

Tommi Lehtinen

SIMULOINNILLA JA VIRTUAALITODELLISUUDELLA
TEHOKKUUTTA TUOTANNON KEHITTÄMISEEN

Automaatioteknologian koulutusohjelma
2019

SIMULOINNILLA JA VIRTUAALITODELLISUUDELLA TEHOKKUUTTA TUOTANNON KEHITTÄMISEEN

Lehtinen, Tommi
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Automaatioteknologian YAMK-koulutusohjelma
Joulukuu 2019
Sivumäärä: 52

Asiasanat: simulointi, virtuaalitodellisuus, mallintaminen

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin simulaatioiden tekemistä ja virtuaalitodellisuuden hyödyntämistä tuotannon kehittämisen tukena. Simuloinnin avulla voidaan vastata moniin tuotannon kehittämisen haasteisiin, mutta ensin on ymmärrettävä, miten simulaatioita tehdään ja miten eri tavoin niitä voidaan hyödyntää.

Työssä muodostettiin kuvauksia erilaisista simulointityypeistä ominaisuuksineen simuloinnin havainnollistamisen avuksi sekä listattiin simuloinnin hyödyntämiseen liittyviä haasteita ja hyviä puolia. Simulointiprosessin vaiheet ja niihin kuuluvat toiminnot esiteltiin osana suunnittelututkimusta. Simulaatioiden kehittämistä ja simuloinnin hyödyntämistä tuotannon kehittämisessä tutkittiin suunnittelututkimuksen menetelmin sekä tekemällä erityyppisiä simulaatioita.

Tämän opinnäytetyön tuloksena syntyi esimerkkejä simuloinnin hyödyntämisestä tuotannon kehittämisessä, simuloinnin vaatimuksista sekä malli sille, miten simulaatioiden tekemistä voidaan kehittää. Tämän työn on tarkoitus toimia oppaana yrityksille ja opiskelijoille, jotka haluavat aloittaa simuloinnin hyödyntämisen.

EFFICIENCY FOR PRODUCTION DEVELOPMENT WITH SIMULATION AND VIRTUAL REALITY

Lehtinen, Tommi

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Master's Degree Programme in Automation Technology

December 2019

Number of pages: 52

Keywords: simulation, virtual reality, modelling

This thesis focused on how to make simulations and use virtual reality to support production development. Simulation can meet many of the challenges of production development, but first you need to understand how simulations are made and how they can be used in different ways.

In the thesis descriptions of different simulation types and their features were created in order to illustrate the simulation process, and the challenges and benefits of using the simulation were listed. The steps of the simulation process and the related functions were introduced as part of the design science research study. The development of simulations and the utilization of simulation in production development were studied by design science research methods and by making different types of simulations.

This thesis resulted examples of how simulation can be used in production development, the requirements of simulation, and a model of how simulation work can be improved. This thesis is meant to serve as a guide for companies and students who want to start using simulation.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	DESIGN SCIENCE RESEARCH SIMULOINNIN TUTKIMUKSEN MENETELMÄNÄ.....	7
3	VIRTUAALITODELLISUUS JA SIMULOINTI	11
3.1	Mitä on virtuaalitodellisuus ja simulointi	11
3.2	Simuloinnin edut ja haasteet	14
3.3	3D-simulointi	16
3.4	VR simulaatioissa	17
3.5	Simulointiohjelmistoja.....	18
3.5.1	Visual Components	18
3.5.2	Factory I/O	19
3.5.3	Tecnomatix Plant Simulation	19
3.5.4	Robottivalmistajien ja robottien simuloimiseen erikoistuneet simulointiympäristöt.....	20
3.5.5	ABB RobotStudio.....	20
3.5.6	RoboDK	21
3.5.7	Universal Robots URsim.....	22
4	SIMULOINTIPROSESSI DESIGN SCIENCE RESEARCHIN MUKAISESTI.....	23
4.1	Ongelman analysointi	24
4.2	Simulointikelpoisuuden toteaminen.....	25
4.3	Tavoitteiden määrittely	25
4.4	Datan kerääminen	25
4.5	Simulointimallin tekeminen.....	27
4.6	Simulointiajojen suorittaminen.....	29
4.7	Tulosten analysointi ja tulkinta.....	29
4.8	Dokumentointi	29
5	ESIMERKKEJÄ TUOTANNONKEHITTÄMISMUODOISTA, JOIHIN SIMULOINTIA KANNATTAA HYÖDYNTÄÄ	31
5.1	Laitteiden uusiminen ja lisääminen	31
5.2	Uuden linjan/solun/laitteen tekeminen	32
5.3	Pohjaratkaisujen vertailu.....	32
5.4	Tuotannon optimointi.....	33
5.5	Case – Sahasimulaatio	34
5.6	Case – Tuotelaatikoiden kuljetus ja lavaus simuloituna	41
6	VR:N TUOMAT MAHDOLLISUUDET SIMULAATIOIDEN TEKEMISEEN JA HYÖDYNTÄMISEEN	46

6.1	VR Robotics simulator.....	46
6.2	VR muissa simulointiohjelmistoissa.....	47
7	TULEVAISUUDEN MAHDOLLISUUDET	48
8	JOHTOPÄÄTÖKSET	50
	LÄHTEET.....	51

1 JOHDANTO

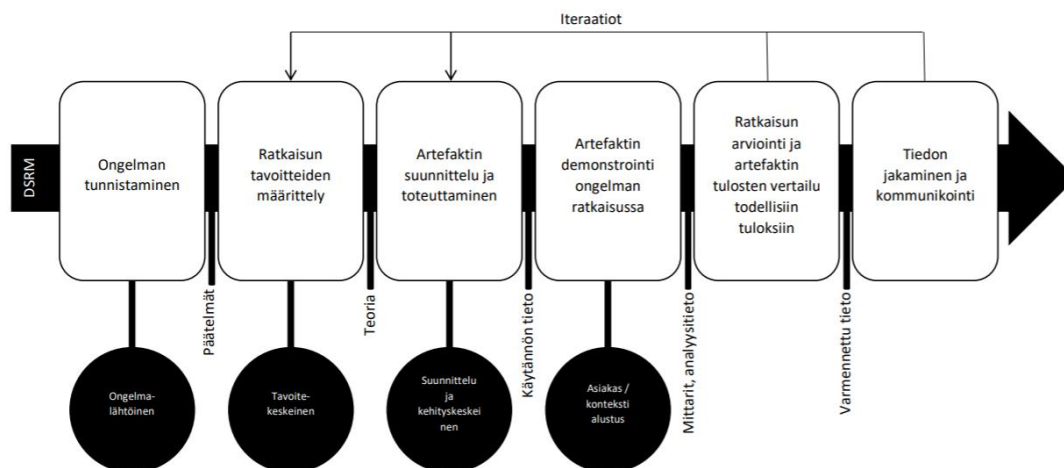
Tässä opinnäytetyössä esitellään eri mahdollisuuksia simuloinnin ja virtuaalitodellisuuden hyödyntämiseen tuotannon kehittämisessä. Ennen simuloinnin hyödyntämisen aloittamista on hyvä ymmärtää, mitä simulointi on ja miten simuloiteja tehdään. Aluksi tässä työssä esitelläänkin simulointia, erityyppisiä simulaatioita ominaisuuksineen ja simulointiohjelmistoja, minkä jälkeen esitellään itse simulointiprosessi ja sen vaiheet osana suunnittelututkimusta. Suunnittelututkimus toimii ohjaavana menetelmänä simulointien tekemisessä ja kehittämisessä. Tämän jälkeen esitellään eri tapoja simuloinnin hyödyntämiseen tuotannon kehittämisessä ja kaksi esimerkkisimulaatiota simuloinnin tekemisestä.

Tässä opinnäytetyössä esitellään myös virtuaalitodellisuuden hyödyntämistä simulaatioissa ja simuloinnin sekä virtuaalitodellisuuden mahdollisuuksia tulevaisuudessa. Valmiin opinnäytetyön on tarkoitus toimia oppaana yrityksille ja opiskelijoille, jotka haluavat aloittaa simuloinnin hyödyntämisen.

