittämiseen. Se alkoi tutkimusongelman ja kysymysten määrittämisellä ja päättyi, kun tutkimusongelma saatiin ratkaistua ja johtopäätökset esitettyä. Tämän vuoksi kaikki tutkimuksessa käytetyt menetelmät ja teoriat valittiin tukemaan käytännön layout-ratkaisun kehittämistä ja ymmärtämistä.

Tutkimuksessa voidaan havaita deduktiivisen lähestymistavan piirteitä, sillä tutkimuksen tavoitteeseen pääsemiseksi sovellettiin valmiita teorioita ja menetelmiä, kuten SLP:tä tai 5S-menetelmää. Tutkimuksessa korostui myös induktiivinen lähestymistapa, sillä Gregor ja Hevner (2013, s. 341) korostavat artefaktin merkitystä DSR-tiedon muotona. Heidän mukaansa tutkimuksessa luotu layout, ei ole pelkästään konkreettinen ratkaisu vaan se voi myös tarjota tutkimuksen aikana syntyneitä uutta tietokokonaisuutta tai suunnitteluteoriaa. Näin ollen tutkimus nojautuu abduktiiviseen lähestymistapaan.

3.3 Menetelmävalinnat

Saunders ja muut (2023, s. 181) jakavat tutkimuksen menetelmävalinnat kvalitatiiviseen, kvantitatiiviseen, tai monimenetelmälliseen. Kvantitatiivisessa menetelmässä aineisto esitetään numeroina tai muina määrällisinä ilmaisuina, kun taas kvalitatiivisessa menetelmässä aineisto esitetään tekstinä (Gronmo & Grønmo, 2023, s. 13). Creswell (2023, s. 4) korostaa, että kvantitatiivisessa tutkimuksessa muuttujia mitataan usein erilaisten mittareiden ja tilastollisten menetelmien avulla, kun taas kvalitatiivisessa tutkimuksessa aineisto kerätään tutkimusympäristössä muun muassa havainnoinnilla.

Tässä tutkimuksessa layout-ratkaisun kehittämiseen hyödynnettiin sekä kvantitatiivisia että kvalitatiivisia analyysi- ja tiedonkeruumenetelmiä, minkä perusteella tutkimus luokitellaan monimenetelmälliseksi tutkimukseksi (Saunders ja muut, 2023, s. 186). Tutkimuksessa kvalitatiivinen menetelmä esiintyi tutkimuksen eri vaiheissa ja sitä käytettiin erityisesti silloin kun aineistoa ei kyetty esittämään kvantitatiivisessa muodossa. Näitä olivat nykytilan havainnot tai eri toimijoiden kanssa käydyt keskustelut,

jotka tukivat erityisesti ongelmien määrittelyssä tai havainnoiteihin perustuvien prosessikaavioiden luomisessa. Layout-suunnittelussa kvalitatiivinen menetelmä korostui erityisesti yksityiskohtaisessa suunnittelussa, jossa työntekijöiden kanssa käydyt keskustelut ja haastattelut ohjasivat tarvikkeiden sijoittelua uudessa tehtaassa. Kvantitatiivinen menetelmä puolestaan tuki kvalitatiivisen menetelmän käyttöä. Usein suunnittelun eri vaiheissa muodostetut numeeriset taulukot toimivat päätöksentekotyökaluina. Suunnittelussa toimintojen välisiä suhteita, tuotannon tilatarpeita ja puskurialueiden käyttäytymistä tarkasteltiin määrällisen aineiston avulla, ja arviointivaiheessa layout-vaihtoehtoja verrattiin numeerisesti keskenään, jotta lopulliseen ratkaisuun voitiin päätyä ja parempi layout-vaihtoehto voitiin perustella.

3.4 Aineistonkeruu ja -analysointi

Tutkimuksessa käytetty aineisto voi olla joko ensisijaista eli primääristä tai toissijaista eli sekundääristä aineistoa. Ensisijainen aineisto kerätään usein kyselyjen, haastattelujen tai havaintojen avulla (O'Leary, 2021, s. 236). Toissijaiseksi aineistoksi puolestaan luokitellaan jo olemassa oleva aineisto, joka on jonkun muun keräämää, jota tutkija voi kuitenkin kerätä ja analysoida omassa tutkimuksessaan (O'Leary, 2021, s. 276). Tämän tutkimuksen aineistonkeruu ja -analysointi on käsitelty samassa alaluvussa, sillä tutkimuksen eri vaiheissa nämä toteutettiin usein samanaikaisesti.

Nykytilan ongelmien tunnistamisvaiheessa esiintyvä aineisto on ensisijaista. Vaiheen alussa muodostettiin nykytilan prosessikaavio, joka perustui tuotantoympäristöstä kerättyihin havaintoihin sekä keskusteluihin tuotannon työntekijöiden ja osaston toimihenkilöiden kanssa. Tässä vaiheessa käämivalmistuksen virtausta tarkasteltiin sen sisäisten puskurien vaihtelun kautta. Puskurianalyysi toteutettiin mittaamalla kääminnän sisäisten puskurien kokoa seitsemän peräkkäisen työpäivän ajalta. Mittaukset suoritettiin aamupäivisin samaan kellonaikaan, jotta päivien välillä esiintyvä vaihtelu saatiin vertailukelpoiseksi. Aineistonkeruun perusteella koottiin kunkin puskurialueen keskiarvo ja keskihajonta kappalemäärinä, sekä variaatiokerroin, jotka toimi

analyysityökaluna vaihtelunseurannassa. Puskurianalyysin lisäksi koko osaston tuotantoympäristöstä kerättiin havaintoja suunnittelun eri vaiheiden aikana ja esiintyneitä ongelmatekijöitä tarkennettiin yhteisissä palaverissa sekä erillisissä keskusteluissa tuotannon työntekijöiden ja toimihenkilöiden kanssa. Näiden kaikkien tekijöiden avulla muodostettiin kokonaiskuva nykytilan keskeisistä haasteista.

Tavoitteiden asettamisvaiheen aineisto muodostuu ensisijaisesta ja toissijaisesta aineistosta. Ensisijainen aineisto perustui nykytilassa tunnistettuihin ongelmiin ja toimeksiantajan asettamiin vaatimuksiin. Toissijaisena aineistona hyödynnettiin teoriaa kirjallisuudesta, joka käsittelee Lean-layoutille ja ETO-ympäristölle tyypillisiä ominaisuuksia. Tavoitteet muodostettiin näiden tekijöiden perusteella ja hyväksyttiin komponenttivalmistusosaston päälliköllä erillisessä palaverissa.

Layout-suunnittelun lähtötiedoissa ja toiminnoissa esitetty aineisto on sekä ensisijaista että toissijaista. Toissijaisena aineistona käytettiin valmista AutoCAD-pohjaa uuden tehtaan layoutista, joka kerättiin tehtaan suunnittelussa mukana olleilta suunnittelijoilta. Lisäksi uuden tehtaan layoutin tutustumiseen käytiin useita keskusteluja ja palavereita tehtaan suunnittelijoiden kanssa. Toissijaisena aineistona hyödynnettiin myös tehtaan kuormittajilta saatua listaa muuntajien tuoteperhekohtaisia kysyntäennusteista vuosille 2027 ja 2030. Muuntajien kysyntäennusteista muokattiin komponenttien kysyntäennusteet kertomalla muuntajien kysynyt muuntajakohtaisten komponenttien lukumäärällä. Lisäksi komponentit jaettiin tehtaalla valmistettaviin ja ulkopuolelta ostettaviin komponentteihin, mitkä perustuivat osaston toimihenkilöiden kanssa käytyihin keskusteluihin. Kysyntä esitettiin myös päivittäisenä kysyntänä jakamalla vuosikohtainen kysyntä kyseisen vuoden työpäivillä. Ensisijaisena aineistona hyödynnettiin uuden tehtaan prosessikaaviota, joka muodostettiin nykytilan havaintojen sekä toimihenkilöiden kanssa käytyjen keskustelujen pohjalta.

Toimintojen välisiä suhteita analysoitiin suunnittelun alkuvaiheessa from-to-taulukoiden avulla. Kyseiset taulukot muodostettiin hyödyntämällä suunnittelun alussa määriteltyjä

komponenttien päivittäisiä kysyntäennusteita ja prosessikaaviota, joiden perusteella kuvattiin toimintojen välinen tuotevirtaus päivätasolla. Prosessi sisälsi kuitenkin tuotantovaiheita, joita vain osa komponenteista käy läpi. Näissä virtausten jakautumista arvioitiin haastatteleamalla osaston toimihenkilöitä tai hyödyntämällä resurssien määrään perustuvia oletuksia. Taulukoissa virtausmäärää analysoitiin värikoodauksen avulla, jotka kuvasivat toimintojen ja puskurialueiden välisten virtauksien suuruutta. Värikoodaus muodostettiin siten, että punainen kuvaa välttämätöntä suhdetta (100% suurimmasta arvosta), oranssi erittäin tärkeää suhdetta (75% suurimmasta arvosta), vihreä tärkeää suhdetta (50% suurimmasta arvosta) ja sininen ei niin tärkeää suhdetta (25% suurimmasta arvosta). From-to-tilin tuloksien pohjalta muodostettiin toimintojen välinen suhdekaavio. Siinä from-to-tilin värikoodit muutettiin viivoiksi periaatteella: neljä viivaa (punainen), kolme viivaa (oranssi), kaksi viivaa (vihreä), ja yksi viiva (sininen).

Tilatarpeiden suunnittelussa hyödynnettiin muuntajien kysyntäennusteiden ja prosessikaavion lisäksi ensisijaista aineistoa. Tilatarpeissa määriteltiin materiaalin vastaanottoalueen koko, johon aineistoa kerättiin eri taulukoihin. Ensin prosessikaavion perusteella määriteltiin ne toiminnot joihin materiaali virtaa. Tämän jälkeen jokaiselle materiaalia tarvitsevalle toiminnolle muodostettiin oma taulukko, johon koottiin tarvittavat materiaalit sekä niiden kappalemäärät muuntajakohtaisesti. Näiden lisäksi erilliseen taulukkoon listattiin jokainen tunnistettu materiaali ja niille määriteltiin mitat, säilytystapa sekä siirtotapa. Aineisto koottiin haastatteleamalla osaston toimihenkilöitä, joilla oli kokemusta materiaalityypistä, ja mitat materiaaleille kerättiin nykyisestä tuotantoympäristöstä. Tilatarvetta analysoitiin suhteuttamalla materiaalien päivittäinen kulutus niiden haluttuun kysyntään ja kertomalla tämä materiaalin pinta-alarapeella. Materiaalin pinta-alarapeeseen lisättiin 10%, sillä oletuksella ettei materiaaleja varastoida toisiinsa kiinni. Lisäksi lopulliseen pinta-alarapeisiin lisättiin 20% varmuuslisä varmistamaan että vastaanottoalue pystyy käsittelemään keskimääräistä suurempia kuormitustilanteita. Tilanteissa joissa tarkkaa aineistoa ei saatu kerättyä, arvioitiin materiaalien toimitusten tiheys ja tilatarpeet yhdessä tuotannon operaattoreiden kanssa.

Tilatarpeiden suunnittelussa määriteltiin myös tuotannon puskurialueiden ja materiaaalialueiden koot, joihin aineistona hyödynnettiin sekä toissijaista että ensisijaista aineistoa. Monte Carlo -simulointia varten muuntajien ja komponenttien vuosien 2027 ja 2030 kysyntäennusteista jalostettiin tarkempi taulukko, jossa muuntajakohtaiset komponenttimäärät jaettiin pieniin, keskikokoisiin ja suuriin. Näin saatiin selville, kuinka paljon mitäkin komponenttikokoa valmistetaan vuosittain, sekä niiden välinen suhde. Lisäksi käämikalustuksen projektit jaettiin muuntajakohtaisesti pieniin ja suuriin. Jako komponenttien ja kalustusprojektien välillä tehtiin haastattelemalla tuotannon toimihenkilöitä, ja komponenttien sekä kalustusprojektien mitat kerättiin nykyisestä tuotantoympäristöstä. Mittoihin lisättiin myös 10% lisä. Kerättyä aineistoa hyödynnettiin simulaatioskenaarioiden muodostamiseen, joita muodostettiin jokaisen puskuri- ja materiaaalialueen kohdalla 1000 kertaa. Se kuinka paljon pieniä, keskikokoisia tai isoja käämejä eri skenaarioissa esiintyi, käytettiin kyseisen vuoden kokoluokkien jakaumia todennäköisyyksinä. Simulaatiossa hyödynnettiin myös todellisen tuotantoympäristön tilakapasiteetteja simuloinnin syötearvoina, jotka kerättiin AutoCAD-pohjasta. Toimintojen välinen suhdekaavio ja AutoCAD-pohja toimi analysoinnin työkaluna, sillä suhdekaavio määritteli toimintojen välisen läheisyyden tarpeen ja AutoCAD-pohjan avulla pystyttiin hahmottamaan todellisia puskurialueita ja niiden tilakapasiteetteja tehtaalla.

Määrittelemättömien toimintojen tilatarpeiden määrittelemiseksi aineisto kerättiin suunnittelutyökalu Daluxia ja AutoCAD-pohjaa hyödyntäen. Niiden avulla tehdasympäristöä voitiin havainnollistaa kolmiulotteisesti ja kaksiulotteisesti, joista mitat toiminnoille kerättiin. Aineistonkeruussa hyödynnettiin myös tehtaan mukana olleita suunnittelijoita, joiden kanssa keskusteltiin toimintojen tilatarpeista.

5S-suunnittelun aineisto on ensisijaista ja se on kerätty haastattelemalla tuotannon työntekijöitä. Aineisto kerättiin nykyisestä tuotantoympäristöstä, jossa tuotantotilat on kierretty prosessivaiheiden mukaisesti. Eri toiminnoissa käytettävät tarvikkeet tunnistettiin ja kerättiin ylös niiden määrän, mittojen ja käyttöasteen kanssa. Tarvikkeet

luokiteltiin niiden käyttöasteen mukaisesti kolmeen ryhmään: päivittäisessä, viikoittaisessa ja harvemmassa käytössä olevat. Lisäksi aineistoon kirjattiin tarvikkekohtaisesti työntekijöiden kommentteja ja muita suunnittelua tukevia havaintoja. Aineistoa analysoitiin keräyksen jälkeen tutkijan toimesta, ja tarvikkeet sijoitettiin AutoCAD-pohjaan analyysin perusteella. Analysointiin hyödynnettiin Daluxia, josta pystyi havainnoimaan ennalta määriteltäviä tehtaan rakennusteknisiä ratkaisuja, jotka vaikuttivat tarvikkeiden sijoittamiseen. Lisäksi HSE:n antamat turvallisuusmääräykset käytiin yhteisissä tapaamisissa läpi ja kerättiin ylös. Nämä määräykset ohjasivat osaltaan myös tarvikkeiden sijoittamisissa.

Vaihtoehtoiset layoutit luotiin suunnitteluvaiheessa kerätyn ja analysoidun aineiston pohjalta. Lisäksi vaihtoehtojen luontia muokkavista tekijöistä ja käytännön rajoitteista kerättiin tietoa eri toimijoiden kanssa järjestettyjen palavereiden kautta. Layoutien materiaalien ja tuotteiden siirtotyyppeihin, siirtotapoihin sekä siirroista vastaaviin toimijoihin liittyvä aineisto kerättiin suunnittelutiimin kanssa järjestettävissä palavereissa. Layoutteja- ja virtauksia kehitettiin ja analysoitiin tutkimuksen tekijän toimesta, ja kommentteja toteutuksesta saatiin viikottain järjestettävissä tapaamisissa.

