



Vaasan yliopisto  
UNIVERSITY OF VAASA

Teemu Pohjonen

**Digitaalisen kaksosen tuottama lisäarvo teollisen  
pk-yrityksen tehdas- ja prosessisuunnittelussa**

Case yritys X ja yritys Y

Tekniikan ja innovaatiojohtamisen akateeminen yksikkö  
Pro-Gradu -tutkielma  
Kauppatieteen maisteri  
Tuotantotalouden koulutusohjelma

Vaasa 2022

---

**VAASAN YLIOPISTO****Tekniikan ja innovaatiojohtamisen yksikkö**

<b>Tekijä:</b>	Teemu Pohjonen	
<b>Tutkielman nimi:</b>	Digitaalisen kaksosen tuottama lisäarvo teollisen pk-yrityksen tehdas- ja prosessisuunnittelussa	
<b>Tutkinto:</b>	Kauppätieteen maisteri	
<b>Oppiaine:</b>	Tuotantotalouden koulutusohjelma	
<b>Työn ohjaaja:</b>	Ville Tuomi	
<b>Valmistumisvuosi:</b>	2022	<b>Sivumäärä:</b> 65

---

**TIIVISTELMÄ:**

Digitaalinen kaksonen kehitettiin alkujaan teknisten koneiden ja laitteiden elinkaarenhallintaan, mutta sen mahdollisuudet on tunnistettu laajemminkin kokonaisuuksissa. Digitaalisen kaksosen soveltamisesta tehdassuunnitteluun löytyi jonkin verran tutkimustietoa, mutta pieniä ja keskisuuria yrityksiä koskevaa tutkimustietoa oli kovin rajallisesti saatavilla. Tutkimuksen tavoitteena on selvittää kirjallisuuden ja tapaustutkimuksen avulla, kuinka digitaalista kaksosta voitaisiin hyödyntää teollisissa pk-yrityksissä tehdas- ja prosessisuunnittelussa.

Tutkimuksen tutkimuskysymykset ovat miten digitaalista kaksosta voidaan hyödyntää tehdassuunnittelussa, millaista tietoa tuotantolaitoksen digitaalisen kaksosen luomiseen tarvitaan, mitä lisäarvoa digitaalisen kaksosen hyödyntäminen tuottaa teolliselle pk-yritykselle tehdassuunnittelussa ja mitä haasteita digitaalisen kaksosen hyödyntämisessä on?

Tutkimus on laadullinen tutkimus, jonka data on kerätty teemahaastatteluin. Kerätty aineisto on analysoitu sisältöanalyysin keinoin erittelemällä tulokset ja vertailemalla yhtäläisyyksiä ja eroavaisuuksia. Koska aihe oli haastatelluillekin osin uusi, sopivat avoimet haastattelukysymykset hyvin tiedon hankintaan. Tutkimukseen on haastateltu kahden yrityksen edustajia, jotka olisivat vastuussa omassa organisaatiossaan uuden tehtaan suunnittelusta tai prosessien kehittämisestä.

Tutkimuksessa kyettiin selvittämään, mitä lisäarvoa digitaalisen kaksosen hyödyntäminen voi tuottaa teollisille pk-yrityksille tehdas- ja prosessisuunnittelussa. Lisäksi onnistuttiin selvittämään tiedonkeruuseen ja digitaalisen kaksosen soveltamiseen liittyviä haasteita.

---

**AVAINSANAT:** Digitaalinen kaksonen, tehdas, layout, prosessi, materiaalivirta, tietomallit, teollisuus 4.0

---

**UNIVERSITY OF VAASA****School of Technology and Innovations****Author:** Teemu Pohjonen**Topic of the master's thesis:** Benefits of Digital Twin for factory and process design in SMEs, case company X and company Y**Degree:** Master of Science in Economics and Business Administration**Major subject** Industrial management**Instructor:** Ville Tuomi**Year of completing the masters thesis:** 2022 **Pages:** 65

---

**Abstract:**

The digital twin was originally developed for lifecycle management of technical machines and equipment, but its potential has also been identified in broader context. Some research data on the application of the digital twin related to factory design was found, but research data specialized on small and medium-sized enterprises were very limited. The aim of the study is to find out, through the literature and case studies, how the digital twin could be utilized in factory and process design in industrial SMEs.

The research questions of the study are following: how the digital twin can be utilized in factory design, what kind of information is needed to create a digital twin of a production plant, what added value does the digital twin bring to industrial SMEs in the field of factory design and what are the challenges in utilizing the digital twin?

The study is a qualitative case study whose data have been collected through thematic interviews. The collected data has been analyzed by content analysis, analyzing the results, and comparing similarities and differences. As the topic was also partly new to the interviewees, the open-ended interview questions were well suited for obtaining information. Representatives of the two case companies who would be responsible for factory design or developing processes in their own organization have been interviewed for the study.

The study was able to find out what added value the exploitation of the digital twin can bring to industrial SMEs in factory and process design. In addition, challenges related to data collection and the application of the digital twin were identified.

---

**Keywords:** Digital twin, factory, layout, process, material flow, data models, industry 4.0

## Sisällys

1	Johdanto	7
1.1	Tutkimuksen tausta ja tarkoitus	7
1.2	Tutkimuskysymykset	7
1.3	Tutkimuksen toteutus, data ja analysointi	8
1.4	Tutkimuksen rajaaminen	9
1.5	Tutkimuksen rakenne	10
2	Digitaalinen kaksonen tehdas- ja prosessisuunnittelussa	11
2.1	Tehdassuunnittelu	11
2.2	Digitaalinen kaksonen lyhyesti	17
2.3	Digitaalisen kaksonen sovellutukset tehdassuunnittelussa	20
2.3.1	DT osana tehdassuunnittelua	20
2.3.2	Tiedon kerääminen tuotantolaitoksesta	25
2.3.3	Yhteenveto DT:n hyödyntämisestä tehdassuunnittelussa	27
3	Empiria	34
3.1	Tutkimusmenetelmät	34
3.2	Tapausesimerkkeinä kaksi teollista pk-yritystä	35
3.2.1	Case-yritys X	35
3.2.2	Case-yritys Y	36
3.3	Tehdassuunnittelun merkitys case-yrityksissä	37
3.4	Tiedon keruun mahdollisuudet case-yrityksissä	38
3.5	Digitaalisen kaksonen mahdolliset hyödyt case yrityksissä	42
3.6	Digitaalisen kaksonen haasteet	47
3.7	Tutkimuksen luotettavuus ja eettisyys	49
4	Yhteenveto ja johtopäätökset	51
4.1	Yhteenveto	51
4.2	Johtopäätökset	55
	Lähteet	60
	Liitteet	64

## Kuvat

Kuva 1 Tehdassuunnittelun prosessikuvaus (Harding, J. A. & Popplewell, K., 2000).....	13
Kuva 2 Vuoden 2017 kehittyvien teknologioiden Hype Cycle (Gartner Inc., 2017) .....	18
Kuva 3 Digitaalisen kaksosen viitekehys tehdassuunnittelussa (Jiapeng, G., Ning, Z., Lin, S. & Saipeng, Z., 2019) .....	21
Kuva 4 Tuotantoympäristön neljä evoluutiotasoa (Tao, F., Zhang, M., Cheng, J. & Qi, Q., 2017).....	23
Kuva 5 DT:n rooli layout-optimoinnissa (Guo, H., Zhu, Y., Zhang, Y., Ren, Y., Chen, M. & Zhang, R., 2021).....	24
Kuva 6 Digitaalisen kaksosen avainelementit (Tao, F. & Zhang, M., 2017).....	26

## Taulukot

Taulukko 1 Tutkimuskysymykset ja niihin liittyvän tiedon käsittely .....	9
Taulukko 2 DT:n ulottuvuus kolmessa suunnitteluvaiheessa (Jiapeng, G., Ning, Z., Lin, S. & Saipeng, Z., 2019) .....	22
Taulukko 3 Kohdeyritysten näkemä DT:n potentiaalinen lisäarvo verrattuna Jiapeng, Ning, Lin ja Saipeng (2019) kuvaamiin ulottuvuuksiin .....	44

## **Lyhenteet**

**DT** Digitaalinen kaksonen (Engl. Digital twin)

**VSM** Arvovirtakarttoitus (Engl. Value stream mapping)

**CPS** Kyber-fyysinen järjestelmä (Engl. Cyber-physical system)

**CPPS** Kyber-fyysinen tuotantojärjestelmä (Engl. Cyber-physical production system)

# 1 Johdanto

## 1.1 Tutkimuksen tausta ja tarkoitus

Tuotantotilat sitovat yrityksiltä pääomaa ollen usein samalla huono investointi pääoman tuoton suhteen. Tiloihin sidottu pääoma on pois yhtiön muusta kehittämisestä, mikä rajoittaa toiminnan kokonaisvaltaista kehittämistä ja yritysten kasvua. Jotta olemassa olevista sekä uusista tuotantotiloista saataisiin maksimaalinen hyöty ja tehokkuus ulosmittattua, tulee yrityksen suunnitella tuotantotilan laajentaminen ja vanhojen tilojen käyttö mahdollisimman tarkoituksenmukaisesti ja tehokkaasti. Tutkimuksen tarkoituksena on selvittää digitaalisen kaksosen soveltumista ja DTn tuottamaa lisäarvoa teollisen yrityksen tuotantotilan suunnitteluun ja kehittämiseen. Tavoitteena on selvittää viimeisimmän tutkimuksen näkökulmasta DTn sovellutuksia ja menetelmiä tuloksekkaaseen tuotantotilan suunnitteluun. Lisäksi tavoitteena on parantaa ymmärrystä yleisellä tasolla siitä, mitä hyötyjä DTn soveltamisella voidaan saavuttaa tuotantotilojen suunnittelussa.

## 1.2 Tutkimuskysymykset

Tämän tutkimuksen tavoitteena on löytää vastaus seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

- Miten digitaalista kaksosta voidaan hyödyntää tehdassuunnittelussa?
- Millaista tietoa tuotantolaitoksen digitaalisen kaksosen luomiseen tarvitaan?
- Mitä lisäarvoa digitaalisen kaksosen hyödyntäminen tuottaa teolliselle pk-yritykselle tehdassuunnittelussa?
- Mitä haasteita digitaalisen kaksosen hyödyntämisessä on?

Ensimmäinen tutkimuskysymykseni on *Miten digitaalista kaksosta voidaan hyödyntää tehdassuunnittelussa?* Pyrin vastaamaan kysymykseen kirjallisuuden ja artikkeleiden kautta. Vasauksena kysymykseen pyrin saamaan selkeän käsityksen siitä, miten digitaalista kaksosta hyödynnetään olemassa olevan tiedon mukaan tehdassuunnitteluun.

Toinen tutkimuskysymys on *Millaista tietoa tuotantolaitoksen digitaalisen kaksosen luomiseen tarvitaan?* Digitaalisen kaksosen keskeinen erottava tekijä pelkkään digitaaliseen jäljennökseen tai suunnitteluaineistoon on sen reaali maailmaan kytkeytyvä tietokerros (Grieves, 2015). Pyrin selvittämään kirjallisuuden kautta, mitä tietoa tuotantolaitoksen digitaalisen kaksosen luomiseen tarvitaan ja mistä tuo tieto on saatavilla. Kysymys on käytännön mallin luomisen kannalta merkittävä, sillä tarvittava tieto ja tiedon lähde täytyy tunnistaa. Pyrin haastatteluiden kautta selvittämään myös pk-yritysten valmiuksia tiedon keräämiseen ja tuottamiseen digitaalisen kaksosen luomiseksi.

Kolmas tutkimuskysymykseni on *Mitä lisäarvoa digitaalisen kaksosen hyödyntäminen tuottaa teolliselle pk-yritykselle tehdassuunnittelussa?* Kysymys on hyvin keskeinen, sillä ilman mallin tuottamaa lisäarvoa ei digitaalisen kaksosen hyödyntäminen ole järkevää. Pyrin selvittämään mahdollista lisäarvoa haastattelemalla kahden teollisen pk-yrityksen avainhenkilöitä sekä peilaamalla haastatteluja tutkimustietoon.

Neljäs ja hyvin keskeinen tutkimuskysymykseni on *Mitä haasteita digitaalisen kaksosen hyödyntämisessä on?* Jotta lisäarvoa voidaan saada, täytyy mahdolliset haasteet tunnistaa. Tämän vuoksi tutkimukseni pyrkii selvittämään käytännön rajoitteita tuotantotilojen digitaalisen kaksosen hyödyntämisessä. Vastausta tähän kysymykseen pyrin selvittämään haastattelemalla valmistavan teollisuuden yritysten avainhenkilöitä.

### **1.3 Tutkimuksen toteutus, data ja analysointi**

Tutkimus tarkastelee edellä kuvattujen tutkimuskysymysten kautta digitaalisen kaksosen mahdollisuuksia tuottaa lisäarvoa tehdassuunnittelussa pienissä ja keskisuurissa teollisissa yrityksissä. Alla olevassa taulukossa on eritelty tutkimuskysymykset, niihin vastaamiseksi kerättävä aineisto ja tapa, jolla aineistoa käsitellään ja tulkitaan.



Tutkimuskysymys	Aineisto	Aineiston kerääminen ja käsittely
Miten digitaalista kaksosta voidaan hyödyntää tehdassuunnittelussa?	Kirjallisuus	Kirjallisuuskatsaus ajankohtaisiin artikkeleihin ja kirjallisuuteen, sekä tulosten analysointi.
Millaista tietoa tuotantolaitoksen digitaalisen kaksosen luomiseen tarvitaan?	Kirjallisuus, sekä Case-yritysten avainhenkilöiden haastattelut	Kirjallisuuskatsaus ajankohtaisiin artikkeleihin ja kirjallisuuteen, sekä tulosten analysointi. Lisäksi teema-haastattelu case-yritysten edustajille.
Mitä lisäarvoa digitaalisen kaksosen hyödyntäminen tuottaa teolliselle pk-yritykselle tehdassuunnittelussa?	Case-yritysten avainhenkilöiden haastattelut	Teemahaastattelu valituille yrityksen avainhenkilöille ja haastattelun tulosten vertailu sisältöanalyysillä.
Mitä haasteita digitaalisen kaksosen hyödyntämisessä on?	Case-yritysten avainhenkilöiden haastattelut	Teemahaastattelu valituille yrityksen avainhenkilöille, sisältöanalyysi ja haastattelun tulosten vertailu kirjallisuuteen.

**Taulukko 1 Tutkimuskysymykset ja niihin liittyvän tiedon käsittely**

Tässä tutkimuksessa käytetään laadullista tutkimusmenetelmää, tarkemmin sisältöanalyysiä. Sisältöanalyysi soveltuu haastatteluaineiston käsittelyyn, koska haastateltujen ajatuksia voidaan verrata ristiin. Haastatteluista voidaan etsiä erottavia ja yhdistäviä tekijöitä ja huomioida kirjallisuuskatsauksessa esiin tulleita huomioita. (Tuomi, J. & Sarajärvi, A., 2018)

#### 1.4 Tutkimuksen rajaaminen

Tutkimus tarkastelee DTn tuottamaa lisäarvoa tuotannon kehittämisessä tehdassuunnittelun näkökulmasta. Tutkimus on rajattu koskemaan teollisia pk-yrityksiä, joiden tuotanto sijaitsee pääosin Suomessa. Tutkimuksessa tarkastellaan ensisijaisesti tilannetta, jossa yritys laajentaa tuotantotilaansa tai uudelleen sijoittaa koneita ja laitteita

tuotantotilaansa. Tutkimuksessa pyritään selvittämään voiko DT:n hyödyntäminen auttaa ja helpottaa sekä mahdollisesti eliminoida tuotantotilan muutos- tai laajennustyössä syntyviä haasteita ja virheitä.

## **1.5 Tutkimuksen rakenne**

Tutkimus koostuu neljästä kappaleesta, joista ensimmäinen osa käsittää tutkimuksen taustan ja tarkoituksen, sekä tutkimuskysymykset ja tutkimuksen rajaamiseen liittyvät osiot. Toisena tutkimuksen päälukuna käsitellään teoriaa digitaalisen kaksosen sekä tehdassuunnittelun aloilta laaja-alaisesti, minkä jälkeen käsitellään digitaalisen kaksosen hyödyntämistä tehdas- ja tuotantotilojen suunnitteluun nykytutkimuksen ja artikkeleiden kautta. Kolmannessa kappaleessa on empiirinen osio, joka sisältää tutkimusmenetelmän ja case yritysten tapaukset. kolmannessa kappaleessa käsitellään tutkimushaastattelujen pohjalta tehdassuunnittelun merkitystä, tiedonkeruuta, mahdollisia haasteita DT:n hyödyntämisessä sekä tutkimuksen luotettavuuteen ja eettisyyteen liittyviä näkökohtia. Viimeinen pääluku sisältää tutkimuksen yhteenvedon sekä johtopäätökset.

## 2 Digitaalinen kaksonen tehdas- ja prosessisuunnittelussa

### 2.1 Tehdassuunnittelu

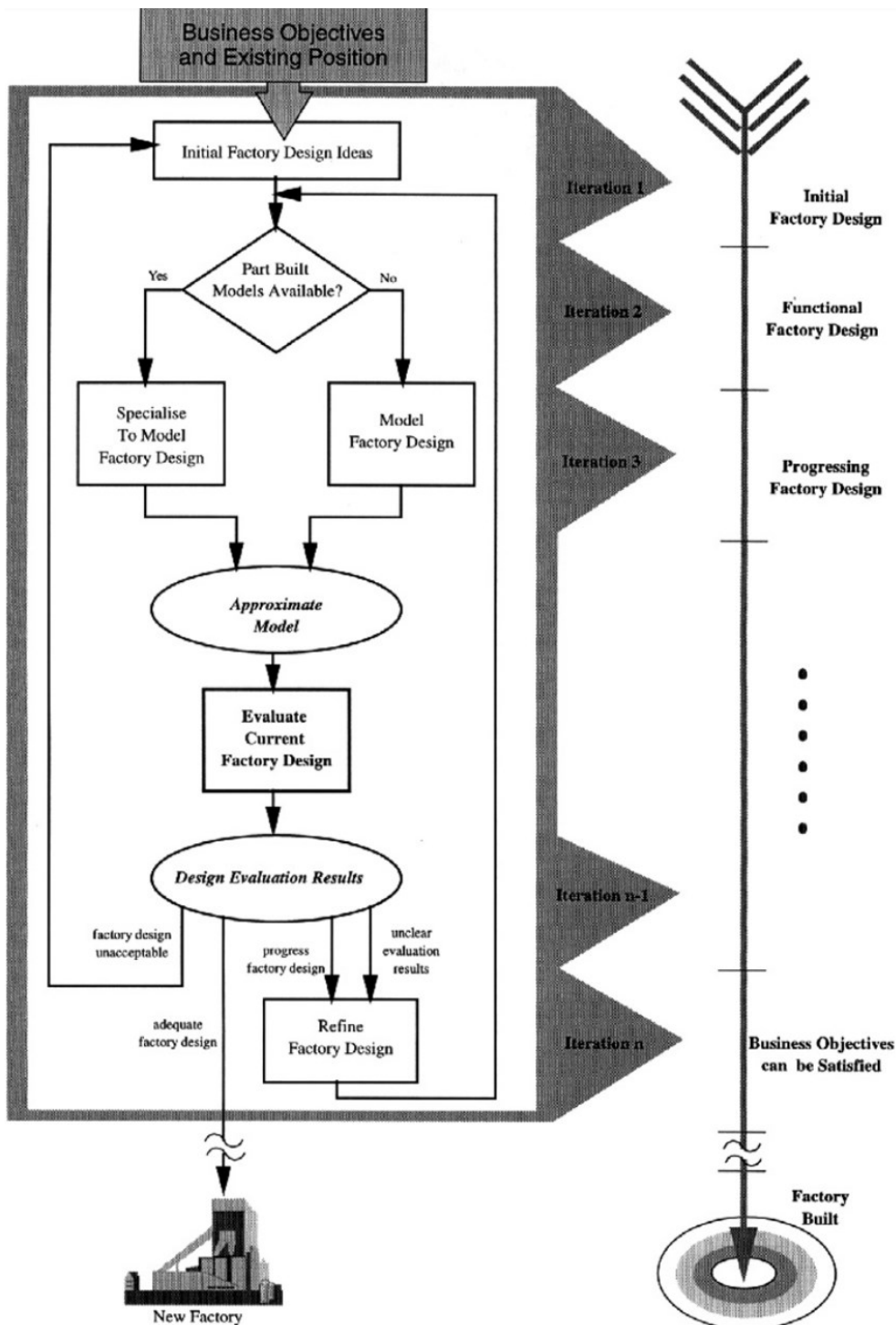
Tässä työssä tehtaalla tai tuotantolaitoksella tarkoitetaan fyysisiä tuotteita valmistavan yrityksen toimitilaa, jossa fyysisiä kappaleita valmistetaan tai valmistusta tukevia toimintoja hallitaan. Edellytyksenä ja rajauksena on, että tilassa käsitellään fyysisiä, tuotteen valmistuksessa tarvittavia materiaaleja, puolivalmisteita tai valmiita tuotteita.

