OAMK OULUN AMMATTIKORKEAKOULU

Pasi Kristo

# DIGITAALISEN KAKSOSEN HYÖDYNTÄMINEN TEOLLISUUSYRITYKSISSÄ

# DIGITAALISEN KAKSOSEN HYÖDYNTÄMINEN TEOLLISUUSYRITYKSISSÄ

Pasi Kristo
YAMK-opinnäytetyö
Kevät 2023
Robotiikan tutkimusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

**TIIVISTELMÄ**

Oulun ammattikorkeakoulu
Tekniikan ylempi ammattikorkeakoulututkinto, robotiikan tutkinto-ohjelma

---

Tekijä: Pasi Kristo
Opinnäytetyön nimi: Digitaalisen kaksosen hyödyntäminen teollisuusyrityksissä
Työn ohjaajat: Vesa Moilanen; Petri Junttila
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2023 Sivumäärä: 37 + 1 liitettä

---

Tässä työssä selvitettiin teollisuusyrityksien käyttötarkoituksia digitaaliselle kaksoselle. Lisäksi selvitettiin, miten yritykset hyödyntävät ja mitä tarpeita yrityksillä on digitaaliselle kaksoselle. Teoria-osuudessa käsiteltiin digitaalisen kaksosen määritelmiä, kehitystä, tyyppejä sekä hyödyntämisen kohteita ja niistä saatavia etuja.

Työssä esitettiin case-esimerkein yrityksien käytössä olevia digitaalisia kaksosia. Tutkimuksen tiedon keräämiseksi laadittiin riittävän pieni määrä laadukkaasti muotoiltuja kysymyksiä, jotta päästiin mahdollisimman korkeaan vastausprosenttiin. Tutkimushaastattelut tehtiin Teams-kokouksessa. Kysymykset lähetettiin etukäteen Suomessa toimiville teollisuusyrityksille. Tutkimushaastattelut tehtiin helmikuun - elokuun 2022 välisenä aikana.

Tutkimuksen tuloksien mukaan digitaalinen kaksosen oli tunnettu käsitteenä haastateltaville yrityksille. Tutkimuksessa löydettiin eroavaisuuksia digitaalisen kaksosen käyttämiselle laitevalmistajien ja tuotantoteollisuuden välillä. Laitevalmistajat keskittyivät käyttämään digitaalista kaksosta laitteen käyttäjäkoulutuksessa, myynnin ja markkinoinnin tukena. Tuotantoteollisuudessa digitaalista kaksosta hyödynnetään turvallisuuden parantamiseen, laitevikojen ennustettavuuteen sekä tuotannon optimointiin. Tutkimus tuloksia hyödynnetään työn toimeksiantajan digitaalisen kaksosen suunnittelun ja markkinoinnin kehittämisessä. Yritykset kokivat digitaalisen kaksosen hankinnassa ja käytössä kaikkein haasteellisimmaksi tietämyksen, mihin digitaalista kaksosta voitaisiin yrityksessä hyödyntää.

---

Asiasanat: digitaalinen kaksonen, teollisuusyritykset

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Master of Engineering, Degree Programme, in Robotics

---

Author(s): Pasi Kristo
Title of thesis: Utilization of the digital twin in industrial enterprises
Supervisors Vesa Moilanen; Petri Junttila
Term and year when the thesis was submitted: spring 2023
Number of pages: 37 + 1 appendices

---

Digital twin and digital twin market is forecast will become more and more general in industry. The advantage using digital twin are better efficient a product planning because reduce error results is to reduce design cost in planning and testing process and no physical resources go to waste.

The aim of this study was to investigate what else benefit Finnish industrial companies have received using a digital twin and how companies use nowadays digital twin. In addition, showing how different ways companies using it nowadays by case. And what issues companies have experienced challenging for in using it and what requirements companies have using it.

The theory part of this thesis contains collected information from scientific publications consider digital twins. Additionally collected information via company by interviews. Interviews implemented during between February and August 2022.

The study utilized a qualitative research method. Interviews done to those company where is using digital twin. Interviewees were asked to describe the company digital twin and how using the digital twin and results are describes with five case examples.

The result of the research is using for digital twins' development and marketing

---

Keywords: Keywords: digital -twin, industrial companies

# SISÄLLYS


1 JOHDANTO ... 6
1.1 Tutkimuksen tavoite ja tutkimuskysymykset ... 6
1.2 Tutkimuksen menetelmät ... 7
1.3 Tutkimuksen toteutus ... 8
2 DIGITAALINEN KAKSONEN ... 10
2.1 Digitaalisen kaksosen kehitys ... 10
2.2 Digitaalinen kaksonen muodostaminen ja sen eri vaiheet ... 14
2.3 Digitaalisen kaksosen eri tyypit ... 16
2.4 Hyödyt ja käyttökohteet teollisuudessa ... 17
2.5 Digitaalinen säie ... 18
2.6 Riskit ... 19
3 TEOLLISUUSYRITYKSIEN DIGITAALISET KAKSOSET ... 21
3.1 Haastattelututkimuksen taustaa ... 21
3.2 Kesla Oy ... 22
3.3 Sleipner Oy ... 23
3.4 Tampereen Seudun Keskuspuhdistamo ... 24
3.5 Stora Enso Lahti Kartonkitehdas ... 24
3.6 Valio Oy ... 25
3.7 Haastattelujen yhteenveto ... 26
4 TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET ... 28
4.1 Digitaalisen kaksosen käyttökohteita yrityksissä ... 28
4.2 Digitaalisen kaksosen avulla saavutettuja hyötyjä ... 29
4.3 Digitaalinen kaksonen ja yrityksien tarve ... 30
4.4 Digitaalinen kaksonen ja markkinointi ... 30
4.5 Yrityksien kokemat haasteet digitaalisen kaksosen käyttämiselle ja kehittämiselle ... 30
4.6 Potentiaaliset asiakkaat työn tilaajalle ... 31
5 POHDINTA ... 32
LÄHTEET ... 33
LIITTEET ... 37

# 1 JOHDANTO

Työn tilaaja on Insta Oy. Insta on suomalainen perheyritys, joka on perustettu vuonna 1960. Insta Oy tarjoaa asiakkaille teollisuussähköistyksen, instrumentoinnin, teollisuusautomaation, teollisen digitalisaation, kyberturvan ja puolustusteknologian suunnittelu- ja asiantuntijapalveluja. Installa on Suomessa toimipisteitä 12 eri paikkakunnalla ja työllistää noin 1100 henkilöä. (1.)

Digitaalinen kaksonen on tehty asiakkaalle helpottamaan asiakkaan prosessien simulointia ja prosessilaitteiden analysointia sekä prosessien tehostamista varten (1). Digitaalinen kaksonen esiteltiin ensimmäisen kerran vuonna 2002. Sen jälkeen on sovelluksien määrä eri teollisuusaloilla kasvanut nopeasti.

Teollisuusyrityksissä on huomattu, että digitaaliset kaksosen avulla pystytään tehostamaan suunnittelua ja simulointia, koska fyysisessä ympäristössä testaaminen vaatii enemmän aikaa ja resursseja. Digitaalista kaksosta hyödyntämällä kehitetään kustannustehokkaasti tuotantoprosesseja säätämällä järjestelmän parametreja ja simuloimalla eri prosessitilanteita vahingoittamatta itse prosessia, laitetta tai järjestelmää. Jotta digitaalisia palveluja tuottavat yritykset voivat vastata asiakkaiden tarpeisiin, pitää heillä olla tietämys digitaaliselle kaksoselle aseteltavista tarpeista ja vaatimuksista.

## 1.1 Tutkimuksen tavoite ja tutkimuskysymykset

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, mitä hyötyjä teollisuusyritykset saavat digitaalista kaksosen hankinnalla ja miten digitaalista kaksosta kannattaa hyödyntää tuotteen koko elinkaaren aikana. Lisäksi tavoitteena oli selvittää, miten yritykset hyödyntävät digitaalista kaksosta. Tutkimustyö on rajattu Suomessa toimiviin teollisuusyrityksiin. Tutkimuksen tulokset ovat esitettynä tapausesimerkein myöhemmässä luvussa. Tutkimustyöstä saatuja tuloksia työntilaaja hyödyntää digitaalisen kaksosen kehittämisessä ja asiakasmarkkinoinnissa. Tutkimustyön tavoitteiden pohjalta on laadittu neljä tutkimuskysymystä. Tutkimuksessa pyritään löytämään vastaukset laadittuihin tutkimuskysymyksiin.

Tutkimuskysymys 1: **Mitä käyttötarkoituksia yrityksillä on digitaaliselle kaksoselle?**
Tietoperustassa kerrotaan, että digitaalinen kaksonen on tehty asiakkaalle helpottamaan asiakkaan tuotantoprosessien simulointia ja prosessilaitteiden analysointia sekä prosessien tehostamista varten. Installe on tärkeää saada tietoa, miten yritykset hyödyntävät digitaalista kaksosta kehittääkseen asiantuntijapalvelujaan ja asiakasmyyntiä.

Tutkimuskysymys 2: **Mitä hyötyjä yritykset ovat saavuttaneet digitaalisella kaksosella?**
Tieto siitä, mitä yritykset ovat saavuttaneet digitaalisella kaksosella, edesauttaa Instaa saamaan tietoa digitaalisen kaksosen kehittämistyöhön, asiakasmarkkinointiin ja koulutukseen.

Tutkimuskysymys 3**: Mitä tarpeita yrityksellä on digitaaliselle kaksoselle?**
Tieto teollisuusyrityksien haasteista digitaalisen kaksosen käytössä edesauttaa Instaa tunnistamaan asiakastarpeita ja tarjoamaan niihin ratkaisuja. Asiakastarpeiden tunnistaminen on tärkeä osa myyntityötä.

Tutkimuskysymys 4: **Miten digitaalisen kaksosen asiakasmarkkinointia voisi kehittää?**
Tutkimustyössä saatujen tietojen perusteella pyritään löytämään eri näkökohtia asiakasmarkkinointiin.

## 1.2 Tutkimuksen menetelmät

Tutkimus on kvalitatiivinen eli tutkimus perustuu laadulliseen tutkimukseen. Laadullisessa tutkimuksessa tutkimuksen tavoitteena on jonkin ilmiön kuvaaminen ja sen ymmärtäminen. Tutkimusongelmat ovat yleensä mitä- ja miten-kysymyksiä, mutta tämä ei tarkoita, etteikö laadullisessa tutkimuksessa voisi olla myös muita kysymyssanoja sisältäviä kysymyksiä. Laadullisessa tutkimuksessa ei kuitenkaan vastata kausaalisiin syy- ja seuraussuhteita koskeviin kysymyksiin. (2.) Laadullisen tutkimus sisältää suhteellisen pienen tapausmäärän mutta aineisto voi olla suurikin, esimekiksi tuhansia sivuja (3, s.46).

