

# **Materiaalivirrat ja tehdaslayoutin viimeistely**

Konetekniikan  
kandidaatintutkielma

Laatija:  
Aaro Vahtera

26.3.2024  
Turku

Kandidutkielma

**Oppiaine:** Konetekniikka

**Tekijä(t):** Aaro Vahtera

**Otsikko:** Materiaalivirrat ja tehdaslayoutin viimeistely

**Ohjaaja(t):** Apulaisprofessori Sampsa Laakso

**Sivumäärä:** 24 sivua

**Päivämäärä:** 26.3.2024

Tutkielman tarkoituksena on perehtyä tehdaslayoutin merkitykseen ja sen kehittämiseen tuotannon tehokkuuden kannalta, lean-menetelmiä hyödyntäen. Tehdaslayoutin kehitystä tarkastellaan systemaattisen layoutsuunnittelun kautta erilaisia materiaalien virtausdiagrammeja hyödyntäen. Tutkielmassa toteutetaan myös layoutin viimeistelyprojekti Sandvik Mining and Construction oy:lle. Viimeistelyprojektiä tehdessä tehtaan piha alueelta löytyi työturvallisuus riskejä sekä materiaalien säilytyspaikkojen optimointi mahdollisuuksia.

Tehtaan järjestelyllä eli sen layoutilla on suuri merkitys tuotannon tehokkuuteen odotusaikojen kautta. Hyvässä layoutissa materiaalien siirtely paikasta toiseen nopeutuu, ihmisiä ja koneita saadaan käytettyä tehokkaammin ja aika saadaan käytettyä ainoastaan lisäarvoa tuottavaan toimintaan. Lean-filosofia onkin hyvä ohjenuora hyvän layoutin valitsemiseen ja ylläpitämiseen.

Materiaalivirtausdiagrammit ovat hyviä visuaalisia työkaluja layoutin pullonkaulojen löytämiseen. Virtausdiagrammeja on monia erilaisia ja osa niistä tarvitsee enemmän dataa toimiakseen kuin toiset. Osassa diagrammeissa voidaan mallintaa yhden ainoan kappaleen liikkeitä tehtaassa ja osassa taas päällekkäin monen kappaleen liikkeitä samanaikaisesti. Kaikkia diagrammeja yhdistää kuitenkin osien kulkeuman hahmottelu eri työpisteiden ja varastojen välillä.

**Avainsanat:** layoutsuunnittelu, materiaalivirta, lean

# Sisällysluettelo

<b>1</b>	<b>Johdanto</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Layoutsuunnittelu</b>	<b>5</b>
2.1	Tehdaslayoutin optimoinnin tärkeys	5
2.2	Eri layout ratkaisut tuotannossa	6
2.2.1	Tuotantolinja layout	6
2.2.2	Tuotantosolu layout	7
2.2.3	Funktionaalinen layout	8
2.3	Lean filosofia layoutsuunnittelussa	9
2.4	Systemaattinen layoutsuunnittelu	10
<b>3</b>	<b>Materiaalivirrat</b>	<b>12</b>
3.1	Virtausdiagrammit	12
3.2	Prosessikaaviot	13
3.3	Spagettidiagrammit	14
3.4	Digitaaliset työkalut	15
3.5	Materiaalivirtojen ohjaus	15
<b>4</b>	<b>Menetelmät ja materiaalit</b>	<b>17</b>
<b>5</b>	<b>Layout viimeistely</b>	<b>18</b>
5.1	Tehtävä	18
5.2	Tutkimus prosessi	19
5.2.1	Työturvallisuus	19
5.2.2	Koneruudut	21
5.2.3	Materiaalit	21
5.2.4	Järjestys	22
5.2.5	Hallit	23
<b>6</b>	<b>Tulokset</b>	<b>24</b>
<b>7</b>	<b>Yhteenveto</b>	<b>25</b>
	<b>Lähteet</b>	<b>26</b>

# 1 Johdanto

Tehdastilojen layoutsuunnittelu tarkoittaa tehtaan sisäisen järjestyksen määrittämistä optimaalisella tavalla. Optimaalisessa layoutissa materiaalien eikä työntekijöiden tarvitse liikkua pitkiä matkoja, tuotteiden valmistaminen on sujuvaa sekä tuotantolaitteita ja ihmisiä pysytään käyttämään tehokkaasti. Hyvä layout vaikuttaakin suuresti koko tehtaan tuottavuuteen, turvallisuuteen ja viihtyvyyteen. Layoutsuunnittelua tarvitaan eniten, kun perustetaan uusi tuotantotila tai muutetaan nykyisiä tuotantotiloja. Muutostöitä saatetaan tarvita esimerkiksi uusien tuotteiden valmistuksen aloitusta varten tai vain tehokkuuden parantamiseksi. Erilaiset tehdaslayoutit soveltuvat erilaisiin valmistustiloihin ja niillä kaikilla omat vahvuutensa ja heikkoutensa, jonka takia oikean vaihtoehdon löytäminen on tärkeää. (1)

Layout suunnitteluprojektit ovat yleensä isoja ja vaativat paljon dataa tuotannosta, ennen suunnittelun alkua. Dataa tulee kerätä niin tuotteiden valmistamisesta kuin tehtaan materiaali- sekä ihmisvirroista. Valmistusprosessien keston mittaaminen ja materiaalivirtojen analysointi erilaisilla visuaalisilla diagrammeilla ovat hyviä ja välttämättömiä tapoja kerätä tietoa, jotta voidaan tehdä hyvin perusteltuja ja onnistuneita muutostöitä. (1)

Tutkielman tarkoitus on perehtyä tehdaslayoutsuunnittelun osa-alueisiin ja niiden tärkeyteen. Tutkielman ensimmäisessä luvussa käsitellään erilaisia tehdaslayouteja, pohditaan niiden tärkeyttä, eroja, sekä yleistä layoutsuunnitteluprosessia. Toisessa luvussa käsitellään materiaalivirtojen vaikutuksia ja layoutsuunnittelun menetelmiä keskittyen materiaalivirtojen analysointiin. Tutkielma sisältää myös Sandvik Mining and Construction oy:lle tehdyn käytännön tapaus tutkimuksen, jossa selvitän, miten tehdaslayoutia voidaan viimeistellä. Tutkimuksessa kartoitan epäkohtia ja ehdotan tehtaan piha-alueen layoutin parannusratkaisuja. Ratkaisuilla on tarkoitus parantaa työturvallisuutta, järjestystä sekä siisteyttä.

## 2 Layoutsuunnittelu

Kasvavan maailmantalouden ja kuluttajien kysynnän tasaisen vaihtelun vuoksi yritykset joutuvat parantamaan tehokkuuttaan pienentämällä kustannuksia, jotta kilpailukyky säilyisi. Tehokkuutta pystytään parantamaan yritysten valmistustiloissa maksimoimalla resurssit. Asiakkaiden muuttuvaan kysyntään pystytään myös vastaamaan valmistustiloissa tekemällä niistä joustavia. Tehtaan layoutsuunnittelu onkin parhaita ja käytetyimpiä tapoja tehokkuuden parantamiseen, sillä siten voidaan säästää paljon tehtaan toiminnan kuluissa. (2)

### 2.1 Tehdaslayoutin optimoinnin tärkeys

Tehtaan layout suunnittelulla pyritään saaman optimaalinen järjestely valmistustiloihin sekä optimaaliset materiaalien virtaukset, joilla materiaalien käsittelykustannukset saadaan minimoitua. Laitoksen layoutin suunnittelun määränpää on parantaa tuottavuutta ja saada työntekijöiden sekä materiaalien liikkuminen työpisteiden ja koneiden välillä mahdollisimman nopeaksi. Yleensä hyvä layout pyrkii saavuttamaan seuraavat asiat:

- Maksimoi resurssien käytön (tila, työvoima)
- Minimoi materiaalin ja työvoiman liikkumisen
- Minimoi valmistusajan
- Minimoi investoinnit kalustoon
- Luo turvallisen ja mukavan työympäristön
- Pitää tuotannon joustavana, jolloin uusien tuotteiden valmistus pysyy mahdollisena

Todellisuudessa näitä kaikkia on vaikea saavuttaa, ja lopputulos noudattaakin usein osaa näistä kohdista paremmin kuin toisia. Esimerkiksi tilan liian tehokas käyttö saattaa kasvattaa investointikustannuksia tai heikentää työturvallisuutta. (2)

Tuotantotiloissa syntyy todella iso osa yrityksen menoista ja siksi niiden optimointi on tärkeää. Olemassa olevan tilan käyttö tulee maksimoida siten, että hukkatilaa on mahdollisimman vähän, sillä tyhjä tila ei tuota minkäänlaista arvoa yritykselle. Järjestelemällä voidaan luoda tilaa, joka voidaan käyttää tuotantokapasiteetin nostamiseen esimerkiksi hankkimalla lisää työstökoneita. Joissain tapauksissa ylimääräinen tila voidaan myös vuokrata esimerkiksi aliurakoitsijoille, tai myydä kokonaan pois. (1)