Tehdassuunnittelulla ja tuotantolaitosten suunnittelulla puolestaan tarkoitetaan edellä kuvattujen uusien, vielä rakentamattomien tilojen suunnittelua tai tuotannon uudelleen järjestelyn yhteydessä toteutettavaa suunnittelua, joka käsittää esimerkiksi tuotantolaitoksen layout-, prosessi-, materiaalivirta-, investointi-, kapasiteetti-, ja ohjaussuunnittelua. Suunnittelu on kokonaisvaltaista, aineeseen, tiloihin, prosesseihin ja tavaravirtoihin, tuotantokoneisiin ja niiden ohjaukseen liittyvää arviointia, jolla mahdollisesti toteutettava fyysinen tehdas saadaan toimimaan parhaalla mahdollisella tavalla. Tässä tutkimuksessa käsitellään kirjallisuuden kautta yleisesti tuotantolaitosten suunnittelua, mutta empiria keskittyy erityisesti pienten- ja keskisuurten yritysten tuotantolaitosten suunnitteluun. Tuotantolaitoksen suunnittelu sirpaloituu eri osaamisaloihin, joita tässä työssä vain sivutaan osana ylätasoa suunnittelutyötä.

Tuotantolaitosten tehostaminen ja tuotantokapasiteetin kasvattaminen muuttuvista tekijöistä huolimatta haastaa kehittämään menetelmiä jatkuvasti. Jokaisella menetelmällä on aikansa ja paikkansa, mutta suurin osa ratkaisuista on jäänyt suuressa mittakaavassa käyttämättä. Ratkaisuja löytyy ruutupaperin ja lyijykynän tasoista ehdotuksista maattisiin malleihin ja tiedon arviointi ja evaluointimenetelmiin (Süße, M. & Putz, M., 2021). Asiakkaan tarpeiden huomioiminen aiheuttaa käytännön rajoitteita ja vaatimuksia tuotteille, mikä edelleen asettaa vaatimuksia tuotannolle ja prosesseille (Tauber, M., Gallmetzer, A., Rauch, E., Brown, C. A. & Matt, D. T., 2019).

Tehdas- ja tuotantolaitossuunnittelu on paitsi tiedollisesti hyvin vaativaa, myös pääomaintensiivistä työtä. Nykyaikaisen tehtaan tulee kyetä vastaamaan alati muuttuvaan toimintaympäristöön yhä joustavammin. Yhä pienemmät eräkoot, kustomoidut tuotteet, tiukat tuotantoaikataulut ja kustannuspaine asettavat tuotantolaitoksille suuret vaatimukset. Onkin hyvin olennaista, että tuotantolaitos on suunniteltu hyvin. Tuotantolaitosten suunnittelu voidaan toteuttaa monella eri tavalla, riippuen siitä mihin laitoksen suunnittelun osaan keskitytään. Kokonaissuunnittelu voidaan näet jakaa useisiin pieniin erikoisaloihin, kuten layout-, prosessi-, tuotantosolu-, materiaalivirta- tai vaikkapa kapasiteettisuunnitteluun. Kunkin osa-alue tuottaa lisäarvoa kunkin erikoisalan tarpeisiin. Laaja-alaisen ongelman ratkaisemiseksi on ollut tarpeellista kehittää tehokkaita menetelmiä, jotta tuotantolaitoksista tulisi kannattavia investointeja omistajilleen. (Zhang Z., Wang, X., Wang, X., Cui, F., & Cheng, H., 2019)

Tuotantolaitosten suunnittelun lähtökohtana on pienentää uusien tuotantolaitosten perustamiseen liittyvää riskiä. Erilaisilla suunnittelumenetelmillä on helpompaa arvioida päätösten seurauksia ja kannattavuutta, kuin toteuttaa varauksetta muutokset todellisessa ympäristössä. Suunnittelun ja mallinnuksen avulla voidaan myös simuloida eri skenaarioita, joissa liiketoimintaan liittyvän toimintaympäristön perusoletukset muuttuvat. Kuva 1 on kuvattu eräs tehdassuunnittelun prosessi. Prosessin tavoitteena on tyydyttää liiketaloudelliset tarpeet ja tavoitteet, jotka uudelle tuotantolaitokselle on asetettu. Prosessin iteraatioiden kautta saadaan kehitettyä suunnitelma, jonka toteuttaminen reaali-maailmassa on mahdollinen ja sen riskit on hallittu sekä eri näkökulmat on kaikessa laajuudessaan huomioitu. (Harding, J. A. & Popplewell, K., 2000)



Kuva 1 Tehdassuunnittelun prosessikuvaus (Harding, J. A. & Popplewell, K., 2000)

Zhang ja muut (2019) kuvaavat simulaatioperustaisen lähestymistavan tuotantolaitoksen suunnitteluun. Teollisuuden neljännen vallankumouksen, Industry 4.0:n myötä digitaalisuus on vallannut alaa myös tuotantolaitosten suunnittelussa. Digitaaliset mallit

ovat osa nykyaikaista tehdassuunnittelua ja tuotantoa voidaan simuloida virtuaalisesti hyvinkin tarkkaan.

Eräs tehdassuunnittelun lähestymistapa on niin kutsuttu oppiva tehdas (Engl. Learning Factory), jossa lähes autenttisessa ympäristössä voidaan tutkia ja kehittää tuotantoa. Tehdasympäristö voi olla oikea tuotantolaitos tai oppimista ja kehittämistä varten rakennettu vastaava koeympäristö. Esimerkkinä oppivasta tehtaasta Albertan yliopisto rakensi pienimuotoisen tuotantolaitoksen 3d-tulostimen ympärille. Ympäristössä opiskelijat pääsivät kehittämään ja kokeilemaan lean-kehitysmenetelmiä ja arvovirtakartoitusta. (Ahmad, R., Masse, C., Jituri, S., Doucette, J. & Mertiny, P., 2018) Oppivan tehtaan konseptissa eri asiantuntijoita voidaan kouluttaa realistisessa ympäristössä ja samalla kehittää ja tutkia vaihtoehtoisia valmistusmenetelmiä sekä prosesseja. Oppivan tehtaan konseptissa voidaan edetä esimerkiksi ongelmavetoisesti, teoriavetoisesti tai reflektoiden koettua. Oppivassa tehtaassa voidaan myös toteuttaa koetuotantoja tai todentaa pieniä prosessin osia käytännössä. Ratkaisussa on kuitenkin haasteensa ja menetelmä onkin parhaimmillaan jonkin tietyn tarkemmin rajatun ongelman ratkaisuun tai prosessin vaiheen opetteluun. (Tisch, M., Hertle, C., Abele, E., Metternich, J. & Tenberg, R., 2016) Kolmiulotteiset tehdassuunnitteluohjelmistot näyttävät valtavirtaa tuotantolaitosten layoutsuunnittelussa. Virtuaalinen malli mahdollistaa joustavan suunnitteluprosessin, minkä vuoksi se on olennainen osa nykyistä tehdassuunnitteluprosessia. Simulaatiossa tuotantolaitos pyritään mallintamaan visuaalisesti ja toiminnallisesti mahdollisimman tarkasti, jotta koko tuotantoprosessi voidaan simuloida. Simulaation avulla voidaan tuottaa tilastollista dataa koneiden ja laitteiden kapasiteetista, käyttöasteesta, prosessin pulonkaloista ja tehtaan tilatarpeesta. Simulointi tuottaa erityisesti automatisoiduissa prosesseissa tarkkaakin tietoa tuotantolinjan tai -laitoksen toiminnasta. Saadun tiedon perusteella voidaan vaikuttaa todellisen tuotantolaitoksen toteutukseen ja prosesseihin. (Florescu, A. & Barabas, S. A., 2020)

Antonelli ja Stadnicka (2018) käsittelevät simulaation ja arvovirtakartoituksen (Engl. value stream mappingin, VSM) soveltamista samanaikaisesti tuotannon suunnittelussa.

VSM pyrkii löytämään prosesseista arvoa tuottavia prosessin vaiheita, tarpeellisia mutta ei arvoa tuottavia vaiheita sekä arvoa tuottamattomia vaiheita. Tuotannon ja prosessien näkökulmasta pyritään pääsemään eroon arvoa tuottamattomista menetelmistä. VSM tuottaa arvokasta dataa ja sillä voidaan huomata tuotannon johdossa ja hallinnossa tapahtuvaa tehottomuutta, mikä olisi muuten hankalasti nähtävillä. Simulaatio puolestaan kykenee tuottamaan erityyppistä tietoa tuotannon jouhevuudesta ja materiaalivirroista sekä suorituskyvystä. Kahden toisistaan eroavan menetelmän sovittamisella ja saman aikaisella käyttämisellä voidaan tuottaa enemmän informaatiota kuin vain yhtä menetelmää hyödyntäen. Samalla todetaan, että molemmissa menetelmissä on haasteensa muiden muassa suuren työmäärän vuoksi. Erityisesti simulaatiota varten joudutaan myös keräämään suuri määrä dataa, jotta simulaation tuottama tieto olisi riittävän luotettavaa.

Singh, Singh, Singh ja Singh (2019) kuvaavat tapaustutkimuksessaan VSM:n ja lean-menetelmien yhdistelmällä saatuja hyötyjä tapausyritysten tuotannossa: Tavaroiden toimitus- ja prosessointiaika tippuivat yli 14 prosenttia, keskeneräisen tuotannon varastot sekä työntekijöiden tarve pienenevät yli 17 prosenttia ja yritysten tuloksetekokyky parani huomattavasti. Lisäksi prosesseissa tuotetun jätteen määrä väheni lähes 38 prosenttia. Lukujen perusteella on todettavissa, että analyysimenetelmät tuottavat huomattavaa lisäarvoa tuotantoketjussa, vaikka ympäristö ei olisi optimaalinen muuttujien suhteen.

Lähes jokaisessa artikkelissa kuvataan teollisuuden toimintaympäristön muuttuneen moniulotteiseksi, hyvin nopeasti muuttuvaksi ja huonosti ennustettavaksi kokonaisuudeksi. Tehtaiden elinkaari muuttuu entistä lyhyemmäksi ja tuotantolaitosten on kyettävä sopeutumaan muuttuviin ja kustomoituihin tuotteisiin, pieniin eräkokoihin ja yhä matalampiin tuotantokustannuksiin. Kaikesta huolimatta teollisuuden tuotantolaitokset ja fyysisten tuotteiden valmistaminen vaatii tehdasinvestointeja, jotka sitovat huomattavan suuria pääomia. Koska suurin osa kustannuksista määräytyy jo varhaisessa vaiheessa tehdassuunnittelua, joudutaan kehittämään menetelmiä investointipäätösten kannattavuuden ja toiminnan ennustettavuuden varmistamiseksi. Ajankotaisia artikkeleita

selaamalla on nähtävillä selvä kehitys kohti yhä pidemmälle simuloituja tuotantolaitoksia. Simulaatiot ovatkin muuttuneet hyvin olennaiseksi tavaksi ennustaa ja suunnitella tuotantolaitosten toimintaa.

Simulaatiot perustuvat kolmiulotteisiin mallinnuksiin ja niiden toteuttaminen vaatii kalliiden ohjelmistojen hankintaa. Ohjelmistokustannus voi olla este teknologian hyödyntämiselle erityisesti pienissä ja keskisuurissa yrityksissä. (Souza, M. C. F., Sacco, M. & Porto, A. J. V., 2006) Pienempien teollisten toimijoiden marginaalit investoinneissa ovat pienemmät ja mahdolliset virheet suunnittelussa voivat muuttua kriittisiksi. Näin ollen tarve huolelliselle suunnittelulle korostuu pienten tehtaiden kohdalla.

Eräänä esimerkkinä haetusta ratkaisusta on Euroopan unionin rahoittamassa tutkimusprojektissa nimeltä *Holistic, extensible, scalable and standard Virtual Factory Framework*, jossa pyrittiin löytämään myös pieniä ja keskisuuria yrityksiä palvelevia keinoja virtuaalisen tehtaan luomiseen. (European Commission, Cordis, EU research results, 2014) Virtual Factory Framework koostuu neljästä elementistä, jotka huomioivat koko tehtaan elinkaaren vaiheet. Ensimmäinen pilari on referenssi malli, joka sisältää yleiset tuotannon elementit. Elementtien, kuten koneiden, tuotteiden ja prosessien luominen sisältyy ensimmäiseen pilariin. Toinen pilari on virtuaalinen tehdas malli, joka jalostetaan edellisen pilarin ehdoilla. Tähän malliin luodaan rajapinnat edellisen pilarin toiminnoille, jotta data saadaan siirrettyä edelleen kolmanteen moduuliin, joka käsittää erityyppisiä algoritmeja ja aliohjelmia, joilla kullakin on oma tehtävänsä. Neljäntenä päätöksenteon tuki ja tietopuolen pilari, joka auttaa todellisessa päätöstyössä ja vaikkapa hyvien käytänteiden kuvaamisesta. (Sacco, M., Pedrazzoli, P. & Terkaj, W., 2010)

Samalla kun simulaatioiden ja tietomallien kehittäminen edistyy, on yrityksille kohdistuva suunnittelukustannus kasvanut. Monimutkaisten simulaatioiden ja mallien toteuttaminen sitoo pääomaa, mutta vaatii myös erikoisosaamista. Yhä useammin yritykset joutuvat turvautumaan asiantuntijatahojen puoleen luodakseen toimivia malleja sekä tulkitakseen mallien ja simulaatioiden toimintaa.



Tässä tutkimuksessa keskitytään erityisesti pienten ja keskisuurten yritysten tehtaiden ja tuotantolaitosten suunnitteluun. Ajankohtaiset artikkelit kuvaavat tilaa, jonka lopulta myös kirjallisuuslähteet todistivat: Suurista kustannuksista johtuen digitaaliset työkalut, visualisoinnit ja simulaatiot ovat useimmiten vain suurten yritysten saavutettavissa lähinnä kustannusten vuoksi. Vaikka nämä pienen kokoluokan toimijat ovat haastettuja globaalissa markkinaympäristössä suurempien kilpailijoiden kanssa, ei pienemmällä teollisella yrityksellä ole vastaavia mahdollisuuksia kehittää ja ennakoida investointiensa kannattavuutta ja suorituskykyä etupanotteisesti. Jotta pienet toimijat kykenevät hyötymään digitalisaation ja teollisuuden neljännen vallankumouksen tuomista mahdollisuuksista, täytyy tutkimusta tehdä ja ratkaisuja kehittää yhä enemmän myös pienten toimijoiden tarpeisiin.

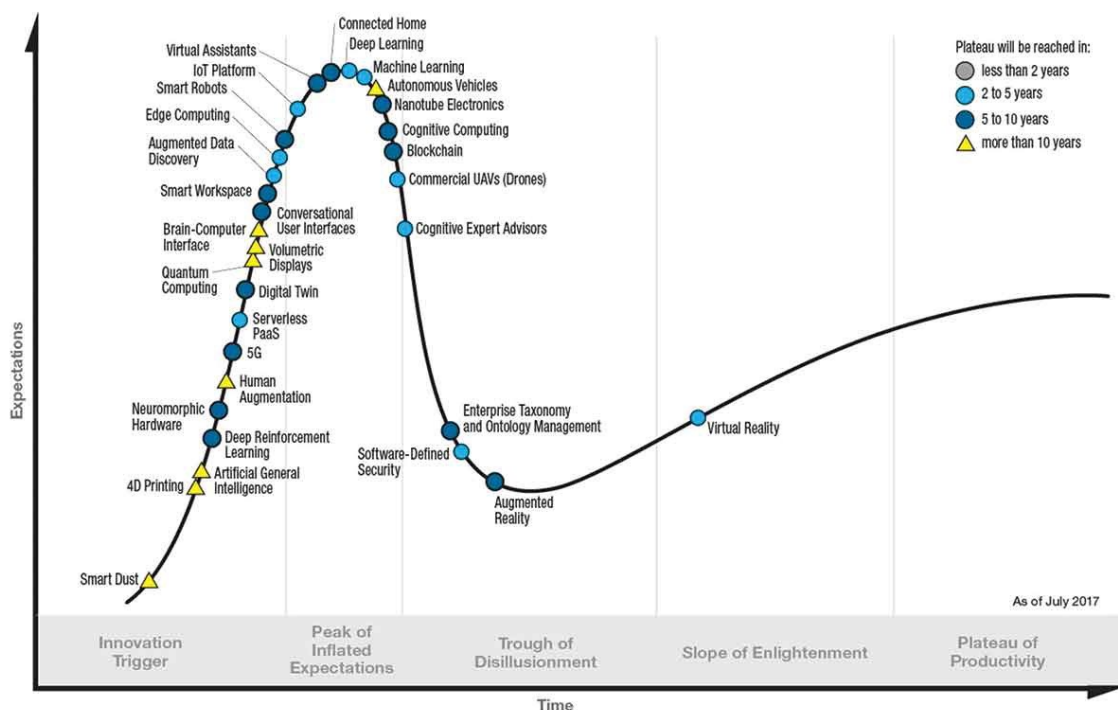
## **2.2 Digitaalinen kaksonen lyhyesti**

Tässä tutkimuksessa digitaalisella kaksosella tarkoitetaan artikkeleiden kautta kuvattua digitaalista tietomallia, jossa digitaaliseen suunnitteluaineistoon, eli digitaaliseen malliin on kytketty mallin reaali maailman fyysinen vastine, sekä siitä kerätty takaisin digitaaliseen malliin liitetty tietokerros. Digitaalinen malli kuvaa tässä työssä virtuaalista mallia, joka voi olla esimerkiksi visuaalinen 3d-malli tuotteesta tai tehtaasta. Fyysinen vastine on puolestaan digitaalisen mallin mukainen olemassa oleva tuote tai tehdas itsessään. Seuraavissa kappaleissa määritellään digitaalinen kaksonen tarkemmin tietellisten lähteiden kautta.

Grieves (2015) on kehittänyt digitaalisen kaksosen konseptin, jotta todellisuuden fyysinen kappale, esine tai asia saadaan kytkettyä digitaaliseen suunnitteluaineistoon. Menetelmän alkuperäinen käyttötarkoitus oli kehittää tuotteiden elinkaaren hallintaa. Konsepti koostuu kolmesta pääelementistä: Reaali maailman kappale, esine tai konkreettinen asia, jonka fyysinen olemus on nähtävissä ja koettavissa. Toinen elementeistä on digitaalinen vastine reaali maailman elementille. Digitaalinen vastine voi olla suunnitteluaineisto, jonka pohjalta lopullinen tuote on valmistettu. Kolmas elementti on side

digitaalisen aineiston ja reaali maailman objektin välillä. Tämä side on toisaalta reaali maailman elementistä kerättyä tietoa, toisaalta digitaalisella mallilla tehtyjä simulaatioita ja testejä. Kun alkuperäiseen digitaaliseen malliin lisätään todellisen kappaleen kautta kerrytetty tieto, jalostuu pelkkä virtuaaliobjekti moniulotteiseksi, reaali maailmaan kytkeytyneeksi tietomalliksi. Digitaalisen kaksosen erottaa digitaalisesta mallista juuri reaali maailmasta kerätty tieto, joka lisätään osaksi digitaalista mallia. Tiedon kerääminen on tästä syystä keskeinen elementti DTn luomisessa.

## Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies, 2017



[gartner.com/SmarterWithGartner](http://gartner.com/SmarterWithGartner)

Source: Gartner (July 2017)  
 © 2017 Gartner, Inc. and/or its affiliates. All rights reserved.

