

Osku Helminen

# Tuotantokonseptin suunnittelu tehoelektronikkatuotteelle

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma

Insinööriytyö

25.5.2016

Tekijä Otsikko	Helminen, Osku Veikko Juhani Tuotantokonseptin suunnittelu tehoelektroniikkatuotteelle
Sivumäärä Aika	46 sivua + 2 liitettä 25.5.2016
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Sähkötekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Sähkövoimatekniikka
Ohjaaja(t)	Valmistus- ja laatuasiantuntija, Johanna Honkanen Vanhempi luennoitsija, Eero Kupila
<p>Insinööriyö on tehty toimeksiantona osana Kone Industrial Oyj:n sähköjärjestelmätehtaan, RelLabin ja GMS-tiimin yhteisprojektia. Insinööriyön tarkoituksena oli suunnitella ja implementoida uusi tuotantokonsepti, minkälaisesta tuotannosta yrityksessä ei ollut aiempaa kokemusta.</p> <p>Kone Industrial Oyj on omaksunut Lean-filosofian omaksi tavakseen valmistajana. Filosofian mukaan kaikki tuotteen arvoa lisäämätön työ tulisi eliminoida valmistusprosessista kokonaisuudessaan jo tehoelektroniikkatuotteen esivalmistusvaiheessa jos mahdollista. Arvoa lisäämätöntä työtä kutsutaan hukaksi. Hukan poistamiseksi jo esivalmistusvaiheessa, suunniteltiin tuotantokonsepti mahdollisimman toimivaksi, joustavaksi ja tuottavaksi.</p> <p>Methods-Time Measurement -tutkimus suoritettiin toimeksiantajan laatuvastuuinsinöörin ja insinööriyön kirjoittajan toimesta, joka osana insinööriyötä teki tuotteen prototyypistä testikokoonpanoja. Testikokoonpanot kuvattiin ja videosityönteeltä oli mahdollista tehdä MTM-tutkimus. Tutkimustuloksena luotiin koodi, josta oli mahdollista asettaa työvaiheille standardiajat. Näitä standardiaikoja käytettiin myös konseptiratkaisun suunnittelussa, missä ne osoittautuivat huomattavan hyödyllisiksi.</p> <p>Insinööriyön teoreettisen tutkimuksen tuloksena syntyi kolme tuotantokonseptiehdotusta. Nämä kolme ehdotusta esitellään insinööriyössä ja perustellen osoitetaan, mikä niistä sopii parhaiten yrityksen tarpeisiin ja muuttuvaan volyyymiin. Vaikka lopullinen implementointi on vielä tekemättä ja konseptiehdotuksia tullaan todennäköisesti muokkaamaan Koneen puolesta, antaa insinööriyö paljon informaatiota ja luo perustukset lopulliselle tuotantokonseptin ratkaisulle.</p>	
Avainsanat	Valmistus, tuotanto, konsepti, suunnittelu, MTM, Lean

Author Title	Helminen, Osku Veikko Juhani Designing a Manufacturing Concept for a Power Electric Product
Number of Pages Date	46 pages + 2 appendices 25 May 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electrical Power Engineering
Instructor(s)	Manufacturing Solutions & Quality Expert, Johanna Honkanen Senior Lecturer, Eero Kupila
<p>This thesis was commissioned by Kone Industrial Corporation elevator electrification factory in Hyvinkää. The goal of this final thesis was to design and implement a new concept of manufacturing since the company hasn't had experience in such production before.</p> <p>Kone Industrial Co. has adapted Lean philosophy as its way of manufacturing. According to this philosophy all non-value-adding work is to be eliminated in full, already in pre-production phase of the power electric product, if possible. Non-value-adding work is called waste. To eliminate waste already in the pre-production phase, the concept was designed to be as functional, flexible and as productive as possible.</p> <p>A Methods-Time Measurement survey was conducted by another company quality engineer and by the author of this thesis who, as part of the thesis, completed a test production of the prototype product. Test production was filmed and from the video feed it was possible to put together the MTM-survey. From the survey's results, a code was created from which it was possible to set a standard time for a working phase. These results were also used for the concept design, for which they proved to be quite useful.</p> <p>As a result three proposals for the manufacturing concept were created from the theoretical research done. These three proposals are presented and reasoned for in the thesis. The fit-test option for the company's needs and for varying production volume is indicated as well. Although the final implementation is still to be carried out and the concept proposals will possibly be altered by the company, the thesis gives much information and creates a solid base for the company to build the final manufacturing solution upon.</p>	
Keywords	Manufacturing, production, concept, design, MTM, Lean

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Lean Management	2
2.1	Periaatteet	3
2.2	Lean-työkalut	3
2.2.1	Jatkuva parantaminen – Kaizen	3
2.2.2	Hukkatekijät – Muda	4
2.2.3	5S	5
3	Tuotantojärjestelmä	5
3.1	Suunnittelujärjestelmä	7
3.2	Tuotannontekijät	7
3.3	Tuotantomuodot	8
3.4	Kilpailutekijät	10
4	Tuotannon tavoitteet	12
4.1	Kustannustehokkuus	12
4.2	Laatu	13
4.3	Käsittelyaika	14
4.4	Joustavuus	16
4.5	Tuotannon velvollisuudet	17
5	Tehtaan layout ja valmistusvirtaus	19
5.1	Funktionaalinen layout	19
5.2	Tuotantolinjalayout	21
5.3	Solulayout	22
5.4	Tuotetehtaat ja -verstaat	24
6	Prosessiajan arviointi	26
6.1	Methods-Time Measurement	26
6.2	Testikokoonpano	27
6.3	Arvioinnin tulokset	28

7	Tuotannon Layoutin suunnittelu	29
7.1	Tahtilinjalayout -ehdotus	29
7.2	Epätahtilinjalayout -ehdotus	33
7.3	Solulayout -ehdotus	36
7.4	Materiaalien kierto	38
7.5	Tutkimustulokset	39
8	Yhteenveto	42
8.1	Tulosten perusteella suositeltava layout	42
8.2	Pohdinta	45
	Lähteet	46

## Liitteet

Liite 1. TET:een alkuperäinen MTM-koodi

Liite 2. TET:een muokattu MTM-koodi

Liitteet 1 ja 2 on määritelty salaisiksi.

## Lyhenteet ja käsitteet

NHE	North Hyvinkää Electrifications. Sähköjärjestelmätehdas Kone Industrial Oyj:n Hyvinkään hissitehtaalla.
MTM	Methods-Time Measurement. Prosessiaikaa mittaava liikeaikajärjestelmä.
Puskuri	Tuotannon sisäinen varasto eri valmistusvaiheiden välillä.
Jalostus	Tuotteen arvoa lisäävä työ.
RelLab	Reliability Laboratory, Koneen Hyvinkäällä sijaitseva tutkimuslaboratorio.
GMS	Global Manufacturing Solutions-tiimi.
5S	Lean-työkalu, jolla pyritään siisteyteen, järjestelmällisyyteen ja niiden ylläpitämiseen.
PDCA	Plan-Do-Check-Act. Lean-filosofian jatkuvan parantamisen havainnollistamiseen käytetty termi.
TMU	Time Measurement Unit. MTM-tutkimuksessa käytettävä aikayksikkö.
TET	Tehoelektroniikkatuote, tarkoitetaan työn kohreena ollutta tuotetta.

## 1 Johdanto

Tämä insinööriyö on osa yhteistyöprojektia Hyvinkään hissitehtaan sähköjärjestelmätehtaan (NHE), tutkimuslaboratorio ReLabin ja Global Manufacturing Solutions -tiimin (GMS) kesken uuden tehoelektroniikkatuotteen tuotantolinjaston implementoimiseksi Hyvinkään hissitehtaan sähköjärjestelmätehtaalle. Tuotteen valmistettavuuden kehittämisen kannalta tuotannon aloittaminen omavalmistuksena on merkittävä ja siksi kannattavaa. Aihe täsmentyi nykyiseen muotoonsa useiden konsultaatioiden jälkeen, kun myönteinen päätös tuotteen paikallisen valmistuksen pilotoinnin aloittamisesta annettiin.

Työn tavoitteena on kokonaan uuden tuotantokonseptin, jollaista vastaavaa ei yrityksessä ole, suunnittelu, luonti ja testaus. Konseptin punainen lanka on modulaarisuus ja joustavuus. Linjastolla on tarkoitus pyrkiä mahdollisimman lyhyeen tuotteen läpimenoaikaan ja siten toimitustäsmällisyyteen ja korkeimpaan valmistuslaatuun. Toimitustäsmällisyyden tavoite on koko hissitehtaalla 100 %. Edellisten varmistamiseksi on ensisijaisen tärkeää löytää mahdolliset valmistettavuusongelmat tässä projektissa, ennen kuin tuotteen lopullinen design lyödään lukkoon ja varsinainen tuotanto alkaa. Tuotantolinjaston tulee olla myös tuottava. Tuottavuus on tehokkuuden mittari ja vertaamalla tuloksen ja panoksen suhdetta keskenään saadaan käsitys tuotannon tuottavuudesta. Linjastoa suunnitellessa on jaotettava tuotanto oikein, jotta se pysyy balanssissa ja virtaus jatkuvana, ilman pullonkauloja. Ratkaisun tulee palvella joustavasti ympäristössä, jossa tuotantovolyymi ja resurssit vaihtelevat [6].

Tuotanto on tuotteen, komponenttien, järjestelmien tai lopputuotteiden valmistusta. Se on joko yrityksen omavalmistusta tai alihankintaa, jossa valmistetaan tuotteen osia tai komponentteja sopimussuhteeseen perustuen. Suppeasti määriteltynä tuotanto on valmistusta. Usein sillä kuitenkin tarkoitetaan suurempaa prosessia, mikä pitää sisällään tuotteen eri vaiheet valmistusyrityksessä. Laajempaan prosessiin voidaan katsoa kuuluvan ostot, valmistus ja toimitus. Tuotteen tarvitsemat komponentit hankitaan, ne rakennetaan kokonaisuudeksi, tuotteeksi ja toimitetaan asiakkaalle.

Insinööriyön aiheen tuotantokonseptiin kuuluu tuotantolinjasto ja -prosessi. Työhön on lisäksi sisällytetty tutkimustulosten, esimerkiksi MTM-tutkimuksen, analysointi. Insinööriyö keskittyy tuotteen valmistukseen ja valmistettavuuteen, ei itse tuotteeseen.

Kone Oyj on yksi maailman johtavista hissi-, liukuporras- ja automaattioivalmistajia, jonka liikevaihto vuonna 2015 oli yli 8,6 miljardia euroa ja työllisti vuoden 2015 lopussa noin 50 000 työntekijää. Kone Oy perustettiin vuonna 1910, vuodesta 1918 lähtien Koneella on ollut omaa hissituotantoa. Koneen nosturiyksikkö eriytettiin vuonna 1994 Konecranes Oyj -nimiseksi yhtiöksi, useiden muiden liiketoimintojen mukana.

Koneella on seitsemän tuotantoaluetta ja kahdeksan globaalia tutkimus- ja tuotekehityskeskusta. Yhtiön pääkonttori sijaitsee Helsingissä. [1.]

## 2 Lean Management

Lean-toimintamalli on alkujaan japanilaisen autonvalmistajan, Toyotan, kehittämä tapa ajatella ja toimia. Se perustuu Toyotan tuotantoperiaatteisiin ja vastoin perinteisiä prinssiippejä Lean keskittyy sinne, missä likainen työ tehdään. Lean-toiminnassa ominaista on poistaa tuotteen jalostuksesta sellaiset toiminnot, jotka eivät lisää tuotteen arvoa. Aluksi Lean oli yksinkertaisimmin omaksuttavissa muuhun autoteollisuuteen, samankaltaisten ratkaisujen helpon soveltamisen vuoksi, mutta on sittemmin levinnyt lähes kaikille toimialoille. [8, s. 6.]

Leanin täydellinen omaksuminen vaatii isäntäyritykseltään paljon; henkilöstön on sitouduettava toimimaan sen mukaisesti ja osallistumaan kehityshankkeisiin, joten Lean vaikuttaa koko yrityksen toimintakulttuuriin. Selkeimmin Lean-toiminta on havaittavissa yrityksen tuotannon organisoinnissa ja koko valmistusprosessissa, sillä siellä tapahtuvat suurimmat näkyvät muutokset. Olennaista on "Leanata" yrityksen kaikki prosessit, jotta voidaan saavuttaa maksimaalinen arvon lisäys. Tärkeintä yritykselle on Lean-kulttuurin luominen, jotta paremmin tekemiselle saadaan jatkuvuutta. [8, s. 6.]

Lean-filosofiassa tuotteen arvo määritellään asiakkaan näkökulmasta, johon I. Kourin [8, s. 6.] sanoin kuuluvat toimitusaika- ja varmuus, laatu ja tuotteen ominaisuudet. Vastuu tuotteesta ja sen laadusta kuuluu paitsi tuotannon operaattorille, myös kaikille muille yrityksen toimijoille.

## 2.1 Periaatteet

Lean pyrkii maksimoimaan tuotteen arvoa. Kehitys suunnataan sinne, mistä asiakas on valmis maksamaan. Sellaiset prosessit, jotka eivät lisää tai saattavat jopa vähentää tuotteen arvoa poistetaan. [8, s. 8.]

Ideologian mukaisesti yrityksen materiaalivirtaus on suunniteltava siten, että tuotteille ei tule pysähdyksiä. Laitteet ja koneet on sijoitettava siten, että virtaus pysyy lyhyenä ja selkeänä; puskureita pienennetään tai niitä voidaan jopa poistaa. Varastovalmistusta pyritään välttämään ja tuotanto halutaan rakentaa imuohjautuvaksi, missä valmistuspulssi tulee seuraavan työvaiheen tarpeesta. [8, s. 8-9.]

Lean on pitkäjänteistä toimintaa ja pyrkii jatkuvaan parantamiseen, missä poistetaan hukatekijöitä ja ratkaistaan ongelmia. Kaikessa tekemisessä pyritään tehokkaaseen ja laadukkaaseen tulokseen. I. Kouri [8, s. 9.] on kiteyttänyt käytännön Lean-toteutuksen tuotannon ohjausperiaatteiden ja layoutin muutoksiin.

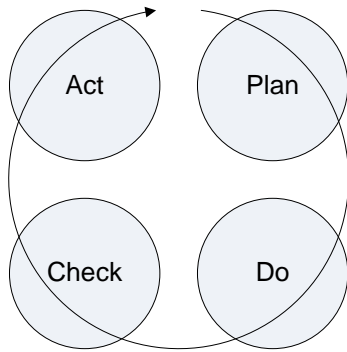
## 2.2 Lean-työkalut

Luvussa käsitellään näkyvimmit Lean-työkalut, jotka ovat yleisessä käytössä KONE Industrial Oy:n Hyvinkään hissitehtaalla. Työkaluja pyritään käyttämään mahdollisimman laajasti soveltaen koko toiminnassa.

### 2.2.1 Jatkuva parantaminen – Kaizen

Koskaan ei ole sellaista tilannetta, josta ei olisi mahdollista parantaa. Lean perustuu pitkäjänteiseen ja systemaattiseen kehitykseen, jossa vastuu parantamisesta on yrityksen kaikilla työntekijöillä. Näin on oltava, jotta ongelmien ja kehityshankkeiden selvittämiseen saadaan useita eri näkökulmia ja paras ratkaisu. [8, s. 14.]

Leanin omaksuminen tai käyttöönotto yrityksessä tuo mukanaan paljon kehityskohteita ja ongelmia. Siksi sitä on mahdotonta omaksua täysin lyhyellä aikajänteellä. Yleensä on jokin lähtötaso, mistä toimintaa lähdetään kehittämään. Lean-projektit eivät ole kertaluonteisia vaan syklisiä.



Kuvio 1. Jatkuvan parantamisen PDCA-sykli. [8, s. 15.]

PDCA-sykli on esimerkki Leanin mukaisesta jatkuvasta parantamisesta. Plan tarkoittaa parantavan toimenpiteen suunnittelua ja eri vaihtoehtojen harkitsemista. Do on yhtä kuin parannustoimenpiteen suorittamista. Check, eli arvioi tai tarkista parannuksen onnistuminen ja tee mahdolliset korjaavat toimenpiteet ja Act, mihin sisältyy paremmiksi havaittujen prosessien implementoiminen ja standardisoiminen kaikkialla.