Materiaalien siirtely on myös kuluera, johon voidaan vaikuttaa layoutin optimoimisella. Jos prosessin eri vaiheet ovat kaukana toisistaan, voidaan joutua esimerkiksi käyttämään paljon trukkeja materiaalin siirtelyyn, jolloin tähän kuuluu enemmän resursseja. Materiaalinkäsittely on syy noin 50 prosenttiin työtaturmista ja 40–80 prosenttia kaikista toiminnan kuluista. Hyvä layout vähentää myös odotusaikoja, jolloin koneet ja työntekijät ovat mahdollisimman vähän aikaa ilman töitä. (1)

## 2.2 Eri layout ratkaisut tuotannossa

Tuotannossa voidaan käyttää montaa erilaista layoutia. Layoutin valinta riippuu tulevasta tuotannon vaihtelevuudesta, tarvittavasta tuotantonopeudesta, alkuinvestointi budjetista ja työntekijöiden määrästä. Yleisimmät vaihtoehdot ovat tuotantolinja layout, tuotantosolu layout ja funktionaalinen layout, joissa kaikissa valmistettavat osat tuodaan työpisteille. Erittäin suurten tuotteiden kuten lentokoneiden valmistuksessa voidaan myös käyttää kiinteän valmistuspisteen layoutia, jossa työntekijät ja työkoneet taas tuodaan valmistettavan tuotteen luokse. Tehtaat voivat kuitenkin muodostua useista osalayouteista. Funktionaalinen layout voi olla esimerkiksi tehtaan päälayout, joka sisältää useita valmistussoluja ja tuotantolinjoja. (3)

### 2.2.1 Tuotantolinja layout

Tuotantolinja layoutissa työkoneet ja työasemat järjestetään työnkulun mukaiseen järjestykseen. Valmistettavat tuotteet liikkuvat usein linjalla esim. liukuhihnan päällä, jolloin kenenkään työntekijän ei tarvitse kuluttaa aikaansa tuotteiden kuljetteluun (4). Tuotantolinja on materiaalivirtojen suhteen hyvä ratkaisu, sillä linjalla kulkevat tuotteet voivat itse tulla esim. välivaraston luo eikä välivarastosta tarvitse erikseen kuljettaa materiaalia tuotteen luokse. Tuotantolinjoja on täysin automatisoituja sekä täysin työntekijävoimin toimivia. Automatisoitu tuotantolinja on yleensä tehokkain tapa valmistaa tiettyä tuotetta, sillä linjan jokainen vaihe on suunniteltu omaa tehtäväänsä varten. Myös automatisoimattomilla tuotantolinjoilla valmistus on tehokasta, sillä työntekijöillä on tietyt työtehtävänsä, jolloin oppimiskäyrä on matala. (3)

Tuotantolinjoilla valmistetaan harvoin vaihtuvia tuotetyyppejä, usein yhtä tiettyä. Hyvän tehokkuuden takia tuotteiden valmistuskulut pienenevät ja valmiiden tuotteiden hinta saadaan pienemmäksi. Tuotantolinjan alkuinvestoinnit ovat kuitenkin erittäin suuret ja sen muokkaaminen uusien tuotteiden valmistusta varten on hidasta ja kallista. Jopa kapasiteetin kasvattaminen voi olla vaikeaa. Näiden takia tuotantolinjaa perustaessa ja muuttaessa täytyy

olla hyvä tietämys tulevaisuuden markkinoista, jotta tuotetta voidaan valmistaa niin kauan, että linjaan investointi kannattaa. (3)

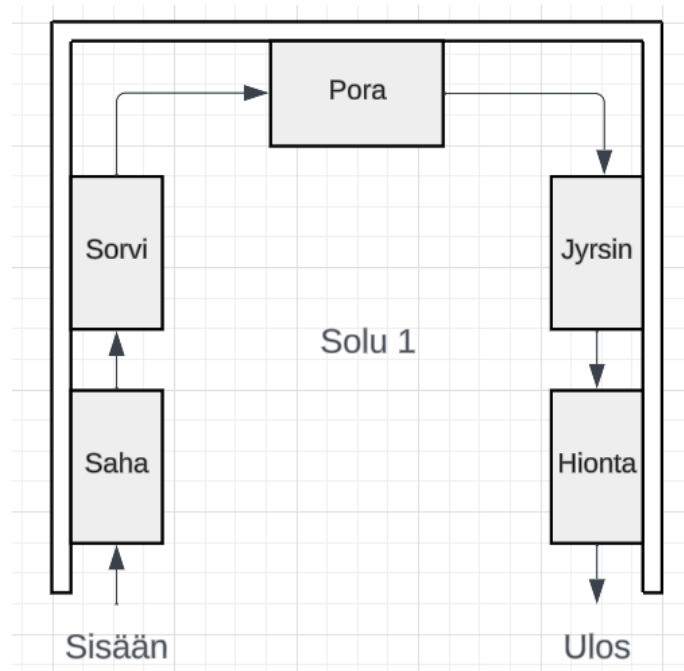
Tuotannonohjaus tuotantolinjalla on kuitenkin yksinkertaista ja suoraviivaista silloin, kun tuotanto sujuu. Ongelmien esiintyessä, kuten tuotantolaitteen rikkoutuessa, koko linja joutuu yleensä pysähtymään korjaustöiden ajaksi, ellei varakeinoa löydy. Linjan lamauttavien ongelmien syntymistä voidaan ehkäistä linjaa suunniteltaessa. Esimerkiksi siten, että sallitaan puutteellisten tuotteiden valmistuminen linjalta ohittamalla jokin tietty työvaihe. Nopeilla linjoilla se voi olla halvempaa kuin koko linjan pysäyttäminen. Linjaa suunniteltaessa työvaiheiden suunnittelu on tärkeässä asemassa. Työvaiheilla pitäisi olla vakio tahtiaika, jotta odotusajoilta vältyttäisiin tuotteiden siirtyessä asemalta toiselle. Työvaiheisiin kuluvaan aikaan voidaan vaikuttaa työntekijöiden ja työtehtävien sekä valmistuslaitteiden määrää kasvattamalla tai vähentämällä. (3)

## 2.2.2 Tuotantosolu layout

Hachicha et al. (2007) tutkivat solutuotanto systeemien kehittämistä ja toteavat, että: ”solutuotanto on tuotantostrategia, joka yhdistää tuote- sekä prosessikohtaisten valmistussysteemien parhaat puolet”. Solutuotanto pystyy tuottamaan tuotteita suurella vaihtelevuudella ja keskinkertaisella nopeudella. Solussa yhdellä työntekijällä voi olla useampia eri työtehtäviä. Hän saattaa osallistua kappaleen valmistuksen jokaiseen vaiheeseen, toisin kuin linjatuotannossa, jossa yhdellä ihmisellä on pienempi määrä työtehtäviä. Tuotantosolussa eri tehtäviin tarkoitettut koneet on koottu yhteen ja niitä käytetään tietyn tuoteperheen valmistamiseen. Muita tuoteperheitä valmistetaan toisissa tuotantosoluissa. Yhdessä solussa pyritään valmistamaan samankaltaisilla prosesseilla ja saman kaltaisista osista valmistuvia tuotteita. Yksi solutuotannon parhaista puolista on tuotannon yksinkertainen hallittavuus, josta seuraa tuotteen valmistumisajan helppo arviointi, jota varsinkin asiakkaat arvostavat. Tuotantosoluun ei myöskään tarvita yhtä paljon investointeja kuin isoon tuotantolinjaan. (5)

Solutuotannon heikko puoli on se, että joskus valmistettävien tuotteiden poikkeukselliset osat vaativatkin työstökoneita, jota ei löydy tuotetta valmistavasta solusta. Tämä johtuu solussa valmistettävien tuotteiden vaihtelevuudesta ja siitä, että soluun ei voida aina investoida uusia koneita jokaista uutta tuotetta varten. Syy on se, että solua ole suunniteltu ainoastaan yhden tuotteen valmistamiseen, kuten tuotantolinjaa. Poikkeuksellisten osien määrä yritetään kuitenkin minimoida, kun tuotteiden valmistukselle valitaan sopivaa solua. Työstökoneita,

jota käytetään kahden tai useamman solun tuotteiden valmistamiseen, kutsutaan pullonkaulaksi, sillä se saattaa hidastaa tuotantoa. Solutuotanto vaatii myös ammattitaitoisempaa työvoimaa kuin tuotantolinja, sillä työntekijöille tulee enemmän työtehtäviä. Tämä vaatii aluksi aikaa, mutta se tuo myöhemmin merkittäviä hyötyjä. (5,6)