**Gartner**

### Kuva 2 Vuoden 2017 kehittyvien teknologioiden Hype Cycle (Gartner Inc., 2017)

Digitaalisen kaksosen konsepti on mielenkiintoinen tapa hahmottaa fyysisen ja virtuaalisen maailman eroja ja luoda yhä tarkempia yhtäläisyyksiä ja riippuvuuksia näiden kahden maailman välille. Uusia merkittäviä teknologioita ja trendejä seuraava tutkimuslaitos Gartner on huomionnut digitaalisen kaksosen vuoden 2017 Hype Cyclesä. (Gartner Inc.,

2017) Tämä on osoitus siitä, kuinka lupaavana menetelmää on pidetty. Tutkimusyhtiö on ennustanut tuolloin teknologian tulevan käyttöön viidestä kymmeneen vuotta julkaisua myöhemmin, mikä jälkikäteen tarkasteltuna on osoittanut osuneen melko hyvin oikeaan.

Tuotteiden elinkaaren hallintaan alun perin kehitetty menetelmä soveltuu erinomaisesti moniin laajempiin kokonaisuuksiin. Keskeistä mallissa on kuitenkin juuri virtuaalisen ja fyysisen maailman välinen vuorovaikutus, joka tarkoittaa käytännön tasolla dataa, eri lähteistä kerättyä tietoa. Suurempien kokonaisuuksien ollessa kyseessä myös tiedon määrä ja tietolähteiden määrä kasvaa. Tämän vuoksi on tärkeää selvittää tiedon keräämisen ja hallinnan ulottuvuutta enemmän.

Nykyaikaisessa teollisuudessa tietoa kerätään suuria määriä. Tuotantokoneiden erilaiset anturit, tuotannonohjausjärjestelmät, varastojärjestelmät, tuotannon tiedonkeruujärjestelmät ynnä muut menetelmät tuottavat ja tallentavat jatkuvasti tietoa arkipäiväisessä työssä. Tiedon keruun, käytön ja soveltamisen merkitys korostuu, koska DT tulee sitä paremmaksi mitä parempaa tietoa malliin on mahdollista liittää. Teknologinen murros on johtanut informaatiomäärän räjähdysmäiseen kasvamiseen. Valtavat tietomäärät puolestaan mahdollistavat uusien menetelmien hyödyntämisen liiketoimintapäätösten tekemiseen. Yhä älykkäämpien ja automatisoidumpien tuotantoketjujen verkottuminen ja lomittuminen lisää tuotantoketjujen kompleksisuutta, mikä edelleen kasvattaa tiedon ja tiedon jalostamisen tarvetta. Suuren tietomäärän hallinnan ja käsittelyn kautta voidaan tehdä valmistusta tukevia liiketoimintapäätöksiä. (Ji Z., Peigen L., Yanhong Z., Baicun W., Jiyuan Z. & Liu M., 2018)

Digitaalisen kaksosen jalostaminen huippuunsa vaatii big dataa, eli laajamittaista mitausaineistoa ja suuret tietomäärät. Tiedon keruu edellyttää avoimia rajapintoja järjestelmien välillä, jotta verkottuneet tuotantoketjut voivat hyödyntää tilaus-toimitusketjun eri vaiheiden informaatiota joustavasti. Tarve uusille alustoille, joiden kautta voidaan jakaa dataa kasvaa. Tiedon määrän ja prosessien kompleksisuuden kasvaessa tulee myös tarve uudenlaiselle osaamiselle, jota ei välttämättä ole yrityksillä itsellään. Siksi

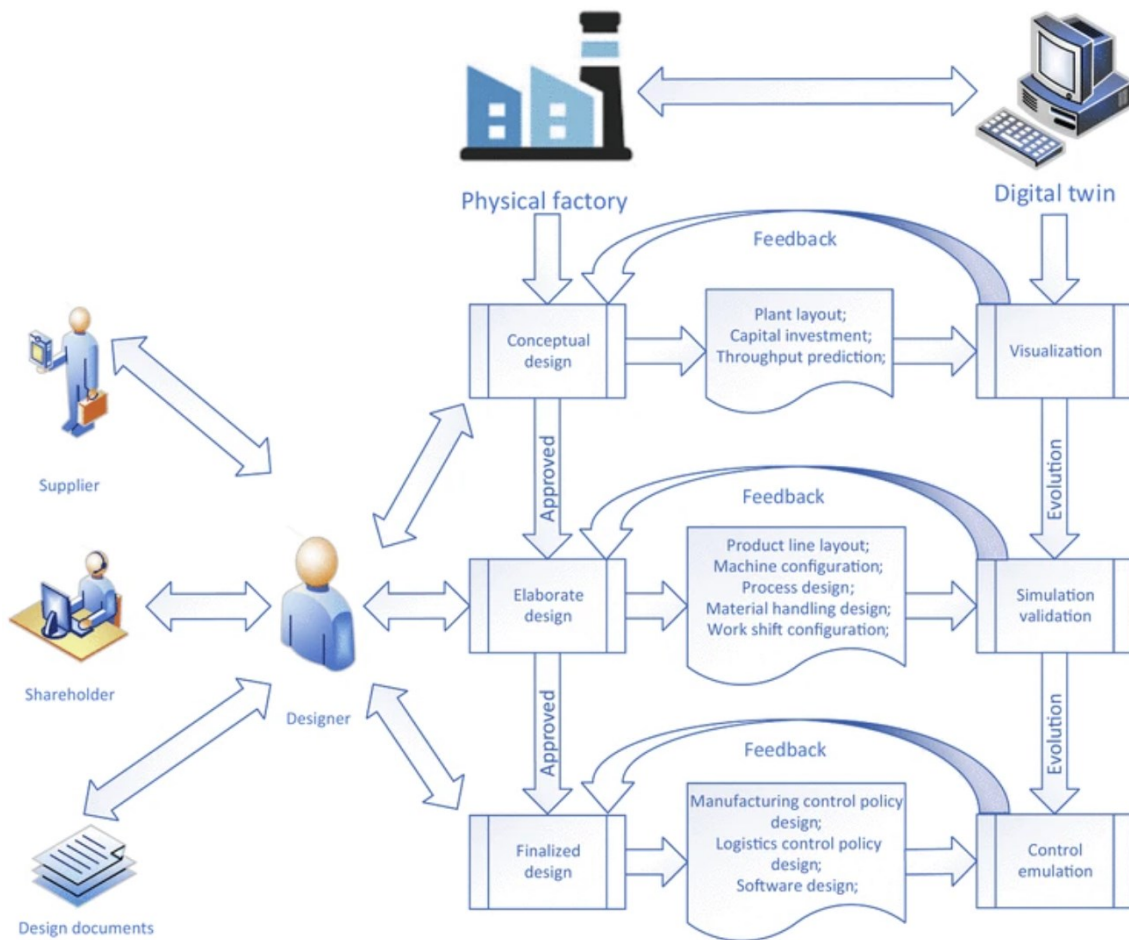
tarvitaankin yhteistyötä erikoistuneiden asiantuntijoiden ja yritysmaailman välillä. (Kusiak, 2017)

Grieves (2015) kuvaa kolme menetelmää, joissa DTn hyödyntämisessä saavutetaan merkittävää lisäarvoa: konseptointi, vertailu ja yhteistyö. Konseptointi tehostuu visuaalisin elementein verrattuna kirjoitettuun tai numeeriseen tietoon. Kun tieto saadaan siirrettyä visuaaliseen malliin, konseptityö tehostuu ja reaali maailman sovellusta voidaan kokeilla matalalla kynnyksellä virtuaalisesti. Vertailu reaali maailman sovellutuksen ja virtuaalimallin välillä on tehokasta, koska virtuaalimallilla voidaan hakea optimaaliset arvot vallitsevassa ympäristössä ja sen jälkeen kokeilla arvoja todellisessa ympäristössä. Kokemuksen kautta voidaan puolestaan takaisinkytkä ja tarkentaa digitaalisen kaksosen mallia, jolloin seuraava tuotettu arvo on lähempänä reaalisovellusta. Kolmas mainittu hyöty liittyy yhteistyöhön, joka tehostuu huomattavasti, kun ihmiset voivat kokoontua digitaalisen mallin ympärille. Koska malli voidaan jakaa suurelle ja myös fyysisesti hajautetulle joukolle, voidaan esimerkiksi tuotteen kehittämisessä tai muussa ongelman ratkaisussa hyödyntää suuremman joukon osaamista kuin reaali maailmaan rajoitetussa tapauksessa olisi mielekäästä.

## **2.3 Digitaalisen kaksosen sovellutukset tehdassuunnittelussa**

### **2.3.1 DT osana tehdassuunnittelua**

Tyypillisesti tehdassuunnittelu sisältää kolme vaihetta: konseptisuunnittelu, yksityiskohtaisempi suunnittelu sekä lopuksi viimeistely. Ensimmäisen vaiheen tarkoituksena on saavuttaa suuren mittakaavan käsitys tehtaan layoutista, tavoitellusta kapasiteetista sekä investoinnin suuruudesta. Kun suuren mittakaavan linjaukset on tehty, voidaan siirtyä tarkempaan ja yksityiskohtaisempaan suunnitteluvaiheeseen, joka sisältää prosessien ja prosessien tarkemman määrittelyn, tuotantoyksiköiden, materiaalivirtojen ja työvuorojen suunnittelun. Kolmannessa vaiheessa siirrytään käytännön integraatiosuunnitteluun. (Jiapeng, G., Ning, Z., Lin, S. & Saipeng, Z., 2019)



**Kuva 3** Digitaalisen kaksosen viitekehys tehdassuunnittelussa (Jiapeng, G., Ning, Z., Lin, S. & Saipeng, Z., 2019)

Jiapeng, Ning, Lin ja Saipeng (2019) jatkavat, että kussakin edellä kuvatussa vaiheessa DT voi tuottaa lisäarvoa suunnitteluun. Yllä olevassa kuvassa on nähtävillä kunkin vaiheen tuottama tieto ja kerrokset eri tasolla. Karkeahkossakin simuloitussa konseptisuunnittelussa DT auttaa projektin sidosryhmiä, kuten organisaation johtoa ja osakkeenomistajia hahmottamaan kokonaisuuden paremmin. Kokonaistuotantokonseptin, ennustetun kapasiteetin ja investoinnin kannattavuuden arviointi voidaan todentaa ja varmistaa DT:n avulla. Seuraavassa vaiheessa voidaan luotua konseptia jalostaa edelleen paremmaksi sisällyttämällä malliin tuotantolinjojen ja prosessien tietoa sekä simuloimalla kokonaisuuden toimintaa paremman datan avulla. Kolmannessa ja viimeisessä vaiheessa voidaan siirtyä hienotasolle, kuten

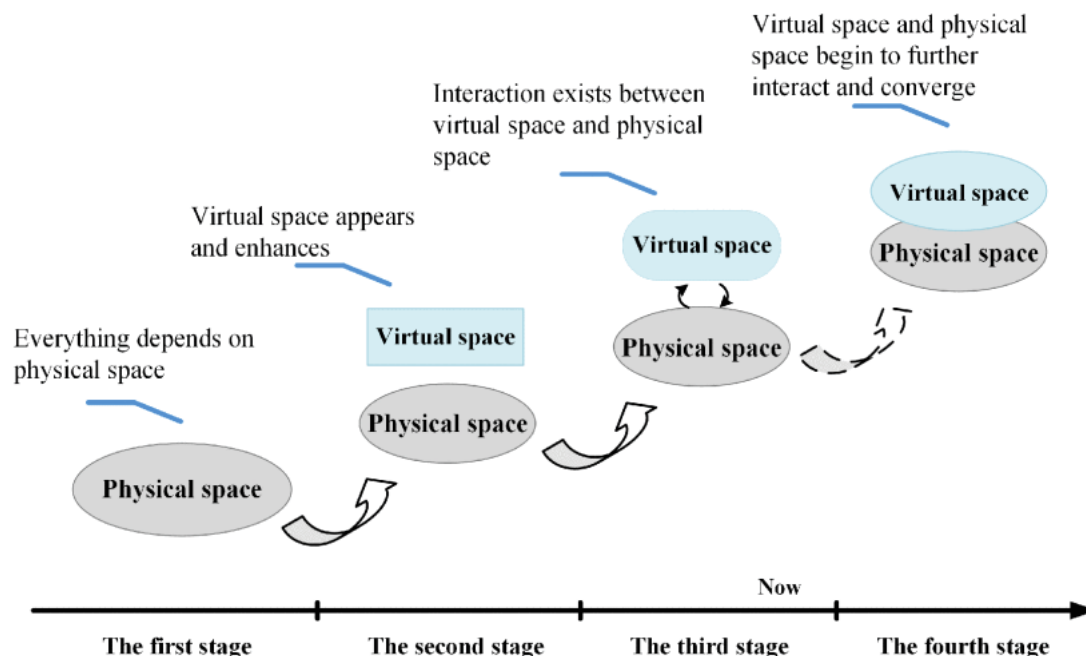
tuotannonohjausjärjestelmien, tuotantokoneiden ja muiden rajapintojen simuloituun integraatioon. Tämän ansiosta DT paranee entisestään ja tuottaa huomattavan tarkkaa tietoa suunnittelijoille. Kun koko tuotantoprosessi eri ulottuvuuksineen on siirretty DTn sisälle, voidaan sidosryhmille tuottaa huomattavan tarkkaa tietoa päätösten tueksi.

	<b>Fyysinen maailma</b>	<b>DTn ulottuvuus</b>	<b>Tavoite</b>
Konsepti-suunnittelu	Tehtaan layout	3D layout Layout algoritmit Tietopohjaiset kustannukset ja kapasiteetti ennusteet	Kartoittaa konseptin epävarmuustekijät simulaatiolla
Tarkempi suunnittelu	Tehtaan layout Tuotantokoneiden layout BOM Valmistusprosessi Materiaalinhallintajärjestelmät Työvuorosuunnittelu Tehokkuus	Erillisten tapahtumien simulointi	Tarkkojen arvojen validointi
Viimeistely	Ohjausmenetelmät jokaiselle laitteelle Ohjausstrategia koko tuotantjärjestelmälle	Ohjauksen emulointi	Ohjausjärjestelmien kehittäminen

**Taulukko 2 DTn ulottuvuus kolmessa suunnitteluvaiheessa (Jiapeng, G., Ning, Z., Lin, S. & Saipeng, Z., 2019)**

Yllä olevassa taulukossa on kuvattu kuhunkin suunnittelun vaiheeseen liittyvät reaali maailman tavoitteet fyysisiin ja olemassa oleviin elementteihin liittyen, niiden

digitaalinen ulottuvuus tietomallissa ja DT:ssa, sekä kolmantena DT:n tiedolla tuotettavan informaation tavoite.

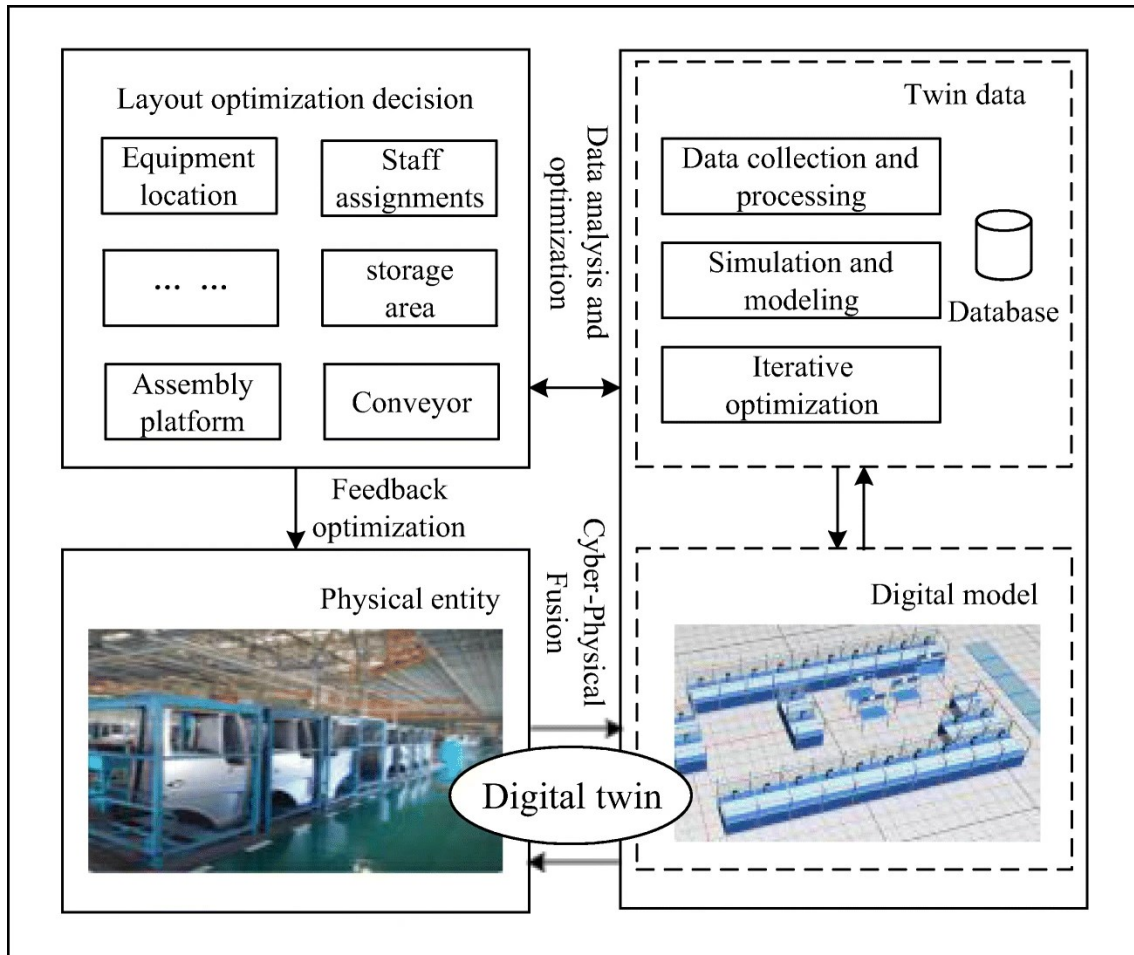


**Kuva 4 Tuotantoympäristön neljä evoluutiotasoa (Tao, F., Zhang, M., Cheng, J. & Qi, Q., 2017)**

Kuva 4 on kuvattu tuotantoympäristön neljä eri tasoa Taon ja muiden mukaan (2017). Matalimmalla tasolla kaikki toiminta riippuu fyysisen maailman toiminnosta. Toisella tasolla fyysisen maailman rinnalla on irrallisena virtuaalinen ulottuvuus, joka on omiaan parantamaan olemassa olevaa fyysistä tilaa. Kolmannella tasolla fyysinen todellisuus ja virtuaalinen malli saadaan kommunikoimaan. Neljännellä tasolla fyysinen todellisuus yhdistyy ja integroituu osaksi virtuaalista tietomallia, jolloin todellisuus ja virtuaalisuus alkavat kommunikoida keskenään ja vaikuttaa jatkuvasti toisiinsa.

Yhtenä käytännön sovellutuksena ja pienenä osana kokonaisuutta on tuotantotilan layoutin suunnittelu. Käytännön työhön ja tehdastilan mahdollisimman järkevään rakentamiseen on olemassa useita vaihtoehtoisia menetelmiä, joilla tilat saadaan tehokkaasti järjestettyä. Digitaalisen kaksosen avulla voidaan perinteisiä menetelmiä

edelleen parantaa huomioimalla lukuisia muuttujia tuotannon ja päätösten taustalla.  
(Guo, H., Zhu, Y., Zhang, Y., Ren, Y., Chen, M. & Zhang, R., 2021)



**Kuva 5 DT:n rooli layout-optimoinnissa (Guo, H., Zhu, Y., Zhang, Y., Ren, Y., Chen, M. & Zhang, R., 2021)**

Kuva 5 on havainnollistettu esimerkitapausta, jossa DT on osana layout-suunnittelua. Digitaalinen kaksonen sijaitsee kuvainnollisesti digitaalisen mallin ja reaali maailman välillä, yhdistäen nämä kaksi ulottuvuutta toisiinsa. Kakso sen keräämä data yhdistetään tehtyihin liiketoimintapäätöksiin, rajoitteisiin, vaatimuksiin ja lopulta tuotantotilan fyysisiin realiteetteihin, kuten tuotantokoneisiin, materiaaleihin ja tehtaan seiniin.