2 DESIGN SCIENCE RESEARCH SIMULOINNIN TUTKIMUKSEN MENETELMÄNÄ

Suunnittelututkimus (DSR - Design Science Research) on tutkimusta, jonka tavoitteena ei ole niinkään selittää nykyistä tilannetta vaan kehittää tai parantaa sitä. Suunnittelututkimuksessa keskiössä on pyrkiminen ongelman ratkaisuun esimerkiksi kehittämällä uusi innovaatio tai suunnittelemalla millainen tarvittavan innovaation pitäisi olla ongelman ratkaisemiseksi. (Järvinen & Järvinen 2004, 103-105). Van Aken (2004, 224) kuvaa suunnittelututkimuksen tehtävänä olevan uuden tietämyksen luominen suunnittelua ja toteutusta varten tai nykyisten systeemien suorituskyvyn parantaminen. Tarkoitus on siis ratkaista konstruktio-ongelmia tai kehittämisongelmia. Tuloksena molemmista saadaan van Akenin (2004, 228) mukaan teknologinen sääntö, jonka hän kuvaa olevan intervention tai artefaktin haluttuun lopputulokseen tai tietyn sovellusalueen suoritukseen yhdistävä kokoelma yleistä tietoa. Hevner ym. (2004, 78) painottavat konstruointia, jonka tuloksena syntyy konstruktioita, malleja, metodeita ja toteutuksia. Yhteistä näille näkemyksille on kuitenkin pyrkiminen ongelman ratkaisemiseen tai nykyisen tilanteen parantamiseen tuottamalla jotain uutta ja hyödyllistä. Tämän vuoksi suunnittelututkimus toimii hyvin simulointiprosessin rinnalla tutkimusta ohjaavana metodina, itse simulointiprosessin ja sen vaiheiden kehittämisessä.

DSR-prosessi vaihtelee sen mukaan, missä sitä hyödynnetään. Peffers (2008, 6) toteaaakin, että DSR-prosessi voi edelleen kehittyä käsitellessään suunnittelututkimusta tietojärjestelmissä. Hevner (2004, 83-90) esittelee seitsemän ohjetta tietojärjestelmien suunnittelututkimukselle; Design as an Artefact, Problem Relevance, Design Evaluation, Research Contributions, Research Rigor, Design as a Search Process, Communication of Research. Pello (2018) on päätenyt myöskin antamaan seitsemän ohjetta suunnittelututkimuksen tekemiseen; Carry out end-user research, Define clear objectives and restrictions, Gather different ideas, Filter out the viable and feasible ideas, Test the chosen ideas, Iterate by reviewing, refining and retesting, Generalise the outcome. Kuviossa 1 esitetään kuusivaiheinen suunnittelututkimuksen prosessimalli Peffersin (2008) mukaan.



Kuvio 1. Suunnittelututkimuksen metodologian prosessimalli

Pefferin (2008) malli suunnittelututkimuksen prosessista koostuu 6 vaiheesta; ongelman tunnistaminen, ratkaisun tavoitteiden määrittely, artefaktin suunnittelu ja toteuttaminen, artefaktin demonstrointi ongelman ratkaisussa, arviointi ja artefaktin tulosten vertailu todellisiin tuloksiin sekä tiedon jakaminen ja kommunikointi (Peffer 2008, 12-14). Pefferin malli on yksi esimerkki siitä, miten edetä tehtävässä tutkimuksessa vaihe vaiheelta ja mitä toimintoja eri vaiheisiin kuuluu. Peffer (2008) kuitenkin painottaa, että tutkijan ei ole välttämättä aloitettava vaiheesta yksi, vaan aloitus voi tapahtua mistä vaiheesta tahansa riippuen suunnittelututkimuksen lähtökohdista. Ongelmakeskeinen vaiheesta yksi, tavoitekeskeinen vaiheesta kaksi, suunnittelu- ja kehityskesklinen vaiheesta kolme, asiakas ja asiayhteyksinen vaiheesta neljä (Peffer 2008, 14-15). Seuraavaksi esitellään, mistä toiminnoista eri vaiheet koostuvat.

Mallin ensimmäisessä vaiheessa yhtenä tarkoituksena on kuvata erityinen tutkimusongelma sillä tasolla, että kuvausta voidaan käyttää artefaktin kehittämisessä ongelman ratkaisuun. Vaadittava taso riippuu ongelman monimutkaisuudesta. (Peffer 2008, 12.) Van Akenin (2004, 220) mukaan ongelman ymmärtäminen on puolet ongelman ratkaisusta, toisen puolen ollessa ratkaisujen kehittäminen ja kokeileminen. Ensimmäisellä vaiheella on myös toinen tarkoitus; ratkaisun arvon perustelu eli mitä hyötyä ratkaisusta on. Perustelut motivoivat tutkijoita pyrkimään ratkaisun tuottamiseen ja toisaalta auttavat muita ymmärtämään tutkijan tutkimuskohdetta. (Peffer 2008, 12.)

Toisessa vaiheessa määritellään halutun ratkaisun tavoitteet eli miten kehitettävän artefaktin tulisi tukea ongelman ratkaisussa. Ratkaisun tavoitteita määriteltäessä tulee huomioida ongelmaan olemassa olevat ratkaisut, mikä on mahdollista ja järkevästi toteutettavissa sekä huomioida ongelman määrittelyyn liittyvä tieto. Tähän vaiheeseen liittyy myös selvitys siitä, mikä ratkaisusta olisi paras mahdollinen. (Peffers 2008, 12.)

Kolmannessa vaiheessa suunnitellaan ja toteutetaan artefakti (Peffers 2008, 13). Syntyvät artefaktit voivat olla esimerkiksi malleja, metodeja ja toteutuksia (Järvinen & Järvinen 2004, 103; Peffers 2008). Artefaktin suunnittelun painotus on suuri. Peffersin (2008, 13) mukaan käsitteellisesti ajateltuna artefakti voi olla mikä tahansa suunniteltu kohde, kunhan tutkimuspanos on suunnittelussa. Suunnitelman tulee määrittellä artefaktin haluttu toiminnallisuus sekä rakenne. Lopuksi suunnitelmien pohjalta luodaan itse artefakti (Peffers 2008, 13).

Neljännessä vaiheessa artefaktia tai sen toimintaa havainnollistetaan alkuperäisen määrittelyyn ongelman tai sen osan ratkaisemisessa. Artefaktin havainnollistaminen vaatii tietoa artefaktin käytöstä ongelman ratkaisussa. Havainnollistaminen voi tapahtua esimerkiksi tekemällä kokeiluja ja testejä tai simuloimalla. Havainnollistamisessa käytettävä menetelmä riippuu artefaktin ja ongelman tyypistä. (Peffers 2008, 13.)

Viidennessä vaiheessa arvioidaan artefaktin suoriutumista ongelman ratkaisemisessa. Artefaktin arviointia varten tarvitaan mitta-asteikko. Jos sellaista ei ole olemassa, tulee myös mitta-asteikko kehittää. Mittareina artefaktia arvioitaessa voivat esimerkiksi toimia valmistettujen tuotteiden määrä, kyselyiden tulokset, asiakaspalaute tai vasteaika riippuen artefaktin ja ongelman luonteesta. Oleellista on artefaktin tulosten vertailu todellisiin tuloksiin. Artefaktin arvioinnin ja tulosten vertailun jälkeen voidaan päättää, jatketaanko seuraavaan vaiheeseen vai pyritäänkö artefaktin tehokkuutta parantamaan palaamalla kolmanteen vaiheeseen. (Järvinen, ym. 2004, 113; Peffers 2008, 13-14.)

Kuudes vaihe mallissa on viestintä, joka tässä tapauksessa tarkoittaa tiedon jakamista ja kommunikointia ongelmasta, kehitetystä artefaktista, artefaktin tehokkuudesta ja

hyödyllisyydestä eli tutkimuksen tuloksien välittämistä asiaankuuluville tahoille. Tällaisia tahoja ovat sekä teknissuuntautuneet että johtamissuuntautuneet tahot. Kohdetahosta riippuen tulosten kuvaaminen voi olla eri tyyppistä. (Järvinen, ym. 2004. 116; Peffers 2008, 14.) Järvinen ym. (2004) antaa esimerkkinä käytännön soveltajille tuotetun kuvauksen siitä, millainen artefakti on ja miten se on muodostettu, kun taas teknisesti suuntautunut taho odottaa riittävän tarkkaa kuvausta itse artefaktista.

Tässä työssä myöhemmin esiteltävissä simulointicaseissa hyödynnetään tätä Peffersin prosessimallia sen selkeyden ja simulointien tekemiseen soveltuvuuden vuoksi. Lisäksi mallin rinnalle liitetään itse simulointiprosessiin liittyvät vaiheet ja esitellään niissä tapahtuvia toimintoja simulointicaseissa.