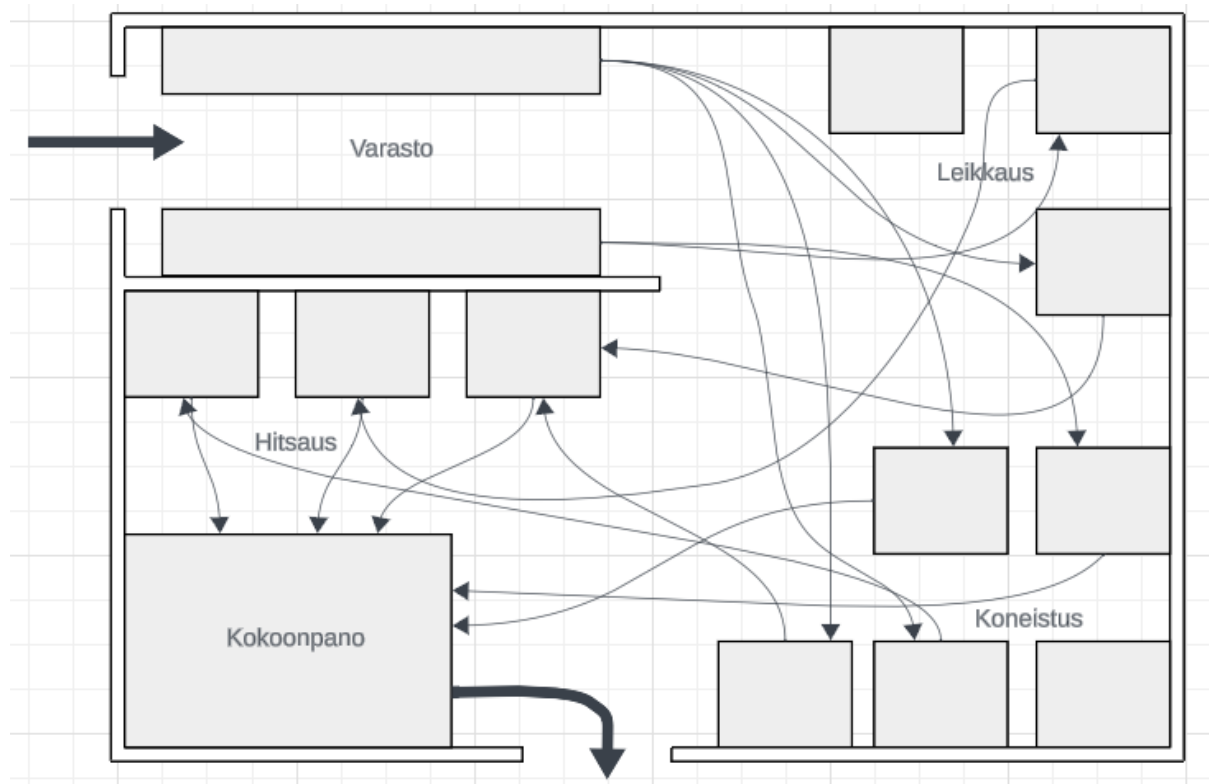
Kuva 1: Malli tuotantosolu layoutista.

### 2.2.3 Funktionaalinen layout

Funktionaalisisessa layoutissa tuotannon koneet järjestetään tyypeittäin, esimerkiksi sorvit, porat ja hitsauskalusto kaikki omille alueilleen. Tämä tuo joustavuutta tuotantoon, sillä tuotteet voivat aina valita seuraavaksi valmistuspaikakseen vapaan koneen, sillä koneiksi on yleensä valittu yleiskoneita, joilla voi valmistaa monenlaisia tuotteita. Funktionaalista layoutia käytetään piensarjatuotannossa, jossa valmistettavilla tuotteilla on suuri vaihtelevuus, sillä tuotteiden jatkuva kuljettaminen koneelta toiselle isoja tuotantoeriä tehdessä ei olisi kustannustehokasta. Layoutia ei ole siis suunniteltu optimiksi minkään tietyn tuotteen valmistusta varten, vaan sillä pystytään valmistamaan monia eri tuotteita kohtalaisen tehokkaasti. Suurimmat haasteet tulevat materiaalien kuljetuksesta työpisteiden välillä, sillä laitteet voivat olla kaukana toisistaan. Välivarastointia saatetaan myös joutua käyttämään kohtalaisen paljon, koska töiden ajoittaminen niin, että tuotteiden ei tarvitsisi odottaa seuraavan koneen vapautumista, on vaikeaa. (3)



Alla olevassa kuvassa 2 on esimerkki funktionaalisesta layoutista pienessä tuotantotilassa. Tuotantotilaan tuleva materiaali saapuu varastoon, josta se kuljetetaan eri työpisteiden kautta kokoonpanoon ja ulos ovesta. Kuvasta nähdään, miten funktionaalisen layoutin materiaalivirrat ovat erittäin sekaisia ja vaihtelevia, vaikkei kuvaan ole monen tuotteen liikkeitä hahmoteltukaan.



Kuva 2: Funktionaalinen layout.

### 2.3 Lean filosofia layoutsuunnittelussa

Lean filosofia termi on peräisin Japanista Toyotan tuotannosta, jossa kaikki tuotannon työntekijät yrittävät yhdessä päästä eroon kaikesta hukasta. Japanin kielen sana Muda (無駄) eli hukka, on kaikki arvoa tuottamaton toiminta ja materiaali. Muda on kahdeksaa erilaista ja ne ovat: odottaminen, kuljettaminen, huono ihmisten hyödyntäminen, varastot, liike, prosessointi, uudelleen tekeminen ja ylituotanto. Layout suunnittelulla voidaan vaikuttaa näistä eniten odottamiseen, kuljettamiseen, ihmisten hyödyntämiseen ja liikkumiseen. Ihmisten hyödyntämistä voidaan parantaa parhaiten pienentämällä odotusaikoja, sillä odottaessa työntekijät eivät tuota arvoa yritykselle. Työntekijöitä saadaan myös hyödynnettyä paremmin vakiinnuttamalla työskentely prosesseja jolloin virheitä tulee vähemmän (7).

Varastointiin taas voidaan vaikuttaa kanban tekniikalla. Kanban (看板) on viestintäjärjestelmä tai kortti, jolla työntekijä kertoo edeltävän vaiheen työntekijälle materiaali tarpeesta. Viestin tai kortin mennessä perille työntekijä aloittaa valmistamaan uutta tuotetta. Tämä tarkoittaa vetävää valmistusta, eli tarpeeseen valmistamista, jolloin tuotannon seuraava vaihe ”vetää” tuotteen edelliseltä vaiheelta. Jos valmistettavalle tuotteelle on aina tiedossa tyhjä paikka johon se menee, ei välivarastoille ole tarvetta. (1)

Keinoja, joilla lean filosofiaa voidaan toteuttaa, ovat esimerkiksi juurisyyanalyysi ja kaizen (改善). Pohdittaessa jonkin asian tärkeyttä kysytään vähintään viisi kertaa miksi ja päästään ongelman juurisyyhyn, jolloin se on helpompaa ratkaista. Näin voitaisiin selvittää esimerkiksi mitä turhalle tavaroiden kantamiselle tai turhalle odottelulle voisi tehdä. Jos työasemalla odottamisen syyksi selviäisi esim. edellisen aseman hitaus, mietittäisiin mistä se johtuu ja todettaisiin vaikka, siellä olevan työntekijä vajetta, jonka jälkeen mietintää jatkettaisiin taas eteenpäin. Työntekijä vaje voi taas johtaa juurensa huonoon työasemien layout suunnitteluun, jota voidaan lähteä korjaamaan syyn selvittyä. Kaizen puolestaan tarkoittaa japaniksi jatkuvaa kehittämistä. Kaizenin idea on se, että kehittämiseen osallistuu joka ikinen työntekijä jokaiselta organisaation tasolta. Kehittäminen voi olla minkä kokoista tahansa, mutta sen kuuluu olla jatkuvaa. Tapa on sen takia hyvä, koska kuka muu osaisi kehittää työntekijän työntekoa paremmin kuin hän itse. Yhdistämällä kaizenia ja juurisyyanalyysi tekniikkaa, voidaan ongelmia paikantaa jatkuvasti ja päätyä myös korjaamaan niitä. (1,8)

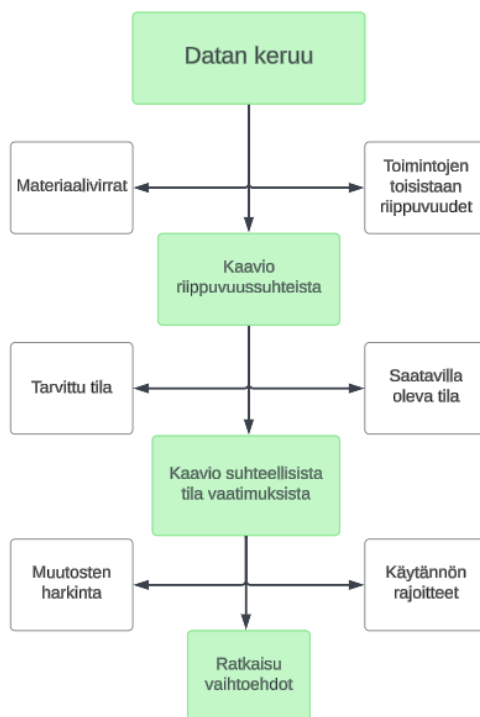
## 2.4 Systemaattinen layoutsuunnittelu

Layout suunnitelmien tekoon on erilaisia menetelmiä ja yksi niistä on systemaattinen layout suunnittelu SLP, eli ”systematic layout planning”. Tätä menetelmää käytettäessä voidaan aloittaa hahmottelemalla osastojen tila vaatimuksia laatikoina, jonka jälkeen laatikoiden sisältöä aletaan tarkentamaan (9). Uutta tehdas layoutia tehdessä tai vanhaa muokatessa, tulee projekti aloittaa keräämällä paljon dataa tulevasta tuotannosta. Datat keräys aloitetaan aivan perusasioista, eli siitä mitä, ja kuinka paljon tullaan valmistamaan. Seuraava lista on tiivistelmä Stephensin ja Meyersin vastaavasta listasta. (1,10)

- Valmistettavien tuotteiden selvittäminen.
- Kuinka paljon tuotteita tulee valmistaa tietyssä ajassa
- Mitkä tuotteiden osat tulee valmistaa itse ja mitkä tilata alihankkijoilta.

