



Kappalelajittelijaprosessin digitaalisen kaksosen mallinnus

Olli Suhonen

OPINNÄYTETYÖ
Kesäkuu 2022

Kone- ja tuotantotekniikka
Koneautomaatio

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka
Koneautomaatio

SUHONEN, OLLI:

Kappalelajittelijaprosessin digitaalisen kaksosen mallinnus

Opinnäytetyö 25 sivua, joista liitteitä 0 sivua
Kesäkuu 2022

Tämä opinnäytetyö tehtiin Tampereen ammattikorkeakoululle tukemaan koneautomaation suuntautumispolun koulutusta. Työn tavoitteena oli luoda digitaalinen kaksonen Tampereen ammattikorkeakoulun opetustarvikkeisiin kuuluvasta kappalelajittelijasta. Digitaalisen mallin avulla pystytään simuloimaan fyysisen kappalelajittelijan toimintaa ja näin ollen turvallisesti testaamaan luodun PLC-ohjelman toimintaa ennen kuin käytetään fyysisiä kappaleita.

Siemens NX -ohjelmistolla kuljettimesta luotiin mahdollisimman tarkka malli, joka vastasi projektin alussa tilaajan kanssa asetettuja vaatimuksia. Luotu malli vietiin ohjelmistokokonaisuuden MCD-ohjelmaan, jossa luotiin vaaditut liikeradat mallille. Lopuksi yhdistetty malli olisi yhdistetty TiaPortal-ohjelman kanssa, mutta käytetty NX-ohjelma ei tukenut tarvittavia ohjelmistokirjastoja.

Opinnäytetyössä perehdytään digitaalisen kaksosen syntyperiin ja sen käyttötarkeoituksiin. Lisäksi työssä käsitellään virtuaalisen suunnittelun, simuloinnin sekä tuotteen elämänkaaren perustoja. Näiden lisäksi työssä perehdytään mekatronisen laitteen vaatimuksiin sekä tuotekehittelyyn.

Työn tuloksena syntyi malli, joka simuloi kappalelajittelijaprosessin liikkeitä. Jotta mallista saataisiin projektin määritelmien mukainen, se tulee liittää TiaPortalin kanssa. Malliin jäi vielä jatkokehityksen mahdollisuus. Yhdistämällä malliin ohjelma, joka kerää järjestelmästä dataa, se voidaan linkittää IoT-maailmaan.

Asiasanat: digitaalinen kaksonen, virtuaalinen mallinnus, tuotekehitys

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Mechanical and Production Engineering
Machine Automation

SUHONEN, OLLI:
Digital Twin Model of an Object Sorting Process

Bachelor's thesis 25 pages, appendices 0 pages
June 2022

This thesis was carried out for the Tampere University of Applied Sciences to support the education of the Degree Programme in Machine Automation. The purpose of the thesis was to create a digital twin model of an object sorting process belonging to the Tampere University of Applied Sciences. With the model it will be possible to simulate the functionality of the physical sorting process and to safely test the PLC program before loading it into the physical version.

As accurate of a model as possible of the sorting process was created according to the requirements set at the beginning of the project by the client. The program used for the model was Siemens NX. The created model was then imported to MCD, which is another part of the Siemens modelling program. In the MCD the required movements were added to the model. After this the model would have been connected to Siemens TiaPortal, however the used version of the NX did not have the necessary libraries to support this.

The thesis explores the origins of the digital twin and the intended uses of it. Aspects of virtual design, simulation and product life management are also explored. Also, the thesis addresses the basic demands of a mechatronic devices as well as product development.

As a result of the thesis a model was created, which simulates the movements of the object sorting process. To further develop the model, the created signals should be connected with TiaPortal to allow usage of the model with a programmable logic. An IoT-program can be implemented in the model to allow more data to be gathered from the model.

Key words: digital twin, virtual design, product development

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
2	DIGITAALINEN KAKSONEN	6
2.1	Digitaalinen kaksonen ja siihen liittyvät konseptit.....	6
2.1.1	Fyysinen ja virtuaalinen tila	6
2.1.2	Virtuaalinen prototyyppi	7
2.1.3	Digitaalinen kaksonen osana tuotteen elinkaaren hallinnointia	8
2.2	Digitaalisen kaksosen määritelmä.....	8
2.3	Digitaalisen kaksosen työkalut	11
2.4	Siemens NX	13
3	KAPPALELAJITTELIJAN DIGITAALISEN KAKSOSEN LUONTI	15
3.1	Tavoitteiden määrittely	15
3.2	Kappaleenlajittelijalaitteisto ja sen toiminta	15
3.3	Kappalelajittelijan osien mallinnus.....	17
3.4	Kappalelajittelijan toiminnallisuuden luominen	19
3.5	Simulointi	21
3.6	Kappalelajittelijan simulointimalli	21
4	POHDINTA	23
	LÄHTEET.....	25

1 JOHDANTO

Nyky maailman alati kehittyvä teollinen ympäristö asettaa jatkuvasti suurempia vaatimuksia tuotekehitykselle sekä teollisuuskompleksien suunnittelulle. Teollisuuslaitosten laajennukset sekä muutokset ovat nykyään lähes poikkeuksetta erittäin kalliita investointeja, joiden toteuttaminen kokeilu ja korjaus -menetelmällä olisi hidasta sekä kallista.

Tämän vuoksi teollisen kehitystyön avuksi on otettu mallinnusohjelmat, joiden avulla pystytään fyysisiin malleihin verrattuna erittäin kustannustehokkaasti luomaan suunnitellusta investoinnista digitaalinen malli. Luodun mallin avulla simuloidaan esimerkiksi kokoonpanolinjaston toiminta ja nähdään mahdolliset ongelmakohdat.

Tämä opinnäytetyö tehdään Tampereen ammattikorkeakoululle ja työn aiheena on digitaalisen kaksosen tekeminen kappaleenlajittelijasta. Opinnäytetyön aihe on tällä hetkellä erittäin ajankohtainen, sillä digitaalisten kaksosten kysyntä markkinoilla kasvaa jatkuvasti ja suurin osa alan yrityksistä tarjoaakin digitaalisen kaksosen luomista yhtenä palveluistaan. Aiheesta on aiemminkin tehty opinnäyte- ja päättötöitä niin AMK, YAMK kuin yliopistopohjaltaakin, mikä kertoo siitä, että aiheeseen on herätty myös alojen koulutuksen puolella hyvään aikaan.

Tarkoituksena on perehtyä digitaalisen kaksosen teoriaan sekä sen tarjoamiin mahdollisuuksiin erilaisissa sovellutuksissa. Tämän työn mallin tarkoituksena on vastata olemassa olevaa fyysistä mallia sellaisella tarkkuudella, että digitaalisen mallin avulla käyttäjä pystyy perehdyttämään itsensä laitteiston toimintaan. Digitaalinen malli on yksinkertaistettu versio, eli vain toiminnan kannalta oleelliset kappaleet on mallinnettu toiminnallisesti kuten fyysisessäkin mallissa.