Laadullisessa tutkimuksessa tutkijalla on vapaampi rooli kuin tilastollisessa tutkimuksessa, mikä myös antaa tutkijalle vapautta tutkimuksen suunnitteluun ja toteutukseen. Laadullisessa tutkimuksessa tutkijan rooli on löytää oikea näkökulma, millä aineistosta saa esille tarvittavan ja hakemansa tiedon. Näillä perusteilla laadullista tutkimusta olisi parempi kuvata analyysivetoiseksi. Analyysivetoisuus-käsite ilmaisee, että empiirinen aineisto on tutkimuksessa keskeisessä roolissa, mutta analyysivaiheessa nojataan aina johonkin paradigmaan, menetelmään tai teoriaan. (2.)

Tutkimus on menetelmiltään laadullinen ja kvantitatiivinen. Määrällinen tutkimus sisältää tiettyjä ratkaisuja, jotka eivät ole usein edes tutkijalle selviä. Tutkimuksen tulkintamahdollisuudet edellyttävät, että tutkijalla on tutkimuskysymykset, joihin etsitään vastauksia. (3, s.17, 61.)

## 1.3 Tutkimuksen toteutus

Tutkimus aloitettiin keräämällä tietoa aiemmin tehdyistä ajantasaisista sekä suomenkielisistä ja englanninkielisistä aineistoista. Aineistohakuun käytettiin verkkohakupalvelimia kuten, esimerkiksi Google Schlolar, IEEE Xplore, Ebscohost, Oula-Finna, ScienceDirect sekä ammattikorkeakoulujen opinnäytetöiden tietokantaa Theseusta. Aineistohakuja tehtiin käyttämällä hakusanoja, digitaalinen kaksonen, digital twins, simulation, product, manufacturing.

Tutkimuksen toisena tiedonkeruumenetelmänä käytettiin haastattelua. Ennen haastattelua haastateltavalle on kerrottava haastattelun tarkoitus ja luottamuksellisuus. Haastattelun tavoitteena on tutkimustyön edistävän aineiston saaminen. Haastattelu eroaa tavallisesta keskustelusta, koska haastattelija ohjaa käytävää keskustelua. Haastattelija toimii kysyjänä ja tiedon kerääjänä ja haastateltava vastaa ja on tiedonantaja. Haastattelussa on tärkeää, että haastateltava ja haastattelija ymmärtävät toisiaan. Haastattelu aloitetaan yleensä kevyellä keskustelulla ennen varsinaiseen aiheeseen siirtymistä. Haastateltava on myös valmistettava haastattelun lopettamiseen, jolloin hyvä tavan mukaista kertoa, miten saatua tietoa hyödynnetään. (4, s.106–108.)

Tässä tutkimustyössä haastattelut tehtiin strukturoituna haastatteluna. Strukturoidussa haastattelussa kysymykset on tehty etukäteen ennalta määritellyssä järjestyksessä, ainoastaan vastaukset jätetään avoimeksi. (4, s. 108.)
Tutkimusta varten haastateltiin seitsemää Suomessa eri teollisuusalan yrityksen edustajaa. Haastateltavat yritykset valittiin oman tietämyksen ja työntoimeksiantajalta saaduilla tiedoilla. Ennen

haastatteluja otettiin yhteyttä puhelimitse haastateltaviin ja kerrottiin haastattelun tarkoitus sekä sovittiin haastelulle sopiva ajankohta.

Haastattelut tehtiin Teams-kokouksissa. Haastateltavat henkilöt toimivat yrityksen digitalisaation asiantuntijoina tai heillä on kokemusta digitaalisesta kaksosen hyödyntämisestä yrityksessä. Haastattelut toteutettiin käyttämällä ennalta tehtyä kyselylomaketta, joka lähetettiin sähköpostilla etukäteen yrityksille. Haastattelu kysymyksillä pyrittiin saamaan vastauksia tutkimuskysymyksiin. Haastattelukysymykset esitetty liitteessä 1.

# 2 DIGITAALINEN KAKSONEN

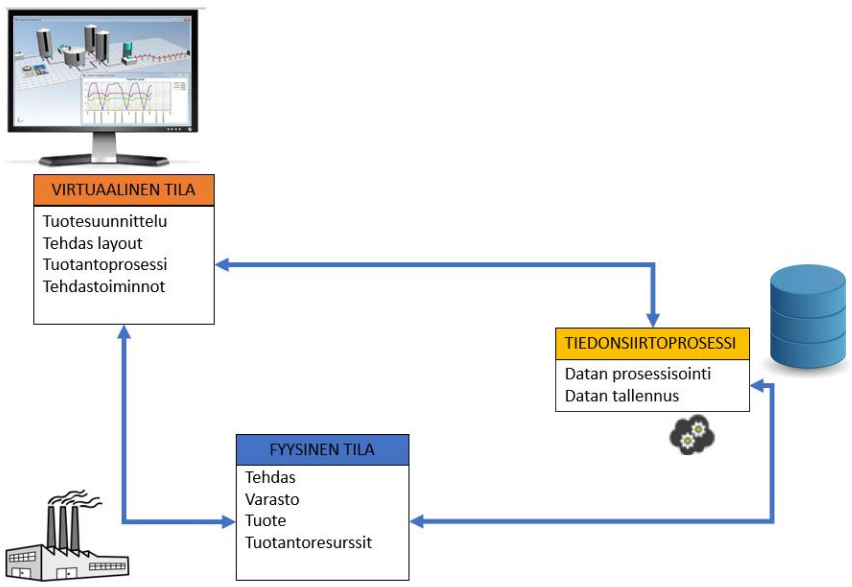
Digitaalinen kaksonen koostuu kolmesta eri osasta: fyysinen, virtuaalinen ja niitä yhdistävästä datasta eli tiedonsiirrosta. Fyysinen osa todellinen laite tai järjestelmä ja virtuaalinen osa on fyysisestä laitteesta tehty peilikuva. Virtuaalinen osa sisältää 3D-mallinnuksen lisäksi fyysisestä kohteesta kerättyä reaaliaikaista dataa (5, s.227.) Ideaalisessa digitaalisessa kaksosessa tieto kulkee molempiin suuntiin fyysisestä mallista virtuaaliseen ja virtuaalisesta mallista takaisin fyysiseen malliin (6).

Tässä opinnäytetyössä digitaalisen kaksonen on tietomallinnus fyysisestä kohteesta, joka lukee fyysisestä kohteesta antureiden välityksellä reaaliaikaista dataa, esimerkiksi laitteen liikesuuntaa ja liikenopeutta.

Kaikkein meitä läheisin digitaalinen kaksonen on ihminen. Nykyään erilaisten ulkoisten älylaitteiden kuten älykellojen avulla ihmisestä kerätä dataa kuten, sydämensyke tai unen laatu. Tiedon perusteella voidaan tehdä ehkäiseviä toimenpiteitä. Lisäksi ihmisen liikkeet voidaan mallintaa reaaliaikaisesti ihmiseen asennettavien antureiden avulla.

## 2.1 Digitaalisen kaksosen kehitys

Tässä luvussa käydään läpi digitaalisen kaksosen määritelmää ja mitä digitaaliseen kaksosen tekemiseen vaaditaan. Digitaalinen kaksonen on tärkeä osa viime vuosikymmenellä alkanutta neljättä teollisuuden vallankumousta (7, s.1). Teollisuuden neljäs vallankumous on Saksan hallituksen käynnistämä hanke, johon kuuluu digitaalisuus, tekoäly, robotiikka, esineiden internet (IoT), 3D-tulostus sekä autonomiset ajoneuvot (8). Digitaalinen kaksosen avulla pystytään suunnittelemaan ja rakentamaan tehtaita enemmän autonomiseen suuntaan ja kehittämään tuotantoprosessien läpinäkyvyyttä eri tiedonsiirtoväylien kautta ja saada tuotannosta kannattavamman. Kuvassa 1 on esitetty digitaalinen kaksosen soveltaminen teollisuudessa.



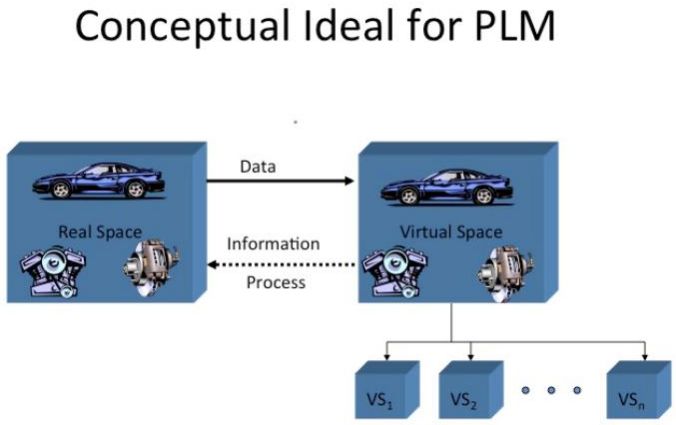

*KUVA 1. Digitaalisen kaksosen soveltaminen teollisuudessa (mukaillen 7, s. 2)*

MarketsAndMarkets tutkimuksen mukaa digitaalisen kaksosen markkinat kasvavat Yhdysvalloissa 73,6 miljardiin vuoteen 2027 mennessä (9). On myös ennustettu, että Suomessa digitaalisen kaksosen kehitys etenee vauhdilla tulevina vuosina (10).

Ajatus digitaalisesta kaksosesta syntyi NASAssa vuonna 1960 Apollo 13 -kuuraketin happisäiliön räjähdysonnettomuuden aiheuttaneiden tapahtumien mallintamiseksi ja syyn tutkimiseksi. Lisäksi halutaan tulevaisuudessa simuloida avaruusaluksen olosuhteita avaruuslennon aikana, jotta vastaavat, tilanteet voidaan välttää. (11).

Ensimmäisenä digitaalisen kaksosen määritteen esitti Michael Grieves vuonna 2002 (12, s.2). Vuotta myöhemmin vuonna 2003 Grieves esitteli virallisen konseptin digitaalisesta kaksosesta pitämällään luennollaan Michiganin yliopistolla Yhdysvalloissa (13; 14).