- Selvitä osien valmistusprosesseihin kuuluva aika.
- Aseta aika vaatimukset jokaiselle vaiheelle.
- Laske valmistettaville tuotteille tahtiaika, eli minkä ajan välein uuden tuotteen pitää valmistua tehtaasta.
- Laske tahtiajasta ja vaiheiden aikavaatimuksista tarvittavien valmistuskoneiden määrä jakamalla aikavaatimus tahtiajalla. Esimerkki: porauksen aikavaatimus on 2 min ja tahtiaika 30 s. Poraa tarvitaan siis 4.
- Jaa työtehtävät tasan eri asemien työntekijöille tahtiajan mukaisesti.
- Tutki tehtaan materiaalivirtoja erilaisten kaavioiden avulla, saavuttaaksesi parhaat reitit.
- Selvitä mitkä osastot ovat useinten tekemisissä keskenään.

Tämän kaiken alkudatan keräyksen jälkeen voi siirtyä tarkempien työasemien layouttien suunnitteluun, tilan laskentaan ja lopullisen suunnitelman tekoon. Seuraava kuva 3 havainnollistaa systemaattisen layout suunnittelun kulkua datan keräyksestä lähtien. Kuva on muunnelma lähteestä (9).



Kuva 3: SLP kaavio.

### 3 Materiaalivirrat

Materiaalivirroilla tarkoitetaan tuotannossa tarvittavien hyödykkeiden liikkeitä tehdastiloissa, ja niiden analysointi on yksi layoutsuunnittelun tärkeimmistä menetelmistä. Materiaalivirrat vaikuttavat eniten materiaalinkäsittelykustannuksiin, sillä kyseiset kustannukset kasvavat tehtaan sisäisten logistiikka kuljetusten lisääntyessä ja pidentyessä. Kuljetusmatkojen pituudet eivät aina riipu pelkästään kahden pisteen välisestä etäisyydestä, vaan myös reitin suoruudesta. Materiaalivirtojen risteämisiä on hyvä välttää virtauksen sujuvuuden takaamiseksi ja riskeiltä välttymiseksi. Materiaalivirtojen tarvitsemaa tilaa saadaan pienemmäksi ja turvallisemmaksi asettamalla materiaaliliikenne yksisuuntaiseksi ja siirtämällä kävelyreitit pois materiaalivirtojen tieltä.(1)

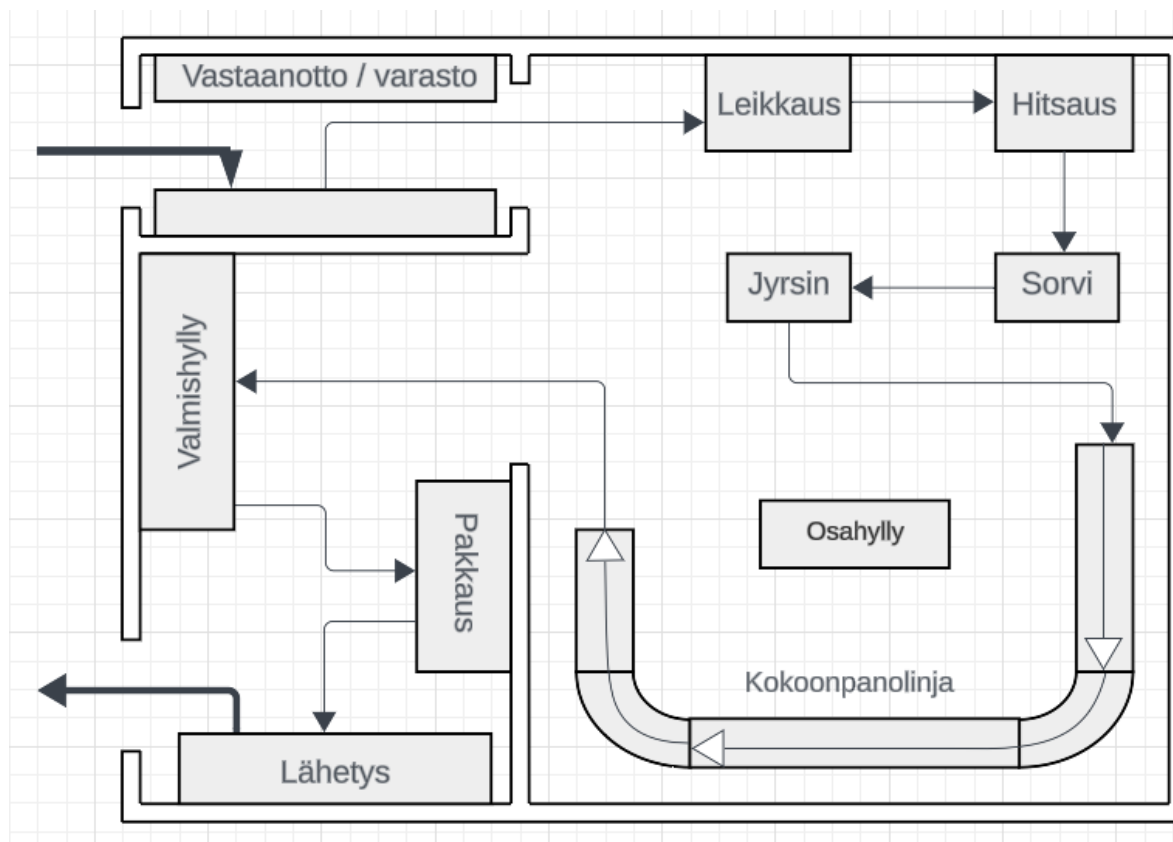
#### 3.1 Virtausdiagrammit

Virtausdiagrammilla mallinnetaan yhden osan liikkeitä tehdastiloissa. Mallinnus aloitetaan osan saapuessa tehtaaseen ja lopetetaan osan lähtiessä tehtaasta. Virtausdiagrammi piirretään tehdas layoutin päälle, jolloin nähdään tarkalleen jokainen paikka, jossa osa on käynyt. Osan liikkumista tehtaassa mallinnetaan nuolilla, jotka voivat olla erilaisia riippuen osan kuljetustavasta. Koneiden välillä osa voi liikkua ihmisten kannossa, kokoonpanossa liukuhihnalla ja varastosta tullessa trukilla. (11)

Virtausdiagrammista voidaan laskea osan kokonaisuudessaan kulkema matka tehtaassa, sekä huomata risteyskohdat ja väärään suuntaan kulkeminen. Risteyskohdat tarkoittavat tässä yhteydessä sitä, kun osa kulkee saman paikan läpi useammin kuin kerran. Tässä tapauksessa diagrammissa osan kulkema reitti siis risteää itsensä kanssa. Risteyskohtien syntymistä tulisi välttää, sillä ne luovat ruuhkautumisia ja työturvallisuusriskejä. Väärään suuntaan kulkemisella tarkoitetaan taas kohti lähtöruutua kulkemista. Sitä tulisi välttää, sillä se pidentää aina osan kokonaisuudessaan kulkemaa matkaa tehtaan läpi mennessä. Kun layoutiin piirretään muidenkin osien kulkureitit, niin nähdään ruuhkaiset alueet ja ongelmakohtia voidaan havaita. Ruuhkaisia reittejä voidaan leventää ja monen osan turhan pitkiin matkoihin voidaan vaikuttaa siirtämällä oikeita koneita lähemmäksi toisiaan. (1)

Kuva 4 on virtausdiagrammi keksitystä tuotantotilasta. Diagrammissa käytetään kolmia eri nuolia. Paksu nuoli tarkoittamaan rekkakuljetusta, pieni musta nuoli tarkoittamaan trukki kuljetuksia ja valkoinen nuoli tarkoittamaan liukuhihna kuljetusta. Kuvasta nähdään, miten seurattava osa saapuu rekalla vastaanottoon, jossa se varastoidaan. Varastosta osa kuljetetaan

trukilla neljän työstö pisteen kautta kokoonpanolinjalle. Linjan jälkeen osa viedään trukilla valmisvarastoon, jossa se odottaa pakkausta. Pakkauksen jälkeen tuote lähetetään rekan kyydissä pois.



Kuva 4: Virtausdiagrammi mahdollisesta tuotantotilasta. Kuva perustuu lähteeseen (11).