2 DIGITAALINEN KAKSONEN

2.1 Digitaalinen kaksonen ja siihen liittyvät konseptit

Tässä luvussa perehdytään digitaalisen kaksosen syntymään johtaneisiin konsepteihin ja sitä edeltäneisiin työmenetelmiin. Lisäksi käydään läpi miten digitaalinen kaksonen yhdistää sitä edeltäneet työmenetelmät toisiinsa luoden uuden, tehokkaamman toimintaympäristön.

Tärkein konsepti on fyysisen ja virtuaalisen tilan ero ja se, miten teknologian kehittyessä näiden kahden tilan eroa pystytään kuroma umpeen uusia työmenetelmiä käyttäen. Näistä uusimpana työn aiheena oleva digitaalinen kaksonen. Virtuaalinen prototyyppi sekä tuotteen elinkaaren hallinnoinnin vaatimukset ovat ajaneet tietokoneilla tehtävän tuotekehityksen työmenetelmiä merkittävästi eteenpäin ja näin ollen nämä kaksi edellä mainittua työmenetelmää ovat digitaalisen kaksosen kehityksen kannalta olleet elintärkeitä.

2.1.1 Fyysinen ja virtuaalinen tila

Digitaalinen kaksonen ulottuu kahteen tilaan, fyysiseen sekä virtuaaliseen, yhdistäen ne toisiinsa ja hämärtäen niiden välisiä eroja. Fei, Chang & Nee (2019, 7) määrittelevät fyysisen tilan kolmiulotteisena ja aineessa olemassa olevana. Se sisältää lukemattoman määrän itsenäisiä kokonaisuuksia, mukaan lukien laitteet, infrastruktuurin ja ihmiset. Fyysisen olemassaolon ansiosta mukaan tulee ominaisuudet kuten muoto, koko, väri, rakenne, massa ja vauhti. Jokainen kokonaisuus varaa itselleen paikan, käyttäytyy luonnon lakien mukaan ja toimii epävarmassa, alati muuttuvassa ympäristössä.

Informaatioteknologian kehityksen tuomien uusien työmenetelmien, kuten tietokone mallinnuksen ja simuloinnin, kommunikaatioteknologian, internetin ja IOT:n myötä virtuaalinen tila on kehittynyt ja on jatkuvasti suuremmissa osissa ihmisten elämää. Fein ym. (2019, 7) mukaan virtuaalinen tila rakentaa jokaiselle kokonaisuudelle oman digitaalisen kolmeulotteisen mallin vastaamaan fyysistä koko-

naisuutta. Integroimalla dataa useista lähteistä, virtuaalinen tila voi tarjota käyttäjälle mahdollisuuksia simulaatioon, ennakoimiseen, optimointiin ja fyysisten kokonaisuuksien varmennukseen. (Fei ym. 2019, 7)

2.1.2 Virtuaalinen prototyyppi

Fei ym. (2019, 16–17) määrittelevät virtuaalisen prototyypin kolmiulotteisena virtuaalisena mallina, jolla korvataan fyysinen prototyyppi tuotteen testaukseen ja arviointiin käyttäen tietokoneympäristöä, kuten CAD ja CAE. Virtuaalista prototyyppiä voidaan käyttää vikojen havaitsemiseen ja suorituskyvyn ennakoimiseen fyysisen mallin alkuvaiheilla sekä mahdollistaa helppo ja nopea tuotteen muokaus, mikäli vikoja tai parannettavaa löytyy.

Valmiin virtuaalisen prototyypin avulla voidaan myös kerätä kehitettävästä tuotteesta palautetta ennen kuin fyysisiä malleja on voitu tai ehditty valmistaa. Näin voidaan ennaltaehkäistä kalliita virheitä tuotteen kehitysketjussa ja samalla parantaa asiakkaan osallistumista. (Fei ym. 2019, 17)

Fei ym. (2019, 17) pitävät virtuaalista prototyyppiä digitaalisen kaksosen alkupisteenä, josta kehitys on lähtenyt käyntiin. Molemmat rakentavat kolmeulotteisen virtuaalisen mallin vastaamaan fyysistä tuotetta, verrattuna perinteisiin tuotekehitysvaihtoehtoihin. Molemmat tarjoavat nopeammin tietoa tuotteesta sekä vikojen korjaus on helpompaa. Lisäksi asiakkaiden osallistuminen jo suunnitteluvaiheessa on mahdollista yksinkertaisemmin, ja asiakkaan antamaa palautetta saadaan integroitua tuotteeseen nopeammin.

Eroavaisuuksia näiden kahden välillä kuitenkin on myös: virtuaalinen prototyyppi toimii lähinnä tuotekehityksen arviointi ja hyväksymistyökaluna, kun taas digitaalinen kaksonen on tuotteen koko kehitys- ja elinkaaren ajan mukana. Virtuaalinen prototyyppi ei myöskään kytkeydy samalla tavalla tuotteeseen kuin digitaalinen kaksonen, vaan on enemmänkin simulaatiomalli tuotteesta. Digitaalinen kaksonen pystyy tarjoamaan tuotteesta sekä ideaalisen mallin että mallin, joka vastaa huomattavasti tarkemmin fyysistä tuotetta, kun taas virtuaalisen prototyypin malli on käytännössä vain ideaalinen mallinnus tuotteesta. (Fei ym. 2019, 17)

2.1.3 Digitaalinen kaksonen osana tuotteen elinkaaren hallinnointia

PLM on tuotteiden hallinnointia niiden elämänkaaren läpi. Tärkein asia PLM:ssä on tuotteen elämänkaaren aikana kerätyn big datan hallinnointi, sillä se tarjoaa näkökulmia ja voi mahdollistaa uusien tuotteiden luomisen sekä tarjota arvokasta informaatiota tuotteen valmistukseen. Vaikka nykypäivänä saadaan kerättyä valtavat määrät dataa, se on edelleen eristyksissä, jakautunut osiin ja seisahtunut, josta johtuen sen käyttöaste on pieni. Tästä johtuen useat yritykset ovat ottaneet PLM:n paremman käyttöasteen tärkeäksi kehityskohteeksi.

Digitaalisen kaksosen avulla saadaan integroitua dataa tuotteen elämänkaaren ajalta samalla tuottaen hyödyllistä dataa. Tuotteesta mallinnettua digitaalista peilimallia voidaan käyttää fyysisen mallin rinnalla, jolloin elämänkaaren eri vaiheissa saadaan fyysisestä tuotteesta tietoja, joista peilimalli yhdistää kootun näkymän. (Fei ym. 2019, 18)

2.2 Digitaalisen kaksosen määritelmä

Tao ja Cheng (2017, 3566) käyttävät teoksessaan Glaessegenin ja Stargelin (2012, 7) tekemää, laajasti käytettyä ja tunnustettua, yleistä määritelmää digitaaliselle kaksoselle.