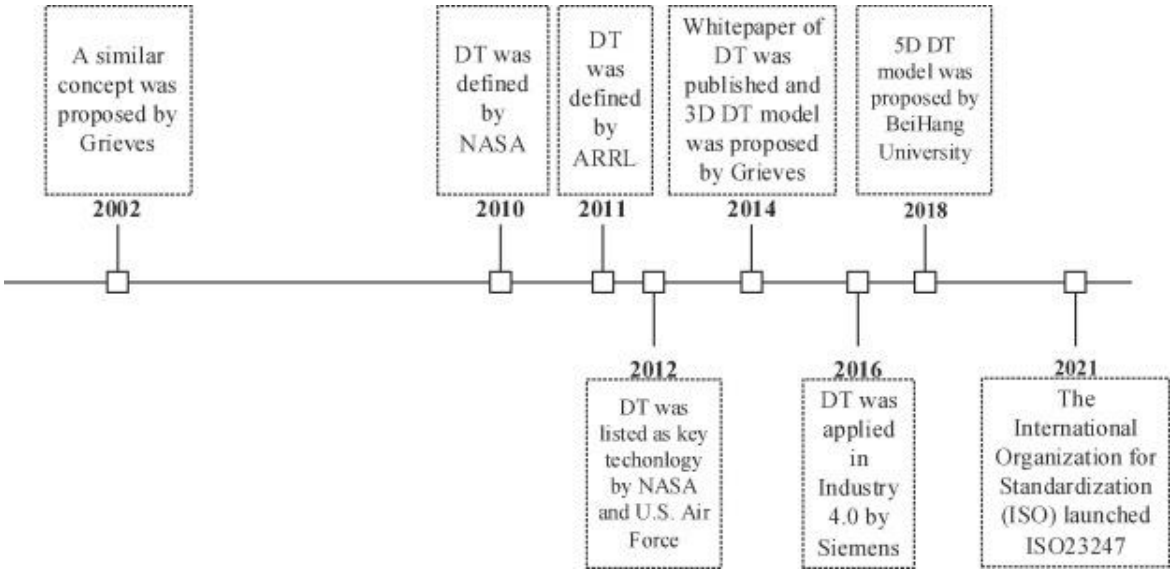
Grievesin mallissa oli kolme komponenttia: todellinen tila, virtuaalitila ja niitä yhdistävä data. Mallia kutsuttiin peilatuksi Space-malliksi (15, s. 2). Grievesin mallin lähtökohtana oli, että jokainen järjestelmä koostuu kahdesta järjestelmästä, fyysinen ja virtuaalinen. Grievesin mukaan virtuaalinen järjestelmä sisältää kaikki tiedot fyysisestä järjestelmästä (16, s. 2.) Kuvassa 2 on esitetty Grieves digitaalisen kaksosen määritelmä.




*KUVA 2. Digitaalisen kaksosen Space -malli Michael Grieves mukaan (16, s. 2).*

Digitaalisen kaksosen käyttöönotto yleistyi, kun NASA vuonna 2010 tarkensi määritelmää ja osoitti sen hyödyt ottamalla sen käyttöön F-15 hävittäjien osien testaamisessa. Tämä edisti digitaalisen kaksosen kehitystä ja käyttökohteita ilmailuteollisuuden ulkopuolelle (17, s.10).

Vuonna 2021 kansainvälinen standardisoimisjärjestö ISO laati standardin digitaalisesta kaksosesta laadun hallinnan tueksi. Kuvassa 3 on esitetty digitaalisen kaksosen kehittymien vuodesta 2002 lähtien.




*KUVA 3. Digitaalisen kaksosen kehitysaskeleet. (18, s. 3)*

Vuonna 2021 laaditussa ISO-standardissa 23247–1:2021 määritellään (19)

- yleiset toimintaperiaatteet ja vaatimukset digitaaliselle kaksoselle
- digitaalisen kaksosen toiminnallisten kokonaisuuksien referenssimalleja
- tietomääritteet
- tiedonvaihto ja protokollat
- tiedonvaihdon tekniset vaatimukset.

Alla on lueteltu eri tahojen määritelmiä digitaaliselle kaksoselle ennen sen standardisointia.

NASA

*"Digitaalinen kaksonen on integroitu, monifysikaalinen, usean mittakaavan todennäköisyysperusteinen simulaatio rakennetusta ajoneuvosta tai järjestelmästä, joka käyttää parhaita saatavilla olevia fyysisiä malleja, anturipäivityksiä ja historiatietoja peilaamaan fyysisen kaksosen tiloja*".
(20, s. 528.)

Siemens

*"Digitaalinen kaksoiskappale on tuotteen, koneen, prosessin tai kokonaisen tuotantolaitoksen virtuaalinen kaksoiskappale. Se sisältää kaikki tiedot ja simulaatiomallit, jotka liittyvät alkuperäiseen. Digitaaliset kaksoset eivät ainoastaan mahdollista tuotteiden suunnittelua, simulointia ja valmistusta aiempaa nopeammin, vaan ne myös suunnitellaan siten, että ne parantavat taloudellisuutta, suorituskykyä, kestävyyttä tai ympäristöystävällisyyttä. Tuotteen virtuaalinen kaksoiskappale voi myös seurata sitä digitaalisena varjona läpi arvoketjun kaikissa vaiheissa – suunnittelusta tuotantoon, käyttöön, huoltoon ja jopa kierrätykseen. Se yhdistää saumattomasti ja ihanteellisesti kolme asiaa tuotteen, tuotannon ja suorituskyvyn". (21.)*

Gartner tutkimuslaitos ja konsultointiyritys

*"Digitaalinen kaksonen on digitaalinen esitys todellisesta kokonaisuudesta tai järjestelmästä. Digitaalisen kaksosen toteutus on kapseloitu ohjelmistokohde tai malli, joka heijastaa ainutlaatuista fyysistä kohdetta, prosessia, organisaatiota, henkilöä tai muuta abstraktiota. Useiden digitaalisten kaksosten tiedot voidaan koota yhdistelmänäkymää varten useissa reaalimaailman yksiköissä, kuten voimalaitoksessa tai kaupungissa, ja niihin liittyvissä prosesseissa. (22.)*

## 2.2 Digitaalinen kaksonen muodostaminen ja sen eri vaiheet

Digitaalinen kaksonen toimii virtuaalisena mallina siitä, mitä fyysisessä kohteessa oikein tapahtuu reaaliaikaisesti, fyysisessä maailmassa olevien antureiden välityksellä. Antureiden ja tiedonsiirron välityksellä kerätään tietoa valmistusprosessien tuotantokoneiden nopeudesta, käyntiajoista ja tehdyistä tuotantomääristä. Fyysinen kohde voi olla tuotantoprosessi tai jokin mekaaninen laite.

Digitaalisen kaksosen tekeminen koostuu kuudesta eri työvaiheesta. (23, s. 6.) Digitaalisen kaksosen muodostaminen aloitetaan suunnittelusta. Suunnitteluvaiheen alussa on tärkeää selvittää, mitä tietoja tarvitaan ja miten tiedot olisivat myös uudelleen hyödynnettävissä, että digitaalinen kaksonen palvelisi tehokkaasti useampia käyttäjäryhmiä koko elinkaarensa ajan.

Ensimmäisessä vaiheessa tehdään fyysisestä kohteesta virtuaalinen mallinnus käyttäen apuna CAD- ja 3D-mallinnusohjelmia. Mallinnuksessa määritellään digitaalisen kaksoselle attribuutit ja ominaisuudet, jotka vastaavat toimintoja fyysisestä kohteesta. Mallinnus mahdollistaa fyysisen kohteen simuloimista ja tarkastelua virtuaalisessa maailmassa.

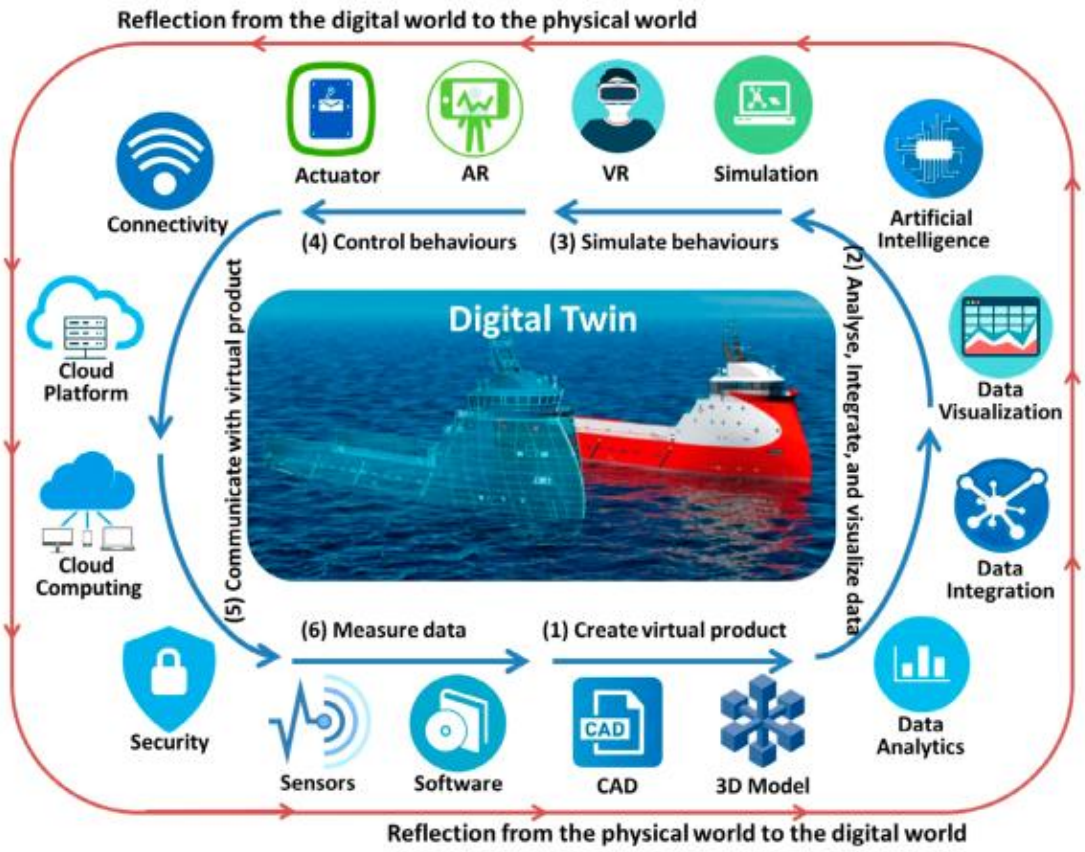
Suunnittelun toisessa vaiheessa hyödynnetään kerättyä dataa kohteesta ja asennetaan fyysiseen kohteeseen IoT-antureita kaksisuuntaisen reaaliaikaisen tiedonsiirron muodostamiseksi. Saatuihin tietoihin lisätään olemassa olevia historiadataa kuten, esimerkiksi laitteen toiminnoista ja tilatiedoista. Toisen vaiheen lopuksi saatuja tietoja käsitelläänkin eri data-analyysiohjelmilla, epärelevantin tiedon poistamiseksi. (23, s. 6.) Digitaalinen data pitää olla laadukasta ja tiedonsiirto keskeytymätöntä, että digitaalinen kaksonen voi toimia moitteettomasti (24, s. 6).