### 2.2.2 Hukkatekijät – Muda

Leanin ajattelumallin mukaisesti kaikki tuotteen jalostukseen kuulumaton työ, eli lisäarvoa tuottamaton työ, on hukkaa. Hukan poistaminen on Leanin perimmäinen tavoite, jolla saadaan tehostettua prosesseja ilman työtahdin kasvattamista. Hukkien poistaminen on edellytys työn tuottavuuden ja laadun varmistuksen parantamiselle. Tuotannon hukat on tunnistettu ja jaettu seitsemään luokkaan

- ylituotanto
- ylikäsittely
- tarpeeton kuljettelu
- tarpeeton liikkuminen
- tarpeettomat varastot
- odottelu ja
- viat. [8, s.10-11.]

Kahdeksantena hukkana voidaan nähdä itse operaattorin käyttämättä jätetty tietotaito ja luovuus, sillä työntekijöillä on paras kokemus ja tieto prosessien kehityksestä työssään.

### 2.2.3 5S

Lean-filosofian mukaan laadukkaaseen ja tuottavaan tuotantoon pystytään vain siistissä ja puhtaassa työympäristössä. Prosessit pyritään saamaan vakioiksi riippumatta operaattorista, ajoista, ympäristöstä jne. Mikäli työpisteet ja/tai -ympäristö ovat sotkuisia tai sekaisin ei ole mahdollista saavuttaa vakioituja prosesseja. 5S on työkalu, jolla kehitetään systemaattisuutta ja kurinalaisuutta. Hukat on helpompi tunnistaa ja eliminoida, kun ympäristössä ei ole häiriötekijöitä tai esteitä. Viisi ässää ovat

- seiri – sorttaa
- seiton – stabiloii
- seiso – siivoa
- seiketsu – standardoi
- shitsuke – säilytä. [8, s. 26-27.]

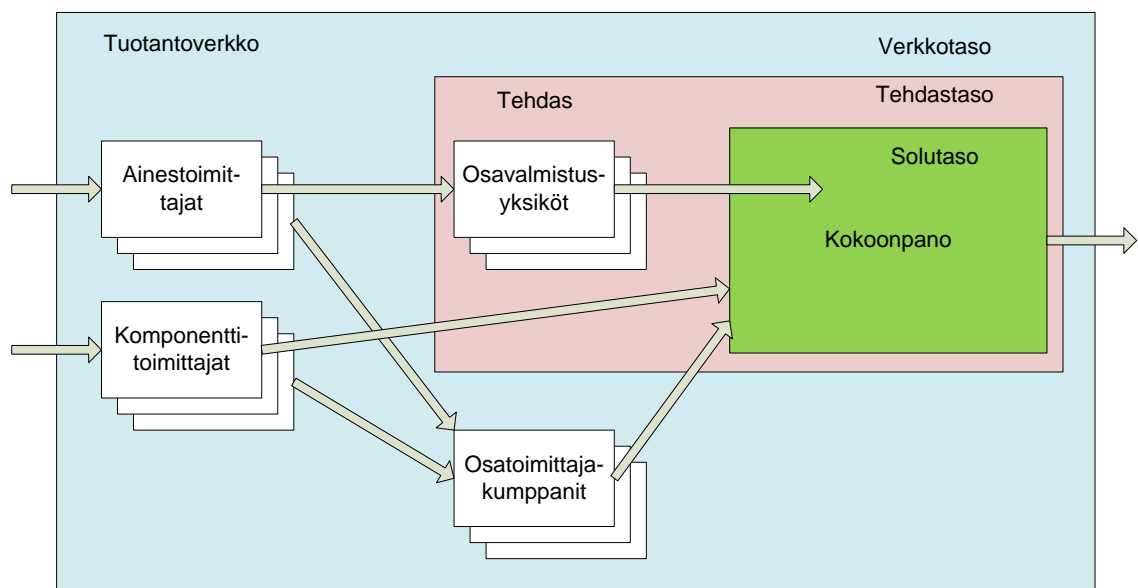
5S ilmenee käytännössä siten, että jokainen työntekijä osallistuu työasemien siivoamiseen, järjestämiseen ja näiden ylläpitämiseen. Työpisteiltä lajitellaan tarpeelliset ja poistetaan tarpeettomat työkalut (seiri). Kaikille työkaluille on oma paikkansa. Ne merkitään selkeästi (seiton). Käytettävä koneisto ja laitteisto huolletaan ja puhdistetaan asianmukaisesti (seiso). Pyritään rakentamaan rutiini osaksi työntekoa, jolla toimenpiteet toteutetaan (seiketsu). Ylläpidetään vakiintuneita käytäntöjä ja eri vaiheita toteutetaan ja parannetaan jatkuvasti (shitsuke). [8, s. 26-27.]

## 3 Tuotantojärjestelmä

Tuotantojärjestelmä on kokonaisuus, johon kuuluvat tilaus, tuotekohtainen suunnittelu, valmistus ja toimitus. Sen tehtävänä on saada aikaan virtaus, jossa materiaali jalostuu tuotteeksi. Tuotantojärjestelmän kaksi perusosaa ovat suunnittelu- ja valmistusjärjestelmät. Suunnittelujärjestelmään kuuluu myös kaksi puolikasta; operatiivinen ohjaus ja tuotantotekninen suunnittelu. Tuotantotekninen suunnittelu tähtää valmistusjärjestelmän valmistusvalmiuden luomiseen ja ylläpitämiseen, kun operatiivisella ohjauksella tarkoitetaan tuotannon toteutuksen suunnittelua ja ajoitusta.

Järjestelmä koostuu useista yksiköistä. Yksiköitä voi olla keskitetysti useita ja yhdessä ne muodostavat tehtaita. Tuotantoyksiköt ovat yleensä keskitetty yrityksen keskeisimpiin tehtaisiin, mutta niitä voi olla sijoitettuina järjestelmän eri osiin, myös hallinnollisesti emoyrityksen ulkopuolelle. Tuotantoverkoston voidaan nähdä koostuvan neljästä tasosta:

- verkosto
- tehdas
- solu
- työpiste. [4, s. 16.]



Kuvio 2. Tuotantoverkon esimerkki, jossa kuvattuna koko järjestelmän eri tasot. [4, s. 16.]

Yleensä koko verkostoa ja tehdasta ohjataan tehdastasolla, mikä on koko järjestelmän ydin. Tehtaalla määritellään järjestelmät, prosessit, ja asetetaan tuotannolliset tavoitteet. Tehtaan on edullista pyrkiä toistamaan samankaltaisia prosesseja koko verkostossa, sillä siten saadaan eliminoitua esimerkiksi yhteensopivuusongelmat, myös oman organisaationsa ulkopuolella. Toimintojen toistamisen edukkuus on tietysti yrityskohtaista ja sen tärkeys vaihtelee verkostossa. Loppukokoonpanossa yhteistyö verkoston muiden toimijoiden kanssa on kuitenkin korostunut, sillä siitä on näkyvää hyötyä esimerkiksi taakutapauksissa. [4; s. 16-17.]

### 3.1 Suunnittelujärjestelmä

Suunnittelua on kolmenlaista:

- Kehityslähtöinen suunnittelu

Tuotekehitystä, missä pyritään löytämään ja soveltamaan uutta teknologiaa tai mahdollisuutta parantaa jo markkinoilla olevaa tuotetta tai tuotantoteknologiaa.

- Tuotelähtöinen suunnittelu

Tuotesuunnittelu on rakenteellista suunnittelua, jossa luodaan kokoonpano- ja osapiirustukset sekä osaluettelot.

- Operatiivinen suunnittelu

Tuotannon ohjauksen suunnittelua, jonka keskeisin tarkoitus on tuotantosuunnitelman luominen. [4, s. 20.]

Omat valmistusyksiköt ja ulkopuoliset toimittajat käyttävät operatiivisen suunnittelun laatimaa suunnitelmaa valmistusimpulssina tuotantotoiminnoilleen. [4, s. 20-23.]

### 3.2 Tuotannontekijät

Niitä resursseja, jotka mahdollistavat tuotannon kutsutaan tuotannon tekijöiksi. Ne ovat perinteisen ajattelutavan mukaan työ, pääoma ja materiaalit.

Materiaaleihin sisällytetään ne fyysiset resurssit, joita yritys kuluttaa: moduulivalmisteet tai osavalmisteet, komponentit ja raaka-aineet. Näiden lisäksi vesi, energia ynnä muut mahdollisesti tuotteen jalostukseen kuulumattomat kulutettavat ymmärretään materiaaleina. Pääomaa tarvitaan yrityksessä työn ja materiaalien maksamiseen, mutta myös tuotantoprosessin vaatimiin investointeihin, kuten koneisiin ja laitteisiin. Työ on yksinkertaisesti kaikkien työntekijöiden työpanos.

Joissain lähteissä mainitaan neljäntenä tuotannontekijänä tieto, ”Know-How”, mikä tarkoittaa osaamista organisaation omassa tekemisessä. Tiedon tärkeys on korostumassa,

mitä pitemmälle teknologia kehittyy, kun prosessit nykyaikaistuvat ja muuttuvat entistä monimutkaisemmiksi. Kaikkein selkein tietolähde on kokemus, eli oman toiminnan tutkiminta ja analysointi antavat yritykselle tärkeää dataa siitä, kuinka hyvin asioita tehdään. Tieto-taitoa on mahdollista hankkia myös muualta erinäisinä lisensseinä ja käyttöoikeuksina. [3, s. 352-353.]

Koneella tieto-taitoa omaan tekemiseen pidetään korkeassa arvossa koko tuotannossa, eikä ilman sitä toimitusyksikkö pystyisi toimimaan. Hyvinkään tehdasyksikön tuotanto koostuu korkealle jalostetuista tuotteista, jotka vaativat enemmän tai vähemmän suunnittelua, mutta ovat jokainen asiakkaan tarpeisiin räätälöityjä. Tällaisessa ympäristössä kokemus ja kokemuksen tuoma osaaminen, eli tieto, ovat välttämättömiä.

### 3.3 Tuotantomuodot

On olemassa erilaisia tuotantomuotoja, mutta lopulta lähes jokaisella yrityksellä on omanlaisensa jalostunut tapa tehdä ja toimia. Pääpiirteittäin niitä voidaan kuitenkin jakotella seuraavasti:

- Tuotteenmukaiset tuotantomuodot

- Vakiotuotanto

Vakiotuotteena voidaan pitää tuotetta, jonka konstruktio pysyy samanlaisena pitkiä aikoja. Perustietojen jo olemassa olemisen vuoksi, vakiotuotteen valmistuksen aloittaminen ei vaadi erikseen suunnittelua. Vakiotuotteelle on ominaista, että sen ominaisuuksiin ja rakenteeseen ei asiakas pysty vaikuttamaan. Esimerkiksi monet kodinkoneet, kuten pesukoneet ja jääkaapit, luetaan vakiotuotteiksi.

- Tilaustuotanto

Tilaustuote räätälöidään asiakkaalle tarkkojen spesifikaatioiden perusteella. Tilaustuotteen on mahdollista olla pohjimmiltaan vakiotuote, mihin asiakkaalla on tarve saada vaadittuja, esimerkiksi maakohtaisten määräyksien mukaisia muutoksia tai lisäyksiä.

- Valmistusaloitteen mukaiset tuotantomuodot

- Asiakasohjautuva tuotanto

Asiakasohjautuvassa tuotannossa valmistusimpulssi saadaan asiakkaan tilauksesta ja tuotteen rakenne määritellään vasta tilausvaiheessa, joten sitä ei voida valmistaa varastoon. Mikäli tuotteen valmistus on nopeampaa kuin vaadittu toimitusaika ja tuotteella on rajallinen määrä variaatioita, on mahdollista valmistaa vakiotuotteita asiakasohjautuvasti. Monesti teollisuudessa eri alihankkijat perustavat toimintaansa tähän ja toimittavat vakioidut komponentit tai moduulit suoraan kokoonpanoon, päämiehensä valmistusohjelman mukaisesti.

- Varasto-ohjautuva tuotanto

Varasto-ohjautuvassa tuotantomuodossa tuotteet tehdään varastoon sitä mukaa, kun varasto tyhjenee. Valmistusimpulssi on siis varastojen täydennyksen tarve. Varasto-ohjautuville tuotteille on ominaista, että asiakkaan tarpeet saadaan tyydytettyä välittömästi. Tällaisia tuotteita ovat esimerkiksi elintarvikkeet.

- Valmistusprosessin jatkuvuudesta riippuvaiset tuotantomuodot

- Yksittäistuotanto

Tuotantoerän koko on yksi kappale. Tilattu tuote voi erota edeltävistä tai seuraavista valmistettavista tuotteista. Rakennukset ja laivat ovat hyviä esimerkkejä yksittäistuotannosta.

- Sarjatuotanto

Tuotanto tapahtuu syklistä, yksi sarja kerrallaan. Sarjatuotanto nostaa tehokkuutta toistoista saatavalla oppimisella. Sarjojen välillä saattaa koko tuoteperhe vaihtua. Tästä syystä sarjojen koko vaihtelee sen mukaan, paljonko vaihtamisesta tulee kustannuksia ja mahdollisia kapasiteettihäviöitä.

- Yhtenäistuotanto

Massatuotantoa, missä samaa tuotetta valmistetaan erittäin suuria määriä pitkällä aikavälillä. Yhtenäistuotanto on yleensä mahdollista vain sellaisessa tuo-

tantolinjastossa, mikä on varta vasten suunniteltu samantapaisia tuotteita varten. Yhtenäistuotantolinjastossa ei kuitenkaan ole mahdollista valmistaa kuin yhdenlaista tuotetta kerrallaan.

Tuotantomuodon määrittely yrityksessä ei ole aina niin yksiselitteistä. Useimmiten käytännön tuotanto on jotain eri muotojen väliltä ja sekatuotanto on hyvin yleistä. Esimerkiksi alihankinnasta voidaan toimittaa vakiotuotteina moduuleita ja komponentteja omaan varastoon, josta kerätään tarvittavat materiaalit, mitkä liitetään omien osavalmisteiden kanssa yhteen tilauksen perusteella. [3, s. 353-354.]

### 3.4 Kilpailutekijät

Tuotteen kilpailutekijät ovat ne muuttujat, joiden vuoksi se erottuu markkinoilla muista samantapaisista tuotteista. Ne voidaan jakaa karkeasti muutamaan luokkaan

- hinta
- laatu
- ominaisuudet
- muokattavuus
- palvelu
- toimitusnopeus
- toimitusvarmuus.

Tuotteen hinta on asiakkaalle yksi tärkeimpiä kriteerejä hankintapäätöksiä tehdessä. On oletettava, että asiakas vertailee aina useampaa vastaavaa tai samankaltaista tuotetta ennen hankintapäätöstä ja alempi hinta voi ratkaista kilpailun, mikäli tuote vastaa muuten asiakkaan tarpeita. Muut kilpailutekijät vaikuttavat tuotteiden hintaan ja useimmiten asiakkaan kannalta juuri siihen huonompaan suuntaan.

Laatu voidaan lähteestä ja kontekstista riippuen määritellä monella tapaa. *Teollisuustalous* määrittelee tuotannon laadun tarkoittamaan myytävän palvelun tai tuotteen virheettömyyttä. Virheettömyyden tavoitteena on, että tuote kohtaa asiakkaan vaatimukset ja

suunnittelun tuotteelle asettaman määritelmän. Hyvään laatuun vaikuttavat kaikki tuotteen kanssa tekemisissä olevat järjestelmät, käytettävät työkalut ja -tavat sekä ennen kaikkea työntekijä. Laatu ja sen parantaminen ovat niin kriittisiä kilpailukykyä edistäviä tekijöitä, että ne ovat yksi suurimmista syistä, minkä takia toimintaa pyritään kehittämään. Tämä johtuu siitä, että laadukkaat tuotteet tekevät tulosta, eli menevät hyvin kau-paksi. Tuotteiden korkea laatu parantaa myös yrityksen imagoa ja toimii erinomaisena markkinointina.

Asiakkaan kannalta kaikkein tärkeintä on löytää oikea tuote oikeaan tarkoitukseen. Tuotteen pitää pystyä täyttämään asiakkaan tarpeet ja vaatimukset. Ensisijaisesti tuotteen on kuitenkin pystyttävä läpäisemään kansallisten ja kansainvälisten standardien mukai-set rajat, mikä usein vaatii tuotteen tai palvelun ominaisuuksilta vielä enemmän.

Usein tuotteelta halutaan jotain normaalista poikkeavaa. Tuotteen mahdollinen kusto-mointi valmistusvaiheessa on monissa yrityksissä tärkein kilpailuvaltti, mutta johtaa no-peasti variaatioiden, valikoiman ja ennen kaikkea hinnan kasvuun. Joskus muokkaus voi olla välttämätöntä asiakkaan vaatimusten tapaamiseksi.

Tuotteeseen saattaa kuulua liitännäis- tai oheispalveluita, jotka ovat hankintapäätöksen kannalta merkittäviä. Esimerkiksi toinen valmistaja saattaa tarjota samaa tuotetta hal-vempaan hintaan, mutta ilman huoltosopimusta. Palveluihin lasketaan huoltosopimusten lisäksi esimerkiksi myös takuu-, koulutus-, varaosa-, rahoitus- ja ennen kaikkea asiakas-palvelu.