Layout-vaihtoehtojen arviointitulosten aineisto on kerätty painotetun tekijäarvioinnin vaiheiden mukaisesti. Arviointitekijöinä käytettiin layout-suunnittelun alussa määriteltäviä tavoitteita, ja jokaisen tekijän tärkeys painotettiin asteikolla 1-5 yhdessä komponenttivalmistusosaston päällikön kanssa. Vaihtoehtojen arvioijat valittiin yhteistyössä tuotannonjohdon ja komponenttivalmistusosaston päällikön kanssa. Arviointia alustettiin yhteisellä tapaamisella, joissa arvioijille esitettiin ohjeistus arvioinnista sekä arviointia tukeva materiaali. Arviointi toteutettiin sähköisellä kyselylomakkeella, jossa layout-vaihtoehdot arvioitiin asteikolla 1-5, jossa arvo 1 kuvasi heikkoa ja arvo 5 erittäin hyvää. Arvioinnin jälkeen tuloksista muodostettiin arviointitekijäkohtaiset keskiarvot, jotka kerrottiin tekijöiden painoarvoilla. Tulosten analysoinniksi pisteytystulokset summattiin layout-vaihtoehtojen kokonaispisteiksi. Näin voitiin analysoida, kumpi vaihtoehtoista sai enemmän pisteitä.

Layout-ja virtauskuvien sekä simulointitulosten lisäksi arvioinnin tueksi tuotettiin ensisijaista aineistoa vaihtoehtoisten layoutien siirtomatkoista ja käämipuskurijakaumista. Siirtomatkat kerättiin hyödyntämällä vuoden 2030 toimintojen välisiä päiväkohtaisia volyymiennusteita sekä AutoCAD-pohjista mitattuja etäisyyksiä. Käämipuskureiden kapasiteettijakaumat muodostettiin AutoCAD-pohjien perusteella, jossa yksittäisen puskurialueen kapasiteettia suhteutettiin kaikkien puskurialueiden kokonaiskapasiteettiin. Molemmille vaihtoehdoille mittaukset toteutettiin yhdenmukaisella periaatteella, jotta tulokset olisivat vertailukelpoisia.

3.5 Tutkimuksen eettisyys ja luottamuksellisuus

Tutkimuksen aineisto on käsitelty toimeksiantajan vuoksi luottamuksellisesti. Osa tutkimuksessa käsitellystä aineistosta sisältää arkaluontoista tietoa toimeksiantajasta, jonka vuoksi aineiston julkaistavuudesta keskusteltiin yhdessä toimeksiantajan kanssa. Tämän vuoksi tutkimuksesta laadittu kaksi erillistä versiota:

1. Yksityiseen käyttöön julkaistava versio
2. Yleiseen käyttöön julkaistava versio.

Yksityiseen käyttöön julkaistava versio sisältää kaiken tutkimuksen aikana kerätyn aineiston. Tätä aineistoa ei ole muokattu tai sensuroitu, vaan se on luovutettu täysin Hitachi Energy Oy:n käyttöön. Yleiseen käyttöön julkaistavassa versiossa yhtiön tuotekysyntään kohdistuva data on sensuroitu ja osa layout-kuvista on muokattu yhtiön näkemysten mukaisesti.

4 Tulokset

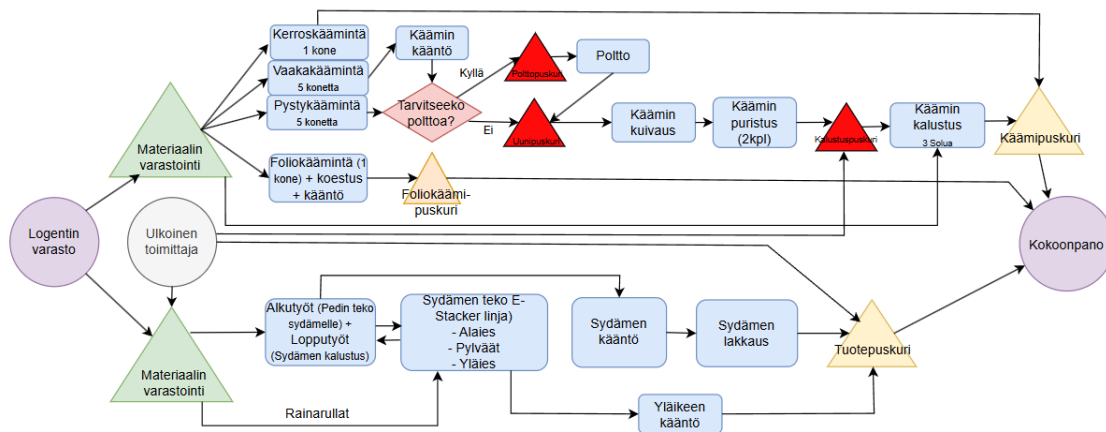
Tässä luvussa käydään läpi tutkimuksen kannalta keskeisimmät tulokset ja niiden analyysit. Se on jaettu nykytilan ongelmien tunnistamiseen, tavoitteiden asettamiseen ja edelleen layout-suunnittelun sekä layout-vaihtoehtojen arviointiin.

4.1 Nykytilan ongelmien tunnistaminen

Nykytilan ongelmien tunnistaminen on keskeinen osa suunnitteluprosessia, koska sen avulla voidaan tunnistaa todellinen, käytännössä esiintyvä ongelma. Alaluvussa määritellään ensin komponenttivalmistuksen nykyinen tuotantoprosessi, joka sisältää komponenttivalmistuksen keskeiset toiminnot ja virtaukset. Tämän jälkeen layoutiin ja virtaukseen kohdistuvia ongelmia analysoidaan erityisesti puskurialueiden ongelmien, alueiden päällekkäisten käyttötarkoitusten sekä materiaalilogistiikassa esiintyvien ongelmien kautta.

4.1.1 Nykytilan tuotantoprosessi

Nykytilan prosessikaavio on esitetty kuviossa kolme. Sen on tarkoitus auttaa ymmärtämään nykytilan ongelmia kokonaiskuvassa havainnoillistamalla komponenttivalmistuksen prosessin alku- ja loppupää. On tärkeä ymmärtää, että kaavion ei ole tarkoitus kuvata kaikkia yksittäistapauksia, joita ETO-ympäristössä tyypillisesti esiintyy asiakaskohtaisten projektien vuoksi.



Kuvio 3. Komponenttivalmistuksen prosessikaavio nykytilassa.

Prosessin alkupäähän lilalla on havainnollistettu logentin varastoa, josta materiaalit toimitetaan tuotantoprosessiin. Harmaalla ympyrällä on havainnollistettu ulkoisia toimittajia, jotka toimittavat tehtaalle ostokomponentit sekä osan materiaaleista, kuten sydänvalmistuksen rainarullat. Osa ostokomponenteista kuten ostosydämet toimitetaan tarkastuksen kautta kokoonpanoon, kun taas ostokäämit toimitetaan prosessiin kalustettavaksi. Vihreät kaaviot puolestaan kuvaavat materiaalin vastaanottoa ja varastointia nykyisissä tuotantotiloissa. Siniset kaaviot kuvaavat tuotannon päätoimintoja, joiden läpi tuotteet ja materiaalit virtaavat. Tuotepuskureita on puolestaan havainnollistettu punaisilla ja keltaisilla kaaviolla. Punaisella merkityt puskurit kuvaavat käämivalmistuksen sisäisiä puskureita, kun taas keltaisilla merkityt puskurit kuvaavat komponenttivalmistuksen ja kokoonpanon välisiä tuotepuskureita. Kaavion loppupäähän lilalla on havainnollistettu komponenttivalmistuksen sisäistä asiakasta eli kokoonpanoa.

4.1.2 Käämivalmistuksen ongelmat

Käämivalmistuksen sisäisten puskurien hajonnan tulokset on esitetty taulukossa yksi. Polttopuskurilla viitataan puskuriin ennen polttovaihetta, uunipuskurilla puskuria ennen käämin kuivausta ja kalustuspuskurilla puskuria ennen käämin kalustusta.

Puskuri	Keskiarvo (kpl)	Keskihajonta (kpl)	Variaatiokerroin
Polttopuskuri	27.0	6.0	22%
Uunipuskuri	35.9	1.9	5%
Kalustuspuskuri	27.4	3.5	13%
Yhteensä	90.3	5.5	6%

Taulukko 1. Käämivalmistuksen sisäisten puskurien hajonta.

Taulukon tuloksista voidaan havaita, että uunipuskuri on selvästi ollut tarkastelujakson vakain puskurialue. Sen keskimääräiseksi kappalemääräksi mitattiin 35,9 kappaletta, ja keskihajonnaksi ainoastaan 1,9 kappaletta, mikä vastaa noin 5% hajontaa keskiarvosta. Tämä viittaa siihen, että uunipuskuriin tuleva ja sieltä poistuva tuotevirta on suhteellisen tasaista. Polttopuskuri taas on puskurialueista vaihtelevin. Sen keskimääräiseksi kappalemääräksi mitattiin 27 kappaletta, ja keskihajonnaksi 6 kappaletta, mikä vastaa noin 22% hajontaa. Tämä tarkoittaa sitä, että polttopuskuriin saapuva ja sieltä lähtevä tuotevirta on suhteellisen epätasaista. Kalustuspuskuri asettuu poltto- ja uunipuskurin väliin 27,4 kappaleen keskiarvolla, 3,5 kappaleen keskihajonnalla ja 13% hajonnalla keskiarvosta.

Taulukossa kuvataan myös koko tarkastellun käämivalmistuksen puskurijärjestelmän yhteenlaskettua kappalemäärää ja sen vaihtelua. Koko järjestelmän keskimääräiseksi kappalemääräksi mitattiin 90,3 kappaletta ja keskihajonnaksi 5,5 kappaletta, mikä vastaa 6% vaihtelua. Koko puskurijärjestelmän hajonta on pienempää kuin poltto- ja kalustuspuskurissa, mutta suurempaa kuin uunipuskurissa. Tämä viittaa siihen, että haasteet vaihtelunhallinnassa esiintyvät usein paikallisilla tasoilla.

Usein puskurikoot vaihtelevat prosessiaikojen, käämien kokojen ja ominaisuuksien, kysynnän vaihtelun, sekä tuotannonohjauksen seurauksena. Esimerkiksi yhden käämin polttoprosessin pituus riippuu usein käämin koosta ja rakenteesta, jolloin suuren käämin poltto usein kerryttää polttopuskuria. Poltettavien käämien suhteellinen määrä vaihtelee myös eri ajanjaksoilla.

Käämin koot vaikuttavat myös uunitettavien käämien määrään. Lavat jonka päällä käämejä siirretään tuotantovaiheiden välillä vaihtelevat usein 1,2 metrin leveydestä 2,2 metrin leveyteen, jolloin kuivausuunin tilakapasiteetti vaikuttaa siihen kuinka monta käämiä voidaan kerralla kuivata. Lisäksi tuotannonohjauksella on merkittävä rooli vaihtelun mahdollistajana. Esimerkiksi polttopuskurin suuri hajonta selittyy viikonlopulla, jolloin polttoprosessi seisoj ja sekä pysty- että vaakakoneilla valmistettiin käämejä. Myös kalustuspuskurin suurta vaihtelua eiintyi vuorojärjestelyn seurauksesta, jolloin kalustusprosessi jäi muusta tuotannosta jälkeen.

Mittausjakson aikana tehtyjen havaintojen perusteella puskurialueiden käyttötarkoitus ei ole yksiselitteinen. Nykytilassa käämit sijaitsee samanaikaisesti useilla eri alueilla ja usein näillä alueilla on yhteinen käyttötarkoitus, jolloin esimerkiksi polttopuskurin ja uunipuskurin käämit menevät sekaisin. Tilannetta hankaloittaa se, ettei käämejä ole merkattu, ja niitä varastoidaan tuotannossa usein ilman selkeää visuaalista ohjausta siitä, mihin prosessivaiheeseen ne ovat menossa. Tämän takia mittauksia ei voitu toteuttaa yksin vaan mittauksen tueksi hyödynnettiin tuotannon työntekijöitä tietoja siitä, mihin puskurialueeseen mikäkin käämi kuului. Esimerkiksi neljäntenä mittauspäivänä polttopuskurialueeseen kuuluvia käämejä löytyi neljältä eri alueelta sekä kulkukäytäviltä. Tämä koituu ongelmaksi erityisesti silloin, kun väärällä puskurialueella tai puskurialueen perällä sijaitseva käämi siirretään työlistalla kärkeen. Tämä johtaa usein siihen, että prosessissa syntyy hukkaa odottamisen, liikkeen ja kuljetuksen muodossa. Käämien etsiminen ja kasasta kaivaminen aiheuttavat työvaiheen odottamista ja heikentää prosessin virtaustehokkuutta lisäämällä arvoa tuottamatonta työtä.

Kääminnän keskeisin haaste liittyy kuitenkin kuivausprosessin jälkeiseen toimintaan, sillä kuivatut käämit pitää saada nopeasti kokoonpanovaiheeseen yläikeen laskuun. Mikäli käämit joutuvat odottamaan prosessissa liian kauan kuivauksen jälkeen, joudutaan käämit uudelleenkuivata kokoonpanossa tai käämivalmistuksessa käämien sitoessa kosteutta. Tämä aiheuttaa ylimääräistä työtä ja vie usein kokoonpanossa tilaa toiselta kriittiseltä muuntajaprojektilta. Kalustuspuskurin suuri koko ja odotusajat lisäävät tätä.

riskiä muuntajan läpimenoajan pidentymiseen. Tilanteen vuoksi ennen kuivausta puskuroitavia käämejä kuvataan usein märkäpuskurina, kun taas kuivauksen jälkeen puskuroitavia käämejä kuivapuskurina. Keskeinen ongelma viittaa siihen, että tuotantoa ohjataan imuohjauksen sijasta usein työntöohjatusti, aiheuttaen kuivapuskurin tarpeettomaa kasvua.

Lean-ajattelun näkökulmasta ongelma ilmenee useina hukan muotoina. Ylituotantoa syntyy, kun käämejä valmistetaan ennen todellista tarvetta, mikä johtaa odotuksiin kuivausprosessissa sekä muiden projektien viivästymiseen. Lisäksi tilanne aiheuttaa liiallista prosessointia, koska käämejä joudutaan uudelleenkuivaamaan ja puristamaan. Tästä seuraa myös tarpeetonta kuljetusta, kun käämejä siirrellään useaan kertaan prosessin eri vaiheiden välillä. Samalla syntyy laatuvirheitä, kun käämit eivät enää täytä käämiltä vaadittuja ominaisuuksia.

4.1.3 Sydänvalmistuksen ongelmat

Sydänvalmistuksessa nykytilan ongelmat esiintyvät käämivalmistuksen tavoin myös puskurialueissa tai alueiden päällekkäisissä käyttötarkoituksissa. Ongelmia esiintyi myös erityisesti materiaalilogistiikan yhteydessä.

Uuden sydänprojektin alkaessa projektille toimitetaan materiaalit logentin varastolta. Projektin materiaalisettilavat vievät usein yhden EUR- ja FIN- lavan kokoisen alueen. Settilavojen lisäksi projektille toimitetaan ala- ja yläpalkit, jotka vievät projektikohtaisesti useamman neliömetrin lattiatilaa. Sydämen alapalkit asennetaan alustalla alkutöissä, ja suuremmissa sydämissä yläpalkit asennetaan lopputöissä. Ongelmaksi koituu kuitenkin se, että yleisimmissä tapauksissa yläpalkit asennetaan vasta kokoonpanovaiheessa, jolloin usean projektin yläpalkit toimitetaan sydänvalmistukseen muiden materiaalien yhteydessä odottamaan sydämen valmistusta.