Kolmannessa vaiheessa viedään virtuaalinen mallinnus virtuaaliseen ympäristöön, missä sitä simuloidaan, käytetään apuna VR-tekniikkaa. Neljännessä vaiheessa testataan digitaalisen kaksosen käyttäytymistä reaalimaailmassa käyttäen apuna lisätty todellisuustekniikkaa (AR). (23, s. 6.)

Viidennessä vaiheessa toteutetaan kommunikaatio fyysisen ja virtuaalisen kaksosen välille ja varmistetaan tietoturvallinen tiedonsaanti. Kuudennessa vaiheessa aloitetaan fyysisen kohteen datan mittaaminen ja lähettämien virtuaaliselle kaksoselle eri pilvitekniikoita avuksi käyttäen. (23, s. 7).

Pilvipalvelut ovat nousemassa merkittäväksi digitaalisen kaksosen mahdollistajaksi valmistusteollisuudessa. Pilvipalveluja voidaan käyttää kaikkiin digitaalisen kaksosen elinkaaren vaiheissa. Pil-

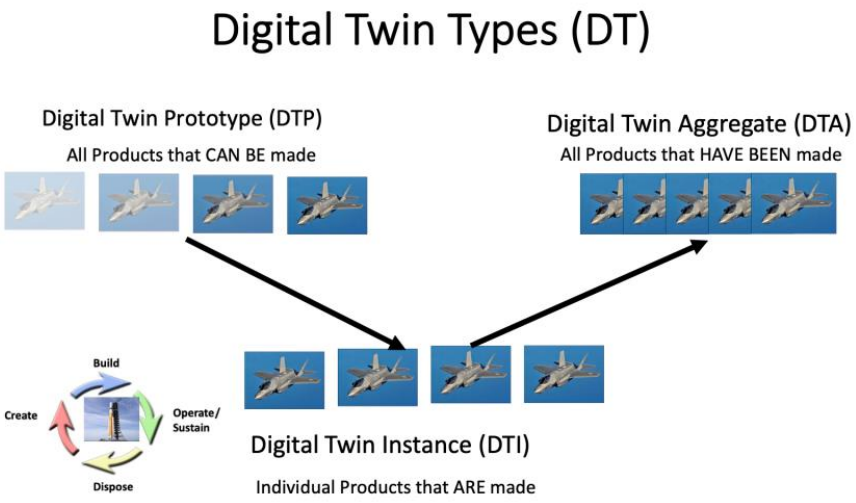
vipalveluissa kaikkea tietoa käsitellään palveluna, esimerkiksi ohjelmapalveluna on SaaS (Software as A Service). (25, s.3). Kuvassa 4 on esitetty digitaalisen kaksosen mahdollistavat teknologiat.




*KUVA 4. Digitaalisen kaksosen mahdollistavat teknologiat (23)*

## 2.3 Digitaalisen kaksosen eri tyypit

Digitaaliset kaksoset jaetaan kolmeen eri tyyppeihin: prototyyppi, instanssi ja ryhmä. Kuvassa 5 on esitetty digitaalisen kaksosen eri tyypit.




*KUVA 5. Digitaalisen kaksosen tyypit (26)*

Digitaalinen prototyyppi (DTP) on tehty ennen itse fyysistä tuotetta. Digitaalinen prototyyppi sisältää datajoukon, jotka ovat välttämättömiä fyysisen kopion valmistamiseksi virtuaalisesta mallista. Digitaalinen prototyyppi sisältää suunnittelut tiedostot, CAD ja 3D -mallit jne. Digitaalisella prototyypillä voidaan tunnistaa arvaamattomia ja ei-toivottuja tapahtumia, joita on vaikea tunnistaa perinteisillä prototyypeillä. (26)

Digitaalista instanssia (DTI) on vastine tehdystä tuotteesta, johon se on yhdistettynä koko elinkaaren ajan (26). Fyysisen kohteen tilatiedot lähetetään virtuaaliseen kaksoseen ja päinvastoin. Digitaalista instanssia käytetään virtuaalisen kaksosen käyttäytymisen seuraamiseksi ja ennustamiseksi. Tietojen avulla voidaan selvittää, onko ei-toivotut asiat onnistuneesti poistettu. Koska molempien järjestelmien välinen yhteys on kaksisuuntainen, kaikki muutokset tapahtuvat molemmissa yhtä aikaa. Hyvänä esimerkkinä on ranskalainen matkustaja- ja sotilaslentokonevalmistaja Airbus, joka käyttää digitaalista kaksosta lentokoneidensa moottoreiden kunnon ja polttoainekulutuksen seuraamiseen reaaliajassa. Digitaalinen kaksonen avulla paikallistetaan mahdolliset ongelmat

ajoissa, jotta pystytään reagoimaan niihin. (27.) Kuvassa 6 on esitetty Airbus lentokone valmistajan digitaalinen kaksonen.

*KUVA 6. Airbusin käyttämä digitaalinen kaksonen (27)*

Digitaalinen ryhmä (DTA) on useiden digitaalisen instanssien muodostama kokonaisuus. Toisin kuin digitaalisella instanssilla, digitaalisella ryhmällä ei välttämättä ole itsenäinen tietorakenne. Se voi olla laskentarakenne, jolla on pääsy kaikkiin digitaalisiin instansseihin (25, s. 3.)

## 2.4 Hyödyt ja käyttökohteet teollisuudessa

Teollisuudessa digitaalista kaksosta hyödynnetään mallintamaan prosesseja, laitteita ja tuotantolinjoja. Teollisuudessa digitaalisen kaksosen avulla voidaan tunnistaa tuotantoprosessien pullonkauloja, poikkeamia sekä heikkoja ja kriittisiä kohtia tuotannossa. Lisäksi digitaalisen kaksosen avulla voidaan testata kustannustehokkaasti erilaisia tuotantotapahtumia, eri prosessiarvoja muuttaen riskittömästi häiritsemättä nykyistä tuotantoa sekä kokeilla uusi vaihtoehtoja ongelman selvittelyssä (28, s. 8.)

Digitaalista kaksosta hyödynnetään teollisuuden kunnossapidossa ennustamaan mahdollisia tulevia laitevikoja. Tämä tehdään fyysisistä laitekomponenteista kerättyjen datatietojen perusteella. Kerättyjen tietojen avulla suoritetaan simulaatioita ja data-analyysia, joiden avulla voidaan ennustaa laitteen tuleva suorituskyky ja mahdolliset tulevat laiteviat. Näitä tietoja voidaan hyödyntää ennakoivassa kunnossapidossa, joka vähentää suunnittelemattomien tuotantokatkoksien määrää, parantaa tuotantolinjan tehokkuutta ja alentaa ylläpitokustannuksia. (29.) Lisäksi digitaalinen kaksonen tukee resurssien päätöksentekoa realistisella mallilla tuotannosta (30).

Digitaalisen kaksosen avulla teollisuusyritykset voivat testata turvallisesti ja kustannustehokkaasti tuotteita ja prosesseja. Mallinnuksessa nähdään, miten eri tuotantolinjan tuotantokoneet, työntekijät, robotit ja trukit voidaan sijoittaa tuotantolinjaan. (31.)

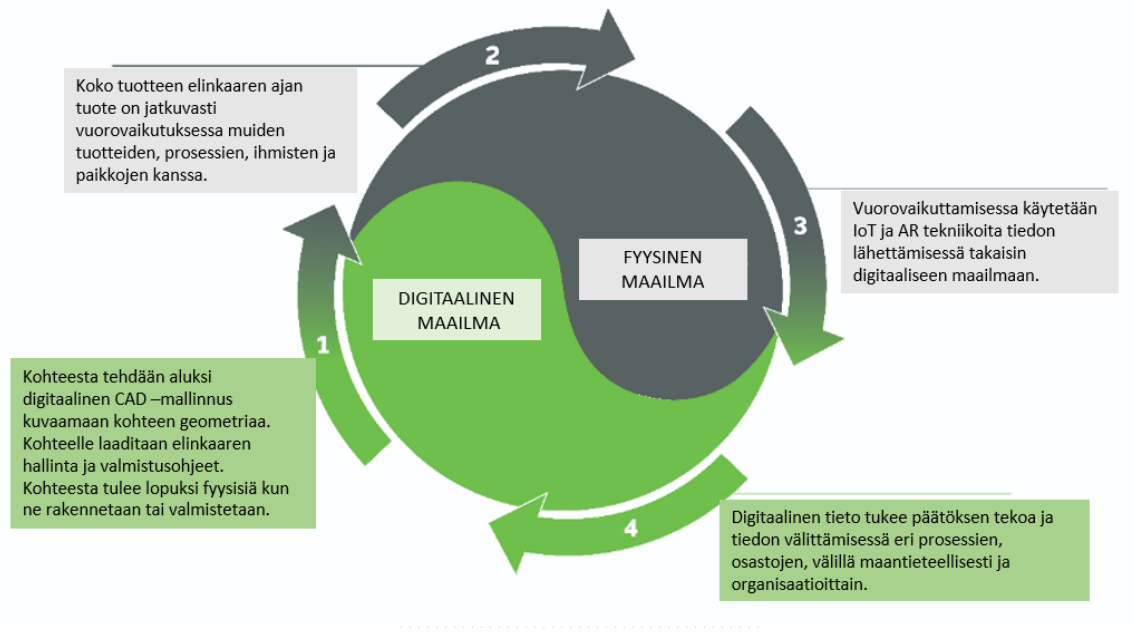
Yritykset hyödyntävät digitaalista kaksosta lisäämällä siihen VR-tekniikkaa saadakseen mahdollisimman todenmukaisen kuvan tuotteestaan asiakas-, myynti- ja koulutustapahtumassa. Digitaalinen kaksonen myöskin mahdollistaa yrityksien taloudellisimman käyttäjäkoulutuksien pitämisen etänä ympäri maailmaa, koska koulutuksessa ei vaadita kouluttajan läsnäoloa.

Digitaalista kaksosta hyödynnetään mallintavaan tuotannonsuunnitteluun, jolloin pystytään ennustamaan tilastollista todennäköisyyttä, ettei tuotantosuunnitelma toimisi jossakin prosessin vaiheessa. Tämä tekee tuotannonsuunnittelusta helpompaa ja luetettavampaa.

Investointisuunnittelussa digitaalisen kaksosen käyttäminen auttaa näkemään investointien vaikutukset, kun ne on ensin lisätty digitaaliseen kaksoseen. Digitaalista kaksosta voidaan myös hyödyntää tuotteen käyttäjäkokemuksen saamisessa, josta on hyötyä tuotteen jatkokehitykselle (28, s. 10.)

