

Lauri Pitkänen

**DIGITAALINEN KAKSONEN ORGANISAATION
PÄÄTÖKSENTEON TUKENA**



JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO
INFORMAATIOTEKNOLOGIAN TIEDEKUNTA
2023

TIIVISTELMÄ

Pitkänen, Lauri

Digitaalinen kaksonen organisaation päätöksenteon tukena

Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto, 2023, 31 s.

Tietojärjestelmätiede, kandidaattitutkielma

Ohjaaja: Riekkinen, Janne

Digitalisaation ja teknologian kehityksen takia esille nousee ajallisesti yhä tiivimmin uusia teknologioita. Digitaalinen kaksonen on kerännyt huomiota niin tutkimuksessa kuin käytännön sovellutuksissa viime vuosina yhä enemmän. Tämän tutkielman tarkoituksena on esitellä digitaalista kaksosta teknologiana sekä erilaisia päätöksentekomalleja. Näiden pohjalta tutkielmassa pyritään vastaamaan tutkimuskysymyksiin: Mitä hyötyjä digitaalisen kaksosen käytöstä voidaan todeta olevan operatiivisen ja strategisen päätöksenteon tukena? Tutkielma käsittelee saavutettuja hyötyjä päätöksenteossa käyttämällä digitaalista kaksosta sen apuna. Esille nousee myös idea dataperustaisesta päätöksenteosta, jota digitaalinen kaksonen teknologiana soveltaa tuottamalla informaatiota päätöksenteon tueksi. Tarkastellun kirjallisuuden perusteella digitaalisen kaksosen käytöstä strategisen sekä operatiivisen päätöksenteon apuvälineenä löydettiin useita erilaisia hyötyjä. Hyötyjä löydettiin erilaisten simulaatioiden tuomien ennusteiden kautta konkreettisissa tuotantoprosesseissa sekä palveluprosesseissa. Simulaatioiden kautta saavutettiin myös parempaa markkinaymmärrystä ja ennustettavuutta kuluttajakäyttäytymiseen. Tuloksia löydettiin myös digitaalisen kaksosen avulla hahmottaa abstrakteja tai laajoja kokonaisuuksia ja tämän perusteella tehtyjen informoitujen päätösten teosta. Tulevaisuudessa tutkimusta olisi hyvä kohdistaa digitaalisen kaksosen laajempiin käytännön sovellutuksiin organisaatioissa strategisen päätöksenteon tukena sekä kilpailuedun saavuttamisessa.

Asiasanat: digitaalinen kaksonen, organisaation digitaalinen kaksonen, jaettu digitaalinen kaksonen, strateginen päätöksenteko, operatiivinen päätöksenteko

ABSTRACT

Pitkänen, Lauri

Digital twin supported organizational decision-making

Jyväskylä: University of Jyväskylä, 2023, 31 pp.

Information Systems, Bachelor's Thesis

Supervisor(s): Riekkinen, Janne

Digitalization and technological developments mean that new technologies are emerging more and more frequently over time. The digital twin has attracted increasing attention in both research and practical applications in recent years. The aim of this thesis is to present the digital twin as a technology and in addition different models of decision making. Based on this, the thesis aims to answer the research questions: what are the benefits of using the digital twin to support operational and strategic decision making? The thesis discusses the benefits of using the digital twin as a decision support tool. It also introduces the idea of data-driven decision making, which the digital twin as a technology applies by providing information to support decision making. Based on the literature reviewed, several different benefits of using the digital twin as a tool for strategic and operational decision making were identified. The benefits were found through the predictions brought by various simulations in concrete production processes and service processes. Simulations also provided better market insight and predictability of consumer behavior. Results were also found in the digital twin's ability to perceive abstract or large-scale entities and the informed decisions made on this basis. Future research should focus on the wider practical applications of the digital twin in organizations to support strategic decision making and competitive advantage.

Keywords: digital twin, digital twin of an organization, shared digital twin, strategic decision making, operational decision making

KUVIOT

Kuvio 1 DIKW -pyramidi	Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.
Kuvio 2 Malli viisiulotteisesta digitaalisesta kaksosesta	17
Kuvio 3 Aloja, joilla digitaalista kaksosta käytetään	18
Kuvio 4 Jaetun digitaalisen kaksosen attribuutit	21

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KUVIOT JA TAULUKOT

1	JOHDANTO.....	6
2	DATA, INFORMAATIO JA PÄÄTÖKSENTEKO.....	8
	2.1 Päätöksenteon hierarkia ja mallit	8
	2.2 Data ja informaatio päätöksenteossa	10
3	DIGITAALINEN KAKSONEN JA SEN SOVELLUTUKSET.....	14
	3.1 Digitaalisen kaksosen historiaa	14
	3.2 Digitaalisen kaksosen eri määritelmiä.....	15
	3.3 Digitaalisen kaksosen käyttökohteet ja ominaisuudet.....	17
	3.4 Organisaation digitaalinen kaksonen.....	19
	3.5 Jaettu digitaalinen kaksonen.....	20
4	DIGITAALINEN KAKSONEN ORGANISAATION PÄÄTÖKSENTEOSSA	
	22	
	4.1 Digitaalinen kaksonen päätöksenteossa yleisesti	22
	4.2 Digitaalinen kaksonen operatiivisen johdon apuna.....	23
	4.3 Digitaalisen kaksosen hyödyntäminen strategisessa päätöksenteossa	
	24
5	YHTEENVETO JA JATKOTUTKIMUSAIHEET	26
	LÄHTEET	29

1 JOHDANTO

Digitalisoituvassa liiketoimintaympäristöissä nousee esille uusia teknologioita yhä tiheämmin. Vaikka digitaalinen kaksosen on ollut käytössä jo useamman vuosikymmenen ajan, teknologia ei ole pystynyt vastaamaan sen vaateisiin laajempaa yleistymistä ja käyttöönottoa ajatellen (Grieves, 2014). Viime vuosikymmenenä teknologian kehitys, tietokoneiden laskutehon kasvu ja digitalisaatio ovat kuitenkin mahdollistaneet digitaalisen kaksosen laajemman käyttöönoton monialaisesti.

Suurimpia tekijöitä digitaalisen kaksosen yleistymiseen ja kehitykseen monialaisesti ovat esimerkiksi kehittyneet digitaaliset mallinnustavat, tekoälyn kehitys, tietokoneiden laskutehon parantuminen, esineiden internet (IoT) ja erilaiset datan jalostuksen sekä analytiikan työkalut (Qi ym., 2021). Digitaalisella kaksosella pyritään vastaamaan yritysten tarpeeseen saada ajankohtaista dataa omista liiketoimintaprosesseistaan sekä prosesseihin kuuluvasta teknologiasta. Yritysten tarve saada dataa omista prosesseista ja siihen kuuluvista muuttujista viittaavat digitalisaatioon, ja siihen, että yritykset huomaavat datan tuoman lisäarvon liiketoiminnassaan.

Prosesseista tuotetun datan ja informaation perusteella yritykset pystyvät yhä paremmin tekemään informoituja päätöksiä niin operatiivisesti kuin strategisestikin (Provost & Fawcett, 2013). Tällä reaaliaikaisella informaatiolla pystytään vastaamaan esimerkiksi alati muuttuviin markkinoiden olosuhteisiin tai optimoimaan tuotannon prosesseja (Parmar, Leiponen & Thomas, 2020; Qi ym., 2021). Digitaalisen kaksosen kautta on kirjallisuudessa sekä käytännössä havaittu useita hyötyjä esimerkiksi mallinnuksen ja simuloinnin kautta, joita tässä tutkielmassa käydään läpi tarkemmin luvussa 4.

Tässä tutkielmassa pyritään vastaamaan asetettuihin tutkimuskysymyksiin, jotka ovat:

1. Mitä hyötyjä digitaalisen kaksosen käytöstä voidaan todeta olevan operatiivisen päätöksenteon tukena?
2. Mitä hyötyjä digitaalisen kaksosen käytöstä voidaan todeta olevan strategisen päätöksenteon tukena?

Kandidaatintutkielman toisessa luvussa käsitellään päätöksentekoprosesseja yleisesti sekä sitä, miten päätöksentekoprosessia voidaan optimoida datan ja siitä analysoidun informaation avulla. Luvussa käsitellään päätöksenteon eri tasoja organisaation sisäisesti ja sitä, miten hyvä päätöksenteko määritellään. Myös erilaiset päätöksenteon historiassa nousseet mallit tuodaan esiin tässä luvussa. Luvussa eritellään myös datan, informaation ja tietämyksen sekä viisauden erot ja luodaan lukijalle kuvaa siitä, miten dataa voidaan arvottaa sen eri ulottuvuuksien näkökulmasta. Luvun lopussa käydään läpi dataperustaisesti tehtyä päätöksentekoa.

Kolmannessa luvussa avataan tutkielmalle keskeinen käsite digitaalinen kaksonen sen historian ja eri määritelmien kautta. Digitaalisen kaksosen historian kautta pyritään luomaan kuva siitä, miksi teknologia ei ole yleistynyt aikaisemmin niin laajasti kuin viime vuosikymmenen jälkipuolella. Luvussa käy ilmi myös se, kuinka monialaisesti digitaalista kaksosta käytetään sekä kyseisen teknologian yleisyys. Monialaisen käytön yhteydessä sekä koko kappaleen ajan esille nostetaan digitaalisen kaksosen ominaisuuksia ja sitä, miten digitaalinen kaksonen käytännössä toimii. Luvun loppupuolella esiin nostetaan myös digitaalisen kaksosen uudemmat sovellutukset, kuten organisaation digitaalinen kaksonen ja jaettu digitaalinen kaksonen, joiden olemusta avataan omissa alaluvuissaan enemmän.

Viidennessä luvussa käsitellään digitaalisen kaksosen tuomia hyötyjä organisaation päätöksenteossa yleisesti. Digitaalisen kaksosen tuomat hyödyt päätöksentekoon eritellään niin operatiivisiin kuin strategiaan hyötyihin päätöksenteossa. Luvussa avataan eri tapoja, joilla digitaalinen kaksonen tuottaa relevanttia ja ajankohtaista informaatiota päätöksenteon tueksi molemmilla edellä mainituilla päätöksenteon osa-alueilla.

Digitaalisella kaksosella teknologiana pyritään vastaamaan alati muuttuviin olosuhteisiin useilla aloilla ja tuottamaan yhä laadukkaampaa informaatiota monialaisesti useilla sovellutusalueilla johdon päätöksenteon tueksi. Datan jalostaminen ja rikastuttaminen sekä Big data ovat olleet ajankohtaisia puheenaiheita jo useamman vuoden ajan, mutta digitaalinen kaksonen luo oman näkökulman informaation tuottamiseen ja sen hyödyntämiseen täysin reaaliaikaisesti. Voidaan olettaa, että digitaalinen kaksonen yleistyy yhä suuremmassa mittakaavassa ja useammilla aloilla digitalisaation ja IoT:n yleistymisen mukana.