3 VIRTUAALITODELLISUUS JA SIMULOINTI

3.1 Mitä on virtuaalitodellisuus ja simulointi

Tämän työn kannalta on oleellista ymmärtää, mitä VR ja simulointi tarkoittavat. VR (Virtual Reality) eli virtuaalitodellisuus ja simulointi eivät ole uusia keksintöjä, mutta niitä hyödynnetään entistä enemmän automaatiassa. Virtuaalitodellisuudella tarkoitetaan yhden määritelmän mukaan interaktiivista multimediasympäristöä, joka saa käyttäjän uppoutumaan virtuaaliseen maailmaan. Tähän käytetään yleensä apuna kuvaa, ääntä ja kosketusta sopivien teknologioiden avulla. Tässä työssä VR:n tuoma lisähyöty simuloinnissa liittyy kuitenkin pääasiassa teknologiaan, missä kuva ja ääni tulevat käyttäjälle virtuaalilasien kautta ja käyttäjällä on mahdollisuus toimia interaktiivisesti virtuaaliympäristössä esimerkiksi ohjainkapuloiden avulla. Virtuaalitodellisuudessa käyttäjän on mahdollista suorittaa erilaisia tehtäviä samaan tapaan kuin oikeassa maailmassa. Virtuaalitodellisuus voi olla kuvitteellinen ympäristö kuten peleissä on yleistä tai se voi olla simuloitu. (Sensolligent 2018; Okechukwu & Udoka 2010, 53-54.) Simuloinnilla tarkoitetaan yleisesti todellisuuden jäljittelyä. Robinson (2014, 5) on teoksessaan päätenyt määrittelemään simulaation seuraavasti:

”Simuloinnilla tarkoitetaan tietokoneella tehtävää kokeiden tekemistä yksinkertaistetusta toiminnallisesta järjestelmästä, sen edetessä ajassa, jotta järjestelmää ymmärrettäisiin paremmin ja/tai jotta sitä voidaan kehittää.”

Automaatiassa tämä tarkoittaa yleensä oikean järjestelmän ja sen prosessien jäljittelyä virtuaalisella simulointimallilla. Simulointimalli voi olla täysin ohjelmakoodissa tapahtuvaa simulointia tai se voi olla visuaalisesti hyvinkin näyttävä jäljitelmä oikeasta tehtaasta tuotantolinjoineen. Simulointimallin avulla pyritään usein selvittämään oikeaan järjestelmään liittyviä ongelmia tai ymmärtämään järjestelmän toimintaa paremmin. Simulaation avulla selvitettäviä ongelmia voivat olla esimerkiksi tuotannossa esiintyvät pullonkaulat, layoutin parantaminen tai robotin liikeratojen optimointi. Simuloinnin avulla pystytään tekemään myös kokeiluja, jotka olisivat liian kalliita, aikaa vieviä tai vaarallisia tehdä oikealla järjestelmällä. (Bangsow 2015.)

Simulointimallit voidaan jakaa staattisiin ja dynaamisiin simulointimalleihin riippuen niiden suhteesta aikaan. Dynaamisessa simulointimallissa seurataan järjestelmää ajan kuluessa. Dynaamista simulointimallia käytetään esimerkiksi tuotantolinjojen tai logistiikan simuloinnissa ja tämän työn simulaatioesimerkit keskittyvät myös dynaamisiin simulointimalleihin. Staattisessa simulointimallissa ajalla ei ole merkitystä tai järjestelmä esitetään tietyllä ajan hetkellä. Tällainen simulointimalli voi esittää nopan heitossa tulevien silmälukujen todennäköisyyden jakaumaa tai vaikka osakesalkun arvoa tulevaisuudessa. (Law & Kelton 1991, 6; Robinson 2014, 6.)

Simulointimalli voi sisältää satunnaisia todennäköisyyteen perustuvia muuttujia tai sisään syötettävät muuttujat voivat olla vakioita. Simulointimalli voidaankin määritellä myös tämän perusteella deterministiseksi tai stokastiseksi. Useimmat automaatioissa käytettävät simulaatiot ovat stokastisia. (Law ym. 1991, 6.) Stokastinen simulointimalli sisältää todennäköisyyteen perustuvia satunnaisia muuttujia kuten koneen hajoamisen todennäköisyys tai sahan lajittelussa lautojen pituuksien jakauma. Tästä johtuen stokastisessa simulointimallissa ulostulot ovat myös satunnaisia. Deterministisessä simulointimallissa lopputulos on aina sama, vaikkakin sen selvittäminen voi viedä hyvin paljon aikaa. (Law, ym. 1991, 6.)

Simulointimalleille voidaan suorittaa vielä karkea kahtiajako sen mukaan, ovatko ne jatkuvatoimisia vai tapahtumapohjaisia. Jatkuvatoimisessa simulointimallissa järjestelmän tilaa päivitetään jatkuvasti, vaikka mallin tilassa ei sinänsä mitään tapahtuisikaan. Tässä käytetään yleensä pientä aika-askelta (Δt). Simuloitavan järjestelmän liikuttaessa nesteitä (esim. öljynjalostamot) tai suuria määriä asioita nopeasti (elintarvikelaitokset), käytetään yleensä jatkuvatoimista simulointimallia. (Robinson 2014, 35-36.) Tapahtumapohjaisessa simuloinnissa mallin tilan muuttuminen perustuu tapahtumiin. Tapahtuman esiintyessä mallin tila päivittyy välittömästi. Esimerkki tällaisesta tapahtumasta simulointimallissa voi olla asiakkaan saapuminen jonoon tai kappaleen poistuminen työstökoneesta. (Law 1991, 7-8.)

Simulaatiomallien tekemiseen käytetään yleensä siihen tarkoitukseen tehtyjä ohjelmistoja. Nykyaikaiset simulointiohjelmistot tarjoavat käyttäjälleen tehokkaita työkaluja simulaatioiden tekemiseen. Niiden käyttäjältä ei välttämättä vaadita

juurikaan ohjelmointiosaamista. (Robinson 2014, 21). Ohjelmistosta riippuen ne mahdollistavat eri tyyppisiä simulointimenetelmiä. Eri simulointimenetelmät sopivat toisiinsa tarkoituksiin paremmin kuin toisiin. Tyypillisimmät simulointimenetelmät ovat tapahtumapohjainen simulointi (DES, Discrete-Event Simulation), Monte Carlo -simulointi, järjestelmädynamiikka (SD, System Dynamics) ja agenttipohjainen simulointi (ABM, Agent Based Model). (Robinson 2014, 5-12.)

Tapahtumapohjainen simulointi on hyvin yleisesti käytetty simulointimetodi ja sitä hyödynnetään esimerkiksi jonotusjärjestelmien simuloinnissa. Jonotusjärjestelmässä voi liikkua esimerkiksi ihmisiä, tavaroita tai informaatiota. Jonotusjärjestelmässä nämä kohteet liikkuvat aktiviteettien välillä. Aktiviteetit on erotettu toisistaan jonoilla. Kun kohde on prosessoitu aktiviteetissa, se pääsee liikkumaan seuraavaan aktiviteettiin. Jos aktiviteetti on jo varattu, muodostuu jono. (Robinson 2014, 5; Law 1991, 13.) Esimerkkinä tällaisesta jonotusjärjestelmästä voi toimia työstökone metallipajassa. Jos uusia työstettäviä kappaleita tulee nopeampaa kuin mitä työstökone ehtii kappaleita valmistaa, alkaa ennen konetta kertyä jonoa. Tapahtumapohjaista simulointia hyödyntäviä ohjelmistoja automaation simuloinnin tarpeisiin ovat mm. Tecnomatix Plant Simulation, Visual Components ja AnyLogic. (Ideal PLM; Morey 2017; AnyLogic.)

Agenttipohjaisessa simuloinnissa hyödynnetään ns. agenteja eli yksilöitä, jotka ovat itsenäisiä yksilöllisillä ominaisuuksilla varustettuja toimijoita simulaatiossa. Agenttien välistä toimintaa ja käyttäytymistä seurataan simulaatiossa ajan kuluessa. Agenttipohjaista simulaatiota käytetään monimutkaisten järjestelmien simuloinnissa kuten epidemioiden leviämisen simuloinnissa tai kulttuurien leviämisen simuloinnissa. (Robinson 2014, 8-9).

Monte Carlo -simulointia käytetään riskin mallintamiseen ympäristössä, jossa tulokset perustuvat todennäköisyyksiin (sattumiin). Tällainen simulointimalli voisi olla esimerkiksi jo aiemmin mainittu noppien silmälukujen summan jakauma ja sen avulla riskin selvittäminen sille, että noppien silmälukujen summa on alle halutun raja-arvon. (Robinson 2014, 6.)

Järjestelmädynamiikkaa hyödyntävä simulointimalli perustuu varastoihin ja virtoihin, jotka säätelevät kertymiä varastoissa. Virtaama ulos pienentää varaston kertymää ja virtaama sisään kasvattaa sitä. Varaston kertymä muuttuu jatkuvasti riippuen virtauksista. Tästä syystä tällainen simulointimalli on jatkuvatoiminen. Usein tällaiseen simulointimalliin liittyy vielä takaisinkytkentä esimerkiksi siten, että kun varaston kertymä laskee, niin virtausta sisään kasvatetaan ja ulosvirtauksen pienenessä virtausta sisään pienennetään. (Robinson 2014, 7.)