## 2.5 Digitaalinen säie

Kokonaisvaltaisen digitaalisen kaksosen muodostamiseksi tarvitaan digitaalinen säie, joka yhdistää kaikki tuotteesta saatavat tiedot samaan paikkaan tuotteen elinkaaren aikana. Digitaalisessa säikeessä tiedot tuotteen suunnittelusta, valmistuksesta ja käytöstä sekä huolto ja vikatiedot ovat tallennettuna samaan paikkaan esim. pilvipalvelimelle. Digitaalisen säikeen avulla tiedot ovat reaaliaikaisia ja ne ovat saatavilla kaikilla tuotekehityksen sidosryhmillä. Tämä mahdollistaa, että sidosryhmät voivat toimia tehokkaasti saman tiedon parissa. Digitaalinen säikeen avulla tuote on helpommin myös muokattavissa tulevaisuudessakin, koska suunnittelijat voivat analysoida tuotetta fyysisestä maailmasta saaduilla tiedoilla ja näin tehdä parannuksia ja testata tehtyjä muutoksia. (32;33). Kuvassa 7 on esitetty digitaalinen säie.




*KUVA 7. Digitaalinen säie (mukaillen Hasting 33).*

## 2.6 Riskit

Digitaaliteknologioiden, 5G -datayhteys, pilvipalveluiden, massadatan, esineiden internetin ja tekoälyn käyttöönotto kasvaa. Yhtenä riskinä digitaaliselle kaksoselle voidaan pitää näiden teknologioiden hidasta yleistymistä (34, s.22).

Digitaalinen kaksonen sisältää erilaisten IoT-antureiden ja kaikkien digitaalisten teknologioiden integroinnin fyysisen kaksosen virtualisointiin. Lisääntyvän liitettävyyden myötä syntyy tietoturvariskejä.

Lisääntyvät haittavirusohjelmistojen esiintymiset sekä kyberhyökkäykset ovat herättäneet huolta yrityksien tietoturvasta. Haitalliset virusohjelmat varastavat tärkeitä tietoja yrityksien tietokonejärjestelmistä, mistä aiheutuu yrityksille suuria taloudellisia tappioita. IoT-infrastruktuurin tarjoajien ja pilvialustan tarjoajien epäonnistuminen asianmukaisten turvatoimien toteuttamisessa voi johtaa ennalta arvaamattomiin häiriöihin tiedonkulussa.

Teollisuudenalat, jotka ovat ottaneet käyttöön digitaalisia kaksosia tällaisilla alustoilla, ovat alttiita haittaohjelmahyökkäyksille, jotka kohdistuvat teollisuusjärjestelmiin, koska riippuvuus Web-pohjaisesta tietojenvaihdosta ja käyttövalmiista IT-ratkaisuista kasvaa. Suuri määrä tietoja on alttiimpi

turvallisuusriskille. Teollisuusantureita käytetään erilaisten laitteiden seuraamiseen, seurantaan ja ylläpitoon älykkäässä tehtaassa. Siksi tietojen näkyvyys on suurin kyberturvallisuushaaste älykkäälle tuotannolle tehtaissa.

Digitaalinen kaksonen kerää tietoa liiketoiminnan monilta eri sektoreilta yhteen paikkaan. Valtava tietovirta on arvokas sekä yrityksille mutta myös hakkereille. Liiketoiminnan suunnittelussa on oltava tietoturva, tietojen eheys, yksityisyys sekä vaatimustenmukaisuus kunnossa. Siksi on tärkeää varmistaa, että digitaalisen kaksosen käyttöönoton aikana on jo käytössä hyvät turvallisuuskäytännöt, olkoon se tuote, prosessi tai täydellinen järjestelmä tai yksikkö.

Kriittiseen infrastruktuuriin kohdistuvien kyberhyökkäysten lisääntyessä viime vuosikymmenen aikana kyberturvallisuudesta on tullut teollisuusautomaation käyttäjien ja toimittajien suuri huolenaihe. Näin ollen pilveen tallennetun datan turvallisuuteen liittyvän kasvavan uhan odotetaan olevan merkittävä uhka digitaalisten kaksosten yleistymiselle.

# 3 TEOLLISUUSYRITYKSIEN DIGITAALISET KAKSOSET

Tässä luvussa tarkastellaan digitaalisen kaksosen käyttötarkoituksia ja hyötyjä teollisuusyrityksissä case-esimerkein. Case-esimerkit pohjautuvat tehtyihin yrityshaastatteluihin, joihin on lisätty myös omia havaintoja. Lopuksi on tehty haastatteluista yhteenveto saatujen haastattelutietojen perusteella.

## 3.1 Haastattelututkimuksen taustaa

Ennen yrityksien haastatteluja tehtiin taustatyötä keräämällä tietoa haastateltavista yrityksistä yrityksien kotisivulta. Taulukossa 1 on esitelty haastateltujen yrityksien tiedot.

*TAULUKKO 1. Tutkimukseen osallistuvien yrityksien tiedot 1 (35)*

| Yritys | Toimiala | Henkilöstö | Liikevaihto milj. € | Tulos milj. € |
|---|---|---|---|---|
| Kesla Oy | Metsäteknologian Nosto, -ja siirtolaitteet | 243 | 41,5 | 1,3 |
| Sleipner Oy | Suurten telakoneiden liikuttamista helpottavia siirtopyörästöjen valmistajana. | 10 | 3,4 | 0,1 |
| Tampereen Seudun Keskuspuhdistamo Oy | Jäteveden käsittely | 11 | 0,6 (luku v.2020) | -1,0 |
| Stora Enso Oy Lahti kartonkitehdas | Pakkaukset (päätoimiala) Lahjapakkaukset | 323 | 0,9 | 16,9 |
| Valio Oy | Elintarvikkeet (päätoimiala) Elintarviketeollisuuden tuotteet Elintarviketukku | 3317 | 1500 | 22,1 |

Haastattelukysymykset tehtiin niin, että ne vastaisivat parhaiten ennalta aseteltuihin neljään tutkimuskysymykseen. Haastattelukysymykset toimitettiin sähköpostilla yrityksille etukäteen, että heillä olisi aikaa perehtyä kysymyksiin. Haastattelukysymykset esitetty ovat liitteessä 1.

Haastattelut tehtiin Teams-kokouksissa helmikuun ja elokuun välisenä aikana vuonna 2022. Haastatteluihin osallistui yhdeksän teollisuusyritystä, joista kaksi ei sallinut julkaista yrityksensä nimeä. Haastattelun kesto keskimäärin oli noin 30-45min riippuen, miten haastateltava yrityksen edustaja innostui kertomaan asiasta enemmänkin. Haastateltavat yritykset olivat hyvin innostuneita kertomaan digitaalisista kaksosista sekä olivat myös hyvin kiinnostuneita kuulemaan lisää niiden käyttökohteista ja hyödyntämisestä.

Yrityksien haastatteluista saatujen tietojen perusteella on tehty taulukko ja analyysi yrityksien käyttötavoista hyödyntää digitaalista kaksosta sekä yrityksien kokemat haasteet digitaalisen kaksosen hankinnalle ja käytölle. Yrityksien digitaalisen kaksosen käyttökohteet on esitetty case-esimerkein. Lopuksi on tehty yhteenveto haastattelu vastauksien ja tutkimuskysymyksien perusteella, mitä käyttökohteita, hyötyjä ja tarpeita yrityksillä on digitaaliselle kaksoselle ja miten nämä tulisi huomioida digitaalisen kaksosen markkinoinnissa.

## 3.2 Kesla Oy

Kesla Oy:ltä haastateltavana oli myynti- ja markkinointijohtaja Mika Tahvanainen. Haastattelun ajankohtana oli 18.2.2022. Kesla Oy tunnetaan metsäteknologian nosto- ja siirtolaitteiden valmistajana. Mika Tahvanaisen mukaan yrityksen tarve digitaalisen kaksosen hankkimiseksi oli saada digitaalinen koulutussimulaattori. Digitaalista kaksosta hyödynnetään koneen huolto- ja käyttäjäkoulutuksessa sekä tuotemarkkinoinnin apuvälineenä esimerkiksi alan messuilla ja asiakaskäynnillä. Lisäksi digitaalista kaksosta hyödynnetään uusien kuljettajien valinnassa.

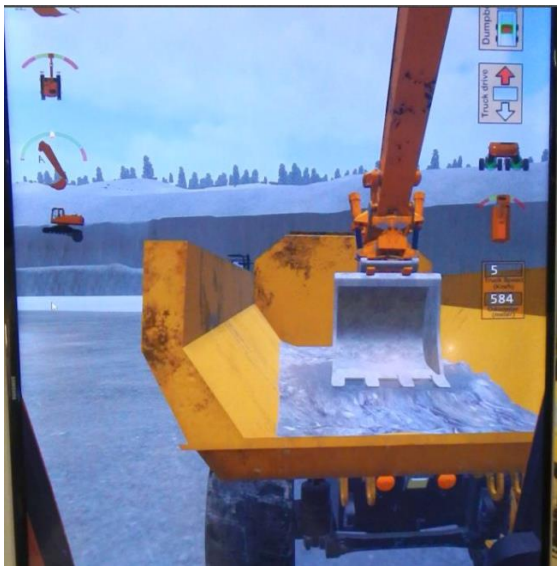
Digitaalista kaksosta aiotaan yrityksessä jatkossakon hyödyntää tuotemarkkinoinnissa ja käyttäjäkoulutuksessa. Digitaalista kaksosta käytetään suunnitteluvaiheessa simuloimaan uusien tuotteiden ominaisuuksia ja käytettävyyttä ennen varsinaista tuotteen valmistusta. Digitaalisen kaksosen avulla yritys on lisännyt tuotekehityksen kustannustehokkuutta ja on mahdollistanut yrityksen keskittymisen uusien mallien suunnitteluun ja testaukseen ennen itse fyysisen tuotteen valmistusta. (36.)

Yrityksen asettamat vaatimukset digitaaliselle kaksoselle ja sen käytölle toteutuivat todella hyvin ja yritys sai konkreettisia hyötyjä käyttäjäkoulutuksissa sekä suunnittelu, että valmistuskustannuksissa. Yrityksessä ei koettu haasteelliseksi digitaalisen kaksosen hankkimista. Yrityksellä on luottamus osaavan työvoiman saatavuudesta partneri yrityksistä kehittääkseen ja ylläpitää digitaalista kaksosta. Tulevaisuudessa digitaalista kaksosta kehitetään etäkoulutuksen aikaansaamiseksi, joka ei vaatisi kouluttajan paikollista läsnäoloa ja koulutuksia voisi järjestää kouluttajan paikasta riippumatta. (36)

### 3.3 Sleipner Oy

Sleipner Oy:ltä haastateltavana oli tuotepäällikkö Teijo Höylä. Haastattelun ajankohtana oli 16.2.2022. Sleipner tunnetaan suurten telakoneiden liikuttamista helpottavien siirtopyörästöjen valmistajana. Teijo Höylän mukaan yrityksen tarve digitaaliselle kaksoselle oli hyödyntää sitä uusien käyttäjien koulutuksessa. Digitaalisen kaksosen avulla pystytään mahdollisimman tehokkaasti simuloimaan käytännön ajotilanteita erilaisilla harjoitustehtävillä. Koulutuksella varmistetaan, että käyttäjät pystyvät tekemään työn turvallisesti ja tehokkaasti. Digitaaliselle kaksoselle asetetut vaatimukset ovat hyvin täyttyneet, koska vaatimuksena oli saada käyttäjien koulutusta palvelemaan mahdollisimman tehokkaasti ja se toteutui. (37)

Yrityksessä ei koettu haasteelliseksi hankkia digitaalista kaksosta. Yrityksellä on luottamus osaavan työvoiman saatavuudesta kehittääkseen digitaalista kaksosta. Jatkossa digitaalista kaksosta hyödynnetään myyntitapahtumissa. Kuvassa 8 on esitetty Sleipner digitaalisesta kaksosesta. (37)



*KUVA 8. Digitaalinen kaksonen Sleipner Oy (38)*

### 3.4 Tampereen Seudun Keskuspuhdistamo

Tampereen Seudun Keskuspuhdistamolta haastateltavana oli käyttöpäällikkö Lauri Valtiala. Yrityksen toimenalana on Tampereen seudun alueiden jätevedenkäsittely.

