

LUT-YLIOPISTO

LUT School of Engineering Science

Tuotantotalouden koulutusohjelma

Digitaalisen kaksosen hyödyntäminen tuoteprosessissa

Utilization of digital twin in product process

Kandidaatintyö

Lappeenrannassa 10.1.2019

Toni Jalovaara

TIIVISTELMÄ

Tekijä: Toni Jalovaara

Työn nimi: Digitaalisen kaksosen hyödyntäminen tuoteprosessissa

Vuosi: 2019

Paikka: Lappeenranta

Kandidaatintyö. LUT-yliopisto, tuotantotalous.

37 sivua, 2 kuvaa ja 1 taulukko

Tarkastaja: Dosentti Kalle Elfvingren

Hakusanat: digitaalinen kaksonen, tuoteprosessi, tuotteen elinkaaren hallinta, tuotekehitys, jälkimarkkinat

Keywords: digital twin, product management process, product lifecycle management, product development, after-sales management

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää kirjallisuuteen perehtyen, mikä on digitaalinen kaksonen, ja kuinka sitä hyödynnetään osana tuoteprosessia. Työssä esitetään, kuinka digitaalista kaksosta voidaan hyödyntää liiketoiminnassa, sekä selvitetään kuinka tuoteprosessi määritetään ja miten se vaikuttaa tuotteen arvonluontiin. Työn tarkastelu on rajattu fyysisiin tuotteisiin B2B- markkinoilla. Tuoteprosessin tarkastelun näkökulmat, tuotekehitys, jälkimarkkinat ja asiakasyhteistyö, on valittu asiakaslähtöisen ajattelutavan johdosta.

Digitaalinen kaksonen on nousussa oleva konsepti, jota pyritään hyödyntämään tuotteen hallinnassa koko elinkaaren ajan. Se on virtuaalinen mallinnus tuotteesta, joka sisältää yhteyden todelliseen tuotteeseen. Toteutuksessa hyödynnetään erilaisia teknologioita kuten simulaatio-, datan hallinta- ja analyysimenetelmiä. Tuoteprosessilla yhtenäistetään tuotteeseen liittyvien toimintojen tavoitteet ja kommunikaatio sekä pyritään maksimoimaan tuotteen arvon kaikkien sidosryhmien kannalta.

Digitaalisella kaksosella havaitaan olevan useita hyödyntämiskeinoja tuoteprosessissa, ja sen avulla voidaan tehostaa ja nopeuttaa tuotteen toimintoja. Menestyksellä toteutus ja hyödyntäminen vaatii kuitenkin vielä lisätutkimuksia.

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO	3
2 B2B MARKKINAT	4
3 TUOTEPROSESSI.....	5
3.1 Tuotteen elinkaari	6
3.2 Tuotteen elinkaaren hallinta	6
3.3 Mitä tuoteprosessilla tarkoitetaan?	7
3.4 Tuotekehitys	8
3.5 Jälkimarkkinat	10
3.6 Asiakasyhteistyö.....	11
4 DIGITAALINEN KAKSONEN.....	12
4.1 Digitaalinen kaksonen käsitteenä	13
4.2 Kuinka digitaalinen kaksonen toteutetaan	14
4.3 Digitaalisen kaksosen hyödyntäminen liiketoiminnassa	16
5 DIGITAALINEN KAKSONEN KIRJALLISUUDESSA	17
6 DIGITAALINEN KAKSONEN OSANA TUOTEPROSESSIA.....	23
6.1 Case-esimerkki	23
6.2 Vaikutukset tuotekehitykseen.....	24
6.3 Vaikutukset jälkimarkkinoihin	26
7 JOHTOPÄÄTÖKSET	29
8 YHTEENVETO	32
LÄHTEET	34

1 JOHDANTO

Tämä kandidaatintyö liittyy laajemmin aihepiirissään pinnalla olevaan digitalisaatioon, josta on otettu tarkastelun kohteeksi pienempi kokonaisuus. Näin on tehty, jotta työn tulokset olisivat konkreettisempia ja työn laajuus pysyisi kandidaatin työn rajoissa. Työssä tutkitaan uusien teknologioiden vaikutuksia tuoteprosessiin, koska ilmiölle halutaan saada näkemystä liiketoiminnan kannalta. Pääongelmana työssä on selvittää digitaalisen kaksosen vaikutukset tuoteprosessiin ja tuotteen elinkaaren hallintaan. Työssä selvitetään mikä on digitaalinen kaksonen, ja mitkä ovat tuoteprosessin osat. Tämän jälkeen yhdistetään tietoja ja selvitetään, kuinka digitaalista kaksosta voitaisiin hyödyntää tuoteprosessissa elinkaariajattelun kautta.

Tutkimuskysymykset:

1. Mikä on digitaalinen kaksonen, ja miten sitä voidaan hyödyntää?
2. Mikä on tuoteprosessi, ja kuinka sillä voidaan vaikuttaa tuotteen arvonluontiin?
3. Mitä mahdollisuuksia digitaalisen kaksosen käyttö luo tuoteprosessiin, ja mitä ongelmia hyödyntämisessä on?

Tutkimuksessa käsitellään digitaalisen kaksosen toimintaperiaatteet ja hyödyntämismahdollisuudet tuotteen elinkaaren aikana eri toimialoilla. Käytännössä tämä tarkoittaa, mitä etua sen avulla voidaan saavuttaa tuotteen elinkaaren eri vaiheissa ja ovatko sen tuomat edut pienempiä kuin mahdolliset vaatimukset ja investoinnit. Tuloksina pyritään saamaan myös, rajautuuko konseptin hyödyntämismahdollisuudet suurempiin yrityksiin vai onko sen käyttö yrityksen koosta riippumaton. Työssä tavoitteena on saada informaatiota tuotekehityksen, jälkimarkkinoiden ja niihin liittyvän asiakasyhteistyön näkökulmista. Nämä tarkennukset ja projektin fokus on valittu asiakaslähtöisen ajattelun vuoksi. Näin myös tuotekehitys kuuluu jälkimarkkinoiden lisäksi asiakkaisiin liittyviin toimintoihin, kun muuttuvassa liiketoimintaympäristössä asiakas on yhä tärkeämpi jo tuotteen kehitysvaiheessa. Tarkoituksena on luoda ymmärrys työn käsitteistä ja niiden yhteisvaikutuksista liiketoiminnan kehittämiseen.

Työ on rajattu digitaalisen kaksosen hyödyntämiseen fyysisten tuotteiden tuoteprosessissa. Tämä rajaus on tehty, koska digitaalisen kaksosen sovellukset ovat keskittyneet pääosin tuotteiden johtamiseen. Tästä johtuen tietoa on eniten saatavilla juuri fyysisiin tuotteisiin liittyen. Konseptin hyödyntämistä tutkitaan teollisilla markkinoilla, koska sen sovellukset

keskittyvät tällä hetkellä käytännössä vain B2B- liiketoimintaan. Digitaalisen kaksosen toiminta ja toteutus yleisesti esimerkiksi teknologioiden osalta käsitellään projektissa, mutta yksityiskohtaisesti sen toteuttamiseen esimerkki yrityksessä ei paneuduta. Tämä päätös on tehty, koska konsepti on vielä kehitysvaiheessa, eikä spesifikaatio tuo lisäarvoa, kun käsitellään sen vaikutuksia tuotteen elinkaareen. Tuoteprosessin osalta tarkemmassa määrittelyssä ja analyyseissä keskitytään tuotekehitykseen, jälkimarkkinoihin ja asiakasyhteistyöhön, jotka ovat erittäin keskeisessä roolissa tuotteen kannalta esimerkiksi arvon luomisessa. Näkökulmat ovat valittu ja rajattu, jotta työn tulokset ovat mielekkäämpiä ja saadaan tarkempaa tietoa kyseisiin ongelmiin. Projekti toteutetaan hyväksikäyttäen internetistä, yliopiston tietokannoista ja kirjastoista löytyvää materiaalia. Työ tehdään kirjallisuuskatsauksena, jota täydennetään omilla näkökulmilla ja havainnoilla teoriaan pohjaten. Lähdemateriaali pyritään valitsemaan ajankohtaisista tuoreista artikkeleista ja julkaisuista, niin että ne ovat kuitenkin mahdollisuuksien mukaan sopivia tieteelliseen kirjoitelmaan. Työn tulokset voivat olla hyödyllisiä esimerkiksi tuotejohtamisen parissa työskenteleville, siitä kiinnostuneille tai kaupallisen ja teknillisten alojen opiskelijoille. Näin lukijakunnan oletetaan ymmärtävän peruskäsitteistöä, eikä kaikkia käytettyjä termejä avata tarkemmin tutkimuksessa.

2 B2B MARKKINAT

Teolliset markkinat eroavat kuluttajamarkkinoista monin eri tavoin ja niihin liittyvissä käytännöissä ja toteutuksessa on eroavaisuuksia toisistaan. Ne lyhennetään usein havainnollistavammin B2B- ja B2C- markkinoihin. Tässä luvussa käydään läpi mitä B2B-markkinat tarkoittavat ja mitä ominaispiirteitä markkinan toiminnassa esiintyy. Tämän jälkeen kootaan luettelona kappaleen alle tärkeimmät havainnot.

B2B- markkinoilla tuotteet ja palvelukokonaisuudet ovat usein monimutkaisempia verrattuna B2C- markkinoihin sekä tuotteet on usein spesifioitu, yhteistyössä asiakkaan kanssa, asiakkaan tarpeiden mukaan. Tämä tekee hinnoittelusta vaikeampaa, ja markkinoiden hinnat voivat poiketa paljon toisistaan, kun taas B2C-markkinoilla täysin saman tuotteen hinnat ovat lähes samat kaikilla toimittajilla. Tästä käy myös ilmi, että asiakassuhteet ovatkin B2B-markkinoilla tiiviimpiä ja osapuolet ovat sitoutuneempia toisiinsa. Ostotapahtumat ovat pidempikestoisia, esimerkiksi sopimus- ja tuotemuutosten johdosta, ja ne voivat kestää jopa vuosia. Tuotteesta käydään yksityiskohtaisia keskusteluja sen ominaisuuksista, hinnasta, lisäosista ja siihen

liittyvistä palveluista, ja niissä osallisena on yleensä useita eri henkilöitä. Tämä eroaa kuluttajamarkkinoista, koska siellä ostopäätöksen tekee yleensä yksi tai maksimissaan kaksi henkilöä. Teollisilla markkinoilla on siis tärkeää osata tunnistaa asiakasyrityksestä ne avainhenkilöt, joilla on lopullinen päätösvalta sopimusta koskien. Neuvottelujen epäonnistuminen yhden henkilön kohdalla voi aiheuttaa sen, että myyntiprosessi joudutaan aloittamaan alusta. Teollisilla markkinoilla potentiaalisten ostajien joukko on paljon pienempi, koska tuotetta tarvitsevia toimijoita voi olla markkinoilla joissain tapauksissa vain muutamia. Potentiaaliset asiakkaat ovat myös helpommin määriteltävissä, koska usein on mahdollista esimerkiksi nimetä yritykset ja näin asiakkaiden lähestyminenkin on helpompaa. Tilanne on kuitenkin sama myös kilpailijoiden näkökulmasta (Cohn 2015). Pienempi kohderyhmä aiheuttaa myös suuremman asiakkaan neuvotteluvoiman suhteessa kuluttajamarkkinaan, jossa sen merkitys on usein pieni.

B2B- markkinat eroavat useilla tavoilla B2C- markkinoista. Tärkeimmät havainnot on koottu listaksi, joiden mukaan B2B- markkinoilla on (Cohn 2015):

- pidemmät ostotapahtumat
- ostotapahtumaan osallisena useampia osapuolia
- pidemmät ja tiiviimmät asiakassuhteet
- monimutkaisemmat, usein spesifioidut tuotteet
- vaikeampi hinnoittelu, josta seuraa usein suuremmat hinnanvaihtelut
- pienempi potentiaalisten asiakkaiden joukko, jonka tähden on usein helpompi tunnistaa ja määritellä asiakkaat
- suurempi asiakkaan neuvotteluvoima.

3 TUOTEPROSESSI

Tuoteprosessi ja sen johtaminen tulee koko ajan suurempaan rooliin organisaatioilla, niin startup-yrityksillä kuin suuremmillakin toimijoilla. Tuoteprosessista ei ole olemassa yhtä yleistä käsitystä, ja se voidaankin määritellä eri tavalla käyttötarkoituksen mukaan. Sen määrittelemisen ylipäättään yhteen muotoon on vaikeaa, koska se ei käy yhteen minkään perinteisen yrityksen osaston toiminnan, kuten tekniikan, strategian, suunnittelun tai markkinoinnin kanssa (Prodpad 2018). Se voidaan nähdä myös kokonaisuutena, joka koostuu useista osaprosesseista tai se voidaan määritellä myös tuotteen elinkaaren johtamisen mukaan.