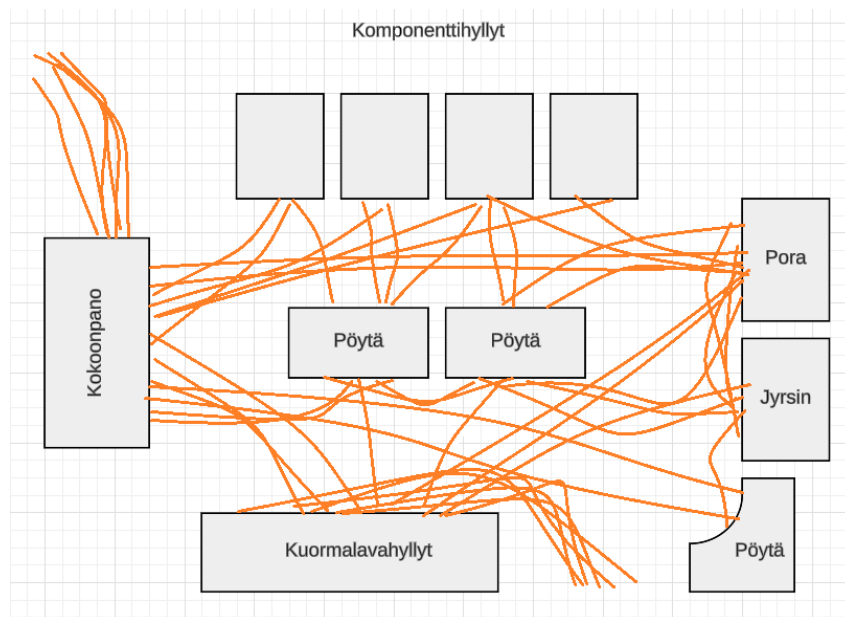
### 3.2 Prosessikaaviot

Prosessikaavio seuraa myös vain yhden osan liikkeitä tehtaassa, kuten virtausdiagrammikin. Se sisältää kaiken osalle tapahtuvan osan saapumisesta siihen asti, kun se yhdistyy muiden osien kanssa. Tietoja ei tässä tapauksessa piirretä layout kuvan päälle kuten virtausdiagrammissa, vaan niitä merkitään symboleilla taulukossa. Hyvästä prosessikaaviosta löytyy selkeästi mitä osalle tapahtuu minäkin hetkenä. Hyvän kaavion tarkoitus on myös herättää kysymyksiä siitä, että onko kaikki vaiheet tarpeellisia, tai voidaanko niitä korvata tai helpottaa. Kaaviosta näkee myös, kuinka pitkän matkan osa kulkee ja mitä sen valmistaminen maksaa, kun lasketaan kaikki vaiheet yhteen. (1)

### 3.3 Spagettidiagrammit

Spagettidiagrammi piirretään virtausdiagrammin tapaan layout kuvan päälle. Erona on kuitenkin se, että spagettidiagrammissa kuvataan pidempää ajanjaksoa, ja siinä näkyy useampien osien liikkeitä samanaikaisesti ja paikoin päällekkäin. Liikkeet on myös kuvattu tarkemmin kuin virtausdiagrammissa, jolloin siitä saa paljon tarkkaa dataa käytetystä ja käyttämättömästä liikkumatilasta. Spagettidiagrammi sopii paremmin pienempien alueiden analysoimiseen, sillä ison alueen kaikkien osien jokaisia liikkeitä on haastavaa seurata. Diagrammin voi tehdä yksinkertaisesti kynällä ja paperilla, tai tietokoneella esim. Excelin lisäominaisuuksia käyttäen. Molemmissa tapauksissa mallinnettavasta alueesta tarvitaan paljon dataa. Tietokoneella tehtäessä, sitä voidaan kerätä videomateriaalista, jolloin reitit piirtyvät automaattisesti kuvaan. (12)

Kuva 5 on yksinkertainen hahmotelma siitä miltä spagettidiagrammi voisi näyttää ja se on muunneltu lähteestä (12). Kuvassa on kuvitteellinen tuotanto solu, jossa tehdään hieman koneistusta ja kokoonpanoa. Visualisoiduista materiaali- ja virroista pystytään päättämään, että tavaraa tuodaan solun kuormalavahyllyille, josta solun työntekijät siirtävät ne tarvittaville paikoille. Diagrammista nähdään myös, että solu on järjestelty melko hyvin, sillä ylimääräistä kulkemista ei näytä syntyvän paljoa. Oikean alakulman pöytä voitaisiin kuitenkin siirtää lähemmäksi kokoonpanoa, koska sillä välillä on liikettä ja etäisyys on turhan pitkä. Laskemalla tarkemmin piirrettyjen viivojen pituuksia, tietokone voisi kuitenkin optimoida layoutia vieläkin enemmän.



Kuva 5: Spagettidiagrammi pienestä esimerkki tuotantotilasta.

### 3.4 Digitaaliset työkalut

Tietokoneohjelmilla pystytään mallintamaan kokonaisten tehdastilojen materiaaliavirtoja.

Tämä mahdollistaa useiden eri layout mallien vertailun, ilman fyysisten muutosten tekemistä, jolloin materiaaliavirtojen kannalta optimaalisin layout on mahdollista löytää.

Tietokoneohjelma tarvitsee kuitenkin dataksi kaikki materiaalin liikkumistiedot, kuten reitit, nopeudet ja aikavälit joina materiaali liikkuu. Nämä kaikki voidaan saada tehdastilan digitaalisesta kaksosesta, jona voi toimia esimerkiksi tehtaan CAD malli, eli digitaalinen ja mahdollisesti kolmiulotteinen malli. (1)

Digitaalisen kaksosen tarkoitus on olla identtinen fyysisten tehdastilojen kanssa ja se voidaan tehdä jostain tehtaan tietystä osasta, tai koko tehtaasta. Kaksoseen voidaan luoda kaikki todellisen tehtaan materiaaliavirrat, ihmisvirrat ja operaatiot, jolloin tehtaan toimintaa voidaan analysoida helposti. Malliin voi myös syöttää eri parametrejä, jolloin tehtaan eri toimintatapa vaihtoehtoja voidaan vertailla. Sen avulla pystytään myös tekemään ennusteita tulevasta tuotannosta, kuten tuotannon tehokkuudesta ja laitteiden huoltotarpeista. Näiden tietojen avulla tuotannon on helpompi vastata muuttuvaan kysyntään. (13)

Vaikka tehtaan CAD malli onkin hyvä vaihtoehto digitaalisen kaksosen luomiseksi, niin se saattaa sisältää epätarkkuuksia, jotka vaikuttavat kaksosen toimintaan negatiivisesti, antaen huonoja tuloksia. Tätä tarkempi vaihtoehto onkin 3D laserskannaus. Skanneri pyörii ja emittoi lasersäteitä jokaiseen suuntaan ja vastaanottaa heijastuneet säteet. Vastaanotetuista säteistä lasketaan etäisyydet kaikkiin skannerin ympärillä oleviin kiinteisiin elementteihin, jolloin sen ympäristöstä voidaan muodostaa koordinaatistolle niin sanottu pistepilvi. Uusimmat skannerit pystyvät luomaan kymmeniä miljoonia datapisteitä minuuttien aikana, jolloin skannatusta tilasta voidaan saada pieniäkin muotoja tallennettua. Skannauksen laatuun vaikuttaa laitteen etäisyys skannattavista pinnoista ja pintojen materiaali, sillä materiaalit heijastavat valoa eri tavoin. (14)

### 3.5 Materiaaliavirtojen ohjaus

Materiaalin toimitusketjuja suunnitellaan, jotta materiaalit olisivat oikeassa paikassa oikeaan aikaan. Hyvä toimitusketju kuljettaa materiaalia nopeasti ja häiriöttömästi. Materiaalit joutuvat aina jossain vaiheessa kuitenkin pysähtymään, jolloin ne pitää varastoida. Varastot aiheuttavat kuluja sekä sitovat pääomaa, joiden takia sitä ei tehdä turhaan. Monissa tapauksissa varastointi voi kuitenkin olla kannattavaa, jos halutaan esimerkiksi

puskurivarastoon tuotteita pitkien tai epävarmojen materiaalin toimitusten takia. Liian pienet varastot tuovat siis epävarmuutta ja liian isot, turhia kustannuksia. Varastojen koko on siis tärkeä optimoida, minkä takia valmistavilla yrityksillä on käytössään materiaalinhallinta menetelmiä. Materiaalinhallinnalla pysytään vaikuttamaan ulkopuolisilta toimittajilta tulevan materiaalin saapumisen lisäksi myös tehtaan sisäisiin toimituksiin, jolloin esim. varastosta tilatut tavarat ovat ajoissa työasemilla. (3)

Materiaalinhallinta järjestelmät ovat osa toiminnanohjausta eli ERP:tä (enterprise resource planning), joka ohjaa yrityksen toimintoja, kuten tuotannosuunnittelua, materiaalivirtoja, tilauksia, valmistusta ja työvoimaa. Materiaalivirtojen ohjauksella ei tarkoiteta niiden suunnan ohjausta, vaikka niiden suunnitteleminen onkin juuri sitä. Sillä tarkoitetaan materiaalivirtojen suuruuteen ja aikaväleihin vaikuttamista. Sopivilla materiaalin täydennys aikaväleillä varastot eivät kasva liian suuriksi, eikä materiaali lopu myöskään ikinä kesken. (3)