Lauri Valtialan mukaan yrityksen tarve digitaaliselle kaksoselle oli parantaa jätevesipuhdistamoiden virtaamien ennustettavuutta sekä optimoida tulovesien virtaamaa jätevedenpuhdistamoille sekä veden puhdistusprosessin mallintaminen. Lisäksi sähköenergia tehokkuuden parantamisen apuvälineeksi sekä uusien hankittavien laitteiden kuten pumppujen, moottoreiden mitoituksen ja suunnittelun avuksi. Yrityksen asettamat vaatimukset digitaaliselle kaksoselle eivät toteutuneet täysin mutta paljon saatiin hyötyjä. Nykyään saadaan tehtyä parempia virtaustrendejä ja tulovirtauksia voidaan myös simuloida paremmin. (39.)

Tulevaisuudessa digitaalisen kaksosen kehitystä tehdään kerätyn datan visuaalisen näyttämisen parantamiseksi. Yhtenä kohtana on poikkeamatilanteiden näyttäminen. Yrityksen digitaalisen kaksosen käyttämiselle ja kehitykselle kohtaamat haasteet ovat kustannukset, osaava työvoiman saatavuus sekä digitaalisen kaksosen ylläpito. Yrityksen omaa tietämystä digitaalisesta kaksosesta haluttiin myöskin kehittää. (39.)

### 3.5 Stora Enso Lahti Kartonkitehdas

Stora Ensolla Lahden kartonkitehtaalta haastateltavana oli turvallisuuspäällikkönä Toni Pällo. Stora Enso Lahden tehtaalla valmistetaan kartongista kuluttaja- ja kuljetuspakkauksia, kuljetuspakkauksia, aaltopahvia ja -pahviarkkeja. Toni Pällon mukaan yrityksen tarve digitaaliselle kaksoselle oli saada nopeasti näkyviin turvallisuusilmoituksien kohteet, missä läheltä piti -tapaus tai tapaturma on sattunut. Sitä kutsutaan nimellä 3D Safety Map. Toisena tarpeena oli parantamaan ennakoivaa huolto- ja kunnossapitoa, kuten moottoreiden ja pumppujen vikojen ennustavuutta. Kolmantena oli tuotantolinjan seurantaan ja visualisoimiseen . (40.)

Digitaaliselle kaksoselle asetetut vaatimukset ovat hyvin täyttyneet jopa ylittyneet. Digitaalista kaksosta käytetään päivittäin aamupalavereissa. Ennen heidän piti käydä läpi useampia raporttitietoja, mutta nyt riittää, kun vilkaisee tehdastason digitaalista kaksosta saadakseen käsityksen tehtaan

tuotantolinjojen tilanteesta. Tehtaan digitaalisesta kaksosesta nähdään myöskin reaaliaikaisesti turvallisuusilmoitusten kohteet sekä vikapaikkojen esiintymät eli onko jollakin alueella lisääntymässä poikkeuksen paljon turvallisuustapahtumia kuten läheltä piti -tapauksia tai laitevikoja (40.)

Tulevaisuudessa digitaalista kaksosta tullaan laajentamaan logistiikkaan sekä kemikaalikaappien sijaintien näyttämiseksi sekä kemikaalikaapeissa säilytettävien aineiden käyttöturvatiedotteiden näyttämiseksi. Lisäksi se näyttää minne tuotantoalueille ulkoisille urakoitsijoille on annettu työlupa. (40.)

Yrityksen kohtaamat haasteet digitaaliselle kaksoselle ovat tietämyksen puute. Yrityksessä halutaan saada enemmän tietoa, mihin kaikkeen se hyödynnettävissä, että digitaalinen kaksonen palvelisi yritystä mahdollisimman tehokkaasti. Yritys näkee kehitystarpeina lisätä vielä digitaalisen kaksosen käyttämistä vikojen analysointiin, energiatehokkuuden parantamiseen ja koulutukseen. (40.)

### 3.6 Valio Oy

Valio Oy:ltä haastateltavana oli automaatiokehityspäällikkö Timo Leppänen. Valio Oy on suomalainen elintarvikeyritys, joka jalostaa ja markkinoi pääasiassa maitotuotteita.

Yrityksen tavoitteet digitaaliselle kaksoselle olivat

- FAT-testausaikojen lyhentäminen
- prosessin poikkeustilanteiden visualisointi, analysointi
- prosessin KNL-tunnuslukujen (käytettävyys, nopeus ja laatu) visualisointi
- ennakoiva kunnossapito perustuen prosessin reaaliaikaiseen tietoon
- poikkeustilanteiden visualisoiminen ja operaattoreiden koulutus.

Timo Leppäsen mukaan digitaalisen kaksosen avulla yritys pystyy testaamaan automaatiomuutoksien aiheuttamatta tuotantokatkoksia sekä lyhentämään tarvittavaa FAT-testausaikaa. Lisäksi digitaalisen kaksosen avulla pystytään tunnistamaan logiikka sovellusohjelmointi puutteet ja virheet ja korjaamaan ne ennen SAT-testin suorittamista. Digitaalista kaksosta myös käytetään operaattoreiden kouluttamisessa (41).

Digitaalisen kaksosen kehityssuunta Valiolla on sen käyttäminen uusien projektien apuvälineenä ja tulevaisuudessa laajentaa se myös kunnossapidon apuvälineeksi. Digitaalista kaksosta yritys hyödyntää vika-analyyseissa, tuotannon optimoinnissa, testauksessa ja käyttöönotoissa, operaattoreiden kouluttamisessa ja simuloinneissa (41).

Valiolla digitaalisen kaksoseen koetut haasteet ovat digitaalisen kaksosen ylläpito, tietämyksen puute ja priorisointi, koska yrityksen omalla henkilöstöllä ei ole digitaalisen kaksosen ohjelmiston osaamista. Tunnistettavia kehitystarpeita Valiolla on uusien tuote reseptien ja säätiminen parametrien testaaminen (41).

Valion Joensuun on tehty suolaamoprosessista digitaalinen kaksonen parantamaan prosessin poikkeustilanteiden tunnistusta, että pystytään reagoimaan etukäteen korjaustoimenpitein. Samalla haluttiin luoda ympäristö uusien ominaisuuksien testaamiseksi aiheuttamatta tuotantokatkoksia. Digitaalista kaksosta käytetään myöskin prosessien optimointiin ja operaattoreiden kouluttamiseen. (42.) Kuvassa 9 on esitetty Valion Joensuun Suolaamon digitaalinen kaksonen. (42)

*KUVA 9. Valio Oy Digitaalisen kaksonen suolaamoprosessi (42)*

### 3.7 Haastattelujen yhteenveto

Kaikki haastateltavat yritykset eivät vielä kokeneet tarpeelliseksi hankkia digitaalista kaksosta. Syitä on monia, kustannus, tiedon puute, käyttökohteiden sekä yrityksen kulttuuri ja miten yrityksessä tuetaan innovaatiota. Koronaviruspandemian vuoksi yritykset joutuivat taloudellisesti ahtaalle ja keskittymään itse tuotantoon, kehitystyö sai jäädä odottamaan. Digitaalinen kaksonen haluttiin myös palvelevan myös useampia kuin yhtä ryhmää. Joitakin digitaalisen kaksosen pilotointi

hankkeita jotkut yritykset olivat myöskin tehneet. Kaikkia haastateltavia yrityksiä työssäni ei mainita yrityksien tietosuojan vuoksi.

Tuotantoteollisuudessa digitaalista kaksosta hyödynnetään turvallisuuspuolella, laitevikojen ennustettavuudessa sekä tuotannon optimointiin simuloimalla eri tuotantoarvoja. Yrityksissä on paljon kerättyä dataa, kun vain yrityksissä osataan hyödyntää sitä vieläkin paremmin.

# 4 TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää ja analysoida, miten Suomessa teollisuusyritykset hyödyntävät digitaalista kaksosta. Tässä luvussa esitetään tutkimustyön tuloksia, havaintoja, johtopäätöksiä tutkimuskysymysiin perustuen yrityksien haastatteluista ja saamiin tietojen.

## 4.1 Digitaalisen kaksosen käyttökohteita yrityksissä

Tutkimuskysymyksessä 1 etsittiin vastauksia, mitä käyttötarkoituksia yrityksellä on digitaaliselle kaksoselle. Haastatteluvastauksien perusteella digitaalista kaksosta käytetään eniten testauksissa. Seuraavaksi eniten digitaalista kaksosta käytetään koulutukseen, tuotannon optimointiin ja turvallisuuden parantamiseen. Kuvassa 10 on esitetty haastatteluihin pohjautuen jakauma digitaalisen kaksosen hyödyntämisen kohteista.

| Hyödyntää | Lukumäärä | % |
|---|---|---|
| Huoltojen ennustettavuus | 1 | 14,3 % |
| Prosessien ennustettavuus | 2 | 28,6 % |
| Seisokkien suunnittelussa | 0 | 0,0 % |
| Energiatehokkuus | 2 | 28,6 % |
| Tuotannon optimointi | 3 | 42,9 % |
| Turvallisuus | 3 | 42,9 % |
| Riskien tunnistus ja hallinta | 3 | 42,9 % |
| Vikojen analysointi | 1 | 14,3 % |
| Testaus | 4 | 57,1 % |
| Markkinointi | 2 | 28,6 % |
| Simulointi | 2 | 28,6 % |
| Koulutus | 3 | 42,9 % |

*KUVA 10. Jakauma digitaalista kaksosen hyödyntämisen kohteista*

Merkittävintä tutkimustuloksissa on, että Suomessa teollisuuden yrityksien digitaalisen kaksosen hyödyntäminen keskittyy eniten testaukseen. Seuraavaksi sitä käytetään turvallisuuteen ja riskien tunnistukseen ja niiden hallintaa sekä prosessituotannon optimiseen ja koulutukseen.

