



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Samuel Murto

Tehtaan materiaalivirran ja layoutin kehittäminen

Opinnäytetyö

Kevät 2024

Insinööri (AMK), Konetekniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Tutkinto-ohjelma: Insinööri (AMK), Konetekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Kone- ja tuotantotekniikka

Tekijä: Samuel Murto

Työn nimi: Tehtaan materiaalivirran ja layoutin kehittäminen

Ohjaaja: Kimmo Kitinoja

Vuosi: 2024

Sivumäärä: 61

Liitteiden lukumäärä:

Opinnäytetyössä tutkittiin Nordautomation Oy:n tuotannon materiaalivirtoja ja suunniteltiin tehtaaseen layout, jonka tarkoituksena oli vähentää tuotannossa syntyviä hukkia sekä tukea tuotannon- ja varastonohjausta. Layoutsuunnitteluun sisältyi työpisteiden ja koneiden sijoittelua uudistettuihin tuotantotiloihin. Uutta layoutratkaisua suunniteltaessa otettiin huomioon myös materiaalien, puolivalmisteiden ja komponenttien varastointi. Layoutin keskeisenä tavoitteena oli materiaalivirtojen tehokas suunnittelu, ja siinä pyrittiin minimoimaan materiaalien kuljetusmatkat ja -kerrat.

Opinnäytetyössä dokumentoitiin nykytilanteen materiaalivirtoja ja tunnistettiin hukkia arvovirtakuvauksen avulla. Layoutsuunnittelun keskeisenä tavoitteena oli materiaalivirtojen tehokas suunnittelu. Tuotannossa syntyy hukkaa arvoa tuottamattomasta työstä, joten materiaalien kuljetuskerrat ja -matkat pitää yrittää minimoida osastojen ja työpisteiden sijoittelua suunniteltaessa. Materiaalivirtaa pitää myös selkeyttää ja vähentää sisäistä logistiikkaa, jolloin voidaan kohdistaa resursseja arvoa lisäävään työhön. Tuotannonohjauksen, materiaalitoimintojen ja layoutin tehokas hallinta on keskeistä kilpailukyvyn kannalta. Ne vaikuttavat suoraan tuotannon sujuvuuteen, kustannustehokkuuteen ja asiakastyytyväisyyteen, mikä on olennaista yrityksen menestykselle ja kasvulle.

Uutta layoutia suunniteltaessa otettiin huomioon tuotantoprosessin järjestys. Materiaalivirtojen kulkemat reitit hyödynnettiin työpisteiden sijoittelussa. Yrityksen henkilöstöä haasteltiin useaan kertaan työn edetessä. Heiltä saatiin näkemyksiä ja ideoita, jotka auttoivat paljon layoutehdotuksen toteutuksessa. Layoutsuunnittelun avulla pyrittiin poistamaan ylimääräisiä siirtoja ja lyhentämään materiaalien kulkemia reittejä. Tuotannossa syntyviä hukkia saatiin vähennettyä esitetyllä layoutratkaisulla. Suunnittelun ja kehittämisen jatkaminen on tärkeää ja sen toimivuutta on syytä arvioida jatkuvasti. Nordautomation Oy pysyy hyödyntämään työn tuloksia kustannussäästöjen arvioinnissa sekä tuotannon kehittämisessä turvallisemmaksi, laadukkaammaksi ja tehokkaammaksi.

¹ Asiasanat: materiaalivirrat, layout

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Degree programme: Bachelor of Engineering, Mechanical Engineering

Specialisation: Mechanical and Product Engineering

Author: Samuel Murto

Title of thesis: Developing the material flow and layout of a factory

Supervisor: Kimmo Kitinoja

Year: 2024

Number of pages: 61

Number of appendices:

The thesis studied the material flows in the production of Nordautomation and designed a factory layout to reduce waste in production and to support production and inventory control. The layout design included the placement of workstations and machines in the renovated production facilities. The new layout solution also considered the storage of materials, semi-finished products and components. A key objective of the layout was to plan material flows efficiently, with the aim of minimising material transport distances and cycles.

The thesis documented the material flows of the current situation and identified wastage through value stream mapping. The key objective of the layout design was to plan material flows efficiently. In production, wastage is caused by non-value-added work, so the number of material transport cycles and distances must be minimised when planning the layout of departments and workstations. Material flows should also be stream-lined and internal logistics reduced, allowing resources to be allocated to value-adding work. Effective management of production control, material operations and layout is a key to competitiveness. They have a direct impact on production flow, cost efficiency and customer satisfaction, which are essential for a company's success and growth.

The new layout was designed with the order of the production process in mind. The routes taken by the material flows were used in the layout of the workstations. The company's staff were interviewed several times as the work progressed. Their views and ideas helped much in the implementation of the layout proposal. The layout design aimed to eliminate unnecessary movements and to shorten the routes taken by materials. The proposed layout solution reduced the amount of wastage in production. Continued design and development is important and its effectiveness should be continuously evaluated. Nordautomation will be able to use the results of the thesis to improve production in terms of safety, quality and efficiency and to evaluate cost savings.

¹ Keywords: material flows, layout

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä	2
Thesis abstract	3
SISÄLTÖ	4
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo	6
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	9
1 JOHDANTO	10
1.1 Työn tausta	10
1.2 Työn tavoite ja rajausta	10
1.3 Työn rakenne	10
1.4 Tutkimusmenetelmät.....	11
1.5 Yritysesittely	11
2 TUOTANNONHALLINTA.....	13
2.1 Tuotannonohjaus.....	13
2.1.1 Kapasiteetti ja kuormitusryhmät.....	14
2.1.2 Läpäisy aika	14
2.1.3 Tuotantomuodot.....	15
2.2 Materiaalinhallinta	17
2.2.1 Sisäinen logistiikka ja materiaalivirta.....	18
2.3 Lean-arvovirtakuvaus	20
2.4 Layout	21
2.4.1 Tuotantolinjalayout.....	22
2.4.2 Funktionaalinen layout	22
2.4.3 Solulayout	23
2.4.4 Layoutsuunnittelu.....	23
3 MATERIAALIVIRRAN JA LAYOUTIN SUUNNITTELU	26
3.1 Tukinkäsittelylaitteiden tuotantoprosessi	26
3.1.1 Osavalmistus ja koneistus.....	29
3.1.2 Hitsaus	33

3.1.3	Pintakäsittely.....	35
3.1.4	Kokoonpano ja testaus	36
3.1.5	Varastointi	38
3.2	Materiaalivirran tarkastelu	39
3.2.1	Porrasannostimen materiaalivirta.....	40
3.2.2	Tukkipöydän materiaalivirta	43
3.2.3	Lajittelijaelementin materiaalivirta	46
3.3	Epäkohdat ja havainnot.....	49
3.4	Layoutehdotus.....	50
4	YHTEENVETO	58
	LÄHTEET	60

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluettelo

Kuva 1. Nordautomationin tuotantolaitos Alajärvellä.....	12
Kuva 2. Plasma- ja polttoleikkaus.....	30
Kuva 3. Pieni särmäyspuristin.....	30
Kuva 4. Osavalmistus: sahat, levyleikkuri ja särmäyspuristin.....	31
Kuva 5. Osavalmistus: säteisporakoneet.....	32
Kuva 6. Koneistussolu.....	33
Kuva 7. 1-halli porrasannostimen hitsaus.....	34
Kuva 8. 4-halli hitsaus.....	34
Kuva 9. 5-halli hitsaus.....	35
Kuva 10. Pintakäsittely.....	36
Kuva 11. Osakokoonpano.....	37
Kuva 12. 5-halli kokoonpano.....	37
Kuva 13. 4-halli kokoonpano.....	38
Kuva 14. Komponenttivarasto.....	39
Kuvio 1. Tuotantomuodot.....	16
Kuvio 2. Tukinkäsittelylaitteiden tuotantoprosessin kuvaus.....	27
Kuvio 3. Nordautomationin tehdasalue.....	28
Kuvio 4. Porrasannostin.....	41
Kuvio 5. Porrasannostimen osavalmistuksen ja hitsauksen materiaalivirta.....	41

Kuvio 6. Porrasannostimen kokoonpanon materiaalivirta.	42
Kuvio 7. Tukkipöytä	44
Kuvio 8. Tukkipöydän osavalmistuksen ja hitsauksen materiaalivirta.	44
Kuvio 9. Tukkipöydän kokoonpanon materiaalivirta.	45
Kuvio 10. Lajittelijaelementti.	47
Kuvio 11. Lajittelijaelementin osavalmistuksen ja hitsauksen materiaalivirta.	47
Kuvio 12. Lajittelijaelementin kokoonpanon materiaalivirta.	48
Kuvio 13. Porrasannostimen osavalmistuksen ja hitsauksen suunniteltu materiaalivirta. ..	52
Kuvio 14. Porrasannostimen kokoonpanon suunniteltu materiaalivirta.	53
Kuvio 15. Tukkipöydän osavalmistuksen ja hitsauksen suunniteltu materiaalivirta.	54
Kuvio 16. Tukkipöydän kokoonpanon suunniteltu materiaalivirta.....	55
Kuvio 17. Lajittelijaelementin osavalmistuksen ja hitsauksen suunniteltu materiaalivirta...56	
Kuvio 18. Lajittelijaelementin kokoonpanon suunniteltu materiaalivirta.	57
Taulukko 1. Työnkulkukaavio.....	24
Taulukko 2. Osastojen väliset matkat nykytilanteessa.	29
Taulukko 3. Porrasannostimen työnkulkukaavio.	43
Taulukko 4. Tukkipöydän työnkulkukaavio.....	46
Taulukko 5. Lajittelijaelementin työnkulkukaavio.	49
Taulukko 6. Osastojen väliset matkat muutetussa layoutissa.	52
Taulukko 7. Porrasannostimen suunniteltu työnkulkukaavio.....	54

Taulukko 8. Tukkipöydän suunniteltu työnkulkukaavio.	56
Taulukko 9. Lajittelijaelementin suunniteltu työnkulkukaavio.	57

Käytetyt termit ja lyhenteet

Arvovirtakuvaus	Prosessien tehokkuuden arvioimiseen ja kehittämiseen käytettävä työkalu.
FIFO	First in – first out. Ohjausmenetelmä, jossa ensimmäiseksi saapunut tuote poistuu ensimmäisenä.
Layout	Tuotantojärjestelmän fyysisten osien, kuten koneiden ja laitteiden, varastopaikkojen ja kulkureittien sijoittelu.
Materiaalivirta	Materiaalien tai tuotteiden kuljettaminen ja säilyttäminen.

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Opinnäytetyön aiheena on tutkia ja kehittää Nordautomation Oy:n tehtaan materiaalivirtaa ja layoutia. Yritys suunnittelee muutoksia tuotantotilojen layoutiin, jotta tuotantoa pystytään tehostamaan selkeyttämällä materiaalivirtoja ja vähentämällä sisäistä logistiikkaa. Tuotantotilat on alun perin suunniteltu ja rakennettu pienempää tuotantoa varten. Vuosien aikana laajennuksia on tehty tarpeen mukaan, jolloin työpisteiden sijoittelu järkevästi on ollut hankalaa. Tästä syystä materiaalivirrat kulkevat edestakaisin pitkiäkin matkoja. Arvoa tuottamaton työtä tapahtuu myös, kun varastoituja tai kuljetuksessa olevia osia etsitään.

Tuotantotilojen laajennus on jo päätetty toteuttaa. Tuotannon layoutiin halutaan suunnitella ratkaisu, joka vähentää hukkaa ja tehostaa tuotantoa. Vuonna 2021 hankittu plasmaleikkauskone ja viimeisimpänä hankittu polttoleikkauskone sekä hitsauspisteet ja kokoonpano halutaan sijoittaa materiaalin varastoinnin ja siirtojen kannalta mahdollisimman järkevästi.

1.2 Työn tavoite ja rajaus

Tämän työn tavoitteena on dokumentoida tuotannon materiaalivirrat sekä esitellä uusi layoutratkaisu, joka tukee tuotannon- ja varastonohjausta sekä minimoi hukkaa. Layoutsuunnitteluun kuuluu työpisteiden ja koneiden sijoittelu laajennettuihin tuotantotiloihin. Uuteen layoutratkaisuun sisällytetään lisäksi materiaalien, puolivalmisteiden ja komponenttien varastoinnin suunnittelu. Materiaalivirtojen tutkiminen rajattiin kolmeen Nordautomationilla valmistettavaan laitteeseen.

1.3 Työn rakenne

Teoriaosassa kerrotaan tuotannonhallinnan käsitteistä eli tuotannonohjauksesta, materiaalihallinnasta ja Lean-arvovirtakuvauksesta. Teoriaosassa käsitellään myös layouttyyppejä ja suunnittelun periaatteita. Tämä jälkeen siirrytään tukinkäsittelylaitteiden tuotantoprosessin nykytilan selvitykseen. Kehittämisosuudessa tutkitaan ja havainnoidaan tehtaan nykyistä materiaalivirtaa ja sen epäkohtia. Tehtyjen havaintojen perusteella laaditaan

layoutehdotus, jolla pyritään poistamaan hukkaa tuotannossa. Suunniteltua materiaalivirtaa verrataan nykytilanteeseen ja raportoidaan muutoksista. Yhteenvedossa arvioidaan tuloksia ja niiden vaikutuksia sekä pohditaan jatkokehittämistarpeita.

1.4 Tutkimusmenetelmät

Tutkimusmenetelmänä käytetty tutkimuksellinen kehittämistyö voi saada alkunsa erilaisista lähtökohdista, kuten organisaation kehittämistarpeista ja halusta saada aikaan muutoksia (Ojasalo ym., 2009, s. 19). Tutkimukselliseen kehittämistyöhön kuuluu käytännön ongelmien ratkaisua ja uusien ideoiden, käytäntöjen, tuotteiden tai palvelujen tuottamista ja toteuttamista. Sen tarkoituksena on kehittää ja ottaa käyttöön uusia ratkaisuja. Kehittämistyössä ei vain kuvailla tai selitetä asioita, vaan siinä etsitään niille käytännön parannuksia ja uusia ratkaisuja. Tutkimuksellisuus ilmenee kehittämistyössä siten, että kehittäminen etenee järjestelmällisesti, analyyttisesti ja kriittisesti.

Tutkimuksellisessa kehittämisessä pyritään ratkaisemaan käytännöstä nousseita ongelmia tai uudistamaan käytäntöjä sekä löytämään uutta tietoa työelämän käytännöistä (Ojasalo ym., 2009, s. 18). Kehittämistyön tueksi kerätään tietoa systemaattisesti ja kriittisesti sekä käytännöstä että teoriasta. Siinä käytetään monipuolisesti erilaisia menetelmiä. Kirjoittaminen ja kohderyhmille esittäminen eri vaiheissa vievät kehitystyötä eteenpäin. Tässä opinäytetyössä nykytilan kuvauksessa käytettiin hyödyksi havainnointia ja keskustelua yrityksen työntekijöiden kanssa. Lisäksi tutustuttiin olemassa olevaan dokumentaatioon. Kehittämistyötä tehtiin tutkimuksellisella näkökulmalla ja hyödynnettiin alan teoriaa.

1.5 Yritysesittely

Nordautomation Oy on puunjalostusteollisuuden projektitoimituksiin erikoistunut yritys ja markkinoiden johtava tukinkäsittelytekniikan valmistaja Pohjoismaissa (Nordautomation, i.a.). Tukinlajittelun ja tukkien sahaan syöttöjen lisäksi tuotevalikoimaan kuuluu sahojen sivutuotteiden käsittelylaitteistot sekä biovoimaloiden polttoaineensyötön kuljetinjärjestelmät. Nordautomation vastaa projektitoimituksista kokonaisvastuullisesti sisältäen laite-, sähkö- ja automaatio suunnittelun, valmistuksen, asennuksen ja käyttöönoton.

Vuonna 1991 perustetussa yrityksessä työskentelee 75 henkilöä (Nordautomation, 2023). Yrityksen liikevaihto on noin 17 miljoonaa euroa. Myynti, suunnittelu, projektinjohto ja hallinto sijaitsevat pääkonttorissa Kristiinankaupungissa. Alajärvellä sijaitseva tuotantolaitos, joka näkyy kuvassa 1, työllistää viitisenkymmentä henkilöä. Yritys kuuluu ruotsalaiseen Addtech-konserniin.



Kuva 1. Nordautomationin tuotantolaitos Alajärvellä (Nordautomation, i.a.).

2 TUOTANNONHALLINTA

Yrityksen tuotannonhallinta vaatii aina järjestelmällistä suunnittelua ja tekemistä. Mitä laajempi valikoima ja monitasoisempi tuoterakenne on, sitä tärkeämmäksi tuotannonhallinnan merkitys kasvaa. Tuotannonohjauksen, materiaalintoimintojen ja layoutin tehokas hallinta on keskeistä kilpailukyvyn kannalta. Ne vaikuttavat suoraan tuotannon sujuvuuteen, kustannustehokkuuteen ja asiakastyytyväisyyteen, mikä on olennaista yrityksen menestykselle ja kasvulle.

2.1 Tuotannonohjaus

Tuotantoprosessi on yksi keskeisimmistä toiminnoista valmistavan yrityksen toiminnassa (Kouri, 2009a, s. 350–351). Toiminnan johdon suurimmat päätökset ja merkittävimmät haasteet liittyvät usein tuotantoprosessien hallintaan ja kehittämiseen. Tuotannon laajalla määrittelyllä pyritään hallitsemaan yrityksen eri toimintojen ja tehtävien muodostamaa kokonaisuutta. Tuotannonohjaus kuvaa yrityksen tapoja hoitaa tuotannon järjestelyt ja aikataulutus. Sen avulla pyritään hallitsemaan tuotannon kokonaisuutta, joka koostuu useista erillisistä osatehtävistä, toiminnoista ja prosesseista (Ahlqvist & Koskela, 2020, s. 25).

Tuotannonohjaus pyrkii organisoimaan ja hallitsemaan tuotantoon liittyviä suunnittelu-, valmistus- ja materiaalinkäsittelytehtäviä siten, että tuotannolle asetetut tavoitteet toteutuvat. Se sisältää yrityksen koko tilaus-toimitusprosessin eri tehtävien ja toimintojen suunnittelua ja hallintaa. Kourin (2009a, s. 350–351) mukaan näiden tehtävien ja toimintojen välisten riippuvuus- ja vuorovaikutussuhteiden ymmärtäminen on tärkeää. On hahmotettava, miten eri osat ja toiminnot vaikuttavat toisiinsa sekä miten ne voidaan optimoida saavuttamaan yrityksen asettamat tavoitteet.