Kaikista näkemyksistä voidaan havaita selkeä yhteneväisyys, että tuotteelle pyritään luomaan mahdollisimman suurta arvoa kaikille osapuolille. Yhteneväisyys nähdään myös siinä, että näkemykset voidaan liittää tuotteen elinkaariajattelun kontekstiin. Tuoteprosessin osia voidaan siis käsittää myös vaiheina tuotteen elinkaaressa. Tässä luvussa on tarkoitus selvittää lukijalle mikä on tuoteprosessi, miten tuotteen elinkaari ja sen hallinta liittyvät tuoteprosessiin sekä miten tuotekehitys ja asiakasyhteistyö vaikuttavat tuotteen arvonluontiin. Käsitteistä asiakasyhteistyö käsitellään niin, että siihen liittyvät toiminnot työn kannalta ymmärretään selkeästi.

3.1 Tuotteen elinkaari

Tuotteen elinkaari tarkoittaa koko ajanjaksoa ja vaiheita tuotteen kehityksestä ideasta tuotteeksi, ja sen poistumiseen käytöstä. Starkin (2015) mukaan tuotteen elinkaarella on valmistajan näkökulmasta 5 vaihetta, jotka ovat:

1. Idea
2. Määrittely
3. Realisointi
4. Tukeminen
5. Poistuminen.

Aluksi tuotteesta on vain idea kehittäjien tai työryhmän keskuudessa. Toisessa vaiheessa ideasta muodostetaan määrittely, jossa käydään läpi esimerkiksi sen vaatimukset, muotoilu ja asiakassegmentointi. Realisointi vaiheen jälkeen tuote on sen lopullisessa fyysisessä muodossaan, jossa asiakas voi jo käyttää tuotetta. Tämän vaiheen jälkeen siirrytään tuotteen tukemisvaiheeseen, jolla tarkoitetaan asiakkaan käytön aikaisia palveluja eli myynnin jälkeisiä toimintoja esimerkiksi huoltoa. Viimeisessä vaiheessa tuote poistuu käytöstä (Stark 2015). Tässä työssä tutkitaan elinkaaren vaiheita niin, että realisointi vaihe jää pois tarkastelusta eli keskitytään elinkaaren alku- ja loppuvaiheisiin.

3.2 Tuotteen elinkaaren hallinta

Tuotteen elinkaaren hallinnalla eli PLM:llä pyritään hallitsemaan yrityksen tuotteita mahdollisimman tehokkaasti koko niiden elinkaaren ajan. Tarkoituksena on siis kasvattaa tuotteen arvoa mahdollisimman suureksi sekä yrityksen että asiakkaan näkökannalta katsottuna.

Tuotteen elinkaaren mukaan toteutus alkaa jo idea vaiheessa ja päättyy tuotteen poistumiseen käytöstä (Stark 2015).

PLM:ää toteutetaan niin, että integroidaan kaikki tuotteen osat sekä prosessit ja hallitaan niiden johtamista yhtenäisen järjestelmän tai systeemin avulla. Pääideana konseptissa on luonnollisesti kasvattaa liikevaihtoa, alentaa tuotteeseen liittyviä kustannuksia ja maksimoida nykyisten ja tulevien tuotteiden arvo niin osakkaille kuin asiakkaillekin (Stark 2015). PLM:n toteuttamisen hyödyt nähdään, ei pelkästään kustannussäästöinä ja tuoton nousuina, vaan välttämättömien ja tärkeiden muutosten tekemisessä avainprosesseihin, käytäntöihin ja tekniikoihin. Ongelmat näissä voidaan huomata PLM:n avulla ja niihin kyetään vaikuttamaan tehokkaasti. Tämä mahdollistaa tietoisten ja järjestelmällisten muutosten tekemisen tärkeisiin elinkaareen liittyviin päätöksiin elinkaaren aikana (Sääksvuori & Immonen 2008).

Tuotteen elinkaaren hallinnassa apuna käytetään erilaisia työkaluja kuten CAD:tä, PDM:ää eli tietokonemallinnusta ja tuotetiedonhallintajärjestelmää. Johtamisen ideana on dokumenttien ja datan järjestelmällinen hallinta (Sääksvuori & Immonen 2008). Toteutus ei ole vain tieto esineestä ja siihen liittyvästä dokumentaatiosta vaan siinä ymmärretään tuote ja sen elinkaari esimerkiksi tehtyjen muutostöiden vaikutukset (Sääksvuori & Immonen 2008 s.4). Hallintajärjestelmät sisältävät myös esimerkiksi metadatan data-analyyseistä, testeistä, laadunhallinnasta, ympäristö-/olosuhdetiedoista, raporteista, muutosvaatimuksista ja suoritusinformaatiosta. Järjestelmää voidaan hyödyntää esimerkiksi työohjelman laatimisessa ja projektinhallinnassa sekä sen avulla kyetään standardoimaan, automatisoimaan tai nopeuttamaan tuotteen johdon operaatioita (Sääksvuori & Immonen 2008).

3.3 Mitä tuoteprosessilla tarkoitetaan?

Kuten aikaisemmin on todettu, tuoteprosessi on haastavaa määrittellä tiettyjen sääntöjen ja vaiheiden mukaan, koska jokaisen organisaation toiminta on erilaista toisiinsa verrattuna. Myös tuoteprosessin määrittäminen perinteisten toimintojen (esim. markkinointi, suunnittelu, strategia) mukaan on vaikeaa, koska tuoteprosessissa pyritään hallitsemaan kaikkien näiden tuotteen kannalta avaintoimintojen toimimista. Tuoteprosessissa tarkoituksena on siis johtaa näitä erillisiä osa-alueita interaktiivisesti pyrkien yhtenäistämään niiden toiminta, tavoitteet ja kommunikaatio. Tavoitteena prosessissa on suunnitella, kehittää ja tuoda jatkuvasti parempia

tuotteita markkinoille. Tämä tapahtuu prosessissa tuotestrategian ja etenemissuunnitelman luomisella, jolla pyritään vastaamaan yrityksen ja asiakkaiden tarpeisiin (Prodmap 2018).

Tässä työssä tuoteprosessissa keskitytään toimintoihin ja osaprosesseihin, jotka tukevat tuotteen arvon luontia, joita ovat: tuotekehitys, markkinointi, myynti ja jälkimarkkinoiden palvelut. Toiminnoista ja niiden järjestyksestä voidaan nähdä niiden kronologinen asettuminen tuotteen elinkaareissa ideasta tuotteen poistumiseen. Tuotteen osaprosessien hallinta tapahtuu kuitenkin päällekkäin, ja niiden johtamisen idea onkin yhtenäistää niiden kehitys ja tavoitteet.

3.4 Tuotekehitys

Tuotekehityksellä tarkoitetaan prosessia ideoinnista tuotannon aloituksen. Sen tavoitteena on kehittää, suunnitella ja markkinoida tuote liiketoiminnan kannalta kannattavasti vastaamaan asiakkaiden tarpeita mahdollisimman hyvin. Ominaispiirteitä onnistuneessa tuotekehityksessä on tuotteen laatu, tuotekustannukset, kehitysaika, -kustannukset ja -kyvykkyys. Näillä piirteillä kuvataan, onnistutaanko vastaamaan hyvin asiakkaan tarpeisiin nopeasti sekä kustannustehokkaasti ja kyetäänkö jatkuvasti projektien aikana ja jälkeen hyödyntämään niistä saatuja tuloksia (Ulrich & Eppinger 2000). Apilo ja Jokinen määrittävät tuotekehityksen menestystekijöiksi ainakin projektin johtamisen, asiakkaiden sitoutumisen ja kommunikoinnin avoimuuden sekä toimivuuden (Apilo & Jokinen, 2006). Tärkeää projektin johtamisessa on projektin tavoitteiden ja aikataulujen asettaminen sekä ohjaaminen. Projektin johtaja on tärkeässä roolissa myös, koska viestimällä ja ajamalla projektia ylimmälle johdolle pystytään varaamaan resursseja toteutukseen. Asiakkaiden sitouttamisella on tärkeä rooli vaatimusmäärittelyissä sekä tarpeiden ja huomioiden jatkoanalyysien tekemisessä meneillään olevassa ja tulevissa projekteissa. Kommunikoinnin tulisi olla poikkifunktionaalista, avointa ja järjestelmällistä. Projektin tila ja tiedot tulisi olla kaikkien osapuolien ja osastojen saatavilla, jotta tiedot olisivat yhtenevät kaikilla. Avoimuudella tarkoitetaan, että tietoa jaettaisiin säännöllisesti osaston, osastojen, asiakkaan yms. osapuolten kesken, tavoitteena oppia uutta, välttää päällekkäisyyksiä toiminnoissa ja nopeuttaa prosessia (Apilo & Jokinen, 2006).

Tuotekehitysprosessiin osallistuu lähes kaikki yrityksen funktionaalisista osista, mutta keskiössä nähdään markkinointi, suunnittelu ja tuotanto. Markkinoinnin tehtävänä prosessissa on kommunikoida asiakkaan ja yrityksen välillä. Tehtäviin kuuluu myös esimerkiksi asettaa

tuotteen tavoitehinta, valmistella tuotteen julkaisu sekä tunnistaa asiakatarpeita ja asiakassegmenttejä (Ulrich & Eppinger 2000). Suunnitteluosasto esimerkiksi suunnittelee tuotteen fyysisen rakenteen, muotoilun, ja suunnittelee ominaisuudet vastaamaan asiakatarpeita. Yleisiä tuotannon tehtäviä tuotekehityksessä ovat esimerkiksi päätösten tekeminen siitä, kuinka tuote valmistetaan, vastata hankinnoista ja jakelusta sekä muista vastaavista toiminnoista (Ulrich & Eppinger 2000).

Tuotekehitysprosessi (Ulrich & Eppinger 2000 s.14) on esitetty kuvassa 1 ja siihen kuuluu 6 eri vaihetta. Ideointi alkaa yrityksen strategiasta ja sisältää tutkimukset teknologian kehityksestä ja markkinoista. Vaiheen tuloksina on tarkoituksena asettaa liiketoimintatavoitteet, tavoitemarkkinat, oletukset ja mahdolliset rajoitteet. Konseptivaihe on *front end*- prosessi, joka vaatii valtavaa yhteistyötä eri osastojen välillä. Tavoitteena siinä on luoda useita konsepteja sekä valita konseptitestauksella, mikä tai mitkä niistä etenevät jatkokehitykseen. Tarvittavia tehtäviä ovat esimerkiksi kilpailevien tuotteiden analyysit, targetointi, asiakastarpeiden tunnistus, konseptien taloudelliset arviot sekä jatkotoimintojen suunnittelu. Jo konseptikehitysvaiheessa voidaan tehdä ensimmäisiä prototyyppejä. Lisäksi vaiheeseen kuuluu esimerkiksi alustava tuotearkkitehtuuri ja alustava tekninen suunnittelu. Järjestelmätason suunnittelu sisältää esim. tuotearkkitehtuurin ja tuotteen toiminnallisten osien jaon ja suunnittelun. Yksityiskohtaisessa suunnittelussa tavoitteena on luoda täydellinen määrittely tuotteen geometrisestä rakenteesta, materiaaleista tms. Myös markkinointisuunnitelman tekeminen ajoittuu lähelle tätä vaihetta, ja se on kriittinen osa tuotteen mahdollista menestystä (Ulrich & Eppinger 2000).

Testaus ja siitä seuraava mahdollinen tuotteen hyväksyntä tulee suunnittelun jälkeen, siihen liittyy esim. erilaiset luotettavuus- ja suorituskykytestit sekä kenttätestaus. Prototyypitasolla voidaan testata, että toimiiko tuote tässä vaiheessa suunnitellun mukaisena ja vastaako se asiakkaan tarpeita. Viimeisimmillä prototyypeillä voidaan testata toimintaa jopa loppuasiakkaalla oikeassa käyttöympäristössä. Tuotteen hyväksynnän jälkeen tulee Ramp-up vaihe eli tuotannon aloitus, jolloin tuote valmistetaan jo kokonaan siihen tarkoitettuun tuotantoprosessissa. Tuotetta voidaan toimittaa jo avainasiakkaille, ja arvioida heidän käytöstään tuotteen toimintaa ja jäljittää siitä vielä mahdollisia vikoja (Ulrich & Eppinger 2000). Vastaavasti Hiljanen (2017) toteaa kuitenkin artikkelissaan digitaalisista kaksosista, että

nykyisessä liiketoimintaympäristössä tuotekehitysprosessissa tuotteen testaaminen asiakkaalla asti ei tule kysymykseenkään.

Useat tehtävät tuotekehitysprosessissa liittyvät useisiin vaiheisiin, joten niiden tarkan kohdan määrittäminen on haastavaa. Prototyypin luonti on digitaaliseen kaksoseen liittyvän tutkimuksen kannalta kiinnostava tehtävä, ja se alkaa usein jo konseptivaiheessa ja ne toimivat testiajureina ennen lopullista tuotetta (Ulrich & Eppinger 2000). Tuotekehitysprosessit vaihtelevat eri tilanteiden välillä. Esimerkiksi kustomoiduilla tuotteilla prosessi voi olla määritetty huomattavasti tarkemmin ja ne voivat sisältää satoja tarkoin määriteltyjä toimintoja (Ulrich & Eppinger 2000 s.23).