Tutkimus on toteutettu kirjallisuuskatsauksena ja tutkimuslähteinä on käytetty vertaisarvioituja tieteellisartikkeleita, konferenssijulkaisuja sekä muita alan relevanteiksi koettuja julkaisuja. Muihin julkaisuihin kuuluu esimerkiksi Gartnerin sekä vuonna 2014 että vuonna 2018 julkaisemat "Hype Cycle" -käyrät, jossa ennustetaan teknologioiden merkittävyyttä omilla sovellutusaloillaan. Tämän lisäksi tutkielmassa on käytetty Singaporen kaupungin julkaisemaa artikkelia älykaupungista digitaalisen kaksosen avulla. Hakusanoina kirjallisuuden etsimisessä on käytetty "Digital Twin", "Digital twin of Organization", "Digital twin and strategy" ja "Digital twin in decision-making".

2 DATA, INFORMAATIO JA PÄÄTÖKSENTEKO

Tässä luvussa käsitellään yrityksen päätöksentekoprosessia sekä sitä, miten päätöksentekoa voidaan parantaa datan avulla. Luvussa otetaan kantaa päätöksenteon eri tasoihin, päätöksentekoprosessin sisältöön sekä päätöksenteon tukemisen keinoihin tuotetulla informaatiolla. Luku päätöksenteosta ja datavetoisesta päätöksenteosta on tärkeä tutkielman kannalta, jotta pystytään ymmärtämään myöhemmin tulevien teknologioiden yhteys päätöksentekoon informaation tuottajana.

2.1 Päätöksenteon hierarkia ja mallit

Yrityksen päätöksenteko on käsitteenä laaja, mutta se voidaan kuitenkin jakaa karkeasti kolmeen eri päätöksenteon tasoon, joita ovat strateginen taso, taktinen taso ja operatiivinen taso (Ackoff, 1990). Kirjallisuudesta löytyy useita, hieman toisistaan eroavia strategisen päätöksenteon määritelmiä. Strateginen päätöksenteko kuitenkin perustuu aina strategiaan, joka on Khalifan (2020) mukaan koonti ydinarvoista ja tavoitteista päätöksentekoa ohjaamassa. Hänen mukaansa hyvät strategiset päätökset perustuvat erilaisten haasteiden voittamiseen omia mahdollisia resursseja hyödyntäen, ja mahdollisuuksien luomiseen hyvinkin epävarmoissa tilanteissa ja olosuhteissa. Strategialla siis luodaan yrityksen toiminnalle raamit menestykseen ja ohjataan päätöksentekoa kaikilla osa-alueilla, niin strategisesti, taktisesti kuin operatiivisellakin tasolla. Tämä juontaa juurensa siihen, että strategiassa määritellään halutut tavoitteet yritykselle, jotka ohjaavat sen kaikkea toimintaa (Porter, 1987).

Strategiaa ja strategisten päätösten toteutumista ohjataan yrityksen toiminnassa, jolloin apuna on sekä taktinen että operatiivinen päätöksenteko (Khalifa, 2021). Taktisella päätöksenteolla määritetään toimintatavat ja toiminnot, joiden avulla pyritään mahdollisimman tarkasti toteuttamaan yrityksen strategisia päätöksiä (Khalifa, 2021). Operatiivisella päätöksenteolla puolestaan pyritään ohjaamaan yrityksen päivittäistä liiketoimintaa siten, että liiketoiminta toteuttaa

yrityksen määrittämää strategiaa (Khalifa, 2020). Tämän perusteella voidaan siis todeta, että yrityksen strategiaa ja strategisia päätöksiä pyritään tukemaan sekä taktisella että operatiivisella päätöksenteolla. Taktisella päätöksenteolla ohjataan sitä, millä tavoilla strategiaa pyritään toteuttamaan ja operatiivisella päätöksenteolla pyritään ohjailemaan yrityksen liiketoimintaa päivittäisten prosessien ja toimintojen kautta siten, että ne toteuttavat strategiaa. Strategisen päätöksenteon voi hahmottaa pitkän tähtäimen tavoitteina ja operatiivisen päätöksenteon lyhyemmän tähtäimen välimaaleina, joiden kautta toteutetaan pitkän tähtäimen tavoitteita.

Schwarber (2005) on määrittänyt viitekehykset hyvän päätöksenteon prosessille. Hänen mukaansa hyvä päätöksenteko on kolmipolvista. Se koostuu päätöksenteon tavoitteesta, potentiaalisista vaihtoehdoista ja mahdollisista riskitekijöistä tavoitteen saavuttamiseksi. Ensin päätöksentekoprosessissa määritellään tavoitteet, jonka pohjalta aloitetaan arvottamaan erilaisia vaihtoehtoja tavoitteiden saavuttamiseksi. Potentiaalisten vaihtoehtojen löytyessä alkaa niiden evaluointi riskien näkökulmasta. Tällöin voidaan tehdä holistinen ja mahdollisimman rationaalinen päätelmä siitä, mikä vaihtoehto on loogisin tavoitteen saavuttamisessa (Schwarber, 2005).

Päätöksenteko voidaan jakaa erilaisiin malleihin, joita on Eisenhardtin ja Zbarackin (1992) mukaan kolme erilaista. Näitä ovat rationaalinen ja poliittinen päätöksentekomalli (Eisenhardt & Zbarack, 1992) sekä roskakori päätöksentekomalli (Cohen, March & Olsen, 1972). Nämä kolme mallia edustavat erilaisia tyyppityksiä päätöksenteosta ja siihen johtavista syistä. Eisenhardtin ja Zbarackin (1992) mukaan rationaalisessa mallissa päätöksenteko määrittyy tekijän tavoitteen mukaisesti siten, että pyritään löytämään parhain ratkaisu eri vaihtoehtoista etsimällä päätöksen tueksi tietoa eri lähteistä. Rationaalisen päätöksenteon mallin rinnalle on nostettu myös rajallisesti rationaalinen päätöksenteko, joka pohjautuu siihen, että ihmisellä ei ole mahdollisuutta tehdä täysin rationaalisia päätöksiä (Eisenhardt & Zbarack, 1992). Tähän liittyy myös päätöksentekijän oman tavoitteen vaihtuminen tai epäselkeys ja tavoitteen mahdollistavan tiedonhaun epäjohdonmukaisuus (Eisenhardt & Zbarack, 1992). Eisenhardtin ja Zbarackin (1992) mukaan rajallinen rationaalinen päätöksenteko voi olla holistisempi tapa lähestyä asiaa, koska päätöksentekoon saattaa vaikuttaa hyvinkin paljon päätöksentekijän tunteet sekä omat mielenkiinnonkohteet.

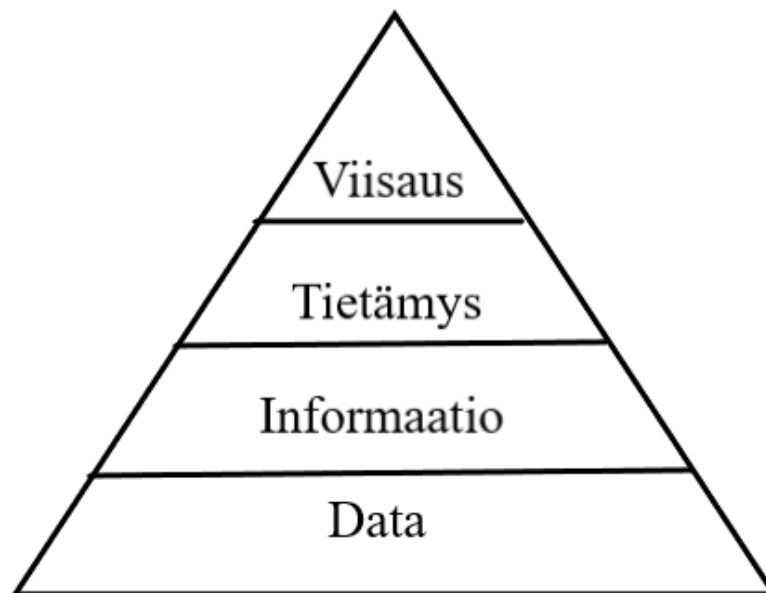
Poliittisen päätöksenteon malliin puolestaan liittyy vahvasti päätöksentekijöiden valta ja erilaiset poliittiset strategiat, kuten liittoumat muiden kanssa, pienempien joukkojen sulauttaminen omien intressien mukaisesti sekä organisaation sisäisten rakenteiden keskinäiset konfliktit (Eisenhardt & Zbarack, 1992). Poliittisessa päätöksenteossa tulee selkeästi esille ihmisen sosiaalinen aspekti päätöksenteossa, sillä kun päätös tehdään kollektiivina, esiin nousee usein ristiriitaisia mielipiteitä ja lopullinen päätös voi olla epäjohdonmukainen (Eisenhardt & Zbarack, 1992).

Cohenin, Marchin ja Olsenin (1972) luoman roskakorimallin perustana taas on monimutkaisuus ja epätasopainoinen päätöksenteko. Roskakorimallissa organisaation päätöksenteossa on anarkioita, joissa päätöksiä tehdään

mielivaltaisesti ilman tietopohjaa (Cohen, March & Olsen, 1972). Tämän lisäksi päätösten tekijät tekevät ratkaisuja erilaisten kokeilujen kautta jättäen toissijaiseksi sen, mitä seikkoja päätöksen onnistumisen tai epäonnistumisen taustalla piilee (Eisenhardt & Zbaracki, 1992).

2.2 Data ja informaatio päätöksenteossa

Datan keräämisestä on yritykselle hyötyä päätöksenteon apuna, mutta sellaisenaan se ei kuitenkaan tuota lisäarvoa liiketoiminnalle. Täten dataa on hyvä muokata sellaiseen muotoon, että sen hyödyt saadaan maksimoitua. Russell Ackoff loi 1989-luvulla paljon hyödynnetyn mallin data, informaatio, tieto, viisaus (DIKW), jota sovelletaan edelleen mallintamaan datan arvoketjua. Kuviossa 1 mallinetaan kyseistä ideaa, jossa dataa käsittelemällä siitä muodostetaan osaamisen kautta tietoa ja lopulta viisautta. Kuvion 1 pohjalla on raaka data, jota käsittelemällä ja antamalla sille kontekstin avulla merkitys siitä muovaantuu informaatiota (Ackoff, 1987). Informaatiosta puolestaan tulee tietämystä, kun se asetetaan kontekstiin, jossa yksilö tai organisaatio yhdistää sen omaan osaamiseensa.



Kuvio 1 DIKW -pyramidi (Ackoff, 1987).