Tuotannonohjauksen keskeisimmät tavoitteet ovat (Kouri, 2009b, s. 402):

- toimitusvarmuus
- tuotannon läpäisy aika
- kapasiteetin korkea tuottavuus
- toimintaan sitoutuneen vaihto-omaisuuden minimointi

Tuotannon ohjauskohteita on useita (Karrus, 2001, s. 77). Kapasiteetin käyttöä ja ajoitusta täytyy suunnitella joko jatkuvasti tai määrävälein, jotta tuotantosuunnitelma pysyisi ajan tasalla. Työvaiheet ja vaiheiden suoritusjärjestys määräytyvät joko tuotantolaitoksen tai tuotteiden ominaisuuksien perusteella. Materiaalivirrat ostosta ja raaka-aineista valmiiksi lopputuotteiksi on suunnittelukohde, jossa on otettava huomioon olemassa olevat varastot. Pelkkä kapasiteetin ja työvaiheiden ohjaus ei kuitenkaan riitä, sillä useissa teollisuusyrityksissä on suuri määrä pääomaa kiinni varastoissa.

2.1.1 Kapasiteetti ja kuormitusryhmät

Kapasiteetti, johon kuuluvat laitteet, koneet ja työntekijät, on tuotantokykyä kuvaava mittari, joka kertoo tuotantoyksikön enimmäissuorituskyvyn aikayksikköä kohti (Kouri, 2009b, s. 399–400). Kapasiteetti voidaan ilmaista tuoteyksiköissä, jos tuotteiden kapasiteettivaatimukset eivät poikkea merkittävästi toisistaan. Kuormitusryhmä viittaa kokonaisuuteen, jonka kapasiteettia ja kuormitusta tarkastellaan yhtenä kokonaisuutena. Kuormitusryhmien määrittely perustuu ohjaustarpeisiin. Tehdastasolla voidaan seurata kokonaiskapasiteettia, kuten kokonaistuotantomäärää tai kokonaistyötuntimäärää.

Tuotannonohjaus jaetaan yleensä kokonais-, karkea- ja hienosuunnitteluvaiheisiin (Ahlgqvist & Koskela, 2020, s. 25). Kokonaissuunnittelussa kysyntää pyritään ennakoimaan esimerkiksi erilaisten markkinaennusteiden ja tuotteiden elinkaarianalyysien pohjalta ja tuotannolle asetetaan strategisia tavoitteita. Karkeasuunnittelu on kokonaissuunnittelua yksityiskohtaisempaa, ja sitä tehdään tavallisesti muutamien kuukausien tai viikkojen aikajännteellä. Karkeasuunnitteluvaiheessa aikataulutetaan tuotteiden valmistusaikoja ja arvioidaan, kuinka paljon resursseja, kapasiteettia ja materiaaleja kulloinkin tarvitaan. Viikkotasolla tehtävässä hienosuunnitteluvaiheessa laaditaan yksityiskohtainen tuotanto-ohjelma, määritetään tarvittavien osien ja raaka-aineiden toimitusajankohdat sekä tarkennetaan tarvittava henkilö- ja konekapasiteetti.

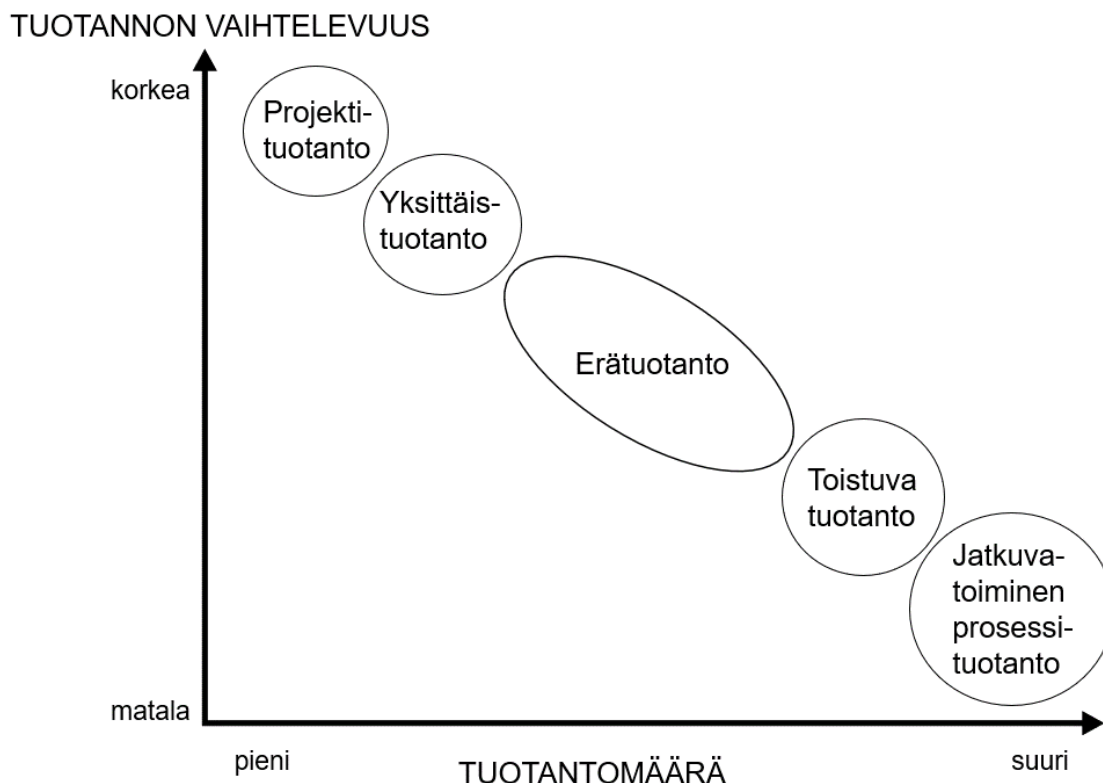
2.1.2 Läpäisy aika

Läpäisy aika kuvaa toimintaketjun kokonaisaika (Kouri, 2009b, s. 401). Yleisimmin läpäisyajalla tarkoitetaan joko kokonaisläpäisyä tai valmistuksen läpäisyä.

Kokonaisläpäisyajalla tarkoitetaan aikaa, joka kuluu tilauksen vastaanottamisesta tuotteen toimitukseen asti. Valmistuksen läpäisyajalla puolestaan kuvataan aikaa, joka kuluu tuotteen valmistuksen aloittamisesta sen valmistumiseen asti. Läpäisyaikaa voidaan lyhentää selkeyttämällä tuotannon materiaalivirtoja ja järjestämällä työpisteet tuotteiden valmistusvaiheiden mukaiseen järjestykseen (mts. 406). Läpäisyaikaa hidastavat tekijät, kuten kuljetukset, poistetaan. Myös työnohjauksen ja suunnittelun vaatima aika jäävät pois.

2.1.3 Tuotantomuodot

Tuotannonohjauksen luonne määräytyy tuotantomuodon mukaan. Projektituotannossa ohjauksen keskiössä on projektin aikataulu, sillä toistuvassa linjatuotannossa pyritään löytämään linjan kannalta paras tuotantojärjestys ja koordinoimaan materiaalit tuotantojärjestyksen mukaisesti. Tuotantomuodot eroavat toisistaan useissa eri kohdissa (Logistiikan Maailma, i.a.-a). Tuotantomäärän ollessa pieni pääpaino on joustavuudella ja reagointikyvyllä. Suuren tuotantomäärän kohdalla keskitytään kustannustehokkuuteen. Tämä tulee esiin koneissa ja laitteissa. Projekti- ja yksittäistuotannossa laitteistot ovat yleiskäyttöisempiä ja joustavuusvaatimus suurempi. Toistuvassa ja jatkuvatoimisessa tuotannossa laitteistot on usein sidottu tietyn tuotteen tuottamiseen ja joustavuus on alhaisempi. Kuviossa 1 näkyy tuotantomuodon yhteys tuotannon vaihtelevuuteen ja tuotantomäärään.



Kuvio 1. Tuotantomuodot (perustuu Logistiikan Maailma, i.a.-a).

Projektituotannossa on merkittävä määrä vaihtuvia tekijöitä, sillä jokainen projekti on uniikki ja erilainen (Ritvanen, 2011, s. 47–48). Vaikka projekteja on runsaasti, niiden kokonaismäärä on vähäinen verrattuna esimerkiksi prosessituotantoon. Tämä johtuu siitä, että projektit ovat yleensä yksilöllisiä ja niitä suoritetaan räätälöityjen vaatimusten perusteella. Projektituotannossa keskitytään ainutlaatuisten yksittäiskappaleiden kehittämiseen, rakentamiseen tai kokoonpanoon (Karrus, 2001, s. 76). Tämä tuotantomuoto liittyy tyypillisesti erilaisten investointien tai asiakassopimusten toteuttamiseen. Projektituotannolle on ominaista, että jokainen projekti on erilainen ja vaatii yksilöllistä lähestymistapaa. Aika on keskeinen ohjaussuure, ja projektin perussuunnitteluun kuuluu töiden ja materiaalien ajoitus sekä resurssien käytön suunnittelu. Tämä varmistaa, että projekti etenee sujuvasti ja tehokkaasti kohti tavoitettaan.

Yksittäistuotanto perustuu yleisesti joustaviin resursseihin, jotka kykenevät valmistamaan monenlaisia tuotevariaatioita (Logistiikan Maailma, i.a.-a). Tällaiset resurssit on usein järjestetty tuotantotehtävien perusteella, mikä tarkoittaa sitä, että samankaltaiset toiminnot,

kuten hitsaus ja kokoonpano, sijoitetaan yhteen (tätä kutsutaan funktionaaliseksi layoutiksi). Tuotantoprosessiin liittyy usein myös tilauskohtaista tuotesuunnittelua. Vaikka tuotannossa esiintyy toistuvia elementtejä, se eroaa projektituotannosta siinä, että se ei ole yhtä yksilöllistä ja uniikkia, vaan siinä on tiettyä toistuvuutta ja standardointia, vaikkakin erilaisten tuotevariaatioiden kautta.

Erätuotannossa tuotteita valmistetaan erissä (Logistiikan Maailma, i.a.-a). Tämä tarkoittaa sitä, että samaa tuotetta valmistetaan toistuvasti, mutta ei jatkuvasti. Tuotanto voidaan järjestää esimerkiksi tuotantosoluiksi tai virtautetuksi tuotannoksi. Tuotantosolut ovat itsenäisiä tuotantoyksiköitä, joissa valmistetaan tiettyä tuotetta tai tuoteryhmää. Virtautettu tuotanto puolestaan pyrkii virtaamaan tuotantoprosessissa sujuvasti ja tehokkaasti tuotteiden valmistusvaiheiden läpi, minimoiden seisokit ja ylimääräiset varastot. Erätuotannossa pyritään optimoimaan tuotannon joustavuus ja tehokkuus siten, että erien valmistaminen sujuu mahdollisimman tehokkaasti ja taloudellisesti.

Jatkuvatoimisessa prosessituotannossa tuotteet valmistetaan yleensä tuotantolinjoilla, joissa työvaiheet on tarkasti määritelty ja jaettu eri työpisteille (Logistiikan Maailma, i.a.-a). Tavoitteena on saavuttaa kustannustehokkuutta työn tarkalla organisoinnilla. Tuotannon vaihtelevuus on matala ja tarkkaan organisoidun toistuvan tuotannon lähestymistapa mahdollistaa tehokkaan ja sujuvan tuotannonprosessin, joka on suunniteltu erityisesti massatuotantoon.

2.2 Materiaalinhallinta

Materiaalinhallinnalla tarkoitetaan yrityksen raaka-aineiden, puolivalmisteiden ja valmiiden tuotteiden hankinnan, varastoinnin ja jakelun hallintaa (Kouri, 2009c, s. 443). Sen avulla ohjataan yrityksen kaikkia materiaalivirtoja toimittajilta asiakkaille. Viime vuosikymmeninä yritysten kustannusrakenteessa materiaalihankintojen osuus on kasvanut merkittävästi. Samanaikaisesti varastojen kokoa on pyritty pienentämään ja tilausten toimitusprosessin aikajänteitä lyhennetty.

Materiaalinhallinnalla on kaksi keskeistä tavoitetta (Kouri, 2009c, s. 443–444):

1. **Halutun palvelutason ylläpito.** Materiaalihallinnon on pystyttävä ylläpitämään haluttua palvelutasoa. Palvelutaso lopputuote-, puolivalmiste- ja materiaalivarastoissa muodostuu tuotteiden saatavuudesta ja toimitusajan pituudesta. Materiaalihallinnon toimintoja on kehitettävä siten, että varastot kykenevät palvelemaan sekä omaa tuotantoa että loppuasiakkaita halutulla tavalla. Materiaalitoiminnoilta edellytetty palvelutaso on yksi keskeisimmistä strategisista päätöksistä.
2. **Materiaalinhallinnan kokonaiskustannusten minimointi.** Materiaalinhallinnan kokonaiskustannukset muodostuvat seuraavasti:

- ostettavien materiaalien hinta
- oston kustannukset
- kuljetus, vastaanotto ja tarkastuskustannukset
- varastointikustannukset
- jakelukustannukset
- materiaalivirheiden aiheuttamat kustannukset tuotannossa
- puutekustannukset
- reklamaatiokustannukset

2.2.1 Sisäinen logistiikka ja materiaalivirta

Sisäinen logistiikka, josta käytetään myös nimitystä tuotantologistiikka, sisältää käsittelyvaihteita, joissa materiaalia ei jalosteta. Tällaisia ovat varastointi ja materiaalin siirrot (von Bagh, Günther & Salmenkari, 2000, 159–160). Tuotannollisessa yrityksessä logistiikaksi ymmärretään joskus vain vastaanottoon ja lähettämiseen liittyvät toiminnot sekä niiden suorittajat (Ahlqvist & Koskela, 2020, s. 7). Tuotannossa tapahtuu kuitenkin paljon siirtoja, jotka kaikki ovat osa sisälogistiikkaa. Hyvin toimiva sisäinen logistiikka pitää huolen, että tavarat ja materiaalit ovat oikeaan aikaan oikeassa paikassa. Tämä vähentää Lean-ajattelun mukaisesti hukkaa ja tehokkuuden parantumisen kautta lisää yrityksen kilpailukykyä. Ilman toimivaa sisälogistiikkaa on vaikea luoda kilpailukykyistä tuotantoa kiristyvässä kilpailussa. Hyvin hoidettu sisäinen logistiikka auttaa yritystä vastaamaan asiakkaiden tarpeisiin tehokkaasti ja nopeasti, mikä parantaa kilpailukykyä ja asiakastyytyväisyyttä.

Osa sisäistä logistiikka ovat varastot, jotka ovat hyödykkeiden säilyttämiseen tarkoitettuja tiloja (Karrus, 2001, s. 77; Sakki, 2009, s. 103). Teollisessa ympäristössä varastot luokitellaan raaka-aine-, puolivalmiste- ja valmisteverastoihin. Raaka-ainevarastot saattavat sisältää komponentteja tai osto-osia. Keskeneräinen työ luokitellaan puolivalmisteiksi ja valmiit tuotteet valmisteverastoksi. Osa raaka-aineista voi saapua suurina erinä, joiden kuluttaminen tuotannossa vie aikaa. Jotkin valmiit tuotteet tehdään varastoon odottamaan toimitusta tai tilauksia. Raaka-ainevarastojen tarkoituksena on joko varmistaa edullinen hankintahinta tai taata tuotannon sujuvuus. Keskeneräisillä töillä tarkoitetaan kesken jääneitä tuotteita, joihin on jo käytetty materiaaleja ja kapasiteettia. Näiden välivarastojen hallinta on keskeinen osa tuotantoprosessin ohjausta. Keskeneräisiä tuotteita varastoidaan puskureiksi työvaiheiden välille. Puskurivarastot tunnetaan myös työnkulkuvarastoina, joilla pyritään joustavoittamaan tuotannon virtauksia (Lapinleimu, 1997, s. 101). Lisäksi on lopputuotevarastoja ja varastoituja puolivalmisteita, joita ei ole vielä allokoitu asiakkaille tai tilauksille. Prosessituotannossa raaka-aine- ja lopputuotevarastot voivat olla suhteellisen suuret, kun taas projektitoiminnassa keskeneräisen työn varastot ovat yleensä suurimmat. Varastojen minimointi ja varastokierron tehostaminen ovat tärkeitä kehittämiskohteita (Kouri, 2009b, s. 406). Tämä voi auttaa vähentämään hukkaa, parantamaan kustannustehokkuutta ja lyhentämään läpäisy- ja toimitusaikoja.

Valmistusprosessissa esiintyy usein turhia välivarastoja eri työn vaiheiden välillä (Kouri, 2009b, s. 406). Näiden varastojen poisto nopeuttaa läpäisyäikää ja pienentää varastoinnin aiheuttamia välillisiä kustannuksia. Useimmiten nämä siirrot ja välivarastot eivät itsessään tuota mitään lisäarvoa. Tämän takia siirtoja, välivarastoja ja kosketuksia tulisi olla mahdollisimman vähän. Lisäksi siirtojen tulisi tapahtua mahdollisimman lyhyillä välimatkoilla ja kulkea pääosin vain yhteen suuntaan. Varastonohjauksen perusperiaatteina voidaan pitää FIFO-, eli first-in-first-out ja LIFO- eli last-in-first-out –periaatteita (Logistiikan Maailma, i.a.-b). FIFO-periaatteen mukaisesti tavara lähtee varastosta samassa järjestyksessä kuin se on sinne tuotu. Näin mikään osa tuotteista ei jää seisomaan varastoon pitkäksi aikaa. Konepajatuotannossa FIFO-menetelmää voidaan soveltaa raaka-aineiden, puolivalmisteiden ja valmiiden tuotteiden varastoinnissa ja käytössä. Tämä auttaa optimoimaan varastonhallinnan ja varmistamaan, että tuotanto voi jatkua sujuvasti ja ilman tarpeettomia viivästyksiä tai hukkaa. LIFO-periaatetta, jossa viimeiseksi tuotu tuote otetaan ensimmäisenä, käytetään yleensä tuotteilla, joiden kierto on nopeaa tai jotka tuodaan varastoon hetkellisesti.

Materiaalivirtauksien selvityksellä tarkoitetaan prosessia, jossa analysoidaan tuotannossa valmistettavien vakiotuotteiden valmistuksen aikana tapahtuvia edestakaisia liikkeitä ja välivarastointipisteitä (Kouri, 2009c, s. 443). Tämän avulla voidaan hahmottaa, kuinka paljon matkaa kertyy tuotteiden valmistuksen eri vaiheissa. Tämä matka voidaan mitata metreinä, mikä auttaa ymmärtämään tuotantoprosessin toimintaa ja tunnistamaan mahdollisia tehostamiskohteita. Analyysi voi paljastaa hukkaa ja pullonkauloja materiaalivirroissa, mikä voi auttaa parantamaan tuotannon sujuvuutta ja tehokkuutta.