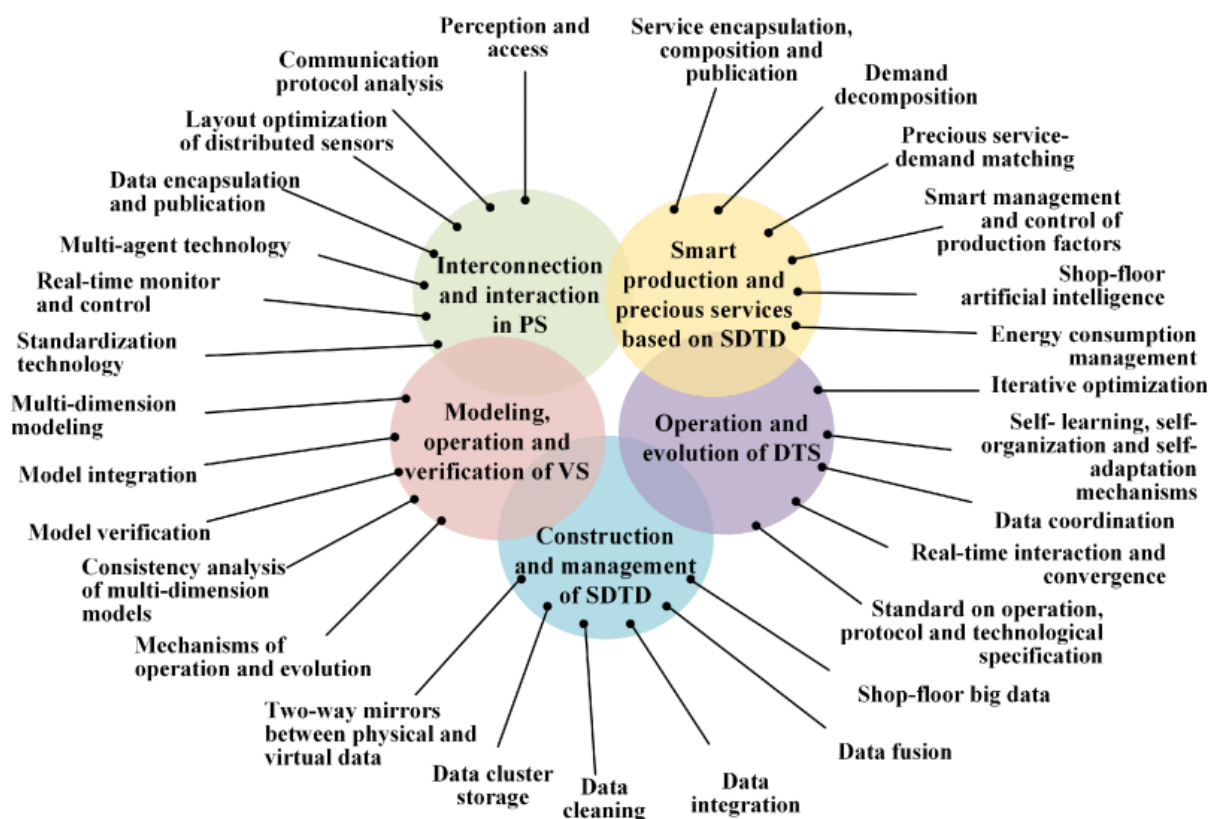
### 2.3.2 Tiedon kerääminen tuotantolaitoksesta

Tao ja Zhang (2017) kuvaavat DT tiedon koostuvan neljästä osasta: Fyysinen tuotantolaitos käsittää tuotannon olemassa olevat realiteetit mukaan lukien tuotantolaitos, tuotantokoneet, työvoima ja materiaalit, jotka ovat olemassa todellisuudessa. Toinen osa on virtuaalinen tuotantolaitos, joka puolestaan käsittää moniulotteisen ja useilla parametreilla simuloidun kokonaisuuden laitteiden ja tuotteiden olemassaolosta, fyysisestä olemuksesta, toiminnasta ja rajoitteista. Virtuaalinen osa kehittyy jatkuvasti, kun sen kautta hoidetaan tuotantoa ja päivitetään sen mallin rajoitteita ja käytettävissä olevia rajapintoja. Kolmas elementti on palvelu, joka käsittää yrityksen resurssien ja tiedonhallinnan, käytännössä tuotannon- tai toiminnanohjausjärjestelmä. Neljäs taso on DT:n taso, jossa edellä mainitut kolme tasoa fuusioidaan yhdeksi kokonaisuudeksi ja jalostetaan lopulliseen muotoonsa. DT:n tuottama data huomioi jokaisella alemmalla tasolla olevat rajoitteet ja realiteetit, jolloin DT kykenee tuottamaan erittäin arvokasta tietoa toiminnan ja tuotantolaitoksen ohjaukseen. Koska DT kykenee huomioimaan niin fyysisen kuin virtuaalisen maailman seikat, sekä optimoimaan toiminnan ja materiaalivirtojen toteutuksen, ei kokonaisuuden ja päätöksen teon ulkopuolelle jää katvealueita.

Olemassa olevien rakennusten, tuotannon tilojen, koneiden ja laitteiden digitointi on osa tuotantolaitoksen virtualisointia ja siirtämistä kohti täydellistä digitaalista kaksosta. Laserskannaamalla olemassa olevat tuotantotilat voidaan luoda todellisuudesta hyvin tarkka malli, johon edelleen voidaan lisätä elementtejä, kuten uusia koneita ja laitteita. Tehtaan virtualisoinnissa riittää useimmiten hyvinkin karkealla tasolla toteutettu digitalisointi, kunhan tilat ovat mitoiltaan oikeat ja koneista tietää visuaalisesti mistä laitteesta on kysymys. Mallinnettu ja visualisoitu tehdas toimii alustana tuotannon suunnittelulle ja tilojen käytön tehostamiselle. (Eriksson, A., Sedelius, E., Berglund, J. & Johansson, B., 2018)

Materiaalivirtoja kuvaavan datan keräämiseen tuotannosta voidaan hyödyntää muiden muassa RFID-tageilla tai viivakoodeilla varustettuja rullakoita, joiden kulkua tehtaalla

voidaan seurata. Reaaliaikainen tieto rullakoiden sijainnista mahdollistaa materiaalivirtojen tehokkaan hallinnan. Optimoimalla tavaravirtoja ja lisäämällä reaaliaikaisen tiedon hyödyntämistä useista lähteistä, voidaan huomioida tavaraerien kuljetukseen liittyviä kustannuksia, etäisyyksiä, prioriteetteja, määriä ja niin edelleen. Lisäämällä rullakoiden ja kuljettimien älykkyyttä, voidaan hyödyntää myös tietoverkkojen tarjoamia mahdollisuuksia, jolloin kuljettimet osaavat toimia itsenäisesti ja siirtää oikean tavaran oikeaan paikkaan oikeaan aikaan. (Zhang, Y., Zhang, G., Du, W., Wang, J., Ali, E. & Sun, S., 2015; Chongwatpol, J. & Sharda, R., 2013)



**Kuva 6 Digitaalisen kaksosen avainelementit (Tao, F. & Zhang, M., 2017)**

Kuva 6 on kuvattu avainelementtejä, joita DT:n luomiseen tarvitaan. Suuri osa elementteistä koskee dataa, tiedon käsittelyä tai keräämistä. Koska kukin järjestelmä toimii omalla alustallaan, se tuottaa omalla protokollallaan tietoa omia väyliään pitkin. Tiedon kerääminen eri väylistä soveltuvaan muotoon, datan klusterointi taustajärjestelmissä

analysoitavaan ja koneellisesti luettavaan muotoon sekä lopulta tiedon analysointi, käsittely, tiedosta oppiminen ja uusien tietojen antaminen ovat erittäin laaja kokonaisuus, joka vaatii suunnattoman paljon täysin automaattisesti hoituvia toimintoja. Koneet saavat myös päivittyä, jolloin tieto muuttuu ja rajapintoja pitää sovittaa uudelleen.

Haasteita datan käsittelyssä on useita. Suuri tietomäärä useista eri lähteistä, eri protokollilla ja eri muodoissa toimitettuna tulisi kyetä taltioimaan tietokantoihin tehokkaasti ja käytettävään muotoon. Toisekseen reaali maailman muuttujat ja epätarkkuudet aiheuttavat haasteita mallien tuottamiseen ja edelleen epätarkkuutta DT:n tuottamaan tietoon. Kun reaali maailman ja DT:n tiedot eroavat toisistaan, tulisi kyetä arvioimaan eroavaisuuksien syitä ja edelleen vaikutusta mallin toimintaan. Kaiken lisäksi tallennetun tiedon määrän kasvaessa kasvaa uhka tietomurroille ja tiedon ulkopuoliselle väärinkäytölle. (Tao, F. & Zhang, M., 2017)

Tiedon määrän kasvaminen haastaa yrityksiä ja pirstaloituneen tiedon kokoaminen tuottaa haasteita. Tiedon hyödyntäminen lienee teollisuuden suurin haaste lähitulevaisuudessa ja tietoa hyödyntävät toimijat voivat luoda itselleen kilpailuedun tiedon käsittelystä ja jalostamisesta. Kuten edellä on kerrottu, DT perustuu vahvasti reaali- ja virtuaali maailman välisen tiedon vuorovaikutukseen. Tiedon kerääminen tuotannosta kuitenkin vaatii jotain konkreettista ja olemassa olevaa, joten täysin uuden tehtaan luomisessa joudutaan kuitenkin muihin menetelmiin, koska tietoa ei vielä ole olemassa. Tässä teoreettisessa tilanteessa voitaisiin ehkä käyttää arvoketjun ylä- ja alapuolelta saatua dataa sekä muuta käytettävissä olevaa dataa reaali maailman objekteista. Voidaankin kysyä, missä kohtaa digitaalinen malli tai tehtaan kolmiulotteinen simuloitu ympäristö muuttuu digitaaliseksi kaksoseksi.

### **2.3.3 Yhteenveto DT:n hyödyntämisestä tehdassuunnittelussa**

Teollisen tuotantolaitoksen suunnittelu on monikerroksinen, laajaa osaamista vaativa ja pitkävaikutteinen hanke teolliselle yritykselle. Kirjallisuuden ja tieteellisten julkaisuiden kautta käy selväksi, että teollisuuden toimintaympäristö on muuttunut epävarmemmaksi,

eikä pitkän aikavälin näkymä ole enää yhtä selkeä kuin aiemmin. Tuotteiden elinkaaret ovat lyhentyneet, tuotteiden määrä on kasvanut ja samalla tuotteiden kustomointi on yleistynyt. Tämä johtaa suoraan eräkoon pienenemiseen ja tuotantokustannusten kasvuun, mikäli tuotantolaitosta ei ole suunniteltu näistä lähtökohdista. Myös tuotannon ohjaus ja materiaalivirtojen hallinta teollisuuslaitoksen sisällä on huomattavan tärkeässä roolissa.

Liiketaloudelliset ajurit tai yritysten itse asettamat tavoitteet vaativat investointeja tuotantolaitoksiin tai -tiloihin, mistä syntyy liikkeelle paneva voima uuden tehtaan perustamiselle tai olemassa olevan tuotantolaitoksen muuttamiselle paremmin tarpeita vastaavaan muotoon. Kerätyn aineiston pohjalta voidaan todeta, että tuotantolaitoksen suunnittelu toteutetaan vaiheittain, aineistosta riippuen vaiheiden määrä saattaa muuttua muutamasta selkeämmästä vaiheesta loputtomiin iteraatioihin. Prosessi lähtee liikkeelle ensivaiheessa suuren kokonaisuuden määrittelystä ja reunaehtojen asettamisesta hankkeelle: Tehtävien päätösten pohjalta määrittyvät muiden muassa tuotantolaitoksen tavoitekapasiteetti, karkeasti arvioitu tilatarve, tuotannon kustannustaso, käytettävissä oleva rahamäärä toimenpiteen toteuttamiseksi ja niin edelleen. Ensimmäinen vaihe määrittelee raamit

Ensimmäisessä vaiheessa tehtyjen linjausten jälkeen prosessissa siirrytään suunnitteluun, joka keskittyy tarkemmin ja analyttisemmin tuotantolaitokseen liittyviin yksittäisiin seikkoihin. Tutkitusta aineistosta riippuen tuotantolaitoksen suunnitteluun sisällytettyjen välivaiheiden määrä, sekä kussakin vaiheessa päätettävien tai suunniteltavien asioiden sisältö vaihtelee hieman lähestymistavasta riippuen. Yhteistä on, olipa välivaiheita yksi tai useampia, että konseptisuunnittelun jälkeen suunnitellaan yksityiskohtaisemmin esimerkiksi materiaalivirtoja, tilojen layoutia, varastojen sijaintia ja kokoja, tuotantoprosesseja, tuotantokoneiden tarvetta, kapasiteettia ja sijoittelua, kapasiteetin riittävyttä ja vaikkapa työvoiman tarvetta ja siitä syntyvää kustannusta. Välivaiheita voidaan pitää käytännön järjestelyiden määrittelynä, josta saadaan parempi käsitys tuotantolaitoksen toiminnasta.

Lopputuloksena hyvin suoritetusta suunnittelutyöstä saadaan viimeisessä vaiheessa tarkka käsitys vaadituista toimenpiteistä ja rajapinnoista tuotannon sisällä. Viimeinen vaihe voi käsittää tuotannon ohjaukseen ja materiaalivirtojen hallintaan liittyviä päätöksiä ja suunnitelmia. Näiden päätösten merkitys on suuri käytännön työssä ja prosessien toimivuudessa. Viimeisessä vaiheessa voidaan myös suunnitella valmiiksi koneiden, ihmisten ja tietovirtojen välisiä rajapintoja ja vuorovaikutusta. Lopulta suunnittelun perusteella voidaan tehdä investointipäätös sekä konkreettiset toimenpidesuunnitelmat käytännön työn aloittamiseksi. Hyvin toteutettu suunnittelu minimoi investointiin tai muutostoimenpiteeseen liittyvät riskit ja lisäksi suunnittelun osana on tuotettu riittävä määrä tietoa liiketaloudellisten päätösten tueksi.

Tutkitun aineiston pohjalta voidaan todeta, että koska tehdassuunnittelu ja tuotantolaitosten toiminnan suunnittelu on hyvin laaja kokonaisuus, on ollut suuri tarve kehittää lukuisia menetelmiä eri vaiheiden ja osa-alueiden arvioinnin ja ennustamisen tueksi. Yhtäältä voidaan tarkastella tai mallintaa simuloimalla vaikkapa fyysisiä materiaalivirtoja tuotantolaitoksessa, toisaalta voidaan seurata samaa logistista ketjua arvovirtamenetelmällä osana tuotantoprosessia. Vaikka molemmat menetelmät koskettavat osin samaa asiaa, on niiden tuottama tieto eri sisältöistä ja päätöksen teossa tiedon merkitys on erilainen. Edelleen ratkaisuilla on vaikutusta tehokkuuteen tai kokonaisuuteen sitoutuvaan rahassa mitattavaan pääomaan. Kaikki tuotantolaitoksen yksittäiset pienet osaset ovat tiiviissä riippuvuussuhteessa toisiinsa ja yhden palasen muuttaminen vaikuttaa koko tuotantolaitokseen niin tehokkuudessa, taloudessa, kapasiteetissa kuin tilankäytössäkin.

Laajan tietomäärän hallinta on haastavaa, joten päätöksenteon tueksi tarvitaan koostettua tietoa. Digitaalisen kaksosen konsepti on siirtynyt yksittäisten koneiden ja laitteiden elinkaarensuunnittelusta myös teollisuuslaitosten toiminnan suunnitteluun. Simuloidun tai virtuaalisen tehtaan ero digitaaliseen kaksoseen ei ole selvä. Aineisosta riippuen virtuaaliseen tehtäseen on saatettu siirtää jo niin paljon tietoa, jopa reaaliaikaisesti, että se täyttää jo hyvin DT:n määritelmän. Keskeisin yksittäinen erottava tekijä lieneekin

digitaalisen mallin tuottaman tiedon takaisinkytkentä reaali maailmaan, eli esimerkiksi tuotantolinjan arvojen tai tuotantosuunnitelman säätäminen virtuaalisessa ympäristössä tehtyjen prosessien tai analyysien pohjalta.

DT soveltuu tutkitun aineiston perusteella hyvin teollisuuslaitoksen suunnitteluun juuri suuren tietomäärän hallittavuuden ja tiedon ymmärrettävään muotoon saatavuuden perusteella. Suuren tietomäärän käsittely mahdollisuus ja tiedon ristiinkytkentä tuottaa päätöksentekoon entistäkin parempaa ja kokonaisvaltaisempaa tietoa, minkä pohjalta voidaan tehdä parempia päätöksiä.

Digitaalinen kaksonen vaatii suuren määrän tietoa kaikesta tuotantolaitoksen toiminnasta. Tiedon kerääminen ohjelmistoista, tuotannon koneista ja laitteista, prosesseista ja materiaalivirroista ovatkin keskeisessä roolissa DT:n mallin luomisessa. Jotta tiedon keruu ja toisaalta käsitellyn tiedon palauttaminen tuotantoon sujuu, täytyy yksiköiden välisten rajapintojen olla sovitettavissa yhteen. Pelkkä tiedonvaihdon mahdollistaminen voi vaatia suuren määrän työtä niin koneiden kuin ohjelmistojen osalta, mikä asettaa vaaditun osaamistason varsin korkeaksi ja laaja-alaiseksi. Edelleen täydellinen järjestelmäintegraatio halki tuotantolaitoksen kaikkien operaatioiden tuottaa huomattavia kustannuksia. Erityistä haastetta tuottaa ne tuotannon tai prosessien osat, joissa ei ole koneita tai ohjelmistoja, vaan tieto joudutaan keräämään muilla tavoilla. Esimerkiksi rullakon tai muun materiaalin liikkuminen tuotantolaitoksen sisällä voi vaatia erillistä tekniikkaa, jotta tieto saadaan siirrettyä riittävän reaaliaikaisesti ja luotettavasti taustajärjestelmään.

Aineistosta käy ilmi, että tietoon pohjautuvassa mallissa on haasteensa. Kuten aiemmin kuvattiin, tiedonkäsittelyn rooli nykyaikaisessa tuotantolaitoksessa saa todella suuren roolin. Kun tuotannon jokainen solu on liitetty tietoverkkoon ja jokaisen solun jokainen liike on tallennettuna palvelimille, kasvaa järjestelmän haavoittuvuuden riski alati. Tiedon käsittelyn ja turvallisuuden suhde onkin haasteena, sillä toisaalta malli tarvitsee parhaalla mahdollisella tavalla toimiakseen eri organisaatioiden välistä tiedonvaihtoa,

minkä vuoksi rajapintoja on pyritty standardoimaan ja avaamaan. Samalla rajapinnat mahdollistavat rikollisessa tai vahingollisessa mielessä tarkoitetut hyökkäykset tuotantolaitosta kohtaan.

Teoreettisessa viitekehyksessä tarkasteltuna on mielenkiintoista, että DT:n määrittämisenä on reaali maailman ja virtuaalisen maailman keskinäinen vuorovaikutus ja ristiinkytkentä. Tämä määrittelmä johtaa siihen, ettei täysin tyhjästä perustettavaa tehdasta voida suunnitella suoraan digitaalisesti kaksosiksi, vaan jokainen tyhjästä perustettu tuotantolaitos, johon ei voida siirtää tietoa vanhasta olemassa olevasta tehtaasta, joutuu käymään läpi Kuva 4 esitetyt evoluutiotasot alkaen tasolta kaksi. Käytännössä tämä tarkoittaisi simuloitujen ympäristön pohjalta rakennettua tietomallia, joka hiljalleen jalostuisi paremmaksi ja aikanaan fyysisen tehtaan toteuduttua järjestelmä saavuttaisi todellisen virtuaalisen kaksosen jalostuneimman muodon, eli tietomalli kykenisi vuorovaikuttamaan fyysisen maailman järjestelmien kanssa.