Kuva 1. Tuotekehitysprosessi (Ulrich & Eppinger 2000 s.9)

3.5 Jälkimarkkinat

Aiemmin jälkimarkkinoiden toiminta on kuvattu niin, että se käsittää kaikki toiminnot, joilla tähdätään ylläpitämään tuotteen tai palvelun laatu ja luotettavuus toimituksen jälkeen. Tavoitteena näillä toiminnoilla on varmistaa asiakkaan tyytyväisyys (Ehinlanwo & Zairi 1996). Tämä määritelmä pitää vieläkin paikkansa, mutta sitä on päivitetty niin, että huollon ja korjauksen lisäksi se käsittää koulutuksen, käyttöönoton, päivitykset, asiakastuen, varaosien toimituksen ja muut vastaavat toiminnot (Legnani et al. 2009; Tore & Uday 2003). Palvelun tason nostaminen ja toimintojen tehostaminen jälkimarkkinoilla vaativat lisäresurssien käyttöä yritykseltä ja lisäävät siten siitä aiheutuvia kuluja (Hvidberg 2012).

Jälkimarkkinat ja niiden hallinta on avaintekijä yrityksen menestyksessä, ja niiden merkitys on suuri varsinkin yritysmarkkinoilla ja pitkäaikaishyödykkeillä (Mezger [n.d.]). Jälkimarkkinoiden hallinnassa organisoidaan prosesseja myynnin, huoltopalveluiden ja asiakkaan välillä. Huollon toimivuudella on suuri merkitys käyttöasteeseen, joka on osa tuotteen arvoa. Pitkien huoltosopimusten kautta palvelua pystytään kehittämään pitkäjänteisesti, siihen kuluvien resurssien käyttöä voidaan optimoida sekä taataan jatkuva

kassavirta yritykselle. Jatkuvilla kassavirralla kyetään hoitamaan juoksevat menot, kun yritysmarkkinoilla myynti voi olla hajanaista ja niistä saatavat tulot voivat tulla epäsäännöllisesti (Mezger [n.d.]).

Asiakkaan kanssa kommunikointi jälkimarkkinoilla palvelusta ja palautteesta voi tuoda uusia mahdollisuuksia lisäosista ja uusista palveluista. Jälkimarkkinoilta saatu informaatio tuotteen toiminnasta ja asiakkaalta voi kiihdyttää tuotekehitystä luomaan jatkossa parempia tuotteita (Mezger [n.d.]). Joillakin aloilla on huomattu, että jälkimarkkinat ovat suurempi osa liiketoimintaa kuin itse tuotanto. Esimerkiksi auto- ja hissialalla jälkimarkkinat ovat huomattava osa liiketoimintaa ja niiden jälkimarkkinan liikevaihto voi olla jopa suurempi kuin itse tuotannon (Anderson & Kerr 2001; Hvidberg 2012). Kokonaisuudessaan jälkimarkkinoiden hallinnan toimivuus voi olla B2B- markkinoilla ratkaiseva tekijä toimittajavalinnassa, kun tuotteet ovat suuria investointeja, niiden käytettävyys ja toimivuus halutaan pitää mahdollisimman hyvänä.

3.6 Asiakasyhteistyö

Asiakasyhteistyö käsittää kaikki yrityksen toiminnot, joissa ollaan tekemisissä asiakkaan kanssa. Tässä työssä sen osalta keskitytään tuotekehitykseen, markkinointiin, myyntiin ja jälkimarkkinoiden toimintaan. Asiakasyhteistyön nostamisella työn näkökulmaksi halutaan korostaa sen merkitystä tuoteprosessin onnistumisessa. Aiemmin mainitun mukaisesti asiakkaiden osallistaminen tuotekehitykseen mahdollistaa tarjoamaan laadukkaampia ratkaisuja asiakkaille. Toimintojen läpinäkyvyys yrityksen ja asiakkaan välillä on tärkeää, jotta tuoteprosessia kyetään kehittämään jatkuvasti yhteistyössä (Apilo & Jokinen 2006). Kaikki toiminnot ja niistä saadut tulokset tukevat liiketoiminnan kehitystä jatkossa, ja myöhemmistä tuoteprosessin vaiheista saatua dataa voidaan hyödyntää edelleen esimerkiksi tuotekehityksessä.

Grönroosin mukaan asiakkaat eivät osta hyödykkeitä ja palveluja, vaan he ostavat arvoa ja hyötyjä, joita ne tuottavat heille. Tämä luo palvelujen tarjoamisen tarpeen toimittajalle, jolla kyetään luomaan lisäarvoa asiakkaalle (Grönroos 2007). B2B-markkinoilla asiakas etsii kokonaisvaltaista ratkaisua, jolla he mahdollistavat omalle toiminnalleen paremman tuottavuuden ja pysyvät kilpailukykyisenä (McCleave 2010). Koska tuotetta ja palveluja

tarjotaan toiselle yritykselle, jonka prosessien toimivuus riippuu edellä mainittujen onnistumisesta, niin yhteistyö asiakkaan kanssa tulee olla sujuvaa. Toimivuus, laatu ja toimitukset niin tuotteen kuin sitä koskevien palvelujen suhteen ovat tärkeässä roolissa asiakkaalle, sillä muuten heidän tuotoksensa kärsii (Hvidberg 2012).

Onnistunut asiakasyhteistyö ja asiakkaan positiiviset kokemukset voivat luoda pitkiä asiakassuhteita, jotka tuovat tasaisia tuloja yritykselle. Nämä vaikuttavat positiivisesti myös maineeseen/brändiin, joka voi tuoda uusia asiakkaita. Mainevaikutus helpottaa myös hinnoittelua, jolloin asiakkaat ovat valmiita maksamaan enemmän tuotteesta tai palvelusta (Cavallone 2017). Hinnoittelun kannalta mainevaikutus voi B2B- markkinoilla olla kuitenkin vähäisempää kuluttajamarkkinoihin verrattuna ostajien asiantuntijuuden johdosta.

4 DIGITAALINEN KAKSONEN

Digitalisaatio muokkaa maailmaamme valtavasti koko ajan, ja uusia teknologioita kehitetään jatkuvasti eri tarpeisiin. Esineiden internet (IoT) yhdessä erilaisten pilvitekniikoiden avulla tuottaa valtavan määrän dataa, josta voidaan oikeilla analyysimenetelmillä saada valtava hyöty liiketoimintaan. Konsulttifirma Gartnerin mukaan yli 20 miljardia esinettä on kytketty internetiin vuoteen 2020 mennessä. Kun näistä esineistä kerätty data valjastetaan oikein hyötykäyttöön, voidaan saavuttaa merkittävää kilpailuetua markkinoilla (Standish 2018). Tässä luvussa on tarkoitus selvittää käsitetasolla mikä on digitaalinen kaksonen, miten se toimii sekä miten sitä hyödynnetään liiketoiminnassa yleisellä tasolla.

Jatkuva kilpailun koventuminen ja teknologioiden kehitys on ajanut yrityksiä prosessien kehittämiseen ja nopeuttamiseen. Yrityksillä on tarve julkaista tuote yhä nopeammin markkinoille ja prototyyppien valmistukseen kulunutta aikaa ja kustannuksia pyritään pienentämään. Digitaalinen kaksonen voi tuoda etua tähän ongelmaan, koska sillä pystytään testaamaan tuotteen ominaisuuksia ja toimintaa ilman tarvetta rakentaa fyysistä tuotetta varhaisessa kehitysvaiheessa (Schleich et al. 2017). Se on nimensä mukaisesti digitaalinen mallinnus fyysisestä tuotteesta, joka koostuu mallista ja siihen viedystä kerätystä reaali maailman datasta. Digitaalinen kaksonen voidaan kytkeä kokonaisuudeksi, jossa todellisen tuotteen tai prosessin toiminta tuottaa dataa kaksoselle, jota voidaan hyödyntää esimerkiksi tuotteen tulevaisuuden tilan ja käyttäytymisen ennustamisessa. Tekniikan

kehittämiseen ja käyttöönottoon on vaikuttanut IoT:n kasvu sekä data-analytiikan kehittyminen (Tao et al. 2018a, s.1).

Ajatus digitaalisesta kaksosesta on ollut olemassa jo vuodesta 2003 ja sen käyttöä on tutkittu jo yli kymmenen vuotta (Zhuang 2017 s.1152). Vuonna 2011 Tuegel et.al. kirjoittivat digitaalisen kaksosen soveltamisesta avaruuslaitteistoon, jossa tavoitteena oli huollon ennakointi ja vahinkojen vaikutusten pienentäminen (Tuegel et.al. 2011). Vuonna 2012 teknologian käyttöä ehdotettiin lentokoneisiin alentamaan niiden kunnossapitokustannuksia (Glaessgen & Stargel, 2012). Vuonna 2014 kehitettiin tarkempi menetelmä ennustamaan laitteen mahdollista toimintaa ja vastetta hyödyntämällä sen geometriaa apunaan (Cerrone et.al. 2014). General Electrics aloitti vuonna 2015 hankkeen, jonka tavoite oli mahdollistaa moottoreille reaaliaikainen seuranta, automaattiset tarkastukset ja ennakoiva huolto (Warwick 2015). Boschert ja Rosen tutkivat vuonna 2016 digitaalisen kaksosen sovelluskeinoja monimutkaisten järjestelmien simulointiin. Tästä syntyi ajatus, jossa digitaalinen kaksosen nähdään simuloinnin ja mallinnuksen seuraavana vaiheena (Boschert & Rosen 2016). NASA tutki vuonna 2017 häiriöiden ennakointia ja eliminointia järjestelmissään. He onnistuivat kehittämään tekniikan ja aloittamaan sen testausvaiheen (Grieves & Vickers 2017). Näistä kehitysaskelista huomataan teknologian vahva painottuminen tuotteiden johtamisen osa-alueelle (Zhuang 2017 s.1153), jonka mukaan tutkimusta on rajattu.

4.1 Digitaalinen kaksonen käsitteenä

Digitaalinen kaksonen kuulostaa vaikeasti ymmärrettävältä termiltä, mutta se perustuu perusideologiaan kerätä tietoa kokemuksista, tuotannosta ja prosesseista löytämään niistä ongelmakohtia, minimoimaan riskejä ja tuottamaan uutta innovaatiota (Overton & Brigham 2016 s.1). Yksinkertaisuudessaan digitaalinen kaksonen on virtuaalinen mallinnus tuotteesta, palvelusta tai prosessista. Kaksonen sisältää kaikki olennaiset tiedot fyysisestä paristaan ja se on kytketty reaali maailman tuotteeseen, jolloin ne voivat tuottaa dataa toisilleen (Marr 2017). Sen toiminta poikkeaa simulaatiosta ja mallinnuksesta, koska ne keskittyvät vahvasti digitaaliseen maailmaan, sekä IoT:sta, koska se on sidoksissa vahvasti fyysiseen maailmaan. Digitaalinen kaksonen koostuu kaksisuuntaisesta vuorovaikutuksesta ulottuvuuksien välillä. Tekniikka mahdollistaa fyysisen tuotteen “älykkäämmän” toiminnan, kun se voi toimia digitaalisen parinsa ehdotusten mukaisesti. Toisaalta virtuaalinen tuote voi kehittyä

käytännöllisemmäksi, kun se toimii tarkasti tuotteen reaali maailman olosuhteiden mukaisesti (Tao et al. 2018a, s.1). Datan keräämiseen reaali maailmasta tarvitaan sensoreita, jotka ovat yleistyneet tuotteissa ja järjestelmissä IoT:n kehityksen ansiosta. Tämä mahdollistaa sen, että uusien data-analyysi- ja simulaatiotekniikoiden avulla voidaan esimerkiksi välttää riskejä ennen kuin ne tapahtuvat, estää systeemin kaatuminen tai ennustaa tulevaisuuden käyttäytymistä (Marr 2017). Digitaalisen kaksosen tavoite on tuottaa informaatiota koko tuotteen tai palvelun elinkaaren ajan luoden mahdollisuuden reagoida ongelmakohtiin aiemmin ja kehittää liiketoimintaa ketterämmäksi suhteessa muuttuviin markkinoihin (Sutela 2018).

Digitaalinen kaksonen voidaan jakaa karkeasti kolmeen tasoon, joita ovat komponentti, osa ja järjestelmä (Woods 2018). Komponentti sisältää fyysisen parinsa tiedoista vain tuotteen kriittisen osan kuten esimerkiksi sylinteri tai mäntä. Datan tuotto mahdollistaa koko tuotteen suoritusanalyysin tekemistä tai huolto tarpeen arviointia. Jos komponentin tilassa on häiriötä, niin järjestelmäkään ei toimi pitkään normaalisti ja vaatii reagoitua. Osa, esimerkiksi moottori tai pumppu, kattaa samat hyödyt kuin komponentti, mutta saatu informaatio nähdään isommalla skaalalla. Järjestelmätason digitaalisella kaksosella, pystytään havainnoimaan ja analysoimaan osien tilaa, niiden suoritumista yhdessä sekä saadaan kokonaiskuva tuotteen toiminnasta ja ongelmista (Woods 2018).