2.3 Lean-arvovirtakuvaus

Lean-ajattelulla pyritään jatkuvaan parantamiseen ja tehokkuuden lisäämiseen eliminoiden kaikki turhat toiminnot ja prosessit. Sen keskeisenä periaatteena on arvon tuottaminen asiakkaalle ja kaikkien toimintojen optimointi tämän tavoitteen saavuttamiseksi (Logistiikan maailma, i.a.-c). Arvovirtakuvaus on visuaalinen esitys tiedon, tekemisen tai materiaalin kulusta, esimerkiksi palveluketjussa, alkaen asiakkaan päätöksestä aina siihen hetkeen, kun asiakastarve täyttyy (Arter, 2021). Arvovirtakuvauksen tarkoitus on kuvata selkeästi prosessien vaiheita ja niiden välisiä yhteyksiä, odotusaikoja, välivarastoja ja työvaiheiden kestoja. Sen tavoitteena on löytää prosessista kehityskohteita, kuten tasaista virtausta esittäviä pullonkauloja, joihin prosessin kehittämistoimenpiteet tulisi kohdistaa. Arvovirtakuvauksen avulla organisaatio voi tunnistaa mahdollisuuksia tehostaa toimintaansa ja parantaa asiakastyytyväisyyttä.

Lean-ajattelumallin mukaisesti toiminnot tunnistetaan arvoa tuottaviin ja arvoa tuottamattomiin vaiheisiin, joiden avulla saadaan selville ketjun prosessitehokkuus (Arter, 2021):

1. Arvoa tuottava toiminta käsittää prosessin työvaiheet, joiden tuloksena tuote tai palvelu saa sellaiset ominaisuudet, joista asiakas on valmis maksamaan. Nämä ovat toimintoja, jotka suoraan lisäävät tuotteen tai palvelun arvoa asiakkaalle. Näitä toimintoja tulee optimoida ja standardisoida, jotta voidaan maksimoida tuotteen tai palvelun arvonlisäys suhteessa käytettyyn aikaan ja resursseihin. Tällä tavoin voidaan parantaa prosessin tehokkuutta ja kilpailukykyä.
2. Arvoa tuottamaton toiminta käsittää hukkaa, eli toimintoja, jotka eivät lisää tuotteen tai palvelun arvoa asiakkaalle. Tällaiset toiminnot pyritään minimoimaan tai

poistamaan kokonaan. Tähän päästään tunnistamalla ja eliminoimalla turhat työvaiheet, odotusajat, ylisuorittaminen ja muut hukkaa aiheuttavat tekijät. Tavoitteena on saavuttaa mahdollisimman suuri osuus arvoa tuottavasta toiminnasta suhteessa kokonaisprosessiin, mikä tehostaa toimintaa ja vähentää kustannuksia.

3. Arvoa tuottamaton, mutta välttämätön toiminta ei suoraan lisää asiakkaan arvoa, mutta on liiketoiminnan ja prosessin jatkuvuuden kannalta välttämätöntä. Tällaisia toimintoja voivat olla esimerkiksi laitteiden huolto tai lain määäämät toimintamallit. Vaikka nämä toiminnot eivät suoraan lisää tuotteen tai palvelun arvoa asiakkaalle, ne ovat välttämättömiä liiketoiminnan jatkuvuuden ja laadun varmistamiseksi. Näiden kohdalla on kuitenkin tärkeää tarkistaa, voidaanko niitä minimoida tai eliminoida mahdollisuuksien mukaan.

Arvovirtoja kuvaamalla on tarkoitus kuvata prosessin nykytila ja tunnistaa kehityskohteita, jotta arvoa tuottamaton toiminta eli hukka saataisiin eliminoidua (Arter, 2021; Liker, 2004/2006, s. 89). Lean-periaate määrittelee 7 hukkaa, joita ovat:

1. Ylimääräinen liike ja siirtäminen
2. Kuljettaminen
3. Varastointi
4. Odottaminen
5. Sopimaton ja yliprosessointi
6. Virheet ja korjaaminen
7. Ylituotanto

2.4 Layout

Layoutilla tarkoitetaan tuotantojärjestelmän fyysisten osien, kuten koneiden ja laitteiden, varastopaikkojen ja kulkureittien sijoittelua tehtaassa (Kouri, 2009d, s. 475). Työnkulun ja tuotantolaitteiden sijoittelun perusteella layoutit voidaan jakaa kolmeen päätyyppiin: tuotantolinjalayoutiin, funktionaaliseen layoutiin ja solulayoutiin. Tuotannon layoutiin sitoutuu aikaa, työtä ja rahaa eikä sen muuttaminen ole helppoa (Logistiikan Maailma, i.a.-d).

Layout on merkittävä tuotannon tehokkuuden ja sujuvuuden kannalta, koska sen toimivuus vaikuttaa paljon läpimenoon.

2.4.1 Tuotantolinjalayout

Tuotantolinjassa koneet ja laitteet sijoitetaan valmistettavan tuotteen työnkulun mukaiseen järjestykseen (Kouri, 2009d, s. 475). Tuotantolinja on erikoistunut tietyn tuotteen valmistamiseen, ja sen valmistus- ja kappaleenkäsittelyprosessit ovat automatisoituja ja tehokkaita. Työnkulku on selkeää, ja eri työvaiheiden välillä voidaan käyttää mekaanisia kuljettimia. Tuotantolinjan rakentamisen keskeisiä edellytyksiä ovat suuri volyymi ja korkea kuormitusaste. Vaikka tuotantolinjan rakentamisen kustannukset ovat suuret, suurien valmistusmäärien ansiosta tuotteen yksikköhinta muodostuu alhaiseksi.

Tuotantolinja sietää huonosti häiriöitä, koska pienikin häiriö voi vaikuttaa nopeasti koko linjan tuottavuuteen (Kouri, 2009d, s. 475–476). Laadunvalvonta on tärkeää, koska häiriöiden aiheuttamat kustannukset voivat olla suuria, sillä tuotantolinja pystyy tehokkaasti tuottamaan myös virheellisiä tuotteita. Kapasiteetin kasvattaminen tuotantolinjan toteutuksen jälkeen on vaikeaa, ja tuotantosarjat ovat usein pitkiä, koska tuotteen vaihtaminen toiseen vaatii tavallisesti pitkän asetusajan. Selkeän työnkulun ansiosta tuotantolinjan tuotannon ohjaus on helppoa, ja linjaa ohjataan yhtenä kokonaisuutena.

2.4.2 Funktionaalinen layout

Funktionaalisessa layoutissa koneet ja työpisteet ryhmitellään työtehtävän samankaltaisuuden perusteella (Kouri, 2009d, s. 476). Esimerkiksi kaikki sorvit sijoitetaan sorvaamoon ja hitsauspaikat hitsaamoon. Funktionaalisen layoutin ominaisuuksiin kuuluu, että tuotantomäärät ja tuotetyypit voivat vaihdella huomattavasti. Koneet ja laitteet ovat yleensä monipuolisia yleiskoneita, joilla voidaan valmistaa erilaisia tuotteita joustavasti, joko yksittäiskappaleina tai sarjoina.

Automatisointia käytetään funktionaalisessa layoutissa hyvin rajoitetusti, koska erilaiset työnkulkujen vaatimukset eivät välttämättä sovellu automatisoinnille (Kouri, 2009d, s. 476). Tuotannonohjaus perustuu työjonojen järjestelyyn, mikä voi kasvattaa keskeneräisen tuotannon määrää ja pidentää läpäisyaikaa. Lisäksi työpisteiden väliset suuret etäisyydet aiheuttavat korkeita materiaalien kuljetus- ja käsittelykustannuksia. Välivarastojen ja työpisteiden väliset suuret etäisyydet vaikeuttavat myös laadunhallintaa. Funktionaalisen layoutin toteutus on helppo ja halpa verrattuna tuotantolinjalayoutiin (Kouri, 2009d, s. 476–477).

Kapasiteetin kasvattaminen ja erilaisten tuotteiden valmistaminen ovat joustavampia, mutta tuottavuus jää yleensä heikommaksi ja kuormitusasteet matalammiksi.

2.4.3 Solulayout

Solulayout muodostaa itsenäisen ryhmän, joka koostuu eri koneista ja työpisteistä, ja on erikoistunut tiettyjen osien valmistamiseen tai työvaiheiden suorittamiseen (Kouri, 2009d, s. 477–478). Se edustaa välivaihetta funktionaalisen layoutin ja tuotantolinjanlayoutin välillä. Solujen läpäisyajat ovat merkittävästi lyhyemmät kuin funktionaalisessa layoutissa, ja materiaalivirrassa ei ole välivarastoja. Solu pystyy valmistamaan joustavasti niitä tuotteita, joiden valmistukseen se on suunniteltu, ja asetusajat tuotteesta toiseen ovat lyhyet. Solu on joustavampi kuin tuotantolinjalayout ja tehokkaampi kuin funktionaalinen järjestelmä oman tuoteryhmänsä puitteissa.

Eri tuotteiden tuotantomäärät ja eräkoot voivat vaihdella paljon solussa, ja tuotteita valmistetaan yksittäiskappaleina tai pieninä sarjoina (Kouri, 2009d, s. 478). Solun tuotannonohjaus on helppoa, koska se muodostaa vain yhden kuormituspisteen. Soluvalmistusta perustellaan usein työntekijöiden motivaation ja tuottavuuden parantumisella. Solussa työskentelevä ryhmä vastaa tehtäviensä suunnittelusta ja suorittamisesta itsenäisesti, ja työntekijät voivat vaikuttaa keskinäiseen työnjakoon ja tehtävien kierrättämiseen.

2.4.4 Layoutsuunnittelu

Tehtaan layout koostuu erityyppisistä osalayouteista, jotka voivat vaihdella tuotantoprosessin eri vaiheiden mukaan (Kouri, 2009d, s. 480). Esimerkiksi tuotteiden kokoonpano voidaan suorittaa tuotantolinjassa, kun taas osien valmistus voi tapahtua funktionaalisessa tai solulayoutissa. Funktionaalisesti järjestetyssä tuotannossa osa valmistuksesta voidaan organisoida soluiksi. Tämä tarkoittaa sitä, että tehtaalla voi olla eri alueita, jotka on suunniteltu eri toimintojen suorittamiseen, kuten osien valmistamiseen, kokoonpanoon ja loppukokoonpanoon. Joustava layoutmalli mahdollistaa prosessien tehokkaan virtaamisen ja resurssien tehokkaan käytön koko tuotantoprosessin aikana.

Layoutsuunnittelu on monimutkainen prosessi, johon vaikuttaa suuri määrä erilaisia tekijöitä (Kouri, 2009d, s. 480–481). Tuotantojärjestelmän layout on aina kompromissi, koska kaikkien tekijöiden suhteen optimaalista ratkaisua ei yleensä ole löydettävissä. Layout-suunnittelun keskeisenä tavoitteena on materiaalivirtojen tehokas suunnittelu (Kouri, 2009d, s. 482). Materiaalien kuljetuskerrat ja -matkat pyritään minimoimaan osastojen ja työpisteiden sijoittelua suunniteltaessa. Tuotannonohjauksen ja toiminnan kehittämisen kannalta on edullista pyrkiä selkeisiin materiaalivirtoihin. Työpisteet tulee sijoittaa siten, että materiaalien siirtoetäisyydet ovat mahdollisimman pienet. Mistä-mihin-matriisia käytetään tuotantolaitoksen tai työpisteen layoutsuunnittelussa (Muther & Hales, 2015, s. 20). Sen tarkoituksena on havainnollistaa, kuinka usein tai kuinka paljon eri työpisteiden välillä tapahtuu materiaalin, tuotteiden tai työnkulun siirtoja. Periaatteena on, että mikäli kahden työpisteen välillä tapahtuu paljon siirtoja, ne tulisi sijoittaa lähemmäs toisiaan. Kouri (2009d, s. 483) kuvaa työnkulkukaaviossa (taulukko 1) osastojen välisiä kuljetuskertoja osana funktionaalisen layoutin suunnittelua.

Taulukko 1. Työnkulkukaavio (mukaillen Kouri, 2009d, s. 483).

Kuvaus	cs	0	●	★	▼	□	Huom.
1. Materiaalivarastossa							
2. Siirto osavalmistukseen				●			
3. Osavalmistuksessa		●					
4. Siirto hitsaukseen				●			
5. Hitsauksessa		●					
6. Siirto pintakäsittelyyn				●			
7. Pintakäsittelyssä		●					
8. Siirto kokoonpanoon				●			
9. Kokoonpanossa		●					
10. Lopputarkastus						●	
11. Siirto lopputuotevarastoon							
<div> <div>cs = Odotus</div> <div>0 = Työnvaihe</div> <div>● = Käsittely</div> <div>★ = Kuljetus</div> <div>▼ = Varastointi</div> <div>□ = Tarkastus</div> </div>							

Hyvä layout sisältää seuraavia ominaisuuksia (Kouri, 2009d, s. 482):

- materiaalivirrat ovat selkeät
- layout on helposti ja joustavasti muutettavissa

- materiaalien siirtotarve on pieni
- kuljetusmatkat ovat lyhyet
- erityisosaamista vaativa valmistus on keskitetty samaan paikkaan
- tehtaan sisäiset palvelut on sijoitettu käyttöpaikan lähelle
- materiaalien vastaanotto ja jakelu on helppoa
- eri valmistusvaiheiden erityistarpeet on otettu huomioon
- kaikki tila on tehokkaasti käytetty
- työturvallisuus ja -tyytyväisyys on otettu huomioon.

Layoutsuunnittelussa on tärkeää ottaa huomioon mahdolliset laajennus- ja muutostarpeet (Kouri, 2009d, s. 482). Kun tuotantomäärät ja tuotetyypit muuttuvat ajan myötä, layoutia on pystyttävä muokkaamaan joustavasti vastaamaan uusia tarpeita. Erityisesti vaikeasti siirrettävien koneiden ja laitteiden sijoittelussa on huomioitava mahdolliset muutostarpeet. Esimerkiksi maalaus- ja tuotantolinjat sekä raskaat koneet ja kiinteät varastorakennelmat on sijoitettava niin, etteivät ne haittaa layoutin myöhempää kehittämistä. Tämä tarkoittaa sitä, että näiden osien sijoittelussa on harkittava niiden sijoittamista sellaisiin paikkoihin, joista ne on tarvittaessa mahdollista siirtää tai muuttaa ilman suuria rakenteellisia muutoksia. Näin varmistetaan, että layout pysyy joustavana ja sopeutuu yrityksen muuttuviin tarpeisiin ja vaatimuksiin.

3 MATERIAALIVIRRRAN JA LAYOUTIN SUUNNITTELU

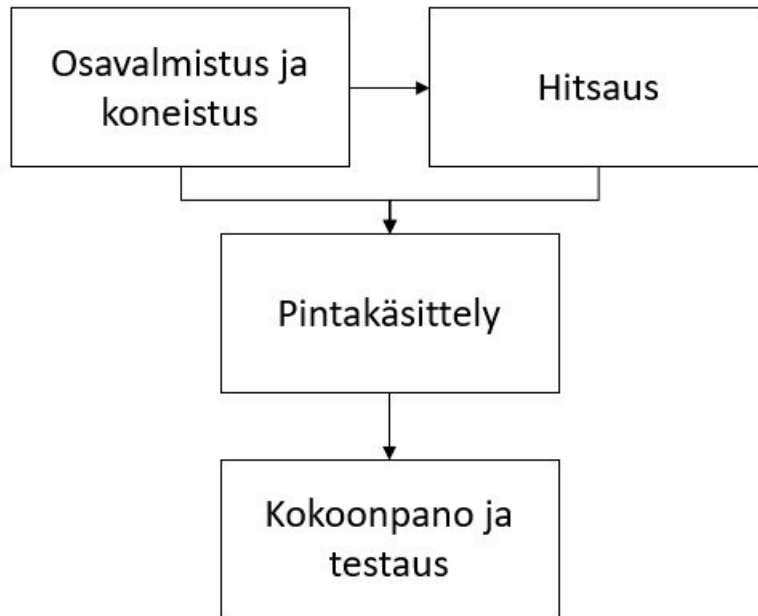
Nordautomation suunnittelee muutoksia tuotantotilojen layoutiin, jotta tuotantoa voitaisiin tehostaa selkeyttämällä materiaalivirtoja ja vähentämällä sisäistä logistiikkaa. Alun perin tuotantotilat on suunniteltu ja rakennettu pienemmälle tuotantomäärälle, mutta vuosien aikana laajennuksia on tehty tarpeen mukaan. Tämän seurauksena työpisteiden sijoittelusta on tullut hankalaa, ja materiaalivirrat kulkevat edestakaisin ja pitkiä matkoja.

Pitkien kuljetusmatkojen ja epäjärjestelmällisen työpistesijoittelun vuoksi yrityksessä tapahtuu arvoa tuottamatonta työtä, kuten varastoitujen tai kuljetuksessa olevien osien etsimistä. Tämä lisää hukkaa ja hidastaa tuotantoprosessia. Muutosten tavoitteena onkin parantaa tuotannon tehokkuutta ja virtaviivaistaa tuotantoprosessia, jotta arvoa tuottavat toiminnot voisivat tapahtua sujuvammin ja tehokkaammin.

Aluksi esitellään Nordautomationin tuotantoprosessi ja sen päävaiheet. Osastoilta otetuissa kuvissa näkyvät pohjapiirroksessa punaisella merkityt työpisteiden nykyiset sijainnit tehdasalueella. Työvaiheiden välisten kuljetusten matkoja mitattiin ja sovellettiin matkojen vertailussa mistä-mihin-matriisia. Nykyinen layout koostuu erilaisista osalayouteista, jotka vaihtelevat tuotantoprosessin eri vaiheiden mukaan. Tehtaalla on erilaisia alueita, jotka on suunniteltu eri toimintojen suorittamiseen, kuten osien valmistukseen, hitsaukseen, pintakäsittelyyn ja kokoonpanoon.

3.1 Tukinkäsittelylaitteiden tuotantoprosessi

Tukinkäsittelylaitteiden valmistus Nordautomationilla voidaan jakaa karkeasti neljään päävaiheeseen kuvion 2 mukaisesti.



Kuvio 2. Tukinkäsittelylaitteiden tuotantoprosessin kuvaus.

Kuviossa 3, joka on ilmakeku tehtaau alueelta, käy ilmi hallien sijainnit toisiinsa nähden sekä Kuopiontie, joku molemmille puolille tehdas jakautuu. Yleisen tien ylitys trukkiliikenteessä aiheuttaa helposti vaaratilanteita. Osavalmistus, hitsaus ja kokoonpano ovat ydin-toimintoja, jotka ovat sijoitettuna samaan hallikokonaisuuteen. Tämän kokonaisuuden pinta-ala on noin 3500 m². Pintakäsittely ja koneistus ovat vuonna 2017 valmistuneessa hallissa, joku kokonaispinta-ala on 3370 m². Tästä noin puolet on kylmää varastotilaa. Osavalmistuksen kuuluvana, mutta erillisenä osastona on poltto- ja plasmaleikkaus joku, pinta-ala on 1728 m².