A digital twin is an integrated multi-physics, multi-scale, probabilistic simulation of a complex product and uses the best available physical models, sensor updates, etc., to mirror the life of its corresponding twin. Meanwhile, digital twin consists of three parts: physical product, virtual product, and connected data that tie the physical and virtual product.

Yllä olevan sitaatin mukaan digitaalinen kaksonen määritellään monitahoiseksi tuotteeksi, jossa yhdistyy useita fysiikan osa-alueita, useita eri tasoisia malleja ja simulaatiomalli, joka toimii parhaiden tarjolla olevien fyysisten mallien, sensoritietojen ja muiden vastaavien tietojen mukaan. Itse malli koostuu kolmesta osasta: fyysinen tuote, virtuaalinen tuote sekä nämä kaksi yhdistävä data.

Tao ja Cheng (2017, 3566) määrittelevät digitaalisen kaksosen piirteet seuraavasti:

1. Reaaliaikainen heijastuminen. Koska digitaalinen kaksonen koostuu sekä fyysisestä että virtuaalisesta mallista, näiden kahden pitää pystyä synkronoitumaan keskenään ja vastaamaan toimintansa mahdollisimman reaaliaikaisesti, aivan kuten ne olisivat toistensa peilikuvia.
2. Vuorovaikutus ja kohdistus. Tämä voidaan selvittää kolmesta näkökulmasta.
 - a) Fyysisessä tilassa generoitu data missä tahansa vaiheessa prosessia yhdistyy toiseen osaan dataa.
 - b) Vuorovaikutus menneen sekä reaaliaikaisen datan välillä.
 - c) Fyysinen ja virtuaalinen tila eivät ole erillään olevia malleja, vaan niiden väliset yhteydet ovat sulavia ja ne pystyvät toimimaan keskenään helposti.
3. Itsekehitys. Digitaalinen kaksonen pystyy kehittämään itseään reaaliaikaisesti vertaamalla virtuaalista sekä fyysistä tilaa keskenään.

Lisäksi Fei ym. (2019) määrittelevät digitaalisen kaksosen mallinnukseen kahdeksan sääntöä:

1. Mallin dataan ja tietoon pohjautuminen.
2. Mallin modulaarinen rakenne.
3. Mallin keveys.
4. Mallin hierarkiat datan ja toimintojen välillä.
5. Ohjelmistojen ja tietokantojen standardisointi.
6. Asiakkaan kouluttaminen.
7. Mallin jatkojalostettavuus.
8. Mallin mukautuvuus.

Ensinnäkin mallin tulee pohjautua dataan ja tietoon. Olemassa oleva tieto tarjoaa perustason säännöt, joita mallinnusprosessin aikana tulee noudattaa. Lisäksi uutta, reaaliaikaista dataa tulee syöttää digitaalisen kaksosen järjestelmään jatkuvasti, jotta malli oppii ja pystyy kalibroimaan toimintaansa paremmaksi.

Toisekseen mallin rakenteen tulee olla modulaarinen. Koska digitaalinen kaksonen on monimutkainen projekti, joka sisältää heterogeenisiä laitteita, monitoiminnallisia malleja, dataa useista eri lähteistä sekä useita erilaisia toimintoja, sen

modularisointi on tehokas tapa eritellä ja järjestää uudelleen tarvittavat osat mallista.

Kolmanneksi mallin tulee olla kevyt. Koska mallin tulee vastata mahdollisimman tarkasti fyysistä mallia, se sisältää lähes poikkeuksetta monimutkaisia rakenteita ja mekanismeja, jotka voivat aiheuttaa ongelmia reaaliaikaisen toiminnan ja simuloinnin kanssa. Tämän vuoksi mallista tulee pyrkiä tekemään mahdollisimman kevytkäyttöinen.

Neljänneksi malliin sisältyvälle datalle sekä toiminnoille tulee rakentaa hierarkia. Jos kaikki resurssit, mukaan lukien data, mallit ja toiminnot ovat tärkeyshierarkiassa samalla tasolla, mallin kuormittavuustaso voi kasvaa liian suureksi, jolloin toiminta heikkenee tai malli voi kaatua.

Viidenneksi mallin luomiseen tulisi käyttää standardoituja ohjelmistoja, joiden välinen kommunikointi onnistuu mahdollisimman vaivattomasti. Ohjelmistot, tietokannat ja mallit digitaalisessa kaksosessa voivat käyttää eri salausstrategioita, käyttöliittymiä sekä kommunikaatioprotokollia, jolloin informaation vaihtaminen mallin osien välillä on mahdotonta. Tämän vuoksi samaa standardia noudattavat ohjelmistot sekä tietokannat ovat välttämättömiä digitaalista mallia tehdessä.

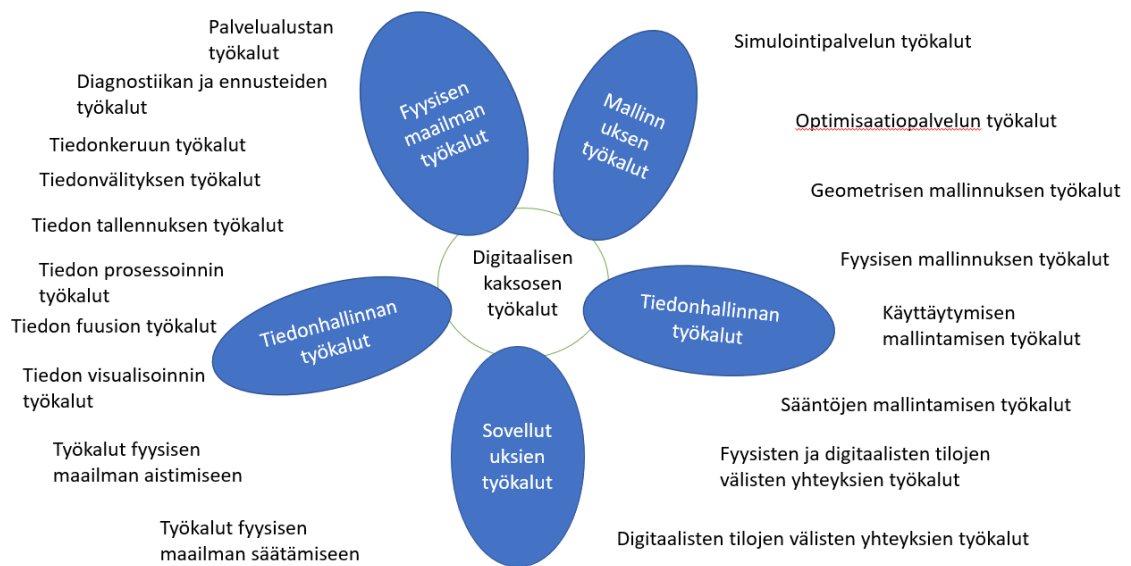
Kuudenneksi mahdollinen asiakas täytyy kouluttaa mallin käytössä. Kun digitaalinen kaksosmalli tehdään asiakkaalle, on tarpeellista varmistaa, että asiakkaalla itsellään on riittävä tietotaito mallin käyttämiseen tai tarjota käyttöönotto sekä koulutus mallille.