4.2 Kuinka digitaalinen kaksonen toteutetaan

Digitaalisen kaksosen toteutus alkaa tuotteen digitaalisen elinkaaren rakentamisella suunnittelusta valmistukseen ja tuotteen käyttöön sekä datan keräämisen aloittamisella. Datan kerääminen voidaan automatisoida esimerkiksi materiaaleista ja suunnittelusta sekä tuotteen suorituksista. Tämä tarkoittaa, että valjastetaan IoT-teknologiaa koko tuotteen prosessiin kehityksestä valmistukseen, asiakasyhteistyöhön ja tuotteen käyttöön. Kun nämä yhdistetään jo olemassa oleviin historiatietoihin operaatioista ja suoritusdatasta, on tuki digitaalisen kaksosen toteutukselle valmiina (Keränen 2018).

Seuraavassa vaiheessa otetaan tarkasteluun valmistusprosessi ja tuote sekä mallinnetaan (CAD-mallinnus (Tao et al. 2018a)) niitä tiettyjen sääntöjen mukaan (Overton & Brigham 2016). Mallinnukseen käytetään takautuvien mallien sijaan ohjaavia malleja. Takautuvia malleja on käytetty usein ennustavassa mallinnuksessa, mutta niistä saatava hyöty on ollut enemmänkin

toimintojen optimointia, kuin innovointia prosesseissa. Takautuvat mallit laskevat tulevaisuuden käyttäytymistä pohjautuen aikaisempaan dataan, kun taas ohjaavassa mallissa hyödynnetään myös stokastisia eli sattumanvaraisia simulaatioita, joilla kyetään paremmin kuvaamaan todellista maailmaa. Satunnaisuuden johdosta kyetään simuloimaan epäkohtia ja ennalta-arvaamattomia tilanteita, joita todellisuudessaakin voi tapahtua. Ohjaava malli rakennetaan luomalla säännöt, jotka määräävät polun suunnittelusta tuotteen suoritukseen, jonka jälkeen lisätään satunnaisuutta kuvaamaan riskejä (Overton & Brigham 2016 s.3). Virtuaalisen ja fyysisen tuotteen välille luodaan reaaliaikainen, kaksisuuntainen ja turvallinen yhteys käyttämällä erilaisia datansiirto ja pilvitekniikoita (Tao et al. 2018a).

Digitaalista kaksosta voidaan myös rikastaa jo olemassa olevalla datalla esim. historiatiedoilla tai sen tukena voidaan hyödyntää avoimista tietokannoista saatavia suuria tietomääriä eli Big Dataa. Lisäksi kaksoseen voidaan liittää tueksi erilaisia data-analyysi menetelmiä ja koneoppimista (Keränen 2018). Tao alleviivaa analyysimenetelmien tärkeyttä hyödyntämismahdollisuuksien lisäämiseksi (Tao et al. 2018a).



Kuva 2 Digitaalisen kaksonen mahdollistavat teknologiat (Tao et.al. 2018a s. 6)

Vastaavasti Tao kuvaa digitaalisen kaksosen toteutuksen etenemistä ja siihen liittyviä teknologioita tarkemmin kuvan 2 mukaisesti. Toteutus alkaa virtuaalisen mallin luonnilla, johon voidaan hyödyntää CAD- ja 3D-mallinnusta. Seuraavaksi kerättävän datan hallinta ja esittäminen tulee järjestellä ennen datan mittaamisen aloittamista, jotta epärelevanttia dataa voidaan karsia pois sekä järjestellä dataa heti sen tullessa järjestelmään. Siihen hyödynnetään erilaisia data-analyysi, -integraatio ja -visualisointi menetelmiä. Kolmannessa vaiheessa mallinnetaan tuotteen käyttäytymistä simulaation avulla, johon käytetään simulaatio-ohjelmia sekä voidaan hyödyntää aiemmin mainittua VR-teknologiaa käyttäytymisen visualisointiin. Sitten tuotteen käyttäytymistä hallitaan käyttöjärjestelmän kautta sekä lisätyn todellisuuden (AR) avulla. Viidennessä vaiheessa toteutetaan kommunikaatio ja tiedon kulku fyysisen ja virtuaalisen tuotteen välillä. Tämä toteutetaan verkkoyhteyksien sekä pilviratkaisujen avulla. Tiedon käsittely pilvessä aiheuttaa myös tietoturvallisuus vaatimuksia toteutettavalle järjestelmälle. Lopuksi voidaan aloittaa datan mittaaminen, jolloin virtuaalinen tuote saa reaaliaikaista dataa fyysiseltä pariltaan. Tämä voidaan toteuttaa IoT-sensoreiden liittämällä todelliseen järjestelmään, jotka keräävät dataa tuotteen toiminnasta ja ympäristöstä (Tao et al. 2018a).

4.3 Digitaalisen kaksosen hyödyntäminen liiketoiminnassa

Idea digitaalisen kaksosen konseptista on ollut olemassa yli kymmenen vuotta, mutta sen toteuttaminen on tullut mahdolliseksi ja kustannusten kannalta järkeväksi vasta uusien teknologioiden kehittymisen myötä (Kube 2016). Tärkeinä ajureina konseptin käyttöönottoon on ollut virtuaalisessa ympäristössä mallinnukseen ja simulointiin tarkoitettujen työkalujen nopea kehitys viime vuosina. Niiden lisäksi tärkeässä osassa on ollut IoT-teknologioiden yleistyminen, sensoreiden halventuminen sekä datan varastoinnin ja prosessoinnin nopeutuminen ja kustannusten pienentyminen (Overton & Brigham 2016). Monet suuret yritykset ovatkin ottaneet digitaalisen kaksosen käyttöön toiminnan kehittämiseen. Näistä esimerkiksi GE ja Siemens hyödyntävät sitä hallitsemaan tuulivoimaloiden turbiinien tilaa. Ne mittaavat laitteistosta olosuhteiden ja avainparametrien muutoksia, joiden avulla laitteita voidaan kehittää reaaliajassa ja ennakoita sen huoltotarpeita pienemmistäkin arvojen muutoksista. Tekniikka mahdollistaa järjestelmän testaamisen ja simuloinnin sekä muutosten tekemisen laitteistoon tarvitsematta fyysisesti vaikuttaa siihen (Kube 2016). Standishin (2018) mukaan digitaalisen kaksosen avulla voidaan nähdä missä osassa prosessia on ongelmia (esim.

pullonkaulat), mikä vaihe synnyttää paljon kustannuksia tai mitkä osat/toiminnot synnyttävät riskejä, ja ovat jopa vaarallisia. Näillä tiedoilla digitaalinen kaksonen kykenee ennakoimaan ja informoimaan tuotteen tai prosessin tilasta sekä varoittamaan turhista kuluista ja huonosta resurssien käytöstä (Kube 2016). Se mahdollistaa myös prosessimuutoksen, jolla siirrytään ennaltaehkäisevästä huollosta ennustavaan huoltoon. Vastaavasti laadukkaammalla laitteiston huollolla kyetään ajoittamaan toiminta ja toimenpiteet optimaalisesti (Standish 2018).

Digitaalista kaksosta voidaan hyödyntää erilaisissa liiketoimintaympäristöissä ja artikkeleista löydettyistä esimerkeistä voidaan huomata, että sen sovellukset ovat keskittyneet pääosin teollisille markkinoille. Tämä johtuu mahdollisesti teknologian käyttöönoton kustannuksista, jolloin sen hyödyntämistä kuluttajamarkkinoille ei ole nähty toistaiseksi kannattavana. Jos kyseessä on modulaarinen tuote, niin voidaan hyötyä digitaalisen kaksosen tuomista eduista esimerkiksi eri osien testaamisella järjestelmässä, kuten luvun 6 case-esimerkissä huomataan. Teknologian avulla kyetään esimerkiksi visualisoimaan, simuloimaan ja testaamaan järjestelmää. Sen toimintaa on testattu jo suuremmilla kokonaisuuksilla kuten rakennuksilla, tehtailla ja kaupungeilla. Tulevaisuudessa digitaalisella kaksosella kyetään mallintamaan mahdollisesti prosesseja ja jopa ihmisiä (Shaw 2018). Digitaalisen kaksosen konseptissa noteerattavaa on, että sen hyödyt kumuloituvat ajan kuluessa, kun dataa kertyy lisää (Woods 2018).

5 DIGITAALINEN KAKSONEN KIRJALLISUUDESSA

Digitaalisen kaksosen käyttöä ja vaikutuksia on tutkittu laajalti, ja se on osoittanut suurta potentiaalia etenkin teollisuuden aloilla (Zhuang 2017). Zhengin mukaan tuotannossa on jatkossa elintärkeää onnistuneesti toteuttaa ihmisen, koneen, ympäristön ja olosuhteiden vuorovaikutus simulaatiomallissa ja tuotantoprosessissa. Digitaalisen kaksosen nähdään olevan paras toteutuskeino yhdistämään fyysisen ja virtuaalisen ulottuvuuden yhteisvaikutukset. Sen kehitystyötä on toteutettu jo lähes kymmenen vuotta, mutta sen määritelmät ja sovelluskeinot ovat toisistaan poikkeavia, joka aiheuttaa sen vaikean hallittavuuden tutkimuksissa. Joidenkin määritelmien mukaan digitaalinen kaksonen nähdään eräänlaisena objektina tai “esineenä”. Toisaalta se nähdään teknologiana ja apuvälineenä, kuten simulaation toteutuskeinona (Zheng et al. 2018). Digitaalinen kaksonen on käsitetty kuitenkin yleisesti kolmiulotteisena, jolloin se käsittää fyysisen tuotteen ja virtuaalisen parinsa lisäksi niiden välisen yhteyden. Tässä

katsauksessa läpi käytävien tutkimusten, Tao et al. (2017, 2018a, 2018b), Schleich et al. (2017), Zheng et al. (2018) ja Alaei et al. (2018), mukaan digitaalinen kaksosen käsitetään apuvälineenä, jossa simulaatiolla on selvä rooli tuotekehityksen ja jälkimarkkinoiden sovelluksissa, ja jonka hyödyntämistä toteutetaan tuotteen elinkaaren hallinnan (PLM) kautta. Schleich pyrkii julkaisussaan selvittämään digitaalisen kaksosen teoriaa ja ehdottaa konseptin viitekehystä suunnittelua ja tuotekehitystä varten. Tarkoituksena siinä on luoda kehykset tulevaisuuden keskustelua ja tutkimusta varten sekä tukea konseptin hyödyntämistä tuotteen elinkaareissa (Schleich et al. 2017). Tao (et al. 2018a) ehdottaa myös tutkimuksessaan viitekehystä suunnittelulle, mutta pyrkii kuvaamaan digitaalisen kaksosen toteuttamista tarkemmin sekä sitomaan sovellusta jo olemassa oleviin suunnittelu teorioihin ja keinoihin. Tutkimuksessa esitellään myös polkupyörän suunnitteluesimerkki ja käytetään sitä johtopäätösten tukena (Tao et al. 2018a).

Digitaalisen kaksosen hyödyntämistä suunnittelussa, tuotannossa ja jälkimarkkinoilla Big Datan avulla tutkitaan Taon (et al. 2017) tutkimuksessa. Tutkimuksessa pyritään löytämään ratkaisuja ongelmaan, kuinka tuottaa ja käyttää dataa tukemaan tuotteen elinkaarta paremmin, jotta edellä olevat toiminnot olisivat tehokkaampia, paremmin hallittavissa ja kestävä kehityksen mukaisia. Siinä ehdotetaan uutta metodologia digitaalisen kaksosen avulla tuotteen parempaan hallintaan PLM:n tukena (Tao et al. 2017). Alaei (et al. 2018) pohtii tutkimusryhmänsä kanssa, kuinka digitaalisen kaksosen avulla kyetään vastaamaan paremmin asiakkaan tarpeisiin, ja millaisia vaikutuksia sillä on tuotekehityksessä, markkinoinnissa ja jälkimarkkinoilla. Tutkimuksessa kerrotaan reaaliaikaisen simulaation toiminnasta sekä pohditaan esimerkkien kautta sen mahdollisia hyötyjä tuoteprosessiin (Alaei et al. 2018).