Yläpalkit vievät tuotannossa usein merkittävästi lattiatilaa. Tämä aiheuttaa sen, että yläpalkkeja joudutaan varastoimaan lattialla tuotannon virtauskohdissa tai hyllytilan edessä aiheuttaen tuotantoalueiden päällekkäisiä käyttötarkoituksia. Lattialla varastoitavia yläpalkkeja joudutaan päivittäin siirtämään pois tuotannon edestä. Ylimääräiset siirrot lisäävät arvoa tuottamatonta työtä turhien nosto-operaatioiden ja ylimääräisten kuljetusten muodossa.

Lattia-alueiden ongelmat esiintyvät myös sydämen lakkauksen ja puskuroinnin yhteydessä. Nykytilassa sydämille ei ole määritelty erillistä puskurialuetta vaan puskurialueeksi usein määritellään nykyinen lakkausalue. Tämä johtaa siihen, että lakkausalueelle puskuroidut sydämet vievät arvokasta lattiatilaa lakkaukseen saapuvilta sydämiltä.

Kun lakkausalueen tilakapasiteetti on käytetty täysin, voidaan keskeneräiset työt E-Stackerilla sekä alku- ja lopputyöalueella tehdä loppuun. Sydänvalmistuksen prosessi pysähtyy kuitenkin sydämen kääntölaitteelle, koska sydämiä ei voida kääntää ja siirtää lakkausalueelle. Sydämen puskuroinnissa esiintyvät ongelmat johtavat tuotannon pysähdyksiin ja odotuksiin. Pysähtynyt tuotanto heikentää koko muuntajatuotantoprosessin virtaustehokkuutta kasvattamalla odotusaikoja ja lisäämällä arvoa tuottamatonta työtä.

4.1.4 Nykytilan yhteenveto

Nykytilan analyysin perusteella komponenttivalmistuksen keskeiset ongelmat esiintyvät erityisesti tuotantovirran ja ohjauksen hallinnassa, puskurirakenteissa ja sen myötä laadunhallinnassa. Layoutin ja virtauksen hallittavuuden taustalla korostuu myös vaihtelu, joka aiheuttaa ongelmia ympäristön käyttäytymisen ennustettavuudessa. Sekä käämi- että sydänvalmistuksessa havaitut tekijät vaikuttavat suoraan komponenttivalmistuksen virtaustehokkuuteen ja tekijöihin, jotka lisäävät tuotantoympäristössä esiintyvää hukkaa.

Käämivalmistuksessa ongelmat korostuvat erityisesti sisäisten puskurien käyttäytymisellä. Analyysi näyttää kuinka puskurien koot ja sijainnit eivät toimi suunnitelmallisina tuotannonohjauksen välineinä, vaan ne usein reagoivat prosessissa esiintyviin epätasaisuuksiin. Erityisen kriittiseksi ongelmakohdaksi nousi kuivausprosessin jälkeinen vaihe, jossa suuret puskurikoot ja ylimääräinen työ lisäävät riskiä läpimenoajan kasvamisesta ja ylimääräisistä kustannuksista. Lisäksi puskurialueiden hajannainen ja epäselvä käyttö lisäävät tuotteiden tarpeetonta käsittelyä ja resurssien hukkakäyttöä.

Sydänvalmistuksessa esiintyvät ongelmat liittyivät erityisesti materiaalilogistiikkaan sekä alueiden määrittelemättömyyksiin. Ylimääräisten materiaalien käsittely ja varastointi vaikeuttavat tuotannon sujuvuutta ja voivat katkaista virtauksen eri toimintojen välillä. Lisäksi keskeneräisten sydämien varastoinnin suunnittelemattomuus johtaa toimintojen kuormittumiseen ja voi pahimmassa tapauksessa johtaa tilanteeseen, jossa tuotanto joudutaan pysäyttämään.

4.2 Tavoitteiden asettaminen

Tässä alaluvussa layoutin suunnittelua varten asetetaan layout-projektille tavoitteet. Ensimmäiseksi tavoitteeksi asetettiin tuotantovirtaa tukeva layout. Sen tavoitteena on suunnitella layout, jossa tuotannon toiminnot ja puskurialueet ovat sijoitettuna loogisesti prosessin mukaisesti. Tehokkaalla ja hyvin suunnitellulla tuotantovirralla pyritään minimoimaan tuotannon virtauksesta aiheutuvat siirtomatkat.

Toisena tavoitteena on suunnitella layout, joka huomioi tuotannon vaihtelun ja tukee samanaikaisesti sekä laadunhallintaa että tuotannonohjausta. Tämä tarkoittaa, että puskurialueet ja materiaalialueet mitoitetaan ja sijoitetaan siten, että ne toimivat vaihtelevissa kuormitustilanteissa ja eri tuokokojen yhteydessä. Keskeisenä tavoitteena on luoda layout, joka toimisi tuotannonohjauksen työkaluna ja mahdollistaisi märkä- ja

kuivapuskurin välisen suhteen hallinnan. Tämän tavoitteena on ehkäistä kuivapuskurin liiallista kasvua sekä siihen liittyviä laatuongelmia.

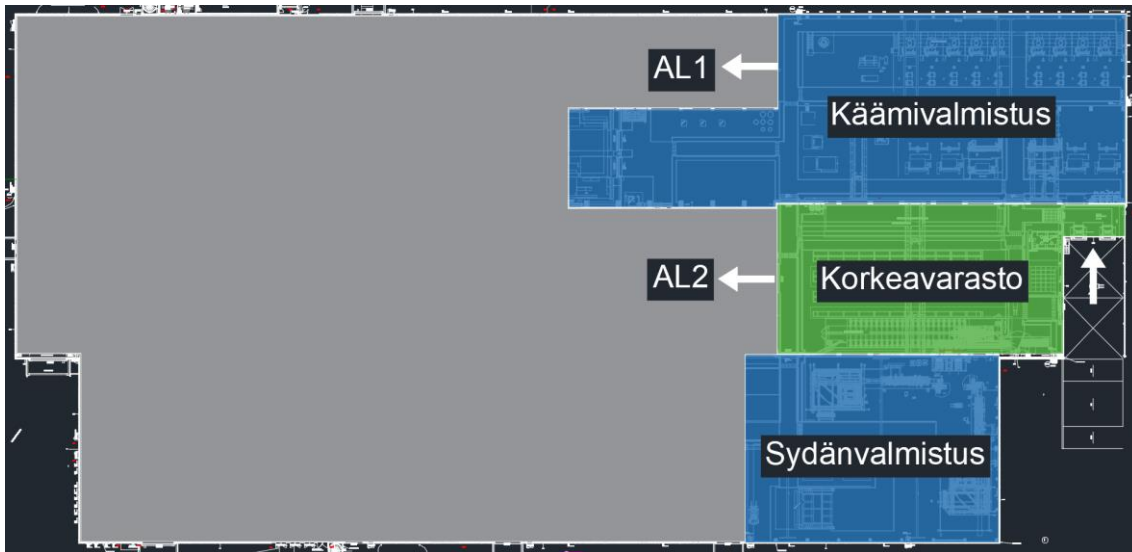
Viimeisenä tavoitteena on visuaalinen ja 5S:n mukainen selkeä ja järjestelmällinen työympäristö. Layoutin tulee olla visuaalisesti selkeä, jotta layout on helposti ymmärrettävissä. Lisäksi tuotannon tarvikkeet tulee sijoittaa niiden käyttöasteen mukaisesti. Käyttöasteen mukaisen sijoittelun tavoitteena on vähentää työntekijän ja tuotannossa tarvittavien tarvikkeiden kuljettua matkaa.

4.3 Layout-suunnittelu

Tässä alaluvussa käydään layout-suunnittelua koskevat keskeiset analyysit ja luodaan edellytykset vaihtoehtoisten layoutien kehittämiseksi. Layout-suunnittelu on toteutettu kuviossa kaksi esitetyn layout-suunnittelu -vaiheen mukaisesti, ja se on jaettu lähtetietoihin ja toimintoihin, toimintojen välisiin suhteisiin, tuotannon tilatarpeisiin, sekä yksityiskohtaiseen suunnitteluun.

4.3.1 Lähtötiedot ja toiminnot

Tutkimuksen rajaus on esitetty Vikbyn uuden muuntajatehtaan kuvassa 12. Siniset alueet kuvaavat komponenttivalmistusosastoa ja vihreä alue puolestaan kuvaa koko tehtaan yhteistä korkeavarastotilaa. Kuvassa on myös havainnollistettu komponenttivalmistuksen sisäiset asiakkaat AL2, joka sijaitsee korkeavaraston vasemmalla puolella, sekä AL1, joka sijaitsee käämivalmistuksen vasemmalla puolella. AL1 ja AL2 kuvaavat kahta erillistä kokoonpanolinjaa, joista käytettiin nykytilassa nimitystä kokoonpano. Valkoisilla nuolilla on havainnollistettu materiaalivirran saapumista korkeavarastoon sekä tuotevirtoja kokoonpanolinjoille.



Kuva 12. Layout-suunnittelun rajausta Vikbyn tehtaalla.

Suunnittelun lähtötietona on käytetty komponenttien vuosittaisia ja päivittäisiä kysyntäennusteita vuosille 2027 ja 2030, jotka on esitetty taulukossa kaksi. Taulukon mukaan käämien kokonaisvolyymi kasvaa vuosien 2027 ja 2030 välillä 45%, kun taas sydämien volyymi kasvaa 44% ja yläikeiden 53%. Lisäksi pysty-, vaaka- ja kerroskoneilla valmistettavien käämien määrän odotetaan kasvavan lähes 98%. Foliokoneella valmistettavien käämien ja ostokäämien odotetaan pysyvän vakiona.

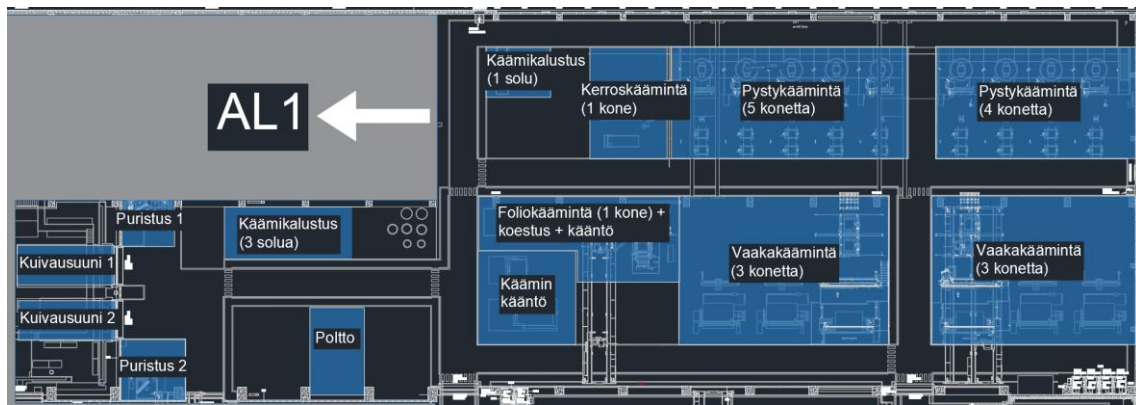
Käämien kysyntä (kpl)				Sydämien kysyntä (kpl)				Yläikeiden kysyntä (kpl)			
2027	2030	2027	2030	2027	2030	2027	2030	2027	2030	2027	2030
Vuosi	Päivä	Vuosi	Päivä	Vuosi	Päivä	Vuosi	Päivä	Vuosi	Päivä	Vuosi	Päivä
Pysty-, vaaka-, ja kerroskäämintä				E-stacker				E-stacker			
Muuntajatuotepihe 1	x	x	x	Muuntajatuotepihe 1	x	x	x	Muuntajatuotepihe 1	x	x	x
Muuntajatuotepihe 2	x	x	x	Muuntajatuotepihe 2	x	x	x	Muuntajatuotepihe 2	x	x	x
Muuntajatuotepihe 3	x	x	x	Muuntajatuotepihe 3	x	x	x	Muuntajatuotepihe 3	x	x	x
Muuntajatuotepihe 4	x	x	x	Muuntajatuotepihe 4	x	x	x	Muuntajatuotepihe 4	x	x	x
Muuntajatuotepihe 5	x	x	x	Muuntajatuotepihe 5	x	x	x	Muuntajatuotepihe 5	x	x	x
Muuntajatuotepihe 6	x	x	x	Muuntajatuotepihe 6	x	x	x	Muuntajatuotepihe 6	x	x	x
Muuntajatuotepihe 7	x	x	x	Muuntajatuotepihe 7	x	x	x	Muuntajatuotepihe 7	x	x	x
Muuntajatuotepihe 8	x	x	x	Muuntajatuotepihe 8	x	x	x	Muuntajatuotepihe 8	x	x	x
Muuntajatuotepihe 9	x	x	x	Muuntajatuotepihe 9	x	x	x	Muuntajatuotepihe 9	x	x	x
Yhteensä	x	x	x	Muuntajatuotepihe 10 ja 12	x	x	x	Muuntajatuotepihe 10 ja 12	x	x	x
Foliokäämintä				Muuntajatuotepihe 11	x	x	x	Muuntajatuotepihe 11	x	x	x
Muuntajatuotepihe 10	x	x	x	Yhteensä	x	x	x	Yhteensä	x	x	x
Muuntajatuotepihe 11	x	x	x								
Yhteensä	x	x	x								
Ostokäämit				Ostosydämet				Yhteensä			
Muuntajatuotepihe 12	x	x	x	Muuntajatuotepihe 10	x	x	x				
Yhteensä	x	x	x	Yhteensä	x	x	x				
Yhteensä	x	x	x	Yhteensä	x	x	x	Yhteensä	x	x	x

Taulukko 2. Komponenttien kysyntäennuste 2027-2030.

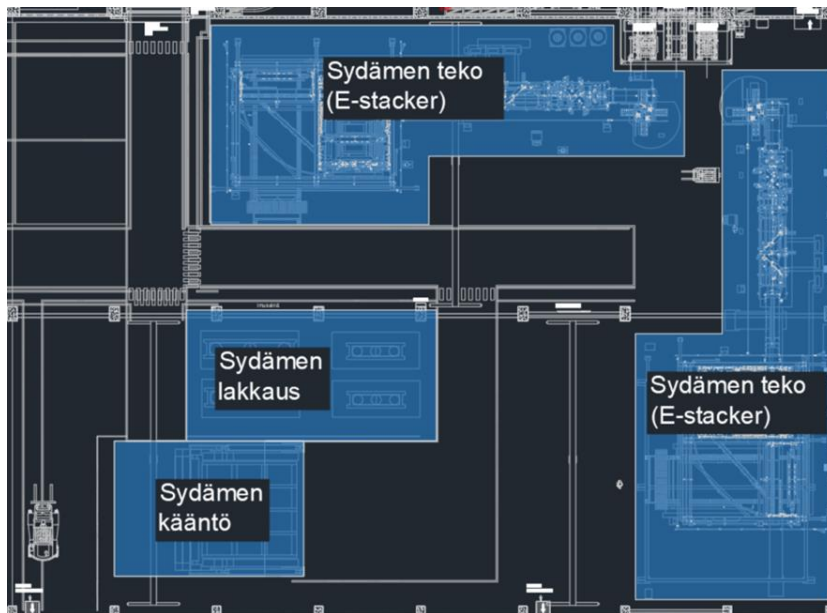
Komponenttien kysyntäennusteen lisäksi layout-suunnittelun tueksi on luotu Vikbyn tehtaassa komponenttivalmistuksen prosessikaavio, joka on esitetty kuviossa neljä. Kaavion on tarkoitus kuvata nykytilan prosessikaavion mukaisesti

kappaleesta kahdeksaan kappaleeseen. Lisäksi logentin varaston korvaa muuntajatehtaan lähettyville rakennettava logistiikkakeskus.