Kuten aikaisemmin tässä kappaleessa mainittiin, data ei itsessään tuota suoranaista lisäarvoa liiketoiminnalle. Tämän lisäksi datalle on tietynlaisia laatu-kriteereitä, joiden mukaan sitä arvioidaan. Datan laadulle ei ole kirjallisuudessa yhtä vakiintunutta määritelmää, vaan useita hieman toisistaan poikkeavia. Wang ja Strong (1996) esittävät datan laadulle olevan olemassa erilaisia ulottuvuuksia. Heidän mukaansa datasta voidaan irrottaa erillisiksi erilaisia datan aspekteja ja tarkastella niiden laatua. Wang ja Strong (1996) määrittelevätkin laadukkaan

datan olevan sellaista, joka on soveltuvaa datan kuluttajien käyttötarkoitukseen. Tämä on kuitenkin laaja yleistys datan laadusta, ja ilman tarkempaa tarkastelua ei pystytä arvioimaan datan laatua.

Ardagna, Cappiello, Samá ja Vitali (2018) puolestaan nostavat esille seitsemän kategorialla liittyen datan laadun ulottuvuuksiin. Heidän mukaansa näitä datan laadun ulottuvuuksia ovat datan:

- Oikeellisuus (Accuracy)
- Kattavuus (Completeness)
- Johdonmukaisuus (Consistency)
- Erotettavuus (Distinctness)
- Tarkkuus (Precision)
- Ajankohtaisuus (Timeliness)
- Määrä (Volume)

Oikeellisuus

Oikeellisuudella tarkoitetaan datan tarkkuutta niin, että se edustaa käyttötarkoitukselleen määriteltyä tosielämää (Wang, ym., 1996). Data voi siis olla arvoltaan oikea, mutta käyttötarkoitus liiketoiminnalle täysin epärelevantti eli ei oikeellinen.

Kattavuus

Kattavuudella mitataan sitä, kuinka tietokanta edustaa täydellisyyttä (Wang, ym. 1996). Datan kattavuutta voidaan Ardagnan ja kumppanien (2018) mukaan määrittellä tietueiden nolla-arvojen ja tyhjiin sarakkeiden kautta. Mikäli niitä esiintyy, tietue ei edusta täydellisyyttä (Ardagna ym., 2018). Heidän mukaansa tietueen täydellisyyttä voi verrata esimerkiksi oletetun arvojen määrän ja saatujen arvojen määrän erotuksella.

Johdonmukaisuus

Johdonmukaisuudella tarkoitetaan ”tietommäärälle määriteltyjen semanttisten sääntöjen rikkomista” (Batini & Scannapiecco, 2016, s. 35). Tätä voidaan Batinin ja Scannapieccon (2016) mukaan tutkia esimerkiksi kahden järjestelmän välillä olevan datan johdonmukaisuudella eli etsimällä datasta esimerkiksi ristiriitaisuuksia.

Erotettavuus

Erotettavuudella tarkoitetaan sitä, että dataa ei tallenneta useampaan kertaan tietokantoihin (Ardagna ym., 2018). Ardagnan ja kumppanien (2018) mukaan hyvällä erotettavuudella päästään irti datan toisteisuudesta, joka kertoo myös datan laadusta.

Tarkkuus

Tarkkuutta mitataan vain numeerisissa ominaisuuksissa astemääränä lähellä olevien arvojen välillä (Ardagna ym., 2018). Tarkkuus voidaan laskea ominaisuuden arvojen keskihajonnan ja keskiarvon perusteella (Ardagna ym., 2018).

Ajankohtaisuus

Ajankohtainen data edustaa nimensä mukaisesti ajankohtaista tietoa. Esimerkiksi valuutan vaihteluissa ajankohtaista tietoa voidaan mitata sillä, täsmäävätkö tietokannan valuutan arvo ja sen hetkisen vaihtelun todellinen arvo (Bovee, Srivastava & Mak, 2003).

Määrä

Määrä ulottuvuutena ilmentää datasta sitä, kuinka paljon kohteesta on prosentuaalisesta kerätty dataa verrattuna objektiin, josta kyseinen data kerätään (Ardagna ym., 2018). Eli yksinkertaistettuna määrällä tarkoitetaan sitä, kuinka suuri prosenttiyksikkö kohteesta on kerätty verrattuna mahdolliseen maksimimäärään.

Dataa voidaan sen laadun ulottuvuuksien lisäksi luokitella eri kategorioihin sen perusteella, minkälaista data on luonteeltaan eli datan ominaisuudet ja piirteet ovat tässä keskiössä (McGilvray, 2008). Myös datan ominaisuuksilla on merkitystä datan laatuun. Datan erilaisia ominaisuuksia, joita tässä tutkielmassa sivutaan ovat Big Data, Transaktiodata ja Master Data. Big Datalla viitataan sellaiseen dataan, jota syntyy nopeasti suuria määriä erilaisissa muodoissa, kuten kuvina ja videoina sekä muista lähteistä kuten sensoreista (Breur, 2016). Transaktiodatalla puolestaan viitataan dataan, joka syntyy erilaisissa vuorovaikutuksissa, kuten ostotapahtumissa, logistiikkatapahtumissa ja muissa erilaisissa transaktiutilanteissa (Bingwen ym., 2021). Master Datalla tarkoitetaan yrityksen keskeisiä ydintietoja, jotka mahdollistavat liiketoiminnan ja ovat liiketoiminnan perustana (Figueiredo, Botelho, Moreira, ym., 2019). Näiden datan osa-alueiden pinta-puolinen hahmottaminen auttaa ymmärtämään tämän tutkielman sisältöjä. Ne eivät kuitenkaan ole keskeisessä roolissa tutkielmassa, joten niitä ei tässä yhteydessä ole tarvetta käsitellä syvällisemmin. Datan analysoimiseen on myös useita työkaluja ja menetelmiä, joihin ei tässä tutkielmassa oteta kantaa. Analytiikan työkalut ja menetelmät ovat kuitenkin keskeisiä datan jalostamisessa informaatioksi tietopohjaisen päätöksenteon avuksi.

Aikaisemmin mainittua Eisenhardtin ja kumppaneiden (1992) rationaalisen päätöksenteon teoriaa voidaan verrata nykyisin Big Datan ja dataintensiivisten markkinoiden mukanaan tuomaan päätöksentekoon. Provost ja Fawcett (2013) esittelevät dataperusteisen päätöksenteon tarkoittavan päätöksiä, jotka perustuvat analysoituun dataan. Myös Eisenhardt ja kumppanit (1992) nostivat esille rationaalisen päätöksenteon mallissaan päätöksenteon pohjautuvan tietoon. Provost ja Fawcett (2013) esittelevät, että dataperusteista päätöksentekoa voidaan tehdä esimerkiksi datasta nousevien ilmiöiden pohjalta, joiden avulla saavutetaan etu markkinoilla kilpailijoihin nähden. Dataperustaisesti pystytään heidän mukaansa myös määrittelemään asiakkuuksiin perustuvia asioita, kuten kuinka monen asiakkaan sopimus on erääntymässä. Tästä voidaan tehdä johtopäätöksiä

ja yrittää esimerkiksi solmia asiakkaan kanssa uusi sopimus. Provost ja Fawcett (2013) esittävät myös, että päätöksiä voidaan datan avulla myös automatisoida. Tämä tehostaa päätöksentekoprosessia ja tuo suuremmassa mittakaavassa kilpailuetua (Provost & Fawcett, 2013). On selvää, että yritysten pitää ottaa käyttöön erilaisia datan keruun sekä sen jalostamisen työkaluja, jotta päätöksentekoprosessia pystytään niin parantamaan informaation avulla kuin tehostamaan informaation ja automatisaation toimesta.

3 DIGITAALINEN KAKSONEN JA SEN SOVELLUTUKSET

Tässä luvussa käsitellään digitaalisen kaksosen käsitettä sekä sen historiaa ja tämän mukana tuomia eri määritelmiä aiheelle. Digitaalisen kaksosen historiaa on aiheen kannalta tärkeä ymmärtää, jotta saadaan yleiskuva siitä, miksi kyseinen sovellutus ei ole yleistynyt aikaisemmin laajaan käyttöön. Tämän jälkeen käydään läpi digitaaliselle kaksoselle ominaisia piirteitä sekä ominaisuuksista johdettuja käytännön käyttötarkoituksia monialaisesti. Luvun loppupuolella käsitellään digitaalisen kaksosen tuomia hyötyjä ja haasteita. Tärkeänä osana luvussa pyritään tuomaan esille ongelmia, johon digitaalisen kaksosen kehittämisellä on pyritty vastaamaan. Tämän lisäksi luvussa otetaan kantaa digitaalisen kaksosen laajempiin sovellutuksiin, kuten organisaation digitaaliseen kaksoseen ja kirjallisuudessa vähemmälle huomiolle jääneeseen jaettuun digitaaliseen kaksoseen (Gartner, 2018; Haße, Valk, Möller ym., 2022).

3.1 Digitaalisen kaksosen historiaa

Ensimmäisenä julkiseen tietoisuuteen tulleen digitaalisen kaksosen määritelmänä voidaan pitää Michael Grievesin luennolla *Product Lifecycle Management* Michiganin Yliopistossa vuonna 2003 esittelemää määritelmää (Grieves, 2014). Grievesin mukaan digitaalinen esitysmuoto fyysisistä tuotteista oli luennon aikoihin vielä alkutekijöissään ja teknologia datan keräämisen hyvin rajoittunutta (Grieves, 2014). Grievesin (2014) mukaan tästä kertovat esimerkiksi manuaaliset datan keruutavat, joissa ei keskeisenä apuna ollut nykyisiä teknologioita sekä arkistointi, johon käytettiin suurimmaksi osaksi paperia ja kynää. Voidaan todeta, että aikaisessa vaiheessa keskeisimpiä esteitä digitaalisen kaksosen kehittymiselle ja yleistymiselle olivat teknologian rajoitteisuus ja automaattisen tiedonkeruun sekä arkistoinnin puute.

Vakiintunut termi digitaalinen kaksonen on kirjallisuudessa saanut alkunsa Tuegelin, Ingrassian, Easonin ja Spottswoodin (2011) toimesta NASA:n

tutkimuksesta, jossa he hyödynsivät digitaalisen kaksosen tuomaa simulaation mahdollisuutta ilma-aluksen materiaalien tarkkaan eliniän ja kestävyysodotukseen huomioiden ilma-aluksen mahdolliset ulkoiset olosuhteet. Kyseisen mallinnuksen ja simulaation mahdollisti pitkälti ensimmäisen, 2003 esiin tulleen, määritelmän jälkeen kehittynyt korkea tietojenkäsittelyn suorituskyky (Tuegel ym., 2011). Glaessgen ja Stargel (2012) jalostivat eteenpäin vuotta myöhemmin Tuegelin ja kumppaneiden (2011) tutkimusta tehden digitaalisen kaksosen pelkän lentoaluksen peräsiiven lisäksi sen muistakin osista. Näin ollen lentoalukset saatiin simuloimalla kehitettyä kestävämmiksi sekä materiaaleiltaan että muotoilultaan, jonka avulla lentäminen esimerkiksi avaruuslennoilla oli turvallisempaa ja luotettavampaa (Glaessgen & Stargel, 2012). Digitaalisella kaksosella vastattiin myös tarpeeseen saada ajankohtaista dataa ulkoisista olosuhteista, joita ei muualla pystytty luomaan (Glaessgen & Stargel, 2012).