Seitsemänneksi, koska digitaalinen kaksonen on luonteeltaan jatkuvasti kehittyvä kokonaisuus, tulee luodun mallin pystyä kehittymään. Mallin tekemisessä tulee pyrkiä siihen, että malliin pystytään tekemään lisäyksiä myös jälkikäteen ja mallia pystytään laajentamaan tarpeen vaatiessa.

Kahdeksanneksi mallista tulee luoda mukautuva. Koska digitaalisia kaksosia käytetään pääosin teollisuusympäristössä, se tulisi rakentaa kestäväksi myös ennakoimattomia muutoksia. Esimerkiksi mallin tulisi pystyä mukautumaan fyysisen laitteiston ympäristömuutoksiin.

2.3 Digitaalisen kaksosen työkalut

Kuviossa 1 on digitaalisen kaksosen 5-ulotteinen malli, jonka perusteella voidaan määrittellä työkalut, joilla hyödynnetään digitaalisen kaksosen teknologiaa. Näillä työkaluilla voidaan ymmärtää ja hallita fyysistä maailmaa, mallintaa digitaalinen kaksonen, hallita mallista saatua dataa, käyttää mallin avulla luotuja palveluita ja niiden sovellutuksia sekä hallita yhteyksiä digitaaliseen kaksoseen.



KUVIO 1. Digitaalisen kaksosen työkalujen 5-ulotteinen malli. (Qi, Tao, Hu, Answer, Liu, Wei, Wei, Wang & Nee, 2019, 13, muokattu)

Digitaalisen kaksosen fyysisen osuuden työkalut voidaan jakaa kahteen osaan: fyysisen maailman ymmärtämiseen sekä hallitsemiseen tarkoitettuihin työkaluihin. Fyysisen maailman ymmärtäminen on digitalisaation perusta ja IOT (asioiden internet) onkin yksi digitaalisen kaksosen ohjaajista. Kun fyysiset kokonaisuudet yhdistetään dataa aistiviin ja sitä kerääviin järjestelmiin, digitaalinen kaksonen muuntaa datan optimoiduksi prosessiksi. Tähän tarkoitukseen on luotu useita palveluita, kuten esimerkiksi loTSyS. (Qi, Tao, Hu, Answer, Liu, Wei, Wei, Wang & Nee, 2019, 3)

Hallitsemiseen tarkoitetuilla työkaluilla saadaan fyysiset kokonaisuudet toimimaan tehokkaammin ja turvallisemmin palautteen perusteella, mikä pohjautuu analyysiin ja havaitun fyysisen kokonaisuuden prosessointiin virtuaalisessa maa-

ilmassa. Tästä johtuen työkalut ovatkin usein kontrolliin perustuvia ja niillä hallitaan fyysisen kokoonpanon liikkeitä, kuten työssä käytetty Siemens TiaPortal. (Qi ym. 2019, 3)

Digitaalisen kaksosen mallinnukseen tulisi käyttää työkaluja, jotka sisältävät kattavan valikoiman käyttötarkoitusspesifejä kirjastoja ja mahdollistavat kolmannen osapuolen työkalujen integroinnin useilla osa-alueilla. (Qi ym. 2019, 3)

Tiedonhallinnan työkalut sisältävät tiedon keräämiseen, välittämiseen, tallentamiseen, prosessointiin, yhdistämiseen sekä visualisointiin erikoistuneita työkaluja. Järkevällä antureiden sijoittelulla tiedonhallinnan työkalut voivat kerätä kokonaisvaltaista, vakaata ja tehokasta tietoa järjestelmästä. Hyvä tiedonhallinnan työkalu mahdollistaa siten järjestelmästä tiedon keräämisen, tallentamisen ilman tiedon korruptoitumista sekä tiedon prosessoimisen siten, että käyttäjää kiinnostavat tiedot löytyvät ja ovat selkeästi luettavissa. (Qi ym. 2019, 3)

Sovellutuksien työkalut voidaan luokitella alustan, simulaation, optimisoinnin, diagnostiikan ja prognoosin palveluiden mukaan. Alustan palvelut tarjoavat työkaluja, joilla voidaan integroida järjestelmään haluttuja teknologioita, kuten IOT tai AI (tekoäly). Diagnostiikan ja prognoosin työkalut tarjoavat älykästä, ennakoivaa huoltostrategiaa laitteistolle ja vähentävät järjestelmän alhaallaoloaikoja. Edistyneillä simulaatiotyökaluilla voidaan suorittaa diagnostiikkaa ja määrittää huollon parhaat edut, mutta myös kerätä tietoa, jonka avulla voidaan kehittää seuraavan sukupolven suunnittelua. (Qi ym. 2019, 3)

Digitaalisen kaksosen yhteistyökaluja käytetään yhdistämään digitaalinen ja fyysinen versio keskenään sekä yhdistämään digitaalisen kaksosen eri osat toisiinsa. Jokaisen digitaalisen kaksosen perusta on kartoittaa fyysisen ja digitaalisen maailman väli ja rikkoa näiden maailmojen väliset rajoitukset. (Qi ym. 2019, 3)

2.4 Siemens NX

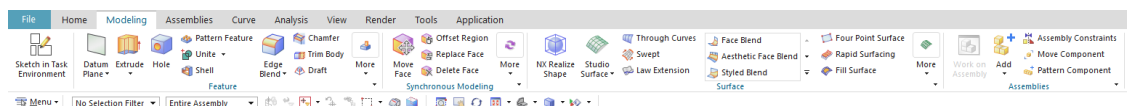
Siemens NX on teolliseen tuotesuunnitteluun kehitetty ohjelmisto, joka on osa Siemensin teollisuuden sovellutuksiin kehitettyä ohjelmistoportfoliota. NX tarjoaa tuotesuunnitteluun räätälöidyn ominaisuuspaketin, joka mahdollistaa CAD-mallien suunnittelun, mallintamisen, simuloinnin sekä dokumentoinnin. (Siemens 2020)

NX tarjoaa 3D-mallin luomiseen monipuolisesti työkaluja, joista käyttäjä pystyy valitsemaan omaan käyttötarkoitukseensa sopivat ratkaisut. NX on työkalutarjonnaltaan erittäin laaja kokonaisuus, joka sisältää sovellutuksia mekaanisesta suunnittelusta mutta yhdistää myös muut CAD-suunnittelua hyödyntävät teollisuuden alat. Tästä syystä tämä teoriaosuus keskittyy vain sille oleellisiin osiin ohjelmistosta. (Siemens 2020)

Mekaaniseen suunnitteluun NX tarjoaa laajan valikoiman työkaluja, joista tässä työssä käytettävät ovat:

- Sketch - piirtotyökalu, jolla muodostetaan 2D-malli kappaleesta.
- Extrude - työkalu, jolla 2D-mallista tehdään 3-ulotteinen.
- Feature Modeling - mahdollistaa 3D-malliin tehtävien reikien yms. ominaisuuksien mallintamisen.
- Assembly Design - mahdollistaa mallinnettujen kappaleiden kokoonpanon yhdeksi, suuremmaksi kokonaisuudeksi.