Toimitusajaksi katsotaan se sovittu aika, missä tuote on tilauksen jättämisestä toimitettu asiakkaalle. Toimitusaika voidaan myös ennalta sopia, esimerkiksi tarjousta tehdessä. Hankintapäätökset jätetään yleensä viimeinkin, mutta kun lopullinen päätös on tehty, niin asiakas haluaa tuotteen tai palvelun mahdollisimman nopeasti. Silloin toimituksen nopeus on erittäin tärkeää.

Toimitusvarmuus tarkoittaa toimituksen sovituksessa aikataulussa pysymistä. Tuotteen täy-tyy olla asiakkaan hallussa sovittu toimitusajan jälkeen. Toimitusvarmuuteen kuuluu myös, että toimitettu tuote on tilattu tuote ja sitä on juuri tilattu määrä. Alihankintatoimin-nassa toimitusvarmuus on monesti elinehto yrityksen toiminnalle ja kriittinen kilpailuky-kyä nostattava tekijä. [3, s. 356-357.]

## 4 Tuotannon tavoitteet

Tämä luku käsittelee tuotannon tavoitteita korporaation ja kilpailukyvyn edistämisen näkökulmasta.

Valmistavan yrityksen yhdeksi perustaksi voidaan katsoa tuotantoprosessit, joihin myös suurimmat toiminnalliset ongelmat kohdistuvat. Prosessien kehitys ja hallinta vaativat toiminnan johtamisen kannalta merkittäviä päätöksiä ongelmien ratkaisemiseksi [2].

Raaka-aineen jalostus markkinoiden tarpeita vastaavaksi tuotteeksi on tuotannon tärkein tehtävä. Teollisuudessa tuotannon on tavoiteltava korkeaa tuottavuutta, mikä on mahdollista saavuttaa erikoistumisella, tarkalla tehtävänjaolla sekä optimaalisilla valmistusmenetelmillä. Korkea tuottavuus on yrityksen omavalmistuksen kannattavuuden kannalta tärkeää. Huono tuottavuus on huonoa bisnestä. Lean-periaatteiden mukaisesti kaikki kannattamaton ja tuotteen arvoon vaikuttamaton toiminta on hukkaa [3, s. 357-359].

Usean Yrityksen valitsemat kilpailutekijät ja niiden yhdistelmät määrittelevät tuotannolle asetettavat tavoitteet. Yleisesti tuotannolle voidaan asettaa seuraavat kilpailulähtöiset tavoitteet: kustannustehokkuus, laatu, aika ja joustavuus. [3, Teollisuustalous, s. 357.]

Ideaalituotanto tavoittelee mainittujen neljän tavoitteen täydellisyyttä. Tietenkään absoluuttinen täydellisyys ei ole mahdollista, mutta järjestelmät pystytään kehittämään hyvin pitkälle näiden tavoitteiden mukaisesti.

### 4.1 Kustannustehokkuus

Tuotannon kustannustehokkuus on hyvin riippuvainen edullisista materiaaleista, joihin on usein sidottuna enemmän resursseja kuin työ- ja pääomakustannuksiin. Tuotannon täytyy pyrkiä käyttämään resurssinsa tehokkaasti, jotta välttyttäisiin muun muassa hukkatyöltä, eli uudelleen tekemiseltä [3, s. 357].

Kustannuksia voi tulla myös tuotannon ulkopuolelta. Toimitusvarmuuden poikkeamat poikivat usein niin kutsuttuja sakkoja ja näkyvät hyvin negatiivisena imagona.

Lean-ajattelussa syntyy kustannuksia, tai hukkaa, myös turhasta ajankäytöstä. Tuotanto ei ole tuottavaa silloin kun se ei ole toiminnassa, jolloin se maksaa.

## 4.2 Laatu

Asiakkaalle laatu on lopullisen tuotteen virheettömyyttä. Teollisuusmaissa työ on kallista ja siksi on kannattavuuden takia tärkeää ylläpitää korkeaa laatua, jolla on mahdollista kilpailla matalamman kustannusprofiilin maiden kanssa valmistuksessa. Tuotteen hyvään laatuun kuuluvat myös

- tuotteen peruslaatu
  - oikea mitoitus
  - soveltuvan materiaalin valinta
  - toimivuus
  - käytettävyys
  - asianmukainen valmistus
- toteutuslaatu
  - tuote vastaa suunnittelua
  - tuotteet ovat keskenään samanlaisia
- esteettisyys
  - muotoilu
  - viimeistely. [4, s. 39.]

Tuotanto on laadun kannalta ratkaisevassa asemassa ja vaikuttaa suoraan lopputulokseen. Vaikka esteettisyydellä ei olisi mitään merkitystä tuotteen toimintojen kannalta, niin viimeistelyttä jätetty tuote voi kertoa huolimattomuudesta ja vaikuttaa siten laatuun. Tuotannossa voi tapahtua virheitä, jotka saattavat johtua eri tekijöistä. Modulaarisesti suunniteltu tuote vähentää virheiden mahdollisuutta loppukokoonpanon yksinkertaistuksessa. Valmistettava tuote testataan usein virheiden mahdollisuuden vuoksi ennen toimitusta asiakkaalle, mahdollinen testiraportti voidaan vaatia toimituksen yhteydessä laadun ja virheettömyyden varmistamiseksi.

Tuotantojärjestelmän toimivuus ja valmistuksessa käytetyt menetelmät ovat kriittisimmät vaikuttajat tuotannon toteutuksen laatuun. Laadukas tuotanto toimii kerralla oikein periaatteella, jolloin valmistuksen läpimenoajat pienenevät ja tuotanto on nopeampaa. Tuotanto, mihin ei kulu paljon aikaa on edullista ja kannattavaa, eikä siihen tarvitse käyttää ylimääräisiä resursseja.

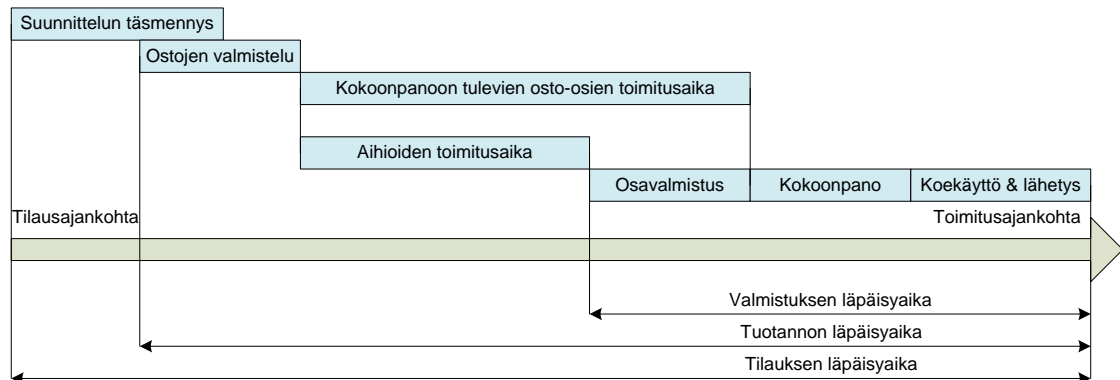
Ihminen ja automaatio osana tuotantoprosessia vaikuttavat molemmat kaksitahoisesti valmistuslaatuun. Automaatiolla voidaan helposti tasata laadun hajontaa tuotannossa, jolloin tuotteista saadaan samanlaisia. Automatisoitu tuotanto on lähes aina ihmistä nopeampi ja siten kustannustehokkaampi, mutta silläkin on rajansa. Automaattisessa tuotantomallissa on otettava huomioon huomattavan suuret investoinnit toimintaa aloitettaessa ja robotiikkaa hankittaessa. On verrattava alkuinvestointeja ja tuotantoerien kooka. Jos erät eivät ole tarpeeksi suuria, automaation tehokkuus ei välttämättä ylitäkään manuaalisen tuotannon edullisuutta ja on lopulta kalliimpaa. Laatu ajatellen automaattilinjaston valmistamat tuotteet eivät välttämättä olekaan niin hyviä kuin hitaamman ihmisen valmistamana. Usein automatisoitu järjestelmä joutuu uhraamaan esimerkiksi hyvän viimeistelytuloksen saavuttaakseen nopeutta ja tehokkuutta. Tuotantorobotit ovat yleensä erikoistuneita hyvin spesifiseen työvaiheeseen ja niitä tarvitaan linjastolle useita, jotta pitkälle vaiheistettu työ on mahdollista ja tuotanto tehokasta.

Ihminen tuotanto-operaattorina on halvempi, tarkkoja menetelmiä vaativat työvaiheet sujuvat ammattilaiselta robotin lailla. Tietysti täytyy olettaa, ettei tapahdu väsymistä, turtumista tai tarkkaamattomuutta, jolloin myös ihmisen valmistamana laatu heikkenee. On kuitenkin sellaisia prosesseja, joissa ihminen on konetta ylivertaisempi. Esimerkiksi erilaisissa säätö- ja ohjaustyötä vaativissa monimutkaisissa toiminnoissa ihmisen työpanos nostaa loppulaatua tarkimpaankin koneistoon verrattuna. [3, s. 371-394; 4, s. 38-40.]

#### 4.3 Käsittelyaika

Suurimmat tuotannolliset paineet ovat prosesseille ennalta asetetut ajalliset vaatimukset. Läpäisy- tai läpimenoaika (engl. lead time, through put time) tarkoittaa sitä aikaa, mikä kuluu tuotantoprosessissa, kun tilauksesta tulee toimitus. Lyhyet toimitusajat edellyttävät lyhyitä läpäisyajoja. Läpäisyajoja lyhentämällä on havaittu, että prosessit tehostuvat,

kustannukset pienenevät ja toiminnan laatu paranee. Lyhyellä läpäisyajalla saavutetaan parempi tuotannon ohjattavuus, sillä siten saadaan pelivaraa tuotannon ajoitukseen.



Kuvio 3. Tilauksen läpivienti. Kuvio antaa karkean näkemyksen siitä, millaiset läpimenoajat mil-läkin operaatiolla on koko toimitusketjussa. [4, s. 54.]

Materiaalien osuus läpäisyajan lyhentämisessä on huomattava. Jos kokoonpanoon tarvittavalla materiaalilla tai moduulilla on pitkä toimitusaika, niin on myös lopullisella tuotteella. Tuotteen konstruktio muutokset ja soluihin perustuva järjestelmä vähentää osavalmistuksen läpäisy aikoja. Myös monitoimiset koneet, jotka etenkin automaattisessa järjestelmässä vähentävät työvaiheiden määrää ja siten läpimenoaika. Pelkkien menetelmien kehittäminen toimii lähinnä vain silloin, kun yksittäisten työvaiheiden kesto on pitkä. Esimerkiksi raskaan rakentamisen suuret koneet sitovat raaka-aineet pitkiksi ajoiksi, mikä näkyy läpäisyajassa. Osakokoonpanojen rinnakkain asettelu ja ohjauksen ja osavalmistuksen häiriöttömäksi kehittäminen ovat keinoja, joilla pystytään vaikuttamaan lopukokoonpanon läpimenoaikoihin.

Asiakasohjautuva tuotanto edellyttää läpimenoaikojen polkemista minimiinsä. Läpimenoajan tulee olla selkeästi vaadittua toimitusaikaa pienempi, jotta valmistus tilauksen perusteella on kannattavaa. Joskus asiakasohjautuva tuotanto on sellaista, missä yksittäinen tilaus on työmäärältään niin suuri, että toimitusaika on lähes sama kuin läpimenoaika. Näin on esimerkiksi laivanrakennuksessa ja muissa urakapohjaisissa projekteissa. Urakat kuitenkin koostuvat useista etapeista ja näiden etappien tai osakokoonpanojen prosessien tehostamisella on mahdollista päästä tehokkaampaan valmistukseen ja lyhyempään läpäisy aikaan.

Tilanne, jossa työmäärältään kohtuullisen pienen tuotteen läpimenoaika ja toimitusaika ovat yhtä suuria, on tehtaan kuormitus täysin riippuvainen myynnistä, pois lukien varasto- ja valmistus. Vastaavanlaisesta tuotannon tilanteesta saadaan hyvä tulos ainoastaan silloin, kun kapasiteetti ja resurssit ovat suhteessa yksi yhteen myynnin kanssa. Tuotanto ei ole joustavaa, eikä siksi pysty palvelemaan muuttuvaa kuormaa. [3, s. 399-491; 4, s. 49-58.]

#### 4.4 Joustavuus

Joustavuus on hyvin elastinen käsite, jonka merkitys on noussut tuotteiden elinkaarien, pienten toimituserien ja asiakasversioiden mukana. Tuotantoprosessin joustavuus tarkoittaa nopeutta ja kustannustehokkuutta, jolla prosessia voidaan muuttaa. Automaattisessa tuotantoprosessissa joustavuus on vielä tärkeämmässä roolissa, sillä automatisointi pyrkii jäykistämään prosessia.

*Kone- ja metallituoteteollisuuden tuotantojärjestelmissä* Lapinleimu on määrittänyt tuotantojärjestelmän joustavuuden lajeiksi

- tuotejoustavuus
  - laaja valmistettavissa oleva osaperhe
  - samankaltaisten osien eri variaatioiden ongelmaton valmistettavuus
- operatiivinen joustavuus
  - pienten erien valmistuskyky
  - lyhyt tuotantosuunnitelman kiinteä osuus
  - hyvä ohjattavuus
  - reservikapasiteetti
- muunneltavuus
  - järjestelmän muunneltavuus tuotteiston muuttuessa
  - portaittainen toteutettavuus. [4, s. 62.]

Tuotejoustavuus osoittautuu sitä suuremmaksi haasteeksi, mitä automatisoidumpi tuotantoprosessi on. Manuaalisesti on helpostikin mahdollista valmistaa eri osia ja variaatioita, mutta automaattisessa järjestelmässä vakioasetuksien asettaminen useille erilaisille tuotevariaatioille on vähintään työlästä, ellei hankalaa. Ihmisen on mahdollista siirtyä heti valmistuneen kokoonpanon jälkeen erilaisen tuotteen tuotantoon. Käytännössä joustavuus ilmenee sinä nopeutena, jolla resurssit saadaan siirrettyä tuotteen tuotannosta erityyppisen tuotteen tuotantoon. Nopeus vaihtelee sen mukaan, kuinka erilaisia linjalla tai työpisteessä valmistettavat tuotteet ovat. Manuaalisessa tuotannossa onkin kannattavaa harmonisoida eri tuotteiden osia, tarkoittaen sitä, että niitä voidaan käyttää monipuolisesti useissa eri tuotteissa.

Operatiivinen joustavuus tarkoittaa tuotannon sopeutumista muuttuvaan volyyymiin. Reservikapasiteetti antaa mahdollisuuden hallita kuormahuippuja, mutta on normaalitilanteessa tuottamaton investointi. Taloudellisesti optimaalinen tilanne on, kun prosessi pyörii maksimissaan, jolloin reserviä ei ole enää käytettävissä. Toisaalta prosessissa, jossa reserviä ei ole enää käytettävissä, ei ole joustavuutta enää alkuunkaan.

Järjestelmän portaittainen toteutus tarkoittaa sitä, että se on rakennettavissa osissa ja helpompi toteutus kuin kertainvestointi. Tämä takaa järjestelmän laajennettavuuden ja myös muunneltavuuden tulevaisuuden niin vaatiessa. [3, s. 357-358; 4, s. 62-63.]

#### 4.5 Tuotannon velvollisuudet

Tuotannon velvollisuudet tai yhteiskunnalliset tavoitteet ovat nimenomaisesti yhteiskunnan ja työyhteisön määrittämiä tavoitteita ja pohjautuvat osittain tai kokonaan velvoitaviin asetuksiin ja lakiin. Niitä jäsennetään seuraavasti

- ympäristöystävällisyys ja -suojelu
- yhteiskunnallinen vastuu
- työympäristö
- työturvallisuus
- tuoteturvallisuus.

Ympäristön suojeleminen on usein moraalikysymys, missä kansalliset ja kansainväliset asetukset ovat paikoin hyvin tiukkoja. Euroopan unioni on esimerkiksi vienyt omat sisäiset velvoitteensa teollisuudelle hyvin pitkälle muun muassa päästörajoituksina. Tämä kuuluu osaltaan myös yrityksen sosiaalisen tai yhteiskunnallisen vastuun piiriin. Toisaalta ympäristöystävällisyys, eli ekologisuus voi olla osa yrityksen positiivista imagoa ja markkinointia, missä sitä voidaan käyttää kilpailuvalttina. Ympäristölle ystävällisiä resursseja käyttävän yrityksen voi olla myös edullisempaa käyttää bioystävällistä esimerkiksi polttoainetta kuin fossiilista tai hajoamatonta polttoainetta.