Tao (et al. 2018b) esittää tutkimuksessaan uuden lähestymistavan ennusteisiin ja tilan hallintaan monimutkaisilla järjestelmillä digitaalisen kaksosen avulla. Tutkimuksessa ehdotetaan 5ulotteista konseptia digitaaliselle kaksoselle, jossa se sisältää edellä mainittujen kolmen ulottuvuuden lisäksi "palvelut", jolla viitataan itseohjautuviin analyysimenetelmiin, tekoälyn hyödyntämiseen kaksosessa esimerkiksi tuotteen suorituksen optimointi. Konsepti sisältää myös datamallin, joka sisältää kaikkien ulottuvuuksien tuottaman datan ja kykenee yhdistelemään niitä kokonaisvaltaiseksi informaatioksi (Tao et al. 2018b). Myös muissa tutkimuksissa, Zheng et al. (2018), Tao et al. (2017), (2018a) ja Schleich et al. (2017), nähdään

analyysimenetelmien hyödyntäminen ja datan yhteiskäyttö konseptin mahdollisina osina, mutta niitä ei ole selvästi liitetty digitaalisen kaksosen määrittämiseen. Zhengin (et al. 2018) tutkimuksen mukaan aikaisemmassa tutkimuksessa digitaalisen kaksosen konseptit voidaan jakaa kapeampaan ja laajempaan näkemykseen, joista laaja näkemys on samankaltainen kuin Taon (et al. 2018b) ehdottama 5-ulotteinen malli ja Zhengin mukaan sillä on yhteneväisyyttä myös CPS-teknologioihin. Kapea näkemys (Zheng et al. 2018) vastaa aikaisemmin mainittua kolmiulotteista mallia, ja sillä on Zhengin (et al. 2018) mukaan yhteneväisyyttä kirjallisuudessa ehdotettuun digitaaliseen varjoon. Eroja on myös näkemyksissä, missä tuotteen johtamisen osa-alueilla digitaalisen kaksosen tutkimus on vähäisempää. Käyttömahdollisuudet ovat rajallisia erinäisten teknologiaan ja määritelmiin liittyvien ongelmien vuoksi. Taon (et al. 2018a) mukaan digitaalisen kaksosen käyttö on keskittynyt vahvasti tuotantoon ja jälkimarkkinoille, kun vastaavasti Zhengin (et al. 2018) mukaan se on vahvempaa jälkimarkkinoiden lisäksi suunnittelussa.

Schleich pyrkii suunnittelun näkökulmasta selkeyttämään digitaalisen kaksosen ominaisuuksia, joita ovat hänen mukaansa: skaalautuvuus, yhteentoimivuus, muokkautuvuus ja tarkkuus. Skaalautuvuudella tarkoitetaan, että tuotetta voidaan tarkastella eri tasoilla (esim. mikro-, makrotaso), yhteentoimivuudella tarkoitetaan taas, että osiin voidaan tehdä muutoksia, yhdistellä niitä ja saavuttaa mallien verrannollisuus keskenään. Muokkautuvuus on ominaisuus, joka mahdollistaa osien integroinnin, lisäämisen ja korvaamisen kaksosessa. Tarkkuudella ilmaistaan kykyä kuvailla mahdollisimman tarkasti todellista tuotetta (Schleich et al. 2017). Tao (et al. 2018a) ei tutkimuksessaan hyödynnä Schleichin julkaisua, mutta ne eivät ole toisiaan poissulkevia, vaan Tao tarkentaa sovelluskeinoja suunnitteluun. Digitaalinen kaksonen toimii Taon (et al. 2017, et al. 2018a) tutkimusten mukaan apuvälineenä, jonka tuottamasta informaatiosta voidaan suorilla kyselyillä saada tukea päätöksentekoon. Taon viitatun digitaalinen kaksonen mahdollistaa yksityiskohtaiset simulaatioskenaariot eri ympäristöissä epäjohdonmukaisuuksien löytämiseen, ja tuotteen todellisen toiminnan ennustukseen mahdollisimman aikaisessa vaiheessa (Tao et al. 2017, 2018a). Lisäksi se mahdollistaa tuotteiden kustomoinnin, vertailun ja tehokkaan muutosten arvioinnin suunnittelussa (Tao et al. 2018a). Taon (et al. 2017, et al. 2018a) tutkimuksissa korostetaan lisäksi Big Datan hyödyntämistä suunnittelussa, etenkin asiakasvaatimusten määrittämisessä visuaalisten ja toiminnallisten ominaisuuksien suhteen. Tutkimusten case- esimerkit liittyvät kuitenkin

digitaalisen kaksosen hyödyntämiseen polkupyörän suunnittelussa (Tao et al. 2017, 2018a). Case-esimerkkien vuoksi jää epäselväksi, onko Big Datan hyödyntäminen B2B-markkinoiden tuotteiden suunnittelussa tehokasta. Kuluttajatuotteista saadaan kuitenkin asiakaspalautetta, kokemuksia ja -arvioita huomattavasti enemmän kuin esimerkiksi monimutkaisista järjestelmistä.

Suunnittelun ja tuotekehityksen näkökulmasta digitaalisen kaksosen hyödyntämistä on esimerkiksi näissä tutkimuksissa. Vuonna 2012 NASA ja US Air Force tutkivat digitaalisen kaksosen hyödyntämistä tuotesuunnittelussa ominaisuuksien ja tuotteen tilan testaamisessa (Glaessgen & Stargel 2012). Siano ehdotti vuonna 2013, DSEMin (dynamic structural equation model), käyttämistä digitaalisessa kaksosessa määrittämään suunnittelu- ja testaustoimintatapoja (Siano et al. 2013), joiden perusteella esitetään simulaatiotuloksia ja arvioidaan järjestelmän tehokkuutta. Stackpole (2015) kirjoitti artikkelissaan, että monet yritykset, kuten Autodesk ja Siemens, ovat kiinnostuneita käyttämään digitaalista kaksosta apuvälineenä ja ohjauskeinona tulevaisuuden tuotteiden suunnittelussa. Alaei (et al. 2018) kirjoittaa tutkimuksessaan kaivostoimintaan ja tunnelinrakentamiseen erikoistuneesta yrityksestä Normetista. He suunnittelivat digitaalisen kaksosen avulla yhteistyössä Mevean kanssa betonisuihkutus- laitteen kalliorakennuksen tarpeisiin (Alaei et al. 2018).

Operatiivisessa toiminnassa ja huoltovaiheessa digitaalisen kaksosen hyödyntämistä kirjallisuudessa on esitelty esimerkiksi näissä tutkimuksissa. Vuonna 2011 US Airforce alkoi kehittämään teknologiaa ennakoimaan lentokoneiden rakenteellista elinkaarta, parantamaan turvallisuutta ja luotettavuutta (Tuegel 2011). Sähköautovalmistaja Teslan tavoitteena on tehdä kaksonen jokaiselle valmistetulle autolle, jonka avulla pyritään toteuttamaan huoltotoimenpiteitä kaksosen kautta ja ennakoimaan huoltotarpeita (Schleich et al. 2017). Vuonna 2017 Li kirjoitti mukautuvan ja ennakoivan mallin rakentamisesta, jota käytetään diagnooseihin ja ennusteisiin, lentokoneiden kunnon tarkkailuun ja ylläpitoon (Li et al. 2017). Vuonna 2018 Wang tutki syväoppimisen (deep learning) hyödyntämistä konseptissa tuotteen tai järjestelmän tilaennusteiden optimointiin ja tulevaisuuden kulumisen sekä jäljellä olevan elinkaaren ennakointiin (Wang et al. 2018). Aiemmin mainitun esimerkin tapauksessa, digitaalisen kaksosen hyödyntäminen betonisuihkutus- laitteen suunnittelussa, tuotteen toimintaa pyritään jatkossa kehittämään myös käytöstä kerätyn datan avulla (Alaei et al. 2018).

Vaikka aikaisemmat käsitykset digitaalisesta kaksosesta poikkeavat toisistaan, niin uudemmissa tutkimuksissa on selvä yhteneväisyys näkemyksestä kaksisuuntaisesta kommunikaatiosta todellisen ja virtuaalisen ulottuvuuden välillä. Lisäksi yhteneväisyys määrityksessä on analyysien sekä kone- ja mahdollisesti syväoppimisen käytöstä konseptissa. Case-esimerkinomaisesti tutkimuksista löytyy melko vähän materiaalia digitaalisen kaksosen hyödyntämisestä tuotekehityksessä ja jälkimarkkinoilla. Niissä pohditaan yleisesti, miten toteutetaan kyseessä oleviin ongelmiin ratkaisu ja millaisia vaikutuksia niillä on. Näissä ei kuitenkaan käytännössä rakenneta digitaalista kaksosta, josta nähtäisiin todellisia tuloksia. On noteerattu (Schleich et al. 2017; Tao et al. 2017, 2018a, 2018b; Zheng et al. 2018), että tarvitaan tarkemmat digitaalisen kaksosen määritykset sekä viitekehykset sovelluskeinoille tulevaisuuden työtä ja tutkimusta varten. Ei välttämättä tarvita tarkkaa luetteloa siitä, sisältääkö digitaalinen kaksosen syväoppimista, Big Dataa tms. koska niiden käyttäminen tuotteiden hallinnassa on kuitenkin tapauskohtaista. Tutkimuksissa havaitaan olevan selkeitä hyötyjä prosessien läpimenoaikaan ja saatuihin tuloksiin. Läpi käydyissä julkaisuissa (Schleich et al. 2017; Tao et al. 2017, 2018a, 2018b; Zheng et al. 2018) alleviivataan, että ongelmia on vielä teknologioiden toteutuksessa esim. reaaliaikaisessa tarkassa simulaatiossa, riittävän nopeassa datan siirrossa ja prosessoinnissa pilven kautta. Kuitenkin Alaein tutkimuksen ja tulosten mukaan reaaliaikainen simulaatio voidaan saavuttaa jo hyvinkin tarkalla tasolla (Alaei et al. 2018). Myös kustannusten ja saatujen hyötyjen tasapainottamista pidetään tutkittavana asiana ainakin Taon (2017, 2018b) ja Schleichin (2017) mukaan.

Taulukko 1. Digitaalinen kaksonen, suunnittelu, jälkimarkkinat kirjallisuudessa

<i>Lähde</i>	<i>Digitaalinen kaksonen</i>	<i>Viitekehys</i>	<i>Sovelluskeinot</i>	<i>Keskeisiä havaintoja</i>
Schleich et al. 2017	joukko linkitettyjä operatiivisen datan ja simuloinnin malleja	tuotteen elinkaaren tukeminen (PLM)	tuotesuunnittelu	ominaisuudet: skaalautuvuus, yhteentoimivuus, muokkautuvuus, tarkkuus kokonaisvaltainen sovelluskehys suunnitteluun “skin-model”
Tao et al. 2017	kolmiulotteinen yhdistetty simulaatiomalli	PLM	tuotesuunnittelu, tuotanto, jälkimarkkinat	tuotesuunnittelu: tarkka simulointi, prototyyppi testaus, toiminnan ennustus aikaisessa vaiheessa jälkimarkkinat: tuotteen “älykkyyden” lisääminen, häiriöiden ehkäisy, huollon tehokkuus, käyttöteho optimointi
Tao et al. 2018a	kolmiulotteinen yhdistetty simulaatiomalli	PLM	tuotesuunnittelu	digitaalisen kaksonen hyödyntäminen suunnittelumallien kautta tuotteen kustomointi, vertailu, muutosten arviointi, testaus(virtuaalitestausta)
Tao et al. 2018b	viisiulotteinen yhdistetty ohjautuva “älykäs” simulaatiomalli	PLM	huolto, operatiivisuus	arvokkaiden päätuotteiden hallinta, huolto, toiminnan ennustus
Zheng et al. 2018	kapea näkemys ja laaja näkemys	PLM	tuotesuunnittelu, tuotanto, jälkimarkkinat	tutkimuksesta nähdään aikaisempaa tutkimusta ja konseptin vertailua, tuotekehitys, jälkimarkkinat varsinainen tutkimus tuotannon kehittämiseen todetaan lisäksi olevan hyödynnyskeinoja suunnittelussa ja jälki markkinoilla
Alaei et al. 2018	Kolmiulotteinen yhdistetty reaaliaikainen simulaatiomalli	Tuoteprosessi/ elinkaari	Tuotekehitys, markkinointi, jälkimarkkinat	Testauksen kehitys (skenaarioiden määrä, materiaalikustannusten laskeminen) Markkinoinnissa asiakkaan preferenssit mallin avulla, käyttödata segmentointi Käyttödata, asiakkaan prosessien kehittämiseen

6 DIGITAALINEN KAKSONEN OSANA TUOTEPROSESSIA

Tässä luvussa käsitellään kirjallisuuden ja artikkeleiden havaintoja sekä esimerkkejä digitaalisen kaksosen hyödyntämisestä tuoteprosessissa. Löydettyjen hyötyjen lisäksi mainitaan haasteita, joita hyödynnyskeinot voivat luoda konseptille. Näihin havaintoihin ja esimerkkeihin pyritään myös lisäämään omia havaintoja aiheista. Ensiksi esitellään caseesimerkki, joka perustuu tehtyyn haastatteluun metsätyökoneen simulaatiomallista. Tällä esimerkillä pyritään selvittämään simulaation hyödyntämiskohteita sekä simulaatioteknologian tämän hetkistä tilaa. Tämän jälkeen käsitellään digitaalisen kaksosen vaikutuksia asiakasyhteistyön eri osa-alueisiin, tuotekehitykseen ja jälkimarkkinoihin.

6.1 Case-esimerkki

Tämän case-esimerkin asiat, toteutus ja tavoitteet, perustuvat tehtyyn asiantuntija haastatteluun (Mohammadi 2018). Esimerkin kautta pohditaan myös sen hyödyntämistä ja vaikutuksia tuoteprosessiin.