Materiaalinhallinnassa tärkeässä osassa ovat Lean periaatteet. Yksi menetelmä, jota materiaalinhallinnassa voidaan käyttää, on JIT-menetelmä, eli ”just in time” menetelmä, joka on lähes sama asia kuin aiemmin esitelty kanban, eli vetävä tuotanto menetelmä. Erona on, että kanban toimii ainoastaan valmistuksessa, kuin taas JIT toimii koko tuotannon ohjauksessa metodina. JIT-tuotanto systeemiä kutsutaankin usein lean tuotanto systeemiksi. JIT-menetelmällä halutaan vähentää kaikkea turhaa, kuten aikaa ja varastointia. Menetelmä perustuu siihen, että tarvittavat osat saapuisivat juuri silloin kuin niitä tarvitaan, jolloin varastoja ei pitäisi syntyä lainkaan. Tästä seuraa kuitenkin tiheitä logistiikka kuljetuksia, jotka eivät ole mahdollisia kaikille yrityksille, sillä logistiikkakuljetusten hinta ja ympäristö vaikutukset kasvavat suuresti, jos joudutaan toimittamaan vajaita lasteja. Odotusajat saattavat myös kasvaa, jos toimitukset myöhästyvät vähänkin. (15)



## 4 Menetelmät ja materiaalit

Aloitin työhön tutustumisen kiertelemällä tehdasaluetta ja merkitsemällä karttaan kaikki mielestäni huonot tai kyseenalaiset tavaran säilytys- ja layoutratkaisut. Tämän jälkeen selvittelin ratkaisujen syitä palavereissa ja kyselemällä alueiden vastuu ihmisiltä suoraan. Jos yhdessä päädyttiin siihen lopputulokseen, että asia ei ollut täysin kunnossa, niin mieltisin ratkaisuvaihtoehtoja ja esitin ne. Jos ratkaisu todettiin hyväksi, piirsin siitä mallin karttaan Nitro pdf muokkaus ohjelmalla. Joissain tapauksissa ehdotukset vaativat hieman tarkempaa pihan pinta-alan laskentaa, jonka tein Google maps satelliitti kuvista, ohjelman omalla mittatyökalulla.

## 5 Layout viimeistely

Työni aiheena on Sandvik Mining and Construction oy:n Turun tehdasalueen layoutviimeistelyt, joiden ohella tarkastelen myös materiaalivirtoja piha-alueella.

Tarkoituksena työlläni on saada viimeistelyä tehdasalueen muutossuunnitelmia sekä ideoida toimivia tila ratkaisuja, joilla saataisiin mahdollisimman paljon tavaraa näkö- ja säänsuojaan. Näiden lisäksi tarkoituksena on ohessa löytää työturvallisuus riskejä ja pohtia niihin ratkaisuja.

Lähtökohta työssä on se, että tehdasalueen kehitysprojekti on aloitettu vuoden 2023 alussa ja se on vielä vuoden lopussa osittain kesken. Projektin tavoitteena on saada yhdensuuntaistettua tehdasalueen materiaalivirtoja keskittämällä tietyt valmistusvaiheet omille alueilleen. Kaikille pihan materiaaleille ei ole kuitenkaan vielä löydetty paikkoja, ja osa istuu edelleen sateessa kärsimässä sään vaikutuksista. Tämän lisäksi kesällä 2023 kävi vahinkotapaus, jossa trukkikuski pudotti moottorin trukkipiikkien päältä, ajettuaan pihalla lojuvaa trukkilavaa päin. Tapaus herätti paljon huomiota ja sen myötä on päätetty panostaa enemmän pihan järjestykseen, jotta vastaavilta tapauksilta voitaisiin välttyä tulevaisuudessa.

Keskeisin työni tulos oli layout muutosten vahvistaminen. Lisäsin kaikki ulkona olevat pressuhallit, avovarastot ja muut tilaa tarvitsevat materiaalit alueen kartalle, niille sopiville paikoille. Tämän lisäksi suunnittelin toimia, joilla saadaan piha-alueetta siistimmän näköiseksi esim. siirtämällä korjaukseen menevät ruosteiset komponentit pois pääportin edestä. Arvioin myös kahden pressuhallin hankintaa, joilla saataisiin korvattua tavaran säilytyskontteja ja lisättyä myös varastotilan määrää. Ideoin myös ratkaisuja alueille, jotka täytyy pitää tyhjinä, trukki liikenteen turvallisuuden takaamiseksi, sekä alueille, joissa ihmisten käveleminen on työturvallisuusriski.

### 5.1 Tehtävä

Työni tehtävänä oli luoda tehtaan piha-alueesta suunnitelma, johon on piirretty rakennusten lisäksi kaikki nykyiset, sekä suunnitellut tavaran säilytysalueet ja lisäksi osan niiden kapasiteetteja. Suunnitelma selkeyttäisi vielä keskeneräisten muutostöiden viimeistelyä, sekä sitä voisi käyttää jatkossa sopimuksena alueiden käytöstä. Näin välttyttäisiin sekaannuksilta ja materiaalit pysyisivät jatkossakin omilla alueillaan, säilyttäen järjestyksen ja siisteyden. Järjestystä parantaessa tarkoituksena oli myös tehdä pihasta turvallisempi työskentely ympäristö logistiikalle, jotta törmäyksistä johtuvilta työtapaturmilta välttyttäisiin jatkossa.

Tarkoituksena oli myös saada pihalla istuvia materiaaleja säänsuojaan sisälle tehtaaseen tai halleihin, joten työn aikana piti myös selvittää varastointi mahdollisuuksia ja harkita esimerkiksi uusien pressuhallien ja konttien pystyttämistä.

## 5.2 Tutkimus prosessi

Keskeisin työni tulos oli tehdasalueen kartan täydentäminen rakennuksilla, materiaaleille varatuilla alueilla, uusilla valmiskone parkkiruuduilla, happisäiliöillä, kunnossapidon kalustolla kuten roska- ja romulavoilla, sekä muutamilla työturvallisuus huomioilla. Karttaan piirtämisen lisäksi tein Sandvikille ehdotelman, jossa perustelen layoutviimeistely ideoita. Ehdotelman ideat on koottu alle ja ne koostuvat työturvallisuuteen, materiaalinkäsittelyyn sekä siisteyteen liittyvistä asioista.

### 5.2.1 Työturvallisuus

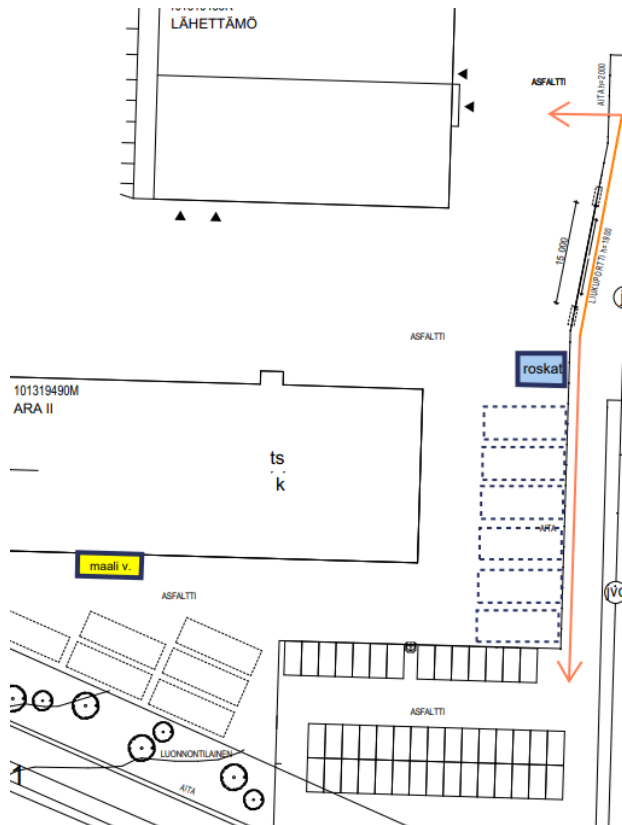
Heti ensimmäisellä tehdaskierroksella, jolla tutkin pihaa ja erilaisia mahdollisuuksia kehittää sitä, huomasin vaaralliselta tuntuvan paikan. Kyseessä on pääsääntöisesti trukkien käyttämä kulkureitti, joka kääntyy varasto hallin kulman ympäri. Tie on kulman molemmilla puolilla aika kapea, jonka vuoksi trukin täytyy ajaa läheltä kulmaa, molemmista suunnista tultaessa. Tämä ei tietenkään ole mahdollista, sillä reitti on kaksisuuntainen. Aidan kulmaan onkin asennettu peili, jolla molemmista suunnista tultaessa näkisi kulman taakse. Tämä ei kuitenkaan tunnu riittävältä toimelta työturvallisuuden parantamiseksi. Ehdotin kulman tyhjentämistä kaikesta tavarasta sekä raidoituksen maalaamista asfalttiin sen merkiksi, että sinne ei jatkossakaan jätettäisi tavaraa. Näin ajoväylälle saataisiin hieman lisää tilaa ja peili pysyisi ainoana objektina kulmassa, jolloin trukin kuljettajan huomio ei jakautuisi niin helposti, vaan se pysyisi peilissä.