Lähtötilanne layout-suunnittelulle on esitetty alla esiintyvissä käämi- ja sydänvalmistuksen kuvissa 13 ja 14. Kuvissa sinisellä on havainnollistettu ennen suunnittelun alkua määritellyt paikat tuotannon toiminnoille, joiden sijaintia ei voi suunnittelun aikana muokata. Käämivalmistuksessa tämä koskee kaikkia tuotannon toimintoja. Sydänvalmistuksessa puolestaan ennalta määriteltäviä alueita ovat E-stackereiden, sydämen kääntölaitteen ja sydämen lakkausalueen sijainnit.



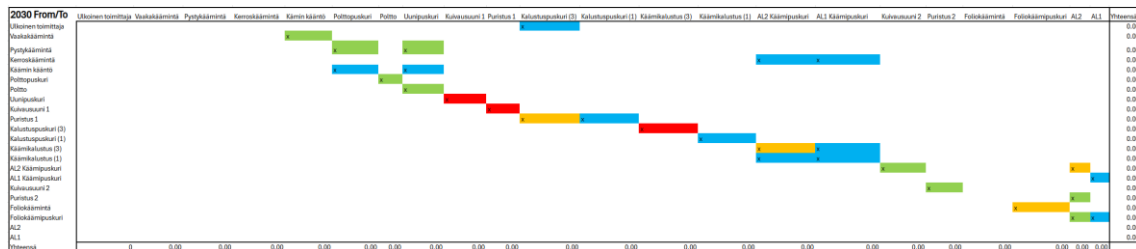
Kuva 13. Käämivalmistuksen lähtötilanne Vikbyn tehtaalla.



Kuva 14. Sydänvalmistuksen lähtötilanne Vikbyn tehtaalla.

4.3.2 Toimintojen väliset suhteet

Käämivalmistuksen from-to-taulukko on esitetty taulukossa kolme. Siinä tuoteperheiden avulla pystyttiin erottelemaan foliokääminnän volyyymi muusta kääminnästä, jolloin foliokääminnän päivittäisenä keskiarvovirtana käytettiin muuntajatuoteperheitä 10 ja 12. Kerros-, vaaka, ja pystykääminnästä eteenpäin virtaavia käämejä oli haastava jakaa tuoteperheiden välillä, jolloin käytettiin oletusta, että päivittäinen vuoden 2030 keskiarvovirta valmistettaisiin suhteessa koneiden lukumäärien mukaisesti. Näin ollen pystykäämikoneilla valmistettaisiin 56.25% käämeistä (yhdeksän konetta), vaakakoneilla 37.5% käämeistä (kuusi konetta), ja kerroskäämikoneella 6.25% käämeistä (yksi kone). Kalustustettavat ja kokoonpanoon menevät käämit jaettiin kalustussolujen määrien mukaisesti 75% (kolme solua) ja 25% (yksi solu), ja 2030 vuoden kokoonpanosolujen määrien mukaisesti 80% (kahdeksan AL2 solua) ja 20% (kaksi AL1 solua). Polttoon meneviksi käämeiksi on luokiteltiin 50% käämeistä ja uudelleenkuivaukseen sekä puristukseen 40% käämeistä.



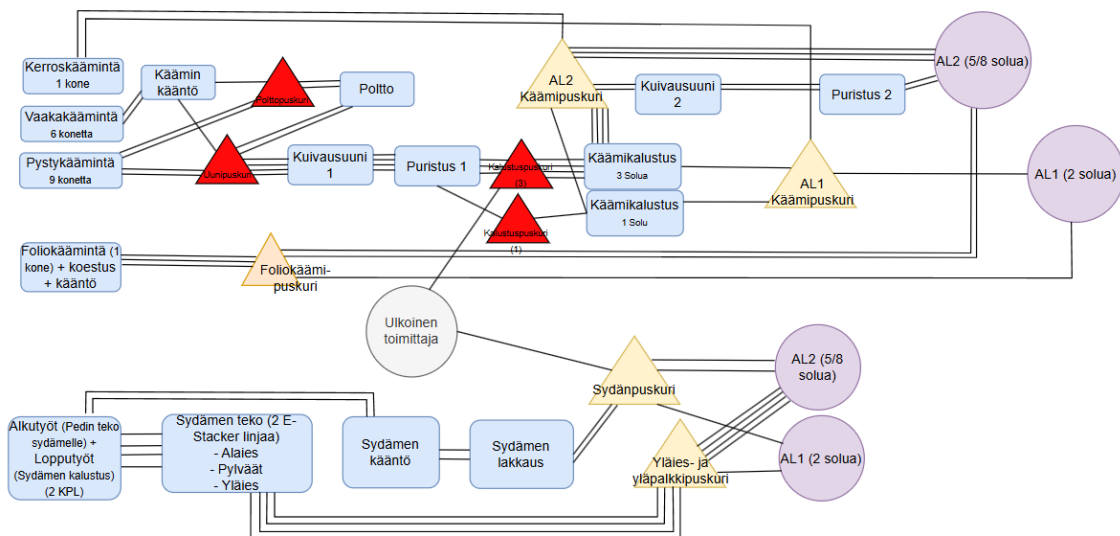
Taulukko 3. Käämivalmistuksen from-to-taulukko vuoden 2030 volyymilla.

Sydänvalmistuksen from-to-taulukko on esitetty taulukossa neljä. Taulukossa huomioitiin ja summattiin sekä sydämien että yläikeiden vuoden 2030 päivittäiset keskiarvovirrät. Jakautuminen AL2 ja AL1 välillä muodostettiin käämivalmistuksen tavoin. Lisäksi E-Stackerin sekä alku- ja lopputöiden välillä on kaksisuuntainen virtaus, jossa sydän siirtyy alku- ja lopputyöalueelta E-Stackerille ja takaisin. Näiden virrat yhdistettiin, jolloin niiden väliseksi keskimääräiseksi päivävirtaukseksi saatiin X kappaletta.

From/To	Ulkoinen toimittaja	Alku- ja lopputyöt	E-stacker	Sydämen kääntö	Sydämen lakkaus	Sydänpuskuri	Yläiespuskuri	AL2	AL1	Yhteensä
Ulkoinen toimittaja						x				0.00
Alku- ja lopputyöt			x	x						0.00
E-stacker		x					x			0.00
Sydämen kääntö					x					0.00
Sydämen lakkaus						x				0.00
Sydänpuskuri								x	x	0.00
Yläiespuskuri								x	x	0.00
AL2										0.00
AL1										0.00
Yhteensä	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

Taulukko 4. Sydänvalmistuksen from-to-tilaus vuodel 2030 volyymilla.

Toimintojen välinen suhdekaavio on esitetty kuviossa viisi. Kuviosta voidaan havaita välttämättömät ja ei niin välttämättömät virtaussuhteet eri toimintojen ja puskurialueiden välillä. Kaavio tukee erityisesti liike- ja kuljetushukan minimoinnissa, koska se toimii päätöksentekotyökaluna toimintojen ja puskurialueiden sijoittamisessa uudessa layoutissa.



Kuvio 5. Toimintojen välinen suhdekaavio.

Layout-suunnittelun näkökulmasta kaaviosta tarkastellaan ensin kriittisimmät neljän viivan suhteet ja edetään kohti ei niin välttämättömiä yhden viivan virtaussuhteita. Esimerkiksi kalustuspuskuri (3) ja kolmen solun käämikalustuksen välinen läheisyysuhde on välttämätön ja ne tulee sijoittaa toistensa läheisyyteen. Puolestaan kerroskääminnän

ja AL1 käämipuskurin läheisyyden tarve ei ole välttämätön, eikä niitä tarvitse sijoittaa toistensa läheisyyteen.

4.3.3 Tuotannon tilatarpeet

Tuotannon tilatarpeiden määrittelyssä keskitytään alueisiin, joiden tilatarpeita ei ole ennalta määritelty. Tähän kuuluvat korkeavaraston materiaalialue, puskurialueet, tuotannon sisäiset materiaalialueet sekä loput tuotannon toiminnot. Tilatarpeita määriteltäessä huomioidaan myös käytettävissä oleva tila.

Korkeavarastoon saapuvien materiaalien alue kuvaa vastaanottoaluetta, johon tuotannossa käytettävät materiaalit toimitetaan. Korkeavarastoon toimitetaan kääminnän-, käämikalustuksen-, sydämen alku- ja lopputöiden materiaalit, sekä E-Stacker valmistuksessa käytettävät rainarullat. Kaikki materiaalit toimitetaan tarpeen mukaisesti logistiikkakeskuksesta poislukien rainarullat, jotka toimitetaan ulkoisen toimittajan puolesta.

Materiaalien vastaanottoalueeksi määräytyi lattiatila, johtuen materiaalien koosta tai siitä, että osa materiaaleista pitää tarkistaa ennen työvaiheeseen siirtoa. Korkeavaraston lattiatilan ollessa rajallinen tavoitteena oli löytää ratkaisu, jossa vastaanottoalue vastaa tuotannon tarpeita kuitenkin viemättä liiallisesti tilaa muilta osastoilta. Tämän vuoksi suunnittelussa pyrittiin hyödyntämään imuohjauksen ja Just-in-Timen periaatteita, jossa vastaanottoaluetta täydennetään ja tyhjennetään seuraavan prosessivaiheen kulutuksen mukaisesti.

Suunnittelussa päädyttiin siihen että alku- ja lopputöiden materiaalit tarvitsevat yhden päivän pinta-alan, koska vastaanottoalueelle saapuvat materiaalit tulee tarkistaa sen päivän sisällä ennen työvaiheen aloittamista. Kääminnän ja käämikalustuksen materiaalinpinta-ala puolitettiin yhdestä päivästä puoleen päivään sillä oletuksella, että

materiaalit toimitettaisiin kaksi kertaa päivässä eikä materiaaleja tarvitsisi erikseen tarkistaa. Näin lattiapinta-alaa jakautuisi tehtaan muille osastoille.

Logistiikkavarastolta saapuvien materiaalien pinta-alatarpeen määrittämisen jälkeen määriteltiin sydämen rainarullien vastaanottoalueen koko. Arviota rainarullien kappalemääristä tuoteperhekohtaisesti ja toimitusajankohdista on vaikeampi määrittää, koska rainarullien tarve on usein riippuvainen toimittajasta ja rainarullien toimitusajankohdat ovat epäsäännöllisiä. Näin ollen rainarullien vastaanottoalueen kooksi päädyttiin tyyppillisen puoliperävaunun kokoon, joka vastaa 33 neliömetriä. Näin vastaanottoalue tulisi aina tyhjentää ennen uuden toimituksen vastaanottamista.

Alla esitettyssä kuvassa 15 on esitetty materiaalin vastaanottoalueen koko vuosina 2027 ja 2030. Kuvasta voidaan havaita yhteys kysyntäennusteisiin, sillä pysty-, vaaka ja kerroskoneilla valmistettavien käämien korkea kysynnän kasvu näkyy suoraan myös kääminnän materiaalien vastaanottoalueen korkeana tilatarpeen kasvuna. Lisäksi rainarullien vastaanottoalueen koon pysyessä ennallaan kysynnän kasvu näkyy toimistusten tiheytyksenä, mikä korostaa sitä, että sisäisen logistiikan tulee pystyä reagoimaan aiempaa nopeampaan toimitustahtiin vuotena 2030. Yhteensä vuonna 2027 materiaalin vastaanottoalue vie korkeavarastosta noin 68 neliömetrin alueen, kun taas vuonna 2030 vastaava luku on 90 neliömetriä.



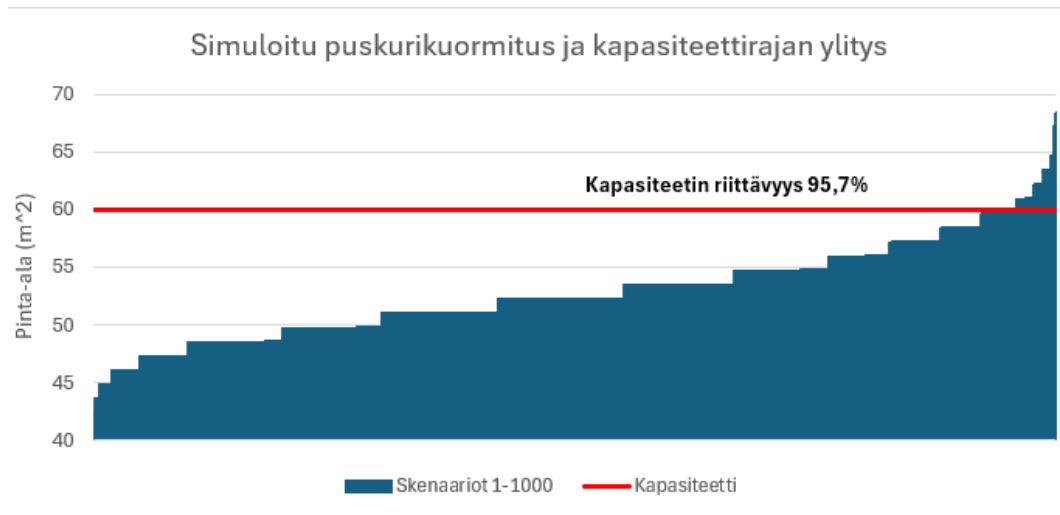
Kuva 15. Materiaalin vastaanottoalueen koko vuosina 2027 ja 2030.

Vastaanottoalueen koon määrittämisen jälkeen siirryttiin puskurialueiden ja kääminnän kalustusmateriaalialueen mitoittamiseen. Molemmissa ongelmaa tarkasteltiin Monte Carlo -simulaation avulla, jossa tavoitteena oli arvioida alueiden käyttäytymistä sekä mahdollisia kuormitustilanteita vuosille 2027 ja 2030. Simulaation avulla pyrittiin erityisesti huomioimaan tuotantoympäristölle tyypillinen vaihtelu, jossa puskurialueissa käämilavojen, sydämien, ieslevyjen ja yläpalkkien koot sekä niiden keskinäiset osuudet huomioitiin, ja kalustusmateriaalialueilla eri projektikoot huomioitiin.

Skenaario	Yhteensä (kpl)	Pienet (kpl)	Keskikoko (kpl)	Isot (kpl)	Pinta-ala (m ²)	Ylitys
1	26	18	8	0	51.0	0
2	26	19	5	2	54.8	0
3	26	21	4	1	49.9	0
4	26	18	8	0	51.0	0
5	26	21	3	2	52.4	0
6	26	16	10	0	53.5	0
7	26	12	12	2	63.4	1
8	26	19	6	1	52.3	0
9	26	17	8	1	54.8	0
10	26	20	6	0	48.6	0
...						
1000	26	22	4	0	46.1	0

Taulukko 5. Esimerkki käämipuskurialueen simuloiduista skenaarioista.

Taulukossa viisi on esitetty esimerkki käämipuskurisimulaation toteutuksesta vuoden 2030 kokojakaumalla. Tässä simulaatiossa syötteinä on käytetty 26 käämiä ja 60 neliömetrin tilakapasiteettia. Simuloinnissa todellisena alueena käytettiin polttoalueen oikealle puolella sijaitsevaa tyhjää aluetta ja simulaatiossa hahmoteltiin, kuinka monta käämiä alueelle mahtuisi 100% kapasiteetin riittävyydellä. Pienien osuudessa on käytetty 69,5% todennäköisyyttä, keskikokoisissa 27,4%, ja isoissa 3,1%, joka vastaa vuoden 2030 ennustettua kokojakaumaa. Taulukosta voidaan havaita, että skenaario seitsemän ylittää puskurialueen kapasiteetin. Tämä johtuu siitä että keskikokoisten ja isojen käämien suhde pieniin on suurempi kuin muissa skenaarioissa.