Sosiaalinen tai yhteiskunnallinen vastuu on eettinen kysymys, mikä tarkoittaa miten yritys kantaa vastuuta omasta toiminnan harjoittamisestaan lain, ay-liikkeiden, sopimusten ja asetusten puitteissa ja kulkee käsitteenä käsi kädessä ympäristön suojelun kanssa. [3, s. 357-358.]

Työympäristö ja -turvallisuus ovat jossain määrin riippuvaisia toisistaan. Työympäristötekijät voidaan jakaa sosiaalisiin, taloudellisiin ja fyysisiin muuttujiin. Työympäristön vaikutus on katsottu olevan voimakkaampaa alemman tasoisissa tehtävissä. Tuotantjärjestelmässä, jossa työturvallisuus on todettu hyväksi ja jossa tapaturmia ja läheltä-piti-tilanteita sattuu vain harvoin pidetään usein myös viihtyisänä, hyvänä työympäristönä. [5.]

Tuotannon ja valmistusprosessin kehittäminen on usein hankalaa ja tavoitteisiin pääsemisestä tai niihin pääsemiseksi joudutaan tekemään kompromisseja.

Tuotannon tavoitteiden toteuttamista vaikeuttaa käytännössä eri tavoitteiden ristiriitaisuus. Esimerkiksi joustavuuden keittäminen voi johtaa kustannusten kohoamiseen tai vastaavasti kustannusten minimointi voi johtaa laatutason heikkenemiseen. Toisena keskeisenä ongelmana on erilaisten tuotteiden ja tuoteryhmien toisistaan poikkeavat vaatimukset. Eri tuotteiden tuotantoperiaatteet ja kilpailutekijät voivat olla hyvinkin erilaiset. Tuotantoa kehitettäessä pyritään löytämään toimintamalleja, joiden avulla eri tavoitteet voidaan toteuttaa optimaalisella tavalla. [3, Teollisuustalous, s. 358.]

Tuotantokonseptin suunnittelussa onkin tähdittävä ideaalituotannon tavoitteiden mahdollisimman hyvään toteutukseen. Samalla on kuitenkin ymmärrettävä, että ristiriitaisuuden vuoksi tavoitteiden saavuttaminen voi olla vaikeaa ja harmonian tavoitteluun on käytettävä resursseja.

## 5 Tehtaan layout ja valmistusvirtaus

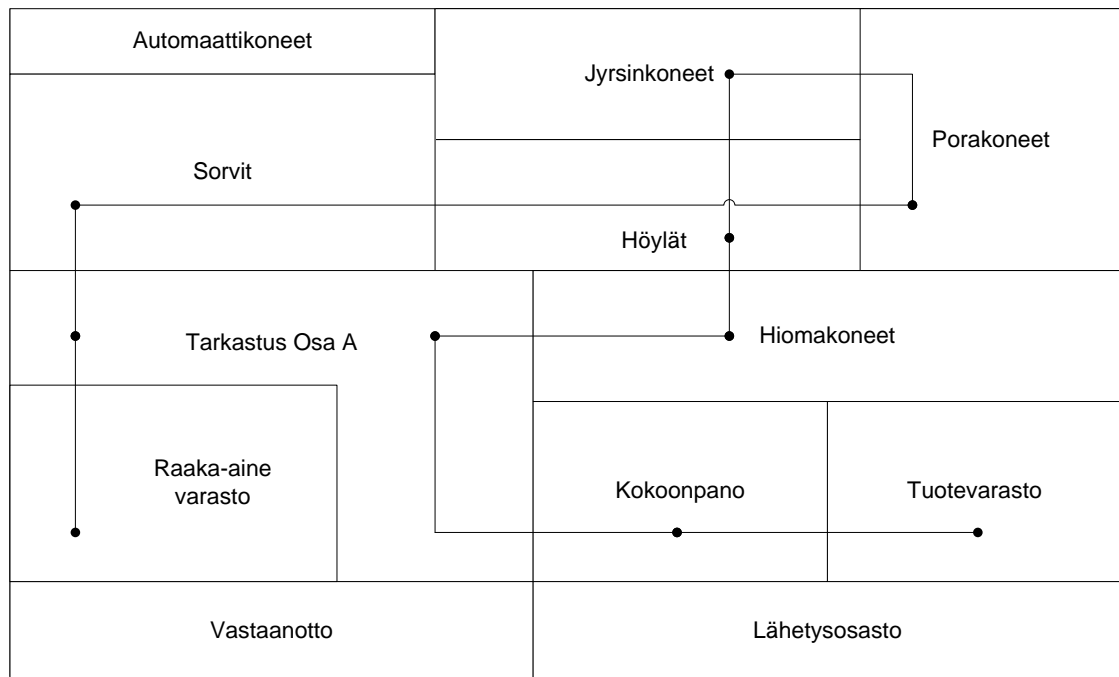
Tehtaat voivat koostua useista erilaisista valmistusyksiköistä. Valmistusyksiköiden välillä on logistisia järjestelmiä ja niiden ympärillä on niitä tukevia tukiyksiköitä. Näistä kolmesta resurssista koostuu tehtaan valmistusjärjestelmä [3, s. 79].

Layoutiksi kutsutaan sitä, miten valmistusjärjestelmän fyysiset osat ovat tehtaassa järjestelty. Valmistusjärjestelmän fyysiset osat tarkoittavat tässä tapauksessa koneita, laitteita, varastoja, puskureita ja kulkureittejä. Yleisesti layoutit voidaan jakaa neljään eri tyyppiin tuotantolaitteiden sijoittelun ja työnkulun perusteella

- funktionaalinen layout
- solulayout
- tuotantolinja -layout
- tuoteverstas -layout. [3, s. 79; 4, s. 475.]

### 5.1 Funktionaalinen layout

Funktionaalisisessa layoutissa tuotteen jalostukseen tarvittavat laitteet, koneet ja työpaikat on optimaalisesti ryhmitelty lähelle toisiaan samankaltaisuuden perusteella. Funktionaalinen layout johtaa siis valmistusyksiköiden nimeämiseen usein yksikön tuotantoteknologian perusteella. Esimerkkinä voidaan mainita hitsaamo, jossa tapahtuu kaikki hitsausta vaativa työ ja maalaamo, jossa tuotteet saavat väriä.



Kuvio 4. Funktionaalinen layout, missä tuotteen jalostukseen tarvittavat laitteistot ja koneet on ryhmitelty teknologioittain osastoihin. [3, s. 477.]

Funktionaalisen layoutin ehdottomana etuna on järjestelmän joustavuus. Koneet ovat yleensä yleiskoneita, joilla voidaan tehdä useita työvaiheita tai tuotteita. Usein funktionaalisisessa layoutissa kapasiteetin käytön tehokkuus on myös huippuluokkaa. Linjamuotoisessa layoutissa tuotteiden siirtelyyn ei välttämättä käytetä ylimääräisiä resursseja, vaan tämän voi hoitaa esimerkiksi hihnakuljetin. Funktionaalisisessa layoutissa kuitenkin tuotteita joudutaan siirtämään joskus pitkiäkin matkoja erilaisissa välivarastoissa. Tuotteet jonottavat työstökoneille, siten niiden käyttöaste on mahdollista saada lähes 100 %:iin. Tuotemäärät ja -tyypit voivat siten vaihdella huomattavasti. Funktionaalinen tuotantolayout kehittää myös ammattitaidon parantumista, kun tietotaitoa keskitetään.

Toisaalta funktionaalisen layoutin tuotannonohjaus hankaloituu sen keskittyessä töiden oikea-aikaiseen siirtelyyn työvaiheiden ja -koneiden välillä. Työpisteiden väliset etäisyydet saattavat olla suuria, jolloin käsittely- ja kuljetuskustannukset kasvavat. Ohjattavia työpisteitä on yleensä useita ja niille syntyy jonoja. Monimutkaisen järjestelmän läpäisyajat muuttuvat epävarmoiksi ja pitenevät. Siten kärsii myös toimitusvarmuus. Läpäisyajoista, käsittely- ja kuljetuskuluista sekä systeemin epävarmuudesta johtuen myös yksikkökustannukset kasvavat. [3, s. 476-477; 4, s.79-80.]

## 5.2 Tuotantolinjalayout

Tuotantolinja-layoutissa tuotteiden työnkulku on aina sama. Kaikki koneet ja laitteet on organisoitu työnkulun mukaiseen järjestykseen, linja on erikoistunut yhden tuoteperheen valmistukseen. Tuotanto on usein automatisoitua ja tehokasta. Linjaston operaattorit ovat ohjelmoituja tai ohjeistettuja suorittamaan vain hyvin tarkasti määritellyn työvaiheen. Silloin myös manuaalinen tuotanto on harjaantumisen ja työn rutinoitumisen vuoksi erittäin tehokasta. Kuitenkaan kaikkien koneiden eikä työpisteiden tarvitse palvella jokaista linjalla valmistettavaa tuotetta, jolloin tuotteet voivat vain läpäistä työvaiheen.

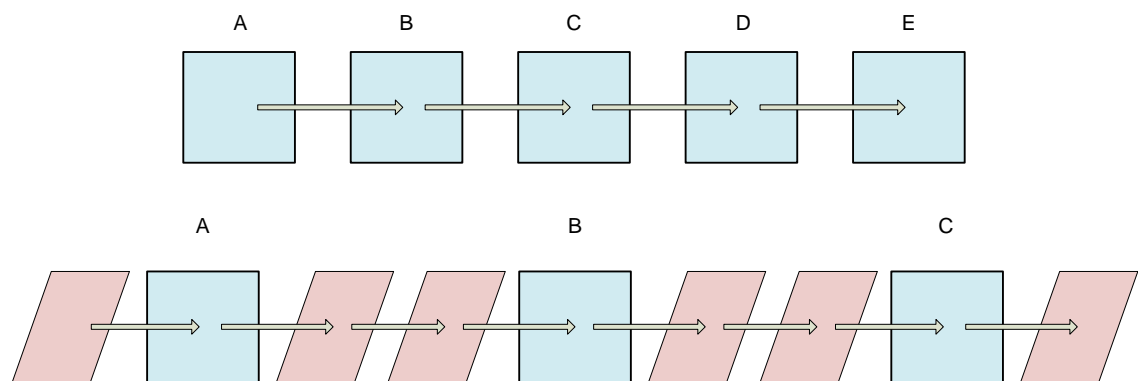
Tuotantolinjan rakentamisen kannattavuus on kuitenkin hyvin riippuvainen volyymistä, kuormituksesta ja valmistettavasta tuotteesta. Ensinnäkin tuotteen tulee olla nopeasti ja helposti valmistettavissa, jotta sitä voidaan tehdä linjalla. Suurien valmistusmäärien vuoksi tuotteiden yksikkökustannukset ovat vähäisiä, mutta linjaston rakentaminen on usein muihin layout-tyyppeihin verrattuna kallista, mahdollisen automatisoinnin tarpeen vuoksi. Linjatyyppinen layout sietää huonosti häiriöitä ja tuottavuuteen vaikuttavat kaikki linjastossa toimivat osat, koneet ja operaattorit.

Tuotantolinjan laadunvalvonta on erittäin tärkeää. Tehokas linjasto voi valmistaa useita tuotteita minuutissa, myös virheellisiä. Sarjat tai eräkoot ovat suuria ja häiriöistä aiheutuvat kustannukset jopa neliöllisesti kasvavia. Tuotantolinjaston tuotannonohjaus on kuitenkin helppoa, sen yksinkertaisuuden ja selkeyden vuoksi. Linjastoa on mahdollista pystyä ohjaamaan yhtenä kokonaisuutena. Suurin ero funktionaalisen layoutin ohjaukseen on juuri systeemin mahdollinen monimutkaisuus. Useiden toisistaan erotettujen tuotantotilojen saaminen toimimaan sujuvasti keskenään on vaikeampaa kuin lineaarisesti valmistavan linjaston. [3, s. 475-476.]

Taulukko 1. Funktionaalisen layoutin ja linjamuotoisen layoutin ominaispiirteitä. [3, s. 477.]

Funktionaalinen layout	Tuotantolinjalayout
suuret yksikkökustannukset	pienet yksikkökustannukset
paljon keskeneräisiä töitä	vähän keskeneräisiä töitä
joustava tuotepolitiikassa	jäykkä tuotepolitiikassa
helppo rakentaa	vaikea rakentaa
pieni häiriöalttius	suuri häiriöalttius
tuotannonohjaus vaikeaa	tuotannonohjaus helppoa
joustava kapasiteetin lisäämisessä	joustamaton kapasiteetin lisäämisessä
kuormitusaste 60-90%	kuormitusaste 80-100%

Lapinleimu [4, s. 81-82] määrittelee linjamuotoiset layoutit tahti- ja epätahtilinjoihin. Suurin ero muotojen välillä on työn jatkuvuus. Tahtilinjajayoutin työpisteiden välillä ei ole puskureita, vaan työt siirretään yhdenaikaisesti tai viimeisestä työvaiheesta alkaen seuraavaan työvaiheeseen. Epätahtilinja on joustavampi, sillä siinä sallitaan puskurivarastot työasemien ja -vaiheiden välillä.



Kuvio 5. Tahtilinjassa (yllä) työt siirretään yhdenaikaisesti seuraavaan työvaiheeseen, kun epätahtilinjassa (alla) työvaiheiden välillä on puskurivarastoja. [4, s. 81, 83.]

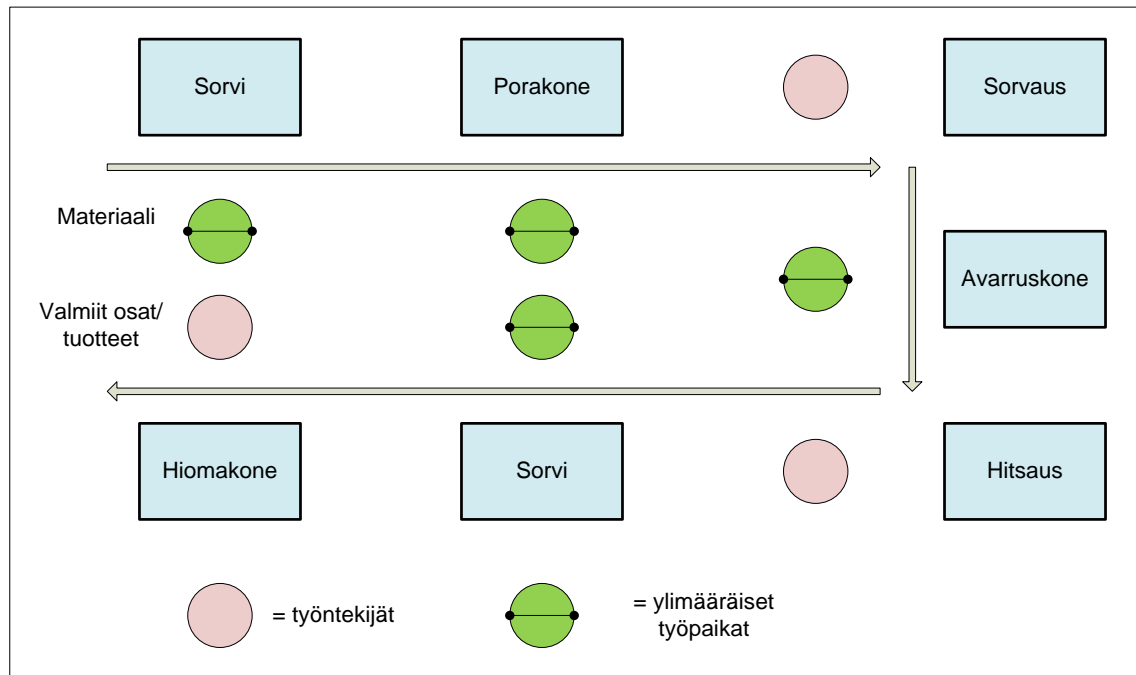
### 5.3 Solulayout

Uusi-Rauva et al. [3, s. 477] kiteyttävät solulayoutin itsenäisesti toimivaksi eri laitteistoista, työpisteistä ja operaattoreista koostuvaksi tiimiksi, missä ollaan erikoistuttu hyvin samankaltaisiin määrättyihin tuotteisiin ja valmistuksen toimintoihin. Solun itsenäisyydellä tarkoitetaan sitä, että sillä on oma johto. Näin ei kuitenkaan tarvitse olla, vaan useat

solut voivat esimerkiksi jakaa saman johdon ja/tai tuotannonohjauksen. Lapinleimu [4, s. 79, 85] määrittää solulayoutin kaikkein selkeimmäksi valmistusyksiköksi sen fuusioi-  
dessa eri työvaiheet yhdeksi kokonaisuudeksi.