Kuva 6: Terävä käänös heikentää trukin näkyvyyttä.

Toinen tärkeä työturvallisuus kehitys idea liittyy jalankulkureitteihin yhdeltä pysäköintialueelta tehdasalueelle kävelyyn. Kyseisellä alueella oli ennen hitsaamo, jonka luona oli vain jonkin verran trukkiliikennettä, eikä lainkaan kaivoskoneita. Uudistusten jälkeen hitsaamon tilalle muuttaa viimeistelylinja, jonka läpi nämä kaivoskoneet tulevat kulkemaan päivittäin. Rakennuksen kulmalle tulee myös osa valmiskoneparkista, johon valmiita koneita ajetaan.

Koneliikenteen kasvaessa näin paljon, jalankulkijoiden ei ole enää yhtä turvallista kulkea kuvassa 7 näkyvästä parkkipaikan pyöröportista. Tämän vuoksi jalankulkureitin paikkaa tulee siirtää. Ainut vaihtoehto on sen siirtäminen henkilöautoväylän viereen, sillä henkilöauton kuljettajalla on paljon parempi näkyvyys kuin kaivoskoneen ajajalla. Näin jalankulkijat saataisiin kaivoskoneiden kanssa samalle väylälle vasta avoimemmalla alueella, jossa molempien on helpompi varoa toisiaan. Jalankulkijoiden ja autojen sekoittamisessa tulee kuitenkin tehdä joitain lisätoimia, kuten maalata selkeät jalankulkureitit tai rakentaa jalkakäytävä. Muutos ei kuitenkaan pidennä parkkipaikalta halleihin kävelymatkaa kuin vain hieman osalle, ja heillekin vain kymmeniä metrejä. Tämän takia se on siis hyvin perusteltu uudistus joka parantaa ehdottomasti työturvallisuutta.



Kuva 7: Ehdotus kävelyreitistä siirtämisestä parkkipaikalta tuotantotiloihin. Katkoviivaruudut ovat valmiskoneparkkiruutuja, joihin koneita ajetaan kuvassa ylhäältä päin.

## 5.2.2 Koneruudut

Samalle alueelle piti myös keksiä puskurikoneparkkipaikat viimeistelyä varten. Ensimmäinen ideani oli, että koneet voisi jättää suoraan hallin oven eteen, jolloin ne olisivat kahdella ovella jonossa. Ratkaisu ei ollut kuitenkaan pohdinnan jälkeen paras, vaan parkkipaikat päätettiin sijoittaa aidan viereen, johon ne mahtuvat siististi riviin. Näin saadaan pidettyä ajoväylä paremmin vapaana esimerkiksi onnettomuuden sattuessa, jolloin paloautolla pitäisi päästä kiertämään talo. Näin koneet saadaan myös tiiviimmin riviin ja viimeistelysolun pahasti ruuhkautuessa uusille koneille on edelleen tilaa niille varatuilla paikoilla. Muutoin niille tarvitsisi alkaa etsiä paikkoja kauempaa, jolloin niiden hakemiseen menisi ylimääräistä aikaa.

## 5.2.3 Materiaalit

Tehdasalueella oli muutama materiaalikonaisuus, joiden säilytyspaikka oli hieman epäselvä. Näitä olivat esimerkiksi runkoverstaalta valmistuvat nostopuomin osat, keinuvivut sekä nostovarret. Kyseisiä kappaleita voi olla samaan aikaan säilöttävänä monia ja niille pitäisi löytää yhteinen paikka joka olisi sään suojassa. Vanhalla järjestyksellä ne olivat usein levällään ja taivasalla, kastumassa ja lumettumassa. Tämä tapa toki toimii, jos säilytys paikat

ovat tiedossa ja kosteudelta suojaudutaan tulppaamalla osien reikiä. Välillä etsimiseen tulisi kuitenkin kulumaan turhaa aikaa.

Materiaaleille sopivaksi säilytys paikaksi todettiin kontti, joka oli tullut käyttämättömäksi tehtaan muutosten seurauksena. Kontti on kyljestä auki ja sinne osat saa hyllyjen avulla kahteen kerrokseen ja tila arvioitiin riittäväksi kaikille nostovarsille sekä keinuvivuille. Kontin sijainti on myös erinomainen, sillä se on lähellä osien mahdollista käyttö-, sekä edelleen lähetyspaikkaa. Näin saadaan vähennettyä ylimääräistä haku-aikaa sekä trukeilla edestakaisin ajamista tehdasalueella.

#### 5.2.4 Järjestys

Järjestyksellä pidetään huoli materiaalien löytymisen lisäksi tehdasalueen yleisestä siisteydestä. Siisteys ei vaikuta järin tärkeältä tekijältä tehokkuuden kannalta, mutta se vaikuttaa epäsuorasti moneen asiaan. Siisti tehdasalue antaa esimerkiksi vierailijoille yrityksestä paremman kuvan, kuin epäsiisti alue. Vierailijat ovat monessa tapauksessa mahdollisia ostajia, ja sen takia jokaisesta huonosta mielikuvasta tulisi päästä eroon, varsinkin juuri ensivaikutelmaa tehtäessä. Siisteydestä huolen pitäminen voi viestiä vierailijoille esimerkiksi yrityksen arvoista, tarkkuudesta ja ammattimaisuudesta.

Tehtaan pääportin edustalla on komponenttikorjaamon rakennus, jossa korjataan maailmalta lähetettyjä rikkoutuneita koneiden osia. Rakennus on sisältä todella täynnä, eikä sinne mahdu kaikki korjattava materiaali. Tämän takia kymmenkunta rikkinäistä akselia istuu rakennuksen edessä odottamassa korjaukseen pääsyä. Akselit ovat siis aivan pääportin tuntumassa ja totesin, että ne olisi hyvä saada ainakin näkösuojaan, yllä mainittujen syiden takia.

Ensimmäinen pohtimani ratkaisuvaihtoehto olisi rakennuttaa pressuhalli korjaamon viereen, paikalle, johon saataisiin järjestelemällä tilaa. Paikalle mahtuisi laskelmien mukaan 10 x 15 metrin halli, johon saisi akseleiden lisäksi paljon muutakin tavaraa. Muiden osastojen ihmiset kertoivatkin tavarankäilytilan tarpeistaan ja olivat jo pitkään toivoneet tällaista ratkaisua. Tavara ei kuitenkaan näyttänyt keneltäkään muulta pursuavan yhtä pahasti pihalle kuin komponentti korjaamolta, joten aivan yhtä suurta tilaa tarvetta ei voinut muilla olla. Vanhojen kustannusten perusteella tämän pelkän hallin hinta-arvioksi tulisi noin 150 000 euroa. Hallin rakennuttamisen lisäksi kyseisen alueen tasaiseksi lanaaminenkin tulisi maksamaan paljon, joten kustannus tehokkaampi ja nopeampi vaihtoehtokin olisi hyvä löytää.

Toinen vaihtoehto selvisikin vapaata tilaa etsimällä, sillä ilmeni, että korjaamon takana olevasta pressuhallista voisi löytyä tilaa akseleille. Pienellä hyllyjen ja tavaran uudelleen järjestelyllä halliin saataisiin hyvin seinustoille tilaa ainakin osalle akseleista. Halli on 10 x 10 metrin kokoinen ja akselit ovat noin kolme metriä pitkiä, joten seinustalla niitä säilytettäessä tilaa tulisi menemään 30 metriä eli koko hallin seinustan verran. Kaksikerroksisen hyllyn hankkimalla ja trukin vaihtamalla vahvempaan, joka jaksaa nostaa akselit hyllyille, saataisiin tila vaatimus puolitettua. Vanhatkin tavarat saataisiin edelleen mahtumaan samaan halliin pelkästään järjestelemällä. Näin myös akseleita ei tarvitsisi säilöä peräkkäin, vaan kaikkiin pystyisi pääsemään käsiksi saman aikaisesti.

### 5.2.5 Hallit

Pääportin edustalla, päätehtaan kulmalla on kaksi konttia, joihin laitetaan soluihin sisälle menevää tavaraa. Alueella on myös hieman tavaraa maassa, mahdollisesti konttien pienen koon vuoksi. Ehdotin, että kontit vaihdettaisiin pieneen pressukatokseen tai katettuihin hyllyihin, jotka tulisivat oikeanpuoleisen kontin paikalle. Näin alue saataisiin huomattavasti siistimmän näköiseksi, sekä tavaroille tulisi enemmän tilaa.



Kuva 8: Vasemmalla vanhat punaiset tavaran säilytys kontit. Oikealla idea konttien vaihtamisesta yhteen isompaan ratkaisuun. Nuolet kuvaavat molemmissa tapauksissa tehtaan nosto-ovia, joista tavara tuodaan sisään.