Kuva 16. Esimerkki simuloidusta puskurikuormituksesta ja kapasiteetin ylityksestä.

Yllä esitettyssä kuvassa 16 on esitetty taulukon viisi simulointituloksia. Kuvasta voidaan nähdä että skenaariot alittavat kapasiteetin 95,7% kerroista kun puskurialueen käämikappalemäärä on 26 ja kapasiteetti 60 neliometriä. Tämä tarkoittaa sitä, että näissä skenaarioissa kaikki käämit mahtuvat puskurialueelle. Tulos osoittaa myös, että 4,3% skenaarioista osa käämeistä jouduttaisiin varastoimaan muualla, esimerkiksi käytävällä tai toisella puskurialueella toistaen nykytilassa esiintyviä ongelmia. Jos kapasiteetin riittävyyttä haluttaisiin nostaa 100 prosenttiin, pitäisi kapasiteettia nostaa lähemmäs 70 neliometriin tai puskurialueen yhteiskappalemääriä laskea, jotta kaikki skenaariot laskisivat kapasiteettirajan alle. Tehtaassa, jossa toimintojen sijainnit on jo määritelty ja täten tyhjäksi jääneet alueet on jo määritelty on kapasiteetin kokoa lähes mahdoton muuttaa. Tällöin käämien kokonaismäärää alueella tulisi vähentää, tai puskurialue tulisi sijoittaa toiseen kohtaan jossa kapasiteettia olisi enemmän.

Käämivalmistuksen puskurialueiden simulointeja tehdessä oli myös huomioitava tuotejakaumat eri prosessinvaiheissa. Esimerkiksi käämivalmistuksessa poltto- ja uunipuskurin tuotejakauma on eri kuin kalustus- ja kokoonpanopuskureissa, koska muuntajatuoteperheen 12 käämit toimitetaan suoraan kalustuspuskuriin. Näin ollen prosessissa kalustuspuskurista eteenpäin pienien käämien suhde muihin käämikokoihin kasvaa, joka huomioitiin näiden puskurialueiden simuloinneissa.

Sydänvalmistuksessa puskurialueiden kooksi haluttiin määrittää kahden viikon puskurit. Kahden viikon arvioi puskuritarpeesta perustuu toimihenkilöiden kokemukseen puskurialueiden koosta sydänvalmistuksessa. Lisäksi kokoonpano nähdään usein muuntajaproessin pullonkaulana, jolloin prosessin eteen halutaan luoda kohtuullisen suuri puskurikoko. Tämän vuoksi simulaatiossa syötearvoina käytettiin vuosien 2027 ja 2030 päiväksynnän keskiarvoa, jotka kerrottiin kahden viikon työpäivillä. Esimerkiksi, jos kahden viikon kysynnän keskiarvo olisi 15 sydäntä, simulaatio generoisi skenaarioita siten, että sydämiä olisi yhteensä 15 puskurialueella. Näin kapasiteettia muutettaisiin siihen asti, että riittävydeksi saadaan 100%.

Puskurialueiden suunnittelun lisäksi simulaatiota käytettiin kalustusmateriaalialueen aluekoon määrittämiseen. Käämikalustuksessa materiaalit toimitetaan muuntajaprojektikohtaisesti kalustusalueelle, koska saman muuntajan käämit valmistuvat eri ajankohtina. Esimerkiksi yksittäisen muuntajan yhdeksästä käämistä ensimmäinen voi saapua kalustukseen päivänä yksi, kun taas viimeinen käämi voi saapua päivänä 15. Tämän seurauksena saman projektin materiaalit kertyvät kalustualueelle ja voivat viipyä alueella pidemmän aikaa. Esimerkiksi muuntajatuoteperheen 3 muuntaja luokiteltiin isoksi projektiksi, koska muuntajan kalustamiseen tarvitaan yksi lieriölava ja kolme settikärryä, kun taas muuntajatuoteperheen 7 muuntaja luokiteltiin pieneksi projektiksi, koska sen kalustamiseen tarvitaan vain yksi lieriölava ja yksi settikärry. Pienet ja isot kalustusprojektien volyymit suhteutettiin samantapaisesti vuosille 2027 ja 2030 ja simuloitiin puskurialueiden mukaisesti.

Sydänvalmistuksessa alku- ja lopputyöalueiden kokoa ei ollut ennalta määritelty. Niiden tilatarpeissa huomioitiin paletti, jonka päällä sydämen peti tehdään ja jonka päällä sydän kalustetaan. Lisäksi tilatarpeissa tuli huomioida paletin ympärillä oleva työskentelyalue. Uudemmassa E-Stackerissä pystytään valmistamaan suurempia sydämiä, jolloin paletin mitaksi saatiin 30,8 neliometriä, vanhemmassa E-stackerissa paletin mitaksi puolestaan

saatiin 21,4 neliometriä. Palettien ympärille lisättiin työskentelyalue, jonka kooksi määriteltiin paletin reunasta 1,5 metriä.

4.3.4 Yksityiskohtainen 5S-suunnittelu

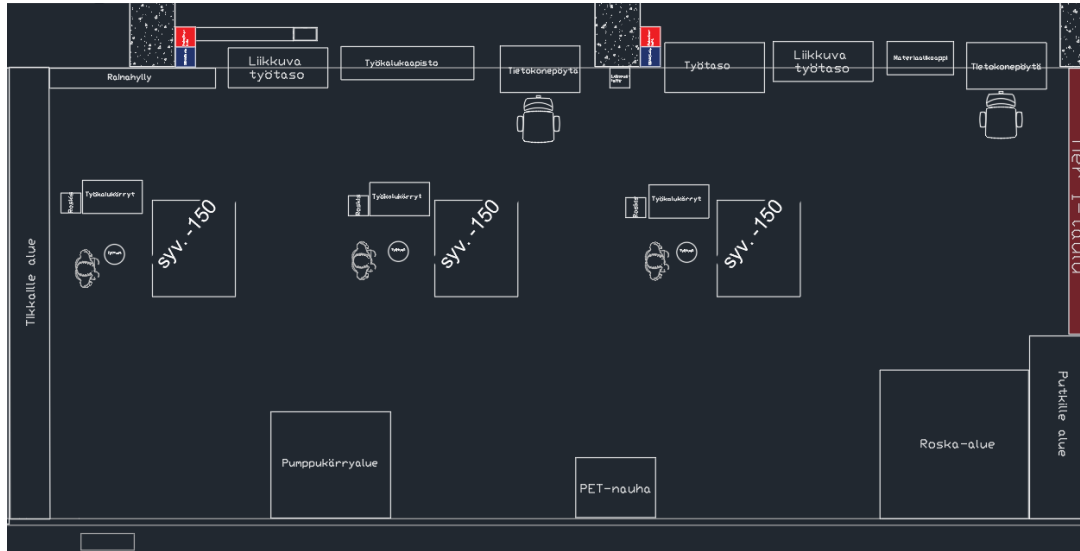
Yksityiskohtaisessa 5S-suunnittelussa on muodostettu ratkaisuja kerätyn aineiston perusteella. Taulukossa kuusi on esitetty esimerkki kalustusalueen 5S-aineistonkeruun tuloksista. Taulukosta voidaan havaita kalustusalueella käytettävät tarvikkeet, niiden kappalemäärät, mitat, käyttöaste sekä aineistonkeruun yhteydessä saadut havainnot.

Käämikalustus (3)					
Tarvike	Kpl	Pituus (mm)	Leveys (mm)	Käyttöaste (1-3)	Huomio
Tietokonepöytä	2	700	1200		1 Saa olla sivummalla
Tuolit	2	600	500		1 Tietokoneen ympärille
Työtaso	1	750	1500		1 Saisi olla leveämpi
Työkalukaapisto	1	500	2000		1 -
Materiaalikaappi	1	500	1000		1 -
Työkalukärryt	3	500	900		1 Työkalut mitä kalustuksessa tarvitaan
Tikkaille alue	1	600	6800		1 Tikkaat eri kokoisia
Liikkuva työtaso	2	600	1500		1 Tässä liimataan kiiloja
Työtuolit	3	300	300		1 Käytetään kalustuksessa
Roska-alue	1	2250	2250		1 Sijoitettava sivulle
Tier-1 taulu/infotaulu	1	100	2000		1 Sivulle, tässä pidetään päivittäiset palaverit
PET-nauha	1	900	1200		1 Sijoitettava kalustussolujen väliin
Putkille alue	1	900	3000		1 Sijoitettava sivulle
Roskateline	3	300	300		1 Kalustuksen roskille
Rainahylly	1	400	2500		1 Sijoitettava sivulle
Pumppukärryalue	1	1800	1600		1 Sijoitettava tikkaiden viereen
Paineilmakela	2	300	300		1 -
Leimauslaite	1	100	300		1 Oltava yhden tietokoneen vieressä
Sähkökela	2	300	300		1 -
Siivouskaappi	1	800	400		2 Sijoitettava sivulle
Latauskaappi	1	400	900		2 Sijoitettava sivulle

Taulukko 6. Esimerkki kalustusalueen 5S-aineistonkeruun tuloksista.

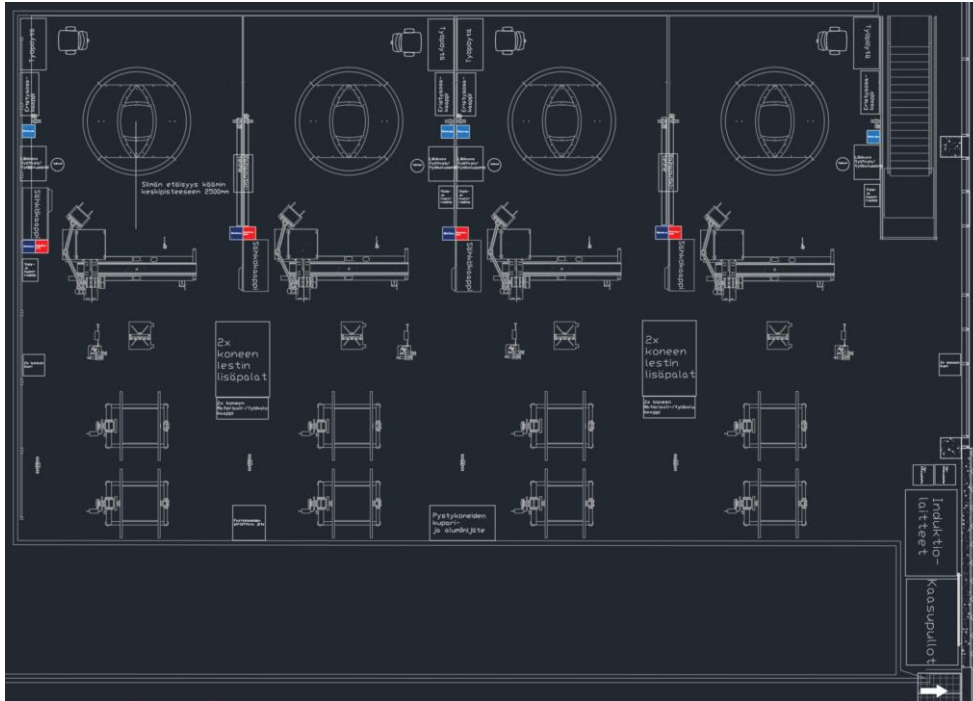
Kuvassa 17 on esimerkki kalustusalueen yksityiskohtaisesta layoutista. Layout suunniteltiin siten, että päivittäisessä käytössä olevat tarvikkeet sijoitettiin työvaiheen välittömään läheisyyteen, mikä vähentää tarpeentonta liikkumista. Työntekijöiden näkemykset huomioitiin sijoittelussa erityisesti niiden tarvikkeiden osalta, jotka tulee sijoittaa toistensa viereen tai alueen sivulle. Esimerkiksi pumppukärryalue sekä tikkaiden alue on sijoitettu toistensa välittömään läheisyyteen ja roska-alue on sijoitettu alueen

sivulle. Alueen ulkopuolelle on puolestaan sijoitettu viikottain käytettävät tarvikkeet, kuten siivouskaappi tai latauskaappi, jotka eivät näy kuvassa.



Kuva 17. Kalustusalueen yksityiskohtainen layout.

Kuvaan 21 on esitetty esimerkki yksityiskohtaisen suunnittelun toteutuksesta neljälle pystykoneelle. Kahdesta pystykoneesta tehtiin toistensa peilikuvat, mikä mahdollistaa yhteisten tarvikkeiden, kuten rainaputkitelineen tai materiaali- ja työkalukaappien yhteiskäytön. Kuvassa esiintyy myös suunnittelua muokkaavia tekijöitä, kuten kaasupullojen ja induktiolaitteiden sijoittaminen ulko-oven läheisyyteen, jota ohjasivat HSE:n antamat yleiset ohjeistukset turvallisuudesta. Rakennustekniset ratkaisut ohjasivat pystykoneiden layoutin suunnittelua erityisesti sillä, kuinka sähkökaapit sekä sähkö- ja paineilmakelat jouduttiin sijoittamaan lattian alla menevien kaapelointi-putkitusratojen välittömään läheisyyteen. Samoja periaatteita hyödynnettiin muiden alueiden yksityiskohtaisissa suunnitteluissa. Erityisen merkityksellisenä tuloksena on myös silmän etäisyys käämin keskipisteestä, jota saatiin kasvatettua kesken suunnittelun yhdellä lisämetrillä. Muutos saatiin yksityiskohtaisen suunnittelun aineistonkeruun aikana, jossa käämisoluista ja niiden layouteista keskusteltiin yhdessä käyttäjien kanssa.



Kuva 18. Neljän pystykoneen layout.

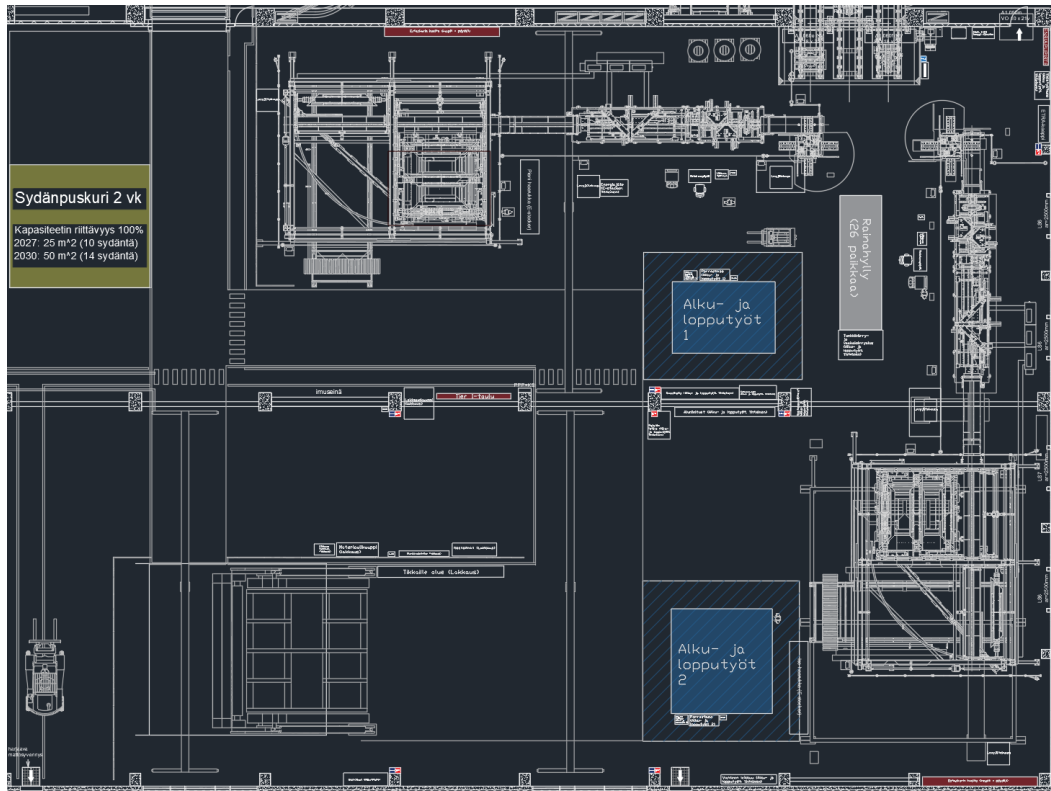
4.4 Layout-vaihtoehtojen arviointi

Tässä alaluvussa käydään läpi komponenttivalmistuksen layout-ratkaisut. Alaluvussa layoutien virtausta esittävät kuvat on tehty havainnollistamaan kuviossa neljä esitetyn prosessikaavion mukaista virtausta, eikä se kuvaa kaikkia tuotannon poikkeustapauksia. Alaluku on jaettu vaihtoehtoja yhdistäviin tekijöihin, kahteen layout-vaihtoehtoon, ja niiden arviointiin.