Koko aineiston yhteenvetona voidaan perustellusti kysyä, tuottaako DT tehdassuunnittelussa lainkaan tai kuinka paljon lisäarvoa. Aineistosta nousee esille, että DT:n luomiseen vaaditut investoinnit ovat niin suuria, ettei pienen tai keskisuurenkaan yrityksen resurssit taloudellisessa tai osaamisen näkökulmasta riitä mallin luomiseen. On selvää, että suurissa mittakaavassa DT:n soveltaminen tuottaa hyötyä, mutta onko hyöty riittävä suhteessa panostuksiin, kun kyseessä on pienempi toimija. Tutkimuksen seuraavaa osiota varten kirjallisen aineiston pohjalta tehty katsaus luo mielenkiintoisen asetelman: Ei ole selvää, tuottaako DT lisäarvoa pk-yritykselle. Tämän tiedossa olevan aukon selvittämiseksi tutkimuksen seuraavassa osiossa tutkitaan DT:n soveltuvuutta pk-yrityksen tarpeisiin.

Kirjallisuuskatsauksen perusteella selvitettäviä asioita aiemmin mainittujen tutkimuskysymysten ohella ovat:

- Onko organisaatiossa osaamista, jota DT:n luominen vaatii?
- Jos osaamista ei ole, onko sitä saatavissa ulkopuolelta?

- Onko mallin tuottama tieto niin hyödyllistä, että DT:n luominen on kannattavaa?
- Mitä muuta kuin taloudellista lisäarvoa DT voisi tuoda yritykselle?
- Kannattaako tietomallilla tai DT:llä tavoitella atomistista tasoa, vai saadaanko päätöksentekoon riittävä tieto holistisemmalla ja ei niin tarkalla mallilla?

Nämä kysymykset toimivat empiirisen tapaustutkimuksen taustana ja lisäkysymyksinä, mutta niihin ei lähdetä erikseen etsimään vastausta. Mikäli haastatteluaineistosta kuitenkin saadaan selville vastauksia mainittuihin kysymyksiin, parantaa se entisestään käsitystä DT:n mahdollisesta roolista ja merkityksestä pienissä ja keskisuurissa yrityksissä.

Pyrin selvittämään tieteellisistä lähteistä vastaukset kahteen ensimmäiseen tutkimuskysymykseeni. Ensimmäinen tutkimuskysymyksen kuuluu: *Miten digitaalista kaksosta voidaan hyödyntää tehdassuunnittelussa?* Digitaalisen kaksosen rooli eri tehdassuunnittelun vaiheissa on laaja: DT voi parantaa suunnitelmia tietomalleilla ja algoritmeilla muiden muassa layoutin, prosessien, rajapintamäärittelyiden tai vaikkapa tavaravirtojen ja tuotannonohjauksen etukäteisessä mallinnuksessa. DT:n tuottama hyöty tai lisäarvo on Jiapeng, Ning, Lin, ja Saipeng (2019) mukaan tietojen validointi, estimaatioiden tuottaminen ja rajapintojen luominen, mikä vastaa tutkimuskysymykseeni tuotetusta lisäarvosta yleisellä tasolla, joskaan ei kohdennetusti pienien ja keskisuurten yritysten tapaukseen.

Toinen tutkimuskysymyksen on *Millaista tietoa tuotantolaitoksen digitaalisen kaksosen luomiseen tarvitaan?* Tähän kysymykseen on varsin helppo vastata kirjallisuuden kautta. Digitaalisen kaksosen tekee olevaksi juuri reaali maailman ja virtuaalisen maailman välinen tieto, tiedon koostaminen ja käsittely. Tao ja Zhang (2017) jakavat tiedon neljään kategoriaan, joista ensimmäinen on tuotantolaitoksen fyysiset realiteetit. Näihin lukeutuu tilojen ja koneiden mallintaminen sekä toiminnalliset rajoitteet. Olemassa olevan tehtaan tapauksessa voidaan hyödyntää esimerkiksi laserkeilausta. (Eriksson, A., Sedelius, E., Berglund, J. & Johansson, B., 2018) Keskeinen rooli tehdassuunnittelussa on visuaalisella tehdasmallilla, Vaadittu tarkkuus ei ole kuitenkaan suuri. Materiaalivirtoja



voidaan puolestaan seurata vaikkapa RFID-tageilla tai viivakoodeilla. (Chongwatpol, J. & Sharda, R., 2013) Toinen Taon ja Zangin (2017) määrittelemistä luokista on palvelu, eli käytännössä tietojärjestelmien tuottama data. Tämä on useimmissa yrityksissä käytettävissä. Toiminnanohjausjärjestelmän ohella voi olla muita järjestelmiä, kuten tuotannon-, tai varastonhallintaohjelmistoja. Olemassa olevista tietojärjestelmistä ja niiden rajapinnoista tieto on saatavissa helposti. Kolmas tiedon taso on digitaalinen malli, joka on toisinto reaali maailman vastavasta kokonaisuudesta. Käytännössä kolmannen tiedon tasolle päästään kopioimalla asiat digitaaliseen järjestelmään, josta aikanaan voidaan siirtyä neljänteen luokkaan eli digitaalisen kaksosen tasolle tietojen fuusioimiseen ja jatkokäsittelyyn. Kirjallisuuden perusteella tieto on kohtuullisella vaivalla kerättävissä eri lähteistä, joten haaste liittyy enemmän rajapintoihin, tiedon koostamiseen ja -käsittelyyn seuraavilla tasoilla.

## 3 Empiria

### 3.1 Tutkimusmenetelmät

Tämän tutkimuksen tavoitteena on selvittää DT:n tuottamaa lisäarvoa teollisen pk-yrityksen tehdassuunnitteluun. Tässä tutkimuksessa käytetään laadullista tutkimusmenetelmää, tarkemmin sanottuna kirjallisuuteen ja artikkeleihin sekä toteutettuun teemahaastatteluun pohjautuvaa sisältöanalyysiä. Ensimmäisessä vaiheessa olen käynyt läpi kirjallisuutta ja tutkimuksia aiheen teemoihin liittyen, mikä on parantanut ymmärrystä aiheen laajuudesta ja viimeisimmistä tutkimusten tuloksista. Kirjallisuuskatsauksen kautta olen vahvistanut tutkimuksen teoriataustaa, mikä on lisännyt tutkimuksen luotettavuutta ja tieteellistä laatua. Kirjallisuuskatsauksen jälkeen olen toteuttanut haastattelun kahden yrityksen edustajille. Teemahaastattelun tuloksena on syntynyt käsitys kirjallisuuskatsauksessa hankitun teoretisen tiedon soveltuvuudesta case-yrityksiin. Kyseessä on puolistrukturoitu haastattelumenetelmä, mikä tarkoittaa sitä, että kaikille haastatelluille on sama aihepiiri tai haastattelun teema, mutta varsinaista tiukkaa ja järjestyssidonnaista kysymysrunkoa ei ole. (Hirsjärvi, S. & Hurme, H., 2000) Teemahaastattelun vahvuutena tässä tutkimuksessa on se, että haastateltavien annetaan vastata omassa haluamassaan laajuudessa esitettyihin kysymyksiin. Lisäksi teemahaastattelu korostaa yksilön näkemystä aiheeseen liittyen ja antaa vapauksia asian käsittelylle teeman ympärillä. Kysymykset on muotoiltu siten, että ne johdattavat vastaamaan tutkimuksen aiheeseen liittyen. Tarvittaessa voidaan tarkentaa saatuja vastauksia jatkokysymyksillä ja tarkemmilla termeillä, jotta keskustelu pysyy alkuperäisessä teemassa. Haastattelun tieto on analysoitu sisältöanalyysin avulla, mikä tarkoittaa tiedon koostamista siten, että haastateltujen esille nostamista seikoista on eritelty yhteneväisyyksiä ja eroavaisuuksia, mistä on muodostettu ehyt kokonaisuus teemasta ja tulosten suhteesta teoretiseen tietoon. (Tuomi, J. & Sarajärvi, A., 2018)

Teemahaastattelut toteutettiin pääasiassa kasvokkain tapahtuneissa haastatteluissa, mutta lisäksi käytettiin etähaastattelua ja sähköpostihaastattelua. Haastatteluja oli yhteensä neljä kappaletta ja haastattelut toteutettiin toimihenkilö- ja johtotasoille.

Haastateltavat pyrittiin valitsemaan siten, että ne kuvaavat tehdassuunnitteluun liittyvään päätöksentekoon osallistuvia organisaation edustajia mahdollisimman laaja-alaisesti. Lisäksi haastateltiin vähintään yhtä yrityksen omistajaa kummastakin yrityksestä. Kummankin haastateltavan yrityksen osakas osallistuu itse myös hallituksen työhön sekä jokapäiväiseen operatiiviseen työskentelyyn. Tutkimuksen lähdeaineistona käytettiin haastatteluja sekä organisaatioiden dokumentteja.

## **3.2 Tapausesimerkkeinä kaksi teollista pk-yritystä**

### **3.2.1 Case-yritys X**

Yritys X on tekstiiliteollisuuden toimija, joka on perustettu alle kymmenen vuotta sitten. Yritys on vielä varsin nuori, mutta kasvu on ollut jatkuvaa ja voimakasta. Liikevaihto vuonna 2020 yrityksellä oli noin kaksi miljoonaa euroa ja työntekijöitä yhtiössä oli noin kaksikymmentä. Jopa kymmenien prosenttien liikevaihdon kasvu on toteutunut useana vuonna. Kasvu on haastanut omaa tuotantoa, jotta kapasiteettia on saatu kasvamaan kysynnän mukana. Liiketoiminta on keskittynyt yhteen toimipaikkaan Suomessa, missä sijaitsee sekä yrityksen toimisto-, tuotanto- että varastotilat. Liiketoiminnan kannattavuutta kuvaavat yrityksen vahvat yli 40 % sijoitetun pääoman tuotto sekä yli 25 % liikevoitto. Erinomainen kannattavuus yhdistettynä yli 80 % omavaraisuusasteeseen kuvaavat hyvin liiketoiminnan tervettä ja erittäin kannattavaa tilaa, jossa myös toimitiloihin investointi on sekä mahdollista että tarpeellista.

Tutkimusta varten haastattelin yrityksen omistajatoimitusjohtajaa sekä tuotantopäälliköä. Yrityksessä on hyvin pieni määrä toimihenkilöitä ja toimitusjohtaja päättää yksin tai yhdessä tuotantopäällikön kanssa tuotantotilojen uudistamisesta sekä tehdassuunnittelusta. Haastateltavat kuvasivat (Haastattelu 20.10.2021) yrityksen parhaillaan toteuttavan tuotantotilojen kehitysprojektia tavoitteenaan olemassa olevien tilojen uudelleen järjestely ja tilankäytön tehostaminen. Heikko tilankäyttö johtaa henkilöstön turhautumiseen ja epätehokkuuteen, kun tuotantokoneet ovat liian tiiviisti sijoiteltu eikä tuotantotiloissa mahdu liikkumaan tai siirtämään tavaroita vaivatta.

Case-yritys X on erittäin mielenkiintoinen tutkimuskohde: Yrityksen kasvuhakuisuus sekä jatkuvassa uudistustarpeessa oleva tehdas vaativat avainhenkilöiltä vahvaa näkemystä tehdassuunnittelusta ja kehittämisestä, jotta yritys voi menestyä jatkossakin. Tuotannon skaalaaminen ja tehdasinvestoinnit jatkuvasti kasvavan kysynnän mukana on hyvin haastavaa. DTn käyttöä yrityksen X tapauksessa tulee tutkia ja haastattelujen pohjalta syntyä ymmärrys DTn soveltuvuudesta käytäntöön.

### **3.2.2 Case-yritys Y**

Yritys Y on teollisuusyritys, jonka palveluksessa on noin 140 henkilöä ja liikevaihto noin seitsemän miljoonaa euroa. Yrityksen tuotanto tapahtuu pääasiassa kahdessa eri toimipisteessä. Yrityksen pyrkimyksenä on jatkuva ja kannattava kasvaminen kansainvälisillä markkinoilla, mutta kasvua rajoittaa ensisijaisesti tuotannon skaalaaminen. Yritys onkin juuri toteuttanut tehdasinvestointeja ja uusien toimitilojen käyttöönottoja molemmissa toimipisteissään, minkä lisäksi yhtiö suunnittelee toimitilojen laajennusta edelleen.

Tutkimuksen kannalta yritys on erinomainen kohde, sillä se myy itse valmistamiaan tuotteita ja toimintaa pyritään kasvattamaan määrätietoisesti viennin kautta. Yrityksellä on myös parhaillaan toteutuksen alla olevia toimitilahankkeita sekä suunnitteilla oleva uusi tehdasinvestointi. Yrityksen liikevaihto on ollut melko vakiintunut. Yritys on kyennyt säilyttämään yli 10 % liikevoiton sekä noin 15 % sijoitetun pääoman tuoton omavaraisuuden ollessa yli 85 %.

Tutkimukseen haastateltiin kahta yrityksen edustajaa: kehitysjohtajaa sekä digitalisatiojohtajaa, jotka ovat samalla yhtiön osakkaita. Toinen haastatelluista toimii myös hallituksen jäsenenä, joten otannalla saadaan kohtalainen käsitys organisaation tehdassuunnittelun periaatteista ja mahdollisuudesta hyödyntää digitaalista kaksosta.

### 3.3 Tehdassuunnittelun merkitys case-yrityksissä

Yrityksen X toimitusjohtaja ja tuotantopäällikkö kuvasivat nykyistä tehdassuunnittelua reaktiiviseksi. Yrityksessä ei ole kartoitettu kehittämistarpeita eikä niitä ole myöskään priorisoitu. Kehittämistä tehdään avainhenkilöiden parhaaksi katsomassa järjestyksessä ja usein vasta kun epätoivottu tilanne tai ilmiö havaitaan. Toiminnasta puuttuu suunnitelmallisuus, mikä näkyy haasteena esimerkiksi toimitilasuunnittelun ja muutosprosessien organisoinnissa sekä aikatauluissa. Toimitusjohtaja kuvaa muutosprosessien lähtevän liikkeelle jostain parhaaksi katsotusta paikasta, minkä jälkeen tehdään muutoksia tarvittava määrä ja sitten tarkastetaan tuotantoajan muutosta. Myös tuotantopäällikkö kuvaa tuotantoaikaa hyvin keskeiseksi mittariksi, jolla tuotannon kehityshankkeiden onnistumista voidaan arvioida jälkikäteen. Uuden koneen sijoittelussa tuotantotiloihin haastateltavat kuvaavat hyödynnetyn tuotantotilojen visualisointia. Tiloista luotu 3d-malli auttoi layout-suunnittelussa ja muutosjärjestyksen hahmottamisessa. Toimitusjohtajan mukaan tehdassuunnittelun tavoitteena on lähtökotaisesti toimenpiteen kannattava toteutus. (Haastattelu 20.10.2021)

Yritys Y kuvaa tehdassuunnittelua toteutetun toimitilojen layout-muutoksen kautta: prosessi alkoi uusien koneiden hankinnan valmistelusta, olemassa olevien tuotantotilojen mallinnuksella ja layout-suunnittelun toteutuksella digitaalisesti. Kun hankinnat oli toteutettu, digitaaliset layout-mallit mahdollistivat tilan fyysisten muutosten valmistelun ja työn organisoinnin. Kaikkiin toimitilamuutoksiin ei sovelleta suunnitelmallista menettelmää, vaan toisinaan muutoshankkeet toteutetaan nopeasti päätöksen jälkeen ilman suunnittelua. (Haastattelu 15.2.2022)

Molempien yritysten kohdalla korostuu kokemukseräisen tiedon merkitys toimitilamuutosten johtamisessa. Toiminnan reaktiivisuus ja matala suunnitelmallisuus on pienelle yritykselle luonnollista ja toiminnan joustavuus on myös osin edellytys markkinoilla pärjäämiselle. Kyvystä tehdä nopeita muutoksia syntyy jopa kilpailuetua pienelle yritykselle. Koska haastateltavat yritykset ovat eri kokoisia, on haastattelun tulosten pohjalta selvästi nähtävissä murros, jonka yritys joutuu kohtaamaan

kasvaessaan. Kun työntekijöiden määrä kasvaa ja tuotanto skaalautuu suuremmaksi, on suunnitelmallisuudelle ja systemaattiselle toiminnalle huomattavasti suurempi tarve. Tehokas ja suurempi tuotanto vaatii suunnitelmallisuutta ja näkyvyyttä pidemmälle tulevaisuuteen kuin pienemmän yrityksen nopeisiinkin muutoksiin sopeutuva tuotanto. Suunnittelulla haetaan selkeästi ennakoitavuutta erityisesti syntyviin kustannuksiin, mutta myös arvioita kapasitetin kasvun mahdollisuuksista uusissa tuotantotiloissa. Kannattavuuteen ja tehdasinvestointien takaisinmaksuun ei sen sijaan kiinnitetty huomioita haastatteluissa.

### **3.4 Tiedon keruun mahdollisuudet case-yrityksissä**

Tässä luvussa tarkastellaan tapausyritysten kyvykkyyttä ja mahdollisuuksia kerätä tietoa tuotannostaan. Kerättyä tietoa tulisi hyödyntää digitaalisen kaksosen kehittämiseen ja siksi datan merkitys on olennainen osa DT:n luomista. Luvussa käsitellään ja vertaillaan kahden haastatellun yrityksen toimintatapoja tiedon keruussa sekä tietojärjestelmien että tuotannon koneiden näkökulmasta.

Yritys X seuraa yksittäisten projektien kulkua aikaperusteisesti tuotannossaan. Yritykselle tuotantoaika on yksi parhaista ja keskeisimmistä mittareista, jolla tuotannon tehokkuutta ja toimivuutta voidaan seurata. Yksittäistä valmistuserää yrityksessä kutsutaan projektiksi. Valmistuserän kulkua tuotannossa seurataan keräämällä aikatieta projektin etenemisestä valmistuksen eri vaiheissa. Aikatietaon kertyy tietoa siitä mitä tuote-erälle on tehty kussakin vaiheessa. Lisäksi kertyy tietoa siitä missä vaiheessa tuote on ollut odottamassa tuotantoon pääsyä. Aikatiedot kerätään yhteen tietojärjestelmään, josta koostettu tieto on luettavissa suoraan tai siirrettävissä rajapintojen kautta toisiin järjestelmiin käsiteltäväksi. Tieto kirjataan järjestelmään manuaalisesti syöttämällä, mikä rajoittaa tiedon sisältöä ja tarkkuutta. Erillinen kirjaus vaatii paljon aikaa, mikä rajoittaa tarkemman tiedon tallennusta järjestelmiin. (Haastattelu 20.10.2021)

Haastateltavien mukaan yrityksen X käyttämä toiminnanohjausjärjestelmä, eli ERP-järjestelmä käsittää muiden muassa yrityksen varastotiedot. Haastateltavat eivät tiedä,

onko ERP-järjestelmässä suoraan rajapintaa tietojen siirtoon ulkoisiin järjestelmiin. Haastateltavat olivat varmoja siitä, että ohjelmistotoimittaja voi tarvittaessa järjestää ja luoda tarvittavat rajapinnat, mikäli niitä ei ole valmiiksi olemassa. (Haastattelu 20.10.2021)

Yritys Y on siirtynyt muutama vuosi sitten uuteen toiminnanohjausjärjestelmään, joka sisältää niin talouden, tuotannon kuin varastonhallinnan työkalut. Yritys Y on huomattavasti toista case-yritystä suurempi, mikä näkyy tiedon määrässä. Tuotannosta kerätään jatkuvasti tietoa työnumerokohtaisista tuotantoajoista, mikä mahdollistaa tehokkuuden jatkuvan mittaamisen jokaisen tuotantoerän kohdalla. Tuotantoerän työmäärä ja materiaalikulutus vaikuttavat tuotteiden hinnoitteluun ja tiedon pohjalta tehdään tuotantosuunnitelmia ja materiaalitarkastuksia. Tietoa kerätään tuotannon eri vaiheissa muuten muassa RFID-pohjaisella työkalulla, viivakodeilla, hyllypaikkarekistereillä ja kulunvalvontakorteilla. Tieto koostetaan pääasiassa toiminnanohjausjärjestelmään tai joihinkin erillisiin tietojärjestelmiin, joista tietoa koostetaan ja käsitellään tarkoituksen mukaisella tavalla. Yrityksen tietomäärä on kasvanut huomattavasti muutaman vuoden kuluessa ja tiedon määrän kasvu nopeutuu jatkuvasti, kun eri tietolähteistä aletaan keräämään ja koostamaan tietoa. (Haastattelu 15.2.2022)

Case-yritys Y:n digitalisaatiojohtaja kuvaa haastattelussa konekannan uudistumisen mahdollistamasta tiedonkeruusta. Uudet tuotantokoneet ja tuotantolinjat tuottavat itsenäisesti käyttäjilleen merkittävästi tietoa ja statistiikkaa koneen toiminnasta. Kun tämä tieto vain kerätään tietokantoihin, on se myöhemmin hyödynnettävissä esimerkiksi algoritmien tai sääntöperustisten tietomallien luomisessa. Suurin haaste tiedon keruussa ovatkin täysin manuaaliset työvaiheet, joista tieto on huomattavasti hankalampaa kerätä ja tiedon tarkkuus sekä luotettavuus on merkittävästi heikompaa kuin suoraan tuotantolinjan lokitietoihin pohjautuvat tiedot. Digitalisaatiojohtaja kuvaa, että pitkällä aikavälillä yritys Y kykenee hyödyntämään kertynyttä tietoa mallien kehittämiseen, tuotannon suunnitteluun simulointien kautta sekä erityisesti skenaariotyöskentelyyn. Erilaisten tuotantoskenaarioiden hyödyntäminen helpottaa muutoksiin reagoimista ja tekee suuremmastakin yrityksestä ketterämmän. (Haastattelu 15.2.2022)

Yrityksen Y digitalisaatiojohtaja totesi: ”mitä enemmän validia dataa, sen helpompaa on simuloida”. Haastattelussa (15.2.2022) hän korostaa, että skenaarioiden rakentaminen on todella vaikeaa, jos tietoa ei ole. Samalla lähtöaineisto vaikuttaa aina lopputulokseen, joten tiedon keruun luotettavuus on avainasemassa. Kumuloitunutta tietovarantoa digitalisaatiojohtaja pitää algoritmien ja tietomallien ”ruokana”, jota ilman järjestelmiä ei voida kehittää. Uudet tuotantokoneet, ohjelmistot ja toiminnanohjausjärjestelmät tarjoavat lähtökohtaisesti tarvittavat rajapinnat tietojen käsittelyyn, syöttöön ja jakamiseen. Yrityksen X toimitusjohtaja kehuu heidän ERP-toimittajansa innokkuutta jopa täysin uusien rajapintojen kehittämiseen ja vapauttamiseen (Haastattelu 20.10.2021). Vastaavaa kokemusta helposta integraatiosta ja rajapinnoista ei puolestaan ole yrityksen Y edustajilla, vaan integraatiot ja rajapinnat ovat usein vaikeita ottaa käyttöön ja järjestelmätoimittajan hitaus aiheuttaa haasteita.