Solulayout on kompromissi tuotantolinjan ja funktionaalisen layoutin väliltä. Toteutus muistuttaa enemmän linjastoa tuotantolaitteiston järjestelyn vuoksi, kun tuoteperheen valmistukseen tarvittavat koneet ja laitteet on organisoitu työnkulun mukaisesti. Uusi-Rauvan et al. mukaan solulayoutin tuotannossa ei esiinny välivarastoja, mutta esimerkiksi NHE:ssä on tuotannon ja testauksen välillä puskureita, vaikka ne kuuluvat samoihin soluihin. Puskurit ovat vastaavassa tuotannossa välttämättömiä, eri vaiheiden epätahti-  
suuden vuoksi [3, s. 477-478; 4, s. 83, 85-87].

Solulayout erottuu linjasta ja funktionaalisesta mallista ollessaan selkeästi joustavampi kuin kumpikaan aiemmin mainituista. Solun joustavuus muodostuu osittain sen helpom-  
masta ohjattavuudesta kuin funktionaalisessa systeemissä. Joustavuuteen vaikuttaa myös solun linjamaisuus, minkä vuoksi solussa on selkeä materiaalivirtaus ja siinä on mahdollista saavuttaa paremmat läpäisyajat kuin funktionaalisessa layoutissa. Tämä johtaa siihen, että solu on siis funktionaalista layout-mallia tehokkaampi. Solulayout sie-  
tää myös paremmin kuormituksen vaihteluja ja tuotemuutoksia, kuin tuotantolinjalayout.  
[3, s. 477-478; 4, s. 85-87.]



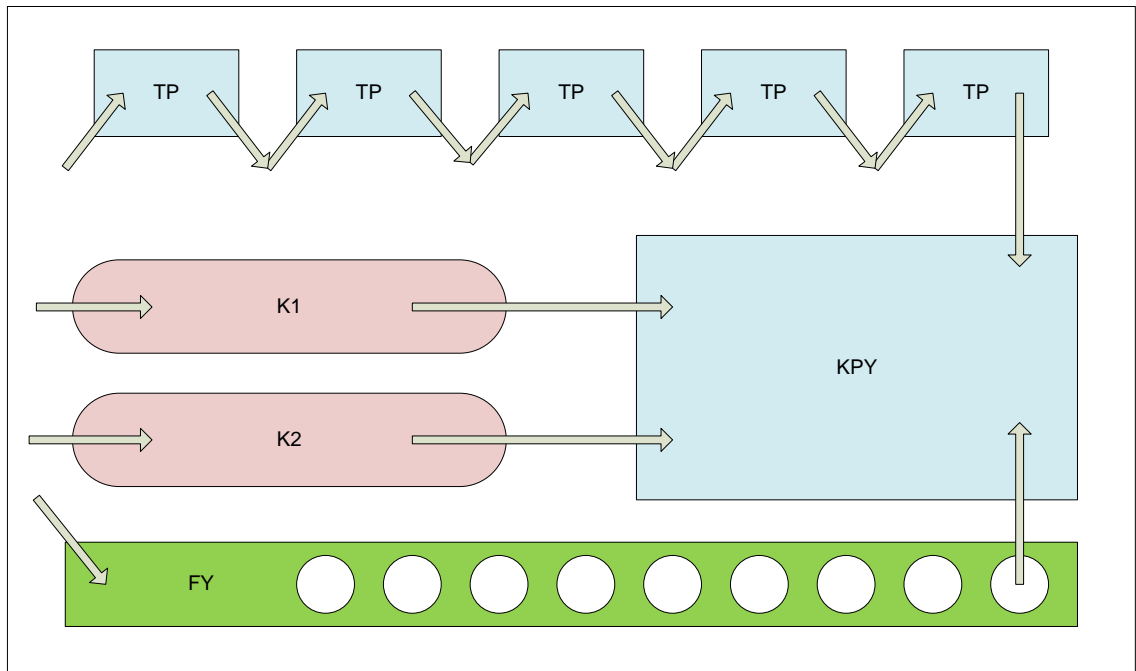
Kuvio 6. Solulayout-esimerkki, jossa työpisteitä on selvästi työntekijöitä enemmän, millä saavutetaan joustavuutta kuormituksen ja resurssien suhteen. [3, s. 478.]

Solulayout antaa pelivaraa kapasiteetin ja resurssien suhteen. Tuotteita on mahdollista valmistaa vaihtelevan kokoisissa erissä tai jopa yksittäiskappaleina. Solulayoutissa on tarpeellista pyrkiä useampiin työasemiin kuin mitä solussa on työntekijöitä. Solussa voidaan siten sisäisesti ohjata operaattoreita eri vaiheiden ja työpisteiden välillä. Työntekijät voivat itse vaikuttaa työnjakoon ja työtehtäviin solun sisällä ja sillä on todettu olevan tuotavuutta ja operaattoreiden motivaatiota nostattavia vaikutuksia. [3, s. 478.]

#### 5.4 Tuotetehtaat ja -verstaat

Lapinleimu [4, s. 96] määrittää tuotetehtaat solun kaltaisiksi itsenäisiksi pienehköiksi valmistusyksiköiksi vain hiukan suuremmassa mittakaavassa. Lapinleimun mukaan tuotetehtaat eivät keskity enää puhtaasti valmistukseen, vaan niillä voi olla muitakin toimintoja. Termien hierarkia on jäsennetty järjestyksessä suurimmasta pienimpään: yhtymä, tehdas, tuotetehdas tai -verstaas, solu tai linja ja viimeisenä työpiste, -paikka tai -kone [4, s. 98].

Uusi-Rauva et al. [3, s. 479] käsittelevät tuotetehdasta organisaation osana, missä sillä on omat vastualueensa ja tuotteensa. Tuotetehdasta johdetaan yleensä paikallisesti ja sillä on siis muitakin toimintoja kuin puhtaasti valmistus tai osavalmistus. Usein tuotetehtas vastaa myös tuote- ja materiaalisuunnittelusta omissa tuotteissaan. Tuotetehtas erikoistuu omaan alueeseensa ja sen on mahdollista tehdä selvät vastuulaskelmat omasta toiminnastaan, koko organisaation johdolle.



Kuvio 7. Esimerkki tuotetehtaasta tai -verstaasta. TP:t ovat työpisteitä, jotka toimivat epätahtilinjan omaisesti. K1 ja K2 ovat komponenttisoluja, joissa valmistetaan moduleita, FY on funktionaalisesti toimiva erilaisten osien valmistusyksikkö ja KPY on kokoonpanoyksikkö, jossa tapahtuu tuotteen loppukokoonpano.

Samalla Lapinleimu [4, s. 98] on tarkentanut, että tuotetehtaat ja -verstaat ovat monipuolisia tuotantolaitoksia, jotka voivat pitää sisällään soluja ja tuotantolinjoja. Niin ei ole kuitenkaan välttämätöntä, sillä tuotetehtas voi olla esimerkiksi yksi solu, linja tai funktionaalinen fuusio. Termit eivät niinkään sulje toisiaan pois, vaan saattavat sisältyä toisiinsa. Kokonaisuudeksi tehtaan kuitenkin yhdistää yhteinen materiaalivirta.

## 6 Prosessiajan arviointi

### 6.1 Methods-Time Measurement

MTM-tutkimus on työhön käytettävää aikaa mittaava tekniikka, jota käytetään yleisesti teollisuudessa minkä tahansa manuaalisen operaation tai tehtävän analysointiin. MTM-menetelmässä hyödynnetään ennalta määriteltäviä aikoja eri toiminnoille. Nämä ajat on saatu lukuisten taustatutkimusten ja mittausten keskiarvojen perusteella. Esimerkiksi kauanko keskivertoihminen käyttää aikaa yhden ruuvin käteensä ottamiseen, paikalleen asettamiseen ja kiinni vääntämiseen. Tutkimuksen tuloksena saadaan koodi, jonka mukaan voidaan asettaa standardiaika, minkä puitteissa operaattorin pitäisi pystyä suorittamaan operaatiosta tai tehtävästä. Standardiaikaan ei yleensä sisällytetä operaattorin virheitä tai ylimääräisiä häiriöitä. Tutkimus ottaa kantaa mm. siihen, onko käytettävä komponentti pieni ja otetaanko se läheltä operaattorin ulottuvilta vai onko komponentti suuri ja joutuuko operaattori hakemaan sen kauempaa. Ks. liitteet 1 ja 2. [7.]

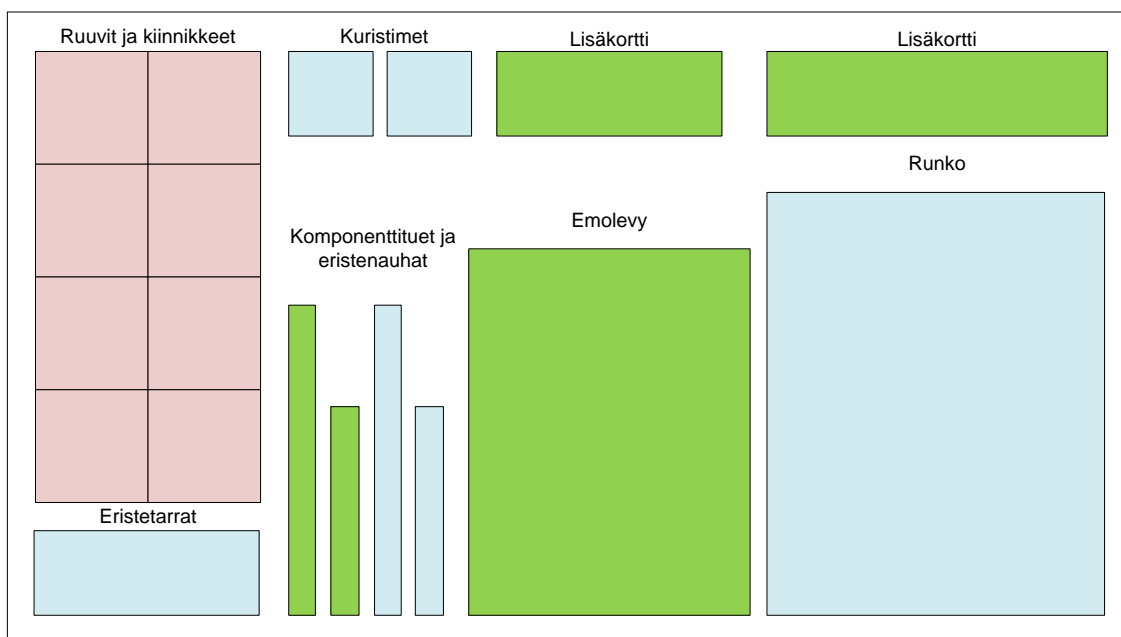
Tutkimuksella on myös mahdollista verrata ideaalista operaatioon käytettyä aikaa ja todellista tehtävässä käytettyä aikaa. Tällöin voidaan verrata manuaalista tuotantoa koneeseen tai tuotantoautomaatioon valmistuksen operaattorina. Tutkimustuloksista saadaan myös dataa, mitä hyödyntäen voidaan arvioida voidaanko tuotantoa parantaa tai juoksuttaa esimerkiksi työasemaa tai layoutia muuttamalla.

Insinööriyössä käsiteltävän tuotteen MTM-tutkimuksessa saadusta koodista on nähtävissä, että ideaalisessa tapauksessa, jossa kokoonpanovirheitä ei tule, on tuote mahdollista kasata noin kahdeksassa minuutissa. Tästä kahdeksasta minuutista on mahdollista saada vielä lyhempi optimoimalla käytettävä kalusto, optimoimalla layout ja/tai työpiste ja tekemällä muutamia design-muutoksia tuotteeseen. Kokoonpanokalusto tulisi tällöin koostumaan muutamasta laitteesta, jotka automatisoivat tuotantoa ja ruuvinsyöttölaitteella varustetusta kevennetystä ruuvinvääntimestä. Tuotteen design-muutokset eivät kuulu insinööriyön aiheen piiriin. Tuotteen alkuperäinen MTM-koodi on liitteenä 1.

## 6.2 Testikokoonpano

Prosessiajan arviointi -tutkimus tehtiin testikokoonpanon videoinnin perusteella. Tuotetta kokoonpantiin yhteensä neljä kertaa, joista kaksi videoitiin. Kokoonpano suoritettiin useampaan kertaan, jotta tulokset olisivat lähempänä todellisuutta, eli harjaantuneen operaattorin kokoonpanoa.

Testikokoonpanoa varten oli varattu pieni tila ja työpöytiä, jossa kokoonpanon kuvaus oli mahdollista suorittaa. Tutkimusta varten oli varattu tuotteen sen hetkinen prototyyppi, mikä ei täysin vastaa tuotantoon tulevaa laitetta. Tämä hankaloitti tutkimusta hiukan, sillä prototyypin kaikki osat eivät olleet yhteensopivia keskenään, kuuluessaan tuotteen eri revisioihin. Tuote oli aluksi valmiiksi kokoonpantu, joten ensimmäiseksi laite piti purkaa takaisin osiin. Purkamisesta oli hyötyä, sillä siten saatiin tuntuma laitteen eri osiin ja komponentteihin ja ne voitiin järjestellä työpisteelle järkevästi.



Kuvio 8. Testikokoonpanossa käytetty työpistesimulaatio. Simulaatiosta puuttuu prototyypin rungon kansi ja kannen osat. Tilanpuutteesta johtuen kaikki komponentit eivät mahtuneet samalle työpöydälle.

Työpistesimulaatiossa pyrittiin järjestämään komponentit ja materiaalit työvaiheiden mukaisesti siten, että jokaisen työvaiheen jälkeen seuraavaan työvaiheeseen tarvittavat osat ja komponentit olivat esteettömästi saatavilla ilman turhia liikkeitä. Kaikki materiaalit

sijoitettiin lähelle, jotta niiden käyttöön ottamisesta ei aiheutuisi hukkaa. Työaseman simuloinnissa yritettiin päästä mahdollisimman lähelle tulevaa oikean tuotannon työpistettä.

Simuloidulla työpisteellä näkyvillä eristetarroilla tai -teipeillä on kaksi tarkoitusta: ne ovat sähköisesti eristäviä, mutta termisesti johtavia. Designin tässä vaiheessa oli kuitenkin vielä epäselvää, tullaanko lopullisen tuotteen kanssa käyttämään teippejä ja tarroja vai voidaanko ne korvata vähintään yhtä hyvin ellei paremmin suoriutuvalla tahnamaisella pastalla. Testikokoonpano suoritettiin kuitenkin silloin käytössä olleilla eristeteipeillä ja -tarroilla.

### 6.3 Arvioinnin tulokset

Testikokoonpanossa valmiin tuotteen manuaalisen kokoonpanon kokoonpanoajaksi saatiin parhaimmillaan 18,7 minuuttia. Luvun 6.1 mukaisesti tutkimuksen koodi kertoo niin sanotun ihanneajan, missä tuote olisi mahdollista kokoonpanna ilman minkäänlaisia viiveitä, virheitä tai häiriöitä, saatiin laitteen kokoonpanoajaksi 8,6 minuuttia. Tuloksien erotus on 10,1 minuuttia, mikä on yli puolet koko kokoonpanoajasta. Kokoonpanoajan koodin tarkastelussa tulee ottaa myös huomioon, että koodissa on käytetty ruuvimeisseliä. Lopullisella linjalla tullaan käyttämään kevennettyä väännintä tämän hukan poistamiseksi.

Testikokoonpanoa ajatellen täytyy huomioida, että operaattori oli ensikertalainen tuotteen kokoonpanijana ja verrattavissa työtehtäviin perehdyttävään henkilöön. Testikokoonpanossa käytettiin ruuvimeisseliä, toisin kuin koodia tehdessä. Eristeteipit ovat vähintäänkin hankalia asettaa paikoilleen, sillä teipin toinen puoli on tarttuva, teippien kohdistus tarkkaa ja ne tuli asettaa ahtaisiin paikkoihin. Eristetarrat puolestaan ovat hyvin elastisia, toiselta puolelta tarttuvia ja repeävät helposti. Lisäksi tuotteen kansi ei ollut täysin yhteensopiva rungon kanssa kuuluessaan aiempaan revisioon tuotteesta.