Kuvio 3. Nordautomationin tehdasalue (Nordautomation, 2024).

Teoriaosuuden luvussa 2.4.4 esiteltyä mistä-mihin-matriisia sovellettiin osastojen välisten matkojen dokumentoinnissa. Matriisin alkuperäisenä tarkoituksena on kuvata työpisteiden välisten siirtojen määrää ja taajuutta. Taulukossa 2 on esitettyä osastojen väliset etäisyydet nykytilanteessa. Harmailla soluilla on kuvattu kuljetussuuntia, joita ei suoriteta tuotantoprosessin aikana. Mitattuja etäisyyksiä voidaan hyödyntää laskettaessa sisäisen logistiikan kustannuksia.

Taulukko 2. Osastojen väliset matkat nykytilanteessa.

Osastojen väliset matkat (m) mistä\mihin	A	B	C	D	E	F	G
Pintakäsittely A			170			200	
Koneistus B	20		200	250	200	200	400
Kokoonpano C							
Osavalmistus D	250	250	180		200		350
Hitsaus E	200	200					
Varasto F	200	200	70	60	50		250
Poltto- ja plasmaleikkaus G	400	400		350	300		

3.1.1 Osavalmistus ja koneistus

Plasma- ja polttoleikkaus jalostaa suurimman osan levymateriaalista. Levyleikkeitä lähtee moneen eri työvaiheeseen mm. hitsaukseen, särmäykseen, koneistukseen tai suoraan pintakäsittelyyn. Plasmaleikkausta käytetään ohuempien materiaalien leikkaukseen aina 40 mm asti. Tätä paksummat leikkeet polttoleikataan. Levyleikkeet siirtyvät jatkokäsittelyyn joko särmäykseen tai hitsaukseen. Termisen leikkauksen koneet ovat Ermaksan EOC 2890 -polttoleikkauskone ja Ermaksan EPL 25130 XPR300 -plasmaleikkauskone. Koneet on sijoitettu halliin peräkkäin, kuten kuvasta 2 käy ilmi. Plasmaleikkurille materiaalit tuodaan lavetilla ja levy nostetaan siltanosturilla koneen pöydälle. Polttoleikkaukseen tulevaa materiaalia voidaan käsitellä siirtopöydällä.



Kuva 2. Plasma- ja polttoleikkaus (Nordautomation, 2024).

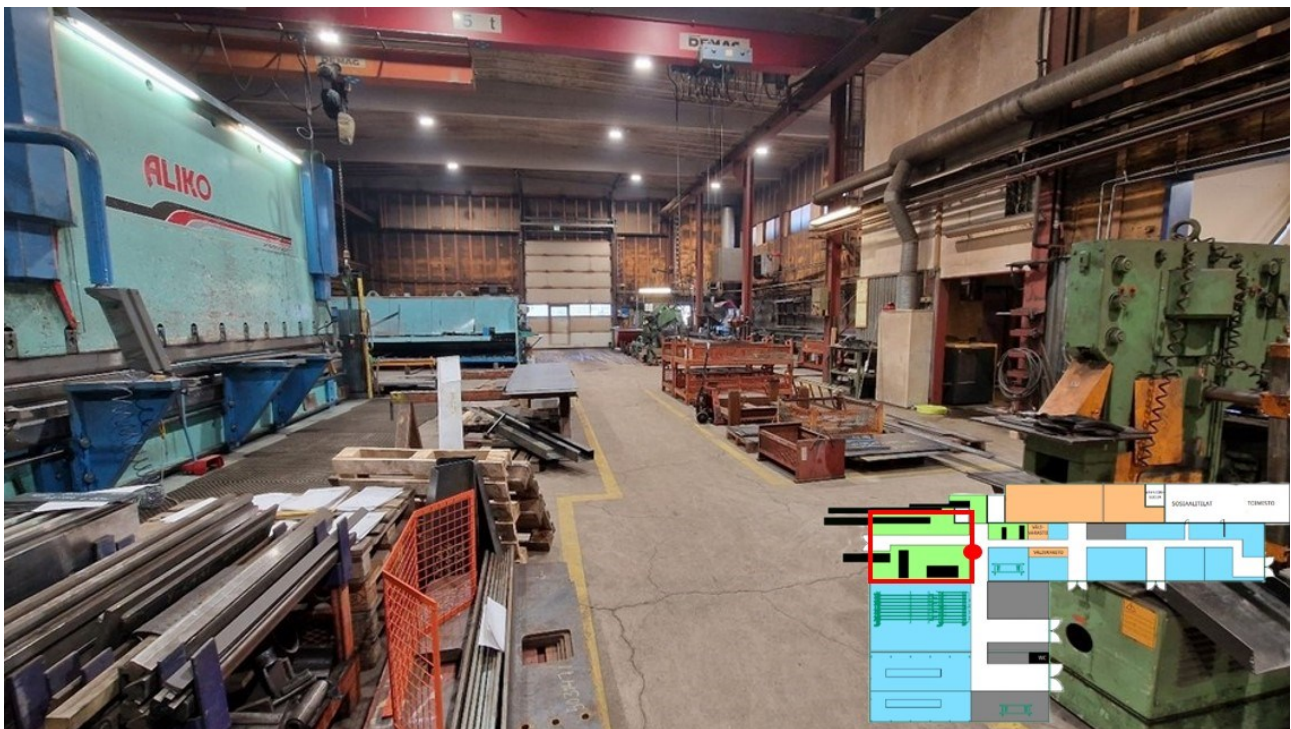


Kuva 3. Pieni särmäyspuristin (Nordautomation, 2024).

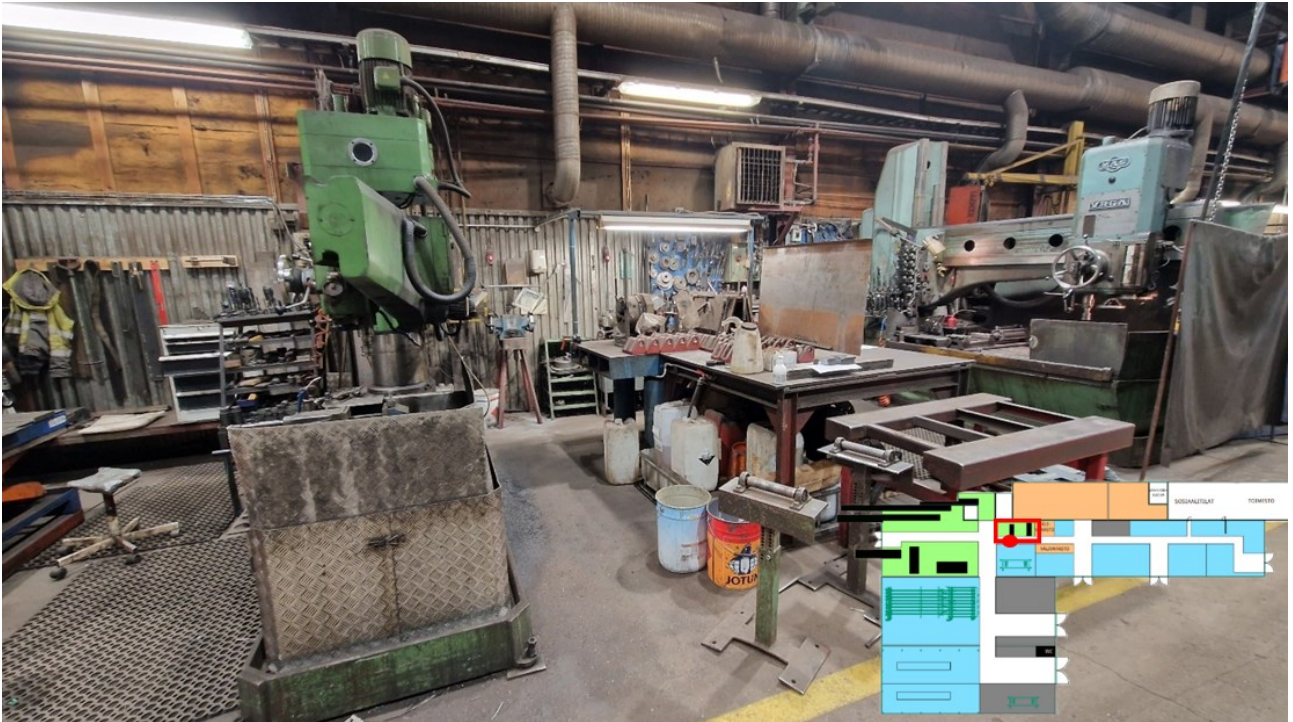
Särmäykseen on käytössä kaksi Aliko-särmäyspuristinta. Pienemmällä, joka on kuvassa 3, maksimi taivutusleveys on kolme metriä ja puristusvoima 110 tn. Isommalla (kuva 4) taivutusleveys on kuusi metriä ja puristusvoima 630 tn. Pienempi särmäyspuristin on

sijoitettuna plasmaleikkauksen läheisyyteen, jolloin pienemmät särmättävät kappaleet voidaan siirtää suoraan särmäykseen. Samassa tilassa on termisen leikkauksen välivarasto, josta leikkeet haetaan hitsaukseen. Pienemmällä särmäyspuristimella rajoittavia tekijöitä ovat puristusvoima ja taivutusleveys. Myös nosturin nostokorkeus rajoittaa kappaleen kokoa, jolloin isommat kappaleet pitää siirtää tien toisella puolella sijaitsevaan osavalmistukseen. Osavalmistuksessa oleva isompi särmäyspuristin on sijoitettu levyleikkurin perään, jolloin suorat leikkeet voidaan nopeasti siirtää särmäykseen.

Sahaus ja mekaaninen leikkaus ovat osavalmistuksen alkupään vaiheet. Isojen palkkien sahaukseen käytetään kylmäpyörösahaa. Pienempien palkkien, kulma- ja lattaterästen sahaukseen on kaksi vannesahaa. Sahatut kappaleet siirretään säteisporakoneelle tai suoraan hitsaukseen. Leikkausleveydeltään kuusimetrisellä levyleikkurilla leikataan ainevahvuudeltaan alle kymmenen millimetriset ja suorakulmaiset osat.

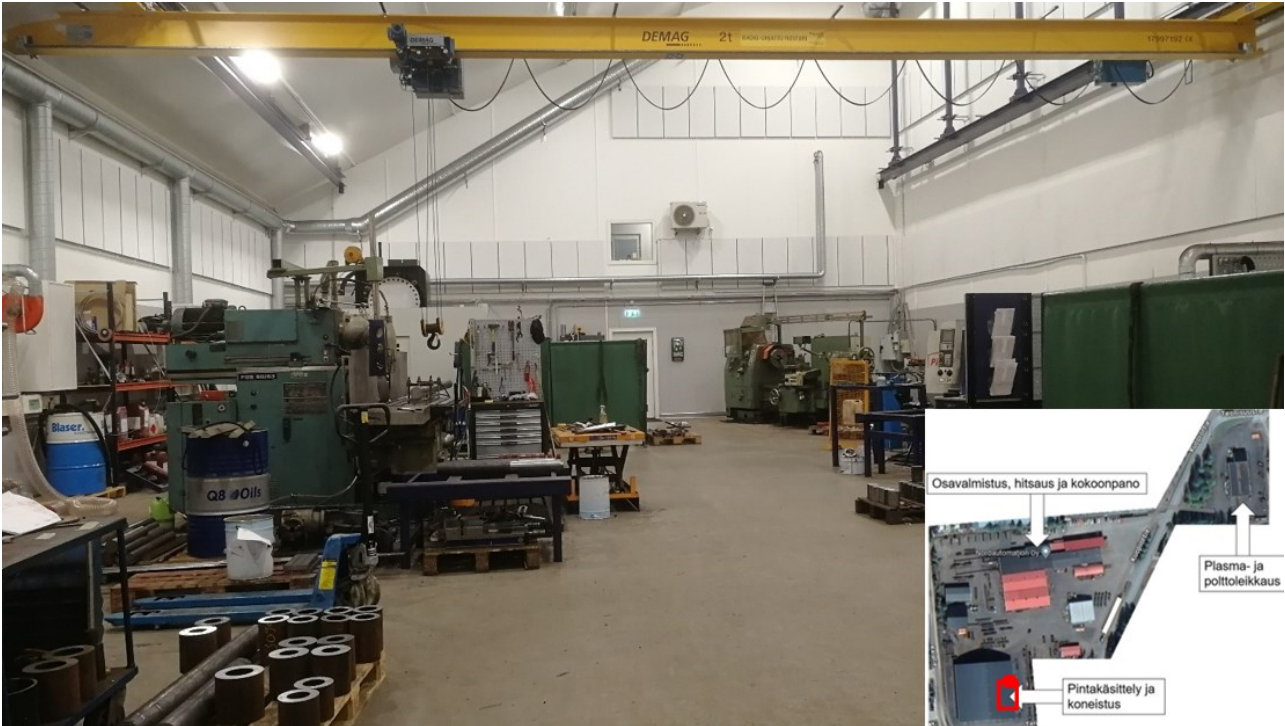


Kuva 4. Osavalmistus: sahat, levyleikkuri ja särmäyspuristin (Nordautomation, 2024).



Kuva 5. Osavalmistus: säteisporakoneet (Nordautomation, 2024).

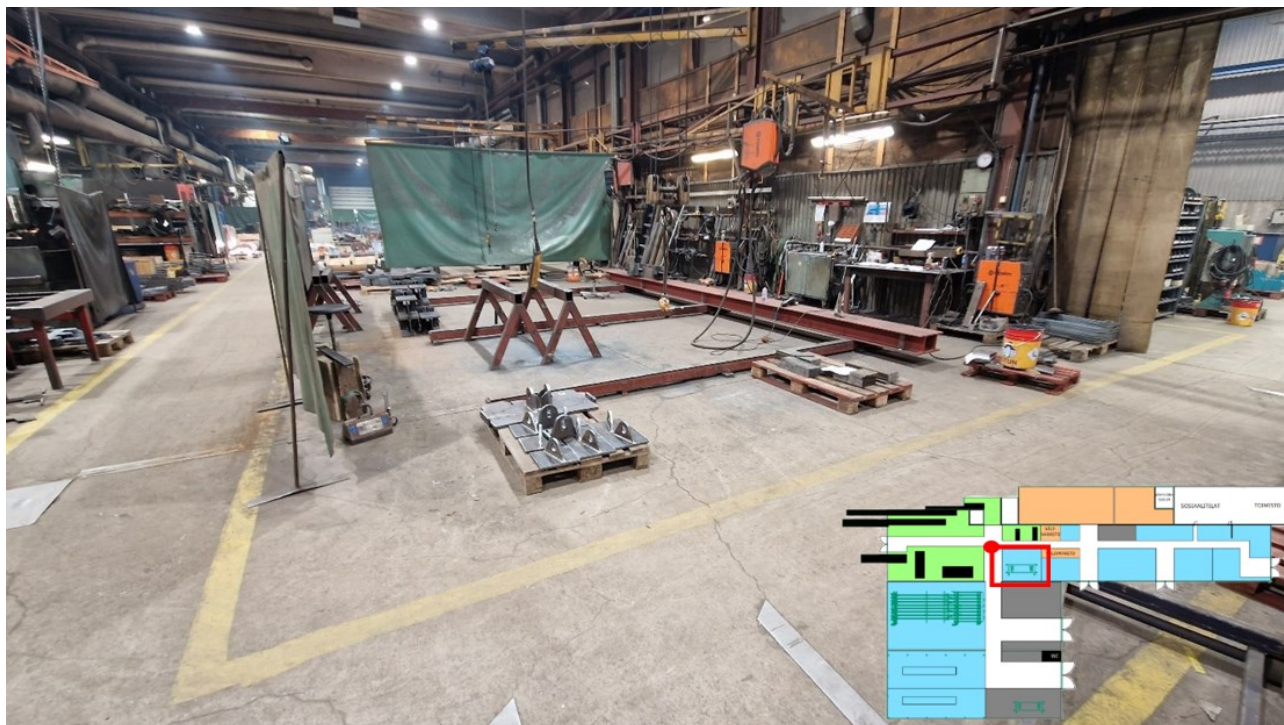
Koneistus toimii omana solunaan (kuva 6) pois lukien säteisporakoneet, jotka on osavalmistukseen integroituna kuvan 5 mukaisesti. Koneistussolu valmistaa pääasiassa osia kokoonpanoon. Koneistuksen käytössä on 3-akselinen työstökeskus, kaksi kärkisorvia, jyrsinkone ja vannesaha. Levyaihiot tulevat plasma- ja polttoleikkauksesta. Usein ne kulkevat hitsauksen kautta koneistukseen. Pyörötanko- ja ainesputkiaihiot sahataan koneistussolun vannesahalla ja siirretään sorville tai jyrsinkoneelle.



Kuva 6. Koneistussolu (Nordautomation, 2024).

3.1.2 Hitsaus

Tuotannon hienokuormitus ilmoitetaan kuuden hitsauspisteen ja kokoonpanon mukaan. Näiden avulla osavalmistus, koneistus ja pintakäsittely osaa edetä oikeassa järjestyksessä. Osahitsaukseksi luetaan koneistusosien hitsaus ja ketjujen varusteluhitsaus. Koneistusosien hitsaukseen aihiot tulevat plasma- ja polttoleikkauksesta sekä koneistusso-lusta. Ketjujen varusteluhitsauksessa kuljetinketjuihin hitsataan kolia. Kokoonpanohitsaus tarvitsee suurimman osan hallien pinta-alasta. 1-hallissa on osahitsauspisteiden lisäksi neljä hitsauskokoonpanopistettä. Kuvassa 7 on näkymä 1-hallista. Ensimmäisenä näky-vässä hitsauspisteessä tehdään porrasannostimien runkojen hitsaus.



Kuva 7. 1-halli porrasannostimen hitsaus (Nordautomation, 2024).

Kuvassa 8 näkyy 4-hallin hitsaukseen varattu puoli. Tässä hallissa hitsataan paljon tilaa vaativia laitteita, kuten tukkipöytiä.



Kuva 8. 4-halli hitsaus (Nordautomation, 2024).

5-hallissa hitsataan muun muassa lajittelijaelementtejä ja kiramoita. Myös tämä halli jakaantuu puoliksi hitsauksen ja kokoonpanon käyttöön. Kuvassa 9 on hitsausosaston käytössä oleva puoli.



Kuva 9. 5-halli hitsaus (Nordautomation, 2024).