Kuvassa 1 on esitetty NX mallinnuksen sekä kokoonpanon työkaluvalikot. (Siemens 2020)



KUVA 1. NX modeling työkaluvalikko.

NX sisältää myös Mechatronic Concept Design (MCD) ohjelman, joka mahdollistaa mekatroniikkasuunnittelun yhdistämällä sähkö-, mekaniikka- ja automaatio-suunnittelun työkaluja. MCD tarjoaa käyttäjälle muun muassa seuraavat ominaisuudet:

- Integroitu järjestelmäsuunnittelu. Toiminnallinen malli tarjoaa yhteisen kielen mekaniikka-, sähkö- ja automaatio-suunnitteluun mahdollistaen samanaikaisen työskentelyn. Tämä mahdollistaa luvussa 2.2 esitellyistä digitaalisen kaksosen säännöistä viidennen, jonka mukaan käytettävien ohjelmistojen tulee noudattaa samoja standardeja.
- Avoimet käyttöliittymät työkaluihin.
- Fysiikkaan pohjautuvat simulaatiokapasiteetti. MCD mahdollistaa simuloinnin, jonka avulla mallin toiminta voidaan varmistaa ja mahdolliset muutokset voidaan toteuttaa samassa ohjelmassa. Näin mahdolliset virheet saadaan korjattua jo digitaalisessa mallissa. (Siemens 2020) Tämä mahdollistaa luvussa 2.2 esitellyistä digitaalisen kaksosen säännöistä ensimmäisen, seitsemännen sekä kahdeksannen tarjoamalla mahdollisuuden fysiikkasimulointiin sekä muutosten tekemiseen.

3 KAPPALELAJITTELIJAN DIGITAALISEN KAKSOSEN LUONTI

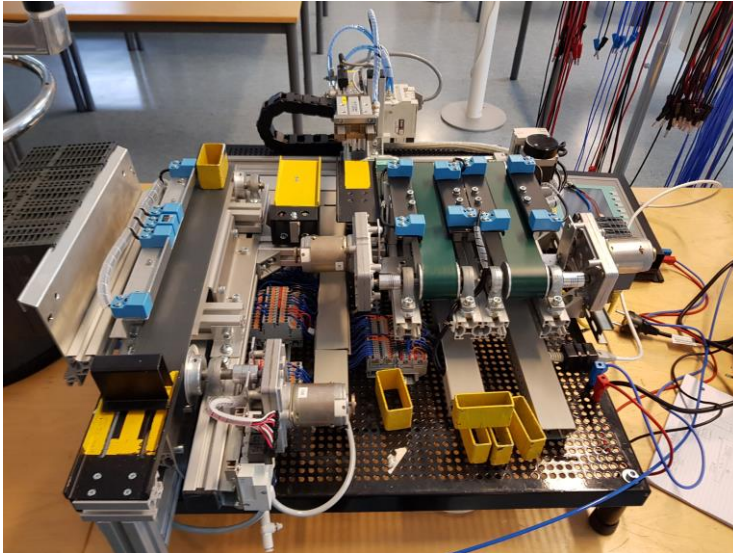
3.1 Tavoitteiden määrittely

Kappalelajittelijaprosessin digitaalisen kaksosen rakentaminen aloitettiin sopimalla työn tilaajan kanssa, mitä kaikkea mallin tulee pitää sisällään sekä kuinka tarkasti mallin tulee vastata fyysistä vastinettaan. Tässä päädyttiin siihen, että vain kappaleen käsittelyyn liittyvät osat ovat tarpeellisia. Tämä pitää sisällään kappaleen liikuttamiseen käytetyt hihnat ja tarraimen sekä kappaleen punnitus- sekä lämmitysalustat. Näin ollen esimerkiksi johdotuksia ei mallinnettu. Lisäksi fyysisen kappalelajittelijan suunnittelijan ja kokoonpanijan kanssa käytiin läpi laitteiston toiminta sekä yksityiskohtaisemmin osa osalta, kuinka tarkka mallin täytyy olla. Tämän työn tapauksessa päädyttiin tulokseen, että laitteiston toimintaa simuloiva malli on riittävä.

Työn tilaajan ehdotuksesta mallin tekemiseen käytettiin Siemensin NX mallinnusohjelmistoa sekä kyseisen ohjelmiston lisäosaa Mechatronics Concept Designia, jolla saadaan lisättyä malliin kappaleenlajitteluprosessin liikkeet. Tämä helpottaa mallin käyttämistä, koska myös automaatio-ohjauksen tekemiseen käytettävä ohjelmisto, TiaPortal, on Siemensin ohjelmisto ja käyttää samaa kommunikaatioprotokollaa kuin NX ja MCD.

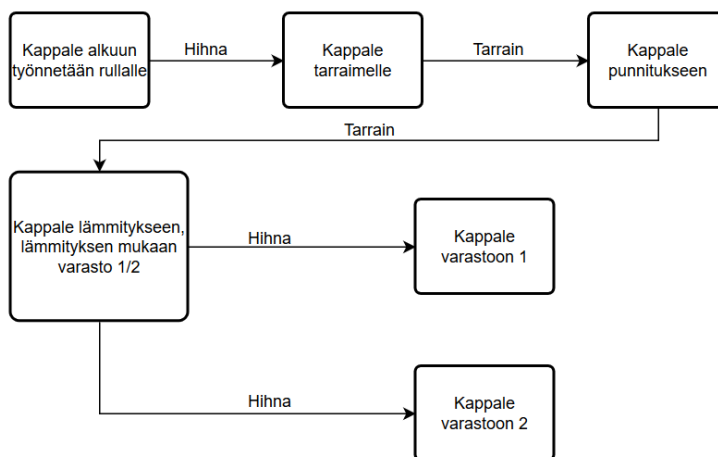
3.2 Kappaleenlajittelijalaitteisto ja sen toiminta

Kuvassa 2 on kappaleenlajittelija, jota mallintaen digitaalinen kaksonen tehdään. Vasemmasta alakulmasta löytyy kappaleen aloituspaikka, josta työnnin siirtää kappaleen eteenpäin hihnalle, jonka keskivaiheilta löytyy kappaleen pituuden mitaus. Hihnan päästä löytyy tarrain. Hihnan oikealta puolelta löytyy järjestyksessä ensin punnitus, sitten lämmitys. Lopuksi oikealta löytyvät vielä kaksi hihnaa, jotka kuljettavat kappaleen varastoon.