3.2 Simuloinnin edut ja haasteet

Aina ei välttämättä tarvitse turvautua simulointiin tuotantoa kehitettäessä. On olemassa muitakin tapoja ratkoa tuotantoon liittyviä ongelmia, mutta simuloinnilla saadaan joissain tapauksissa selvää etua näihin nähden. Perinteisesti tuotannon kehittämisessä ja analysoinnissa hyödynnetään oikeassa maailmassa oikeilla laitteilla tehtäviä kokeita, taulukko- ja paperilaskentaa sekä monimutkaisempaa matemaattista ohjelmointia. (Law 1991, 115-116; Robinson 2014, 13-17.) Seuraavassa esitellään listattuna poimintoja Robinsonin (2014, 13-16) sekä Lawin ja Keltonin (1991, 115-116) esittelemistä simuloinnin hyödyistä:

- **Hinta:** Oikealla järjestelmällä tehtävät kokeilut voivat olla kalliita varsinkin, jos sitä varten tarvitaan pitkiä katkoja tuotannossa ja toisaalta laatu voi heikentyä kokeiden seurauksena, mikä johtaa tyytymättömiin asiakkaisiin.
- **Aika:** Oikealla järjestelmällä tehtävät kokeilut voivat viedä aikaa päivistä jopa vuosiin ennen kuin kokeiluiden vaikutukset saadaan selville. Simuloinnilla vaikutukset voivat selvitä tunneissa tai jopa minuuteissa. Samassa ajassa saadaan siis mahdollisesti tehtyä useampia kokeiluita.
- **Oikeaa järjestelmää ei ole olemassa:** Tällöin oikean järjestelmän kokeilu on mahdotonta ja useiden versioiden rakentaminen parhaan lopputuloksen saamiseksi ei ole mielekäästä.
- **Vaihtoehtoisten järjestelmien ja koneiden vertailu:** Simuloinnissa voidaan helpommin vertailla esimerkiksi eri robottien tai koneiden suoriutumista tehtävistä verrattuna siihen, että niitä alettaisiin vaihdella oikeasti.

- Vaikuttavien muuttujien hallinta: Simulaatio voidaan suorittaa samoilla lähtöarvoilla lopputulosten vertailemiseksi, mikä taas saattaa olla oikeassa järjestelmässä mahdotonta. Esimerkiksi varastopaikkojen vaihtamisen vaikutukset voivat olla vaikeasti vertailtavia, jos tuotannossa on paljon vaihtelua yksittäisten pakkauskokojen välillä.
- Visualisointi ja kommunikointi: Visuaalinen simulaatio on tehokas työkalu tuotannon kehittämisen ideoiden ja hyötyjen esittelyssä.
- Luovuuden edistäminen: Epäonnistumisen pelko saattaa estää uusien ideoiden esittämisen ja kokeilemisen. Simuloinnin avulla voidaan tehdä kokeiluja ilman riskiä.
- Tiedon ja ymmärryksen lisääminen: Simulaatio voi saada tilaajan miettimään asioita aivan uudella tavalla tai muuten selkeyttää näkemystä tarvittavista toimenpiteistä. Robinson (2014, 15) antaakin esimerkin, kuinka eräs organisaation johtaja oli simulaation jälkeen ilmoittanut, että samat hyödyt oltaisiin saatu ilman simulaatiota. Robinsonin (2014, 15) puolustuksena simuloinnille toimii se, että ilman simulaation tuomia näkökulmia organisaatiossa ei oltaisi mietitty läpi ongelmia samaan tapaan.
- Konsensus-päätöksenteko: Simulointia voidaan hyödyntää esimerkiksi työvuorojen suunnittelussa ja kokeilussa tai tarvittavien resurssien tarpeen määrittelyssä yhdessä työntekijöiden kanssa.

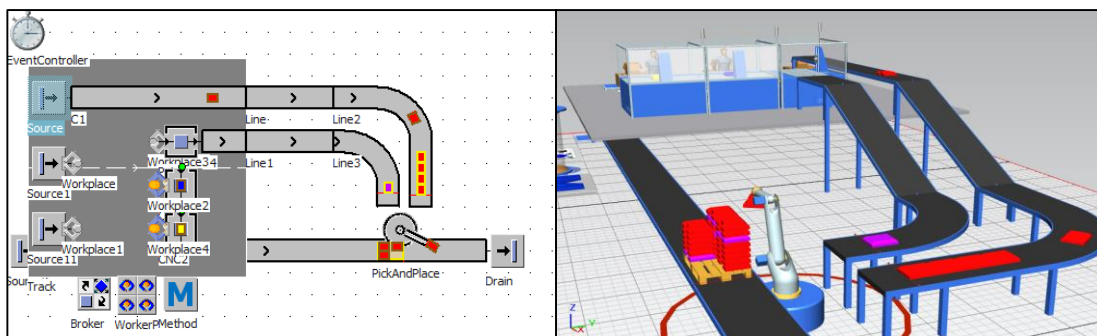
Simuloinnissa on myös haasteensa. Samaan tapaan kuin edellä seuraavaksi on listattuna Robinsonin (2014, 16) sekä Lawin ja Keltonin (1991, 114-116) esittelemiä simuloinnin haasteita.

- Kallis: Simulointiohjelmistot voivat olla hyvinkin kalliita ja myös mahdollisesti tarvittavalla konsultoinnilla on hintansa.
- Aikaa vievää: Simulointimallien luominen vie aikaa sitä enemmän, mitä monimutkaisemmasta järjestelmästä on kyse ja mitä tarkemmin se halutaan mallintaa.
- Stokastisen simuloinnin luonne: Vaihtelu simulaatiossa vaikuttaa siihen millaisia tuloksia saadaan aikaiseksi.

- Mallien luotettavuus: Epätarkat syötetyt tiedot, mallin väärä tarkkuus ja visuaalisesti näyttävä malli voivat saada luulemaan saatuja tuloksia todeksi, joko tarkoituksella tai vahingossa.
- Datan tarve: Jotta simulaatiomalli saadaan aikaiseksi, sitä varten voidaan tarvita paljon dataa.
- Asiantuntemuksen ja kokemuksen tarve: Simulointimallin tekeminen vaatii projektiosaamista, simulointiohjelmisto-osaamista, ymmärrystä statistiikasta, kommunikointitaitoja, ohjelmointiosaamista ja tietoa 3D-mallinnuksesta.

3.3 3D-simulointi

3D-simuloinnissa simulaatio sisältää 3D-visualisoinnin ja animaation, jonka avulla simulointia havainnollistetaan. 2D-simulointi tai ohjelmallinen simulointi usein riittää simulaation tekemiseen ja simulaation avulla ratkottavien ongelmien selvittämiseen kuten pullonkaulat sekä statistiikan kerääminen simulaatiosta. Joissain tapauksissa 3D-visualisointi ja animaatiot tuovat kuitenkin selvää lisäarvoa simuloinnin hyödyntämiseen. 3D-simulaatiota voidaan käyttää havainnollistamaan mm. koneiden, laitteiden ja ihmisten välistä toimintaa, robotin liikeratoja ja pohjapiirroksen toimivuutta. Pohjapiirroksen avulla luotu kolmiulotteinen malli voi auttaa hahmottamaan onko tuotantolinjalle jäänyt esimerkiksi ihmiselle vaarallisia paikkoja tai mahtuuko trukit kulkemaan kuljetettavien tuotteiden kanssa tarvittavissa paikoissa. Uutta tuotantolinjaa tai laitetta myydessä 3D-simulaatio voi auttaa asiakasta ymmärtämään paremmin kokonaisuutta kuin kaaviokuva prosessista. (Rostkowska 2014.) Kuvassa 1 on sama simulaatio esitetty kaksi- ja kolmiulotteisesti.



Kuva 1. Sama simulaatio Tecnomatix Plant Simulationilla tehtynä 2D- ja 3D-versiona

Simulaation statistiikka on sama, mutta kolmiulotteisen simulaation avulla on mahdollista visuaalisesti nähdä montako kerrosta laatikoita robotti on lavannut tai millaisella korkeudella kuljetin on suhteessa ihmisiin. 3D-simulointi tekee simulaation suorittamisesta hitaampaa ja vaatii suurempia konetehoja kuin 2D-simulointi. Siksi onkin tärkeää pohtia simulaatiota tehdessä tuoko 3D-simulointi lisäarvoa simulaation hyödyntämiseen.

3.4 VR simulaatioissa

Osassa tuotannon 3D-simulointia mahdollistavista ohjelmistoista on jo mukana mahdollisuus tarkastella simulaatioita ja toimia niissä interaktiivisesti käyttäen erilaisia virtuaalilaseja kuten HTC Vive ja Oculus Rift. 3D-simulaatio on jo sinällään havainnollinen näytöltä katsottaessa, mutta virtuaalilasien käyttö tuo mukanaan uusia mahdollisuuksia simulaation hyödyntämiseen. Virtuaalilasit mahdollistavat sen, että käyttäjä pääsee ns. sisälle simulaatioon. Tällöin on mahdollista tarkastella esimerkiksi simuloitua robottisolua ja sen toimintaa oikeissa mittasuhteissa tai kokonaista tuotantolaitoista pienoismallina pöydällä. (RobotWorx; Visual Components 2019.)