Tiedon määrä ja validiteetti, eli paikkansa pitävyys ovat olennaisia tietomallien kehityksen osalta, kuten Tao ja Zhang (2017) kuvaavat. Epätarkka tieto tuottaa epätarkkoja tuloksia, kuten yrityksen Y edustaja totesi. Tiedon prosessointiin ja käsittelyyn liittyvät haasteet ovat suuremman tutkimuksessa haastatellun yrityksen kohdalla selvästi tunnistettuja ja niihin on myös haettu ratkaisuja, vaikka tuotanto ei ole Taon ja muiden (2017) määrittelemän evoluutioportaikon korkeimmalla tasolla. Digitalisaatiojohtajan mukaan yritys Y on tason kaksi ja kolme välissä, kehittymässä kohti kolmatta evoluutiotasoa.

Tuloksissa korostuu haastateltujen yritysten koko- ja osaamisero. Siinä missä pienemmän yrityksen toiminnot vaikuttavat joustavilta ja helpohkoilta, näkyy suuremman yritys Y:n kohdalla jo merkittävää kankeutta toiminnoissa. Myös organisaatioiden valitsemat järjestelmät ovat eri kokoluokan toimintoihin suunnitellut, mikä vaikuttaa järjestelmien joustavuuteen ja sopeutuvuuteen eri tilanteissa. Tulosten vertaaminen myös tuo esiin tosiseikan, ettei pienemmällä yrityksellä ole tietojärjestelmät sitoutuneet niin kiinteäksi osaksi toimintaa, kuin suuremmalla verrokillaan. Suuremman tutkimuskohteena



olleen yrityksen voi myös todeta omaavan enemmän kokemusta käytännön integroinneista ja rajapinnoista kuin pienemmän.

Suuremmalla yrityksellä on selvästi kyky tuottaa, hallita ja koostaa tietoa huomattavasti kyvykkäämmin kuin pienemmällä vertailuyrityksellä. Organisaation sisäisessä osaamisen tasossa on merkittävä ja selvästi todennettava ero suuremman eduksi. Y yrityksen digitalisaatiojohtaja kuvailee suoraan, kuinka olemassa olevan tiedon pohjalta luodut digitaalisen kaksosen algoritmit voitaisiin tulevaisuudessa laittaa simulaatioiden pohjalta ohjaamaan tuotantokoneita scada-järjestelmän, eli valvomo-ohjelmiston läpi, jolloin tiettyä prosessin osaa voitaisiin kiihdyttää tarpeen mukaan. (Haastattelu 15.2.2022) Pienemmän yrityksen tapauksessa tuotantopäällikkö toteaa, että ensimmäiseksi heidän tulisi alkaa selvittää mahdollisuuksia markkinoilla olevien ohjelmistojen ja ratkaisuiden tarjoajista, jotka voisivat auttaa digitaalisen kaksosen luomisessa, kehittämisessä ja käyttöönotossa. (Haastattelu 20.10.2021).

Tehdassuunnittelussa suuremmalla yrityksellä on selvästi paremmat valmiudet tiedolla johtamiseen kuin pienemmällä yrityksellä. Tämä voi selittyä järjestelmätason eroista: pienemmän yrityksen toimintaa pystytään ohjaamaan hyvin ilman tietojärjestelmiä, kun taas suuremman yrityksen toiminnan ja tuotannon ohjaaminen vaatii toimiakseen tietojärjestelmiä ja suunnitelmallisuutta. Kun toiminnan organisoinnin kannalta välttämättömät järjestelmät ovat käytössä, jokaisesta toimenpiteestä jää lokiin merkintä, mitä voidaan hyödyntää myöhemmin eri tarkoituksiin.

Yritys Y:n digitalisaatiojohtaja visioi tulevaisuuden tehdasta, jonka tavaravirrat olisivat mallinnettu täydellisesti etukäteen. Hän kuvaa ratkaisua, jossa olemassa olevien sisäisen tietoverkon tukiasemien mahdollisuudet valjastettaisiin käyttöön siten, että niiden kautta voitaisiin luoda bluetooth-pohjainen sisäpaikannusjärjestelmä kaikille tehtaan sisällä liikkuville kohteille. Kun jokaisen rullakon, kuormalavan ja ihmisen varustaisi paikantimella, saataisiin jatkuvasti tietoa siitä, missä mitäkin tapahtuu, miten materiaali virtaa ja missä se viettää aikaa. Koostetun tiedon pohjalta voitaisiin simuloida myöhemmin

uuden tehtaan materiaalivirrat todellisuuteen pohjautuvan tiedon perusteella. (Haastattelu 15.2.2022)

Kuten aiemmin todettiin, on digitaalista kaksosta hyödyntävän tehdassuunnittelun pohjauttava olemassa olevaan tietoon siitä syystä, että digitaalinen kaksonen vaatii reaaliaikaisesti kerättyä dataa, jotta tiedosta voidaan jalostaa parempaa tietoa liiketoimintapäätösten tueksi. Haastatteluiden pohjalta voidaan todeta, että mitä enemmän tuotannossa hyödynnetään automaatiota ja tuotantokoneita, sekä mitä uudempia käytettyjä koneita ja tietojärjestelmiä ovat, sitä paremmin laitteet tukevat tiedon keruuta ja kaksisuuntaista kommunikaatiota.

### **3.5 Digitaalisen kaksosen mahdolliset hyödyt case yrityksissä**

Tässä luvussa käsitellään digitaalisen kaksosen mahdollisia hyötyjä tapausyrityksissä. Tutkimuksen kohteena olevat yritykset ovat molemmat pk-yrityksiä, joiden valmistus tapahtuu oman organisaation sisällä. Tavoitteena on selvittää, voiko DT tuottaa lisäarvoa yrityksille tehdassuunnittelussa ylipäätään ja jos voi, millaista lisäarvoa DT:n käyttö tuottaa. Luvussa pyritään löytämään eroavaisuuksia, mitä kohdeyritysten välillä on, sekä lisäksi tunnistamaan yhteisiä lisäarvotekijöitä. Tämän pohjalta voidaan arvioida yleisiä ja yksilöllisiä lisäarvotekijöitä.

Digitaalinen kaksonen herättää moninaisia reaktioita. Eräs haastateltu aloittaa lisäarvopotentialin arvioinnin sanoen: ”oksettaa, kun se digitaalinen kaksonen on semmoinen konsulttisana, vaikka se todellisuudessa se onkin ihan oikea asia.” Yritys Y:n edustajat toteavat, että lisäarvo ”riippuu siitä keneltä kysyy”. Jokainen organisaatiossa voi saada DT:stä lisäarvoa hieman eri tavalla. Siinä missä logistiikan suunnittelija pyrkii selvittämään ja optimoimaan tavaravirtoja ja informaation kulkua, tuotantopäällikkö tavoittelee optimaalista layout-suunnitelmaa tehtaan sisälle jouhevan tuotantoprosessin varmistamiseksi.

Yritys X:n tuotantopäällikkö kuvasi digitaalisen kaksosen mahdollisia hyötyjä moninaisesti tehdassuunnittelun tapauksessa (Haastattelu 20.10.2021). Ensisijaisesti digitaalinen kaksonen auttaisi näkemään mahdollisia haastekohteita tuotannossa jo suunnittelun kartoitusvaiheessa. Tämä helpottaisi tehdassuunnittelun ja muutoshankkeiden organisointia ja toimenpiteiden priorisointia sekä käytännön toteutusta huomattavasti. Haastattelun mukaan visuaalisuus on keskeinen lisäarvoa tuottava ominaisuus.

Myös yritys Y korostaa informaation visualisoinnin merkitystä. Kehitysjohtajan sanoin: ”Jos on liikaa numeerista dataa, niin sitä ei pysty ihmiset hyödyntämään.” Suuri tietomäärä jopa hankaloittaa toiminnan ohjausta, kun kaikkea käytettävissä olevaa tietoa ei ole saatavilla ja suuren tietomäärän käsittely on manuaalisesti hyvin haastavaa. Jos sen sijaan tietoa pystyisi koostamaan, käsittelemään ja muokkaamaan visuaaliseen muotoon, lisäksi se haastateltujen mukaan toiminnan läpinäkyvyyttä, mikä edelleen helpottaisi toiminnan johtamista ja ongelmakohteiden tunnistamista. (Haastattelu 15.2.2022)

Kehitysjohtaja yrityksestä Y nostaa skenaarioinnin keskeiseksi lisäarvoksi. Nykyaikaisen tuotantolaitoksen näkymä voi olla hyvin lyhyt tulevaisuuteen. Tästä syystä yrityksessä joudutaan luomaan useita skenaarioita, joiden pohjalta voidaan toimia riippuen mikä skenaario kulloinkin toteutuu. Kun useisiin erilaisiin skenaarioihin on valmiit suunnitelmat, ei toiminnan uudelleen järjestely ota aikaa niin kauaa. DT voisi auttaa useiden erilaisten tulevaisuudenkuvien luomisessa tarjoamalla kulloiseenkin tilanteeseen optimaalisen tehtaan. Vähintäänkin eri skenaarioiden vaikutuksia tuotannon ja suunniteltavan tehtaan toimintaan voitaisiin arvioida DT:n avulla. Skenaarioimalla voitaisiin jopa luoda valmiit toimintamallit ja tuotantosuunnitelmat eri tulevaisuudenkuvia varten, jolloin toisaalta virtuaalisen maailman tietojärjestelmät voisivat aikataulutta ja järjestellä tuotanto vaiheet optimaalisesti kuhunkin tapaukseen nähden tai vaikkapa osoittaa odotettavissa olevat pullonkaulat tuotannossa. (Haastattelu 15.2.2022)

Haastattelujen kautta nousee jälleen selkeä tasoero kahden tutkittavan yrityksen välillä: siinä missä suuremman yrityksen edustajat pohtivat DT:n mahdollisuuksia luontevasti ja hyvin konkreettisesti käytäntöön ja olemassa oleviin järjestelmiin ajatuksena sitoen, pienemmän yrityksen edustajat pohtivat asiaa etäältä ja tunnustellen. Tasoero tulee esiin esimerkiksi, jossa edellisessä luvussa kuvattiin yrityksen Y digitalisaatiojohtajan konkreettista ehdotusta tukiasemien ja bluetooth-pohjaisen sisäpaikannuksen pohjalta luotuun materiaalivirtausmalliin, jonka perusteella ensin nähtäisiin nykyinen materiaalivirta ja sen jälkeen voitaisiin luoda suoraan malli tulevaisuuden tehtaaseen siitä, miten tavarat ja ihmiset liikkuvat tuotannossa ja varastossa. Materiaalivirtaus voitaisiin digitalisaatiojohtajan mukaan optimoida virtaamaan tuotannon sisällä yhteen suuntaan ja edelleen layoutissa huomioida tavaran puskurointiin vaadittavat alueet ja niin edelleen. Hyvin nopeasti syntynyt visio sisältää kaikki toteutukseen vaadittavat elementit systemaattisesti lueteltuna ja jopa toteutussuunnitelma vaikuttaa syntyvän samalla hetkellä. Pienemmän yrityksen tapauksessa materiaalivirran mallinnusta kuvataan siten, että mallissa ei olisi vain ”pelkkiä palikoita”.

<b>Jiapeng, Ning, Lin ja Saipeng (2019) kuvaamat DT :n ulottuvuudet</b>	<b>Yritys X</b>	<b>Yritys Y</b>
3D layout	kyllä	kyllä
Layout algoritmit	ei	kyllä
Tietopohjaiset kustannukset ja kapasiteetti ennusteet	osittain	kyllä
Erillisten tapahtumien simulointi	osittain	kyllä
Ohjauksen emulointi	ei	kyllä

**Taulukko 3 Kohdeyritysten näkemä DT:n potentiaalinen lisäarvo verrattuna Jiapeng, Ning, Lin ja Saipeng (2019) kuvaamiin ulottuvuuksiin**

Aiemmin Taulukko 2 Jiapeng, Ning, Lin ja Saipeng (2019) kuvaavat DT:n ulottuvuuden kolmessa suunnitteluvaiheessa: digitaalisen kaksosen vaikutus tehtaan konseptisuunnittelussa, tarkennetussa suunnittelussa sekä viimeistelyssä. Taulukko 3 on verrattu näiden DT:n ulottuvuuksien esiintymistä kohdeyritysten mainitsemana

lisäarvona. Siinä missä yrityksen Y edustajat nimesivät oma-aloitteisesti jokaisen potentiaalisen lisäarvotekijän kuvaten toimenpiteitä sen saavuttamiseksi, pienemmän yrityksen edustajat toivat esille lähinnä layoutin visualisointiin ja kapasiteetin tai tuotannon pullonkaulojen ennustamisen. Tietotaidollinen tasoero näkyy huomattavasti nähdyssä lisäarvopotentialissa tai vaihtoehtoisesti DT :n ulottuvuuksia ei edes kyetä hahmottamaan täydessä laajuudessaan.

Tutkimuksessa pyrin selvittämään myös sitä, miten kohdeyritykset ryhtyisivät toteuttamaan digitaalisen tehdassuunnittelun toimenpiteitä, mikäli sellainen projekti päätettäisiin aloittaa. Kohdeyritys X:n toimitusjohtaja toteaa, ettei tiedä lainkaan mistä lähteä liikkeelle. Yrityksen tuotantopäällikkö puolestaan kuvaa, että heidän tulisi alkaa selvittää markkinoilla saatavilla olevia tietojärjestelmiä, palveluita ja työkaluja. Tavoitteena olisi tässä tapauksessa etsiä markkinoilta valmis järjestelmä, jossa voisi luoda visuaalisen mallin ja samalla simuloida toiminallisuuksia. Heidän mukaansa helpointa olisi lähteä liikkeelle visuaalisen 3d-mallin luomisesta koko tuotantolaitoksesta, minkä jälkeen mallia täydennettäisi eri elementeillä ja tarkemmilla tiedoilla. (Haastattelu 20.10.2021)

Yrityksen Y kehitysjohtaja ja digitalisaatiojohtaja kuvailevat haastattelun aikana lukuisia yksityiskohtaisia suunnitelmia, kuinka tietomallia voitaisiin lähteä kehittämään eri lähteistä koostetun datan pohjalta. Yrityksen tavoitteena olisi kehittää tietojärjestelmät ja tarvittavat mallit itse sisäisesti, mihin heillä digitalisaatiojohtajan mukaan on ”kaikki tarvittava osaaminen ja kyvykkyys”. Digitalisaatiojohtaja toteaa, että lopulta tulevan tehtaan malli onkin jo oikeastaan kiinni kaikissa nykyisissä seinissä, koneissa, ohjelmistoissa ja ihmisissä. Yrityksen edustajan kuvaus linkittyy vahvasti Taon ja Zhangin (2017) kuvaukseen DT tiedon koostumukseen neljästä osasta. Digitalisaatiojohtajan mukaan tieto pitäisi koostaa sopivaan muotoon ja optimoida eri näkökulmista. Keskustelussa nousee esille, että tulevaisuuden tehdasmallin luominen koostuu pikemminkin virtuaalisen tietomallin sääntöjen ja algoritmien luomisesta, siis siitä, miten virtuaalimallin halutaan toimivan. Sääntöpohjainen järjestelmä voisi hänen mukaansa tuottaa jo tyydyttäviä tuloksia, mutta kysymys siitä, miten sääntölogiikka rakennettaisiin, nousee

keskeiseksi kysymykseksi. Kehitysjohtaja kuvaa prosessia DT:n soveltamisesta jatkuvan kehittymisen ikuisuussilmukaksi, jonka lopputuloksena olisi täydellinen kaiken huomioiva tietomalli ja sen pohjalta syntyvä tulevaisuuden tehdas. Kehitysjohtajan mukaan lisäarvo ei välttämättä synny itse digitaalisesta kaksosesta, vaan siitä, mistä digitaalinen kaksonen koostuu. Digitaalisen kaksosen luominen edellyttäisi näet koneiden modernisointia, prosessien hiomista ja näkyväksi tekemistä, varastojärjestelmien kehittämistä, tuotannon eri vaiheiden tarkempaa seurantaa ja niin edelleen. Näiden lukuisten yksittäisten osa-alueiden parantaminen kumuloituisi pitkällä aikavälillä parempana tuottavuutena, samalla mahdollistaen digitaalisen kaksosen luomisen. Kun perusta olisi kunnossa, myös uuden tehtaan toiminta tulisi olemaan parempaa, ei yksin DT:n vaan sen luomisen edellyttämien toimenpiteiden ansiosta. Kuin yhteenvetona kaikelle pohdinnalle kehitysjohtaja toteaa: ”vaatii pitkää prosessointia.” (Haastattelu 15.2.2021)

Tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että DT voi tuottaa myös pienille ja erityisesti keskisuurille yrityksille lisäarvoa tehdassuunnittelussa. Pienemmälle yritykselle paras lisäarvo tulee tuotannon layoutin kautta sekä prosessien läpinäkyvyyden parantumisen kautta, jolloin reaktiivisesta toiminnasta päästään kohti suunnitelmallisempaa ja helpommin johdettavaa tilannetta. Tulosten valossa on ilmeistä, että suuremmalla yrityksellä hyöty on merkittävämpää kuin pienemmällä yrityksellä. Materiaalivirrat ovat suuremmat, mikä asettaa vaatimuksia optimoinnille. Kapasiteetin maksimointi ja tuotannon tehokas organisointi helpottuvat DT:n avulla, jolloin toiminnan tehokkuus paranee. Lisäksi lyhyt tulevaisuuden näkymä ja vaikea ennustettavuus saadaan hallintaan skenaarioimalla tuotantoa uudessa tehtaassa eri tapauksissa. Samalla myös resurssit ja käytännön mahdollisuudet DT:n toteuttamiseksi vaativat hieman suuremman yrityksen resurssija tai vaihtoehtoisesti ulkopuolelta hankittua osaamista. Seuraavassa luvussa tullaankin käsittelemään DT:n hyödyntämiseen liittyviä mahdollisia haasteita tapausyritysten kautta arvioituna.