3.1.3 Pintakäsittely

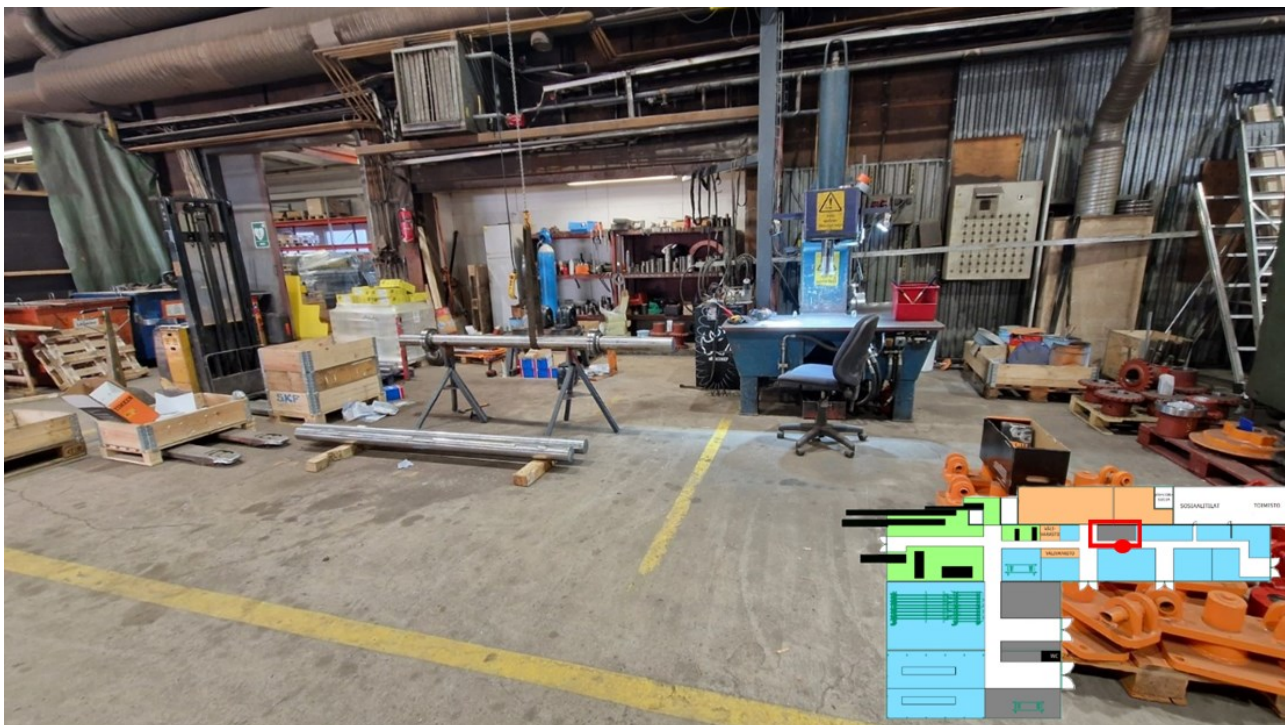
Pintakäsittelyssä (kuva 10) on kolme maalausammiota ja teräsraepuhalluskammio. Pintakäsittelyssä hitsatut rungot siirretään ensin teräsraepuhallukseen. Puhalluksen jälkeen ne siirretään maalausammioon, jossa ne maalataan vaaditulla maalilla. Rungoille ja liikkuville osille on omat maalinsa. Lisäksi käytetään ruosteenestopohjamaalia puolivalmis-teissa. Pienten osien logistiikka tapahtuu niille tarkoitetun tilan kautta, johon on sijoitettu sinkopuhalluskone. Nämä sinkopuhalletaan ja maalataan radalle ripustettuna. Hitsauksesta pintakäsittelyyn ja sieltä edelleen kokoonpanoon siirrettävät rungot aiheuttavat paljon trukkiliikennettä tehtaan alueella. Hitsauksessa rungot laitetaan valmiiksi pukkien päälle, jolloin niiden nouto ja kuljetus helpottuvat.



Kuva 10. Pintakäsittely (Nordautomation, 2024).

3.1.4 Kokoonpano ja testaus

Kokoonpano on työvaihe, jossa tuotantoprosessin laadukkuus lopulta mitataan. Jos jossakin aikaisemmassa työvaiheessa, teknisessä suunnittelussa, muotoilussa tai logistiikassa, on tehty virhe, se vaikeuttaa kokoonpanoa tai pahimmassa tapauksessa estää sen. Kokoonpanossa laitteisiin kiinnitetään sähkömoottorit, voimansiirron osakokonaisuudet ja komponentit sekä asennetaan voitelulinjat. Laitteet kokoonpannaan mahdollisimman valmiiksi kuljetuksen vaatimissa puitteissa ja testataan ennen toimitusta asiakkaan tontille. Laitteiden suuren koon vuoksi paikkakokoonpano on ainoa vaihtoehto, mutta pienemmät osakokonaisuudet voidaan tehdä valmiiksi osakokoonpanona. Kuvassa 11 olevalla työpisteellä tehdään osakokoonpanoja. Kiilaurien aventaminen tehdään samassa työpisteessä. Yleisiä osakokoonpanoja ovat laitteiden voimansiirron veto- ja taittoakselit.



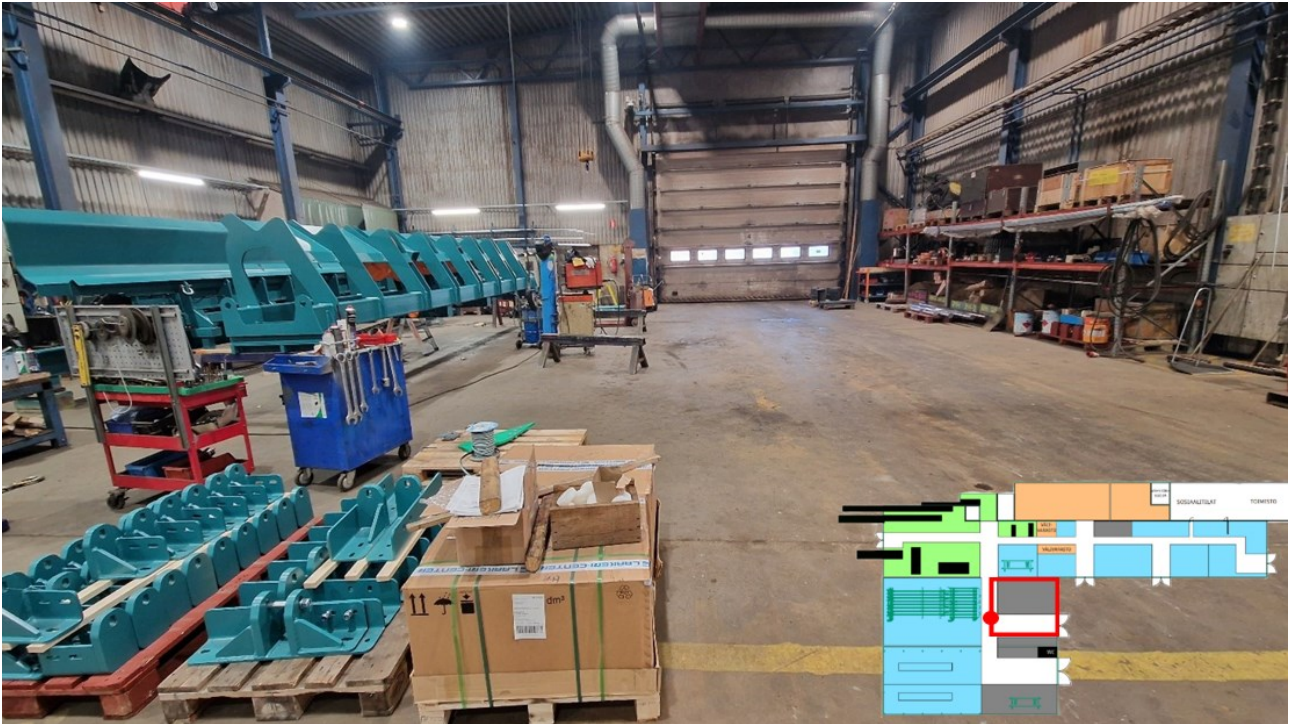
Kuva 11. Osakokoonpano (Nordautomation, 2024).

Kuvassa 12 on 5-hallin kokoonpanon puoli, jossa raskaammat laitteet kokoonpannaan. Painavammat laitteet kokoonpannaan tässä hallissa suuremman nosturikapasiteetin vuoksi.



Kuva 12. 5-halli kokoonpano (Nordautomation, 2024).

Kuvassa 13 näkyvä kokoonpanopiste on 4-hallissa. Erona 5-hallin kokoonpanopisteeseen on pienempi nosturikapasiteetti.



Kuva 13. 4-halli kokoonpano (Nordautomation, 2024).

3.1.5 Varastointi

Materiaaleja varastoidaan tuotannon sujuvuuden takaamiseksi. Osavalmistuksen varastossa on palkit, ohutseinäputket, lattateräkset sekä teräslevyt 10 mm ainevahvuuteen asti. Plasma- tai polttoleikkaukseen menevät teräslevyt varastoidaan erillään. Koneistussolussa on varastohyllyt pyörötangoille ja ainesputkille. Materiaalien varastointia ohjataan tuotannon hienokuormituksen avulla. Isompia eriä teräksiä tilataan tiettyjä laitteita varten ennen valmistuksen aloitusta. Yleisiä materiaaleja löytyy aina hyllystä, joten tuotanto ei keskeydy edes silloin, kun varaosatoimitus täytyy valmistaa nopealla aikataululla.

Keskeneräisiä töitä varastoidaan osavalmistuksen ja hitsauksen välillä. Työnkulkuvarastointia käytetään osavalmistuksen ja hitsauksen välillä. Tarkoituksena on estää odottamista hitsausvaiheessa. Näin osavalmistus voi toimia omassa rytmissään ja optimoida valmistusjärjestystä tehokkaammaksi. Puskuroinnin poiminta- ja jättövarastot eivät ole vakioituja, ja se aiheuttaa usein osien etsimistä.

Komponentteja säilytetään varastossa (kuva 14), mistä ne kerätään kokoonpanoa varten. Kiinnitystarvikkeita ja pienosia varastoidaan komponenttivaraston yhteydessä sekä myös kokoonpanon hyllyssä.



Kuva 14. Komponenttivarasto (Nordautomation, 2024).

3.2 Materiaalivirran tarkastelu

Tarkasteluun valittiin laitekokonaisuudet, jotka sisältyvät useimpiin projektitoimituksiin. Porrasannostinta käytetään tukkien nostamiseen ja annosteluun kuljetinlinjalle. Tukkipöytä on lajittelulinjan sekä sahaansyöttölinjan ensimmäinen laite, johon käsittelyyn tulevat tukit puretaan. Lajittelijaelementti on kokonaisuus, joista lajittelulinjasto kootaan. Jokainen laite hitsataan eri hitsauspisteellä, joten ne valikoituivat tähän työhön tuomaan useampia näkökulmia. Materiaalivirran tarkastelussa tutkittiin sisäisen logistiikan useimmin kuljettuja reittejä. Kaikkia siirtoja ei voitu sisällyttää kuvauksiin, mutta kaikkien osastojen välisiä yhteyksiä tarkasteltiin. Siirtomäärien havainnoinnissa sovellettiin työnkulkukaaviota (ks. s. 23–24).

Vihreät nuolet kuvaavat työvaiheeseen kohdistuvia virtoja ja punaiset työvaiheesta lähteviä virtoja. Nuolien paksuuksilla on myös havainnointu virtauksen kriittisyyttä. Paksumpi viiva

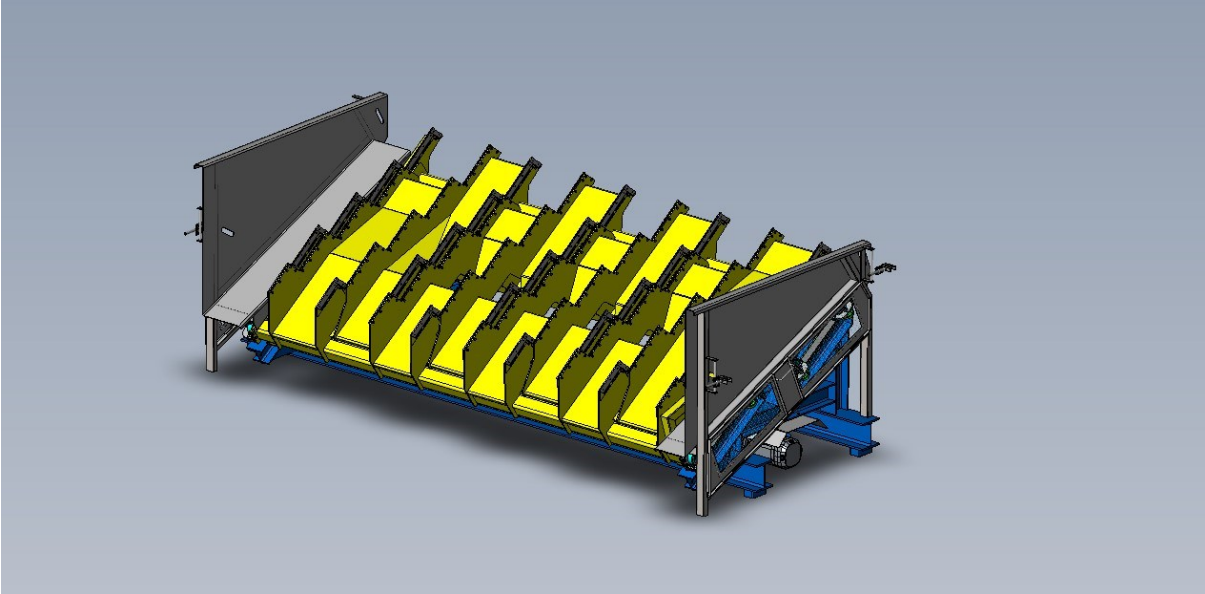
tarkoittaa suurta virtausta ja ohuempi nuoli pienempää. Tällä tavoin voidaan keskittää kehittämistoimet materiaalivirtauksiin, joissa toiminnasta on eniten hyötyä.

Layoutin suunnittelu aloitettiin kartoittamalla nykytilanne. Pohjapiirustukseen merkittiin osastot eri väreillä, visuaalisen selkeyden takia. Työpisteiden ja koneiden sijoittelulla pohjapiirustukseen hahmoteltiin tuotantotilojen jakautuminen. Osavalmistuksen koneet todettiin kannattamattomaksi siirtää. Tämä merkittiin myös piirustukseen. Pohjapiirustukseen lisättiin materiaalivirtoja kuvaavia nuolia, joiden perusteella voidaan kuvata kuljettamisesta ja siirtelystä aiheutuvaa arvoa tuottamatonta toimintaa.

Materiaalivirtojen tarkasteluun valittujen laitteiden tutkiminen aloitettiin tutustumalla kokoonpano- ja valmistuspiirustuksiin sekä osaluetteloihin. Virtauksien kuvaus nimikekohtaisesti todettiin hitaaksi ja kehittämistehtävän aikatauluun sopimattomaksi. Kuvaukseen sisällytettiin vain pääsuunnat kuviossa näkyvän jaottelun mukaisesti.

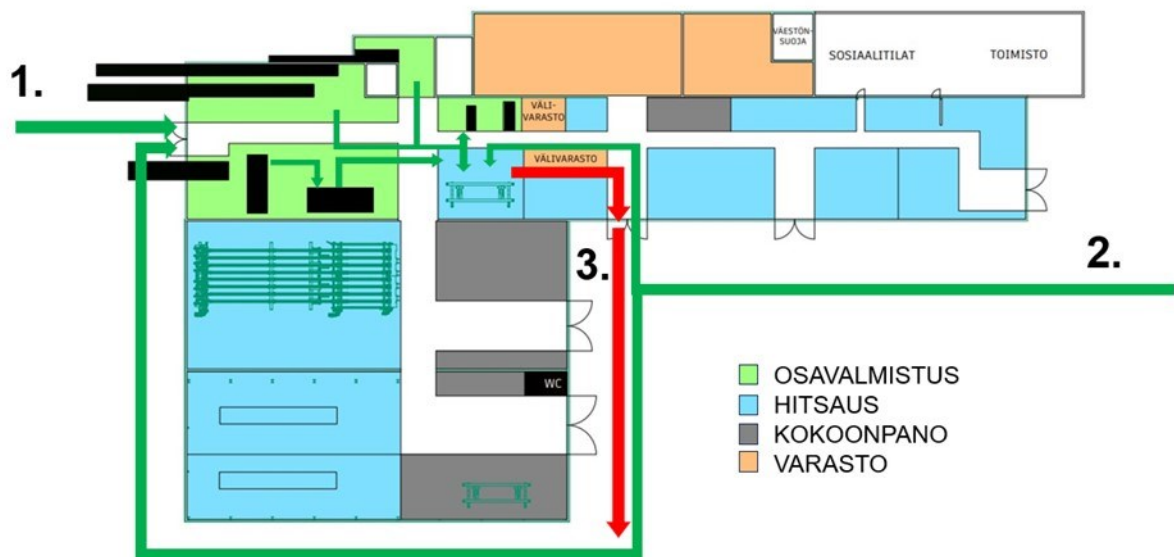
3.2.1 Porrasannostimen materiaalivirta

Porrasannostin on usein valmistettava tuote, joka on tästä syystä hyvin vakioitu. Kuviossa 4 näkyvä porrasannostin sisältää alusrungon, liikkuvat porrasrungot, laitaelementit ja voimansiirron osat. Porrasannostin ei vaadi paljon tilaa hitsausvaiheessa, mutta sitä täytyy käännellä siltanosturilla eri asentoihin.



Kuvio 4. Porrasannostin (Nordautomation, 2024).

Kuviossa 5 kuvataan porrasannostimen osavalmistuksen ja hitsauksen materiaalivirrat vaihteittain.