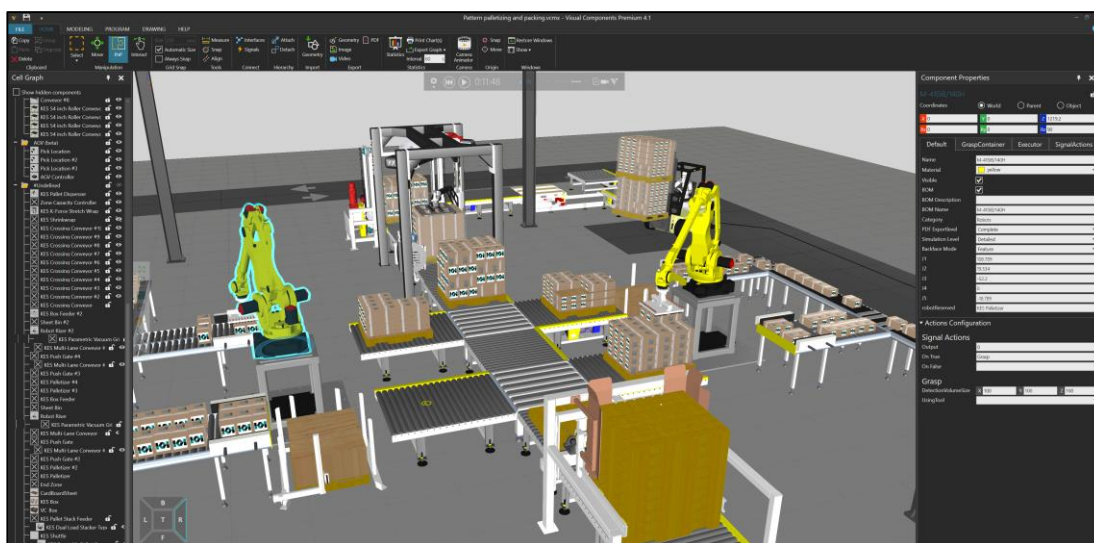
Virtuaalilasien yhteyteen kuuluu yleensä oleellisesti ohjauskapulat, joiden avulla käyttäjä voi liikkua ja toimia interaktiivisesti simuloidussa ympäristössä. Ohjauskapuloiden avulla esimerkiksi RobotStudiossa voidaan opettaa robotille paikkapisteitä ja lisätä komponentteja kuten robotteja ja kuljettimia simulaatioon. Simulointia ja VR:a hyödyntämällä mahdollistetaan esimerkiksi se, että työntekijöitä perehdytetään simulaatiossa tuotantolinjan käyttöön ilman katkoja oikealla tuotantolinjalla tai ennen uuden linjan valmistumista. Erilaisissa vikatilanteissa toimimista voidaan myös harjoitella turvallisesti aiheuttamatta häiriötä oikeaan tuotantoon. Tämä vaatii kuitenkin sen, että simulaatioon on tehty tällaiset ominaisuudet. (RobotWorx; Visual Components 2019.)

3.5 Simulointiohjelmistoja

Simulointiohjelmistoja on tarjolla hyvin monenlaisia ja moneen tarkoitukseen soveltuvia. Eri ohjelmistojen avulla voidaan simuloida mm. markkinoiden käyttäytymistä, asiakasvirtaa kaupassa, materiaalin käyttäytymistä taivutuksessa ja muurahaisten käyttäytymistä. Tässä työssä keskitytään kuitenkin automaatiassa hyödynnettäviin ohjelmistoihin. Tällaisia ohjelmistoja ovat mm. tuotantolinjojen, robottien ja logiikoiden simulointiin tarkoitettut ohjelmistot. Seuraavaksi on esiteltyä lyhyesti muutamia simulointiohjelmistoja, joita hyödyntämällä voidaan tehostaa tuotannon kehittämistä esimerkiksi robottien offline-ohjelmoinnilla tai ratkomalla tuotannon pullonkauloja.

3.5.1 Visual Components

Visual Components (kuva 2) on saman nimisen yrityksen 3D-tehdassimulointiin tarkoitettu ohjelmisto. Ohjelmisto mahdollistaa tehtaiden tuotantolinjojen 3D-mallintamisen ja niiden toiminnallisuuden simuloimisen joustavasti ja laajalla rintamalla. Ohjelmisto sisältää esimerkiksi valmiita rajapintoja ulkoiseen logiikkaan liittymiseksi, laajan kirjaston valmiita laitteita ja robotteja, ohjelmointirajapinnan ja ohjelmistosta on mahdollista räätälöidä versio laitevalmistajan omaan käyttöön soveltuvaksi. (Visual Components n.d.)



Kuva 2. Visual Components -ohjelmisto ja sillä tehty visuaalinen simulaatio

3.5.2 Factory I/O

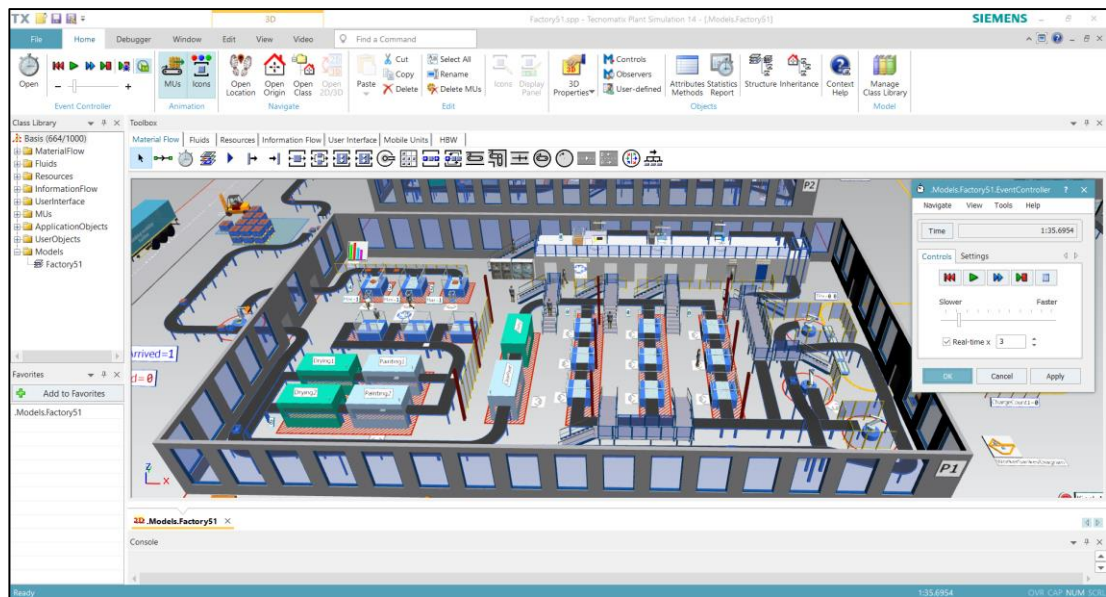
Factory I/O on 3D-simulointiohjelmisto (kuva 3), joka mahdollistaa liittymät useisiin eri valmistajien logiikoihin ulkoisen ohjauksen hyödyntämiseksi simulaatiossa. Ohjelmiston kirjasto sisältää valmiita komponentteja, kuten antureita ja kuljettimia, joiden avulla simulaatio voidaan rakentaa. Ohjelmistossa on mahdollista hyödyntää analogisia ja digitaalisia signaaleja ja aiheuttaa virhetilanteita simulaation komponenteissa. (Factory I/O n.d.)



Kuva 3. Facotory I/O ohjelmiston näkymä

3.5.3 Tecnomatix Plant Simulation

Tecnomatix Plant Simulation (kuva 4) on osa laajempaa Tecnomatixin ohjelmistoperhettä, johon kuuluu Plant Simulationin lisäksi mm. Process Simulate Robotics, Process Simulate Human ja FactoryFLOW. Plant Simulation on tarkoitettu tehtaiden välisten ja tehtaiden tuotantolinjojen materiaalivirtojen simuloimiseen ja optimointiin. Simulaatioita voidaan toteuttaa myös 2D-tilassa silloin, kun 3D ei tuo mitään lisäarvoa simulaatioon. Plan Simulationin kirjastot sisältävät valmiita kuljettimia, prosessiasemia ja muita tarpeellisia komponentteja simulaation toteuttamiseen. (Siemens n.d.)