## 6 Tulokset

Tutkimukseni tulokset liittyivät materiaalivirtojen aiheuttamiin työturvallisuusriskeihin, osien optimaaliseen säilytyspaikkojen valintaan ja yleiseen siisteyteen. Kuten jo aiemmin todettiin, niin materiaalivirtojen ja ihmisten kävelyreittien yhdistämisessä tulee käyttää harkintaa, sillä siinä piilee omat riskinsä. Tutkitun parkkipaikan tapauksessa riskit ovat suuret, sillä kaivoskoneen ja ihmisen törmääminen olisi hengenvaarallista. Riskin todennäköisyyttä lisää myös alueen ahtaus ja kuljettajan huono näkyvyys. Kävelyreitit tulisi siis kulkea aidan toisella puolella, kiertäen vaarallisen alueen kokonaan, tai sitten parkkipaikka tulisi ottaa pois käytöstä. Parkkipaikan poistaminen olisi parempi ratkaisu, koska henkilöautoväylällä käveleminen ei ole täysin turvallista ja tehdasalueelta löytyy parkkipaikkoja muualtakin.

Toinen hieman vähemmän vaarallinen materiaalivirtojen kohtaamispaikka, varastohallin kulma, vaati myös mielestäni uudistuksia. Kulmassa ei tulisi jatkossa enää säilyttää liikennepeilin lisäksi mitään muuta, sillä peilistä vastaan tulevan liikenteen havainnoiminen voi olla muutenkin jo hieman haastavaa peilin pienen koon vuoksi. Peilin ympärillä oleva sekaisuus saattaisi kiinnittää kuljettajan huomion pois peilistä ja kasvattaa siten törmäys riskiä. Alueen puhtaana pysymistä voitaisiin ihmisiä ohjeistamisen lisäksi edesauttaa maalaamalla maahan raidoitus merkkamaan sitä, että tavaroita ei tulisi jättää sinne.

Materiaalinkäsittelyn helpottamiseksi selvisi myös kaksi ideaa. Kahta osakokonaisuutta, nostovarsia ja keinuviipuja, tulisi molempia säilyttää samassa paikassa nostovarsien luona, sillä ne lähetetään useimmissa tapauksissa sieltä eteenpäin. Keinuviipujen vanha säilytyspaikka aiheuttaa hieman väärään suuntaan kulkemista materiaalivirroissa ja se voitaisiin välttää uudella välivarastointi paikalla. Toinen idea koskien materiaalinkäsittelyä, on kahden sisäänottovarastokontin vaihtaminen yhteen katettuun hyllykköön. Näin levällään olevat tavarat saadaan siististi yhteen paikkaan, tilaa tulisi hieman lisää, eikä maassa tarvitsisi enää säilyttää mitään.

Viimeinen työni tulos koski korjattavien akselien säilytystä. Akseleita ei tulisi säilyttää alueen pääportin luona näkyvillä, sillä ne saattavat luoda vierailijoille negatiivista kuvaa valmistettavista tuotteista. Akselit tulisikin säilöä läheiseen pressuhalliin, johon saadaan tilaa järjestelemällä ja mahdollisesti hankkimalla akseleille sopivat kaksikerroksiset hyllyt ja hyllyille nosteluun tarvittava vahvempi trukki.



## 7 Yhteenveto

Tehtaan sisäisellä järjestyksellä eli layoutilla on iso merkitys tuotannon tehokkuuteen, sillä hyvä sellainen vähentää kaikkea hukkaa. Tehokasta tuotantoa tarvitaan ylläpitämään yrityksen kilpailukykyä ja vastaamaan markkinoiden kysynnän vaihteluihin. Mahdollisia layouteja on erilaisia ja yksi layoutsuunnittelun tehtävistä onkin sen oikean löytäminen, vastaamaan tehtaan tuotannon vaatimuksiin. Tehtaassa voi myös olla useampia eri layoutmalleja ja jopa niiden yhdistelmiä, tuotannon eri osastojen tarpeisiin. Oikean layoutin valintaan vaikuttaa kuitenkin moni asia ja siksi suunnitteluprojekti on pitkä.

Layout suunnittelulla pyritään vaikuttamaan materiaalivirtoihin, joilla on suuri rooli tehokkuuden kannalta. Kaikki tuotannossa syntyvästä hukasta ei ole vain materiaa, vaan myös aikaa. Huonot materiaalivirrat aiheuttavat osien myöhästymisiä ja turhia materiaalin käsittely kustannuksia, kuten ylimääräistä trukilla ajoa. Jotta nämä saataisiin vältettyä, voi materiaalivirtoja tutkia visuaalisesti erilaisten diagrammien avulla, jotka paljastavat virtausten epäkohdat. Materiaalivirtojen analysoinnin lisäksi layout suunnittelu tarvitsee myös paljon muuta dataa, kuten prosessien kestot, halutut läpimenoajat ja käytettävien työntekijöiden määrän. Hyvä layout parantaa tehokkuuden lisäksi myös alueen työturvallisuutta.

Tutkielma käsitteli suurimmaksi osin perinteisiä layoutsuunnittelun ja materiaalivirtojen analysoinnin menetelmiä. Tutkielmassa mainitut modernimmat tavat kuten 3D laserskannaus tulevat luultavasti yleistymään tulevaisuudessa, teknologian kehittyessä ja tarvittavien laitteiden halventuessa. Tehtaiden digitaaliset kaksoset saattavat myös tulevaisuudessa olla suuremmassa roolissa tuotannonohjauksen kanssa. Erilaiset kehittyvät anturit ja älykkäät järjestelmät saattavat jopa mahdollistaa automaattisen layoutsuunnittelu, joka osaisi vastata tuotannon tarpeiden muutoksiin ehdottamalla niihin sopivia ratkaisuja tehtaan layoutissa.

## Lähteet

1. Stephens MP, Meyers FE. *Manufacturing Facilities Design and Material Handling*. 5. 2013;
2. Kovács G. Layout design for efficiency improvement and cost reduction. *Bull Pol Acad Sci Tech Sci*. 1. kesäkuuta 2019;547–55.
3. Martinsuo M, Lyly-Yrjänäinen J, Mäkinen S, Suomala P. Teollisuustalous kehittyvässä liiketoiminnassa [Internet]. 2016 [viitattu 24. tammikuuta 2024]. Saatavissa: <https://www.ellibslibrary.com/reader/9789513769215>
4. Boysen N, Fliedner M, Scholl A. A classification of assembly line balancing problems. *Eur J Oper Res*. 1. joulukuuta 2007;183(2):674–93.
5. Hachicha W, Masmoudi F, Haddar M. An improvement of a cellular manufacturing system design using simulation analysis. *Int J Simul Model*. 15. joulukuuta 2007;6(4):193–205.
6. Shambu G, Suresh NC, Pegels CC. Performance evaluation of cellular manufacturing systems: a taxonomy and review of research. *Int J Oper Prod Manag*. 1. elokuuta 1996;16(8):81–103.
7. Nguyen PT, Nguyen TAT. Application of SLP And LEAN Method in Designing the Layout of Auto Parts Manufacturing Factory. Teoksessa: *2023 8th International Scientific Conference on Applying New Technology in Green Buildings (ATiGB)* [Internet]. Danang, Vietnam: IEEE; 2023 [viitattu 2. helmikuuta 2024]. s. 169–75. Saatavissa: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10364437/>
8. Hernández-Escobedo G, González-Higuera CO, Arredondo-Soto KC, Realyvásquez-Vargas A. Layout Planning Approach at a Plumbing Department in a Manufacturing Industry: A Case Study. Teoksessa: García-Alcaraz JL, Realyvásquez-Vargas A, Z-Flores E, toimittajat. *Trends in Industrial Engineering Applications to Manufacturing Process* [Internet]. Cham: Springer International Publishing; 2021 [viitattu 11. tammikuuta 2024]. s. 77–102. Saatavissa: [https://link.springer.com/10.1007/978-3-030-71579-3\\_4](https://link.springer.com/10.1007/978-3-030-71579-3_4)
9. Watanapa A, Wiyaratn W. Systematic Layout Planning to Assist Plant Layout: Case Study Pulley Factory. *Appl Mech Mater*. 24. lokakuuta 2011;110–116:3952–6.
10. Yang K. Layout optimization of signal control box production line based on SLP. Li J, Wu J, Chen K, toimittajat. *E3S Web Conf*. 2021;253:02090.
11. Cochran DS, Foley JT, Bi Z. Use of the manufacturing system design decomposition for comparative analysis and effective design of production systems. *Int J Prod Res*. helmikuuta 2017;55(3):870–90.
12. Daneshjo N, Rudy V, Malega P, Krnáčová P. Application of Spaghetti Diagram in Layout Evaluation Process: A Case Study. *TEM J*. 1. toukokuuta 2021;10(2):573–82.

13. Sujová E, Bambura R, Vysloužilová D, Koleda P. Use of the digital twin concept to optimize the production process of engine blocks manufacturing. *Prod Eng Arch.* 2023;29(2):168–74.
14. D. Nåfors, E. Lindskog, J. Berglund, L. Gong, B. Johansson, J. Vallhagen. Realistic virtual models for factory layout planning. *Teoksessa: 2017 Winter Simulation Conference (WSC) [Internet]. IEEE; 2017. s. 3976–87. Saatavissa: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8248107>*
15. Benton WC, Shin H. Manufacturing planning and control: The evolution of MRP and JIT integration. *Eur J Oper Res.* 1998;110(3):411–40.