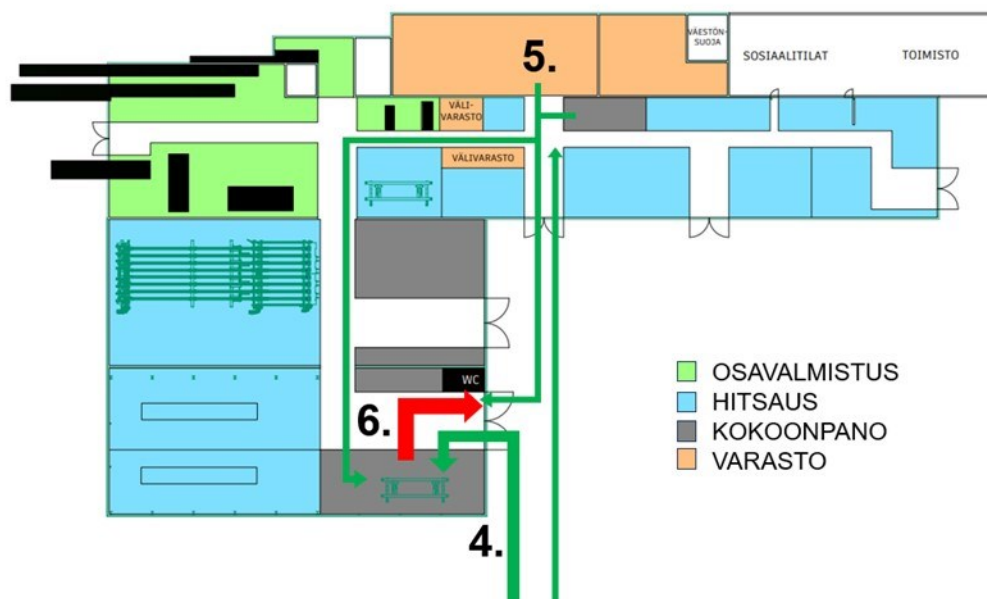
Kuvio 5. Porrasannostimen osavalmistuksen ja hitsauksen materiaalivirta.

1. Osavalmistukseen siirretään palkit, joita alusrungon ja porrasrunkojen hitsauksessa tarvitaan. Palkkeihin tulee reikiä, jotka tehdään säteisporakoneella sekä säätöreikiä, joiden vuoksi palkkeja joudutaan siirtämään polttoleikkaukseen. Muut sahattavat

osat siirretään suoraan hitsauspisteelle, joka sijaitsee osavalmistuksen vieressä. Suorakulmaiset alle 10 mm ainevahvuudeltaan olevat levyt leikataan mekaanisesti ja lattateräkset katkotaan osavalmistuksessa.

2. Poltto- ja plasmaleikkauksesta jakautuu leikkeitä moneen eri suuntaan. Pienet leikkeet särmätään valmiiksi pienemmällä särmäyspuristimella. Isommat ja vahvemmat leikkeet siirretään osavalmistukseen särmäykseen. Leikkeet, joita ei särmätä, kuten porraslevyt, siirretään suoraan hitsauspisteelle. Polttoleikatut palkit siirretään myös suoraan hitsauspisteelle.
3. Alusrunko ja porrasrungot siirretään pintakäsittelyyn.

Porrasannostimen läpimeno jatkuu kokoonpanoon, joka tehdään 5-hallissa. Kokoonpanon materiaalivirta kuvataan kuviossa 6.



























































Kuvio 6. Porrasannostimen kokoonpanon materiaalivirta.

4. Maalatut rungot siirretään kokoonpanoon. Ohuempi nuoli kuvaa koneistusosien kuljetusta osakokoonpanoon, jossa ne valmistellaan varsinaista kokoonpanoa varten.

5. Varastosta kerätään komponentit ja muut kokoonpanon tarvitsemat osat. Voimansiirron osat siirretään osakokoonpanosta kokoonpanoon.
6. Kokoonpantu ja lopputestattu porrasannostin siirretään ulos odottamaan lastausta.

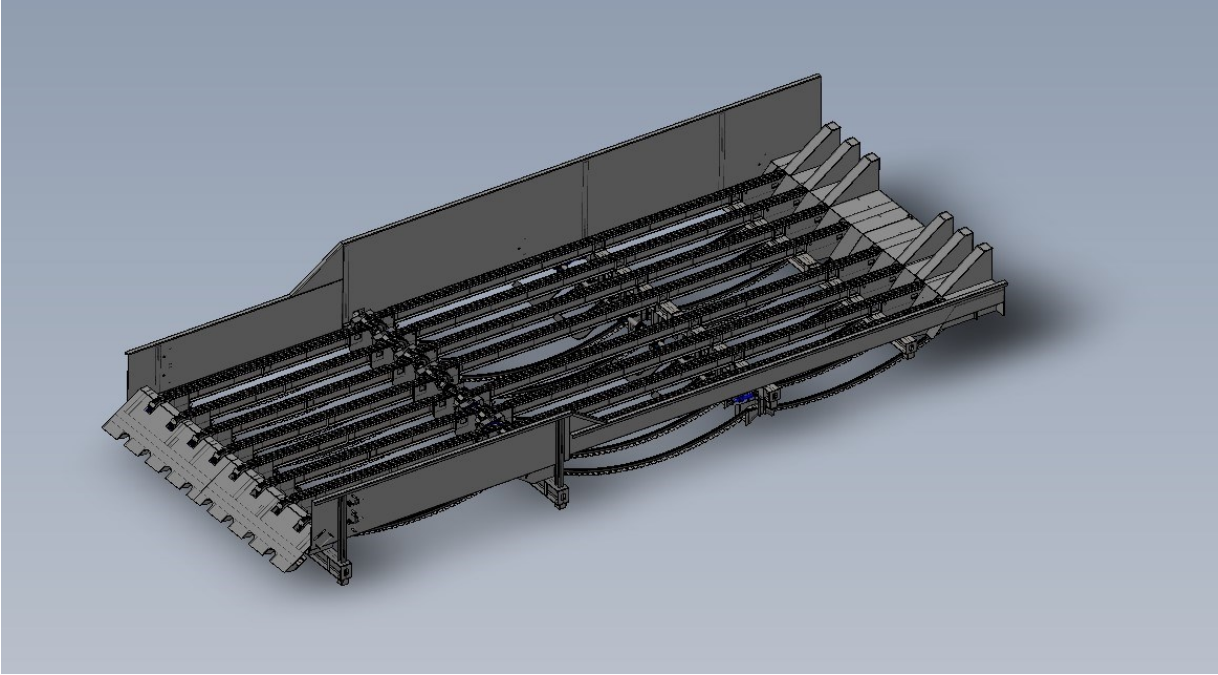
Porrasannostimen läpimenon aikana kuljetuksia kertyy yhteensä 3160 metriä, josta valtaosa osavalmistuksen sisäisistä siirroista ja pintakäsittelyyn kuljetuksista. Taulukossa 3 on porrasannostimen työnkulkukaavio, josta ilmenee siirrot, joiden perusteella kokonaismatka on laskettu. Toisistaan kaukana sijaitsevat osastot ovat kaaviossakin etäällä toisistaan.

Taulukko 3. Porrasannostimen työnkulkukaavio.

Kuvaus								Huom.
1. Sahaus ja leikkaus								3 x siirto
2. Särmäys ja poraus								
3. Koneistus								
4. Hitsaus								
5. Pintakäsittely								2 x siirto
6. Kokoonpano								
 = Osavalmistus	 = Koneistus	 = Hitsaus	 = Plasma- ja polttoileikkaus					
 = Kokoonpano	 = Pintakäsittely	 = Varasto						

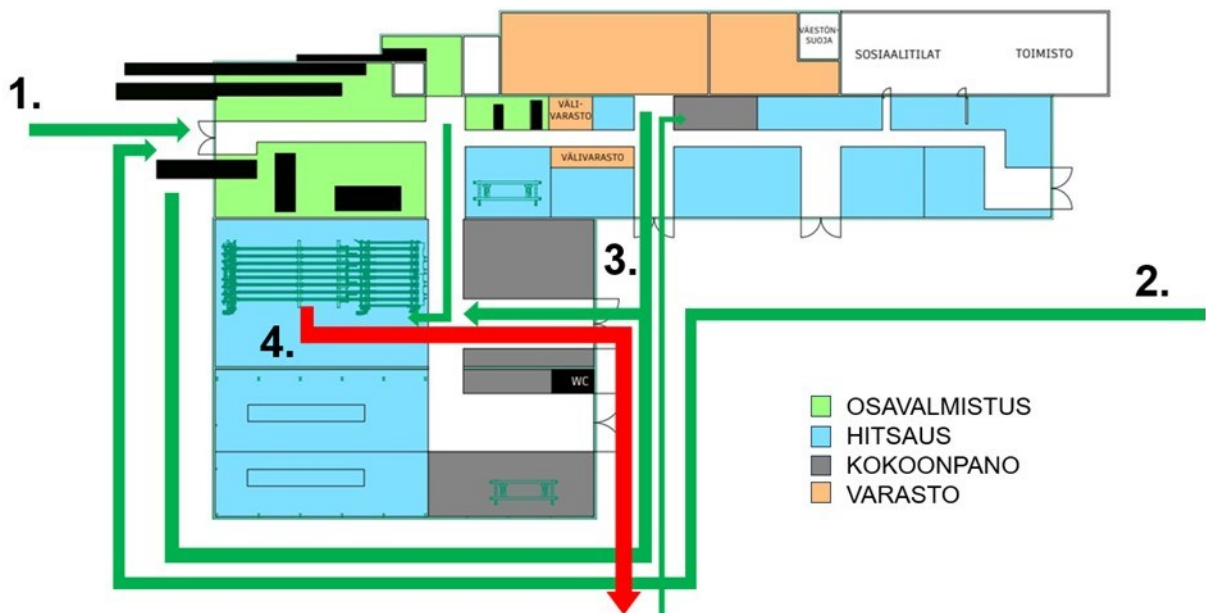
3.2.2 Tukkipöydän materiaa livirta

Tukkipöytä on suuri kokonaisuus, joka toimitetaan useisiin projekteihin, koska tukkipöytää käytetään lajittelun ja sahaansyötön ensimmäisenä laitteena. Tukkipöydällä siirretään tukkeja poikittaissuunnassa hitaasti verrattuja pitkittäisiin kuljettimiin. Se (kuvio 7), koostuu veto- ja taittopäästä, ketjujohteista, kannatinpalkeista ja laitaelementeistä.



Kuvio 7. Tukkipöytä (Nordautomation, 2024).

Kuviossa 8 käsitellään tukkipöydän osavalmistuksen ja hitsauksen materiaalivirtaa.

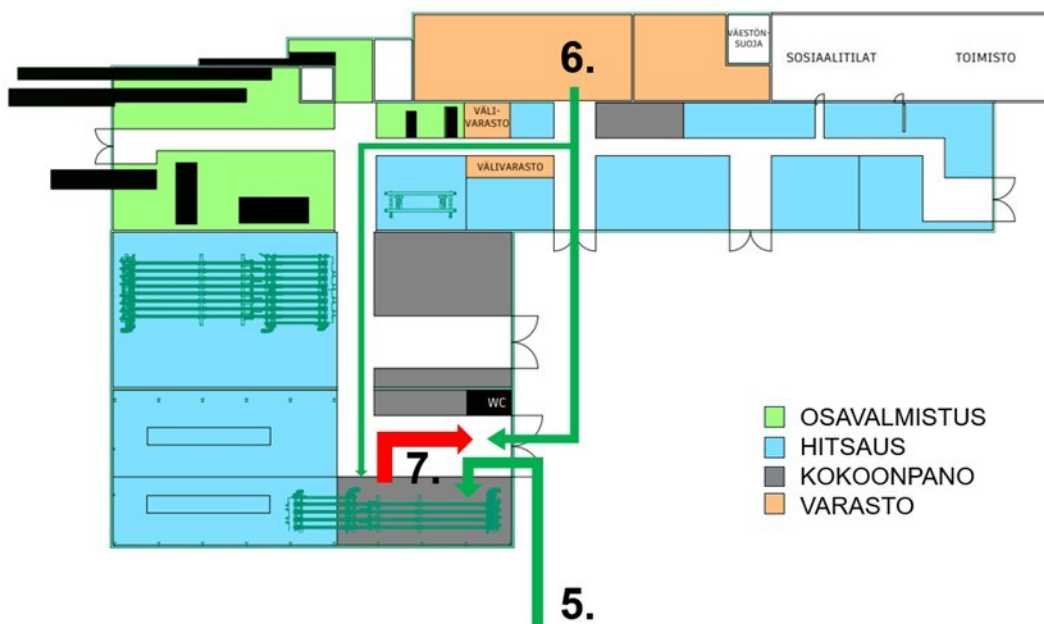


Kuvio 8. Tukkipöydän osavalmistuksen ja hitsauksen materiaalivirta.

1. Palkit ja levyt viedään materiaalivarastosta osavalmistukseen. Kannatinpalkit ja ketjujohteiden palkit sahataan. Tukkipöydässä on pitkiä ja painavia palkkeja ja levyjä, jotka kuljetetaan trukilla ulkokautta hitsauspisteelle.

2. Poltto- ja plasmaleikkauksesta siirretään aihioita särmäykseen ja hitsaukseen. Plasmaleikatut laidat vaativat yli kolme metriä taivutusleveyttä, joten ne siirretään isomalle särmäyspuristimelle.
3. Voimansiirron osat, jotka valmistetaan koneistamalla, siirretään osakokoonpanoon. Akselit kasataan jo tässä vaiheessa, koska ne on sovitettava jo hitsausvaiheessa runkoon. Niihin kiinnitetään kytkimet ja alihankinnasta ostetut ketjupyörät. Tämän jälkeen akselistot siirretään hitsauspisteelle.
4. Tukkipöytä kuljetetaan kahtena puolikkaana pintakäsittelyyn.

Kuvio 9 kuvaa tukkipöydän kokoonpanon materiaalivirtaa. Tukkipöydän kokoonpanon materiaalivirta riippuu käsittelyssä olevan laitteen koosta. Suurimmat tukkipöydät toimitetaan palasina, joka muuttaa materiaalivirtaa.
























Kuvio 9. Tukkipöydän kokoonpanon materiaalivirta.

5. Tukkipöydän puolikas siirretään kokoonpanoon.
6. Sähkömoottorit, kuljetinketjut ja muut voimansiirron komponentit viedään kokoonpanoon.

7. Kokoonpantu tukkipöytä siirretään odottamaan lastausta tai lastataan heti kuljetukseen. Se toimitetaan asennukselle puoliskoina, ja lopullinen kokoonpano ja testaus voidaan tehdä vasta käyttöönottoasennuksen jälkeen.

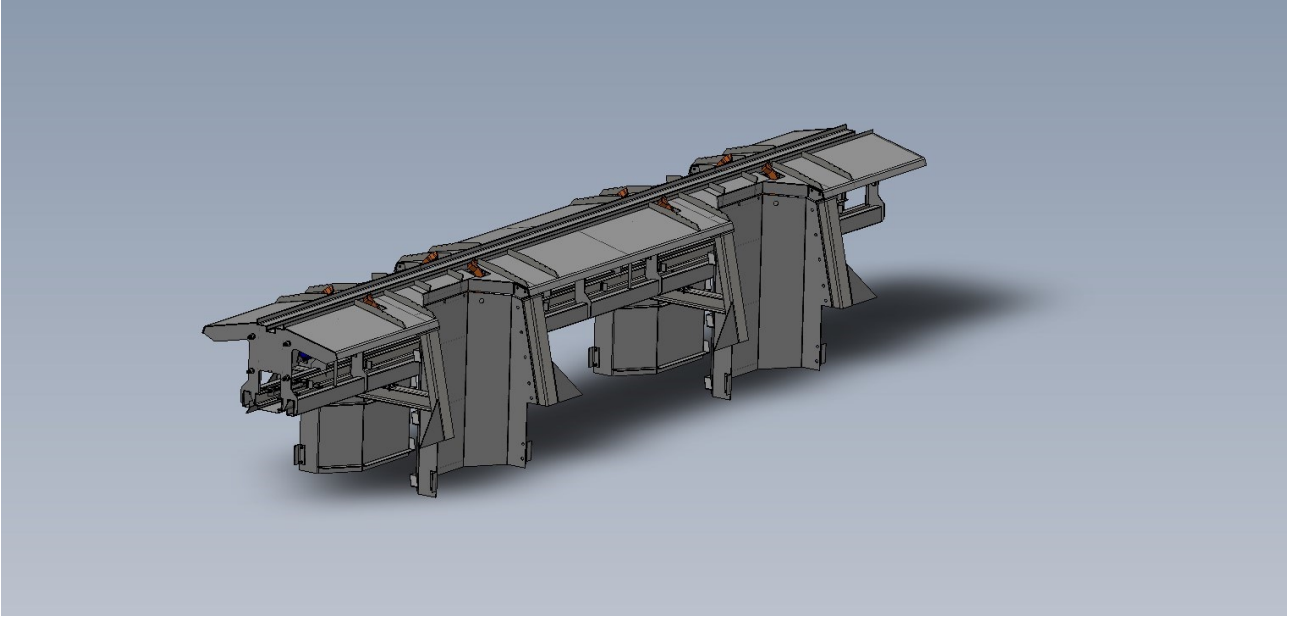
Tukkipöydän läpimenon aikana kuljetuksien matkoista kertyy 2580 metriä. Taulukossa 4 kuvataan tukkipöydän työnkulku. Suurin osa kuljetuksista tapahtuu osavalmistuksen ja hitsauksen välillä.

Taulukko 4. Tukkipöydän työnkulkukaavio.

Kuvaus								Huom.
1. Sahaus ja leikkaus								
2. Särmäys ja poraus								
3. Koneistus								
4. Hitsaus								
5. Pintakäsittely								2 x siirto
6. Kokoonpano								2 x siirto
 = Osavalmistus	 = Koneistus	 = Hitsaus						
 = Kokoonpano	 = Pintakäsittely	 = Varasto				 = Plasma- ja polttoleikkaus		

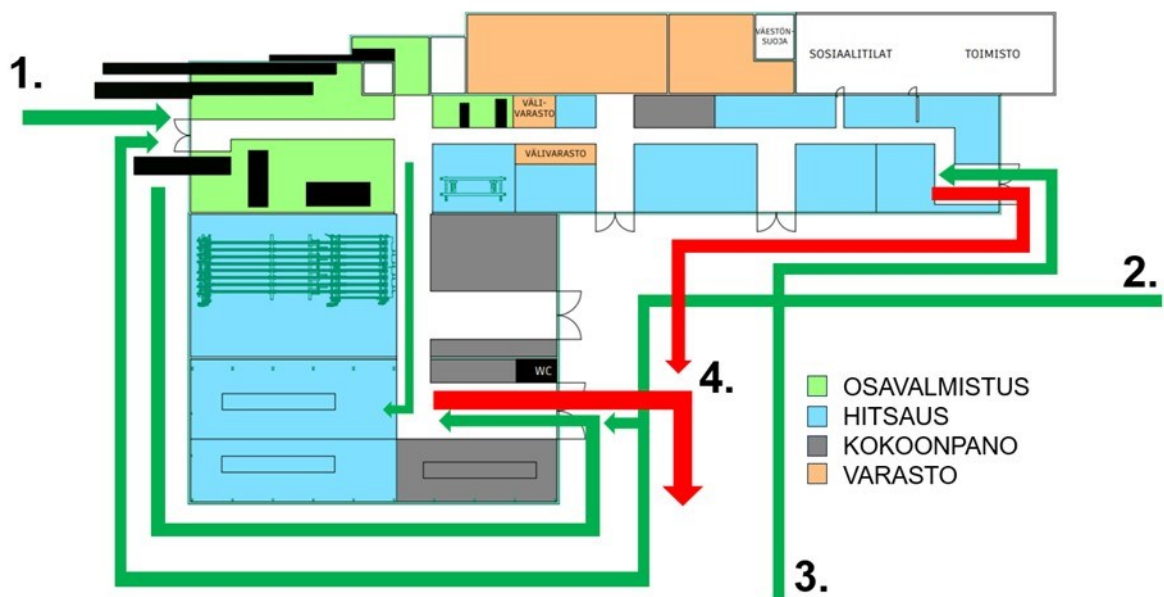
3.2.3 Lajittelijaelementin materiaaliveikko

Tukkien lajittelulinjasto koostuu elementeistä. Linjalla tukkia liikutetaan pituussuunnassa kolilla varustetulla kuljetinketjulla. Lajittelijaelementti (kuvio 10) sisältää rungon sekä liikkuvat osat, joita kutsutaan pukkaimiksi.