Tuegelin ja kumppaneiden (2011) sekä Glaessgenin ja Stargelin (2012) tutkimusta voidaan pitää erittäin tärkeinä digitaalisen kaksosen kehityksen kannalta, sillä molempien tutkimusten ansiosta digitaalisen kaksosen mallinnus ja kehitys keräsi enemmän huomiota eri tutkimusryhmissä (Glaessgen ym., 2012). Suurena harppauksena digitaalisen kaksosen yleistymisestä monialaisesti voidaan pitää Grievesin (2014) julkaisua, joka käsitteli digitaalisen kaksosen soveltumista tuotannon ja teollisuuden käyttöön sekä sen tuomia mahdollisuuksia. Samana vuonna myös Gartner (2014) listasi digitaalisen kaksosen 10 lupaavimman teknologian joukkoon, mikä toi sovellutuksen myö suuremman yleisön tietoisuuteen.

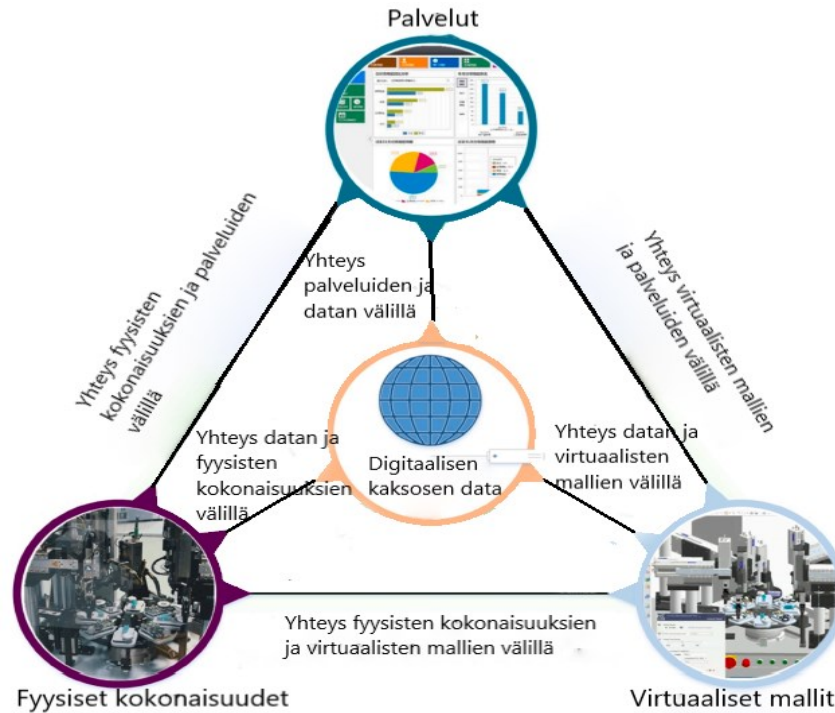
2010-luvun alkupuolelta nykyhetkeen julkaisujen määrä on kasvanut monialaisesti ja tieteellisiä julkaisuja aiheesta on tehty etenkin ilmailun, terveydenhuollon, tuotannon ja lääketieteen aloilla (Barricelli, Casiraghi & Fogli, 2019). Monialaisuuden lisäksi aiheesta on tehty paljon tutkimusta eri näkökulmista, jotka edustavat esimerkiksi digitaalisen kaksosen toiminnallisuutta, kehitysvaihetta, suorituskykyä, kehittämistä ja implementointia sekä digitaalisen kaksosen erilaisia käytännön sovellutuksia (Jones, Snider, Nassehi & ym., 2020). Voidaan myös todeta, että teknologian kehitys, digitalisaatio ja yritysten jatkuva tarve informaatiolle on kiihdyttänyt digitaalisen kaksosen kehitystä ja luonut yhä laajempia sovellutuksia.

3.2 Digitaalisen kaksosen eri määritelmiä

Kirjallisuudessa esiintyy useita hieman toisistaan poikkeavia määritelmiä digitaalisesta kaksosesta (Tao, Zhang, Liu & Nee, 2018; Negri, Fumagalli & Macchi, 2017). Tämä juontaa juurensa siihen, että digitaalisella kaksosella on monialaisesti useita eri käyttötarkoituksia, jotka aiheuttavat ristiriitaa niin käsitteen määrittelyssä kuin sovellutuksien käytössäkin. Voidaan myös olettaa, että määritelmien kirjo tulee kasvamaan jatkuvasti teknologian suosion sekä käytön yleistymisen mukana.

Yleisimpiä ja kirjallisuudessa eniten käytettyjä määritelmiä on Qin ja kumppaneiden. (2021) mukaan kaksi, jotka ovat Grievesin (2014) ja NASA:n (2012) konstruoimia. NASA (2012) määrittelee digitaalisen kaksosen olevan moniulotteinen useassa mittakaavassa toimiva todennäköisyyksiä sekä dataa yhdistelevä simulaatio jostakin fyysisestä ajoneuvosta. Digitaalinen kaksosen käyttää sensorista dataa, historiallista dataa simuloinnissa sekä pyrkii digitaalisella mallinnuksella vastaamaan reaaliaikaisesti fyysistä vastinpariaan (NASA, 2012). NASA:n (2012) määritelmä on tiukasti sidoksissa lentämiseen tarkoitettuihin kulkuneuvoihin sekä avaruusmatkailuun eli selkeästi toimialakohtainen. Tästä syystä Grievesin (2014) antaman määritelmän digitaaliselle kaksoselle voi nähdä olevan monialaisesti huomattavasti kattavampi ja käytettävämpi. Grieves (2014) määrittelee digitaalisen kaksosen olevan kolmiulotteinen, sisältäen virtuaaliset tuotteet, fyysiset vastinparit virtuaalisille tuotteille sekä yhteyden virtuaalisten tuotteiden ja näiden fyysisten vastinparien välillä, joita sitoo yhteen data ja informaatio. Grievesin (2014) mukaan digitaalinen kaksosen muovaantuu reaaliaikaisesti vastaamaan fyysistä vastinpariaan siitä saadun informaation mukaan. Virtuaalisen vastinparin rakentamisessa käytetään fyysisen vastinparin tuottamaa dataa, jota usein kerätään erilaisilla antureilla (Tao, Cheng ym., 2018). Tähän usein käytetään lisäksi historiallista dataa, koneoppimista ja tekoälyä sekä näiden avulla luotuja tulevaisuuden odottamia (Tuegel ym., 2011; Mi ym., 2021). Digitaalinen kaksosen luo mahdollisuuden tehdä jo aikaisemmin mainittuja simulaatioita virtuaalisessa muodossa, ilman fyysisen tuotteen muokkaamista (Grieves, 2014; Glaessgen ym., 2012).

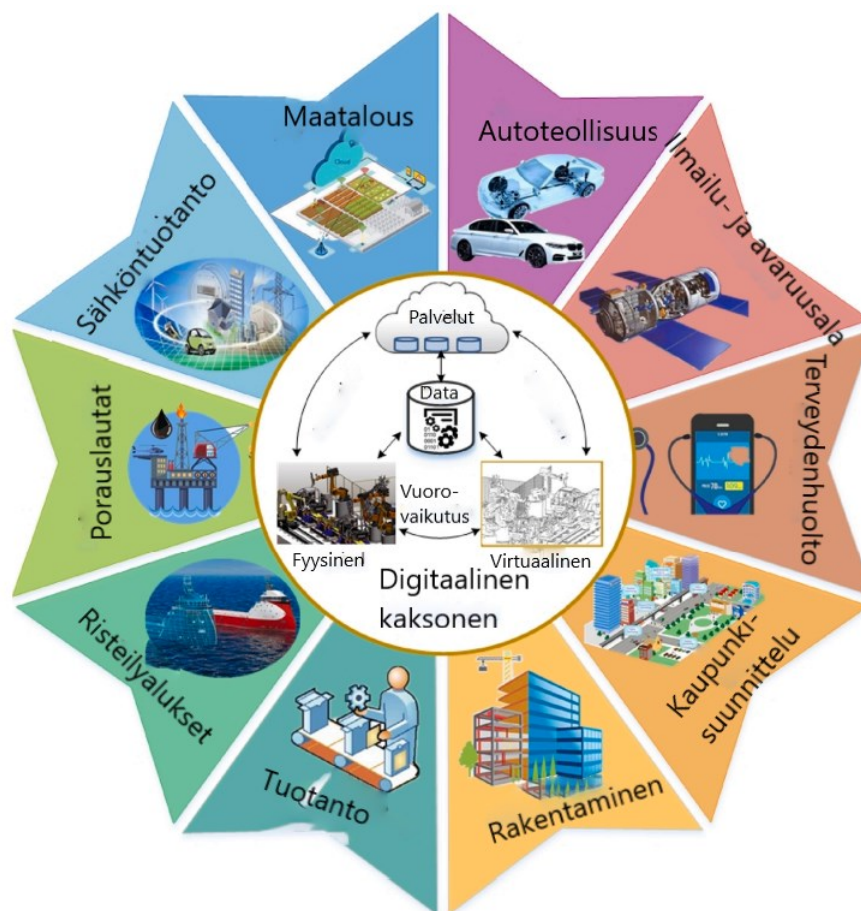
Grievesin (2014) luomasta digitaalisen kaksosen kolmiulotteisesta määritelmästä on tehty jatkoehdotuksia jopa viisiulotteiseen digitaaliseen kaksoseen, jonka Tao, Zhang ja kumppanit (2018) esittelevät tutkimuksessaan. Tao, Zhang ja kumppanit (2018) ehdottavat fyysisen ja virtuaalisen vuorovaikutuksen lisäksi digitaaliseen kaksoseen lisättävän digitaalisen kaksosen datan sekä palvelut. Viisiulotteinen digitaalinen kaksosen sekä sen osien yhteydet toisiinsa havainnollistetaan kuviossa 1. Tässä vaiheessa on hyvä huomioda, että aiempia sovellutuksia on pääosin käytetty fyysisten laitteiden ja esimerkiksi tuotantolinjojen mallintamiseen. Taon, Zhangin ja kumppaneiden (2018) viisiulotteisen mallin avulla digitaalinen kaksosen pystytään valjastamaan tuottamaan kattavampaa ja tarkempaa tietoa itsestään sekä fyysisestä vastinparistaan. Tämän lisäksi myös erilaiset lisäpäätelmät, jotka eivät kuuluneet Grievesin (2014) luomaan kolmiulotteiseen määritelmään, olisivat mahdollisia. Näitä ovat Taon, Zhangin ja kumppaneiden (2018) mukaan esimerkiksi palveluissa tehtävien erilaisten poikkeuksien havaitseminen sekä päätelmät ja ennusteet, jotka toimivat erinomaisesti päätöksenteon tukena. Viisiulotteinen määritelmä digitaalisesta kaksosesta on nykyaikaisin ja kuvailevin aiheesta sekä ominaisuuksiltaan että käytettävyydeltään monialaisesti.