Testikokoonpanojen ja prosessiaikatutkimuksen jälkeen pidettiin tuotteen valmistettavuutta käsittelevä kokous, jossa olivat osallisena kaikki Koneen ne tahot, jotka ovat tai ovat olleet mukana tuotteen kehittämisessä. Palaverin tarkoituksena oli koota ja ratkaista tuotteen sen hetkistä prototyyppiä arvioiden kaikki sellaiset ongelmat, jotka nähtiin val-

mistettävyyden kannalta huonoina ominaisuuksina. Tarkasteltaviksi näkökulmiksi lukeutuivat esimerkiksi kokoonpantavuus, testattavuus, asennettavuus ja huollettavuus. Testikokoonpanosta tehtiin insinööriyön ohella lista havaituista valmistettavuusongelmista, joita pyrittiin ratkaisemaan kokouksessa.

## 7 Tuotannon Layoutin suunnittelu

Luvussa esitellään eri ehdotuksia tehoelektronikkatuotteen layoutista ja tuotannon ratkaisusta lukujen 4 ja 6 teorian mukaisesti ja arvioidaan, mikä ehdotuksista olisi paras tuotantomuoto juuri tälle tuotteelle.

Erilaisista layout-vaihtoehtoista jätetään kuitenkin funktionaalinen malli esittelemättä. Käsiteltävän tuotteen tuotantovolyymi tulee olemaan suuri, eikä funktionaalinen layout tulisi pysymään tuotannon tarpeen tahdissa mukana, luvussa 5.1 esiteltujen prosessiaikaa syövien ominaisuuksiensa vuoksi. Lisäksi työssä käsiteltävän tuotteen tuotanto on loppukokoonpanoa, eikä työvaiheisiin enää kuulu funktionaaliseen systeemiin ominaisia, hyvin erilaisia valmistusmenetelmiä, kuten esimerkiksi valaminen, maalaus ja hitsaus.

Koska käsiteltävän tehoelektronikkatuotteen tuotannon koko implementointiprojekti ei ole vielä siellä, missä alkuperäisen aikataulun mukaan sen piti tai haluttiin olevan, on tässä insinööriyössä mahdollista tehdä vain layout -ehdotukset aiemmin esiteltujen mallien mukaisesti. Lopullista layoutia ei siten voida insinööriyön pohjalta tilata suoraan valmistajalta. Tehoelektronikkatuotteen lopullisen layoutin valitsemisessa ja tuotannon suunnittelussa voidaan käyttää tätä opinnäytetyötä ohjaavana alustana.

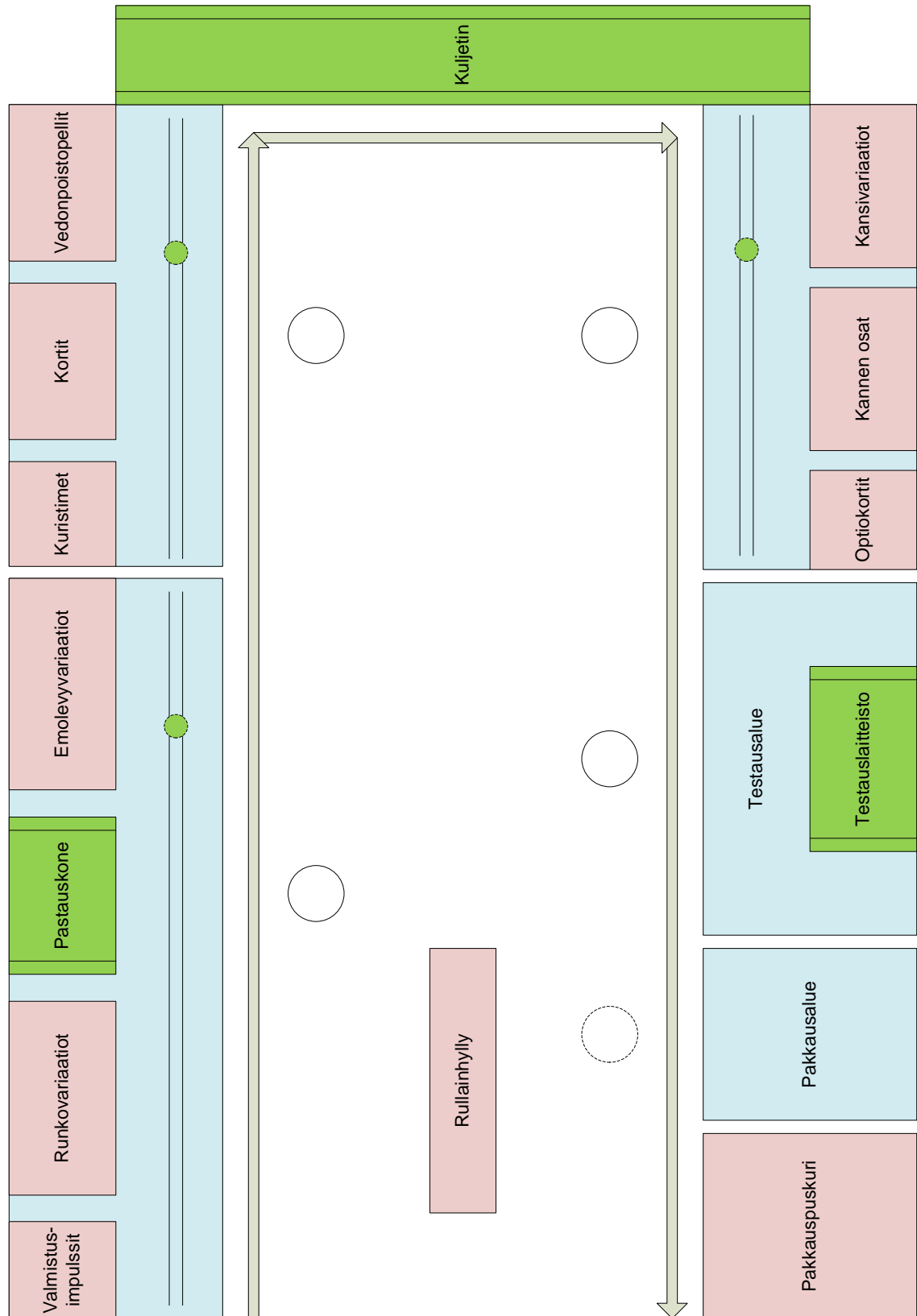
### 7.1 Tahtilinjalayout -ehdotus

Tahtilinjan haasteena on jatkuvan pysäytyksettömän materiaalivirran ylläpitäminen ja luvussa 5.2 esiteltujen häiriöitä aiheuttavien tekijöiden vaikutuksen ennalta eliminoiminen. Hankalinta on työvaiheiden ajoitus; järjestyksessä viimeisen työvaiheen täytyy olla nopeammin tai vähintään yhtä nopeasti suoritettavissa, kuin sitä edeltävä työvaihe. Tuotteen MTM-dataa hyväksikäyttäen voidaan työvaiheet jakaa karkeasti neljään osaan:

- Tuotevariaation valinta, eristyspastan tai -nauhojen ja -teippien asettelu sekä emolevyn asennus.

- Kuristimien, korttien ja vedonpoistopellin asennus.
- Kannen ja kosketussuojien installaatio.
- Loppukokoonpanon testaus.

Jaetut työvaiheet ovat lähes yhtä pitkiä, mutta kuitenkin toinen toistaan lyhempiä siten, että jälkimmäinen on edellistä lyhempi. Tuotteen testauksesta ei ollut olemassa vielä varmaa dataa; testauslaitteistoa tai testeriä ei oltu vielä rakennettu. Testaustapahtuman ajallisesta kestosta on siis madotonta tehdä johtopäätöksiä. Testausaika vaikuttaa tuotantolinjan suunnitteluun testauspaikan puskurin tarpeena tai tarpeettomuutena. Eri mahdollisuudet on otettu huomioon siten, että tahtilinja-ehdotuksessa on oletettu testauksen olevan nopea prosessi, joten siihen ei tarvita puskuria. Toisaalta epätahtilinja-ehdotuksessa on testausajan oletettu olevan pitempi, kuin kokoonpanoaika, jolloin tarvittaisiin puskuria. Testereiden lisääminen on myös harkittava vaihtoehto, mutta siitä aiheutuisi kertaluontoisia, mutta huomattavia lisäkustannuksia.



Kuvio 9. Tahtilinjalayout -ehdotus tehoelektronikkatuotteelle. Kuvion ympyrät kuvaavat operaattoreita, siniset alueet ovat työpisteitä, punaiset alueet käsittävät materiaalivarastot ja vihreät alueet ovat koneita tai laitteita. Kuvion nuolet osoittavat materiaalivirran suunnan.

Layoutissa on pastauskone-elementti. Käyttötarkoitusta varten valmistettua pastaa käytetään sähköisesti eristävänä, mutta termisesti johtavana materiaalina yleisesti elektroniikassa. Tahnamaisen olomuotonsa vuoksi sen manuaalisesta pursotuksesta on mahdollista aiheutua varioituvuutta, mikä ehdottomasti ei ole vakiotuotteen kanssa toivottua. Lisäksi joukkoon saattaa lipsahtaa ”susia”, missä pastaa on esimerkiksi liian ohuelti, jolloin se voi lakata eristämästä. Näistä syistä tahtilinjalla olisi erittäin tärkeää, että pastaus saataisiin automatisoitua. Luvussa 7.2 on pasta ja pastauskone perustellusti korvattu manuaalisesti asetettavilla teipeillä ja tarroilla.

Tahtilinja olisi luvussa 2 esitellyn Lean-ajattelun mukaan kaikista sopivin vaihtoehto; linjalla ei ole puskureita kokoonpanon eri vaiheiden välillä lainkaan. Keskeytyksetön tuotanto on yksi Leanin perusajatuksista ja oikein toteutettuna, eli toimivana tekee tuotannosta erittäin tehokasta.

Ehdotettu tahtilinjamalli ei ole tuotantomuodoltaan puhtaasti vain yhtä muotoa, vaan fuusio useampaa, luvussa 3.3 esitettyä tuotantomuotoa. Tuotanto on:

- Vakiotuotantoa, sillä tuotteen rakenne on samankaltainen, eikä asiakas pysty vaikuttamaan tuotteeseen, muuten kuin ennalta suunniteltujen optioiden muodossa.
- Varasto-ohjautuvaa tuotantoa, sillä tuotteesta on päätetty tehdä puhtaasti varaosa, mitä pitää olla huoltoyksiköillä nopeasti saatavilla.
- Sarja- ja yhtenäistuotannon välimaastoa, sillä vaikka tuotetta valmistetaan linjastossa, mikä on juuri tuotetta varta vasten suunniteltu, on tuotteesta eri malleja, joita olisi tarkoitus pystyä valmistamaan samalla linjastolla.

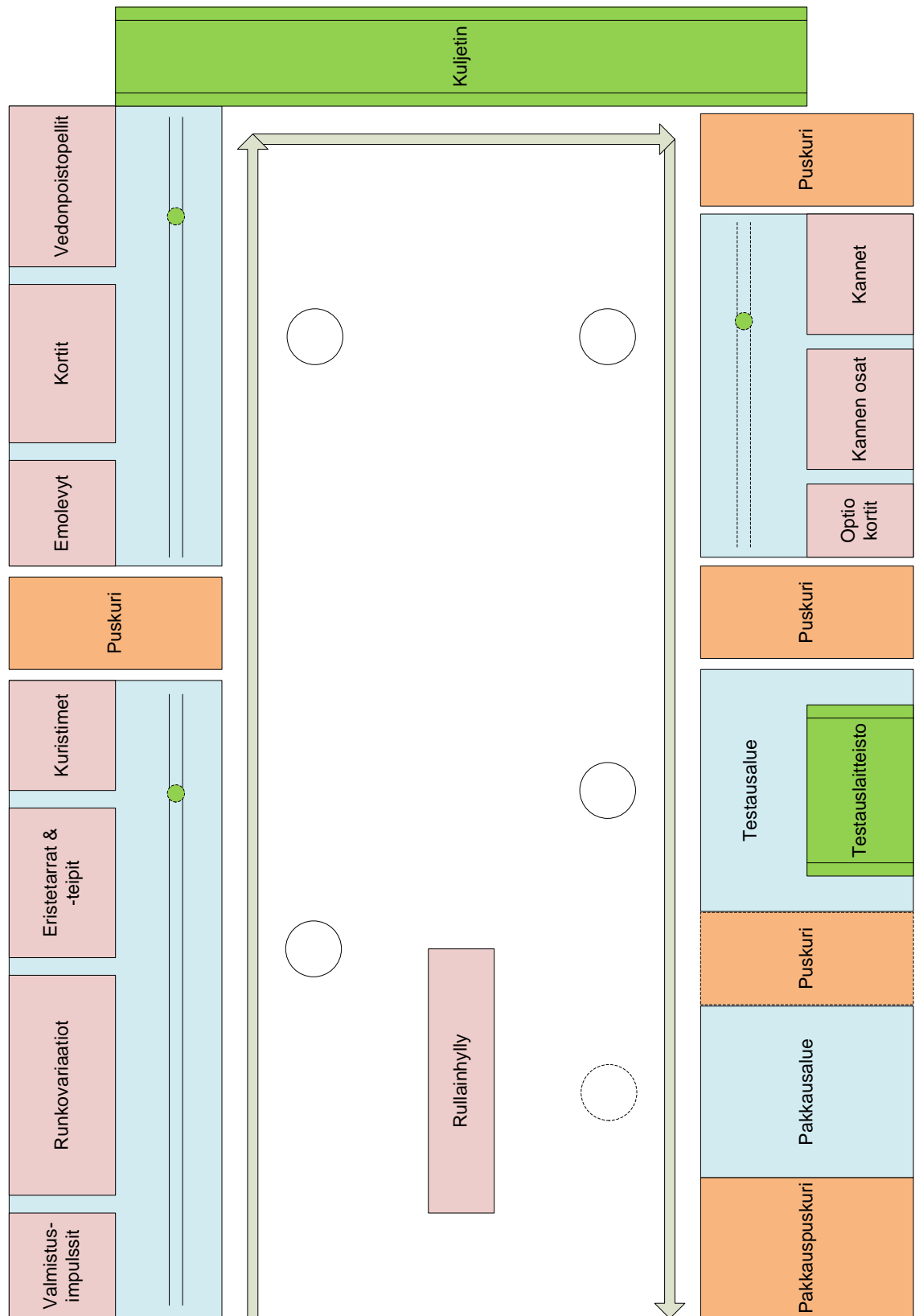
Tahtilinjän suurin etu muihin ehdotuksiin nähden olisi sen nopea valmistussykli, jossa minkä suuruinen sarja tahansa valmistuu muihin ehdotuksiin nähden yliveraisen nopeasti. Toisaalta, luvun 1.2 mukaisesti, se sietää huonosti häiriöitä. Häiriöalttius on linjan merkittävin miinus ja linjastossa voidaan havaita sellaisia toimintoja, joiden jumiutuessa koko linjan tuottavuus kärsii. Esimerkiksi automaattisen pastauskoneen jumiutumisella tai testauslaitteiston rikkoontumisella olisi suurimmat vaikutukset koko linjaston pysähtyessä.

## 7.2 Epätahtilinjalayout -ehdotus

Epätahtilinja on lähes täysin samanlainen, kuin tahtilinja. Siinä on kuitenkin selviä eroja, joista merkittävimpana sallitaan puskurit eri työvaiheiden välillä, joihin voidaan sijoittaa osavalmisteet väliaikaista säilytystä varten ennen seuraavaa työvaihetta. Epätahtilinja ottaa myös askeleen kohti funktionaalisuutta, sillä samankaltaiset osat/työvaiheet pyritään tekemään samassa työpisteessä. Ehdotuksessa on siis järjestelty komponentteja samankaltaisuuden perusteella ja ero tahtilinja-mallinnukseen on huomattavissa ensimmäisen ja toisen työpisteen välillä.

Epätahtilinja tuo joustavuutta tahtilinjaan nähden. Operaattoreiden ei esimerkiksi ole enää välttämätöntä työskennellä samanaikaisesti ja työaika voi olla liukuva. Työvaiheita ei enää välttämättä ole ajallisesti yhtä pitkiä, jolloin lyhemmän ja pidemmän työvaiheen välillä tarvitaan puskuria. Jos aiempi työvaihe on seuraavaa lyhempi, tarvitaan todennäköisesti pitkäkestoisempaan työvaiheeseen enemmän resursseja, eli useampia operaattoreita ja mahdollisesti myös työpisteitä.