4.4.1 Yhteistä vaihtoehtoille

Vaihtoehtoja yhdistäviin tekijöihin on lisätty layout- ja virtausratkaisut, jotka pysyvät samoina sekä vaihtoehtoissa A että B. Nämä ratkaisut suunniteltiin pitkälti yhdessä kohdeyrityksen kanssa eikä niille nähty tarpeelliseksi kehittää vaihtoehtoisia ratkaisuja. Molemmille vaihtoehtoille yhteistä on sydänvalmistuksen layout ja virtaus,

korkeavaraston layout ja virtaus, käämivalmistuksen materiaali- ja foliokäämivirtaus, sekä yksityiskohtaiset layoutit.

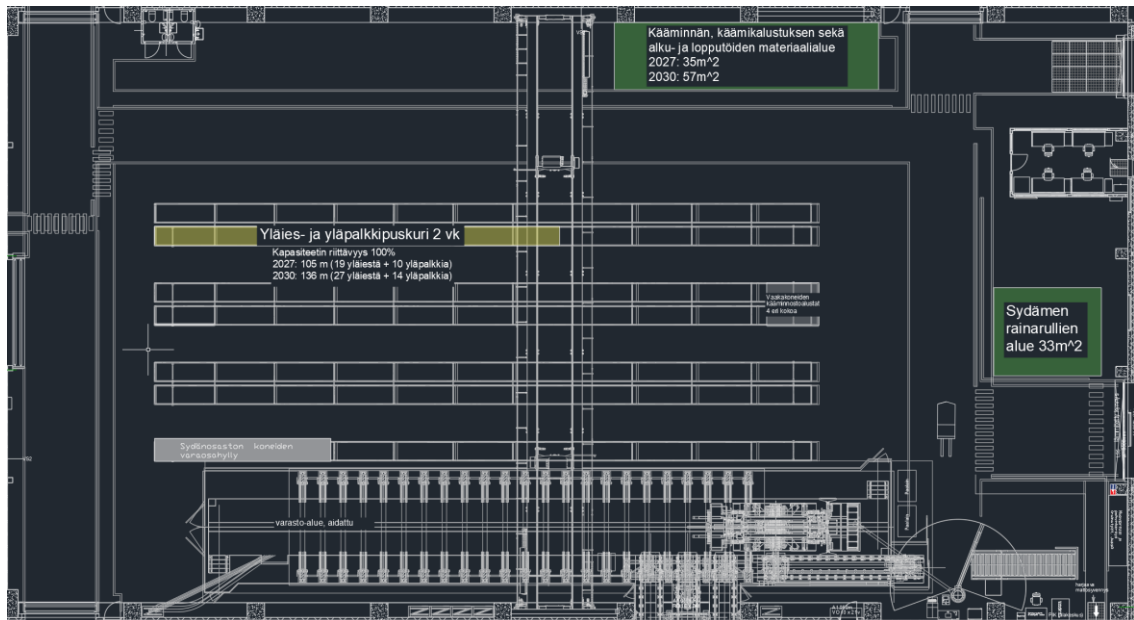


Kuva 19. Sydänvalmistuksen layout-ratkaisu.

Kuvassa 19 on esitetty sydänvalmistuksen layout-ratkaisu. Erot lähtötilanteen ja ratkaisun välillä ovat alku- ja lopputyöiden sekä erillisen sydänpuskurin sijoitus, ja yksityiskohtaisen suunnittelun tulos. Koska nykytilassa on vain yksi E-Stacker ja alku- ja lopputyöalue, koitui keskeisemmäksi haasteeksi molempien alueiden yhteistyö Vikbyn tehtaalla. Tämän vuoksi trukkikäytävää lyhennettiin lähtötilanteesta, jotta molemmat alueet saatiin mahdollisimman lähelle toisiaan. Tämä mahdollisti sen että päivittäisessä käytössä olevat tarvikkeet ja materiaalit, kuten ruuvihylly, alumiinituet ja paletin letku pystyttiin jakamaan alueiden kesken ja sijoittamaan alueiden väliin. Näin materiaaleja ja työkaluja ei tarvitse kuljettaa trukkikäytävän läpi tai kiertäen.

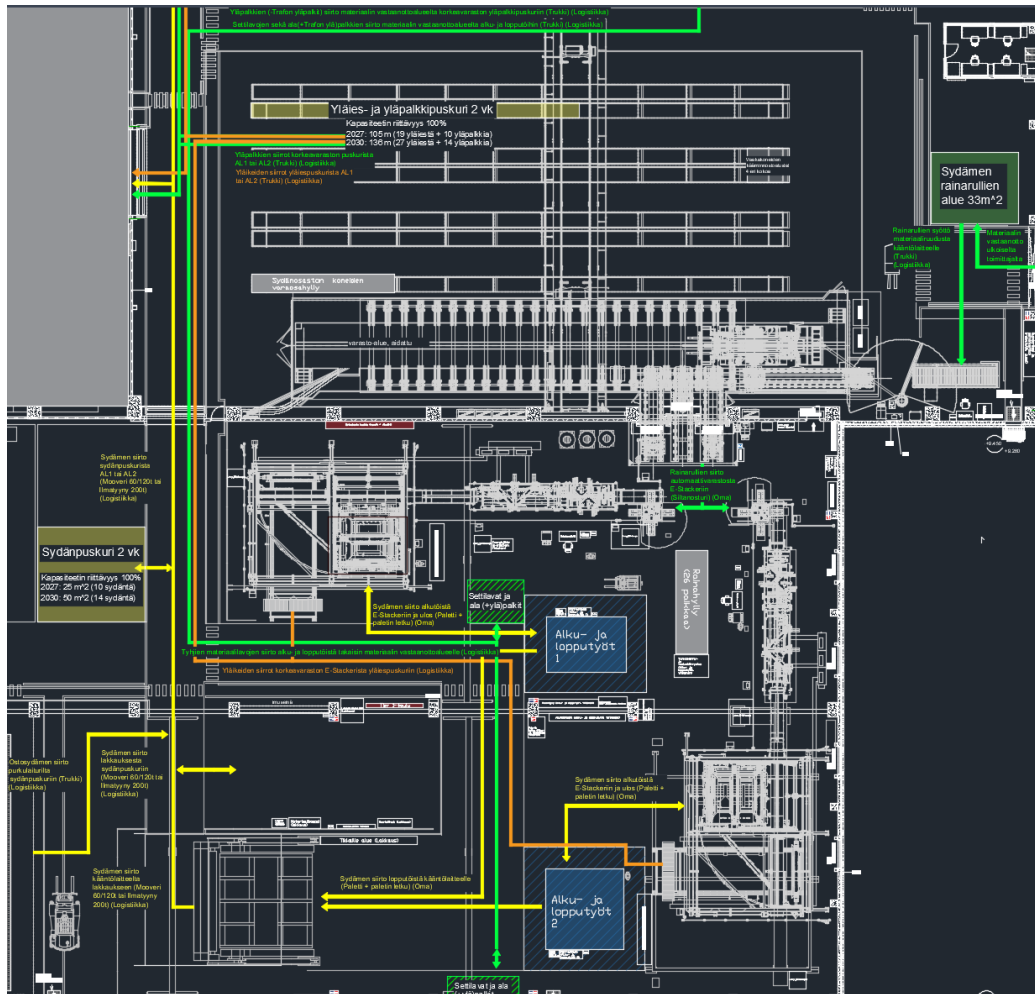
Sydänvalmistukseen haluttiin lisätä myös ylimääräinen rainahylly käyttäjien pyynnöstä. Ylimääräinen rainahylly mahdollistaa keskeneräisten rainarullien väliaikaisen

sijoituspaikan. Hyllyä täytetään ja tyhjenetään siltanosturilla, ja siitä pyrittiin tekemään mahdollisimman iso mahdollistaen kuitenkin alueen trukki liikenteen. Rainahyllyn mitat ja orsien lukumäärät saatiin nykyisestä tuotantoympäristöstä.



Kuva 20. Korkeavaraston layout-ratkaisu.

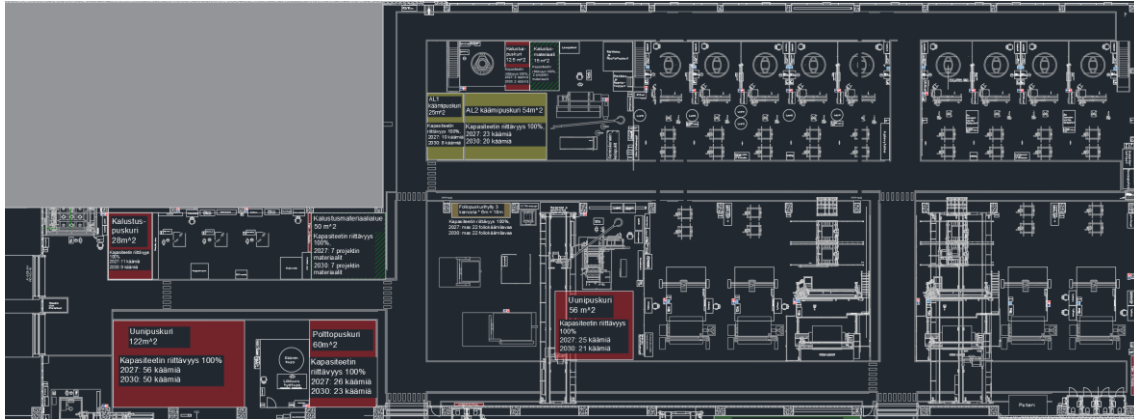
Kuvassa 20 on esitetty korkeavaraston layout-ratkaisu. Se sisältää materiaalien vastaanottoalueet, yläies- ja yläpalkkipuskurin. Vastaanottoalueet on sijoitettu mahdollisimman lähelle materiaalien purkulaituria. Yksityiskohtaisen suunnittelun aineistonkeruussa havaitut sydänvalmistuksen koneiden varasosahylly, sekä vaakakoneiden kääminnostoalustat on myös sijoitettu korkeavarastoon.



Kuva 21. Sydänvalmistuksen virtaus osastolla ja korkeavarastossa.

Kuvassa 21 on esitetty sydänvalmistuksen virtaus osastolla ja korkeavarastossa. Keltaiset viivat kuvaavat sydämien virtausta, oranssit viivat yläikeiden virtausta ja vihreät viivat materiaalivirtaa. Virtauksia on kommentoitu erillisellä tekstikentällä, joissa kuvataan siirtotyyppiä ja -tapaa sekä sitä, suorittaako siirron oma operaattori vai ulkoinen logistiikkaoperaattori. Virtauksien lisäksi alku- ja lopputöiden materiaalien jättöpaikat on havainnollistettu tuotannossa vihreillä alueilla. Kuvassa ei näy, kuinka sydämet ja yläikeet virtaavat käämivalmistuksen läpi AL1 asti.

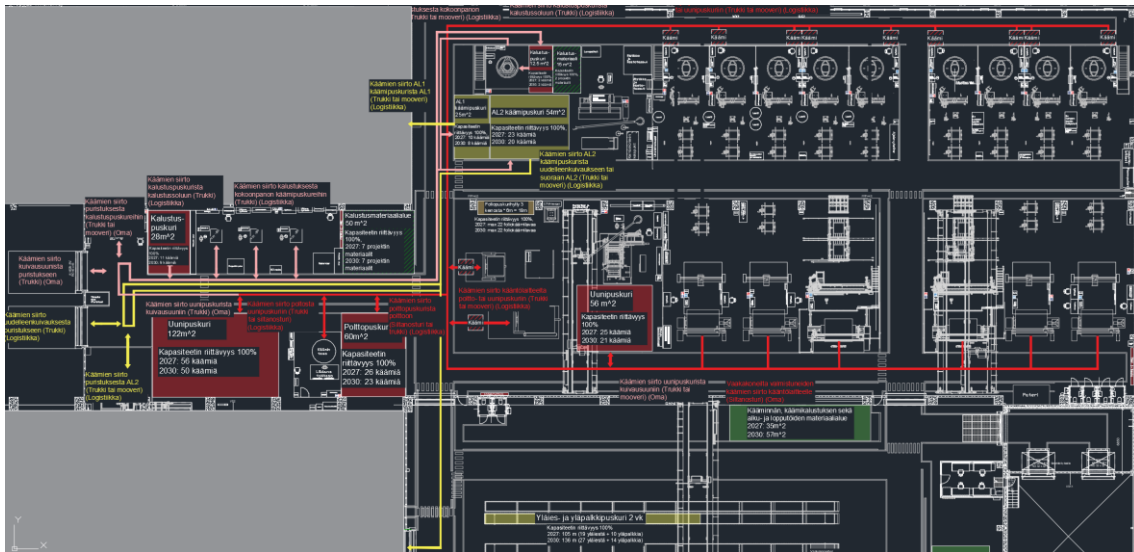
kuitenkin palvelua vaihtelevaa tuotantoympäristöä, jolloin täytyi löytää kompromissi vaihtelun kestävyiden ja laadunhallinnan kanssa.



Kuva 23. Layout-vaihtoehto A.

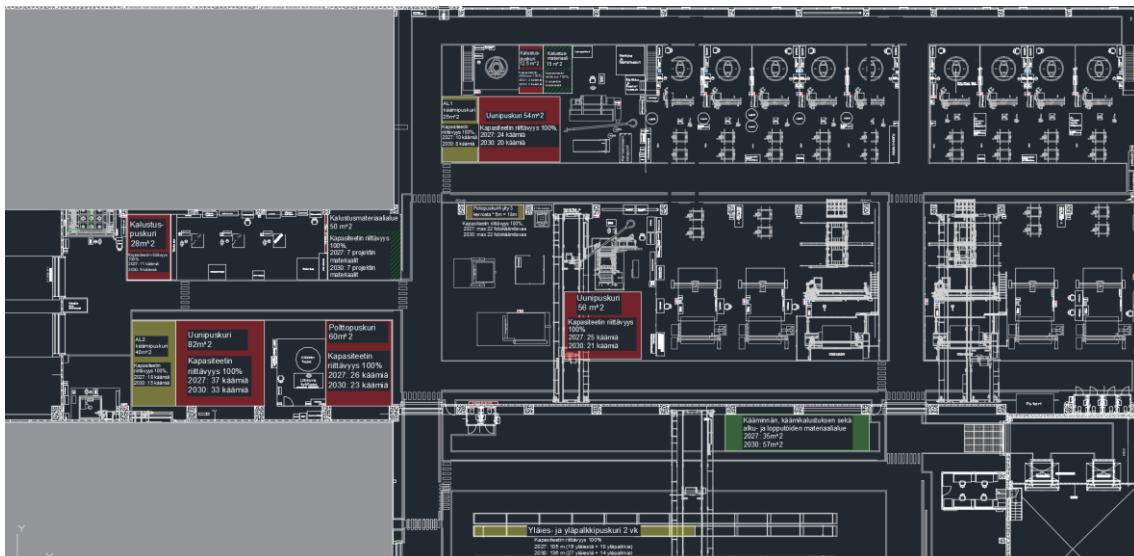
Kuvassa 23 on esitetty layout-vaihtoehto A. Vaihtoehdossa puskurialueiden värit mukailevat kuviossa neljä esitetyn prosessikaavion värejä. Lisäksi kalustusalueiden jatkoksi oikealle puolelle on vihreällä lisätty kalustusmateriaalien omat alueet.