Kuvio 2 Malli viisiulotteisesta digitaalisesta kaksosesta (Suomennettu Qi, ym., 2021, s. 5).

3.3 Digitaalisen kaksosen käyttökohteet ja ominaisuudet

Kuten yllä todettu, digitaalisen kaksosen käyttö on yleistynyt monialaiseksi teknologian kehityksen, yritysten informaation tarpeen sekä digitalisaation mukana. Luontonsa sekä helpon implementointinsa vuoksi digitaalista kaksosta käytetään eniten tuotannon parissa (Barricelli ym., 2019; Tao, Cheng ym., 2018). Kuviossa 3 kuitenkin havainnollistetaan, kuinka laajasti digitaalinen kaksonen on otettu käyttöön eri aloilla myös tuotannon lisäksi.



Kuvio 3 Aloja, joilla digitaalista kaksosta käytetään (Suomennettu Qi, ym., 2021, s. 6).

Digitaalisella kaksosella on useita eri käyttötarkoituksia ja sen käyttötarkoitukset vaihtelevat alakohtaisesti. Tämä juontaa juurensa digitaalisen kaksosen erilaiseen muodostamiseen eri aloilla johtuen alakohtaisesta tiedon tarpeesta vaihtelevasta. Digitaalisen kaksosen käytön yhteydessä eri aloilla voi tukena olla muutaakin teknologiaa kuten lisättyä todellisuutta (AR), virtuaalista todellisuutta (VR) ja sekoitettua todellisuutta (MR) sekä tekoälyä (AI) (Yao ym., 2018).

Digitaalisen kaksosen alakohtaisen käytön lisäksi on tärkeää tunnistaa myös se, kuinka eri digitaalisia kaksosia käytetään eri aloilla, ja miten ne tuovat lisäarvoa. Tästä hyvä esimerkki on reaaliaikainen tuotteiden seuranta, mikä on tullut esille tutkielmassa jo aikaisemmin digitaalisen historian läpikäynnin yhteydessä. Tuegelin ja kumppaneiden (2011) sekä Glaessgenin (2012) mukaan avaruusilmailussa arvoa on tuotettu digitaalisen kaksosen kautta tuotteen elinkaareissa ja sen reaaliaikaisessa tarkastelussa. Digitaalisen kaksosen avulla pystyttiin arvioimaan kulkuneuvon eri osien käyttöikä (Tuegel ym., 2011; Glaessgen, 2012). Samankaltaisia tuloksia on saatu myös monilla eri osa-alueilla tuotannon parissa. Digitaalisen kaksosen avulla voidaan tuotannossa, rakennusalalla ja kaupungin liikenteen jäljittämässä saada reaaliaikaista tietoa siitä, mikä on kyseisen tarkastelualueen kunto tai missä vaiheessa omaa elinkaartaan tuote on (Becue ym., 2018; Parmar ym., 2020; Tao ym., 2019). Muita arvoa tuottavia käyttökohteita digitaalisella kaksosella on erilaisten simulaatioiden kautta saavutetut hyödyt

(Tuegel ym., 2011). Simulaatioita on hyödynnetty esimerkiksi kuluttajakäyttämisen ennakkoinnissa, päätöksenteossa sekä tuotteiden kehityksellisessä optimoinnissa ja prosessien optimoinnissa ja näin ollen tehokkaampien toimintatapojen saavuttamisessa (Qi, ym. 2021; Rosen, von Wichert, Lo, ym., 2015). Simulaatioiden merkitys on digitaaliselle kaksoselle keskeinen, ja myös tämän vuoksi digitaalinen kaksosen käytettävyys eri aloilla on korkea. Tuloksia arvontuotosta on myös esitetty kaupunkisuunnittelussa, jossa digitaalisen kaksosen 3D-mallinnus on tuonut lisäarvoa kaupungin kaavoitukseen ja sen paremman hahmottamisen kautta (Dassault Systèmes, 2018). Paremman hahmotuksen saaminen pätee myös muilla aloilla kuten tuotekehityksen prototyypityksessä sekä tuotannossa tuotantolinjojen hahmotuksessa (Qi ym., 2021). Muita arvoa digitaalisen kaksosen tuottavia elementtejä on havaittu virheiden ennaltaehkäisemisessä ja aikaisessa huomaamisessa sekä tuotantoketjun laitteiden oikea-aikaisessa uusimisessa (Tao & Zhang, 2017; Mi ym., 2021). Yhteenvetona digitaalisesta kaksosesta voidaan todeta, että se tuottaa lisäarvoa organisaatioille informaation muodossa ja näin ollen organisaation vastuulle jäävät päätökset siitä, miten hyvin informaatiota hyödynnetään sekä/niin strategisesti että/kuin operationaalisessa päätöksenteossa.

3.4 Organisaation digitaalinen kaksonen

Gartner (2018) esitteli oman ideansa organisaation digitaalisesta kaksosesta (DTO) omassa raportissaan, jossa määriteltiin toimialoja mullistavia teknologioita. Gartnerin (2018) mukaan organisaation digitaalinen kaksonen on aikaisemmin esitellyn digitaalisen kaksosen laajennus, joka kattaa koko organisaation prosesseineen, ihmisineen ja järjestelmineen pelkkien palveluiden ja fyysisten laitteiden lisäksi. Ajatusta tukee Edrisin, Perez-Palacinin, Caporuscion ja kumppaneiden (2021) määritelmä organisaation digitaalisesta kaksosesta, jossa määritellään käsitteen alle kuuluvan kaikki organisaation toiminnalle relevantit organisaation sisäiset elementit. Tämä käsittää siis myös Gartnerin (2018) määrittelemät ihmiset, prosessit, palvelut, järjestelmät, toiminnot ja fyysiset laitteet. Organisaation digitaalisen kaksosen rakentamiseen ja implementointiin liittyy organisaatiotasolla usein prosessien uudelleen pohtiminen ja mallintaminen (Park & van der Aalst, 2021). Park ja van der Aalst (2021) ovatkin luoneet oman ehdotuksensa organisaation digitaalisen kaksosen rakentamiselle osana toiminnallista prosessilouhintaa, jossa organisaation prosessien keräämästä datasta tehdään informaatiota ja toimintaa tehostetaan datan sekä havaittujen epäkohtien perusteella (Park & van der Aalst, 2020).

Organisaation digitaalinen kaksonen on kehitysvaiheessa, jossa se ei ole vielä realisoitunut potentiaaliaan riippuen monista eri tekijöistä (Edrisi ym., 2021). Suurimpina haasteina Edrisi ja kumppanit (2021) ottavat esille organisaation jatkuvan muutoksen, johon organisaation digitaalisen kaksosen tulisi vastata muuttamalla reaaliaikaisesti sen mukana. Heidän mukaansa on erittäin haastavaa mallintaa kokonaista organisaatiota sillä tasolla, että kaikki muutokset

pystyttäisiin realisoimaan organisaation digitaaliseen kaksoseen reaaliajassa. Muita haasteita organisaation digitaalisen kaksosen käyttöönotolle ovat esimerkiksi organisaatioiden heikko teknologinen valmius vastata organisaation digitaalisen kaksosen rakentamiseen sekä yritysten monimutkaiset prosessit, jotka vaativat työstämistä (Parmar, Leiponen & Thomas, 2020; van der Aalst, Hinz & Weinhardt, 2021). Van der Aalst ja kumppanit (2021) nostavat myös esille organisaatioiden mallinnuksen haasteiksi ihmisten irrationaalisen käyttäytymisen, joka on usein ennustamattomissa sekä organisaation häilyvät rajat. Häilyvillä rajoilla tarkoitetaan tässä yhteydessä organisaatioiden liiketoimintaprosesseja, joihin vaikuttavat useat tekijät niin organisaation sisäisesti kuin ulkoisestikin (van der Aalst, 2021).

Organisaation digitaalisen kaksosen rakentamisen ja käyttöönoton haasteista huolimatta sen käytön hyödyistä on löydetty todisteita. Muutamia Parmarin ja kumppaneiden (2020) listaamia hyötyjä ovat:

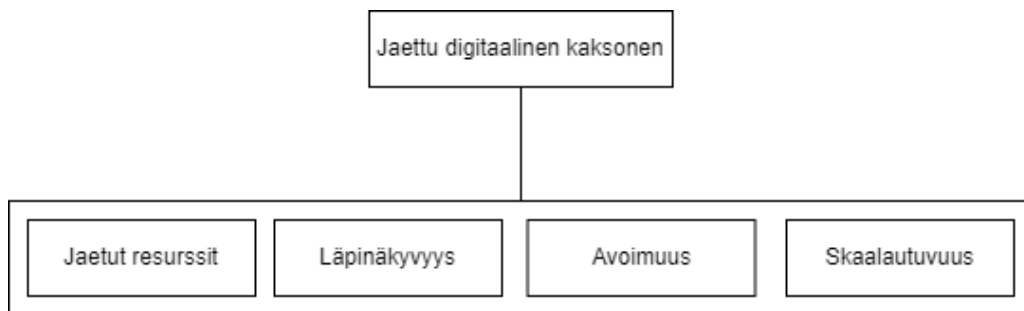
- Prosessien tehostaminen simulaatioiden avulla.
- Kilpailullinen etu simulaatioiden kautta, jotta pystytään tunnistamaan asiakkaiden ostokäyttäytymistä sekä markkinoita paremmin.
- Tieto organisaation reagoimisesta päätöksentekoon simulaatioiden kautta.
- Simulaatiot tuotekehityksessä yhdistettynä kuluttajakäyttäytymisen simulaatioihin.

Parmarin ja kumppaneiden (2020) mukaan prosessien tehostaminen simulaatioiden avulla tuo organisaatioille kustannussäästöjä. Kustannussäästöt rakentuvat heidän mukaansa simuloinnissa esiin nousevien parhaiden skenaarioiden kautta. Asiakkaiden ostokäyttäytymisen ja markkinoiden hahmottaminen on kilpailun kannalta kriittistä, jotta pystytään tarjoamaan oikeanlaisia tuotteita sekä asemoitumaan markkinoille maksimoiden tuotot (Parmar ym., 2020). Parmarin ja kumppaneiden (2020) mukaan organisaation reagoiminen päätöksentekoon on erinomainen tapa saavuttaa parhaat operationaaliset päätökset simuloinnin kautta. Tämän lisäksi hyödyt tavoitetaan, kun kuluttajakäyttäytymisen mallit ja tuotekehityksen mallit yhdistetään, saavutetaan optimaalinen tuote markkinoille asiakkaiden tarpeisiin (Parmar ym., 2020). Kaikki edellä mainitut hyödyt viittaavat datan hyödyntämiseen liiketoiminnassa ja operationaalisissa päätöksissä (Davenport, 2006; Manyika, 2011; Mayer-Schönberger & Cukier, 2013).