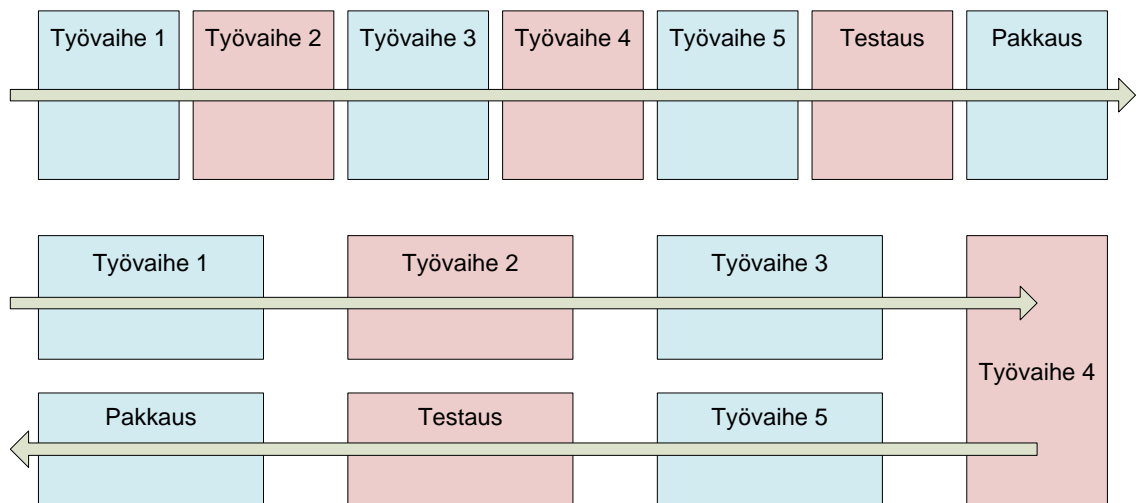
Epätahtilinja on tuotantomuodoltaan lähes täysin vastaava, kuin tahtilinja. Tahtilinjasta poiketen epätahtilinjan tuotanto voi olla sarja- tai yksittäistuotantoa. Linjalla on mahdollista valmistaa tuotetta sarjoina, mutta puskurien välttämättömyyden vuoksi yhtenäistuotanto ei ole mahdollista kokoonpanon keskeytyessä työvaiheiden välillä. Toisaalta keskeytykset mahdollistavat yksittäistuotannon.



Kuvio 10. Epätahtilinjayout-ehdotus. Kuviossa tyhjä ympyrä kuvaavat operaattoreita, siniset alueet ovat työpisteitä, punaiset alueet käsittävät materiaalivarastot, vihreät alueet ovat koneita tai laitteita ja oranssit alueet ovat puskureita. Kuvion nuolet osoittavat materiaalivirran suunnan.

Epätahtilinjastosta on myös poistettu pastauskone, sillä tuotteen designin tässä vaiheessa ei ole varmaa, käytetäänkö lämpöä johtavana ja sähköisesti eristävänä materiaalina pastaa vai teippiä ja tarroja, mitkä ovat siis tätä käyttötarkoitusta varten valmistettuja. Lisäksi pastan huonona puolena on sen rajallinen käyttö. Pasta ei saa olla ”käyttämättä” ilman kanssa kosketuksissa kovin pitkiä aikoja, ei edes puolta työpäivää, sillä se kovettuu. Tämä asettaa pastan käytölle epätahtisessa layoutissa rajoja. Tuote, mihin on puristettu pastaa on saatava seuraavan työvaiheen läpi riittävän ripeästi, jotta välttyään turhilta ”susilta”.

Ehdotetut linjatyyppiset Layoutit ovat molemmat ”The Toyota Way”-muodossa, eli U-muodossa. Linjaston yhdistävänä osana on mallinnettu kuljetinta, mikä voisi toimia esimerkiksi koneellisesti tai vain painovoiman avulla. Kuljetin tekee linjasta hieman kompaktimman, eli vähemmän tila-ahneen. Yhtä hyvin kuljetin voi kuitenkin korvata työpisteellä. Näin ei kuitenkaan tarvitse olla, vaan linjat voisivat ihan yhtä hyvin olla suorassa I-muodossa.



Kuvio 11. Suora I-muoto ja Toytoan U-muoto. Työvaiheet eivät ole muotojen välillä mittakaavassa. Nuolet osoittavat materiaalivirran suunnan.

U-muodolla on kuitenkin etuja suoraan malliin nähden, mitkä aiheutuvat juuri linjan työpisteiden sijoittelusta. Työntekijät ovat lähempänä toisiaan ja pystyvät siten kommunikoidaan paremmin keskenään. Tämä edistää esimerkiksi palautteen antamista ja parantaa työilmapiiriä. Verrattuna suoraan malliin U-muoto saattaa viedä enemmän tilaa, varsinkin jos on tarvetta jonkinlaisille työvaihekohtaisille materiaalivarastoille. Tuotantotiloja on kuitenkin erilaisia ja johonkin tehdashalliin mahtuu U-mallinen tuotantolinja paljon paremmin, kuin I-linja.

Molemmissa linjatyypin layout-ehdotuksissa on mallinnettu työpisteisiin kevennetyt kiskoilta riippuvat ruuvinvääntimet. Kevennetyt vääntimet vaikuttavat työvaiheen ajalliseen kestoon positiivisesti sitä lyhentäen. Vääntimistä saadaan paras hyöty silloin, jos tuotteen kaikki, yhdessä kokoonpanovaiheessa väännettävät ruuvit saadaan harmonisoitua, eli niillä kaikilla on sama kanta. Silloin kärkeä ei jouduta vaihtamaan työvaiheen aikana ja säästetään läpäisyajassa. Vääntimistä aiheutuu kuitenkin hankaluuksia ja kustannuksia. Ne jäykistävät linjastoa ja vaativat huoltotoimia. Rikkoontuneen tai vioittuneen vääntimen korvaaminen on hankalampaa, kuin esimerkiksi akkukäyttöisen ruuvinvääntimen.

### 7.3 Solulayout -ehdotus

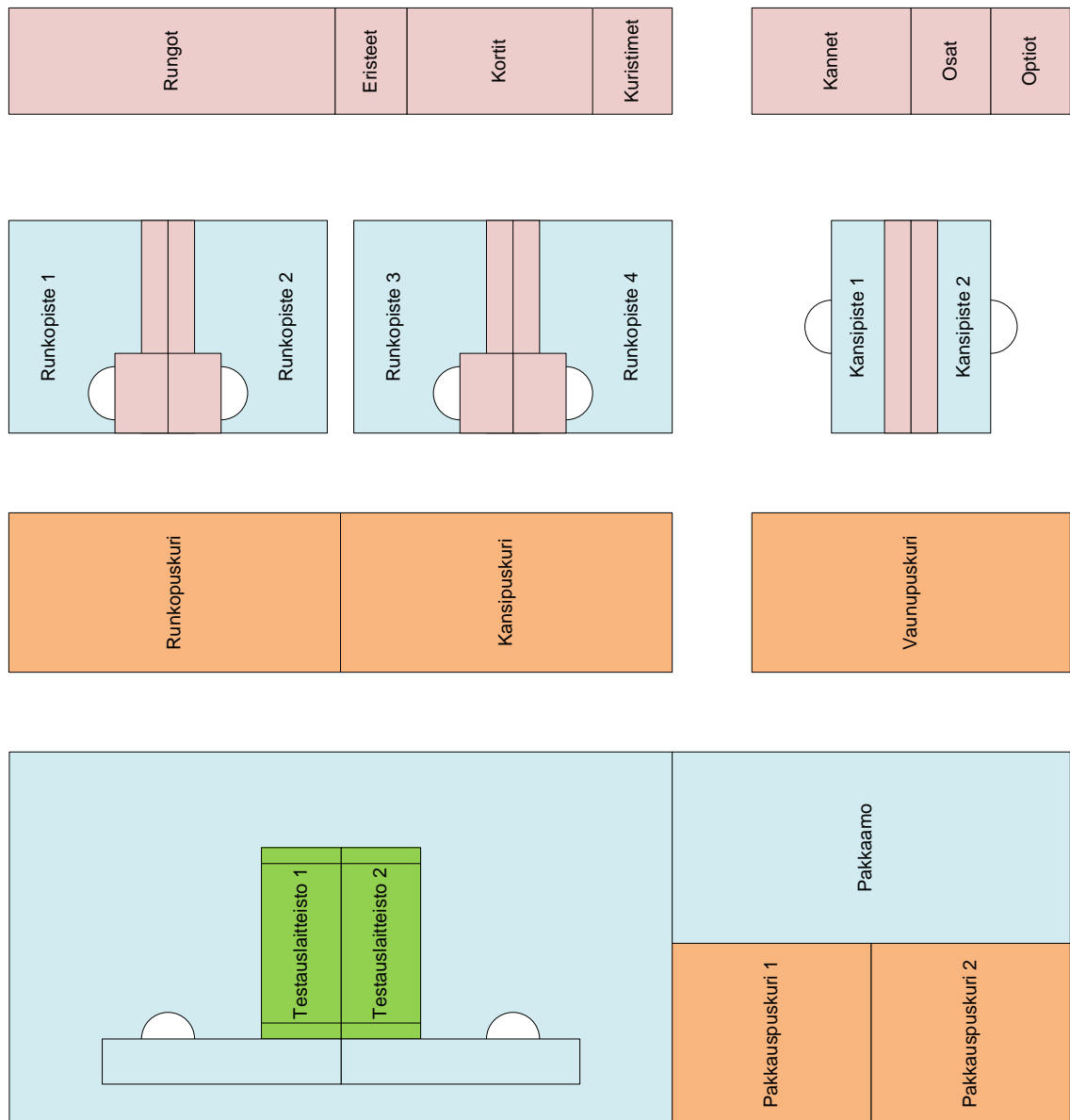
Layout-suunnittelussa lähtökohtana oli koota samankaltaiset työvaiheet yhteen kokoonpanopisteeseen ja siten tultiin tulokseen, jossa kokoonpano jaettiin kahtia. Ensimmäiseen osaan koottiin TET:in rungon osakokoonpano. Toinen osa pitää sisällään TET:in kannen osakokoonpanon.

Tuotteen MTM-koodia tarkastelemalla voidaan havaita, että jaetut osakokoonpanovaiheet eivät ole keskenään yhtä pitkiä ajallisesti, josta johtuen tarvitaan puskuuri ennen testausta. Epätahtisuutta voidaan myös kompensoida käyttämällä kansien kokoonpanossa vähemmän operaattoreita, mitä on yritetty kuvastaa layout-ehdotuksessa. Testausvaiheessa on kaavailtu tapahtuvan myös osa tuotannosta. Kansien ja runkojen varioituvuuden vuoksi valmistusimpulssin on tultava molempiin osakokoonpanoihin yhdenaikaisesti, jotta testausvaiheessa ne voidaan liittää yhteen.

Mikäli TET:in kansilla ei kuitenkaan ole suurta varioituvuutta ja kokoonpano tapahtuu yhtä nopeasti, kuin muokatussa MTM-datassa on osoitettu ei ole syytä jakaa kokoonpanoa kahtia. Tällöin on parempi, jos kaikki työpisteet olisivat samanlaisia ja niillä olisi mahdollista kokoonpanna tuote alusta loppuun. Ei myöskään tarvittaisi kahta erillistä puskuuria ennen testausta.

Testaus- ja pakkausprosessin ajallisesta kestosta ei ole vielä olemassa luotettavaa dataa, niin kuin on todettu luvuissa 7.1 ja 7.2. Siitä syystä ei ole lähdetty arvioimaan tapahtumia lainkaan. Solulayout-ehdotuksessa niin kuin tahti- ja epätahtilinja-ehdotuksissakin on oletettu, että mikäli testaus on lyhyt prosessi, voi myös pakkauksen suorittaa testiopeeraattori.

Solu-tyyppi on kaikkein joustavin ehdotuksista luvussa 5.3 määriteltyjen seikkojen vuoksi, mutta se on myös vähiten Leanin mukainen layout vaihtoehto. Puskurit työvaiheiden välillä tekevät tuotannosta keskeytyksellistä. Solu on myös linja-ehdotuksia lähempänä funktionaalista layoutia, sillä komponentteja ja osavalmisteita joudutaan siirtämään ja kuljettamaan pidempiä matkoja. Tämä sotii Lean-filosofiaa vastaan, missä tuotteen arvoa lisäämätön liikuttelu lasketaan hukaksi.



Kuvio 12. Solulayout -ehdotus tehoelektroniikkatuotteelle. Kuvion siniset alueet kuvaavat työpaikoita tai -alueita. Vihreät alueet ovat koneita tai laitteita, punainen väri tarkoittaa materiaalivarastoja ja oranssi puskureita.

Solulayoutissa on ajateltu olevan yksi pääasiallinen materiaalivarasto, mistä kaikki operaattorit noutavat valmistusimpulssien mukaiset komponentit. Komponentit ja moduulit kuljetetaan takaisin työpisteille. Runkokokoonpanossa käytössä on ajateltu olevan kokoonpanovaunuja, mille kerätään ensin komponentit ja sitten kokoonpannaan TET:in runko-osa. Valmis runko-osa työnnetään kokoonpanovaunussa merkittyyn puskuriin, josta testioperaattori tulee sen hakemaan, yhdessä oikean kansiosan kanssa. Testiope-  
raattori sitten yhdistää kannen runko-osaan ja suorittaa tuotteen lopputestauksen.

Solulayoutin tuotantomuoto on niin ikään fuusio, johon voidaan katsoa kuuluvan ainakin seuraavat mahdollisuudet luvun 3.3 mukaisesti:

- Tilaustuotanto, sillä solun on mahdollista valmistaa tuotteita asiakasohjautuvasti ja koska solun kapasiteettia voidaan lisätä eikä sen tuottavuus ole samalla tasolla linjojen kanssa, on mahdollista valmistaa myös spesifioituja tuotteita.
- Asiakasohjautuva tuotanto, koska TET:llä on vain rajallinen määrä variaatioita ja sen valmistusprosessi on MTM-koodin ja luvussa 6.2 esitetyn testikokoonpanon videointien perusteella ajallisesti hyvin lyhyt.
- Sarja- tai yksittäistuotanto, sillä solulla on ehdotuksista kaikkein parhaimmat edellytykset valmistaa tuotetta yhden kappaleen erissä, mutta pystytään myös pitkiinkin sarjoihin.

Yksittäistuotanto on solussa mahdollista, koska seuraava työvaihe ei ole niin riippuvainen edellisestä työvaiheesta, kuin linjamallin tuotannossa. Yhden operaattorin on solussa mahdollista valmistaa hyvin tarkkaan spesifioitu tilaus asiakkaan nimenomaiseen tarpeeseen muun tuotannon valmistaessa samanaikaisesti täysin vakiotuotteita ilman, että testaus häiriintyisi.

Solulayout-ehdotuksessa ei ole otettu kantaa siihen, kannattaako tuotannon työpisteet toteuttaa kevennetyillä kiinteillä vai akkukäyttöisillä mobiileilla ruuvinvääntimillä. Vaihtoehtojen erot on oletettu hyvin marginaalisiksi ja siksi jätetty huomioimatta.

#### 7.4 Materiaalien kierto

Luvussa 5 on kerrottu, miten eri tuotannon layoutit eroavat toisistaan. TET:in tuotannossa on kuitenkin useita komponentteja ja moduuleita ja layout-ehdotuksissa on esitelty kokoonpanoa helpottavat alustat tai rullaimet. Näiden kierto tuotannossa eroaa linjojen ja solun välillä huomattavasti ja on kuvion 14 mukainen.



Linjalayouttien tahtilaskennassa on otettu huomioon, että jokaista linjaa kohden on kolme työpistettä, mikä tarkoittaa myös kolmea operaattoria. Testausoperaattoreita on jokaisen vaihtoehdon kohdalla oletettu olevan yksi operaattori testeriä kohden. Laskennan solulayoutissa ei ole solulle ominaisia ylimääräisiä työpisteitä otettu huomioon. Työpisteitä on mahdollisimman vähän, mutta kuitenkin tuotannon kuormitusta vastaava määrä. Vastaavasti jokaisella työpisteellä on oletettu olevan operaattori, jotta kapasiteetin tarve kohdattaisiin.