KUVA 2. Kappalelajittelijan fyysinen kokoonpano.

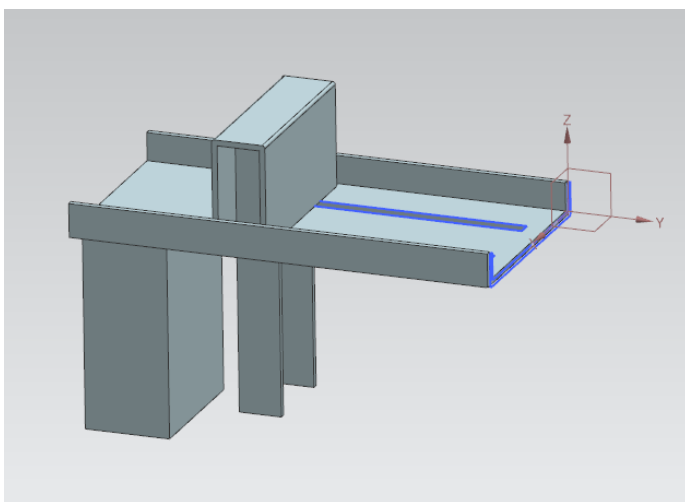
Kappaleen liikuttamista varten on käytössä kolme hihnaa sekä tarrain. Lajittelua varten laitteistosta löytyy kappaleen massan mittaava piste, josta kappale vietään lämmityspisteelle tarraimella. Lämmityksen jälkeen kappale lajitellaan lämpötilan mukaan ja vietään tarraimella oikeaan varastopaikkaan vievälle hihnalle. Kuviossa 2 on kuvattu kappalelajittelijan työjärjestys.



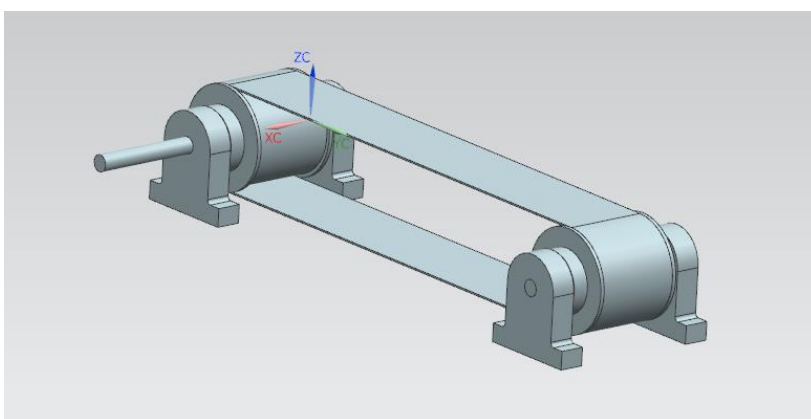
KUVIO 2. Kappalelajittelijan työjärjestys

3.3 Kappalelajittelijan osien mallinnus

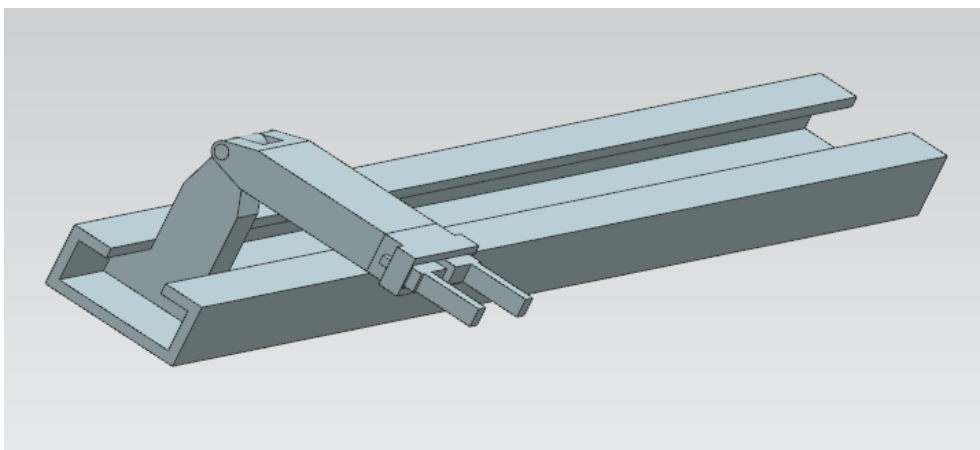
Laitteiston mallinnuksen ensimmäinen vaihe oli määrittää, mitkä osat ovat tehtävän mallin kannalta oleellisia. Työn tilaajan kanssa käydyn palaverin tuloksena päätettiin toiminnan kannalta laitteiston olennaisimmat osat, joiden mallinnus oli ehdotonta. Nämä osat ovat alustat, joille kappale asetetaan, alkualustan työntömekanismi, kappaleen kuljettamiseen käytettävät hihnat sekä tarrain ja sen liikumiseen käyttämä kisko. Osat on esitelty kuvissa 3–5.



KUVA 3. Alusta ja työnnin.

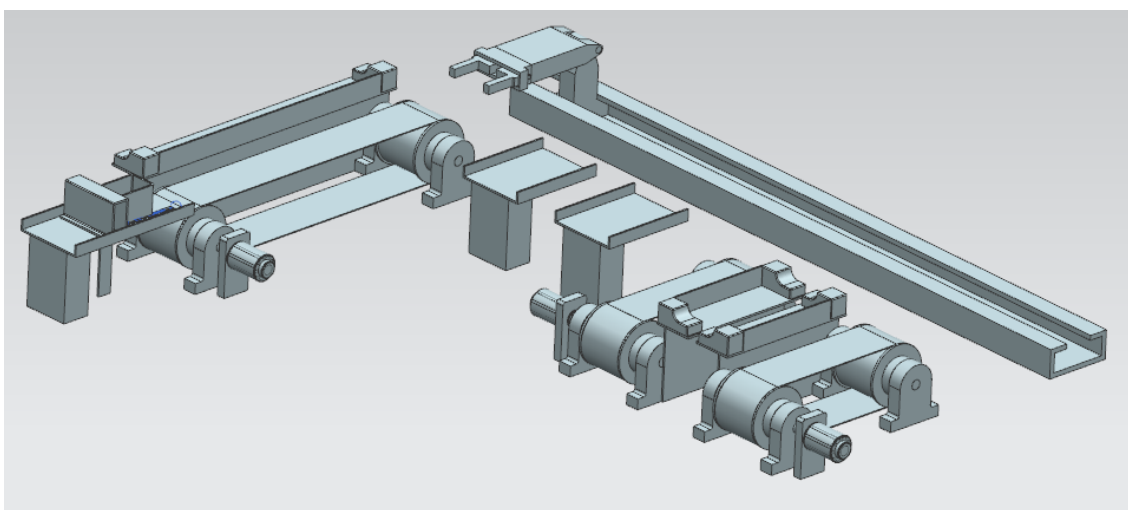


KUVA 4. Kuljetinhihna.