Vähiten yritykset käyttivät digitaalista kaksosta ennustettavuuteen, joka hieman hämmästytti, koska ennustettavuudella saadaan ei-toivottuja tuotantokatkoksia vähennettyä ja tuotantotehokkuutta parannettua. Tutkimuksessa ilmeni, että laitevalmistajien ja tuotantoteollisuuden hyödyntämiskohteet eroavat toisistaan. Kone- ja laitevalmistajat keskittyvät käyttämään digitaalista kaksosta koneen tai laitteen käyttäjäkoulutuksessa sekä myynnin ja markkinoinnin tukena. Tuotantoteollisuuden yritykset hyödyntävät sitä testaukseen, koulutukseen, tuotannon optimointiin ja turvallisuuden kehittämiseksi

Kone- ja laitevalmistaja yritykset hyödyntämisen kohteet olivat:

- tuotekoulutus
- myynti- ja markkinointitapahtumissa
- tuotekehitys.

Tuotantoteollisuudessa hyödyntämisen kohteet olivat:

- ennakoivassa kunnossapidossa vikojen ennakointiin
- energian optimoinnissa ja sähkönkulutuksen pienentämiseksi
- hankittavien laitteiden mitoituksen apuvälineenä
- reaaliaikainen turvallisuushavainnointi nähdään reaaliajassa laitevikojen esiintymät tuotantolinjoissa
- vikojen ennustettavuus
- FAT-testausaikojen lyhentäminen ja tekeminen etänä
- sovellusvirheiden löytäminen ennen varsinaista käyttöönottoa.

## 4.2 Digitaalisen kaksosen avulla saavutettuja hyötyjä

Tutkimuskysymyksessä 2 etsittiin vastauksia, mitä hyötyjä yritykset ovat saavuttaneet digitaalisen kaksosen avulla. Digitaalisen kaksosen avulla yritykset ovat onnistuneet parantamaan tehokkaammaksi tuotteidensa jatkokehitystä ja luomaan kustannussäästöjä. Digitaalinen kaksonen on auttanut yrityksiä selviytymään koronaviruspandemian aikana tuomista haasteita. Yritykset onnistuivat järjestämään kone- ja laitekäyttäjäkoulutuksia etänä. Yritykset pystyivät myös optimoimaan tuotantoaan tehokkaammaksi sekä saamaan lähes reaaliaikaisen kuvan tehtaan turvallisuushavainnoista. Yritykset ovat myös onnistuneet tehostamaan FAT-testaamiseensa käytettävää aikaa ja vähentämään testauskustannuksia.

## 4.3 Digitaalinen kaksonen ja yrityksien tarve

Tutkimuskysymyksessä 3 etsittiin vastauksia, mitä tarpeita yrityksillä on digitaaliselle kaksoselle. Etäkoulutusjärjestelmän luominen ilman paikka sidonnaisuutta maailmanlaajuisesti sekä auttaa entistä enemmän laitteiden huoltokoulutuksissa koronavirustaudin myötä tullut entistä tarpeellisemmaksi yrityksen liiketoiminnalle. Energian optimointi nähtiin tärkeäksi. Uusissa laitehankinnoissa digitaalinen kaksonen toimisi apuvälineenä uusien hankittavien laitteiden mitoituksessa.

Tuotantotehtaan logistiikan parantamisessa, erilaisten tuotannon poikkeamatilanteiden visualisoiminen, laitevikojen analysoimisessa ja erilaisten reseptien ja parametrien testaamisessa sekä hyväksyttyjen työlupien visualisoimisessa tehdasalueella nähtiin paljon hyötyä digitaalisesta kaksosesta.

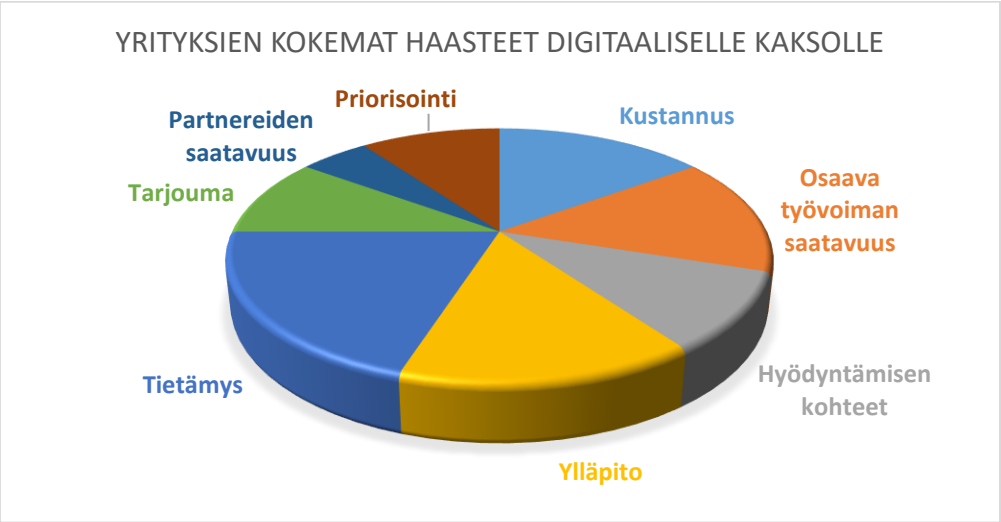
## 4.4 Digitaalinen kaksonen ja markkinointi

Tutkimuskysymyksessä 4 etsittiin vastauksia, miten digitaalisen kaksosen asiakasmarkkinointia tulisi kehittää. Yritykset voisivat lisätä yrityksien tietämystä digitaalisesta kaksosesta järjestämällä esittely- ja koulutustilaisuuksia. Esittelytilaisuuksissa olisi hyvä lisätä visuaalisen puolen esittämistä tekemällä 3D -malli virtuaalisesta kaksosesta. Lisäksi esittää vaihtoehtoja tarvittavan datan keräämiseksi. Yrityksien tieto digitaalisesta kaksosesta ja sen tuomista eduista lisäisi yrityksien mielenkiintoa digitaalisen kaksosen hankinnalle. Markkinointia voisi myös parantaa tekemällä valmiiksi myynti tarkoitukseen tehtyjä digitaalisia kaksosia, joilla yrityksille voisi havainnollistaa sitä paremmin. Mitä aikaisemmassa hankintavaiheessa yritys pystyy tuomaan yrityksien tietoon osaamistaan ennen hankintapäätöstä, sitä paremmat mahdollisuudet yrityksellä on saada aikaan kauppa.

## 4.5 Yrityksien kokemat haasteet digitaalisen kaksosen käyttämiselle ja kehittämiselle

Tutkimustuloksien mukaan yrityksien oma tietämys ja ylläpito digitaalisesta kaksosesta koettiin haasteellisimmaksi. Syynä tähän on, että usein yritykset ostavat digitaalisen kaksosen ulkopuoliselta toimittajalta, joka myös huolehtii sen ylläpidosta jatkossa.

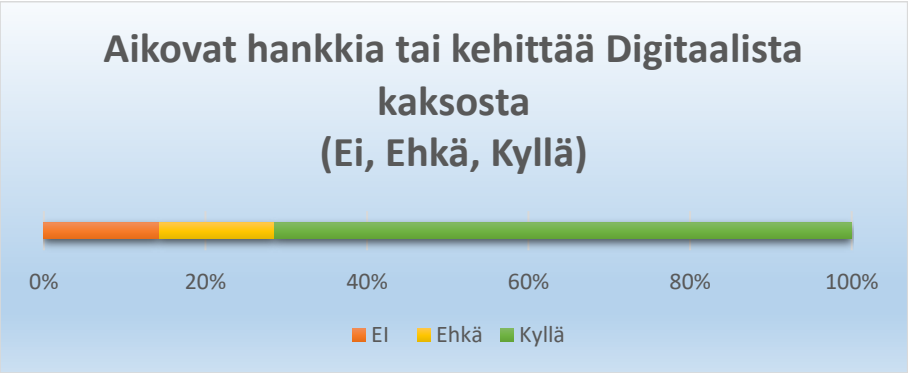
Digitaalisen kaksosen tekeminen ei tietenkään onnistu yhdeltä henkilöltä vaan se vaatii useamman eri toimialan henkilöiden työpanoksen. Tarvitaan sähköautomaation, pilvipalvelujen, tietojenkäsittelyn ja prosessintuntemusta. Digitaalisen kaksosen hankinta kustannukset eivät olleet este hankinnalla. Takaisinmaksuaika vähimmillään yrityksillä oli 3 kuukautta. Kuvassa 11 on esitetty yrityksien kokemien haasteiden jakauma.




*KUVA 11. Yrityksien kokemat haasteet digitaaliselle kaksoselle*

### 4.6 Potentiaaliset asiakkaat työn tilaajalle

Haastateltavista yrityksistä yli puolet hyödyntää digitaalista kaksosta. Haastateltavilla yrityksillä on tarkoituksena kehittää digitaalisen kaksosen hyödyntämisestä, joten tämän perusteella yli puolet haastateltavista yrityksistä olisi potentiaalisia tulevia asiakkaita Installe. Kuvassa 12 on esitetty haastateltujen yrityksien jakauma digitaaliseen kaksosen hankkimiseksi ja kehittäminen jatkossa.




*KUVA 12. Yrityksien jakauma digitaalisen kaksosen hankkimisen suhteen*

# 5 POHDINTA

Tässä työssä käytiin läpi digitaalisen kaksosen määritelmää ja mitä digitaalisen kaksosen tekemiseen vaaditaan ja selvitettiin yrityshaastattelujen avulla digitaalisen kaksosen käyttötarkoituksia Suomalaisissa teollisuusyrityksissä, hyötyjä ja tulevaisuuden hyödyntämisen kohteita.

Tutkimustyö toteutettiin hankkimalla tutkimusaineistoa eri tutkimuslähteistä sekä haastattelemalla teollisuusyrityksiä. Tutkimuksen tarkoituksena oli tuottaa tietoa kehitysideoita työntoimeksiantajalle digitaalisen kaksosen markkinoinnin kehittämiseksi. Tutkimuksessa onnistuttiin saaman vastaukset tutkimuskysymyksiin ja saamaan tietoa, miten Suomen teollisuusyritykset hyödyntävät digitaalista kaksosta ja mitä yritykset tarvitsevat sen hankkimiseksi ja ylläpitämiseksi.

Opinnäytetyön aihe oli mielenkiintoinen ja opettavainen. Aiheesta löytyi monenlaisia julkaisuja ja opinnäytetöitä. Työ laajensi tietämystäni erityyppisistä digitaalisista kaksosista ja niiden tuomista hyödyistä. Työ myös osoitti, että vielä on paljon asioita, mitä yritykset eivät hyödynnä digitaalisen kaksosen avulla. Syynä osaksi voidaan pitää osaavan työvoiman saatavuutta sekä tietämystä sen hyödyntämisen käyttökohteista.