Vaihtoehdossa uuni- ja polttopuskurit ovat sijoitettuna prosessin virtauksen mukaisesti kääntölaitteiden, polttoalueen ja kuivauunisalueen läheisyyteen. Uunipuskurin koko halutaan ohjauksen kannalta pitää suurimpana puskurialueena. Kalustuspuskurit ovat puolestaan sijoitettu kalustusalueiden viereen ja niiden kokoa pienennetään nykytilasta huomattavasti. Tyhjäksi jääneistä alueista muodostettiin AL1 ja AL2 käämipuskurit ja foliokäämipuskuri. Foliokäämeille on esitetty erillinen hylly, jotta EUR-lavoilla puskuroitavat foliokäämit ei veisi lattiatilaa muilta käämeiltä.



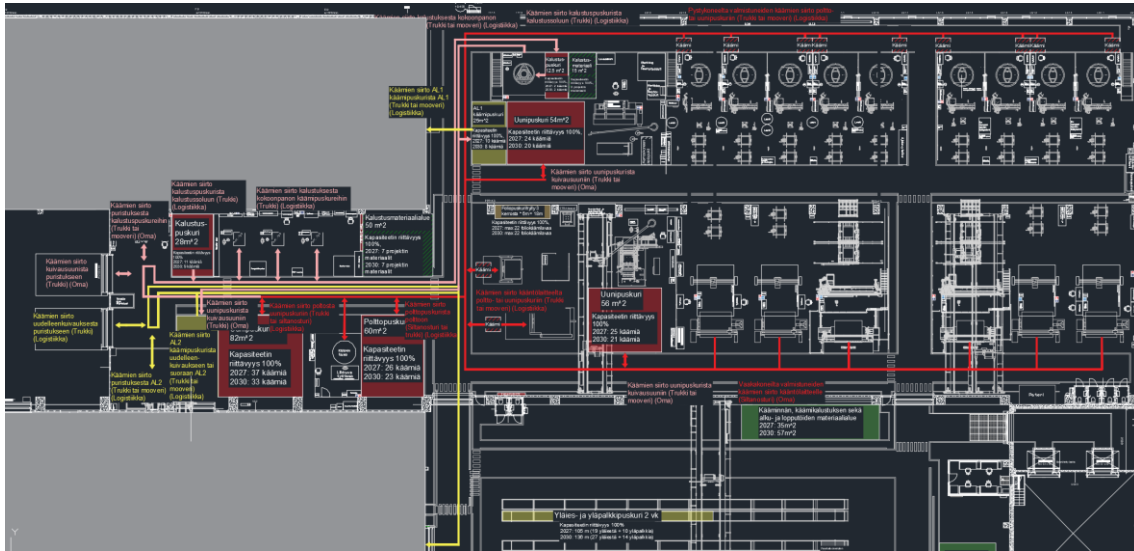
Kuva 24. Käämivirtaus layout-vaihtoehdossa A.

Käämivirtausta layout-vaihtoehdossa A on esitetty kuvassa 24. Siinä punaiset viivat ja kommenttikentät kuvaavat käämivirtausta pysty- ja vaakakoneilta poltto- ja uunipuskuriin, vaaleanpunaiset viivat ja kommenttikentät virtausta poltto- ja uunipuskurista AL1 ja AL2 puskureihin ja keltaiset viivat ja kommenttikentät virtausta AL1- ja AL2 puskureista AL1 ja AL2.



Kuva 25. Layout-vaihtoehto B.

Layout-vaihtoehto B on esitetty kuvassa 25. Vaihtoehtoon A nähden erona on AL2 käämipuskurin pienentäminen ja sijoitus kalustusalueen ja kuivausuunien läheisyyteen. Näin uunipuskureiden kokoa pystyttiin kasvattamaan ja ohjaamaan lähemmäs käämikoneilta valmistuvia käämejä.



Kuva 26. Käämivirtaus layout-vaihtoehdossa B.

Kuvassa 26 on esitetty käämivirtaus layout-vaihtoehdossa B. Siinä virtaukset ja niiden kommentit on esitetty vaihtoehdon A tapaan. Keskeisimpänä erona on, kuinka kalustuksesta valmistuneet käämit voidaan puskuroida kalustusaluetta vastapäätä pienentäen kokonaissiirtomatkaa kalustusalueelta AL2.

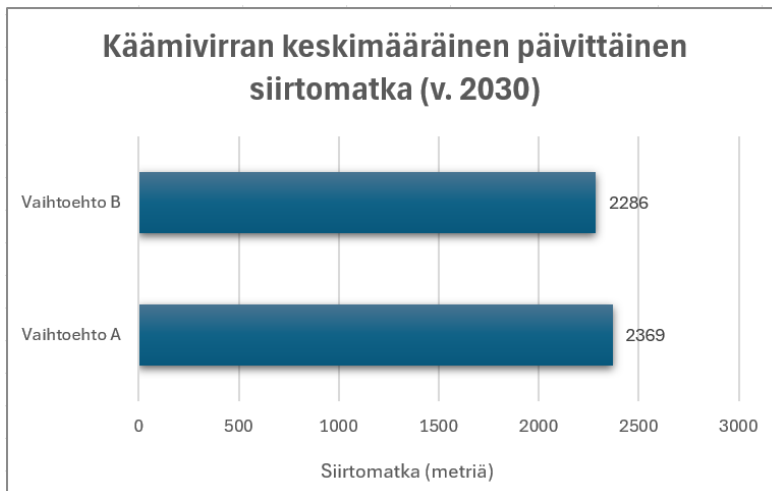
Molemmissa vaihtoehdoissa simulaatiotulokset osoittavat, kuinka puskurialueiden käämimäärä muuttuu vuosien 2027 ja 2030 välillä, kapasiteetin riittävyyden mukaillen 100%. Tulos osoittaa, kuinka käämien koot kasvavat vuoteen 2030 saavuttaessa. Esimerkiksi molemmissa vaihtoehdoissa polttopuskurin koko vuotena 2027 on 26 käämiä, ja puolestaan vuotena 2030 23 käämiä. Kun käämien koot kasvavat, mahtuu puskurialueelle entistä vähemmän käämejä.

4.4.3 Arviointi

Arviointiin haluttiin erilaisia näkemyksiä layoutin toimivuudesta ja arvioijiksi valikoitui tuotannonjohtaja, komponenttivalmistusosaston päällikkö, AL1- ja AL2- linjapäälliköt, tuotannonkehitysinsinööri ja osaston tuotantospecialisti. Arviointitekijät ja painoarvot ovat seuraavat:

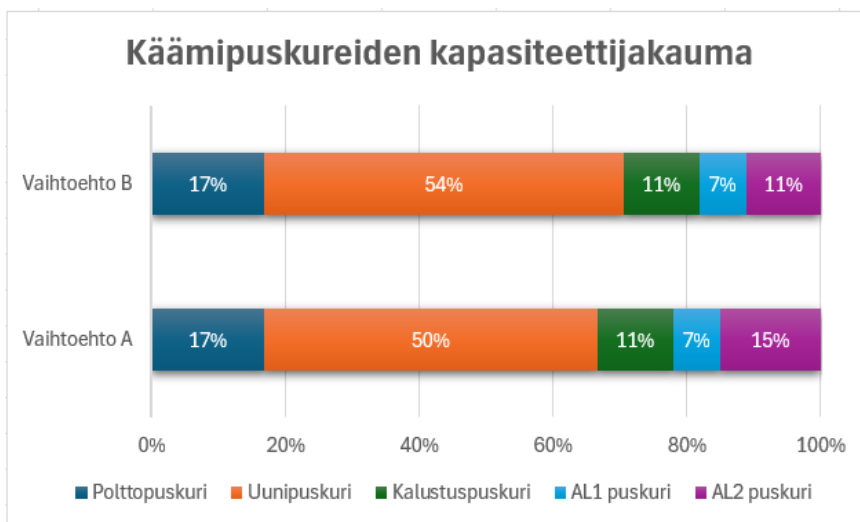
1. Sujuva virtaus (5)
2. Siirtomatkat (4)
3. Vaihtelun kestävyys (5)
4. Visuaalisuus ja 5S (4)
5. Ohjattavuus (5)
6. Laadunhallinta (5).

Sujuva virtaus perustuu siihen kuinka arvioijat näkevät tuotannon etenemisen jatkuvuuden ja loogisuuden, ja sitä kuinka työvaiheet ja puskurialueet ovat sijoitettuna. Siirtomatkat kuvaavat liikkeen määrää vaihtoehtojen välillä. Vaihtelun kestävyys kuvaa layoutin toimivuutta vaihtelevissa kuormitustilanteissa ja sitä, kuinka layoutin nähdään mahdollistavan joustavan tuotannon. Visuaalisuus ja 5S kuvaa layoutin selkeyttä, ja sitä kuinka hyvin työkalut ja materiaalit ovat sijoitettuna layouteihin. Ohjattavuus kuvaa tuotannon hallittavuutta ja ohjattavuutta ja sitä, kuinka layoutin nähdään tukevan tuotannonohjausta. Laadunhallinta puolestaan kuvaa sitä, kuinka layoutin nähdään ennaltaehkäisevän laatuongelmia.



Kuva 27. Käämivirran keskimääräinen päivittäinen siirtomatka vuonna 2030.

Kuvaa 27 on käytetty esittää kuinka käämivirran keskimääräinen päivittäinen siirtomatka eroaa vaihtoehtojen välillä vuonna 2030. Vaihtoehdossa A on 3,6% suuremmat siirtomatkat kuin vaihtoehdossa B. Jos työpäiviä on vuodessa 242, tarkoittaa se noin 20 kilometrin eroa vuositasolla.



Kuva 28. Käämipuskureiden kapasiteettijakauma

Käämipuskureiden kapasiteettijakauma on esitetty kuvassa 28. Kuvan avulla arvioijat voivat nähdä millaiseen puskurijakaumaan layout-vaihtoehtojen kapasiteetit ohjaavat. Layout-vaihtoehto A tarjoaa kapasiteetin puolesta suuremman mahdollisuuden vaihtelun kestävyteen AL2 puskurissa, mutta samalla pienemmän mahdollisuuden

uunipuskurin vaihtelun kestävyys verrattuna vaihtoehtoon B. Laadunhallinnan näkökulmasta vaihtoehto B ohjaa pienempään puskurointiin kuivapuskurissa, mikä tukee laatuongelmien ennaltaehkäisyä. Ohjattavuuden osalta puskureiden jakautuminen vaikuttaa siihen, kuinka tuotantoa voidaan hallita eri työvaiheiden välillä.

Painotettu tekijäarviointi					
Arviointitekijä	Painoarvo	Vaihtoehdot			
		Layout A		Layout B	
		1-5	Pisteet Yhteensä	Pisteet Yhteensä	
Sujuva virtaus	5	3.50	17.50	3.67	18.35
Siirtomatkat	4	3.17	12.68	3.83	15.32
Vaihtelun kestävyys	5	3.33	16.65	3.33	16.65
Visuaalisuus ja 5S	4	3.67	14.68	3.00	12.00
Ohjattavuus	5	3.67	18.35	3.33	16.65
Laadunhallinta	5	3.50	17.50	4.33	21.65
Yhteensä		97.36		100.62	

Taulukko 7. Layout-vaihtoehtojen arviointitulokset.

Taulukossa seitsemän on esitetty layout-vaihtoehtojen arviointitulokset. Tulokset osoittavat, että arviointitekijöiden kesken suurin piste-ero layout-vaihtoehtojen välillä esiintyy laadunhallinnassa, jossa kokonaispisteiden ero on yli neljä pistettä. Tämä viittaa siihen, että arvioijat näkevät vaihtoehto B:n tukevan laadunhallintaa vaihtoehtoa A paremmin. Kokonaispisteet osoittavat layout-vaihtoehto B:n saavuttavan korkeamman kokonaispistemäärän kuin vaihtoehto A. Näin vaihtoehto B valikoitui komponenttivalmistuksen lopulliseksi layout-ratkaisuksi.

5 Johtopäätökset

Tässä luvussa tarkastellaan tutkimuksen keskeisimmät johtopäätökset. Se on jaettu tutkimuksen yhteenvetoon, tutkimuskysymysten tarkasteluun, tutkimuksen kontribuutioon ja jatkotutkimuskohteisiin.

5.1 Tutkimuksen yhteenveto

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli suunnitella layout ja tuotantovirta Vikbyn uuden muuntajatehtaan komponenttivalmistusosastolle. Tavoitteeseen päästiin systemaattisella lähestymistavalla, jossa tunnistettiin nykytilan ongelmia, asetettiin suunnittelulle tavoitteet, suunniteltiin vaihtoehtoiset ratkaisut ja arvioitiin ne. Tutkimuksen eri vaiheissa hyödynnettiin vaiheisiin soveltuvia menetelmävalintoja ja työkaluja.

Ongelmien tunnistamisvaihe oli keskeinen osa tutkimusta, sillä sen avulla voitiin asettaa layout-suunnittelulle keskeisimmät tavoitteet. Ongelmia tunnistamalla huomasi konkreettisesti sen, kuinka suuri merkitys layout-ratkaisulla on yritysten pitkäaikaisten tavoitteiden saavuttamiseen. Ongelmat layoutissa ja tuotantovirtauksissa heijastuvat suoraan yrityksen kykyyn hallita kustannuksia ja saada projektit määräaikaan mennessä valmiiksi. Keskeisempänä havaintona oli kuitenkin se, kuinka suuri merkitys layoutilla on tuotannon ohjaukseen. Jos puskurialueiden kokoja ei ole harkittu ja ne toimivat väärässä suhteessa, aiheuttavat ne usein myös ongelmia käytännön tasolla. Harkitusti suunnitellulla layoutilla voidaan tietyin rajoin vaikuttamaan siihen, kuinka tuotantoa tullaan käytännössä ohjaamaan.

Tässä vaiheessa tuli myös havaittua, kuinka ETO-ympäristö ja Lean-ajattelu linkittyivät toisiinsa. Vaikka ETO valmistusmenetelmä on imuohjattua tilauksen kohdennuspisteen jälkeen, korostuvat työntöohjaukselle tyypilliset ongelmat käytännön tuotantotasolla. Lisäksi ETO-ympäristössä esiintyi hukkaa erityisesti varastoinnin näkökulmasta, joka on kuitenkin tietyissä määrin välttämätöntä vaihtelulle kohdistuvassa tuotantoympäristössä.

Muita havaittuja hukan muotoja oli ylituotanto, liiallinen prosessointi, odottaminen, kuljetus, liike ja virheet.