Kuvio 10. Lajittelijaelementti (Nordautomation, 2024).

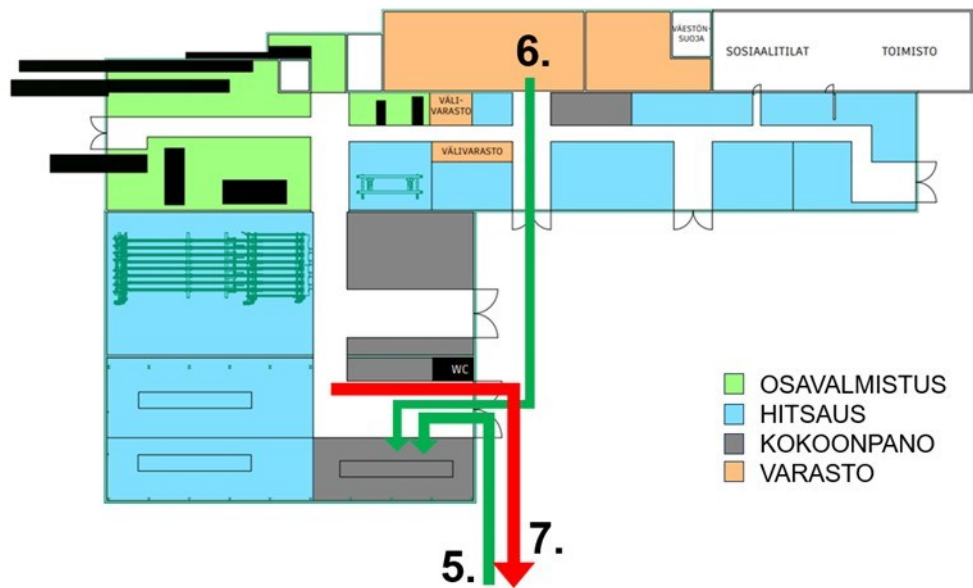
Kuviossa 11 käsitellään lajittelijaelementin osavalmistuksen ja hitsauksen materiaalivirtaa. Pukkaimet hitsataan 1-hallin osahitsauspisteellä ja elementtirungot 5-hallissa. Elementtirungot silloitushitsataan jigissä. Varsinainen hitsaus suoritetaan jigistä irrotettuna, joten työpisteellä on vähintään kaksi elementtiä yhtä aikaa.



Kuvio 11. Lajittelijaelementin osavalmistuksen ja hitsauksen materiaalivirta.

1. Palkit ja levyt menevät osavalmistukseen. UPE-palkit, putkipalkit sekä kulma- ja lattateräksset sahataan. Sahauksen, leikkauksen ja porauksen jälkeen osat siirretään trukilla hitsauspisteelle.
2. Plasmaleikatut runkolevyt viedään hitsaukseen ja profiililevyt särmäykseen.
3. Sorvatut pukkaimien akselit siirretään koneistussolusta hitsaukseen, jossa niihin hitsataan länget pyörityslaitetta apuna käyttäen.
4. Eri hitsauspisteillä valmistetut pukkaimet ja rungot viedään pintakäsittelyyn.

Kuviossa 12 on lajittelijaelementin kokoonpanon materiaalivirta. Lajittelijaelementin kokoonpano on melko nopeaa verrattuna porrasannostimeen ja tukkipöytään.



Kuvio 12. Lajittelijaelementin kokoonpanon materiaalivirta.

5. Pintakäsittelyt runko ja pukkaimet siirretään kokoonpanoon.
6. Sähkömoottorit ja laakeriyksiköt tuodaan varastosta kokoonpanoon.

7. Kokoonpantu lajittelijaelementti siirretään ulos odottamaan lastausta. Lajittelijaelementtejä voidaan lastata kuljetukseen trukilla, joten niitä ei tarvitse lopputuotevarastosta siirtää takaisin halliin.

Lajittelijaelementin läpimenon siirroista kertyy matkaa yhteensä 2060 metriä. Edellisiin laitteisiin verrattuna tämä matka on huomattavasti lyhyempi, ja se johtuu osien pienemmästä määrästä. Tämä voidaan havaita myös taulukosta 5, jossa on kuvattu lajittelijaelementin työnkulku.

Taulukko 5. Lajittelijaelementin työnkulkukaavio.

Kuvaus	◆	○	●	★	▼	■	▮	Huom.
1. Sahaus ja leikkaus								
2. Särmäys ja poraus								
3. Koneistus								
4. Hitsaus								
5. Pintakäsittely								2 x siirto
6. Kokoonpano								
◆ = Osavalmistus	○ = Koneistus	● = Hitsaus	▮ = Plasma- ja polttoleikkaus					
★ = Kokoonpano	▼ = Pintakäsittely	■ = Varasto						

3.3 Epäkohdat ja havainnot

Osavalmistus jakautuu kahteen osaan, joka aiheuttaa pitkiä kuljetuksia. Plasma- ja polttoleikkauksen sijainti tuottaa haasteita myös tiedonkulkuun, ja siitä syystä töiden oikea-aika-suutta on vaikeaa ohjata. Yleisen tien ylitys aiheuttaa myös vaaratilanteita, kun levyleikkeitä siirretään hitsaukseen tai isommalle särmäyspuristimelle. Osavalmistuksesta termiseen leikkaukseen kuljetuksia aiheuttavat mm. palkit, joihin polttoleikataan säätöreikiä.

Hitsauksen, pintakäsittelyn ja kokoonpanon väliset siirrot muodostavat suuren osan kuljetuksista. Näiden siirtojen selkeytys ja lyhentäminen vapauttaisi resursseja sisäisestä logistiikasta. Käytävien ja kulkuväylien sijoittaminen hallin keskelle vie työskentelytilaa hitsauspisteiltä. Keskelle sijoitetut käytävät ovat ahtaita eikä niissä voida hyödyntää trukkiliikennettä.

Keskeneräisten tuotteiden varastoinnilla pyritään estämään viivästyksiä tuotannossa. Osavalmistuksessa tehtyjä puolivalmisteita varastoidaan häiriöttömän läpimenon takaamiseksi. Välivarastot kuitenkin vievät tilaa työpisteiltä ja aiheuttavat sitoutunutta pääomaa. Eniten komponentteja varastosta viedään kokoonpanoon, joten näiden tulisi olla lähellä toisiaan.

Materiaalivarastot jakaantuvat kolmeen osaan, ja se vaikeuttaa materiaalinhallintaa ja inventointia. Teräslevyjä varastoidaan termisen leikkauksen hallin ulkopuolella ja osavalmistuksen materiaalivarastossa, levyleikkurin läheisyydessä. Palkkeja, putkia, kulma- ja latta-teräksiä varastoidaan lähellä saharullastoja osavalmistuksessa. Koneistuksen materiaali-varastossa on ainesputket ja pyörötangot. Komponenttivarastossa säilytetään kokoonpanossa tarvittavia osia, jotka ovat pääasiassa ostokomponentteja. Kiinnitystarvikkeita varastoidaan komponenttivarastossa sekä myös kokoonpanon hyllyssä.

3.4 Layoutehdotus

Layoutsuunnittelussa hyödynnettiin nykytilan kuvausta ja käytettiin apuna termisen leikkauksen koneiden asennuspiirustuksia ja ohjeita. Työpisteiden sijoittelussa otettiin huomioon niissä valmistettavien laitteiden mittasuhteet ja osien puskurointiin tarvittava tila. Työntekijöitä haastateltiin nykyisen layoutin toimivuudesta ja yritettiin löytää ongelmakohtia, joita täytyy huomioida muutoksia suunniteltaessa. Suunnittelussa noudatettiin Lean-ajattelun periaatteita ja pyrittiin täyttämään hyvän layoutin ominaisuuksia teoriaosuuden luvun 2.4.4 mukaisesti.

Solu, joka sisältää plasma- ja polttoleikkauksen, yhdistetään osavalmistukseen ja funktionaaliseen layoutiin. Koneet sijoitetaan siten, että kaikki levymateriaalin jalostaminen alkaa samasta paikasta. Tämä helpottaa tuotannonohjausta ja sisäistä logistiikkaa. Myös materiaalien vastaanotto ja jakelu tuotantoon selkeytyy, kun kaikki levymateriaali säilytetään yhdessä materiaalivarastossa.

Keskeneräisten töiden hallintaa selkeytetään hyödyntämällä funktionaalisen layoutin periaatetta. Osavalmistuksen vaiheet ovat lähellä toisiaan, ja sieltä lähtevä materiaalivirta kulkee samaan suuntaan eli hitsaukseen. Edestakainen kuljetus minimoidaan ja osavalmistuksesta viedään osat suoraan hitsauspisteelle. Työnkulkuvarastointia voidaan vähentää,

koska tuotannonohjaus helpottuu töiden ajoituksen kannalta. Puskurivarastojen joustavuutta hyödynnetään FIFO-periaatteella ja niiden tarvitsema tilakapasiteetti huomioidaan hitsauspisteiden määrittelyssä. Kokoonpanotoiminnot sijoitetaan kaikki samaan halliin, mikä parantaa materiaalinhallintaa. Näin myös hitsauspisteet voidaan sijoittaa kaikki materiaalivirtojen kannalta selkeästi. Osahitsauspisteet eli koneistusosien hitsaus ja ketjujen varusteluhitsaus, joissa osat ovat pienempiä voidaan sijoittaa kauemmas kulkuovista. Kokoonpanohitsauspisteet kannattaa sijoittaa sisäistä logistiikkaa ajatellen lähelle kulkuovia. Kokoonpanohitsaus tarvitsee suurimman osan hallien pinta-alasta.

Kulkuväylät sijoitetaan hitsausosastoilla hallin reunoille. Näin saadaan käytettyä tilaa tehokkaammin. Osavalmistuksessa ja kokoonpanossa tätä tapaa ei käytetä. Koneiden sijoittelu molempiin reunoihin todettiin hyväksi ja alkuperäinen kulkuovi määrittää käytävän kohdan. Plasma- ja polttoleikkauskonetta ei kokonsa vuoksi voida sijoittaa peräkkäin suunniteltuun layoutiin. Kokoonpanossa kulkuväylän on oltava tarpeeksi leveä, jotta suurten runkojen siirtely on turvallista ja helppoa. Myös lopputuotteiden lastaus hallin sisällä helpottuu ja kulkuovet hallien molemmissa päissä helpottavat rekkaliikenteen toimintaa tehdasalueella. Joustava layout mahdollistaa tuotantoprosessien moitteettoman virtaamisen ja resurssien tehokkaan käytön koko tuotantoprosessin aikana.

Kokoonpanohallin puhtaustasoa voidaan parantaa, koska hitsaustöitä ei tehdä enää samassa tilassa ja hiontapölyn tuottaminen poistuu lähes kokonaan. Tämä mahdollistaa kiinitystarvikkeiden lisäksi myös komponenttien varastoinnin kokoonpanossa. Kokoonpanohalliin laitetaan hyllyjä, joihin valitaan usein tarvittavia komponentteja. Näille merkitään omat hyllypaikat nimikekohtaisesti. Osakeräily voidaan näin ollen useimmiten tehdä samassa hallissa kuin itse kokoonpano.

Taulukossa 6 kuvataan osastojen väliset matkat uudessa layoutissa. Poltto- ja plasmaleikkaus on yhdistetty osavalmistukseen. Niihin liittyvät siirrot ovat erittäin lyhyitä verrattuna aikaisempaan 350 metriin. Myös muiden osastojen välisiä etäisyyksiä on saatu pienennettyä uusia kulkuovia lisäämällä.

Taulukko 6. Osastojen väliset matkat muutetussa layoutissa.

Osastojen väliset matkat (m) mistä\mihin	A	B	C	D	E	F
Pintakäsittely A			130			200
Koneistus B	20		130	150	200	200
Kokoonpano C						
Osavalmistus D	150	150	60		200	
Hitsaus E	200	200				
Varasto F	200	200	70	60	50	

Kuviossa 13 esitetään laajennusosa ja uudelleen suunniteltu layout sekä muutosten myötä uudelleen suunniteltu porrasannostimen osavalmistuksen ja hitsauksen materiaalivirta. Merkittävin muutos on osavalmistuksen kuljetuksien väheneminen. Suuremmat leikkeet ja palkit joudutaan siirtämään trukilla ulkokautta, ja se aiheuttaa hieman risteävää materiaalivirtaa, mutta siirtomatkat lyhenevät huomattavasti.



Kuvio 13. Porrasannostimen osavalmistuksen ja hitsauksen suunniteltu materiaalivirta.

Kuvion 14 materiaalivirta kuvaa porrasannostimen kokoonpanoa. Tässä huomataan, että virtaus on selkeää ja samansuuntaista. Toisen nosto-oven lisääminen kokoonpanohalliin selkeyttää sisäisen logistiikan kulkua.



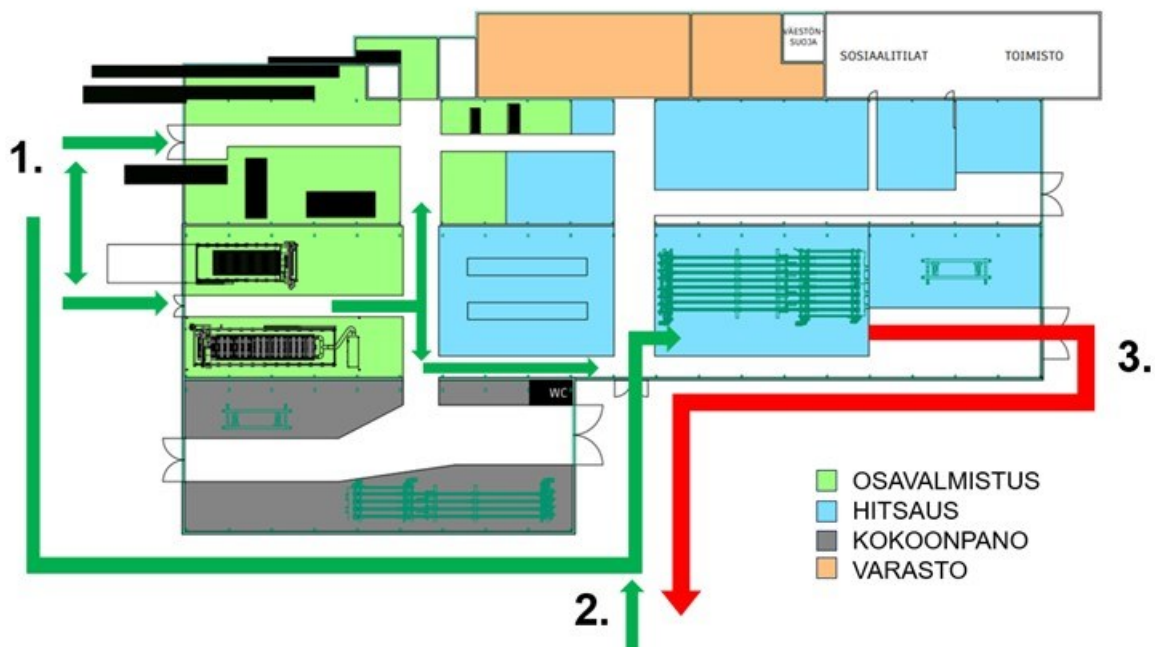
Kuvio 14. Porrasannostimen kokoonpanon suunniteltu materiaalivirta.

Porrasannostimen kokoonpanon materiaalivirta selkeytyy, kun voimansiirron osien osakokoonpano on siirretty samaan tilaan loppukokoonpanon kanssa. Rungot ja koneistetut osat tuodaan lyhyintä reittiä, jonka uusi kulkuovi mahdollistaa. Kokoonpanohalliin sijoitetut varastohyllyt mahdollistavat komponenttien tehokkaan keräilyn. Näin varaston ja kokoonpanon välistä kuljettamista voidaan vähentää. Kokonaisuudessaan porrasannostimen sisäisen logistiikan matkaksi kertyy 1540 metriä. Kuljetettava matka lyhenee 51 prosentilla. Taulukossa 7 esitetään porrasannostimen suunniteltu työnkulku, jossa siirtojen määrä on vähentynyt ja virtaus kulkee pääasiassa samaan suuntaan.

Taulukko 7. Porrasannostimen suunniteltu työnkulkukaavio.

Kuvaus	◆	○	●	★	▼	■	Huom.
1. Sahaus ja leikkaus							
2. Säräys ja poraus							
3. Koneistus							
4. Hitsaus							
5. Pintakäsittely							2 x siirto
6. Kokoonpano							
◆ = Osavalmistus	○ = Koneistus	● = Hitsaus					
★ = Kokoonpano	▼ = Pintakäsittely	■ = Varasto					

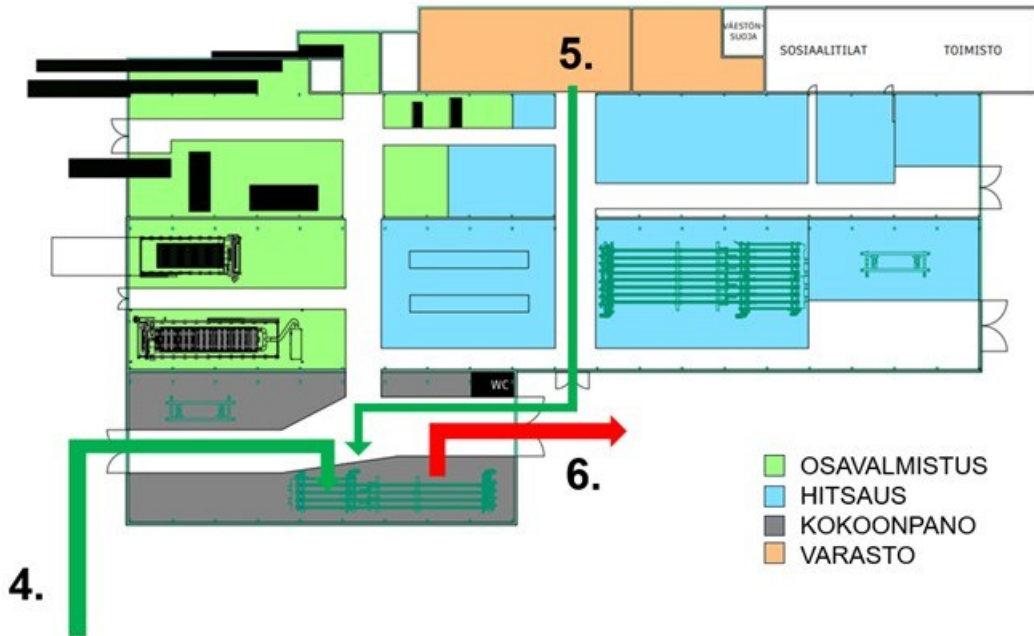
Tukkipöydän hitsauspiste sijoitetaan keskelle hallia, koska sen valmistaminen vaatii enemmän aikaa kuin esim. porrasannostimen, jonka alusrunko ja porrasrungot on erikseen kuljetettava pois työpisteeltä. Tukkipöytien hitsauspisteessä on syytä pitää varausta, että tilakapasiteettia on tarvittaessa otettava viereiseltä (porrasannostimen) hitsauspisteeltä. Kuviossa 15 kuvataan tukkipöydän suunniteltua materiaalivirtaa osavalmistukseen ja hitsaukseen.