3.5 Jaettu digitaalinen kaksosen

Digitaalisen kaksosen on huomattu olevan hyödyllinen monien yritysten välisenä informaation tuottajana, etenkin siten, että teknologiana se mahdollistaa tiedon pysyvyyden samana yritysten välillä (Longo, Nicoletti & Padovano, 2019). Uhlenkamp, Hribernik ja Thoben (2022) antavat tukea tälle väitteelle ja lisäävät, että digitaalinen kaksosen voi saavuttaa täyden potentiaalinsa käytettäessä pilviteknologian ja eri alustojen kanssa yritysten välillä. Jaettu digitaalinen

kaksonen onkin suunniteltu mahdollistamaan siitä saatavan tiedon jakamisen monen yrityksen välillä reaaliaikaisesti (Haße ym., 2022). Tällöin tarkoituksena on jakaa alustalla tietoja monen yrityksen välillä hyödyttäen kunkin yrityksen liiketoimintaa ja samalla rikastuttaen jaettua digitaalista kaksosta siihen johdetun ulkoisen datan avustuksella (Haße ym., 2022). Jaettu digitaalinen kaksonen on luonteeltaan hajautettu järjestelmä eli siihen liittyy samoja attribuutteja, kuten muihinkin hajautettuihin järjestelmiin. Näitä ovat Kuviossa 4 mainitut attribuutit: jaetut resurssit, läpinäkyvyys, avoimuus sekä skaalautuvuus (Steen & Tanenbaum, 2017).



Kuvio 4 Jaetun digitaalisen kaksosen attribuutit (Suomennettu Haße ym., 2022, s. 755).

Jaetun digitaalisen kaksosen ominaisuuksiin kuuluu myös korkea tietoturva, josta kertoo mahdollisuus tiedon määräämisoikeuden palauttamisesta sen tuottajayritykselle (Haße, ym., 2022). Keskeinen arvonluonti jaetussa digitaalisessa kaksosessa tapahtuu prosessien läpileikkauksen ja sen avulla tuotetun datan avulla (Haße, ym., 2022).

4 DIGITAALINEN KAKSONEN ORGANISAATION PÄÄTÖKSENTEOSSA

Tässä luvussa määritellään erilaisia tapoja tuoda organisaatiolle lisäarvoa päätöksenteossa käyttämällä digitaalista kaksosta. Luvussa määritellään digitaalisen kaksosen keinot tuottaa hyödyllistä informaatiota organisaation päätöksentekoon ensin yleisesti ja sitten niin operatiivisella kuin strategisellakin tasolla sen tuottaman informaation kautta.

4.1 Digitaalinen kaksonen päätöksenteossa yleisesti

Digitaalisen kaksosen soveltuvuudesta päätöksenteon apuvälineeksi on todettu hyötyjä useissa tutkimuksissa, ja näin ollen se on saanut jalansijaa monialaisesti niin big datan kuin transaktiodatankin tuottajana (Qi ym., 2019). On myös huomattu, että digitaalisen kaksosen käyttö tuo strategista kilpailuetua yrityksille sen erilaisten ominaisuuksien ja käyttötarkoitusten kautta (Parmar ym., 2020). Kuten tässä tutkielmassa todettiin, digitaalinen kaksonen itsessään tuottaa dataa ja informaatiota erilaisista liiketoimintaprosesseista, kuten palveluista ja tuotannosta. Digitaalinen kaksonen kaipaa kuitenkin siihen yhdistettyä päätöksentekoa saavuttaakseen täyden potentiaalinsa (Jeeshan, 2021). Digitaalista kaksosta ominaisuuksiensa vuoksi on sovellettu paljon tuotannossa, joten on luonnollista, että hyötyjä päätöksenteon apuna on suuremmissa määrin löydetty erityisesti operatiivisen johtamisen puolelta (Qi ym., 2021; Barricelli ym., 2019). On kuitenkin todettu, että digitaalisen kaksosen ja etenkin sen uudemmat sovellutukset organisaation digitaalinen kaksonen ja jaettu digitaalinen kaksonen tuottavat organisaatioille sellaista informaatiota, jota voidaan käyttää myös strategisen päätöksenteon apuna ajatellen organisaation pidempikätseisiä tavoitteita (Parmar ym., 2020; Haße ym., 2022).

Joissain prosesseissa digitaalisen kaksosen tuottama informaatio on käyttökelpoista sellaisenaan, mutta usein lisäarvoa digitaalisen kaksosen tuottamalle informaatiolle tuodaan lisäämällä siihen historiallista dataa ja/tai markkinoilta

saatua dataa erilaisten ennusteiden tai simulaatioiden mahdollistamiseksi (Tuegel ym., 2011; Parmar, 2020). Voidaankin todeta, että rikastuttamalla digitaalisen kaksosen tuottamaa dataa liiketoiminnan kannalta relevantilla informaatiolla voidaan päästä parempaa päätöksentekoon niin strategisesti kuin operatiivisellakin tasolla. Digitaalisen kaksosen tuottaman informaation rikastuttaminen historiallisella datalla ja/ tai markkinoilta saadulla datalla on keskeinen edellytys digitaalisen kaksosen käytölle strategisen päätöksenteon tukena (Parmar ym., 2020).

4.2 Digitaalinen kaksosen operatiivisen johdon apuna

Kuten edellisessä kappaleessa mainittiin, digitaalisen kaksosen käytöstä on löydetty hyötyjä etenkin operatiivisessa päätöksenteossa ominaisuuksiensa ja yleisesti käyttöhistoriansa vuoksi (Qi ym., 2021). Tuotannossa, etenkin tehdasympäristössä digitaalisen kaksosen hyödyt prosessien operatiivisessa johtamisessa ovat ilmeisiä. Esimerkiksi tuotantolinjojen huollossa on sovellettu digitaalista kaksosta siten, että tuotantolinjojen koneiden tai niiden osien huoltotarve on tullut ilmi nopeasti digitaalisen kaksosen kautta, jolloin tuotantolinjan käynnissä oleva aika optimoidaan (Adrien ym., 2018; Morteza & Mohammad, 2021). Myös syöttämällä digitaaliselle kaksoselle historiallista dataa siitä, mikä tuotantolinjojen koneiden huoltotarve on menneisyydessä ollut, voidaan tehdä informaatioon perustuvia ratkaisuja tuotannon välineiden vaihdosta ja huollosta ennakoivasti (Mi, Feng, Zheng, Wang, Gao & Tang, 2021). Tällöin pystytään Minin ja kumppaneiden (2021) mukaan tehokkaan operatiivisen päätöksenteon sekä ennusteiden avulla poistamaan tuotannon pullonkauloja minimoimalla ylimääräisiä tai tarpeettoman pitkälle venyneitä huoltokatkoja, ja täten optimoimaan tuotantoa.

Tuotannon optimoinnin piiriin kuuluvat myös digitaalisen kaksosen avulla tehdyt simulaatiot prosessikuluista (Baskaran ym., 2019; Kuehn, 2018). Baskaranin ja kumppaneiden (2019) mukaan digitaalisen kaksosen mahdollistamia simulaatioita teettämällä organisaation erilaisille tuotanto- ja muille prosesseille voidaan löytää optimaaliset tavat työskennellä niin ihmis- kuin konelähtöisestikin. Yksi hyväksi havaittu simulaation mahdollistama keino on niin kutsuttu lay out testaaminen, jossa digitaalisessa kaksosessa luodun mallin mukaisesti ihmiset ja koneet asetellaan tehtaaseen (Guo, Zhu, Zhang, Ren, Chen & Zhang, 2021). Tällöin saavutetaan optimaalinen tulos myös konkreettisesti toiminnassa digitaalisen kaksosen tuottaman informaation avulla (Guo ym., 2021). Baskaranin ja kumppaneiden (2019) mukaan prosessien tehostaminen tuottaa organisaatioille säästöjä niin ajallisesti kuin resurssienkin kannalta.

Kuehn (2018) määrittelee digitaalisen kaksosen tuovan tuotantoketjuissa ja logistiikassa monia etuja simulaatioiden kautta, joissa kokeillaan useita vaihtoehtoisia skenaarioita ennen niiden konkreettista toteuttamista. Hyödyt realisoiduvat hänen mukaansa liiketoiminnan kannalta oikein tehtyinä päätöksinä. Eri-laisten päätösten lopputulemina saatavien eri skenaarioiden kokeileminen digitaalisessa kaksosessa tuottaa myös lisäarvoa strategista päätöksentekoa ajatellen,

jota käydään läpi myöhemmin tutkielmassa. Operatiiviseen johtamiseen vaikuttavat myös kokonaisuudet ja niiden hahmottaminen. Tähän digitaalinen kaksosen tarjoaa mainion avun 3D mallinnuksen kautta. Apte, Pushkar, Spanos & Costas (2021) avaavat digitaalisen kaksosen 3D-mallin tuovan erilaiset fyysiset kokonaisuudet sekä palvelut konkreettisesti nähtäville, jolloin niiden kokonaisuuksia on helpompi käsittää. Tästä hyviä esimerkkejä ovat myös esimerkiksi Singaporen ja Zurichin kaupunkien digitaaliset kaksokset, joiden avulla on pyritty hahmottamaan paremmin rakentamista sekä kaupungin liikenteen kulkua. Kokonaisuuksien hahmottamisen kautta pystytään Apten ja kumppaneiden (2021) mukaan tekemään parempia päätöksiä niin operatiivisesti kuin strategisestikin.

4.3 Digitaalisen kaksosen hyödyntäminen strategisessa päätöksenteossa

Organisaatioiden strategisessa päätöksenteossa on huomattu niin käytännössä kuin kirjallisuudessakin useita hyötyjä digitaalisen kaksosen ja organisaation digitaalisen kaksosen tuottaman informaation osalta (Parmar ym., 2020). Parmarin ja kumppaneiden (2020) mukaan simulaatiot strategisessa päätöksenteossa ja markkinatutkimuksessa ovat saaneet osakseen paljon huomiota. Organisaation digitaalisen kaksosen kautta simulointien avulla voidaan hahmottaa Parmarin ja kumppaneiden (2020) mukaan päätöksenteosta aiheutuvat muutokset organisaatiossa. Näin digitaalisen kaksosen virtuaalisessa osassa voidaan valita organisaatiolle suotuisimmat vaihtoehdot useita erilaisia strategisia päätöksiä kokeillen ja niiden vaikutuksia organisaatiossa seuraten. Tämän informaation avulla Mayer-Schonbergerin ja Cukierin (2013) mukaan voidaan ansaita huomattavaa etua monella osa-alueella liiketoiminnassa kilpailijoihin nähden. Mayer-Schonbergerin ja Cukierin (2013) mukaan päätöksenteon simuloinnilla pystytään myös nopeasti vastaamaan jatkuvaan muutokseen liiketoimintakentällä ja näin ollen parantaa huomattavasti organisaation ketteryyttä.