Case-esimerkissä tarkoituksena on luoda tarkka simulaatiomalli metsätyökoneelle. Yritys X on metsäteknologiaan keskittynyt organisaatio ja yritys Y traktoreita ja maatalouskoneita valmistava toimija. Ensimmäinen tavoite on virtuaalisessa ympäristössä toteuttaa ja testata, yritys X:n traileria vetävän rekan vaihtaminen yritys Y:n traktoriin. Trailerissa on siis erilaista laitteistoa kuten esimerkiksi kauha, jotka ovat X:n tuotteita. Traktori taas on Y:n laitteistoa, joka on tarkoitus implementoida osaksi järjestelmää. Toisena tavoitteena on laitteiston parametrien tarkkailu. Esimerkiksi, jos vaihdetaan trailerin kokoa, kauhan kokoa, renkaiden määrää, voidaan ohjelmalla tarkkailla kaikkien haluttujen arvojen muutoksia. Jos halutaan esimerkiksi optimoida polttoaineen kulutus, niin on mahdollista testata erilaisten kokoonpanojen erot (esim. suuri traileri vs. pieni traileri, moottorin vaihtamisen vaikutukset). Parametrien tarkkailua pystytään hyödyntämään myös simulaatiossa, ja mallilla pystyy liikuttamaan esimerkiksi ohjaustankoa, ja näkemään koneen vaste sekä siitä syntyvät arvojen muutokset. Tällä pystytään myös havaitsemaan erilaiset vikatilanteet tai häiriöt, jotka aiheutuvat tietystä toiminnosta (Mohammadi 2018).

Tuotekehityksessä simulaatiomallin hyötyjä voisi olla esimerkiksi muutosten testaaminen virtuaalisesti, jatkokehityksessä testausautomaation toteuttaminen (esim. ajetaan muutosten

jälkeen tietyt ohjaustapahtumat ja olosuhde simulaatiot), josta saadaan nopea informaatio vaikutuksista ja voidaan aloittaa sen perusteella tarkempi testaus. Jos automaatiotestit epäonnistuvat, voidaan muutokset jättää tekemättä ja aloittaa nopeasti paremman ratkaisun toteutus. Tässä Case-esimerkissä käyttöjärjestelmä on ohjelmistollisesti toteutettu niin, että Excel toimii käyttäjän käyttöjärjestelmänä, josta pystyy vaihtamaan laitteiston kokoonpanoa (esim. vaihdetaan valikon avulla kauha isommasta pienempään malliin). Python-ohjelmointikielellä tehdyn skriptin avulla siirretään Excelistä saatava laitteiston kokoonpanotiedot automaattisesti (tiedoston luku ja kirjoitus) varsinaiseen simulaatioohjelmaan Meveaan, jossa on toteutettu kaikki järjestelmän toiminnallisuus (Mohammadi 2018).

Case-esimerkistä huomataan, että simulaatio kyetään nykyteknologioilla toteuttamaan jo tarkalla tasolla, ja sitä voidaan käyttää tuotekehityksessä testaukseen ja riskienhallintaan. Jälkemarkkinoilla sitä voidaan hyödyntää esimerkiksi optimoimaan kokoonpano käyttötarkoitukseen sopivaksi. Jos case-esimerkin simulaatio- malli yhdistettäisiin todelliseen laitteeseen digitaalisesti kaksosiksi, kyettäisiin sitä hyödyntämään myös jälkemarkkinoilla virhediagnooseihin, huollon ennakointiin ja toimintaehdotusten tekemiseen. Samoin käyttödatan perusteella kyettäisiin kerättyä dataa hyödyntämään tuotekehitysvaiheessa.

6.2 Vaikutukset tuotekehitykseen

Tuotekehityksessä joudutaan jatkuvasti testaamalla todentamaan muutosten toimivuus järjestelmässä. Tällä tutkitaan vastaako tuotteen suoriutuminen haluttua suoritustasoa (Tao et al. 2017). Tämä aiheuttaa useita prototyypin kierroksia ja ne kerryttävät runsaasti kustannuksia, jos testataan fyysisillä malleilla. Digitaalisella kaksosella testaaminen on nopeampaa, kustannustehokkaampaa ja data on helposti saatavilla (Hiljanen 2017). Testauksessa digitaalisen kaksosen avulla voidaan myös yhden tai muutamien testitapauksen sijaan ajaa lukuisia testiskenaarioita. Näin ollen saadaan oletetun tuloksen sijaan useita eri tuloksia, joilla kyetään takaamaan parempi tuotteen laatu (Alaei et al. 2018; Overton & Brigham 2016). Ilman tarkkaa reaaliaikaista laitteen ja ympäristön dataa simulaation tulokset eivät ole täysin luotettavia, jolloin digitaalinen kaksonen takaa tarkemman tuloksen (Tao et al. 2017). Testauksesta kertynyttä dataa voidaan hyödyntää myös esimerkiksi riskien hallinnassa, kun simulaatioista havaitaan toimintavirheitä. Jos digitaalisiin kaksosiin kyetään liittämään

koneoppimista, niin järjestelmä voisi oppia automaattisesti testiskenaarioiden virheistä, jolloin se kykenisi ehdotusten avulla estämään todellista tuotetta toimimasta vastaavalla tavalla.

Ongelmana tuotekehitysprosessissa nähdään, että prototyypit eivät välttämättä kohtaa asiakkaan tarpeita (Alaei et al. 2018). Digitaalinen kaksonen toimiikin rajapintana tuotekehityksen ja asiakkaan välillä tutkimuksen ja kehityksen suhteen (Alaei et al. 2018). Asiakas pystyy varhaisessa vaiheessa prosessia tarkastelemaan tuotetta ja kertomaan sen perusteella vaatimukset selkeästi malliin viitaten. Kun kyse on B2B- markkinoiden tuotteista, ne ovat usein monimutkaisia ja asiakas ei välttämättä osaa kertoa mitä haluaa tuotteelta tai asiat eivät ole riittävän spesifejä, jotta ne kyettäisiin muuntamaan suoraan tuotteen vaatimuksiksi. Digitaalinen kaksonen helpottaa visualisoinnilla prosessin sujuvuutta ja kommunikointia (Alaei et al. 2018). Kommunikoinnin helpottuminen asiakkaan kanssa voi tuottaa markkinoinnille ja myynnille entistä hyödyllisempää dataa, kun esimerkiksi asiakkaan palaute ja preferenssit ovat tarkempia (Kube 2016).

Mantsinen on hydraulisia nostureita valmistava yritys, ja he käyttävät ohjelmistoyritys Mevean toteuttamaa digitaalista kaksosta edistämään heidän tuotekehitystään. Uuden nosturimallin kehityksessä yhdistyvät mekaniikka, sähkötekniikka, automaatio ja tekoälyratkaisut. Digitaalisen kaksosen avulla nosturiin voidaan testata erilaisia osia virtuaalisesti, joka nopeuttaa prosessia sekä laskee kustannuksia. Jos jouduttaisiin fyysisesti testaamaan eri osien toiminta, niin se vaatisi valtavasti enemmän aikaa ja työtä. Nyt digitaalisen kaksosen käyttöönotolla voidaan saavuttaa kilpailuetua suhteessa muihin toimijoihin (Lappalainen 2018). Alaei kirjoittaa tutkimuksessaan kaivostoimintaan ja tunnelinrakentamiseen erikoistuneesta yrityksestä Normetista. He suunnittelivat digitaalisen kaksosen avulla yhteistyössä Mevean kanssa kalliorakentamiseen tarkoitettua betonisuihkutus- laitetta, jolla saavutettiin 23 prosentin parannus työtehokkuudessa. Lisää parannuksia voidaan saavuttaa, kun tuloksia analysoidaan, ja tehoa voidaan mahdollisesti kasvattaa lisää (Alaei et al. 2018). CSC on ohjelmistotoimittaja, joka toteutti digitaalisen kaksosen auton suunnittelun tarpeisiin. Yritys pystyy esimerkiksi määrittämään segmentin, jonka mukaan digitaalinen kaksonen tuottaa optimaalisen auton kokoonpanon asiakasryhmälle sisältäen esim. oikean vaihteiston, korimallin, moottorin ja polttoainetyypin. Jos asiakasryhmälle kulutus on tärkeä määrittävä tekijä, analyysit kykenevät optimoimaan säästöt ja kulutuksen sekä laskemaan niiden arvot (Overton & Brigham 2016).

Ongelmana tuotekehityksessä voi olla usein, että tehdään järjestelmästä ali- tai ylisuoriutuva. Digitaalinen kaksonen mahdollistaa paremman asiakastarpeiden tunnistuksen, kun käyttödatan perusteella voidaan tarkalleen määrittellä kuinka asiakkaat käyttävät tuotetta (Woods 2018). Tämä mahdollistaa paremman vastaamisen asiakastarpeisiin ja myös segmentoinnin, jos huomataan asiakastarpeista erilaisia käyttäjäryhmiä (Keränen 2018). Esimerkiksi kerätyn datan perusteella rekan kuorma voi todellisuudessa olla puolet pienempi kuin on oletettu, asiakkailta tai jollain asiakassegmentillä, jolloin tuotetta voidaan optimoida suunnittelussa sen avulla. Taon (et al. 2017, et al. 2018a) tutkimusten mukaan konseptin hyödyntäminen on tehokkainta tuotteen uusien mallien kehityksessä ja valmiiden tuotteiden iteratiivisessa uudelleen suunnittelussa. Tämä perustuu siihen, että dataa asiakkaiden vaatimuksista on vähemmän sekä mallin ja simulaation toteuttaminen täysin uudelle tuotteelle on haastavampaa.

Parempi asiakastarpeiden tunnistaminen ja segmentointi mahdollistaa markkinoinnille paremman targetoinnin. Tuotteen toiminnan esittäminen simulaatioiden avulla voi tuoda uusia mahdollisuuksia markkinointiin ja myyntiin (Kube 2016). Esimerkiksi, jos asiakas olisi ostamassa uutta traktoria, hän voisi simulaattorissa kokeilla erilaisten muutosten, kuten moottorikoko, rengaskoko, kauhamalli, vaikutuksia ajotuntumaan ja työskentelyyn sekä tuotteen parametreihin (Alaei et al. 2018). Digitaalisen kaksosen analyysi- ja tekoälyratkaisujen kehittyessä, se voi tuoda uusia liiketoimintamahdollisuuksia. Esimerkiksi dataan perustuen sen avulla voidaan huomata, että tuotetta olisi järkevämpi tarjota lisensoimalla tai käyttöhinnoittelulla. Konsepti voi myös tarvittaessa mahdollistaa hinnoittelun perustuen päivittäiseen hintaan (Kube 2016).

6.3 Vaikutukset jälkimarkkinoihin

Tällä hetkellä markkinoilla on kyse elinkaari prosesseista, ja menestyäkseen tulee tarjota asiakkaille elinkaari palveluja. Tämä tarkoittaa, että voidaan tuoda lisäarvoa asiakkaalle myös tuotteen käytön aikana. Tuotteen yhteyteen voi liittyä useita osapuolia, valmistaja, huoltaja ja loppukäyttäjä, joilla kaikilla on omat prosessinsa, joiden mukaan seurataan edistymistä ja laskutetaan sen mukaan. Nämä vaativat yhteyden tuotteeseen, ja digitaalisella kaksosella voidaan seurata tuotteen tilaa ilman, että yhdenkään osapuolen tarvitsee fyysisesti lähestyä laitetta (Kube 2016). Huollon kannalta sama huoltoryhmä voi korjata useita erilaisia laitteita, ja

digitaalisen kaksosen avulla huollosta vastaavat henkilöt pystyvät tarkastelemaan tuotetta ennen paikalle menoa (Standish 2018). Toteutettaessa vaativaa huoltotoimenpidettä digitaalinen kaksonen voi mahdollistaa myös virtuaalisen huollon tekemisen järjestelmään ennen todellista toimenpidettä. Nämä asiat voivat mahdollisesti helpottaa huollon prosesseja. Toisaalta avoin läpinäkyvyys tuotteen tilasta sidosryhmien välillä aiheuttaa vaatimuksia kaksoselle niin tietoturvan kuin datan siirron kannalta. Tämä voi vaatia uusien pilviratkaisujen ja turvajärjestelmien kehittämistä (Standish 2018).

Kone Oyj valmistaa esimerkiksi hissejä ja liukuportaita sekä tarjoaa palveluja niiden kunnossapitoon ja nykyaikaistamiseen. He laskuttavat käyttöasteen perusteella, joten heille on tärkeää maksimoida toiminta-aika ennakoivilla huoltotoimenpiteillä. Nosturivalmistaja Konecranes näkee digitaalisissa kaksosissa paljon potentiaalia ja useita käyttötarkoituksia. Esimerkiksi asiakkaan käytön kannalta, jos satamanosturin digitaaliseen kaksoseen liitetään koko logistiikkaketjun dataa, niin sataman kokonaistehokkuus voi parantua (Keränen 2018). Taon (et al. 2017) mukaan tuotteen optimointia voidaan toteuttaa perustuen käyttäjätietoon, jolloin voidaan ehdotusten avulla ohjata käyttäjää järjestelmän tehokkaampaan käyttöön. Esimerkiksi jos nosturin käyttäjien tuotoksessa on eroja, kyetään toiminta-analyysien perusteella ehdottamaan toimintamuutoksia käyttäjille. Toisaalta myös itse järjestelmän käyttötehoa sekä energiankulutusta voidaan optimoida perustuen suoritusdataan (Tao et al. 2017). Kone ja Konecranes esimerkeissä voidaan huollon kannalta perustella asiakkaalle dataan perustuen oikea-aikainen, oikea toimenpide tai mahdollisesti tarvittava laitteen uudistaminen (Keränen 2018).