Kuvio 15. Tukkipöydän osavalmistuksen ja hitsauksen suunniteltu materiaalivirta.

Kokoonpano tukkipöydän osalta suoritetaan kokoonpanohallissa kuvion 16 mukaisessa paikassa. Tällä puolen hallia on enemmän tilaa pituussuunnassa, mikä helpottaa

kokoonpanotyötä. Virtaukseen muodostuu yksi haara varastosta, joka kuvaa niiden komponenttien keräilyä, joiden varastointia kokoonpanon hyllyssä ei ole todettu kannattavaksi. Runkojen kuljetus pintakäsittelystä kokoonpanoon on muuttunut suoraviivaisemmaksi.



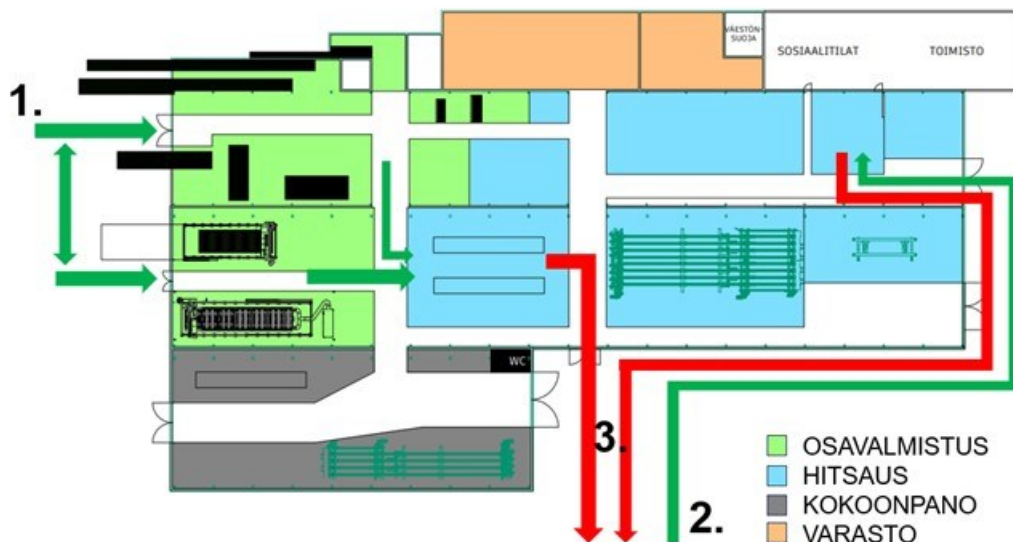
Kuvio 16. Tukkipöydän kokoonpanon suunniteltu materiaalivirta.

Tukkipöydän materiaalivirran matkaa pystyttiin vähentämään layoutmuutoksilla 1480 metriä, eli 43 prosenttia. Taulukossa 8 on suunniteltu työnkulku tukkipöydän valmistukseen ja kokoonpanoon.

Taulukko 8. Tukkipöydän suunniteltu työnkulkukaavio.

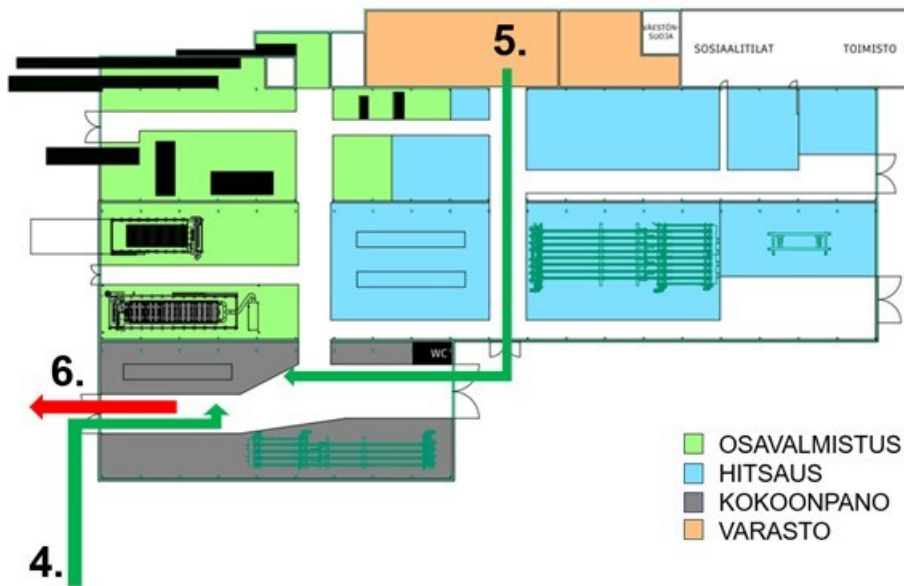
Kuvaus	◆	●	●	★	▼	■	Huom.
1. Sahaus ja leikkaus							
2. Särmäys ja poraus							
3. Koneistus							
4. Hitsaus							2 x siirto
5. Pintakäsittely							2 x siirto
6. Kokoonpano							
◆ = Osavalmistus	● = Koneistus	● = Hitsaus					
★ = Kokoonpano	▼ = Pintakäsittely	■ = Varasto					

Lajittelijaelementin rungon hitsauspiste sijoitetaan lähelle osavalmistusta, joten materiaali-
virran ohjaus on helpompaa. Plasmaleikkauksesta tulevat runkolevyt voidaan siirtää silta-
nosturilla hitsauspisteelle puskurivarastoon. Särmäykseen menevät leikkeet saadaan
myös nopeammin kuljetettua särmärille. Pukkaimien hitsaus pysyy edelleen eri hallissa ti-
lakapasiteetin takia. Pukkaimia ja runkoja ei tarvitse sovittaa toisiinsa vielä hitsausvai-
heessa, joten tällä ei ole virtauksen selkeyden kannalta merkitystä. Osahitsauspiste siirre-
tään 1-hallin toiselle seinustalle, joten kulkuväylä saadaan toimivammaksi. Kuviossa 17
näkyvät runkojen ja pukkaimien materiaalivirta hitsausvaiheessa.



Kuvio 17. Lajittelijaelementin osavalmistuksen ja hitsauksen suunniteltu materiaalivirta.

Lajittelijaelementin kokoonpanoon kuljetetaan runko ja pukkaimet, joita on ulkona valmiina puskurissa. Kokoonpantu elementti viedään ulos odottamaan lastausta ja seuraava elementti otetaan työn alle. Kuviossa 18 selvennetään lajittelijaelementin kokoonpanon materiaalivirtaa.



Kuvio 18. Lajittelijaelementin kokoonpanon suunniteltu materiaalivirta.

Lajittelijaelementin sisäisen logistiikan matkaksi arvioidaan 1060 metriä, joka on 49 prosenttia vähemmän kuin nykyisessä tilanteessa. Työnkulku on kuvattu taulukossa 9. Lajittelulinjaston koostuessa useista elementeistä näin suuri muutos yhden elementin materiaalivirrassa vaikuttaa merkittävästi koko linjaston valmistuksen läpimenoajassa.

Taulukko 9. Lajittelijaelementin suunniteltu työnkulkukaavio.

Kuvaus	◆	●	●	★	▼	■	Huom.
1. Sahaus ja leikkaus							
2. Särmäys ja poraus							
3. Koneistus							
4. Hitsaus							
5. Pintakäsittely							2 x siirto
6. Kokoonpano							
◆ = Osavalmistus	● = Koneistus	● = Hitsaus					
★ = Kokoonpano	▼ = Pintakäsittely	■ = Varasto					

4 YHTEENVETO

Tässä opinnäytetyössä dokumentoitiin tuotannon materiaalivirtoja sekä suunniteltiin tuotantotilaan layout, jonka tavoitteena oli parantaa tuotannon- ja varastonohjausta vähentäen tuotannossa syntyviä hukkia. Layoutsuunnitteluun kuului työpisteiden ja koneiden sijoittelu uudistettuihin tuotantotiloihin. Uutta layoutratkaisua suunniteltaessa otettiin huomioon myös materiaalien, puolivalmisteiden ja komponenttien varastointi.

Layoutsuunnittelun keskeisenä tavoitteena on materiaalivirtojen tehokas suunnittelu. Materiaalien kuljetuskerrat ja -matkat pitää yrittää minimoida osastojen ja työpisteiden sijoittelua suunniteltaessa. Työpisteet pitäisi sijoittaa siten, että materiaalien siirtoetäisyydet ovat mahdollisimman pienet. Materiaalivirtaa pitää myös selkeyttää ja vähentää sisäistä logistiikkaa, jolloin voidaan kohdistaa resursseja arvoa lisäävään työhön. Tuotannonohjauksen, materiaalintoimintojen ja layoutin tehokas hallinta on keskeistä kilpailukyvyn kannalta. Ne vaikuttavat suoraan tuotannon sujuvuuteen, kustannustehokkuuteen ja asiakastyytyväisyyteen, mikä on olennaista yrityksen menestykselle ja kasvulle.

Sovellusosuuden alussa dokumentoitiin nykytilanteen materiaalivirtaa ja tehtiin siitä havaintoja ja tunnistettiin epäkohtia arvovirtakuvauksen avulla. Merkittävimpänä havaintona oli plasma- ja polttoleikkaussolun sijainti, joka kuormittaa sisäistä logistiikkaa ja vaikeuttaa tuotannon- sekä varastonohjausta. Havaintoja tehtiin myös muiden osastojen yhteyksistä, kuten hitsauksen, pintakäsittelyn ja kokoonpanon välisistä siirroista. Näitä siirtoja selkeyttämällä ja lyhentämällä voitaisiin tehostaa tuotantoa. Lisäksi kapasiteetin maksimaalista hyödyntämistä ajatellen suunniteltiin käytävien ja kulkuväylien sijoittelua.

Tehtaan layoutia suunniteltaessa huomioitiin tuotantoprosessin järjestys, jonka mukaan tuotannon työpisteitä sijoitettiin. Sijoittelussa kiinnitettiin huomiota työvaiheiden vaatiman tilakapasiteetin ja työvaiheiden välisten siirtojen asettamiin edellytyksiin. Työssä kuvattiin materiaalivirtojen kulkemat reitit, joita hyödynnettiin työpisteiden sijoittelussa. Suunnittelun avulla poistettiin ylimääräisiä siirtoja sekä selkeytettiin ja lyhennettiin materiaalien kulkemista reittejä. Materiaalien, keskeneräisten töiden ja komponenttien varastopaikkoja suunniteltaessa pyrittiin saamaan varastointi mahdollisimman hyvin tuotantoprosessia palvelevaksi.

Työssä selvitettiin tuotannossa syntyneitä hukkia ja niitä saatiin vähennettyä esitetyllä layoutratkaisulla. Samalla yrityksen materiaalivirtoja saatiin selkeytettyä järjestelemällä tuotantotiloja työvaiheiden mukaan. Vertailuun otettujen laitteiden kohdalla kustannussäästöjä voidaan arvioida laskemalla kuljetettuihin matkoihin käytetty aika. Aikaisemmin hukkiin kohdistuneet resurssit voidaan ohjata arvoa lisääviin toimintoihin. Muitakin hukista aiheutuneita kustannuksia olisi voitu mitata, jolloin olisi saatu kattavampi näkemys uuden layoutin toteuttamisen kannattavuudesta.

Uutta layoutia otetaan käyttöön vaiheittain. Hallin laajennusosan valmistuttua siirretään hitsauspisteitä uusille paikoilleen ja tarkastellaan niiden toimivuutta sekä materiaalivirran kulua. Plasma- ja polttoleikkauskoneet sekä pienempi särmäyspuristin siirretään uusiin tiloihin vasta, kun uusi layout on muilta osin saatu toimivaksi. Layoutin suunnittelu ja kehittäminen jatkuu tämän kirjallisen työn valmistumisen jälkeen. Asioita, joihin on syytä kiinnittää huomiota ovat pienemmän särmäyspuristimen sijoittaminen ja termisen leikkauksen ohjelmointikopin paikka. Jatkokehittämistarpeena saattaa nousta esille ilmanvaihtoratkaisut johtuen termisen leikkauksen ja hitsauksen sijoittamisesta samaan tilaan. Lisäksi tuotannon menetelmäteknisellä suunnittelulla voidaan kehittää materiaalivirtaa edelleen.

Täytyy muistaa, että on mahdotonta löytää kaikkien tekijöiden kannalta optimaalista layoutratkaisua, mutta harkitusti suunnitellulla layoutilla voidaan tehostaa tuotantoprosessia merkittävästi. Tehtaan eri osastojen ja toimintojen täytyy toimia kokonaisuutena, jotta tuotantokapasiteetti ja resurssit voidaan hyödyntää tehokkaasti ja arvoa tuottavaan työhön. Samalla turvallisuus ja laatu paranevat yrityksen arvojen mukaisesti ja hiilijalanjälkeä voidaan pienentää, mikä kuuluu yrityksen tavoitteisiin. Nordautomation pystyy hyödyntämään työn tuloksia tuotannon kehittämisessä ja kustannussäästöjen arvioinnissa.

Tämän kehittämistyön tekeminen on tuonut tekijälle paljon uutta näkemystä tehtaan toimintojen vuorovaikutuksesta ja tuotannonhallinnan kokonaisuudesta. Tehokas ja sujuva tehtaan toimintojen vuorovaikutus on keskeinen edellytys tuotannon tehokkuudelle, laadulle ja kilpailukyvyille.

LÄHTEET

- Ahlqvist, H., & Koskela, M. (2020). *Tuotannollisen yrityksen materiaalityöimintojen kehittäjän opas*. Teknologiaakeskus TechVilla
- Arter. (7.12.2021). *Leanin arvovirtakuvauksen visuaalinen mallintaminen*.
<https://www.arter.fi/lean-arvovirtakuvaus-visuaalinen-mallintaminen/>
- Karrus, K. E., (2001). *Logistiikka* (3. uud. p.). WSOY.
- Kouri, I. (2009a). Toiminnan johtaminen. Teoksessa M.J. Haverila, E. Uusi-Rauva, I. Kouri, & A. Miettinen. *Teollisuustalous* (6. p., s. 349–394). Infacs.
- Kouri, I. (2009b). Toiminnanohjaus. Teoksessa M.J. Haverila, E. Uusi-Rauva, I. Kouri, & A. Miettinen. *Teollisuustalous* (6. p, s. 397–440). Infacs.
- Kouri, I. (2009c). Materiaalinhallinta. Teoksessa M.J. Haverila, E. Uusi-Rauva, I. Kouri, & A. Miettinen. *Teollisuustalous* (6. p., s. 443–472). Infacs.
- Kouri, I. (2009d). Tuotantoprosessit. Teoksessa M.J. Haverila, E. Uusi-Rauva, I. Kouri, & A. Miettinen. *Teollisuustalous* (6. p, s. 475–498). Infacs.
- Lapinleimu, I. (1997). Tehtaan valmistusvirta. Teoksessa I. Lapinleimu, V. Kauppinen & S. Torvinen. *Kone- ja metallituoteteollisuuden tuotantojärjestelmät* (s. 79–110). WSOY.
- Liker, J.K. (2006). *Toyotan tapaan* (M. Niemi, käönt.) Readme.fi. (Alkuperäinen teos julkaistu 2004).
- Logistiikan Maailma. (i.a.-a). *Tuotantotyytit*.
<https://www.logistiikanmaailma.fi/tuotanto/tuotantostrategia/tuotantotyytit/>
- Logistiikan Maailma. (i.a.-b). *Varastonohjaus*. <https://www.logistiikanmaailma.fi/logistiikan-toimijat/varastointi/varastonohjaus/#FIFO-LIFO>
- Logistiikan Maailma. (i.a.-c). *Lean-ajattelu*.
<https://www.logistiikanmaailma.fi/tuotanto/prosessien-kehittaminen/lean-ajattelu/>
- Logistiikan Maailma. (i.a.-d). *Tuotannon layout*.
<https://www.logistiikanmaailma.fi/tuotanto/tuotantostrategia/tuotannon-layout/>
- Muther, R. & Hales, L. (2015). *Systematic Layout Planning* (4. tark. ja laaj. p.). Management & Industrial Research Publications. <https://richardmuther.com/wp-content/uploads/2016/07/Systematic-Layout-Planning-SLP-4th-edition-soft-copy.pdf>

Nordautomation. (i.a.). *Yritysinfo*. <https://nordautomation.fi/yritysinfo/>

Nordautomation (2023). *Perehdyttämisopas 2023*. Sisäinen tietolähde

Nordautomation (2024). *Yrityksen PDM*. Sisäinen tietolähde.

Ojasalo, K., Moilanen, T. & Ritalahti, J. (2009). *Kehittämistyön menetelmät: Uudenlaista osaamista liiketoimintaan*. WSOYpro.

Ritvanen, V. (2011). Tuotanto ja tuotannonohjaus. Teoksessa V. Ritvanen, A. Inkiläinen, A. von Bell & J. Santala. *Logistiikan ja toimitusketjun hallinnan perusteet* (s. 46–55), Suomen Huolintaliikkeiden Liitto: Suomen Osto- ja Logistiikkayhdistys LOGY

Sakki, J. (2009). *Tilaus-toimitusketjun hallinta: B2B - vähemmällä enemmän* (7. uud. p.). Jouni Sakki.

von Bagh, A., Günther, C., & Salmenkari, R. (2000). *2000-luvun logistiikan johtaminen*. Suomen logistiikkayhdistys.