### 3.6 Digitaalisen kaksosen haasteet

Tässä luvussa käsitellään yritysten näkökulmasta DT:n hyödyntämiseen liittyviä haasteita. Edellisissä luvuissa on tarkasteltu saatavilla olevaa tietoa ja tiedon keruuta, sekä DT:n lisäarvopotentiaalia tehdassuunnittelussa. Tiedon keruu ja käsittely on edellytys lisäarvon maksimoimiselle. Kuitenkin sekä datan käsittelyyn että itse lisäarvon maksimaaliseen hyödyntämiseen liittyy haasteita. Yrityksen edustajat kuvaavat niitä haasteita, mitä pienellä ja keskisuurella yrityksellä on vastassa, kun DT:n käyttöä suunnitellaan.

DT:n toiminta perustuu tietoon, jota on saatavilla simulaatioista tai reaali maailman olemassa olevasta tuotannosta. Yrityksen X edustaja toteaa, että digitalisaatio saattaa laahata siitä syystä, että ”työmäärä tiedon viemiseksi digitaaliseen muotoon ottaa enemmän kuin antaa.” Erityisesti manuaalisista, ihmisten tekemistä työvaiheista ei synny automaattisesti tietoa, vaan tieto joudutaan keräämään manuaalisesti kirjaamalla. Kirjaamiseen käytetty työ vie enemmän resursseja kuin tiedon pohjalta johdettaessa saataisiin tuotettua lisäarvoa. (Haastattelu 20.10.2021)

Case yritys Y:n mukaan tiedonkeruu vaatisi lisättyä anturointia ja mittaamista kaikesta. Lisäksi manuaalisesti tuotettuun tietoon liittyy lukuisia epävarmuustekijöitä, minkä vuoksi tällaisen tiedon käyttäminen voisi olla jopa vaaraksi tietomallille. Tiedon luotettavuus olisi erittäin tärkeää, jos sen pohjalta tehtäisiin ratkaisuja ja erityisesti jos tulevaisuudessa tuotantolinja voisi säätää omaa toimintaansa tietomallien pohjalta. Samalla yrityksen digitalisaatiojohtaja toteaa, että uusien koneiden kanssa ei olisi mitään ongelmaa, sillä niissä on vakiona tarvittavat anturoinnit ja rajapinnat. Sen sijaan vanhemmat koneet ja laitteet jouduttaisiin anturoimaan itse, mikä lisää kustannuksia. Jos tuotanto olisi vain automaation ja teollisuusrobottien varassa, ei digitalisaatiojohtajan mukaan olisi mitään ongelmaa, mutta ihmiset tuotannossa ovat ongelma. (Haastattelu 15.2.2021)

Pienemmän, yritys X:n kohdalla osaaminen nousee keskeiseksi haasteeksi. Organisaatiossa ei olisi itsellään osaamista tai resursseja DT:n kehittämiseksi. Jopa ratkaisuiden hankkiminen voisi olla vaikeaa. Kun osaamista ei löydy organisaation sisältä, sitä

jouduttaisiin ostamaan ulkopuolelta. Asiantuntijapalveluiden hankinta konsultaationa ja tarvittavien järjestelmien investointi vaatisivat merkittäviä panostuksia yritykseltä itseltään. Suuremmalla yritys Y:llä puolestaan olisi organisaatiossa kaikki tarvittava osaaminen koneiden ja laitteiden anturointiin, tietomallien kehittämiseen ja tehdassuunnitteluun. Suuremman yrityksen tapauksessakin kehitysjohtaja pohtii, että kuitenkin käytettyyn aikaan ja panostukseen nähden voisi lisäarvo jäädä ohueksi (Haastattelu 15.2.2021).

Yritys Y:n digitalisaatiojohtaja nostaa esiin käytännön toimenpiteiden hankaluuden erityisesti toiminnanohjausjärjestelmän integraatioihin liittyen: Integraatiot ovat vaativia, työläitä ja aikaa vieviä projekteja, joissa joudutaan toimimaan useiden eri laite- ja ohjelmistotoimittajien kesken. Koska integraatioissa joudutaan menemään ulkopuolisten tuottamien järjestelmien sisään, voi osapuolten välillä olla hankaluuksia rajapintojen avaamiseksi. Vaikka rajapintoja olisikin tarjolla, on järjestelmien toimittajat usein kehittäneet oman rajapinnan, jonka liittäminen toiseen järjestelmään vaatii huomattavan määrän työtä. Lisäksi eri järjestelmien ohjelmistopäivitykset saattavat rikkoa jo tehtyjä integraatioita, jolloin olemassa olevien rajapintojen ylläpito sitoo huomattavan paljon resursseja. (Haastattelu 15.2.2021)

Tiedonkeruu sisältää myös tietoturvallisuuteen liittyviä haasteita. Kehitysjohtaja yritys Y:stä toteaa, että GDPR-tietosuojalainsäädäntö saattaisi rajoittaa nykyisen toiminnan, erityisesti henkilöistä kerättävän datan keräämistä ja käsittelyä. Lainsäädäntö tulisi huomioida mallia kehitettäessä tai ainakin dataa kerättäessä. Jos taas ihmisistä ei voitaisi kerätä tietoa kyllin tarkalla tasolla, voisi tietomallista tulla epätarkka ja sen tuottama lisäarvo jäädä vain toiveeksi. (Haastattelu 15.2.2021)

Jotta DT voisi maksimoida lisäarvon tehdassuunnittelussa, tulisi hyödynnettävän tiedon olla mahdollisimman luotettavaa, mieluiten todellisesta tehdasympäristöstä kerättyä. Yritys X:n tapauksessa myös yrityksen lyhyt ikä vaikuttaa siihen, ettei tietoa ole saatavilla. Täysin tyhjistä luotu malli ei puolestaan panostukseen nähden tuottaisi merkittävää lisäarvoa, vaan kyseessä olisi enemmänkin simulaatio oletetusta toiminnasta.



Digitaalisen kaksosen hyödyntämiseen liittyvät haasteet koostuvat useista tekijöistä, joihin lukeutuu osaaminen, olemassa olevien järjestelmien soveltuvuus kaksisuuntaiseen tiedonvaihtoon, DT:n luomiseen liittyvän panos-tuottosuhteen heikko odotusarvo sekä tiedon keruuseen, käsittelyyn ja soveltamiseen liittyvät ongelmat. Pienen yrityksen investoinneissa mittakaavat ovat pienemmät, jolloin DT:n tuottamasta näennäisestä lisäarvosta absoluuttinen rahassa mitattu lisäarvo voi jäädä pieneksi tai olemattomaksi. Yritysten kuvaamat haasteet ovat yhteneviä kirjallisuudessa esiin nousseisiin ongelmiin nähden.

### **3.7 Tutkimuksen luotettavuus ja eettisyys**

Tutkimuksen luotettavuutta tulee arvioida tiedonkeruun ja analysoinnin näkökulmista. Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää DT:n soveltuvuutta pk-yritysten tarpeisiin tehdassuunnittelussa. Tiedon kerääminen tapahtui teemahaastatteluiden kautta. Haastattelut tallennettiin ja niistä kerättiin tieto kirjalliseen muotoon jaoteltuna kysymysten mukaisesti ryhmiin ja teemoihin. Tämän jälkeen saatua tietoa analysoitiin ja vertailtiin kahden yrityksen välillä sekä empiiristä aineistoa kirjallisuuden kautta saatuun taustatietoon.

Tutkimus oli rajattu koskemaan pieniä ja keskisuuria teollisia yrityksiä, joilla on omaa tuotantoa Suomessa. Yritysten pieni koko rajoitti haastateltavien lukumäärää, mikä voi heikentää tutkimustulosten luotettavuutta. Toisessa case-yrityksessä haastateltavia olisi ollut mahdollista saada huomattavasti useampi, mutta aikataulun rajallisuuden vuoksi haastateltavien määrää jouduttiin rajaamaan. Lisäksi tutkimuksen luotettavuuteen voi vaikuttaa se, ettei haastateltavilla ollut välttämättä tarkkaa käsitystä tutkimuksen kohteena olevan DT:n toiminnasta. Haastateltaville kuvattiin menetelmä siinä määrin, että aiheen peruseräpäätteet tulivat tutuksi ja haastattelu voitiin toteuttaa. Tutkimuksen luotettavuutta parantamaan päätettiin tutkimukseen ottaa kaksi yritystä. Tiedon analysointia helpotti ja koko tutkimuksen luotettavuutta paransi kahden case-yrityksen vertaaminen keskenään.

Haastattelut toteutettiin pääasiallisesti kasvokkain tai videoyhteyden välityksellä. Haastateltaville kerrottiin tutkimuksen tarkoitus ja tavoitteet. Tutkimuksessa ei käsitelty henkilökohtaisia tietoja ja kaikki tutkimusaineisto käsiteltiin anonyymisti. Tutkimuksessa haastateltuihin on viitattu heidän titteleillään, eikä henkilöiden tai yritysten nimiä ole tuotu esille yksilöiden suojelemiseksi. Tutkimus on toteutettu kaikkia osapuolia kunnioitavasti ja hyvän tavan mukaisesti sekä eettisiä tutkimusmenetelmiä noudattaen. Tutkimuksessa haastateltiin sekä naisia että miehiä sukupuolinäkökulman huomioimiseksi.

## 4 Yhteenveto ja johtopäätökset

### 4.1 Yhteenveto

Globaalin toimintaympäristön aiheuttama epävarmuus, kansainvälinen kilpailu ja nopeat, ennakoimattomat muutokset markkinoilla haastavat yrityksiä kaikkialla maailmassa. Ennakoiminen on hankalaa, mutta silti sen merkitys korostuu, kun yritysten tulee pyrkiä sopeutumaan muutoksiin. Globaali koronaviruspandemia on esimerkki siitä, miten haavoittuvaisia kansainväliset toimitusketjut ovat ja kuinka riippuvaisia erityisesti valmistavan teollisuuden toimijat ovat toisistaan. Kiristyvän kilpailun ja markkinoiden nopean temmon vuoksi yritysten tulee pyrkiä kehittämään joustavia toimintamenetelmiä, vaikka yritykset olisivatkin suuria. Uudet industry 4.0:n mukaiset toimintatavat mahdollistavat joustavan toiminnan, jolloin suuretkin yritykset voivat toimia pienten ja ketterien yritysten kaltaisesti. Joustavuudella ja mukautuvuudella voidaan tarjota lisäarvoa asiakkaille ja siten parantaa kilpailuasemia kansainvälisillä markkinoilla.

Uusien haasteiden keskellä yritykset joutuvat investoimaan tuotantolaitoksiin lukuisista epävarmuustekijöistä huolimatta. Investointeihin liittyvien laaja-alaisten ongelmien ratkaisemiseksi on ollut tarpeellista kehittää tehokkaita menetelmiä, jotta tuotantolaitoksista tulisi kannattavia investointeja omistajilleen. (Zhang Z., Wang, X., Wang, X., Cui, F., & Cheng, H., 2019) Myös pienet ja keskisuuret yritykset kohtaavat samoja haasteita kuin suuremmatkin yritykset. Tässä tutkimuksessa pyrittiin selvittämään nimenomaan pk-yritysten mahdollisuuksia soveltaa ja hyödyntää nykyaikaisia menetelmiä tuotantolaitosinvestoinneissa. Alun perin avaruusjärjestelmien elinkaarenhallintaan Grievesin (2015) kehittämä digitaalisen kaksosen konseptin on todettu soveltuvan moniin tarkoituksiin, myös tehtaiden suunnitteluun. Tässä tutkimuksessa selvitettiin digitaalisen kaksosen hyödyntämisen mahdollisuutta tuotantolaitosten suunnittelussa, jotta syntyisi ymmärrys pk-yritysten kyvykkyydestä DT:n hyödyntämiseen, sekä DT:n potentiaalisesta lisäarvosta tutkituille yrityksille.

DT :n perusajatus on se, että todellisen maailman objektilla on virtuaalinen toisinto, joka mukailee todellista kappaletta. Tao ja muut (2017) määrittivät digitaalisen vallankumouksen tasoja ja sitä, kuinka virtuaalinen maailma valtaa alaa reaali maailman rinnalle. Virtuaalinen kaksonen edustaa neljännen tason tilannetta, jossa virtuaalinen objekti on kaksisuuntaisessa vuorovaikutuksessa reaali maailman objektin kanssa. Tehtaan tapauksessa todellisesta tuotantolaitoksesta kerätty tieto siirtyy tietojärjestelmiin, josta edelleen tiedon käsittelyn jälkeen tieto jaetaan tuotantolaitokseen vaikkapa koneiden tai liukuhinnan nopeutta säättävään yksikköön.

Haastattelujen perusteella kohdeyrityksistä suuremmalla on valmistauduttu digitaaliseen vallankumoukseen ja monia toimenpiteitä ja ratkaisuja on pohdittu. Yrityksellä on tutkimusten perusteella kyvykyys luoda niin halutessaan DT tuotannosta ja soveltaa nykyisen tuotannon kautta kerättyä dataa uuden tuotantolaitoksen suunnitteluun. Haastatellut korostavat käytännön lukuisia rajoitteita, miksi DT :n soveltaminen olisi todellisuudessa hyvin monimutkaista ja tehtävään sisältyisi epävarmuustekijöitä datan validiteetista aina sääntömallien ja algoritmien heikkouksiin asti. Myös integraatiot olemassa olevien järjestelmien välillä vaatisivat todella suuren työmäärän. Vaikka uusi tehdas perustettaisiin, jouduttaisiin osa olemassa olevasta konekannasta siirtämään tuotantoon myös uudessa tehtaassa, mikä tarkoittaa sitä, ettei kaikista koneista saataisi dataa edelleenkään. Tietomallien vaatiman datan keräämiseen voisi liittyä myös lainsäädännöllisiä haasteita, mutta näistä haastattelujen perusteella yrityksillä ei ole täyttä selvyttä.

Pienemmän yrityksen tapauksessa nousi esille tietotaidon puute järjestelmän kehityksen osalta. Tästä huolimatta organisaation edustajat tunnistivat keskeisiä elementtejä siitä, mistä DT :n luomisessa voisi lähteä liikkelle. Organisaation edustajan mukaan he etsisivät ensisijaisesti markkinoilta ratkaisua, jolla voisi mallintaa ja visualisoida tuotantotilat ja sitten alkaa lisäämään simulaatiota ja toiminnallisia ehtoja malliin. Eriksson ja muut (2018) mainitsevatkin artikkelissaan, että mallinnettu ja visualisoitu tehdas toimii alustana tuotannon suunnittelulle ja tilojen käytön tehostamiselle. Samalla yrityksen

edustaja jää pohtimaan sitä, millaisia kustannuksia järjestelmän käyttöönotto kustantaa ja saataisiinko digitalisointiin investoituja rahoja koskaan maksettua takaisin prosessien tehostumisella. Kuten Souza, Sacco ja Porto (2006) mainitsevatkin, ohjelmistoista syntyvät kustannukset voivat olla este teknologian hyödyntämiseen pienissä ja keskisuurissa yrityksissä.

Tutkimuksen rajallisen otannan perusteella voidaan todeta, että DT:n luominen vaatii keskisuuren yrityksen kokoluokan. Syynä tälle on se, että pienen yrityksen järjestelmät ja tapa toimia perustuu enemmän ihmisten väliseen vuorovaikutukseen ja päätöksentekoon, kun taas suuremman yrityksen tapauksessa tietoa on jouduttu suuren määrän vuoksi siirtämään tietojärjestelmiin ja mahdollisesti koko toimintaa ohjaavaan ERP-järjestelmään. Kun tieto on määrämuotoisesti tallennettu ja tietoa on aikojen kuluessa kertynyt, voidaan tietoa jalostaa muihin käyttötarkoituksiin. Tutkimuksessa haastateltu digitalisaatiojohtaja totesi (Haastattelu 15.2.2022) tietojärjestelmistä, että ”näennäinen jäykkyys luo todellisen joustavuuden.” Lausumaansa hän selvensi sillä, että tarvitaan tietojärjestelmiä ja systemaattista tapaa toimia. Kun tietojärjestelmät voivat optimoida työn, syntyy joustavuutta, jollaista ihminen ei pystyisi tehokkaasti tuotannon kompleksisessa ympäristössä hallitsemaan.

Case yritys Y:n edustaja kuvaa uuden tehtaan suunnitteluun tehtävän DT:n vaatiman tiedon olevan jo ikään kuin heillä nykyisessä tuotannossa, se vain pitäisi kerätä, koostaa ja käsitellä. Edustajan mukaan tieto sijaitsee seinissä, koneissa, ohjelmistoissa ja ihmisissä. Tao ja Zhang (2017) kuvaavat DT tiedon koostuvan neljästä osasta. Jaottelu mukailee yrityksen Y edustajan kuvausta olemassa olevan tiedon ja infran yhteydestä digitaaliseen kaksoseen. Haastattelun perusteella tiedon soveltaminen uuden tehtaan tai tuotantolaitoksen suunnitteluun on vain algoritmien ja sääntömallien luomista. Voidaankin todeta, että DT on yhtäältä algoritmeja, simulaatioita ja sääntömalleja, toisaalta protokollia ja rajapintoja fyysiseen maailmaan.

Jiapeng, Ning, Lin ja Saipeng (2019) jakavat tehdassuunnittelun kolmeen vaiheeseen: konseptisuunnitteluun, tarkennettuun suunnitteluun ja viimeistelyyn. Heidän mukaan DT voi tuottaa lisäarvoa jokaisessa vaiheessa. Tutkimuksen case yritykset eivät haastattelujen perusteella tunnista tai osaa määritellä tehdassuunnittelun vaiheita vastaavalla tavalla, mutta vaiheisiin sisältyvät elementit nousivat haastatteluissa esille. Visualisointi nousi keskeiseksi ominaisuudeksi, sillä ihmisten rajallinen kyky käsitellä laajaa tietomäärää rajoittaa liiketoimintapäätösten tekemistä tai arvioiden tarkkuutta. Myös skenaarioinnin merkitys on huomattava, kun näkymä tulevaan on lyhyt ja siitä huolimatta täytyy suunnitella toimintaa pitkälle aikavälille. Yritys Y pyrkii varautumaan eri tilanteisiin ja tulevaisuudenkuviin suunnittelemalla mahdollisia tapahtumaketjuja etukäteen ja määrittelemällä tapahtumien vaikutuksia tuotantoonsa. Digitaalisen kaksosen lisäarvo voisi olla parhaillaan juuri ennakoimattomien tapahtumien simuloimista tulevaan tuotantolaitokseen, jolloin voitaisiin arvioida vaikkapa koneiden kuormitusta eri tuotteiden erilaisilla valmistusmäärillä. Edelleen voitaisiin mallintaa materiaalin virtausta tuotantotiloissa ja varastossa, mikä auttaisi hahmottamaan mahdollisia ongelmakohtia etukäteen.

Tutkimuksessa pyrittiin selvittämään pienten ja keskisuurten yritysten kykyä soveltaa ja hyödyntää digitaalista kaksosta tehdassuunnittelussa. Tutkimuksen perusteella DT:n luominen vaatii organisaatiolta osaamista ja kyvykkyyttä, jota on rajoitetusti saatavilla ja josta joutuu maksamaan huomattavasti. Käytännön lisäarvo voikin jäädä rajalliseksi täydellisen DT:n soveltamisesta ja siksi yritykset tekevät päätöksiä vaillinaisen tiedon valossa ja seuraavat muutosten aiheuttamia vaikutuksia hyvin konkreettisella tasolla. Yritysten tiedonkeruun tulisi olla mahdollisimman automaattista, jotta tapahtumista jäisi merkintä lokitietoihin. Myös tiedon validiteetti voi kärsiä, jos tietoa kerätään tai käsitellään manuaalisesti. Epätarkka tieto kertaantuu epätarkoiksi tuloksiksi, jolloin tehdassuunnittelun tulokset edustavat lähinnä virheellisen tiedon pohjalta syntynyttä kuvaa optimitilasta.