Taulukko 2. Teoreettiset tuotannon maksimitahdit

Tuotantotahdit	
Alkup. läpäisy aika	8,6 [min]
Uusi läpäisy aika	5,9 [min]
Testiaika (sovittu)	5,0 [min]
Tehokas työaika	390,0 [min]
Testerin teor. tahti	78,0 [yks]
Testerin teor. tahti/y	19,5 [kyks]
Solulayout	
Alkup. tahti/d	45,5 [yks]
Uusi tahti/d	66,5 [yks]
Tehokkuuskerroin	1,46 [%]
Testaussuhde	0,9 suhde
Työpisteen tahti/y	16,6 [kyks]
Tahtilinjalayout	
Pisin tahti	2,2 [min]
Teoreettinen max/d	177,8 [yks]
Testaussuhde	2,3 suhde
Linjan tahti/y	44,5 [kyks]
Epätahtilinjalayout	
Pisin tahti	2,6 [min]
Teoreettinen max/d	151,0 [yks]
Testaussuhde	1,9 suhde
Linjan tahti/y	37,7 [kyks]

Kone Industrial Oyj:n sisäisten työntutkimuksien tulosten mukaan kahdeksantuntisen työpäivän aikana tehokasta työaikaa on noin kuusi ja puoli tuntia. Alkuperäisessä MTM-tutkimuksen koodissa kokoonpanon läpäisyajaksi saatiin 8,6 minuuttia. MTM-tutkimuksen koodia muokkaamalla siten, että vaihtokätkimeisseli vaihdetaan kevennettyyn ruuvinvääntimeen, saadaan TET:een tuotannon läpäisyajaksi n. 5,9 minuuttia. Kun jaetaan

tehokas työaika MTM-tutkimuksen datasta saatavalla läpäisyajalla, saadaan TET:lle verrattain kelpollinen kokoonpanotahti: 66 yksikköä päivässä. Alkuperäisen MTM-datan mukaan kokoonpanotahti olisi vain 45 yksikköä päivää kohden. Kevennetty ruuvinväännin lisää siis teoriassa tuotannon tehokkuutta lähes 47 prosenttia perinteiseen ruuvimeiseliin nähden. Vuodessa voidaan sanoa olevan keskimääräisesti 250 työpäivää. Näin olettaen voidaan laskea, että tuotantovauhti vuositasolla olisi yli 16 600 yksikköä. Tulos on siis teoreettinen maksimi MTM-tutkimuksen tulosten muokkaamisen puitteissa. Muokattu MTM-data on liitteenä 2.

Aiemmassa kappaleessa arvioitu tuotantovauhti pitää paikkansa kuitenkin vain solulayoutissa ja on laskettu vain yhdelle työpisteelle. Lisäksi laskelmissa ei ole otettu testausta huomioon laskettaessa tuotantovauhtia. Testausta ei kuitenkaan tarvitse ottaa huomioon, sillä paremman tiedon puuttuessa testitapahtuman kestoksi on sovittu viisi minuuttia, mikä on vähemmän kuin solun tuotannon tahtiaika, eikä silloin vaikuta tuotantovauhtiin. Näin ollen on kuitenkin huomattava, että solulayoutissa yksi kokoonpanotyöpiste pystyy työllistämään yhden testerin lähes täydellä kuormituksella, mitä tarkastellaan luvussa 7.3. Testerin teoreettinen maksimikapasiteetti on 78 yksikköä päivässä ja 19 500 yksikköä vuodessa, kun testitapahtuman oletettu kesto on viisi minuuttia ja testeriä kuormitetaan 100 %.

Tahtilinjalayoutin teoreettista maksimikapasiteettia voidaan myös arvioida. Muokatusta MTM-datasta kun tarkastellaan ehdotuksissa eriteltyjen työpisteiden ajallisesti pitkäkestoisimman työvaiheen tahtiaikaa, voidaan laskea linjan teoreettinen maksimikapasiteetti. MTM-koodissa ei kuitenkaan ollut tahtilinjalayout-ehdotuksen pastauskonetta, mutta jos eristetarrojen ja -teippien asennus jätetään kokonaan huomiotta, päästään lähelle totuutta. Pisin työvaihe olisi siis ensimmäinen työvaihe ja sen kestoksi on laskettu muokatusta datasta alle 2,2 minuuttia. Tahtiajalla ja tehokkaan työajan avulla laskettuna päästään melko kunnioitettavaan 177 yksikön päivätahtiin ja vuositasolla tuotannosta valmistuisi lähes 44 500 tuotetta. Testauksen ja tuotannon suhde olisi tällöin 1:2,3. Tämä tarkoittaa, että yksi testauslaitteisto linjalla ei riitä. Jotta koko tuotannon output saataisiin testattua ilman puskuria, on testereitä oltava yhdellä linjastolla yhteensä 3 laitteistoa.

Epätahtilinjalayoutin teoreettinen maksimikapasiteetti voidaan arvioida samalla tapaa, kuin tahtilinjanakin. Tässä tapauksessa pisin tahtiaika on kuitenkin toisella työpisteellä, hieman alle 2,6 minuuttia. Päivätahdin teoreettinen maksimi on tällöin 150 yksikköä ja

vuositasolla tämä tarkoittaa lähes 37 800 yksikköä. Testauslaitteistojen suhde tuotantoon nähden olisi 1:1,94, mikä tarkoittaa sitä, että yhdelle epätahtilinjastolle riittäisi kaksi testauslaitteistoa koko kapasiteetin testaukseen.

## 8 Yhteenveto

### 8.1 Tulosten perusteella suositeltava layout

Jotta eri ehdotusten väliltä voidaan perustellen ratkaista paremmuus, täytyy tutkia eri vaihtoehtojen kustannuksia vertailemalla niitä kapasiteetin tarpeeseen. TET:een todellista tuotannon kuormitusta tai kapasiteettia on vaikeata tietää tarkasti. Todellista kuormaa osataan vain arvioida korvattavan tuotteen menekien perusteella, mikä kaikki variaatiot mukaan luettuna on yli 120 000 yksikköä vuositasolla. Hyvinkään hissitehtaalle implementoitavalla tuotantoyksiköllä on suunniteltu kokoonpantavan TET:a ensimmäiset 10 tuhatta yksikköä. Hyödyntämällä taulukossa 2 esitettyjä tuotannon teoreettisia taitaikoja ja kapasiteetteja voidaan tarkastella luvun 7 layout-vaihtoehtojen investointikustannusten eroavaisuuksia.

Koska testauslaitteistoa tai kokoonpanopisteitä TET:een tuotannolle ei vielä ole olemassa, on sovittu alustavat kustannusarviot: 15 k€/testeri ja 1,5 k€/työpiste. Alustavat kustannusarviot huomioiden voidaan tarkastella eri vaihtoehtojen kokonaiskustannuksia kapasiteetin tarpeeseen verrattuna. Laskelmissa oletetaan kuormituksen olevan suurella volyymillä 120 tuhatta yksikköä ja pienellä volyymillä 10 tuhatta yksikköä.

Taulukkoon 3 on laskettu, kuinka monta operaattoria tarvitaan eri vaihtoehtojen työpisteiden täyttämiseen, mutta palkkakustannuksiin ei ole otettu kantaa. Tämänhetkisen manuaalisesti toteutettavan tuotantomuodon voidaan kuitenkin olettaa aiheuttavan enemmän kustannuksia, mitä enemmän on operaattoreita.

Taulukko 3. Kapasiteetti- ja kustannuslaskelmat

Suuren volyymin kapasiteetit		Pienen volyymin kapasiteetit	
Kapasiteetin tarve	120 [kyks]	Kapasiteetin tarve	10 [kyks]
Työpisteen hinta	1,5 [k€]	Työpisteen hinta	1,5 [k€]
Testerin hinta	15 [k€]	Testerin hinta	15 [k€]
Solulayout			
Työpisteiden lkm	7,2 [kpl]	Työpisteiden lkm	1 [kpl]
Testereiden lkm	7 [kpl]	Testereiden lkm	1 [kpl]
Kokonaiskustannukset	117,0 [k€]	Kokonaiskustannukset	16,5 [k€]
Kokonaiskapasiteetti/y	133,1 [kyks]	Kokonaiskapasiteetti/y	16,6 [kyks]
Operaattoreiden lkm	15 [hlö]	Operaattoreiden lkm	2 [hlö]
Tahtilinjalayout			
Linjojen lkm	2,7 [kpl]	Linjojen lkm	1 [kpl]
Työpisteitä/linja	3 [kpl]	Työpisteitä/linja	3 [kpl]
Testereiden lkm	7 [kpl]	Testereiden lkm	3 [kpl]
Kokonaiskustannukset	116,1 [k€]	Kokonaiskustannukset	49,5 [k€]
Kokonaiskapasiteetti/y	133,4 [kyks]	Kokonaiskapasiteetti/y	44,5 [kyks]
Operaattoreiden lkm	16 [hlö]	Operaattoreiden lkm	6 [hlö]
Epätahtilinjalayout			
Linjojen lkm	3,2 [kpl]	Linjojen lkm	1 [kpl]
Työpisteitä/linja	3 [kpl]	Työpisteitä/linja	3 [kpl]
Testereiden lkm	8 [kpl]	Testereiden lkm	2 [kpl]
Kokonaiskustannukset	134,1 [k€]	Kokonaiskustannukset	34,5 [k€]
Kokonaiskapasiteetti/y	151,0 [kyks]	Kokonaiskapasiteetti/y	37,7 [kyks]
Operaattoreiden lkm	20 [hlö]	Operaattoreiden lkm	5 [hlö]

Taulukkoon laskettujen linjojen ja työpisteiden lukumäärät on suurille volyymeille merkitty yhdellä desimaalilla. Arvoista voidaan huomata, että suurella volyymillä solu- ja epätahtilayoutien kapasiteetit ovat juuri ylittäneet ns. kriittisen pisteen, millä tarkoitetaan tarvittavan kapasiteetin arvon ylittämää rajaa, jolloin tarvitaan uusi työpiste tai tuotantolinja ja mahdollisesti lisää testereitä. Yksinkertaisesti kriittinen piste on linjojen tai työpisteiden kokonaisluku. Todellisuudessa ei ole mahdollista, että käytössä olisi 0,2 työpistettä tai 0,7 tuotantolinjaa. Laskelmien investointikustannukset on siis laskettu tarvittavien kokonaisten työpisteiden ja tuotantolinjojen lukumäärän perusteella. Tahtilinjalayout-vaihtoehdossa ollaan siten tulossa kohti neljännen tarvittavan tuotantolinjan rajaa, jolloin niin ikään tarvittaisiin huomattavasti suuremmat alkuinvestoinnit.

Havaitaan myös, että epätahtilinjaston maksimikapasiteetti tulee vastaan vasta 151 tuhannen yksikön vuositahdilla, sillä vaihtoehto pystyy tuottamaan 120 tuhatta yksikköä

vasta neljällä linjastolla. Epätahtilinjasto ei siis ole investointien perusteella niin hyvä vaihtoehto, kuin kaksi muuta vaihtoehtoa. Toisaalta mikäli testausta onnistutaan tehostamaan siten, että testaustapahtuma lyhenee ajallisesti, saadaan tarvittavien testereiden lukumäärää vähennettyä, jolloin linjaston hankintakustannukset romahtavat. Sama koskee myös tahtilinjastoa. Työvaiheiden tehostamisella on myös mahdollista romahduttaa epätahtilinjaston investointikuluja, sillä kolmen linjaston kriittinen piste on noin 112 tuhatta yksikköä. Jos epätahtilinjastotuotanto onnistuu kolmella kokoonpanolinjalla, säästetään kolmen työpisteen ja kahden testauslaitteiston investoinnit. Pääomaksi muutettuna säästöt ovat 34,5 tuhatta euroa, jolloin epätahtilinjastovaihtoehdolla olisi halvimmat investointikulut. Epätahtilinjasto ei sovellu pienelle tuotantovolyymille suurien alkuinvestointien vuoksi.

Tahtilinja-vaihtoehto ei myöskään sovellu alhaisille tuotantovolyymeille kaikista vaihtoehdoista suurimpien hankintakustannusten vuoksi, mutta se olisi paras vaihtoehto suurelle tuotantovolyymille. Vaihtoehto tulisi solulayoutia marginaalisesti halvemmaksi ja kapasiteetiltaan tuottavammaksi. Lisäksi se olisi eniten Lean-filosofian mukainen, sisältäen mahdollisimman vähän luvussa 2.2.2 esiteltyä hukkaa, esimerkiksi tuotannon jatkuvuuden muodossa. Linjavaihtoehdoissa korostuu myös operaattoreiden harjaantuminen selkeiden rutiinien muodostumisen vuoksi, jolloin läpäisyajat edelleen pienenevät ja myös maksimikapasiteetti kasvaa.

Hyvinkään hissitehtaalle implementoitavan tuotantoyksikön tulisi kuitenkin olla layoutiltaan solumainen. Vaikka yksinkertaisen yhden kokoonpano-operaattorin ja yhden testioperaattorin solun tuotantokapasiteetti on pieni verrattuna linjoihin, olisi se edullisin vaihtoehto aina maksimikapasiteettiinsa asti. Mikäli tuotantoyksikön on tarkoitus valmistaa vain 10 tuhatta yksikköä vuositasolla, ei muihin vaihtoehtoihin ole syytä investoida. Kuitenkin tarpeen vaatiessa on lisäkapasiteettia mahdollista saada yksinkertaisesti lisäämällä tai hankkimalla soluun ylimääräisiä työ- ja testauspisteitä sekä operaattoreita, mikä tekee siitä myös kaikista joustavimman vaihtoehdon. Solulayout on kuitenkin eniten Leanin vastainen luvuissa 2 ja 5.3 eritellyistä syistä, mutta esimerkiksi NHE:ssä on solulayoutin sisällä muokattu prosesseja enemmän Leanin mukaisiksi ja saatu hyviä tuloksia. Kahden operaattorin solulayout on myös vaihtoehdoista vähiten tila-ahne, joten ratkaisun toteuttaminen onnistuu myös pinta-alaltaan rajalliseen tuotantotilaan.

## 8.2 Pohdinta

Lukujen 7.5 ja 8.1 laskelmia voidaan pitää luotettavina, mikäli tehdyt oletukset työpäivien, tehokkaan työajan ja testereiden ja työpisteiden hintojen osalta pitävät suunnilleen paikkansa. Jos tulevissa työaikatutkimuksissa havaitaan tehtyjen olettamusten olevan syystä tai toisesta pielessä, olisi syytä tehdä laskelmat uudelleen. Oletukset voivat olla väärässä myös esimerkiksi alueesta tai paikallisista säädöksistä johtuen ja ovat tehty parhaan saatavilla olevan tiedon perusteella.

Laskelmien mukaan solulayoutin investointikustannukset ovat kaikkein edullisimmat. Tämä voi kuitenkin muuttua, jos testereistä onnistutaan tekemään edullisempia, kuin mitä alun perin on oletettu. Solussa tarvitaan kuitenkin lähes yksi testauslaitteisto työpistettä kohden, jolloin kustannukset kohoavat. Vastaavassa tapauksessa tuotantolinjojen harkitseminen solun korvaajiksi voisi osoittautua paremmaksi vaihtoehdoksi, varsinkin suuremmilla volyyymeillä.

Insinööriyön alkuperäinen tavoite oli kunnianhimoinen: suunnitella, toteuttaa ja testata tuotantokonsepti tehoelektroniikkatuotteelle. Hyvin nopeasti kuitenkin huomattiin aikataulun tulevan pettämään ja ymmärrettiin, että alkuperäistä tavoitetta ei tulla kohtaamaan insinööriyölle järkevässä ajassa. Alkuperäisen tavoitteen kuihtumisen johdosta korjattiin uudeksi tavoitteeksi havainnollistavan suunnitelman valmistuminen. Insinööriyön tulosten perusteella voidaan kuitenkin sanoa korjatun tavoitteen tulleen saavutetuksi mainiain tuloksin.

## Lähteet

- 1 KONE Oyj:n kotisivut. [www.kone.com](http://www.kone.com). Luettu 25.2.2016.
- 2 I. Ruohomäki, J-P. Anttila, A. Heikkilä, M. Hentula, M. Kansola, K. Leino, J. Paro, T. Salmi. Parempiin tuotantostrategisiin päätöksiin. Teknologiateollisuus Ry. Teknologiaiinfo Teknova Oy. 2011.
- 3 M. Haverila, E. Uusi-Rauva, I. Kouri, A. Miettinen. Teollisuustalous. Infacs Oy. Infacs Johtamistekniikka Oy. 2009.
- 4 I. Lapinleimu, V. Kauppinen, S. Torvinen. Kone- ja metallituoteteollisuuden tuotantojärjestelmät. WSOY Konepajan tuotantotekniikka. 1997.
- 5 Verkkoartikkeli. Wikipedia. Työmotivaatio. <https://fi.wikipedia.org/wiki/Ty%C3%B6motivaatio#Ty.C3.B6ymp.C3.A4rist.C3.B6>. Luettu 4.3.2016.
- 6 Verkkoartikkeli. <https://www.e-economic.fi/kirjanpito-ohjelma/sanakirja/tuottavuus>. Luettu 23.3.2016.
- 7 Verkkoartikkeli. [https://en.wikipedia.org/wiki/Methods-time\\_measurement](https://en.wikipedia.org/wiki/Methods-time_measurement). Luettu 4.4.2016.
- 8 I. Kouri. Lean taskukirja. Teknologiateollisuus ry. Teknologiaiinfo Teknova Oy. 2014.

## **Liitteet**

Liite 1. Tehoelektroniikkatuotteen alkuperäinen MTM-koodi

Liite 2. Tehoelektroniikkatuotteen muokattu MTM-koodi

Liitteet 1 ja 2 on määritelty salaisiksi.