Kuva 4. Plant Simulation -ohjelmiston näkymä ja 2D-simulaatio 3D-tulostimien tulostusjonojen optimoinnista

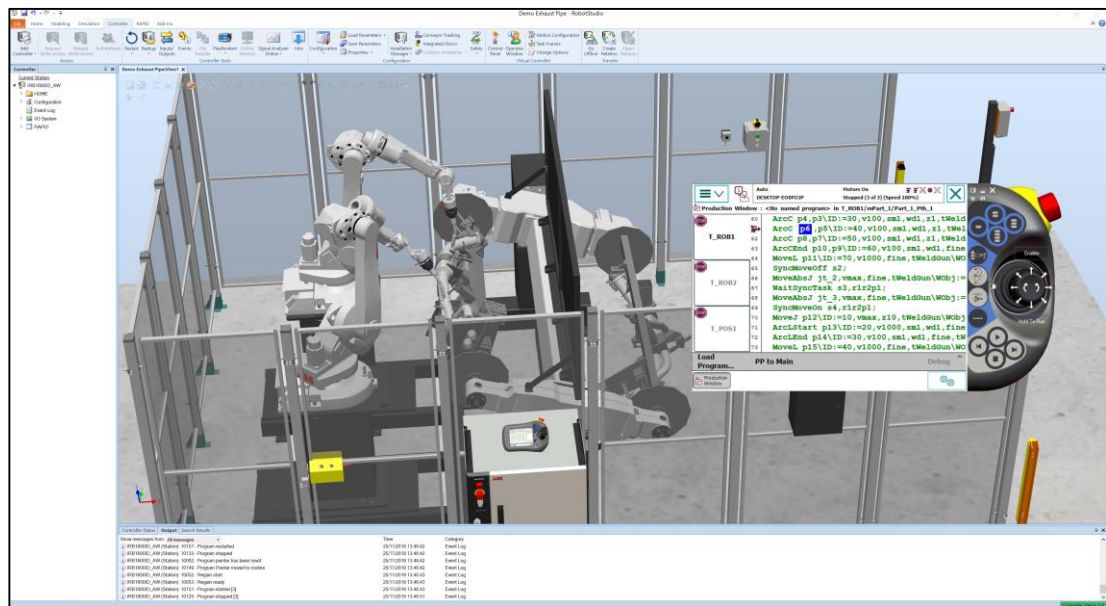
3.5.4 Robottivalmistajien ja robottien simuloimiseen erikoistuneet simulointiympäristöt

Robottivalmistajien simulointiohjelmistojen pääkohteena ovat robotit ja niiden offline-ohjelmointi. Robottien simulointiin keskittyvät ohjelmistot voidaan jakaa karkeasti kahtia siten, että osa keskittyy vain tietyn valmistajan robotteihin ja osa taas tarjoaa mahdollisuuden simuloida ja ohjelmoida useiden eri valmistajien robotteja. Tietyn valmistajan robotteihin keskittyvissä ohjelmistoissa autenttisuus on isossa roolissa ja robotin ohjelmointi yleensä muistuttaa vastaavan oikean robotin ohjelmointia aina virtuaalisen pendantin käyttöä myöden. Ohjelmistot, jotka eivät keskity yhden valmistajan robotteihin, tarjoavat yleensä mahdollisuuden ohjelmoida eri robotteja samalla tavalla riippumatta siitä, miten tai millä ohjelmointikielellä vastaavaa oikeaa robottia ohjelmoitaisiin. (ABB Robotics n.d.; RoboDK n.d.)

3.5.5 ABB RobotStudio

RobotStudio (kuva 5) on ABB:n robottien offline-ohjelmointiohjelmisto. Ohjelmiston avulla voidaan ohjelmoida ja simuloida ABB-robotteja virtuaalisesti, jonka jälkeen robotin ohjelma on mahdollista siirtää oikeaan robottiin. Ohjelmisto sisältää myös

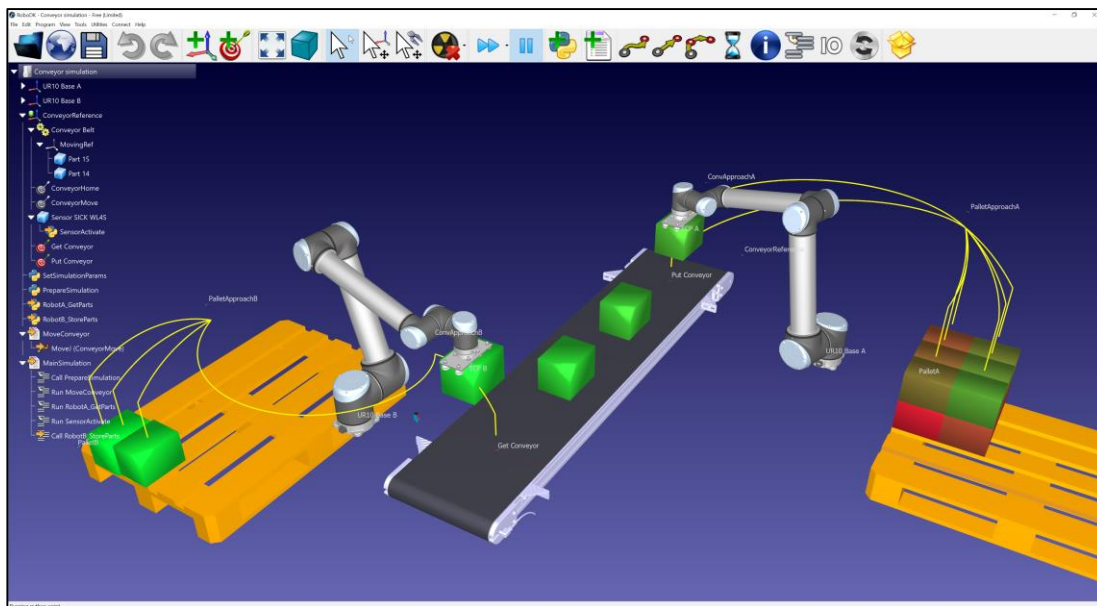
työkalut yleensä robottisolussa tarvittavien laitteiden ja koneiden, kuten työstökone ja kuljetin, toiminnallisuuden mallintamiseen. (ABB Robotics n.d.)



Kuva 5. ABB RobotStudion näkymä, jossa esillä myös virtual flex pendant

3.5.6 RoboDK

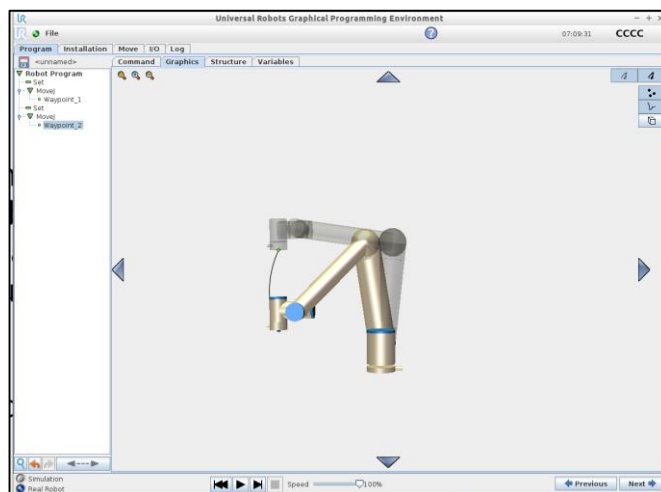
RoboDK (kuva 6) on robottien offline-ohjelmointiin ja simulointiin keskittynyt ohjelmisto. RoboDK on siitä poikkeava ohjelmisto, että se tukee useiden eri robottivalmistajien robotteja ja mahdollistaa tehdyn robottiohjelman kääntämisen robotille. RoboDK:ssa robottien ohjelmointi on samanlaista riippumatta robotin valmistajasta. Ohjelmisto sisältää lisäksi työkalut mm. kuljettimien ja robotin ulkoisten akselien tekemiseksi. (RoboDK n.d.)



Kuva 6. RoboDK ohjelmiston näkymä

3.5.7 Universal Robots URsim

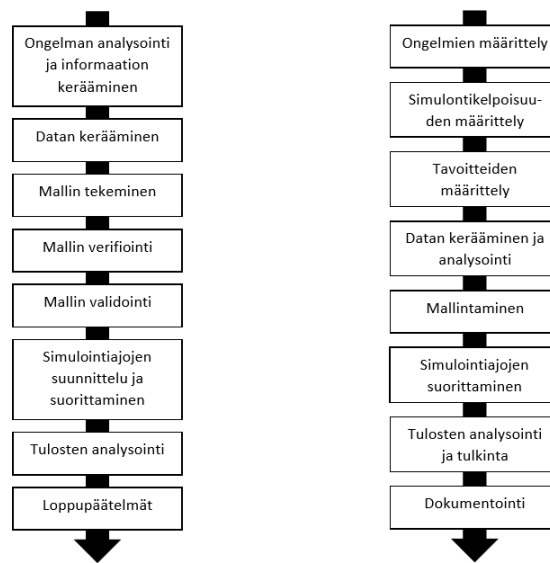
Universal Robotin simuloinnissa ja offline-ohjelmoinnissa voidaan käyttää URsim-ohjelmistoa. Simulointiohjelmisto vastaa oikean robotin ohjelmistoa ja näkymät ovat vastaavat kuin oikean robotin ohjaintabletissa (kuva 7). Simulointiohjelmistossa tehty robottiohjelma voidaan siirtää oikealle robotille. (Universal Robots n.d.)