Maailmalla onkin jo nähtävissä teollisuusneljän vallankumous mahdollisuudet digitaalisen kaksosen hyödyntämiseksi IoT-antureiden, robottien, tekoälyn, ohjelmistorobotiikan käytön lisääntyessä. Suomessa toimivien teollisuusyrityksien reaaliaikaisen datan visualisointi ja erilaisten digitaalisten kaksosten hyödyntämisessä on vielä kiinni kuromista, että saavutetaan digitaalisen kaksosen hyödyntäminen samalle tasolle. Tämä kehitys vaatii eri yrityksien ja toimijoiden tiivistä yhteistyötä digitaalisen kaksosen kehittämiseksi ja hyödyntämiseksi mahdollisimman monella tavalla tehokkuuden ja tuottavuuden parantamiseksi.

# LÄHTEET


1. INSTA OY 2022. Insta verkkosivu. Hakupäivä 02.10.2022. https://www.insta.fi/

2. Kallinen, Timo & Kinnunen, Taina 2022. Etnografia. Teoksessa Jaana Vuori. Laadullisen tutkimuksen verkkokäsikirja. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoarkisto. Hakupäivä 30.1.2022. https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus.

3. Eskola, Jari & Suoranta, Juha 1998. Johdatus laadulliseen tutkimukseen. Tampere: Kustannusyhtiö Vastapaino.

4. Ojasalo, Katri. Moilanen, Teemu ja Ritalahti, Jarmo 2015. Kehittämistyön menetelmät. Painos 3-4. Helsinki: Kustannusyhtiö Sanoma Pro Oy

5. Schluse, M. Rossmann J. 2016. From simulation to experientable digital twins: Simulation-based development and operation of complex technical systems, International Symposium on Systems Engineering. Hakupäivä 15.3.2022.https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7753162. Vaati käyttöoikeuden

6. Thompson Liisa-Maija 2020. Suomen tieyhdistys ry. Digitaaliset kaksoset – virtuaalista ja todellista elämää rinnakkain. Hakupäivä 9.11.2022. https://www.tieyhdistys.fi/tie-ja-liikenne/artikkelit/digitaaliset-kaksoset-virtuaalista-ja-todellista-elamaa-rinnakkain/

7. T. Y. Pang, J. D. P. Restrepo, C.-T. Cheng, A. Yasin, H. Lim, and M. Miletic, 'Developing a Digital Twin and Digital Thread Framework for an "Industry 4.0" Shipyard', Appl. Sci, p. 11 2021. Hakupäivä 09.02.2022. https://doi.org/10.3390/app11031097

8. Vilja, Mikko 2020. Tampere. Lisätty todellisuus ja tuotteen elinkaari (Bachelor's thesis). https://trepo.tuni.fi/handle/10024/120496. Hakupäivä 9.5.2022

9. MarketsandMarkerts 2022. Digital Twin Market Size Global forecast to. Hakupäivä 9.1.2022. https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/digital-twin-market-225269522.html

10. Löytyoja, Tuukka. Järvensivu, Mika. 2020. Digital Twin – prosessien tehostajana teollisuudessa Hakupäivä.9.1.2022.https://www2.deloitte.com/fi/fi/pages/manufacturing/articles/digital-twin-prosessien-tehostajana-teollisuudessa.html

11. Allen, B Danette 2021. Digital Twins and Living Models at NASA. Hakupäivä 4.9.2022. https://ntrs.nasa.gov/citations/20210023699

12. Barricelli, B. Casiraghi & Fogli, D 2019. A Survey on Digital Twin: Definitions, Characteristics, Applications and Design Implications. Hakupäivä 4.9.2022. https://ieeexplore.ieee.org/document/8901113. Vaati käyttöoikeuden

13. Luściński, S. 2018. Digital Twinning for Smart Industry', in *Proceedings of the 3rd EAI International Conference on Management of Manufacturing Systems*. Hakupäivä 5.9.2022. https://eudl.eu/doi/10.4108/eai.6-11-2018.2279986

14. Suhail, S. Oracevic, A. Hussain, R. Jurdak, R. Salah, K. Hong, C, S. Matulevičius, r. 2022. Blockchain-based Digital Twins: Research Trends, Issues, and Future Challenges. Hakupäivä 4.9.2022. https://dl.acm.org/doi/10.1145/3517189

15. Singh, M. Fuenmayor, E. Hincy, E. Qiao, Y, Murray, N. & Devine, D 2021. Digital Twin: Origin to Future Applied System Innovation. Hakupäivä 31.8.2022. https://doi.org/10.3390/asi4020036

16. Grieves, Michael 2016. Researchgate.net. Origins of the Digital Twin Concept. Hakupäivä 19.8.2022.https://www.researchgate.net/publication/307509727_Origins_of_the_Digital_Twin_Concept

17. Glaessgen, E, Stargel, D 2012.The Digital Twin Paradigm for Future NASA and U.S. Air Force Vehicles. Hakupäivä 5.9.2022. https://sci-hub.se/10.2514/6.2012-1818

18. Wang, J. Zhang, L. Lin, K. Feng, L. Zhang, K 2022. A digital twin modeling approach for smart manufacturing combined with the UNISON framework. Hakupäivä 18.8.2022. https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108262

19. SFS-EN ISO 23247-1 2021. Automation systems and integration — Digital twin framework for manufacturing Part 1. Overview and general principles. Hakupäivä 22.8.2022.https://www.iso.org/standard/75066.html

20. Ugarte, M. Etxeberria, L. Unamuno, G. Bellanco, J, L. Ugalde ,E 2022. Implementation of Digital Twin-based Virtual Commissioning in Machine Tool Manufacturing Hakupäivä 22.8.2022. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050922002599.

21. Siemens verkkosivusto 2021. Hakupäivä 18.3.2021.https://www.siemens.com/global/en/company/stories/research-technologies.html

22. Gartner verkkosivusto 2021. Hakupäivä 19.3.2021.https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/digital-twin

23. Tao, F. Fangyuan, S. Liu, A . Qinglin Q. Zhang, M. Song, B. Guo,Z. Stephen C.-Y. Lu. Nee, A. Y. C. 2019. Digital twin-driven product design framework. Hakupäivä 9.2.2022. https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1443229.

24. Fuller, Aidan. Fan, Zhong and Barlow Chris 2020. Digital Twin: Enabling Technologies, Challenges and Open Research. Hakupäivä 11.12.2022. https://ieeexplore.ieee.org/ielx7/6287639/8948470/09103025.pdf. Vaati käyttöoikeuden

25. Xu, X 2012. Hakupäivä 11.12.2022. From cloud computing to cloud manufacturing https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0736584511000949

26. Lawton, George 2021. Venture Beat sivusto. Hakupäivä 12.1.2022 https://venturebeat.com/technology/tech-pioneer-explains-the-evolution-of-digital-twins/

27. Kumar, Ajitesh 2022. Digital Twins & its Types: Concepts & Examples. Hakupäivä 31.8.2022. https://vitalflux.com/digital-twins-its-types-concepts-examples/

28. Mäkimattila, Aku 2020. Digitaalinen kaksonen teollisuudessa verkkosivu Pinja Oy. Hakupäivä 16.10.2022. https://blog.pinja.com/opas-digitaalinen-kaksonen-teollisuudessa

29. Arnautova, Yana 2020. If you Build Product, you Should be using Digital Twins.https://www.globallogic.com/insights/blogs/if-you-build-products-you-should-be-using-digital-twins/

30. Ala-Mäyry, Elina.2021. Digitaalisen kaksosen hyödyt ja käyttökohteet. Hakupäivä 31.8.2022. https://blog.elomatic.com/fi/digitaalisen-kaksosen-hyodyt-ja-kayttokohteet/

31. Mikkola, Aki. & Ukko, Juhani. 2020. LUT-yliopisto. Digitaalinen kaksonen tulkitsee todellisuutta ja tehostaa toimintaa – älykkään mallinnuksen avulla säästetään aikaa ja rahaa. Hakupäivä 4.9.2020. https://www.epressi.com/tiedotteet/tiede-ja-tutkimus/digitaalinen-kaksonen-tulkitsee-todellisuutta-ja-tehostaa-toimintaa-alykkaan-mallinnuksen-avulla-saastetaan-aikaa-ja-rahaa.html

32. PLM, ThingWorx, Windchill 2022. PLM. Hakupäivä 7.12.2022. https://nxrev.com/2022/08/digital-thread-for-engineerin.

33. Hastings, Will 2021. What is a Digital Thread. Hakupäivä 17.10.2022. https://www.ptc.com/en/blogs/corporate/what-is-a-digital-thread

34. Viita-aho, Ilkka 2021. Tampere. Kanditaattityö. Digital Twin-teknologian hyödyntämien kappaletavaratuotannon optimoinnissa. Hakupäivä 18.82022.https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/124596/Viita-ahollkka.pdf

35. Verkko Yrityshaku. Hakupäivä.16.10.2022. https://www.finder.fi/

36. Tahvanainen, Mika 2022. Liiketoimintajohtaja. Kesla Oy. Haastattelu 18.2.2022

37. Höylä, Teijo 2022. Product Manager. Sleipner Oy. Haastattelu 16.2.2022

38. Sleipner Oy, Training simulator preview for dealers_sleipner.pdf. Hakupäivä 16.2.2022

39. Valtiala Lauri, Käyttöpäällikkö. Tampereen keskuspuhdistamo Oy. Haastattelu 15.8.2022

40. Pällo, Toni, 2022. Safety Manager. Stora Enso Oy. Haastattelu 25.8.2.2022

41. Leppänen, Timo, 2022. Automaatiokehityspäällikkö. Valio Oy. Haastattelu 30.9.2.2022

42. Auramo, Petri Asiakkuuspäällikkö. Esittelymateriaali. Siemens Oy. MindSpere IoT käyttöjärjestelmä PoC Valio Joensuu suolaamo.12.10.2022.

## HAASTATTELU KYSYMYKSET DIGITAALINEN KAKSONEN

1. Oliko olemassa jokin tietty tarve digitaaliselle kaksoselle?
2. Kertokaa avoimesti hieman yrityksenne digitaaliselle kaksoselle asettamistanne tavoitteista ja vaatimuksista.
3. Miten digitaalinen kaksonen on vastannut odotuksianne?
4. Mikä on kehityssuuntaus tulevaisuudessa?
5. Onko suunnitelmissa laajentaa olemassa olevaa digitaalista kaksosta?
6. Missä tällä hetkellä hyödynnetään digitaalista kaksosta?
7. Yrityksen kohtaamat haasteet digitaaliselle kaksoselle?
8. Miten digitaalinen kaksonen näyttäytyy käytännön tekemisessä?
9. Tunnistettuja kehitystarpeita?