Markkinatutkimuksessa organisaation digitaalista kaksosta voidaan Parmarin ja kumppaneiden (2020) mukaan käyttää simulaatioiden avulla kerryttämään parempaa markkinoiden ymmärrystä. Tekoälyavusteisten simulaatioiden ja kuluttajakäyttäytymisestä kerätyn historiallisen datan sekä markkinoilta saadun datan avulla voidaan Parmarin ja kumppaneiden (2020) sekä Manyika ja kumppaneiden (2011) mukaan luoda kuluttajakäyttäytymisen tulevaisuuden ennusteita, jolloin markkinoista saadaan parempi ymmärrys ja niille voidaan asemoitua paremmin. Tätä voidaan verrata Provostin ja Fawcettin (2013) esille nostamaan ajatukseen siitä, että kerätystä ja jalostetusta datasta voidaan saada esille ilmiöitä, joiden perusteella voidaan tehdä päätöksiä. Edellä mainitussa simulatioiden perusteella tehdyissä strategisissa markkinapäätöksissä noudatetaan myös eräällä tavalla datasta nousseiden ilmiöiden perusteella tehtyjen päätösten ajatusta.

Markkinoilla tapahtuvan kuluttajakäyttäytymisen ymmärtäminen hyödyttää yrityksiä myös tuotekehittelyssä. Parmarin ja kumppaneiden (2020) sekä Mayer-Schonbergerin ja Cukierin (2013) mukaan yhdistämällä sekä uuden tuotteen kehityksen simulaatioita että kuluttajakäyttäytymisen simulaatioita, voidaan hahmottaa uuden tuotteen kehitysprosessissa sellainen tuote, joka kohtaa kuluttajan tarpeet. Näin ollen voidaan optimoida myös tuotekehityksen tuottavuutta, kun tuote kohtaa mahdollisimman hyvin markkinoilla olevan kysynnän ja kuluttajien tarpeet.

Digitaalisen kaksosen tapaan myös organisaation digitaalinen kaksosen voi tuottaa hyötyä päätöksentekoon prosessien optimoinnin saralla (Parmar ym., 2020). Tätä voidaan pitää operatiivisen ja päivittäisen päätöksenteon tuen lisäksi myös strategisena päätöksenteon valttina. Tällöin voidaan Parmarin ja kumppaneiden (2020) mukaan optimoida koko organisaation toimintaa siten, että saadaan tavoitettua säästöä resursseissa ja optimoitua tuottavuutta. Digitaalisen kaksosen ja organisaation digitaalisen kaksosen lisäksi myös jaetun digitaalisen kaksosen tuottamasta informaatiosta voidaan hyötyä strategisessa päätöksenteossa. Jaetun digitaalisen kaksosen tuoma etu strategiseen päätöksentekoon on muiden kumppaniyritysten kanssa jaettu sekä saatu informaatio, jonka avulla voidaan tehdä kattavampia päätöksiä (Haße ym., 2022). Jaetun digitaalisen kaksosen etuihin lukeutuu myös se, että tieto on kaikille samassa jaetussa digitaalisessa kaksosessa toimivien yritysten välillä reaaliaikaista. Tämän lisäksi Haße ja kumppanit (2022) määrittelevät hyödyksi myös sen, että jaetun digitaalisen kaksosen kautta ei pääse kulkemaan organisaatioiden kriittistä tietoa, jonka avulla kumppanit voisivat hyötyä tarkoituksellisesti tiedon luovuttaneen organisaation kustannuksella. Organisaatioiden välillä jaettujen tietojen ja näin ollen yritysten välisten koalitioiden avulla voidaan tavoittaa Haßen ja kumppaneiden (2022) mukaan kilpailuetua muihin kentällä oleviin kilpaileviin toimijoihin nähden.

Yleisesti ottaen digitaalisen kaksosen kaikki ilmenemismuodot ovat päteviä reaaliaikaisen informaation tuottajia strategisen päätöksenteon avuksi. Tämä tuottaa etulyöntiaseman niitä käyttäville organisaatioille reaaliaikaisuuden ja simulaatioiden avulla. Tällöin organisaatio saa ensimmäisenä tiedon käsiinsä ja voi lisäksi myös ennustaa tulevaisuuden markkinoita digitaalisen kaksosen avulla helpottaen strategista päätöksentekoa organisaation kilpailijoita vastaan.

5 YHTEENVETO JA JATKOTUTKIMUSAIHEET

Tämän kandidaatintutkielman tavoitteena oli löytää digitaalisen kaksosen tuottamat keskeiset hyödyt organisaation päätöksenteolle. Tutkielmassa perehdyttiin päätöksentekoon sen hierarkiaan, malleihin, malliin hyvästä päätöksenteosta ja dataperustaiseen päätöksentekoon, joka oli yksi yhdistäviä tekijöitä tutkielmassa tarkasteltuun teknologiaan. Dataperustaiseen päätöksentekoon liittyen tutkielmassa avattiin kirjallisuuteen ja teorioihin tukeutuen datan, informaation, tietämyksen ja viisauden pyramidia sekä avattiin datan laadun ulottuvuuksia lukijalle. Tutkielmassa arvioitiin digitaalista kaksosta teknologiana, sen historiaa, käyttöä eri aloilla sekä ominaisuuksia. Tämän lisäksi tutkielmassa käytiin läpi myös digitaalisen kaksosen uudempiä sovellutuksia organisaation digitaalinen kaksonen ja jaettu digitaalinen kaksonen. Päätöksenteon ja digitaalisen kaksosen teoriaosuudet yhdistettiin neljännessä sisältökappaleessa käsittelemään sitä, miten digitaalisen kaksosen tuottama informaatio voi tuoda tukea organisaation päätöksenteolle yleisesti, operatiivisella tasolla ja strategisella tasolla. Tutkielmassa pyrittiin vastaamaan tutkimuskysymykseen, jossa pohdittiin, mitä hyötyjä digitaalisen kaksosen käytöstä voidaan löytää organisaation operatiivisessa ja strategisessa päätöksenteon tukena.

Keskeisimpiä löydöksiä digitaalisen kaksosen käytön hyödyistä organisaation päätöksenteon tukena oli sen laaja kapasiteetti tuottaa reaaliaikaista tietoa organisaation prosesseista ja laitteistosta, jonka avulla voidaan tehdä informoituja päätöksiä (Qi ym., 2021; Parmar ym., 2020). Tutkielmassa eriteltiin saavutetut hyödyt tutkimuskysymysten mukaisesti operatiivisen päätöksenteon tuen hyötyihin ja strategisesta päätöksenteon tuen hyötyihin. Digitaalisen kaksosen tuottaman informaation ja päätöksenteon yhteyttä verrattiin Provost ja Fawcett (2013) ideaan dataperustaisesta päätöksenteosta, jota digitaalisen kaksosen informaation avulla tehty päätöksenteko kuvastaa.

Tutkielmassa tehtiin useita löydöksiä lähdekirjallisuuteen tukien digitaalisen kaksosen tuomasta hyödystä operatiivisen päätöksenteon tukena. Löydöksiä tehtiin esimerkiksi tuotantolinjojen osalta huoltotarpeen ennustamisesta ja nopeasta vian hahmottamisesta ja näin ollen näiden parametrien perusteella tehdyistä päätöksistä (Adrien ym., 2018; Morteza & Mohammad, 2021). Näiden lisäksi

operatiivisen päätöksenteon tueksi havaittuja hyötyjä olivat prosessien optimointi ja kustannussäästöt simulaatioiden kautta, joissa käytettiin reaaliaikaisen datan lisäksi myös digitaalisen kaksosen tuottamaa historiallista dataa (Baskaran ym., 2019; Kuehn, 2018). Prosessien optimointiin ja simulaatioihin liittyen kirjallisuudesta esiin nousi eniten konkreettisesti toteutettuja ratkaisuja sekä teoriapohjaisia ehdotuksia. Hyötyjä löydettiin operatiivisen päätöksenteon avuksi myös 3D mallinnuksen ja abstraktien sekä fyysisten kokonaisuuksien hahmotuksen kannalta (Apte ym., 2021). Kokonaisuuksien hahmottamiseen operatiivisen päätöksenteon apuna liittyi hahmottamisen kautta luotu ymmärrys kokonaisuuksista ja näin ollen tietämyksen perusteella tehdyt päätökset.

Tutkielmassa tehtiin myös löydöksiä digitaalisen kaksosen avusta strategisen päätöksenteon tukena. Keskeisimmät hyödyt löydettiin myös strategisen päätöksenteon tukena toimivan digitaalisen kaksosen avulla tehdyistä simuloineista. Merkittävä löydös oli mahdollisuus tarkastella organisaation digitaalisen kaksosen kautta organisaation reagoimista erilaisiin päätöksiin (Parmar ym., 2020). Reaktioiden perusteella pystyttiin valitsemaan organisaatiota eniten hyödyttävä päätös. Muita löydöksiä oli markkinaymmärryksen saavuttaminen simulaatioiden avulla. Parempi markkinaymmärrys saavutettiin yhdistelemällä historiallista dataa, markkinoilta saatua dataa ja reaaliaikaista dataa, jolloin pystyttiin paremmin ymmärtämään kuluttajakäyttäytymistä sekä nostamaan datasta erilaisia trendejä (Parmar ym., 2020; Provost & Fawcett, 2013). Paremman markkinaymmärryksen avulla organisaatiot mahdollistavat itselleen kannattavamman toiminnan edellytykset. Paremman markkinaymmärryksen ja kuluttajakäyttäytymisen ymmärryksen yhteyteen liitettiin myös mahdollisuus tehdä tuotekehittelytestausta simulaatioiden kautta, jolloin optimaalinen tuote saatiin kehiteltyä asiakkaiden tarpeita mukaillen (Mayer-Schonberger & Cukier, 2013). Hyötyjä löydettiin myös jaetun digitaalisen kaksosen käytöstä. Hyötyinä ilmentyi muiden organisaatioiden kanssa tehdyt koalitiot ja tietojen jakaminen kilpailuedun saavuttamiseksi markkinoilla (Haße ym., 2022). Tietojen jakamisesta löydettiin myös positiivinen tietoturva-aspekti, jossa määriteltiin jaetun digitaalisen kaksosen jakavan vain haluttua informaatiota (Haße ym., 2022). Näin ollen organisaatioiden kriittinen informaatio ei pääse kulkemaan jaettua digitaalista kaksosta pitkin.

Digitaalinen kaksosen kaikki sovellutukset teknologisenä entiteettinä kuvastaa hyvin organisaatioiden ja liiketoiminnan dataintensiivisyyttä ja digitalisaation tuomia muutoksia. Sen ehdottomia etuja ovat tiedon reaaliaikainen tuottaminen ja käsittely sekä sen mahdollistamat simulaatiot, joista on hyötyä etenkin operatiivisessa päätöksenteossa prosessien optimoinnin työkaluna. Laajemat digitaalisen kaksosen sovellutukset sopivat erinomaisesti strategiseen päätöksentekoon, jossa tarvitaan suurempien kokonaisuuksien hahmottamisen kautta saatua informaatiota. Digitaalisen kaksosen tuottaman informaation pohjalta tehdyt päätökset tuottavat organisaatioille sekä resurssisäästöjä optimoinnin kannalta, yleistä parempaa hahmotuskykyä liiketoiminnasta, parempien strategisten päätöksenteon mahdollisuuksia sekä parempaa ymmärrystä markkinoista ja kuluttajakäyttäytymisestä.