Kuva 7. Näkymä Universal Robotin käyttöpaneelin simuloidusta näkymästä

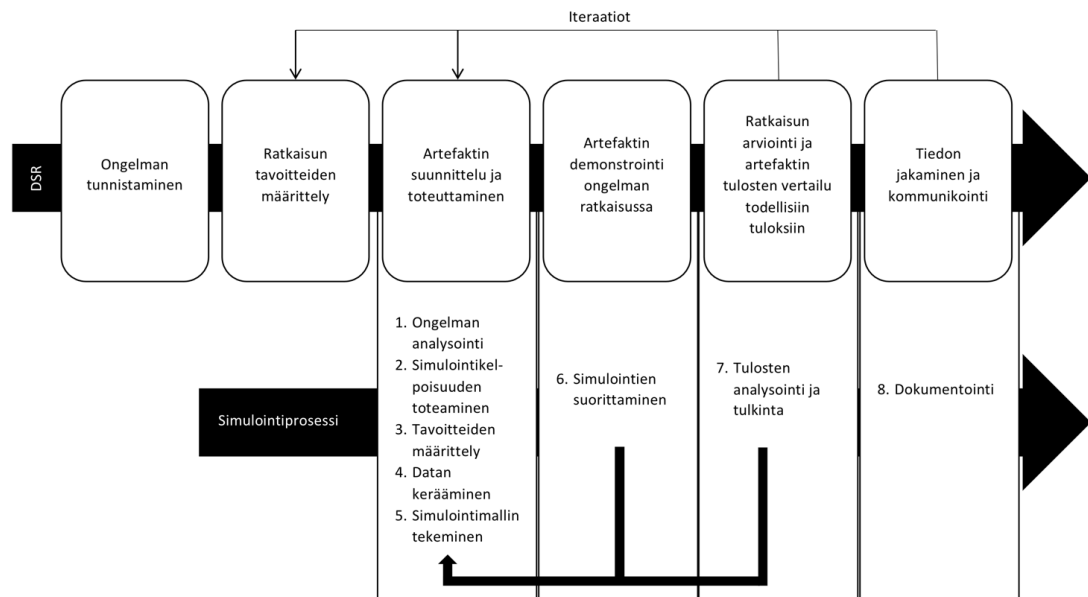
4 SIMULOINTIPROSESSI DESIGN SCIENCE REASEARCHIN MUKAISESTI

Simulointiprosessin vaiheet ja niiden määrä vaihtelee hieman lähteen ja käyttökohteen mukaan. Kuviossa 2 on esiteltynä simulointiin liittyvät vaiheet (8) Altiokin ja Melamedin (2007, 6-7) sekä Bangsowin (2015, 2) mukaan. Näiden esimerkkien pohjalta simulointiprosessi on sulautettu Pefferin (2008) suunnittelututkimuksen mallin sisään.



Kuvio 2. Simulointiprosessi ja sen vaiheet vasemmalla Altiokin ja Melamedin (2007) mukaan sekä oikealla Bangsowin (2015) mukaan

Kuviossa 3 on Pefferin (2008) mallin vaiheet (6), jotka esiteltiin tarkemmin aiemmin ja niiden rinnalle sulautettuna simulointiprosessiin liittyvät vaiheet. Seuraavaksi esitellään, miten simulointiprosessi etenee Pefferin (2008) mallin rinnalla vaiheelta.



Kuvio 3. Simulointiprosessin vaiheet sulautettuna suunnittelututkimuksen vaiheisiin

Kuvion 3 mukaisesti simulointiprosessin ensimmäiset viisi vaihetta liittyvät DSR-prosessin kolmanteen vaiheeseen eli artefaktin suunnitteluun ja toteuttamiseen. Nämä simulointiprosessin viisi ensimmäistä vaihetta pitävät sisällään ongelman analysoinnin, simulointikelpoisuuden toteamisen, tavoitteiden määrittelyn, datan keräämisen ja simulointimallin tekemisen.

4.1 Ongelman analysointi

Aivan kuten suunnittelututkimuksen ensimmäisessä vaiheessa, simulointiprosessin ensimmäisessä vaiheessa on tarkoituksena analysoida itse ongelmaa ja esittää se sopivalla tavalla. Jos suunnittelututkimuksessa on edetty vaiheesta yksi alkaen, niin siinä tehtyä ongelman kuvailua voidaan käyttää pohjana ongelman analysoinnissa simulaatiota varten. Simulaation tekemistä varten täytyy kuitenkin selvittää vielä sellaisia asioita kuin systeemin ja järjestelmäkomponenttien toiminnallisuus, tarpeelliset syötettävät parametrit, parametrien ja muuttujien väliset riippuvuudet, asiakasta kiinnostavat suorituskykymittaukset ja muut simulaatioon vaikuttavat tekijät kuten esimerkiksi käytettävissä olevan tilan rajoitteet. (Altiok ym. 2007, 5.) Ongelmaa analysoitaessa asiakkaan edustajilla ja heidän haastattelullaan on iso merkitys ongelman kuvailussa ja systeemin toiminnallisuutta selvittäessä. Mitä tarkemmin systeemin toiminta pystytään selvittämään, sitä paremmin pystytään simulointimalli tekemään. On kuitenkin mahdollista, että saatavassa tiedossa on eroavaisuuksia

riippuen haastateltavasta. Tämän vuoksi simulaatiomallin tekijän täytyy pystyä haastattelemaan simulaation kannalta oikeita henkilöitä ja toisaalta uskaltaa ehdottaa vaihtoehtoisia versioita toiminnoista ja tapahtumista. (Robinson 2014, 98-100.) Ongelman analysoinnin pohjalta tuloksena voi syntyä prosessikaavioita, hierarkiakaavioita, toimintakuvauksia ja esimerkiksi sopimus tai tekninen kuvaus simulaatiolla tutkittavista ongelmista. (Bangsow 2015, 3; Altiok ym. 2007, 5.)

4.2 Simulointikelpoisuuden toteaminen

Simulointikelpoisuutta todettaessa tarkastellaan simulointimallin tuomaa hyötyä eli simulaation tuomaa arvoa ja myös sitä, onko simulaation toteuttaminen ylipäätään mahdollista tai järkevää. Näitä asioita selvittäessä vaikuttavia tekijöitä ovat esimerkiksi lähtötietojen saatavuus ja tarkkuus, systeemin monimutkaisuus, tarvittavien matemaattisten mallien saatavuus, simulaatiomallin hyödynnettävyys, kustannukset ja käytettävissä oleva aika. (Bangsow 2015, 3; Robinson 2014, 16.)

4.3 Tavoitteiden määrittely

Simulaation tavoitteet voivat olla samat kuin suunnittelututkimuksen vaiheessa kaksi kuvaillut tavoitteet tai niitä voidaan hyödyntää simulaation tavoitteita määriteltäessä. Tavoitteet voidaan tarvittaessa jakaa pää- ja alatavoitteisiin. Tavoitteena voi olla esimerkiksi kannattavuuden kasvattaminen (Bangsow 2015, 3). Bangsow (2015, 3) antaa esimerkkeinä erilaisista tavoitteista prosessiajan minimoinnin, käyttöasteen maksimoinnin, varaston minimoinnin ja toimitusten ajallistamisen. Tavoitteet määrittelevät osaltaan tehtävän simulointimallin laajuuden ja samalla määrittelevät sen, mitä simulaation statistiikassa mitataan (Bangsow 2015, 3).

4.4 Datan kerääminen

Simulointimallin tekemiseksi tarvitaan dataa. Dataa tarvitaan itse simulointimallin tekemiseksi, mutta myös simulointiajojen suorittamiseksi halutulla tavalla. Kerättävä data ja sen määrä riippuvat tehtävästä simulaatiosta. (Bangsow 2015, 4; Robinson

2014, 119-121) Taulukossa 1 on kerättyinä joitain esimerkkejä tarvittavasta datasta Bangsowin (2015) ja Robinsonin (2014) mukaan.