Tao kirjoittaa digitaalisen kaksosen käytöstä monimutkaisten järjestelmien huollossa ja seurannassa. Sen avulla voidaan esimerkiksi tarkkailla laitteen nykykuntoa, ja ennustaa tulevia huoltoja ja jäljellä olevaa käyttöikää. Ottaen huomioon, digitaalisen kaksosen kustannukset ja kompleksisuuden, niin ehdotettu malli voi olla hyödyllinen ja järkevä hallitsemaan arvokkaita päätuotteita. Lisäksi yrityksellä tulee olla riittävää osaamista digitaalisen kaksosen mallintamisesta (Tao et al. 2018b). Toisessa tutkimuksessaan Tao (et al. 2017) kirjoittaa, että digitaalisella kaksosella pystytään tekemään häiriöanalyysia, jonka pohjalta voidaan paikallistaa häiriöaiheuttaja sekä ehdottamaan toimenpidettä ongelmaan.

Digitaalisen kaksosen avulla voidaan esitellä jo kehitysvaiheen aikana uutta tuotetta asiakkaalle, jolloin kyetään näyttämään sen toimintaa ja ominaisuuksia, vaikka fyysinen versio ei olisi vielä valmiina. Tästä etuna voidaan nähdä myös asiakkaiden kouluttamisen aloittaminen varhaisemmassa vaiheessa tuoteprosessia, jolloin tuotteen käytön aloitus nopeutuu (Lappalainen 2018). Asiakaskokemuksen kannalta digitaalisen kaksosen hyödyntämisellä voidaan saavuttaa parempi asiakkaan tarpeiden ymmärrys sekä parannuksia nykyisiin tuotteisiin, operaatioihin ja palveluun. Lisäksi digitaalisen kaksosen käyttö voi auttaa kehittämään uusia liiketoimintamahdollisuuksia siltä saadun datan perusteella (Marr 2017). Digitaalisen kaksosen virtuaalinen käyttöympäristö mahdollistaa myös koulutuksen toteuttamisen tehokkaammin (Tao et al. 2017) ja turvallisemmin. Käyttökoulutus voidaan aloittaa asiakkaan kanssa aikaisemmassa vaiheessa tuoteprosessia ja koulutustoiminnan vuoksi ei tarvitse keskeyttää tuotantoa (Tao et al. 2017). Turvallisuuden kannalta tuotteen virheellinen käyttö koulutuksen aikana ei johda henkilö- tai omaisuusriskeihin.

Autovalmistaja Tesla on hyvä esimerkki digitaalisen kaksosen hyödyntämisestä. Heillä on olemassa jokaisesta yrityksen valmistamasta autosta digitaalinen kaksonen. Jokaisen kaksosen muodostama pari on sidottu toisiinsa VIN-tunnisteen (vehicle identification number) perusteella, joilla erotetaan ne toisistaan. Dataa siirtyy jatkuvasti edestakaisin autosta tehtaalle ja toisinpäin. Esimerkiksi jos auton ovesta on narinaa, niin on mahdollista korjata se lataamalla tehtaalta käsin autoon ohjelma, joka vaikuttaa kyseisen auton oven hydraulikkaan. Tesla toimittaa jatkuvasti uusia ohjelmistopäivityksiä autoihinsa perustuen kerättyyn dataan, parantamaan niiden käytettävyyttä ja toimintaa (Overton & Brigham 2016). Näin digitaalisen kaksosen avulla voidaan tuottaa asiakkaalle lisäarvoa. Vaikka toteutuksen nähdään helpottavan Teslan operaatioita, artikkelissa esitetyssä esimerkissä ei kuitenkaan mainita faktoja vaikutuksista. Esimerkiksi artikkelissa ei käsitellä teknologian hyödyntämisestä syntyviä kustannuksia ja niiden vaikutuksia tuotteen hintaan tai saatuihin voittoihin. Overton ja Brigham kirjoittavat tutkimuksessaan myös GE Windfarm -projektista, jossa digitaalista kaksosta hyödynnetään suunnittelussa ja operatiivisessa toiminnassa. Jokainen virtuaalinen turbiini saa dataa fyysiseltä pariltaan, ja esimerkiksi huoltotarpeita pystytään ennakoimaan sekä parametreja tarkkailemaan. Parametrien tarkkailulla, esim. generaattorin vääntömomentista ja siipien nopeudesta, pyritään saavuttamaan 20 prosentin tehokkuuden parannus sähköntuotannossa (Overton & Brigham 2016).

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Digitaalinen kaksosen on apuväline tuotteen elinkaaren hallinnan tueksi, joka sisältää fyysisen tuotteen lisäksi virtuaalisen mallin, toiminnan simulaation sekä ulottuvuuksien kaksisuuntaisen yhteyden ja kommunikoinnin. Digitaalinen kaksonen havaitaan tehdyn kirjallisuuskatsauksen perusteella olevan laajempi kokonaisuus, joka kykenee tekoälyn ja edistyneen data-analytiikan avulla tuottamaan kattavampaa informaatiota, ehdotuksia ja jopa ohjaamaan fyysisen tuotteen toimintaa ehdotusten mukaisesti. Konseptin määrittelyssä on kuitenkin vielä eroavaisuuksia ja määrittely tulisikin yhtenäistää, vaikka kirjallisuuskatsauksessa käsitellyissä tutkimuksissa konseptin määritelmät ovat jo hyvin samankaltaisia. Vastaavasti digitaalisen kaksosen teoreettisena viitekehyksenä nähdään sen hyödyntäminen tuotteen elinkaaren hallinnan kautta, jolloin konseptin hyödyntäminen tuoteprosessissa voidaan nähdä mielekkäänä. Itse digitaalisen kaksosen tutkimuksissa ja teknologioissa riittää kuitenkin vielä selvitettäviä asioita. Jatkotutkimukset sekä teknologioiden kehitys mahdollistavat digitaalisen kaksosen todellisen hyödyntämisen tuoteprosessissa.

Tuoteprosessilla tarkoitetaan tuotteeseen liittyvien toimintojen hallintaa. Tuoteprosessin tavoitteena on yhtenäistää toimintojen kommunikaatio ja tavoitteet, joilla pyritään yhdessä luomaan mahdollisimman arvoa tuotteelle kaikkien sidosryhmien kannalta. Tuoteprosessin eteneminen voidaan käsittää tuotteen elinkaaren ja sen hallinnan kannalta, jolla on tarkoitus tukea tuotteen johtamista ideasta tuotteen poistumiseen markkinoilta. Tuoteprosessissa tuotekehitys on avaintekijä tuotteen menestymisessä ja arvonluonnissa, kun sen prosessit kattavat toimintoja suunnittelusta, markkinointiin ja tuotannosuunnitteluun. Myös jälkimarkkinoiden hallinta on tärkeässä osassa tuotteen arvonluonnissa, ja alasta riippuen olla jopa avaintekijä tuotteen tai yrityksen menestykselle. B2B- markkinoilla tuoteprosessissa asiakasyhteistyö on usein tiiviimpää ja sillä pyritään lisäämään tuotteesta saatavia hyötyjä molempien osapuolien kannalta.

Digitaalisen kaksosen hyödyntäminen täysin uusien tuotteiden tuotekehityksessä on haastavampaa, kun simulaatioita varten ei ole olemassa historiadataa vanhoista tuotteista. Sen nähdäänkin olevan kannattavinta tuotteiden uusien mallien suunnittelussa ja iteratiivisessa uudelleen suunnittelussa. Jos toteutetaan jo olemassa olevan tuotteen uutta mallia, niin digitaalisen version rakentaminen on huomattavasti helpompaa ja näin voidaan testata sen

toimintaa vanhojen mallien kerättyyn dataan perustuen ennen kuin valmistetaan fyysinen tuote. Digitaalista kaksosen hyödyt tuotekehityksessä liittyvät testaamiseen, asiakastarpeiden tunnistukseen sekä toimintojen läpinäkyvyyteen ja kommunikoinnin helpottumiseen sidosryhmien välillä. Näitä toimintoja kyetään kehittämään konseptin avulla, joka voi parantaa tuotteen onnistumista, nopeuttaa prosessia ja voi alentaa kustannuksia esimerkiksi testauksessa. Tulevaisuudessa visiona on toteuttaa digitaalisen kaksosen avulla tuotesuunnittelu ja -testaus kokonaan virtuaalisesti, esimerkiksi NASA, mutta tällä hetkellä se ei ole vielä mahdollista.

Markkinoinnin ja myynnin kannalta asiakastarpeiden tarkempi tunnistaminen digitaalisen kaksosen avulla mahdollistaa paremman targetoinnin asiakasryhmille. Kommunikoinnin helpottuminen digitaalisen kaksosen avulla tuottaa enemmän informaatiota asiakkaan puolelta ja voi helpottaa em. toimintoja. Digitaalisen kaksosen kehittyessä se voi tarjota erilaisia liiketoimintamuotoja, jos sen tuottaman datan perusteella olisi järkevämpi siirtyä esimerkiksi lisensointiin, käyttöhinnoitteluun tai hinnoitteluun, joka perustuu päivittäiseen hinnanvaihteluun. Vastaavasti jos kyetään tarjoamaan asiakkaalle parempia tuotteita ja palveluja, niin asiakastyytyväisyys lisääntyy, joka mahdollistaa tuotteen paremman menestyksen. Myös simulaatio digitaalisen kaksosen avulla voi edistää markkinoinnin ja myynnin toimintoja.

Jälkimarkkinoilla digitaalinen kaksonen tarjoaa useita erilaisia hyödyntämismahdollisuuksia ainakin häiriö- ja toiminta-analyysiin, huollon ennakointiin, käyttötehon optimointiin sekä koulutukseen. Monimutkaiset järjestelmät, kuten rakennuslaitteet, energiantuotantojärjestelmät ja lentokalusto, koostuvat useista yhdessä toimivista osista. Ongelma yhdessä osista voi johtaa systeemin virheelliseen toimintaan ja voi aiheuttaa jopa turvallisuusriskin. Toimintavarmuus näiden järjestelmien kohdalla on siis ensisijaisen tärkeää. Digitaalinen kaksonen tarjoaa huollon kannalta reaktiivisen toiminnan sijaan proaktiivisen toimintamallin, kun huoltotarpeita ja järjestelmän kulumista voidaan ennustaa tarkemmin. Kattavat häiriöanalyysit konseptin avulla mahdollistavat vikatilanteissa nopean vian paikallistamisen ja toimenpiteiden ehdottamisen. Jälkimarkkinoiden toiminnan tehostaminen ja palvelun lisääminen vaatii lisäresursseja ja kuluja. Digitaalinen kaksonen voi kuitenkin osaltaan helpottaa jälkimarkkinoiden prosesseja ja alentaa aiheutuneita kustannuksia.

Data-analytiikkaa pidetään tärkeänä osana digitaalisen kaksosen hyödyntämisessä, informaation tuottamiseksi, ja sen avulla on tarkoitus hallita dataa sekä tehdä ehdotuksia toimintaan. Digitaalisen kaksosen hyödyntämismahdollisuuksia on osaltaan pohdittu sillä oletuksella, että tekoälyratkaisuja, kuten koneoppimista ja jopa syväoppimista, kyetään implementoimaan konseptin toteutukseen. Nämä hyödyntämiskeinot liittyvät digitaalisen kaksosen tuottamiin ehdotuksiin ja fyysisen tuotteen ohjaamiseen automaattisesti digitaalisen kaksosen avulla. Kuitenkin digitaalisen kaksosen analyysien tuottaman informaation perusteella voidaan mahdollisesti tehdä samankaltaisia päätelmiä ja ehdotukset kyetään käyttäjän avulla liittämään järjestelmään. Tekoälyratkaisujen toteutusta pidetään siis vielä tutkittavana asiana, kuinka niitä kyetään toteuttamaan ja hyödyntämään mahdollisimman hyvin.