Digitaalista kaksosta on tutkittu paljon tuotantolaitosten ja tuotannon käytössä yleisesti. Jatkotutkimusaiheina voidaan nostaa esille sen suuremmat sovellutukset, kuten organisaation digitaalinen kaksonen ja jaettu digitaalinen kaksonen. Nämä edellä mainitut teknologiat kaipaavat jatkotutkimusta etenkin laajasti käytännössä toteutettuna yritysten liiketoiminnassa. Jatkotutkimusta voitaisiin tehdä siis organisaation digitaalisen kaksosen käyttöönoton vaikutuksista strategiseen päätöksentekoon käytännössä sekä jaetun digitaalisen kaksosen hyödyistä tuottamaan kilpailuetua markkinoilla.

LÄHTEET

- Ackoff, R. L. (1990). Strategy. *Systems Practice*, 3(6), 521-524 Dassault Systemes.
- Ardagna, D., Cappiello, C., Samá, W., & Vitali, M. (2018). Context-aware data quality assessment for big data. *Future generation computer systems*, 89, 548-562. <https://doi.org/10.1016/j.future.2018.07.014>
- Baskaran, S., Niaki, F. A., Tomaszewski, M., Gill, J. S., Chen, Y., Jia, Y., . . . Krovi, V. (2019). *Digital Human and Robot Simulation in Automotive Assembly using Siemens Process Simulate: A Feasibility Study*. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.06.097>
- Batini, C., & Scannapieco, M. (2016). *Data and Information Quality - Dimensions, Principles and Techniques*. Data-Centric Systems and Applications. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-24106-7>
- Becue, A., Fourastier, Y., Praca, I., Savarit, A., Baron, C., Gradussofs, B., . . . Thomas, C. (2018). *CyberFactory#1 – Securing the industry 4.0 with cyber-ranges and digital twins*.
- Board, A. a. S. E., Sciences, D. o. E. a. P., Roadmaps, S. C. f. N. T., & Council, N. R. (2012). *Appendix N: TA11 Modeling, Simulation, and Information Technology and Processing*.
- Bovee, M., Srivastava, R. P., & Mak, B. (2003). A conceptual framework and belief-function approach to assessing overall information quality. *International journal of intelligent systems*, 18(1), 51-74.
- BPM 2020 International Workshops, Seville, Spain, September 13–18, 2020, Revised Selected Papers 18 (pp. 206-218). Springer International Publishing.
- Breur, T. (2016). Statistical Power Analysis and the contemporary “crisis” in social sciences. *Journal of marketing analytics*, 4(2-3), 61-65. <https://doi.org/10.1057/s41270-016-0001-3>
- Davenport, T. H. (2006). Competing on analytics. *Harvard business review*, 84(1), 98
- de Figueiredo, G. B., Moreira, J. L. R., de Faria Cordeiro, K., Campos, M. L. M., Guizzardi, G., Gailly, F., & Suzana Pitangueira Maciel, R. (2019). *Aligning DMBOK and open government with the FAIR data principles*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-34146-6_2

- Edrisi, F., Perez-Palacin, D., Caporuscio, M., Hallberg, M., Johannesson, A., Kopf, C., & Sigvardsson, J. (2021). *EA Blueprint: An Architectural Pattern for Resilient Digital Twin of the Organization*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-86507-8_12
- Eisenhardt, K. M., & Zbaracki, M. J. (1992). STRATEGIC DECISION MAKING. *Strategic Management Journal* (1986-1998), 13, 17.
- Gartner 2014 Hype Cycle for Emerging Technologies Haettu 23.5.2023 Osoitteesta: <https://www.gartner.com/document/2809728>
- Gartner, 2018. Market Guide for Technologies Supporting a DTO
- Ghobakhloo, M., & Iranmanesh, M. (2021). Digital transformation success under Industry 4.0: A strategic guideline for manufacturing SMEs. *Journal of manufacturing technology management*, 32(8), 1533-1556. <https://doi.org/10.1108/JMTM-11-2020-0455>
- Glaessgen, E. H., & Stargel, D. S. (2012). *The Digital Twin Paradigm for Future NASA and U.S. Air Force Vehicles*.
- Grieves, M. (2014). Digital twin: manufacturing excellence through virtual factory replication. *White paper*, 1(2014), 1-7. A Survey on Digital Twin: Definitions, Characteristics, Applications, and Design Implications
- Haße, H., van der Valk, H., Möller, F., & Otto, B. (2022). Design Principles for Shared Digital Twins in Distributed Systems. *Business & information systems engineering*, 64(6), 751-772. <https://doi.org/10.1007/s12599-022-00751-1>
- Jones, D., Snider, C., Nassehi, A., Yon, J., & Hicks, B. (2020). Characterising the Digital Twin: A systematic literature review. *CIRP journal of manufacturing science and technology*, 29, 36-52. <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2020.02.002>
- Khalifa, A. S. (2020). Strategy: Restoring the lost meaning. *Journal of strategy and management*, 13(1), 128-143. <https://doi.org/10.1108/JSMA-09-2019-0158>
- Khalifa, A. S. (2021). Strategy and what it means to be strategic: Redefining strategic, operational, and tactical decisions. *Journal of strategy and management*, 14(4), 381-396. <https://doi.org/10.1108/JSMA-12-2020-0357>

- Kuehn, W. (2018). Digital twins for decision making in complex production and logistic enterprises. *International journal of design & nature and ecodynamics*, 13(3), 260-271. <https://doi.org/10.2495/DNE-V13-N3-260-271>
- Longo, F., Nicoletti, L., & Padovano, A. (2019). Ubiquitous knowledge empowers the Smart Factory: The impacts of a Service-oriented Digital Twin on enterprises' performance. *Annual reviews in control*, 47, 221-236. <https://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2019.01.001>
- Manyika, J., Chui, M., Brown, B., Bughin, J., Dobbs, R., Roxburgh, C., & Hung Byers, A. (2011). *Big data: The next frontier for innovation, competition, and productivity*. McKinsey Global Institute.
- Mayer-Schönberger, V., & Cukier, K. (2013). *Big data: A revolution that will transform how we live, work, and think*. Houghton Mifflin Harcourt.
- McGilvray, D. (2008). Executing Data Quality Projects: Ten Steps to Quality Data and Trusted Information.
- Meet Virtual Singapore, the city's 3D digital twin. Haettu 22.5.2023 Osoitteesta: <https://govinsider.asia/digital-gov/meet-virtual-singapore-citys-3d-digital-twin/>
- Mi, S., Feng, Y., Zheng, H., Wang, Y., Gao, Y., & Tan, J. (2021). Prediction maintenance integrated decision-making approach supported by digital twin-driven cooperative awareness and interconnection framework. *Journal of manufacturing systems*, 58, 329-345. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.08.001>
- Mirza, J. (2021). Supporting strategic management decisions: The application of digital twin systems. *Strategic direction (Bradford, England)*, 37(11), 7-9. <https://doi.org/10.1108/SD-10-2021-0119>
- Negri, E., Fumagalli, L., & Macchi, M. (2017). A Review of the Roles of Digital Twin in CPS-based Production Systems. *Procedia manufacturing*, 11, 939-948. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.198>
- Olsen, J. P. (1976). 'Choice in an organized anarchy'. In J. G. March and J. P. Olsen (Eds.), *Ambiguity and Choice in Organizations* (pp. 82-139). Universitetsforlaget.
- Park, G., & van der Aalst, W. M. (2020). A general framework for action-oriented process mining. In *Business Process Management Workshops*:

- Porter, M. E. (1987). From competitive advantage to corporate strategy. *Harvard business review*, 65(3), 43-59.
- Provost, F. & Fawcett, T. (2013). Data science and its relationship to big data and data-driven decision making. *Big Data*, 1(1), 51-59.
- Qi, Q., Tao, F., Hu, T., Anwer, N., Liu, A., Wei, Y., . . . Nee, A. (2021). Enabling technologies and tools for digital twin. *Journal of manufacturing systems*, 58, 3-21. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2019.10.001>
- Schwarber, P. D. (2005). Leaders and the decision-making process. *Management decision*, 43(7/8), 1086-1092. <https://doi.org/10.1108/00251740510610099>
- Shafto, M., Conroy, M., Doyle, R., Glaessgen, E., Kemp, C., LeMoigne, J., & Wang, L. (2012). Modeling, simulation, information technology & processing roadmap. *National Aeronautics and Space Administration*, 32(2012), 1-38.
- Tao, F., Cheng, J., Qi, Q., Zhang, M., Zhang, H., & Sui, F. (2018). Digital twin-driven product design, manufacturing and service with big data. *International journal of advanced manufacturing technology*, 94(9-12), 3563-3576. <https://doi.org/10.1007/s00170-017-0233-1>
- Tao, F., Zhang, M., & Nee, A. Y. C. (2019). *Digital twin driven smart manufacturing*. Academic Press.
- Tao, F., Zhang, M., Liu, Y., & Nee, A. (2018). Digital twin driven prognostics and health management for complex equipment. *CIRP annals*, 67(1), 169-172. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2018.04.055>
- Tuegel, E. J., Ingraffea, A. R., Eason, T. G., & Spottswood, S. M. (2011). Reengineering Aircraft Structural Life Prediction Using a Digital Twin. *International journal of aerospace engineering*, 2011, 1-14. <https://doi.org/10.1155/2011/154798>
- Uhlenkamp J-F, Hribernik K, Thoben K-D (2020) Wie digitale zwillinge unternehmensgrenzen u̇berwinden: ein beitrag zur gestaltung von digitalen zwillingen mit unternehmensu̇bergreifenden anwendungen im produktlebenszyklus. Z Fu̇r 123 H. Hȧse et al.: Design Principles for Shared Digital Twins in Distributed Systems, Bus Inf Syst Eng 64(6):751-772 (2022) 771 Wirtschaftlich Fabrik 115:84-89. <https://doi.org/10.3139/104.112304>
- Van Steen, M., & Tanenbaum, A. S. (2017). *Distributed systems*. Leiden, The Netherlands: Maarten van Steen.

Wang, R. Y., & Strong, D. M. (1996). Beyond Accuracy: What Data Quality Means to Data Consumers. *Journal of management information systems*, 12(4), 5-33. <https://doi.org/10.1080/07421222.1996.11518099>

Yao, B., Zhou, Z., Wang, L., Xu, W., Yan, J., & Liu, Q. (2018). A function block based cyber-physical production system for physical human-robot interaction. *Journal of manufacturing systems*, 48, 12-23. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2018.04.010>