KUVA 5. Tarrain.

Koska mallin tarkoituksena on toimia perehdytystyökaluna fyysisen laitteiston toimintaan, osat on mallinnettu niin yksinkertaisina kuin mahdollista kuitenkin säilyttäen niiden fyysisten verrokkiensa toiminnot. Mikäli kyseessä olisi malli, jonka avulla tarkasteltaisiin uuden laitteiston toimintaa ennen fyysistä kokoonpanoa, mallin tulisi olla huomattavasti yksityiskohtaisempi. Kuvassa 6 on esitetty kappalelajittelijan digitaalinen malli.



KUVA 2. Kappalelajittelijan digitaalinen malli.

3.4 Kappalelajittelijan toiminnallisuuden luominen

Kun fyysinen laitteisto on saatu riittävällä tarkkuudella mallinnettua, se viedään MCD-ympäristöön. Siellä osille voidaan määritellä fyysistä vastinettaan vastaavat ominaisuudet sekä toiminnallisuus.

Tämä aloitetaan määrittelemällä mallin liikkuvat osat sekä kappaleet. Kappalelajittelijan osista työnnin, lajiteltava kappale sekä kappaleen liikuttamiseen käytettävä tarrain määritellään liikkuviksi osiksi. Tämä tapahtuu rigid body -työkalulla.

Tämän jälkeen kappaleista määritellään pinnat, jotka malli laskee kosketuspintoiksi. Kosketuspintoiksi halutaan kaikki ne pinnat, jotka koskettavat jotakin toista osaa ja näiden osien kosketus halutaan rekisteröityvän mallissa. Tämä tarkoittaa työntimen sekä kappaleen pohjia, alustojen sekä hihnojen yläpinnat sekä tarraimen ja sen kiskon pinnat. Tämä tehdään käyttämällä collision body -työkalua.

Collision body-työkalulla törmäyspintoja määriteltäessä on tärkeää valita collision shape-valikosta oikea muoto. Suorakulmioille, kuten alustat sekä hihnat, oletuksena oleva box-muoto on riittävä, mutta esimerkiksi kappaleen pohjan sekä tarraimen törmäyspintojen määrittelyssä käytettiin mesh-muotoa, joka tarjoaa tarkemman mallin.

Törmäyspintojen määrittelemisen jälkeen määritetään kuljetuspinnat transport surface-työkalulla, joka löytyy collision body-työkalun alta laajennettavasta valikosta. Tällä määritetään työntimen alusta, hihnat sekä tarraimen kisko, kourien kiinni liike sekä kouran sisään-ulos-liike kuljetuspintoiksi.

Jotta pinta voidaan määritellä kuljetuspinnaksi, se on ensin täytynyt määritellä collision body-työkalulla kuljetuspinnaksi. Transport surface-työkalu antaa käyttäjän määrittää valitsemansa pinta kuljetuspinnaksi, valita kappaleiden kulku-suunta sekä nopeus pinnan päällä.

Tarraimen liikkeiden mallintamisessa käytettiin sliding joint-työkalua, joka löytyy hinge joint-työkalun alta laajennettavasta valikosta. Tällä luotiin kappaleiden välille liitos, joka mahdollistaa liikkeen vain tietyn akselin suuntaisesti. Lisäksi tarraimen kappaleesta kiinni ottaminen tehtiin luomalla niiden välille fixed joint.

Järjestelmän anturit määritellään käyttämällä collision sensor-työkalua. Työkälulla valitaan haluttu kappale, valitaan anturin tunnistusalueen malli ja tämän jälkeen määritellään tunnistusalueen sijainti sekä koko. Kaikki mallin anturit käyttävät oletuksena olevaa box-muotoa, joka tarjoaa parhaan toiminnallisuuden mallin tarpeisiin. Mallinnettujen antureiden lisäksi työkalun avulla on määritelty tarraimelle positiot 1–4 alustojen sekä kahden jälkimmäisen hihnan kohdalle.

Seuraavaksi määritetään anturisignaalit. Tähän käytetään Signal-työkalua. Valitaan connect with Runtime Parameter aktiiviseksi ja valitaan mallista haluttu anturi. Tämän jälkeen valitaan parameter name-vetovalikosta triggered. Tämän jälkeen Signal Name kohtaan voi nimetä anturisignaalin haluamukseen. Näin määritellään hihnojen sivuilla sijaitsevat 11 anturia sekä tarraimen sijainnin tunnistavat 5 anturia sekä varastojen anturit.

Tämän jälkeen määritetään kuljetuspintojen signaalit. Tähän käytetään Signal adapter-työkalua. Ensin valitaan Select Physical Object-kohta, jonka jälkeen valitaan haluttu kuljetuspinta. Kun pinta on valittu, painetaan Add Parameter, joka lisää valitun pinnan parametrivalikkoon ja valitaan parametri sen vasemmalla puolella olevasta laatikosta, jolloin se lisätään Formulas-valikkoon. Seuraavaksi valitaan Signals-kohdasta Add ja luodaan inputsignaali. Lopuksi valitaan Formulas-valikkoon lisätty signaali ja valitaan Insert Conditional, josta aukeaa ikkuna missä käyttäjä määrittelee if-ehtolauseen signaalin toiminnalle.

Valitettavasti opinnäytetyössä käytetty NX12-versio ei sisältänyt MCD:ssä luotujen signaalien ja TiaPortalin signaalien yhdistämiseen käytettävää PLCSIM Advanced -kirjastoa, joten näiden yhdistäminen valmiiksi kokonaisuudeksi ei onnistunut.

3.5 Simulointi

MCD tarjoaa käyttäjälle itsessään mahdollisuuden simuloida luodun mallin liikkeitä sekä toimintoja. Luomalla Operation-komennolla työjärjestys Sequence Editoriin, voidaan luoda logiikkaohjelmaa mukaileva ohjelma luodulle mallille. Näin on mahdollista tarkastella mallin toimivuutta ja etsiä mahdollisia ongelmakohtia, vaikka käyttäjällä ei olisikaan käytössään malliin tarkoitettua logiikkaohjelmaa.

Simuloinnin voi käynnistää MCD-käyttöliittymästä löytyvää play-nappia painamalla. Tämän jälkeen ohjelma noudattaa Sequence Editoriin luotua operaatioketjua. Ketjun työjärjestys luodaan käyttämällä suoria operaatiokomentoja käynnistämään mallin toiminnot. Lisäksi käytössä on ehdolliset operaatiot, joiden avulla saadaan ajoitettua toimintoja tapahtumaan halutun tapahtuman jälkeen.