Digitaalisen kaksosen tutkimus on vielä varhaisessa vaiheessa ja sen hyödyntämisessä tuoteprosessissa on vielä ongelmia sekä lisätutkimusta vaativia asioita. Ongelmia teknologioiden osalta nähdään vielä ainakin ultranopeassa datan siirrossa ja korkea tasoisessa prosessoinnissa, kun tuotteen sensorit, virtuaalinen tuote ja analyysit, tuottavat valtavan määrän dataa käsiteltäväksi ja sen tulisi olla saatavilla täysin reaaliaikaisesti. Lisäksi datan hallinnan kannalta käsittämättömän suuren datamäärän varastointi voi tuottaa ongelmia. Tutkittavana asiana pidetään tekoälyratkaisujen lisäksi kustannusten ja hyötyjen tasapainottamista. Tämä johtopäätös voidaan tehdä myös sen perusteella, että käsitellyissä tutkimuksissa ei mainita konseptin kustannusvaikutuksia, joita syntyy useiden erilaisten toteutuksissa käytettävien teknologioiden johdosta. Konseptin sisällyttäminen liiketoimintaan voi mahdollisesti käyttöönoton kustannusten vuoksi olla vaikeaa pk-yrityksille, ja näin rajata ne digitaalisen kaksosen hyödyntämisen ulkopuolelle. Jatkotutkimukset ja teknologioiden kehittyminen mahdollistavat digitaalisen kaksosen todellisen hyödyntämisen tulevaisuudessa. Sen avulla kyetään kuitenkin jo tälläkin hetkellä saavuttamaan merkittäviä etuja tuoteprosessissa.

Kyky kehittää ja palvella tuotteita jälkimarkkinoilla ohjaavalla älykkyydellä voi olla suunnanmuuttaja, joka johtaa parempaan tehokkuuteen ja uusiin innovaatioihin eri teollisuuden aloilla. Digitaalisesta kaksosesta voi kehittyä välttämätön apuväline tuoteprosessin kehittämiseen B2B- markkinoilla, kun sen avulla kyetään mahdollisesti jatkossa tukemaan koko tuotteen elinkaaren hallintaa. Ne yritykset, jotka eivät kykene johtamaan sen implementointia tuoteprosessiin, voivat jäädä jälkeen kilpailusta.

8 YHTEENVETO

Tässä kandidaatin työssä tutkitaan digitaalisen kaksosen hyödyntämismahdollisuuksia tuoteprosessissa. Tutkimus on rajattu fyysisiin tuotteisiin B2B- markkinoilla. Digitaalista kaksosta voidaan hyödyntää apuvälineenä tuoteprosessin tukemiseen koko tuotteen elinkaaren ajan. Konsepti sisältää fyysisen tuotteen lisäksi virtuaalisen mallin, kaksisuuntaisen yhteyden ja kommunikaation näiden välillä sekä erilaisia datan hallinta- ja analyysimenetelmiä. Sen toteuttamiseen voidaan hyödyntää erilaisia teknologioita. Konseptin toteutusta ja sitä mahdollistavia teknologioita on käsitelty kappaleessa 4.2. Tuoteprosessilla tarkoitetaan tuotteeseen liittyvien toimintojen hallitsemista koko elinkaaren ajan. Sen onnistuneella toteutuksella pyritään yhtenäistämään tuotteen hallintaan liittyvien toimintojen tavoitteet ja toiminta. Tehdyn tutkimuksen mukaan asiakkaiden osallistaminen tuoteprosessin toimintoihin mahdollistaa paremman tuotteen arvon luonnin.

Digitaalisen kaksosen hyödyntämistä tuoteprosessissa käsitellään asiakaslähtöisen näkökulman vuoksi tuotekehityksen, jälkimarkkinoiden sekä asiakasyhteistyön kannalta. Konseptin hyödyntämisellä huomataan käsiteltyjen esimerkkien mukaan olevan positiivisia vaikutuksia kaikkiin edellä mainittuihin toimintoihin. Tuotekehityksessä sitä voidaan hyödyntää esimerkiksi asiakastarpeiden tunnistukseen, segmentointiin, testaukseen ja riskienhallintaan. Vastaavasti jälkimarkkinoilla hyötyjä huomataan esimerkiksi häiriöanalyysiin, huollon ennakointiin, käytön optimointiin ja koulutukseen. Asiakasyhteistyön kannalta digitaalinen kaksosen voi esimerkiksi lisätä toimintojen läpinäkyvyyttä ja helpottaa kommunikointia osapuolien välillä. Näin konsepti voi helpottaa myös markkinoinnin ja myynnin prosesseja esimerkiksi paremman asiakastarpeiden tunnistuksen ja tehostuneen kommunikaation tuottaman lisäinformaation avulla.

Digitaalisen kaksosen toteutuksessa ja hyödyntämisessä on vielä kuitenkin tutkittavia asioita. Konseptin määritelmässä esiintyy vielä eroavaisuuksia, ja niitä tulisi yhtenäistää. Digitaalisen kaksosen hyödyntämisen kannalta teknologiset toteutukset, esimerkiksi valtavan data määrän siirto ja hallinta sekä tekoälyratkaisut, vaativat lisätutkimuksia. Myös kulujen ja saatujen hyötyjen suhdetta on vielä tutkittava. Lisäksi aikaisemmasta tutkimuksesta jää selvittämättä

konseptin käyttöönoton kustannukset, jonka vuoksi on epäselvää kykenevätkö pienemmät yritykset hyödyntämään sitä liiketoiminnassaan.

LÄHTEET

Alaei N, Rouvinen A, Mikkola A & Nikkilä R. 2018. Product processes based on digital twin. *Commercial Vehicle Technology* 2018 s. 187-194.

Anderson K.A. & Kerr C.J. 2001. *Customer Relationship Management*. NY: McGraw-Hill.

Apilo T. & Taskinen T. 2006. *Innovaatioiden johtaminen*. Espoo: VTT.

Boschert S & Rosen R. 2016. Digital twin – the simulation aspect. *Springer: Mechatronic futures* s. 59-74.

Cavallone M. 2017. *Marketing and customer loyalty: The extra step approach*. Springer: International Publishing s. 35-43.

Cerrone A, Hochhalter J, Heber G & Ingrassia A. 2014. On the effects of modeling as-manufactured geometry: toward digital twin. *International Journal of Aerospace Engineering* 2014 Article ID 439278.

Cohn C. 2015. Differences in selling B2B vs. B2C. [verkkolehti] Saatavissa: <https://www.forbes.com/sites/chuckcohn/2015/06/16/differences-in-selling-b2b-vs-b2c/#7d385ab04fb2> [viitattu 18.11.2018].

Ehinlanwo O & Zairi M. 1996. Best practice in the car after-sales service: An empirical study of Ford, Toyota, Nissan and Fiat in Germany - Part 1. *Business Process Re-engineering* 2(2) s. 39-56.

Glaessgen E.H. & Stargel D. 2012. The digital twin paradigm for future NASA and US Air Force vehicles. Paper for the 53rd Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference: Special Session on the Digital Twin.

Grieves M & Vickers J. 2017. Digital twin: Mitigating unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems. *Transdisciplinary perspectives on complex systems* s. 85-113.

Grönross C. 2007. Service Marketing and Management. John Wiley & Sons.

Hiljanen J. 2017. Digital Twin vie tuotekehityksen uudelle tasolle. [verkkajulkaisu]

Saatavissa: <https://www.midagon.com/fi/digital-twin-vie-tuotekehityksen-uudelle-tasolle/>
[viitattu 3.11.2018]

Hvidberg A. 2012. Excellent After-sales Service Processes: Utilising the business possibilities through Business Process Management. Diplomityö. Aalborg University. International Technology Management.

Keränen M. 2018. Digitaalinen kaksonen on IoT:n seuraava vaihe - tuottopotentiaalia on vielä vaikea näyttää. [verkkolehti] Saatavissa:

https://www.tekniikkatalous.fi/kaikki_uutiset/digitaalinen-kaksonen-on-iot-n-seuraava-vaihetuottopotentiaalia-on-viela-vaikea-nayttaa-6720153. [viitattu 3.11.2018].

Kube G. 2016. The digital twin for business. [verkkolehti] Saatavissa: <https://www.industryweek.com/research-development/digital-twin-business> [viitattu 3.11.2018]

Lappalainen E. 2018. Koneet saivat kaksosen, jonka avulla tuotekehitysaika lyhenee. [verkkolehti] Saatavissa: <https://www.talouselama.fi/uutiset/koneet-saivat-kaksosen-jonkaavulla-tuotekehitysaika-lyhenee/71141606-0c6a-3869-bdc5-24957efc9792>. [viitattu 12.11.2018].

Legnani E, Cavalieri S. & Ierace S. 2009. A framework for the configuration of after-sales service processes. Production, Planning & Control 20(2) s. 113-124

Li C, Mahadevan S & Ling Y. 2017. Dynamic bayesian network for aircraft wing health monitoring digital twin. AIAA J 55(3) s.930.941.

Marr B. 2017. What is digital twin technology - And Why Is It So Important? [verkkolehti] Saatavissa: <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2017/03/06/what-is-digital-twintechnology-and-why-is-it-so-important/#61c828cc2e2a>. [viitattu 1.10.2018].

McCleave E. 2014. Business-to-business (B2B) and business-to-consumer (B2C) models of Customer Service. [verkkojulkaisu] Saatavissa: <http://www.elyamccleave.com/businessbusiness-b2b-business-consumer-b2c-models-customer-service/> [viitattu 2.12.2018]

Mohammadi, M. Nuorempi tutkija, LUT-yliopisto. Haastattelu. 30.10.2018.

Mezger, M. [n.d.]. After sales management and customer services. [verkkojulkaisu] Saatavissa: <https://www.protema.de/en/consulting/after-sales-management-and-customer-services/> [viitattu 3.12.2018]

Overton J & Brigham J.C. 2018. The digital twin data-driven simulations innovate the manufacturing process. [verkkojulkaisu] Saatavissa: http://assets1.csc.com/big_data/downloads/MD_9726a17_Digital_Twin_White_Paper_v5.pdf. [viitattu 3.11.2018].

Sääksvuori A. & Immonen A. 2008. Product lifecycle management, 3rd ed. Berlin: Springer.

Schleich, B & Answer, N & Mathieu, L & Wartzack, S. 2017. Shaping the digital twin for design and production engineering. CIRP Annals - Manufacturing Technology, 66(1), s. 141144.

Shaw K. 2018. What is digital twin technology? [and why it matters]. [verkkolehti] Saatavissa: <https://www.networkworld.com/article/3280225/internet-of-things/what-is-digital-twintechnology-and-why-it-matters.html> [viitattu 12.11.2018].

- Stackpole B. 2015. Digital twins land a role in product design. [verkkolehti] Saatavissa: <http://www.digitaleng.news/de/digital-twins-land-a-role-in-productdesign/> [Viitattu 18.11.2018]
- Standish R. 2018. "Congratulations, It's a Digital Twin!". [verkkolehti] Saatavissa: <https://www.industryweek.com/technology-and-iiot/congratulations-its-digital-twin> [viitattu 3.10.2018]
- Stark J. 2015. Product Lifecycle Management: Volume 1: 21st Century Paradigm for Product Realisation 3rd ed. Springer International Publishing.
- Sutela L. 2018. Koneet saavat digitaalisen kaksosen (DigiTwin). [verkkojulkaisu] Saatavissa: <https://rdvelho.com/fi/blogi/koneet-saavat-digitaalisen-kaksosen-digitwin> [viitattu 1.10.2018].
- Tao F, Cheng J, Qi Q, Zhang M, Zhang H & Sui F. 2017. Digital twin-driven product design, manufacturing and service with big data. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology February 2018 94(9-12) s. 3563–3576.
- Tao F, Sui F, Liu A, Qi Q, Zhang M, Song B, Guo Z, Lu S.C.Y & Nee A.Y.C. 2018a. Digital twin-driven product design framework. International Journal of Production Research s. 1-19.
- Tao F, Zhang M, Liu Y & Nee A.Y.C. 2018b. Digital twin driven prognostics and health management for complex equipment. CIRP Annals - Manufacturing Technology 67(1) s.169172.
- Tore M. & Uday K. 2003. Design and development of product support and maintenance concepts for industrial system. Journal of Quality Management Engineering 9(4) s.376-392.
- Tuegel E.J, Ingrassia A.R, Eason T.G & Spottswood S.M. 2011. Reengineering aircraft structural life prediction using a digital twin. International Journal of Aerospace Engineering 2011 Article ID 154798.

Ulrich K.T. & Eppinger S.D. 2000. Product design and development 2nd ed. Boston: McGraw-Hill.

Wang J, Wang K, Wang Y, Huang Z & Xue R. 2018. Deep Boltzmann machine based condition prediction for smart manufacturing. Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing s. 1-11.

Warwick G. 2015. GE advances analytical maintenance with digital twins. [verkkolehti] Saatavissa: <http://aviationweek.com/optimizing-engines-through-lifecycle/ge-advancesanalytical-maintenance-digital-twins> [viitattu 4.12.2018]

Woods D. 2018. Why digital twins should be the CEO's best friend. [verkkolehti] Saatavissa: <https://www.forbes.com/sites/danwoods/2018/07/18/why-digital-twins-should-be-the-ceosbest-friend/#297aba43c753>. [viitattu 4.12.2018]

Zheng Y, Yang S & Huanchong C. 2018. An application framework of digital twin and its case study. Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing s. 1-13.

Zhuang C. 2018. Digital twin-based smart production management and control framework for the complex product assembly shop-floor. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 96(1-4) s. 1149–1163