Layout-suunnittelu toteutettiin SLP- ja 5S- menetelmiä sekä Monte Carlo -simulaatiota hyödyntäen. Toimintojen välisellä suhdekaaviolla voitiin havaita tuotannon kriittisimmät virtauskohdat ja ohjata vaihtoehtoisia layout-ratkaisuja suuntaan, jossa liike- ja kuljetushukkaan voidaan vaikuttaa. Monte Carlo -simulaatiota voitiin hyödyntää tuotannon tilatarpeiden suunnittelussa. Sen avulla ETO- tuotannolle tyypillinen vaihtelu voitiin huomioida puskurijärjestelmien ja materiaaalialueiden suorituskyvyn arvioinnissa simuloimalla erilaisia tuote- ja projektimixejä. 5S-menetelmä puolestaan toimi yksityiskohtaisen layout-suunnittelussa, ja sen avulla tarvikkeita voitiin sijoittaa layoutiin niiden todellisen käyttöasteen mukaisesti. Näin voitiin vaikuttaa siihen, kuinka paljon resurssit liikkuvat tuotantoympäristössä.

Tutkimuksen tavoite saavutettiin arvioimalla kaksi vaihtoehtoista layoutia painotettua tekijäarviointia käyttäen. Arviointitekijöinä käytettiin suunnittelun alussa määriteltyjä suunnittelun tavoitteita, joille asetettiin painoarvot sen perusteella, kuinka tärkeänä ne nähtiin toisiinsa. Arviointiin valittiin kuusihenkinen tiimi, joka sisälsi suunnitteluprojektissa mukana olleet, sekä keskeisimpien sidosryhmien edustajat. Lopulliseksi layout-ratkaisuksi valikoitui vaihtoehto B.

5.2 Tutkimuskysymysten tarkastelu

Kuinka Lean-periaatteita voidaan soveltaa uuden komponenttivalmistusosaston layoutin ja tuotantovirran suunnittelussa?

Lean-periaatteita voitiin soveltaa kaikissa suunnittelun vaiheissa. Lean-ajattelun hyödyntäminen antoi näkemyksen niistä tuotannon vaiheista, mitkä tuottavat arvoa ja mitkä puolestaan eivät tuota arvoa. Ne toiminnot, jotka eivät tuota arvoa lopulliselle tuotteelle, pyritään poistamaan tai minimoimaan suunnittelulla. Näin ollen ongelmien

tunnistamisvaiheessa voitiin keskittyä siihen mitä hukkaa nykyisestä layoutista ja virtauksesta esiintyy, ja miksi sitä esiintyy. Suunnitteluvaiheessa hukkaa pystyttiin poistamaan erilaisilla prosessimuutoksilla, jolloin esimerkiksi yläpalkkien virtauksesta ja varastoinnista aiheutuva hukka voitiin poistaa tuotantoympäristöstä. Lisäksi erilaisilla tuotoksilla, kuten toimintojen välisellä suhdekaaviolla, sekä simulointi- ja 5S suunnittelun tuloksilla pystytään ennaltaehkäisevästi minimoimaan layoutista ja virtauksesta aiheutuva arvoa tuottamaton työ. Lean-periaatteita hyödyntämällä voidaan vaikuttaa koko muuntajatuotantoprosessin virtaustehokkuuteen Vikbyssä.

Mitkä keskeiset tekijät ohjaavat layoutin ja tuotantovirran suunnittelua komponenttivalmistuksessa?

Kaikki tekijät, jotka vaikuttivat tutkimustavoitteeseen pääsyä, ohjasivat layoutin ja virtauksen suunnittelua komponenttivalmistuksessa. Keskeiset teoriat ja DSR-runko ohjasivat suunnittelun alulle, mutta konkreettiset ohjausta ajavat tekijät saatiin suunnittelun tavoitteista. Sujuvaan virtaukseen, siirtomatkoihin, vaihtelun kestävyys, visuaalisuuteen sekä 5S, ohjattavuuteen ja laadunhallintaan vaikuttavat tekijät huomioitiin vaihtoehtoisia-layouteja luodessa ja ne yhdessä painoarvoinaan ja arviointipisteineen ohjasivat siihen layout-ratkaisuun, joka Vikbyn komponenttivalmistusosastolla tullaan ottamaan käyttöön.

5.3 Tutkimuksen kontribuutio

Tutkimuksen kontribuution merkitys korostui erityisesti tässä työssä, jossa jo layout-ratkaisu toimii erilaisen kontribuution muotona. Layout-suunnittelua ohjasivat useat menetelmät ja teoriat, mutta niiden yhdistäminen voidaan nähdä tämän työn keskeisenä tietokontribuutiona. Tässä työssä yleis- ja yksityiskohtaisen suunnittelun tasojen yhdistäminen sekä Monte Carlo -simuloinnin yhdistäminen SLP-menetelmän kanssa toimivat erilaisena tietokontribuutiona.

Tutkimuksen tavoitteisiin pääsyn vuoksi SLP-menetelmän suunnittelurunko ja 5S-menetelmä päädyttiin yhdistämään. Pelkkään SLP-runko olisi tuottanut vain yleistason layoutin, ja pelkkä 5S-menetelmä pelkän aineistonkeruun Exceeliin. Näiden kahden menetelmän yhdistäminen mahdollisti sen, että tuotannon toiminnot voitiin sijoittaa layoutiin systemaattisesti ja tuotannon tarvikkeet näiden toimintojen mukaisesti samassa tutkimuksessa.

Tämän lisäksi Monte Carlo -simulaation yhdistäminen SLP-rungon kanssa toimii erilaisena tietokontribuutiona. Simulointi mahdollisti tilatarpeiden hahmottamisen ja sen, että puskurialueiden kapasiteetin riittävyyttä voitiin tarkastella ETO-tuotannolle tyypilliselle vaihtelevalla ympäristöllä. Tämä mahdollisti layout-vaihtoehtojen vertailun yhtenäisellä kapasiteetin riittävyytasolla ja antoi käytännönläheisen kuvan eri ratkaisujen toimivuudesta.

5.4 Jatkotutkimuskohteet

Tämä tutkimus avasi myös näkemyksiä jatkotutkimuskohteista Hitachille Energy Oy:lle. Keskeisempänä jatkotutkimuskohteena näen kuivausprosessin ja kokoonpanon välisen läpimenoajan lyhentämisen ja keskeneräisen työn pienentämisen. Näen että ongelmaa kannattaa lähestyä nykytila-analyysin kautta, jotta keskeiset ongelmalähteet voidaan paikantaa. Nykytila-analyysissä voisi hyödyntää Value Stream Mappingia ja Pareto-analyysiä, jotta voidaan tunnistaa arvoa tuottamattoman työn osuus arvoa tuottavasta työstä sekä tunnistaa tekijät, joista arvoa tuottamaton työ koostuu. Suosittelen, että tutkimuksessa seurattaisiin yhden tyypillisen muuntajan kolmeä käämiä. Nämä kolme käämiä voisivat olla valmistusjärjestyksessä ensimmäinen käämi, keskimäinen käämi ja viimeinen käämi.

Seuraavana jatkotutkimuskohteena näen Hitachi Energy Oy:n ja ulkoisen logistiikkaoperaattorin välisen yhteistyön kehittämisen ja ylläpitämisen. Logistiikan määrä tulee kasvamaan Vikbyssä merkittävästi erityisesti uuden korkeavaraston myötä.

Just-in-Time -periaattella suunniteltu korkeavarasto korostaa tiedonkulun merkitystä ja sitä kuinka nopeasti materiaalit ja tuotteet tulee siirtää paikasta toiseen. Lisäksi materiaalien jättopaikat ja käämien nostopaikat komponenttivalmistuksessa tulevat olemaan osittain keskellä käytävää, joka tarkoittaa sitä, että täytöt ja tyhjennykset tulee toteuttaa nopeasti ja suunnitelmallisesti päivittäin, jotta tuotantoon ei synny uusia ongelmia. Tutkimuksen tuotoksena voisi olla esimerkiksi malli, jolla suorituskykyä seurataan tai mahdolliset kehityskohteet yhteistyölle.

Viimeisenä jatkotutkimuskohteena näen simulointityökalujen hyödyntämisen tuotannonohjauksessa ja vaihtelun hallinnassa muuntajatuotannossa. Simulointia voisi hyödyntää ohjauksessa erityisesti työjonojen muodostamisessa, jotta työvaiheita voitaisiin kuormittaa tarkoituksenmukaisella tavalla. Simulointi tukisi tuotannon ennustettavuuden parantamista vähentämällä vaihtelua ja pienentämällä työvaiheiden välille kertyvää keskeneräistä tuotantoa.

Lähteet

- ABB. (2007). Muuntajatekniikan perusteet. [Rajattu pääsy].
- Bicheno, J. & Holweg, M. (2016). *The lean toolbox: A handbook for lean transformation* (Fifth edition.). PICSIE Books.
- Chiera, M., Lupi, F., Rossi, A. & Lanzetta, M. (2021). Lean Maturity Assessment in ETO Scenario. *Applied sciences*, 11(9), 3833. <https://doi.org/10.3390/app11093833>
- Creswell. (2023). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches*. Sage Publications.
- Dasgupta, I. (2009). *Power Transformers Quality Assurance*. New Age International.
- Gregor, S. & Hevner, A. R. (2013). Positioning and Presenting Design Science Research for Maximum Impact. *MIS Quarterly*, 37(2), 337-355. <https://doi.org/10.25300/MISQ/2013/37.2.01>
- Gronmo & Grønmo, S. (2023). *Social research methods: qualitative, quantitative and mixed methods approaches*. Sage Publications Ltd.
- Hitachi Energy Oy. (2025). Hitachi Energy Park. Noudettu 7.1.2026 osoitteesta <https://www.hitachienergy.com/company/company-profile/country-and-regional-information/finland/hitachi-energy-park>
- Hitachi Energy Oy. (2025). Hitachi Energy Suomessa. Noudettu 7.1.2026 osoitteesta <https://www.hitachienergy.com/company/company-profile/country-and-regional-information/finland>
- Hitachi Energy Oy. (2026). Muuntajatehtaan esitys suomeksi. [Rajattu pääsy].
- Hitachi Energy Oy. (n.d.). Tarkastuskortti. [Rajattu pääsy].
- Hitachi Energy Oy. (2025). Transformers. Noudettu 7.1.2026 osoitteesta <https://www.hitachienergy.com/products-and-solutions/transformers/special-application-transformers/windstar-transformers>
- Hopp, W. J. & Spearman, M. L. (2011). *Factory physics* (Third edition). Waveland Press.
- Kumar, N., Shahzeb Hasan, S., Srivastava, K., Akhtar, R., Kumar Yadav, R. & Choubey, V. K. (2022). *Lean manufacturing techniques and its implementation: A review*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.03.481>

- Li, L., Chang, Q. & Ni, J. (2009). *Data driven bottleneck detection of manufacturing systems. International Journal of Production Research*, 47(18), 5019–5036.
<https://doi.org/10.1080/00207540701881860>
- Li, L. (2009). Bottleneck detection of complex manufacturing systems using a data-driven method. *International journal of production research*, 47(24), 6929-6940.
<https://doi.org/10.1080/00207540802427894>
- Logistiikan Maailma. (2025). Tuotantomuodot: tilauksen kohdennuspiste (OPP). [verkkodokumentti]. Noudettu 12.12.2025 osoitteesta
<https://www.logistiikanmaailma.fi/tuotanto/tilauksen-kohdennuspiste-opp/tilauksesta-suunnittelu-eto/>
- Logistiikan Maailma. (2025). Tuotantostrategia: tuotannon layout. [verkkodokumentti]. Noudettu 12.12.2025 osoitteesta
<https://www.logistiikanmaailma.fi/tuotanto/tuotantostrategia/tuotannon-layout/>
- Medhat, I. & Nounou, A. (2025) The formulation and implementation of Kanban 4.0 for integrated lean digitalized industrial systems. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 141, 3903-3926.
<https://doi.org/10.1007/s00170-025-16848-2>
- Modig, N., Åhlström, P. & Tillman, M. (2013). *Tätä on lean: Ratkaisu tehokkuusparadoksiin* (1. painos.). Rheologica Publishing.
- Montgomery, D. C., Runger, G. C. & Hubele, N. F. (2011). *Engineering statistics* (5th ed.). John Wiley.
- Muther, R. & Hales, T. (2015). *Systematic layout planning* (4th ed.) Management & Industrial Research Publications.
- Neumann, A., Hajji, A., Rekik, M. & Pellerin, R. (2024). Genetic algorithms for planning and scheduling engineer-to-order production: A systematic review. *International journal of production research*, 62(8), 2888-2917.
<https://doi.org/10.1080/00207543.2023.2237122>

- Nicholas John M. & Schonberger, R. (2018). *Lean production for competitive advantage: A comprehensive guide to lean methods and management practices* (2nd edition.). CRC Press.
- O'Leary, Z. (2021). *The essential guide to doing your research project* (Fourth edition.). SAGE Publications Ltd.
- Oleksiak, B., Żyszczyński, M. & Micor, K. (2025). 5S Method Usage for the Improvement of Production Process in the Manufacturing Company. *Management systems in production engineering*, 33(3), 354-361. <https://doi.org/10.2478/mspe-2025-0033>
- Pazek, K. (2021). *Lean Manufacturing*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.92922>
- Pedro García Márquez, F. (2020). *Lean Manufacturing and Six Sigma*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.78826>
- Peffer, K., Tuunanen, T., Rothenberger, M. A. & Chatterjee, S. (2007). A design science research methodology for information systems research. *Journal of Management Information Systems*, 24(3), 45-77. <https://doi.org/10.2753/MIS0742-1222240302>
- Pérez-Gosende, P., Mula, J. & Díaz-Madroñero, M. (2021). Facility layout planning: An extended literature review. *International Journal of Production Research*, 59(12), 3777–3816. <https://doi.org/10.1080/00207543.2021.1897176>
- Radnor, Z., Holweg, M. & Waring, J. (2012). Lean in healthcare: The unfilled promise? *Social Science & Medicine*, 74(3), 364-371. <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2011.02.011>
- Saunders. (2023). *Research methods for business students*. Pearson Education.
- Schwartz, P. I., Klein, L. L., Douglas, J. A. & Douglas, A. (2025). Types of waste in higher education institutions based on the lean system: Development of an assessment instrument. *International journal of sustainability in higher education*. <https://doi.org/10.1108/IJSHE-06-2024-0392>

- Şimşit, Z. T., Günay, N. S. & Vayvay, Ö. (2014). Theory of Constraints: A Literature Review. *Procedia, social and behavioral sciences*, 150, 930-936. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.09.104>
- Six Sigma. (n.d.). Littlen laki. [verkkodokumentti]. Noudettu 12.12.2025 osoitteesta <https://sixsigma.fi/littlen-laki/>
- Slack, N., Brandon-Jones, A. & Burgess, N. (2023). *Essentials of operations management* (Third edition.). Pearson.
- Spearman, M. L. (2014). Of Physics and Factory Physics. *Production and operations management*, 23(11), 1875-1885. <https://doi.org/10.1111/poms.12188>
- Stephens, M. P. (2019). *Manufacturing Facilities Design & Material Handling: Sixth Edition*. Purdue University Press.
- Techt, U., & VITEM. (2015). *Goldratt and the Theory of Constraints. The Quantum Leap in Management*. Ibidem Press.
- Thomopoulos, N. T. (2013). *Essentials of Monte Carlo Simulation*. Springer New York.
- Tompkins, J. A., Bozer, Y. A., Tanchoco, J. M. A. & White, J. A. (2010). *Facilities planning* (4th ed.). Wiley.
- Uusi-Rauva, E., Kouri, I., Miettinen, A., Haverila, M. & Infacts johtamistekniikka. (2009). *Teollisuustalous* (6. p.). Infacs.
- Venkataraman. (2018). *Operations management: Managing global supply chains*. Sage Publications.
- vom Brocke, J., Hevner, A. & Maedche, A. (2020). *Introduction to Design Science Research*. In J. vom Brocke, A. Hevner, & A. Maedche (Eds.), *Design Science Research. Cases* (pp. 1–13). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-46781-4_1
- Wilson. (2014). *Essentials of business research: A guide to doing your research project*. Sage Publications.