## 4.2 Johtopäätökset

Tässä tutkimuksessa pyrittiin neljän tutkimuskysymyksen avulla selvittämään digitaalisen kaksosen soveltuvuutta ja DT:n tuottamaa lisäarvoa teollisen pk-yrityksen tehdassuunnitteluun. Tutkimus alkoi kirjallisuuskatsauksella ja teemaan liittyvän tutkimustiedon ja artikkeleiden analysoinnilla. Empiirinen osa tutkimuksesta toteutettiin kahden yrityksen tapaustutkimuksena, jossa haastateltiin yritysten edustajia teemahaastattelun keinoin. Haastattelun jälkeen tuloksia analysoitiin ja vastauksista pyrittiin etsimään yhtäläisyyksiä ja eroavaisuuksia. Seuraavissa kappaleissa on käsitelty tutkimuskysymyksittäin tutkimuksen tuloksia ja lopuksi pohdittu tutkimuksen toteutukseen liittyviä onnistumisia ja haasteita sekä mahdollisia jatkotutkimuksia vaativia aiheita.

Tutkimuksen ensimmäinen tutkimuskysymys oli *miten digitaalista kaksosta voidaan hyödyntää tehdassuunnittelussa?* Pyrin selvittämään vastauksen kysymykseen kirjallisuuden kautta. Keskeisin DT:n tuottama hyöty kiteytyy Jiapeng, Ning, Lin, ja Saipeng (2019) mukaan tietojen validointiin, estimaatioiden tuottamiseen ja rajapintojen luomiseen. Tämä on ilmeistä, sillä tehdassuunnittelun keskeisenä tavoitteena on pienentää tuotantolaitosten investointiin liittyvää riskiä (Harding, J. A. & Popplewell, K., 2000). Perinteisesti tehdassuunnittelussa on toteutettu useita suunnitelmia, jotka kattavat kukin oman erikoisosa-alueen, esimerkiksi layoutin, kapasiteetin tai kannattavuuden suhteen. Digitaalinen kaksonen kykenisi huomioimaan lukuisia muuttujia, mikä helpottaisi liiketoimintapäätösten tekemistä ja parantaisi tehdasinvestointien kannattavuutta.

Tutkimuksen toinen kysymys oli *millaista tietoa tuotantolaitoksen digitaalisen kaksosen luomiseen tarvitaan?* Tähän kysymykseen hain vastausta kirjallisuuden ja teemahaastattelujen kautta. Digitaalisen kaksosen voidaan kuvata olevan toisaalta tietojärjestelmä, toisaalta tietojärjestelmän tapa kommunikoida reaali maailman objektien kanssa. Tao ja Zhang (2017) ovat jakaneet tarvittavan tiedon neljään kategoriaan: fyysisen maailman objekteihin ja realiteetteihin, joista voidaan kerätä tietoa vaikkapa laserkeilauksen avulla. (Eriksson, A., Sedelius, E., Berglund, J. & Johansson, B., 2018) Fyysisiä materiaalivirtoja

voidaan seurata esimerkiksi RFID-tageilla tai viivakoodeilla (Chongwatpol, J. & Sharda, R., 2013). Haastattelussa nousi esille, että materiaalivirroista ja reaali maailman objekteista voitaisiin kerätä tietoa myös sisäpaikannukseen soveltuvien tukiasemien ja bluetooth-lähettimien avulla (Haastattelu 15.2.2022). Toinen Taon ja Zangin (2017) määrittelemistä tietoluokista on palvelu, siis tietojärjestelmien tuottama data. Tutkimuksen perusteella toiminnanohjausjärjestelmät ja muut tietojärjestelmät ovat olemassa, erityisesti suuremman yrityksen kohdalla tietojärjestelmissä on jo huomattava määrä tietoa saatavilla. Kolmas tiedon taso on digitaalinen malli, jossa reaali maailman kokonaisuus on kopioitu virtuaaliseen muotoon. Tutkimuksessa selvisi, että molemmat haastatellut yritykset ovat käyttäneet visuaalista tilamallia suunnitellessaan tuotannon layout-muutoksia ja muutosten organisointia. Tiedon neljännellä tasolla on kyse kolmen edellisen tason fuusioimisesta. Kirjallisuuden perusteella tieto on kohtuullisella vaivalla kerättävissä eri lähteistä, mutta haasteita syntyy koneiden ja ohjelmistojen keskinäisiin rajapintoihin, tiedon koostamiseen ja -käsittelyyn. Haastattelut tukevat kirjallisuuden kautta syntynyttä kuvaa siitä, että tieto olisi koostettavissa olemassa olevista järjestelmistä, joskin anturoinnin määrää jouduttaisiin kasvattamaan. Haastattelussa nousee myös esille, että uudemmat tuotantokoneet tukevat järjestelmien välistä kommunikaatiota eri rajapintojen kautta, mutta vanhempien koneiden kohdalla tukea ei ole. Tehdassuunnittelun tapauksessa myös tiedon validiteetilla on merkitystä, koska väärin kerätty tai muuten epätarkka tieto tuottaa huonoja tuloksia tehdassuunnittelussa.

Kolmas tutkimuskysymykseni oli *mitä lisäarvoa digitaalisen kaksosen hyödyntäminen tuottaa teolliselle pk-yritykselle tehdassuunnittelussa?* Pyrin selvittämään vastauksen teemahaastatteluiden avulla kahdessa pk-yrityksessä. Kuten yksi haastateltu totesi ”riippuu siitä keneltä kysyy.” Tutkimuksen perusteella DT voi tuottaa lisäarvoa jokaiselle tehdassuunnitteluun osallistuvalla. Yleisenä lisäarvona on massiivisen numeerisen tietomäärän koostaminen, soveltaminen ja esittäminen visuaalisessa muodossa, jolloin ihmisten on helpompi omaksua tietoa. Tieto parantaa tehdassuunnittelun eri vaiheita, kuten layout-suunnittelua, kapasiteetilaskentaa ja erilaisten tapahtumien simulointia. Erityisesti suuremman tutkimukseen osallistuneen yrityksen kohdalla eri



tulevaisuudenkuvien skenaariointi koettiin merkittäväksi lisäarvopotentialiksi. Koska tuotantolaitosten näkymä tulevaan on lyhyt, muutoksiin pyritään valmistautumaan etukäteisesti luomalla eri skenaarioita ja pohtimalla niiden vaikutuksia tuotantolaitoksen toimintaan. Uuden tehtaan kohdalla DT voisi helpottaa skenaariotyötä huomattavasti. Tutkimuksissa nousi myös esille se, että itse DT ei välttämättä toisi massiivista lisäarvoa tehdassuunnitteluun, vaan kaikki se pohjatyö, joka DT:n luomiseksi tulisi tehdä, parantaisi jo itsessään tuloksia.

Viimeinen tutkimuskysymykseni oli mitä haasteita digitaalisen kaksosen hyödyntämisessä on? Tähän kysymykseen pyrin vastaamaan teemahaastattelujen kautta keräämäni aineiston pohjalta. Aivan ensimmäinen molempien yritysten esiin nostama haaste on epäily siitä, investointi DT:n luomiseen koskaan itseään takaisin, eli olisiko DT:n luominen kalliimpaa kuin sillä saavutettu lisäarvo. Epäily on aiheellinen, mutta myös spekulatiivinen. Pääomaintensiivisissä tehdasinvestoinneissa myös virheet tulevat kalliiksi, joten oikeaa vastausta on vaikea löytää. Kuitenkin pelkkä epäily työn kannattavuudesta on merkki siitä, että DT:n soveltaminen koetaan työlääksi tai mielletään suureksi investoinniksi ja pelkkä epäily riittää estämään työkalun soveltamisen. Käytännön haasteita on useita tiedon keruuseen ja validointiin liittyen, kuin myös lainsäädäntöön liittyviä mahdollisia haasteita. Eräs haastateltu totesikin, että DT voisi toimia teollisuusrobotteihin perustuvassa automaattisessa tuotannossa huomattavasti helpommin kuin ihmistyötä vaativassa tuotannossa, jonka simulointi ilman reaali maailmasta kerättyä dataa olisi paljon hankalampaa. Myös DT:n sisältämien sääntölogiikoiden ja algoritmien kehittäminen nousi haasteeksi, joka vaatisi paljon resursseja.

Tutkimuksen tulokset ovat mielenkiintoisia ja synnyttävät samalla joukon uusia kysymyksiä. Tutkimuksen laajuutta jouduttiin rajaamaan koskemaan vain suomalaisia pieniä ja keskisuuria yrityksiä, joilla on valmistus oman organisaationsa sisällä. Yritysten pieni koko aiheutti samalla sen, että vain pieni joukko ihmisiä olisi yrityksissä käytännön vastuussa uuden tehtaan suunnittelusta. Edelleen näiden ihmisten haastattelu vaati järjestelyjä, jotta he ehtivät osallistumaan tutkimukseen. Monet muuttujat vaikuttivat tutkimuksen

sujumiseen, kuitenkin suurimpana yksittäisenä tekijänä koronaviruspandemian aiheuttamat tapaamisrajoitteet.

Jotta aiheesta saataisiin parempi ymmärrys, tulisi jatkossa selvittää sitä, mitä käytännön ratkaisuja DT:n luomiseksi olisi saatavilla sekä millä tasolla DT pohjainen tehdassuunnittelu tulisi toteuttaa, jotta se olisi kannattavaa teollisten pk-yritysten tapauksessa. Tutkimuksessa selvisi, että digitaalinen kaksonen tulisi luoda mieluiten olemassa olevan tuotannon kautta kerätyn datan perusteella, joten olisi perusteltua selvittää miten digitaalisen kaksonen voisi luoda olemassa olevasta tuotantolaitoksesta ja myös siihen liittyen mitä lisäarvoa digitaalinen kaksonen voisi tuottaa olemassa olevien tuotantolaitosten tapauksessa. Tutkimuksessa voisi selvittää DT:n soveltamisen vaikutusta tuotannon läpimenoaikoihin ja kapasiteettiin sekä ei-taloudellisen lisäarvon tuottoa esimerkiksi tuotannon läpinäkyvyyden ja johtamisen apuvälineenä. Tutkimustietoa voitaisiin hyödyntää teollisten pk-yritysten kilpailukyvyn parantamiseksi.

Tutkimuksen laatua olisi parantanut, mikäli viimeisimpiä artikkeleita olisi ollut saatavilla paremmin. Koska tutkimukseni käsitteli valmistavan teollisuuden toimintoja ja tehdassuunnittelua valmistavan teollisuuden tuotantolaitoksissa, on selvää, että tällaisia tehtaita syntyy määrällisesti eniten Aasiaan. Myös uusimmat tutkimukset tehdassuunnittelusta ja DT:n soveltamisesta olivat merkittävältä osin kiinalaista alkuperää. Kiinalaisia tutkimustuloksia ei ole saatavilla kattavasti tietokannoista ja kielelliset rajoitteet vaikeuttivat tiedon hankintaa näiltä osin. Tieteen avoimuuden kannalta olisikin ensiarvoisen tärkeää, että tutkimustulokset julkaistaisiin avoimesti ja niihin olisi vapaa pääsy.

Kokonaisuutena tutkimukselle asetetut tavoitteet saavutettiin. Jokaiseen tutkimuskysymykseen löytyi vastaus ja tietoa onnistuttiin hakemaan niin kirjallisuuden kuin tapaus-tutkimukseen osallistuneiden yritysten kautta. Empiirisen osion luotettavuutta olisi voinut parantaa otoskokoa kasvattamalla, mutta tulokset nykyiselläkin otannalla luovat pohjan ilmiöiden tunnistamiseksi ja todentamiseksi. Tämän tutkimuksen tulosten toivotaan hyödyntävän digitaalisen vallankumouksen kiihdyttämisessä teollisissa pk-

yrityksissä sekä tukevan niitä, jotka kohtaavat digitaalisen kaksosen ja haluavat soveltaa sen tarjoamia mahdollisuuksia teollisen tuotantolaitoksen suunnittelussa ja kehittämisessä.

## Lähteet

- Ahmad, R., Masse, C., Jituri, S., Doucette, J. & Mertiny, P. (2018). Alberta Learning Factory for training reconfigurable assembly process value stream mapping. *Procedia manufacturing*, 23, 237-242. doi:<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.04.023>
- Antonelli, D. & Stadnicka, D. (2018). Combining factory simulation with value stream mapping: A critical discussion. *Procedia CIRP*, 67, 30-35. doi:<https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.12.171>
- Chongwatpol, J. & Sharda, R. (2013). RFID-enabled track and traceability in job-shop scheduling environment. *European journal of operational research* 227(3), 453-463. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.01.009>
- Eriksson, A., Sedelius, E., Berglund, J. & Johansson, B. (2018). Virtual factory layouts from 3D laser scanning – A novel framework to define solid model requirements. doi:<https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.01.013>
- European Commission, Cordis, EU research results. (2014). Holistic, extensible, scalable and standard Virtual Factory Framework. *Final Report Summary*. Haettu 16. 09 2021 osoitteesta <https://cordis.europa.eu/project/id/228595/reporting>
- Florescu, A. & Barabas, S. A. (2020). Modeling and simulation of a flexible manufacturing system—a basic component of industry 4.0. *Applied sciences*, 10(22), 1-20. doi:<https://doi.org/10.3390/app10228300>
- Gartner Inc. (2017). *Top Trends in the Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies, 2017*. Haettu 16. 09 2021 osoitteesta <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/top-trends-in-the-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2017>

- Grieves, M. (2015). *Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication*. Whitepaper. Haettu 07. 02 2021 osoitteesta [https://www.researchgate.net/publication/275211047\\_Digital\\_Twin\\_Manufacturing\\_Excellence\\_through\\_Virtual\\_Factory\\_Replication](https://www.researchgate.net/publication/275211047_Digital_Twin_Manufacturing_Excellence_through_Virtual_Factory_Replication)
- Guo, H., Zhu, Y., Zhang, Y., Ren, Y., Chen, M. & Zhang, R. (2021). A digital twin-based layout optimization method for discrete manufacturing workshop. *International journal of advanced manufacturing technology*, 112(5-6), 1307-1318. doi:<https://doi.org/10.1007/s00170-020-06568-0>
- Harding, J. A. & Popplewell, K. (2000). Simulation: An application of factory design process methodology. *The Journal of the Operational Research Society*, 51(4), 440-448. doi:<https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2600896>
- Hirsjärvi, S. & Hurme, H. (2000). *Tutkimushaastattelu: Teemahaastattelun teoria ja käytäntö*. Helsinki: Yliopistopaino.
- Ji Z., Peigen L., Yanhong Z., Baicun W., Jiyuan Z. & Liu M. (2018). Toward New-Generation Intelligent Manufacturing. *Engineering, Volume 4, Issue 1*, 11-20. doi:<https://doi.org/10.1016/j.eng.2018.01.002>
- Jiapeng, G., Ning, Z., Lin, S. & Saipeng, Z. (2019). Modular based flexible digital twin for factory design. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing* 10, 1189-1200. doi:<https://doi.org/10.1007/s12652-018-0953-6>
- Kusiak, A. (2017). Smart manufacturing must embrace big data. *Nature* 544, 23–25. doi:<https://doi.org/10.1038/544023a>
- Sacco, M., Pedrazzoli, P. & Terkaj, W. (2010). VFF: Virtual Factory Framework. doi:<https://doi.org/10.1109/ICE.2010.7477041>

- Singh, J., Singh, H., Singh, A. & Singh, J. (2019). Managing industrial operations by lean thinking using value stream mapping and six sigma in manufacturing unit: Case studies. *Management decision*, 58(6), 1118-1148. doi:<https://doi.org/10.1108/MD-04-2017-0332>
- Souza, M. C. F., Sacco, M. & Porto, A. J. V. (2006). Virtual manufacturing as a way for the factory of the future. *Journal of intelligent manufacturing*, 17(6), 725-735. doi:<https://doi.org/10.1007/s10845-006-0041-1>
- Süße, M. & Putz, M. (2021). Generative design in factory layout planning. *Procedia CIRP*, 99, 9-14. doi:<https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.03.002>
- Tao, F. & Zhang, M. (2017). Digital Twin Shop-Floor: A New Shop-Floor Paradigm Towards Smart Manufacturing. *IEEE access*, 20418-20427. doi:<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2756069>
- Tao, F., Zhang, M., Cheng, J. & Qi, Q. (2017). Digital twin workshop: A new paradigm for future workshop. *Jisuanji Jicheng Zhizao Xitong/Computer Integrated Manufacturing Systems, CIMS*, 23(1). doi:<https://doi.org/10.13196/j.cims.2017.01.001>
- Tauber, M., Gallmetzer, A., Rauch, E., Brown, C. A. & Matt, D. T. (2019). Concept Design of a Digital Shop Floor Information System for Assembly Operators in Machine Industry. *MATEC web of conferences*, 30, 17. doi:<https://doi.org/10.1051/mateconf/201930100017>
- Tisch, M., Hertle, C., Abele, E., Metternich, J. & Tenberg, R. (2016). Learning factory design: A competency-oriented approach integrating three design levels. *International journal of computer integrated manufacturing*, 29(12), 1355-1375. doi:<https://doi.org/10.1080/0951192X.2015.1033017>

Tuomi, J. & Sarajärvi, A. (2018). *Laadullinen tutkimus ja sisällönanalyysi (Uudistettu laitos.)*. Kustannusosakeyhtiö Tammi.

Zhang Z., Wang, X., Wang, X., Cui, F., & Cheng, H. (2019). A simulation-based approach for plant layout design and production planning. *J Ambient Intell Human Comput* 10, 1217–1230. doi:<https://doi.org/10.1007/s12652-018-0687-5>

Zhang, Y., Zhang, G., Du, W., Wang, J., Ali, E. & Sun, S. (2015). An optimization method for shopfloor material handling based on real-time and multi-source manufacturing data. *International journal of production economics*, 165, 282-292. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.12.029>

## Liitteet

### Haastattelulomake

Pro Gradu -tutkielmaan

Tällä haastattelulla pyrin löytämään vastauksen seuraaviin kysymyksiin:

- Miten digitaalista kaksosta voidaan hyödyntää tehdassuunnittelussa?
- Millaista tietoa tuotantolaitoksen digitaalisen kaksosen luomiseen tarvitaan?
- Mitä lisäarvoa digitaalisen kaksosen hyödyntäminen tuottaa teolliselle pk-yritykselle tehdassuunnittelussa?
- Mitä haasteita digitaalisen kaksosen hyödyntämisessä on?

Digitaalisella kaksosella tarkoitetaan kyber-fyysistä kokonaisuutta tehtaasta tai tuotantotilasta. Kokonaisuus käsittää siis todellisuudesta kerättyä tietoa ja virtuaalisesti mallinnetun ympäristön optimointimenetelmien.

Teemaan liittyviä kysymyksiä:

Kuvaa yrityksen tuotantotilannetta, näkymää ja tuotantotilojen kehitystarpeita.

Kerro millaisia haasteita tehtaan suunnittelussa tai toimitilaprojekteissa olette tunnistaneet?

Mikä on teille keskeistä tehdassuunnittelussa, eli miksi sitä tehdään tai mitä ja millaista tietoa suunnittelulla tavoitellaan?

Miten nykyisin hoitaisitte tuotannon muutosten tai uusien toimitilojen suunnittelun?

Onko tuotantoanne simuloitu tai onko tehtaastanne luotu digitaalista mallia? Jos on, niin miten?

Mitä hyötyä digitoidusta tehdassuunnittelusta on tai voisi olla yrityksessänne?

Mitä hyötyä digitaalinen kaksonen voisi tuottaa tehdassuunnitteluunne?



Mitä informaatiota digitaalisesta kaksosesta haluaisitte saada, jotta se tuottaisi lisäarvoa ja palvelisi suunnittelun tavoitteita?

Mitä dataa tuotannostanne keräätte ja minne data kertyy? Onko tieto saatavilla tai jaettavissa ulkopuolisiin järjestelmiin? Entä onko tuotantolaitteissanne konerajapintoja ulkoisia syötteitä varten?

Mitä haasteita näette digitaalisen kaksosen hyödyntämisessä?

Jos päätyisitte kehittämään tuotannostanne digitaalisen kaksosen, miten se käytännössä tapahtuisi? Tekisittekö itse, käyttäisittekö ulkopuolista apua, entä mitä tavoitteita asettaisitte hankkeelle?