Koska MCD- ja TiaPortal-ohjelmien yhdistäminen ei onnistunut tarvittavien ohjelmakirjastojen puuttumisen vuoksi, yhdistetyn mallin simuloinnin aloittaminen on kuvattu edellä vain teoreettisesti. MCD:n ja TiaPortalin välinen simulointi käynnistetään kytkemällä TiaPortalista Simulate-tila päälle, klikkaamalla hiiren oikealla painikkeella luodun logiikkaohjelman käynnistysfunktiota ja valitsemalla aukeavasta valikosta Modify ja edelleen aukeavasta valikosta Modify to 1. Tämän jälkeen painetaan Play MCD:ssä, jolloin malli liikkuu luodun logiikkaohjelman mukaisesti.

3.6 Kappalelajittelijan simulointimalli

Työn tuloksena kappalelajittelijasta tehtiin mallinnusohjelmaa käyttäen 3D-malli, joka toteuttaa fyysisen kokoonpanon oleelliset laitteistot digitaalisessa muodossa. Luotu malli simuloi laitteiston prosessin liikeratoja MCD:n oman simulatiojärjestelmän avulla.

Opinnäytetyöprosessin alussa työn tilaajan kanssa määriteltiin täydellisen toteutuksen sisältämät ominaisuudet. Näiltä osin luotu malli ei toteutunut täydellisesti. Vaatimusmäärittelyssä sovitut kappalelajittelijan osat ovat mallinnettuina ja liikkuvat mallissa halutulla tavalla. Toteuttamatta jäivät mallin yhdistäminen TiaPortalin kanssa sekä laajentaminen lisäämällä IoT-ohjelmisto osaksi kokonaisuutta.

Vertaamalla luotua mallia sivulla 9 esitelyihin digitaalisen kaksosen kahdeksaan sääntöön, voidaanko luotua mallia kutsua digitaalisesti kaksoseksi. Ensimmäinen sääntö, jonka mukaan mallin täytyy pohjautua dataan, täytyy osittain. Malli luotiin olemassa olevan fyysisen mallin tietojen perusteella. Malli ei kuitenkaan ota huomioon uutta tietoa. Koska malliin tehtiin vain oleelliset osat, se täyttää myös kolmannen säännön, jonka mukaan sen tulee olla kevyt. Viidennen säännön mukaan malliin tulee käyttää standardoituja ohjelmistoja. Tämä toteutuu työssä, koska kaikki käytetyt ja käyttöön tarkoitetut ohjelmat ovat Siemensin ohjelmaperheestä.

Mallinnus tehtiin kokoamalla useampi osakokoonpano yhdeksi, suuremmaksi kokonaisuudeksi. Näin mahdolliset muokkaukset voidaan toteuttaa osakokoonpanojen sisällä. Tämä toteuttaa seitsemännen säännön, jonka mukaan mahdollisten muutosten tekemisen tulisi olla helppoa. Koska kaikki kahdeksan digitaaliselle kaksoselle määriteltyä sääntöä eivät täyty, malli onkin enemmänkin digitaalinen versio fyysisestä vastikkeestaan.

4 POHDINTA

Työn tavoitteena oli luoda kappalelajittelijaprosessista digitaalinen kaksosen, jossa Siemens NX:llä luotu malli yhdistetään TiaPortalissa luotuun logiikkaohjelmaan. Työ ei päässyt tavoitteeseensa asti, sillä luodun mallin yhdistäminen logiikkaohjelmaan ei onnistunut puuttuvien ohjelmaosien vuoksi. Lisäksi asiakkaan kanssa sovituista ominaisuuksista kappaleen punnitus sekä lämmitys jäivät toteuttamatta toteutuksen haastavuuden vuoksi. Nämä on korvattu toteutuksessa paikka-antureilla simuloimaan, että kappale on tällä hetkellä näiden kohtien paikoilla.

Työhön on kerätty taustatietoa digitaalisen kaksosen syntyperistä, käyttötarkoituksista sekä käytön mahdollistavista teknologioista. Työn taustatutkimusta tehdessä kävi nopeasti selväksi, että tiedonkeräämisen ongelma ei kyseisen aiheen kanssa tule olemaan hyvän ja ajankohtaisen tiedon löytäminen, vaan pikemminkin juuri kyseiseen sovellutukseen sopivan ja spesifin tiedon löytäminen alan jo laajasta kirjallisuudesta.

Kirjallisuusosiossa esitellään digitaalisen kaksosen luomiseen liittyviä periaatteita sekä miten käytettävät ohjelmistot toteuttavat kirjallisuudessa esitettyjä vaatimuksia digitaalisen kaksosen luomiseen. Työn lähteinä käytettiin varsin suppeaa lähdekirjallisuutta, joten lähteiden vertaileminen toisiinsa sekä kriittinen arviointi jäivät taka-alalle.

Digitaalisen kaksosen mallin luominen osoittautui oletettua enemmän mallinnuksen ohjelmistojen käyttöä vaativaksi, mikä omalta osaltaan hidasti työn edistymistä, koska kokemuspohja Siemensin tarjoamista mallinnuksen ohjelmistoista rajoittui yhteen kurssiin. Lopputuloksena on kuitenkin fyysisen mallin ominaisuuksia riittävän tarkasti mukaileva malli, jota on tarpeen mukaan vielä helppo lähteä parantamaan.

Työhön jäi vielä selkeitä parannuksen kohteita, joita tulevat käyttäjät voivat lisätä tarvittaessa. Alkuperäisen suunnitelman mukaan malliin oli tarkoitus lisätä vielä IoT-studio, jonka avulla saadaan kerätty järjestelmästä tietoa, mutta ajanpuutteen

vuoksi kyseinen sovellutus jäi lisäämättä. Lisäksi mallin kytkeminen fyysiseen malliin on mahdollisuus, mikäli käyttötarkoitukseksi halutaan enemmänkin digitaalinen kaksonen eikä tämänhetkinen malli, joka toimii paremmin simulaattorina.

LÄHTEET

Cheng, T. 2017. Digital Twin-Driven Product Design, Manufacturing and Service with Big Data. *International journal of advanced manufacturing technology* 94.9-12, 3563–3576.

Fei, T., Zhang, M. & Nee, A. Y. C. 2019 *Digital Twin Driven Smart Manufacturing*, Academic Press. Lontoo

Glaessgen, E. & Stargel, D. 2012. The digital twin paradigm for future NASA and US Air Force vehicles. 53. AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials konferenssi. Pdf-dokumentti. Viitattu 13.6.2022. <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20120008178/downloads/20120008178.pdf>

Siemens Industry Software Inc. 2020. NX. Verkkosivu. Viitattu 9.11.2020. <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/products/nx/>

Siemens Industry Software Inc. 2020. Mechatronic Concept Design. Verkkosivu. Viitattu 9.11.2020. <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/products/mechanical-design/mechatronic-concept-design.html>

Qi, Q., Fei, T., Hu, T., Answer, N. Liu, A. Wei, Y., Wei, L., Wang, L. & Nee, A. Y. C. 2019. Enabling technologies and tools for digital twin. *Journal of manufacturing systems* 3, 13