Taulukko 1. Esimerkkejä kerättävästä datasta Bangsowin (2015) ja Robinsonin (2014) mukaan

Datan ylätaso	Datan kuvaus
Tehdasrakennus	Pohjapiirros / CAD kuvat
	Kuljetus-/kulkemisreitit
	Rajoitteet
Tuotantotiedot	Kapasiteetti
	Suorituskyky
	Käyttöaste
Materiaalivirrat	Kapasiteetti
	Kuljettimet
	Saapumis-/lähettämismalli
Ihmis- ja laiteresurssit	Tauot
	Työvuorot ja työaika
	Laitemäärät ja jakautuminen
Tuotetiedot	Osalistat
	Reseptit/Työsuunnitelmat
Työtiedot	Volyymit
	Tilaukset
	Päivämäärät

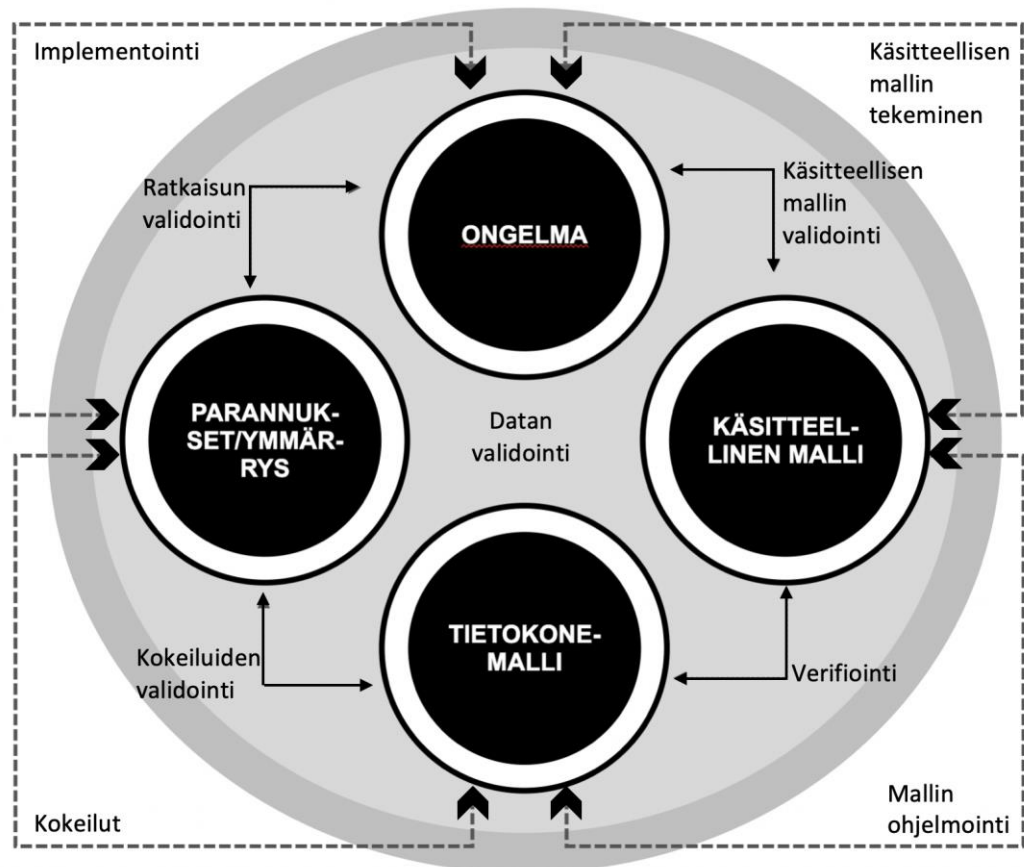
Kerättävän datan laadulla ja tarkkuudella on suuri merkitys simuloinnin onnistumiselle. Epätarkka data tuottaa epätarkat tulokset simulointiajoista. Kaikkea dataa ei välttämättä ole saatavilla ja silloin tulee pohtia miten asian kanssa menetellään. Yksi simulointien vahvuus on mahdollisuus mallintaa vaihtelevuutta esimerkiksi käyttämällä jakaumia tai satunnaisia muuttujia, jolloin voidaan simuloida muuttuvia tilanteita. (Robinson 2014, 119-121.) Kerättävä data voidaan jakaa luokkiin esimerkiksi sen mukaan, mihin data liittyy tai miten se on saatavilla. Bangsow (2014, 3) jakaa datan kolmeen luokkaan: organisaation data, systeemin kuormituksen data ja tekninen data, kun taas Robinsonin (2015, 121) jako kolmeen on tehty datan saatavuuden mukaan: saatavilla, kerättävissä ja ei saatavilla eikä kerättävissä.

Saatavilla olevaa dataa saattaa olla muutenkin jo kerättävä data tai pohja- ja laitepiirrustukset. Kerättävään dataan liittyy yleensä ihmisen päätöksentekoon liittyvä toiminta, korjausajat tai laitteiden vikaantumisaste. Jos dataa ei ole saatavilla, voi se johtua oikean systeemin puutteesta tai siitä, että käytettävän ajan puitteissa ei ehditä saamaan tarpeeksi mitattavia tapahtumia. Tällainen tapahtuma voi olla harvoin vikaantuvan laitteen korjausaika tai asetteen/reseptin vaihto. (Robinson 2015, 121-122.) Kerättyä dataa tarvitaan myöhemmin myös mallin validoinnissa, kun simulointien tuloksia verrataan oikean systeemin tuloksiin (Altiok ym. 2007, 6).

4.5 Simulointimallin tekeminen

Simulointimallin tekemiseen voidaan käyttää simuloiteihin erikoistuneita ohjelmistoja tai simulointimallin tekeminen voi tapahtua pelkästään jonkin ohjelmointikielen avulla (Altiok ym. 2007, 6). Robinsonin (2015) ja Bangsowin (2014) mukana simulointimallin tekemiseen liittyy yleensä kaksi vaihetta: käsitteellinen mallintaminen ja käsitteellisen mallin ohjelmointi käytettävällä ohjelmistolla. Käsitteellisen mallin tarkoituksena on auttaa simulaation mallintajaa ymmärtämään ja hahmottamaan simulaatioon vaikuttavia tekijöitä ja tutkittavaa ongelmaa. Käsitteellinen malli toimii pohjana sille, miten ja millä tarkkuudella ja millä ohjelmistolla simulaatiota lähdetään toteuttamaan. Tässä vaiheessa voidaan vielä tutkia eri mahdollisuuksia ja jopa sitä, onko simulointi sopivin keino. (Robinson 2015, 65-66; Bangsow 2014, 4-5.) Käsitteellisen mallin pohjalta voidaan lähteä tekemään oikeaa simulointimallia valitulla tavalla. Tehtävän mallin ja sen toiminnallisuuden dokumentointiin tulee kiinnittää huomioita, jotta mallin hyödyntäminen olisi mahdollisimman helppoa ja ylipäätään mahdollista. (Bangsow 2014, 5.)

Simulointimallin tekemisen vaiheeseen liittyy oleellisesti simulointimallin verifiointi ja validointi. Käytännössä mallin tekeminen on yksinkertaistettuna kuvion 4 mukainen prosessi.



Kuvio 4. Simulointimallin tekoprosessi Pefferin mallin pohjalta yksinkertaistettuna

Mallin verifiointissa tarkastellaan sitä, onko simulointimalli tehty käsitteellisen mallin pohjalta oikein. Toisin sanoen tarkistetaan, suorittaako malli sille määritellyt tehtävät ja onko se suunnitelmien mukainen. Validointiprosessissa taas tutkitaan, onko tehty malli riittävän tarkka sen käyttötarkoitukseen. (Robinson 2015, 252-255; Altiok ym. 2007, 6.) Validoinnissa voidaan hyödyntää oikean systeemin tuottamaa dataa, jos sellainen systeemi on olemassa. Validin mallin tulosten voidaan olettaa ennustavan oikean vastaavan systeemin tuloksia. (Altiok ym. 2007, 6; Robinson 2015, 172, 252-255.) Robinson (2015, 255) kuitenkin tarkentaa, että vaikka simulointimalli olisi validi johonkin tarkoitukseen, se ei tarkoita, että malli olisi validi johonkin toiseen tarkoitukseen.

4.6 Simulointiajojen suorittaminen

Simulointiajojen suorittaminen liittyy oleellisesti artefaktin demonstroimiseen ongelman ratkaisemisessa. Simulointiajoja suorittamalla pyritään saamaan ratkaisu ongelmaan, jota varten simulointimalli on tehty. Ennen simulointiajojen suorittamista tehdään suunnitelmat tarvittavista ajoista lähtöasetelmineen ja muine tarpeellisine tietoineen. Simulointiajoja toistetaan yleensä useita kertoja riittävän otannan saamiseksi ja tulokset tallennetaan niiden käsittelyä varten kuten keskiarvon saamiseksi. (Altiok ym. 2007, 6; Bangsow 2014, 5.) Simulointiajoja suorittaessa on hyvä tiedostaa, onko simulaatio päättyvä vai ei päättyvä. Päättyvässä simulaatiossa on jokin luonnollinen päättymisajankohta kuten esimerkiksi työvuoron loppuminen tai tuotantoerän loppuminen. Päättymättömässä simulaatiossa käyttäjän tulee lopettaa simulointiajo tai määrittellä sille loppumishetki. Päättymätön simulaatio voi olla esimerkiksi sairaalan 24H-päivystyksen simulointi. (Robinson 2015, 168.)

4.7 Tulosten analysointi ja tulkinta

Tehtyjen simulointiajojen tulosten analysointi ja tulkinta on oleellinen osa suunnittelututkimuksen viidettä askelta, koska tässä tapauksessa tehtävänä artefaktina toimii simulointimalli. Suunnittelututkimuksen viidennessä vaiheessa saatuja tuloksia vertaillaan oikeisiin tuloksiin ja arvioidaan ratkaisun toimivuutta. Samaan tapaan simulointiajojen tuloksia tulee vertailla oikeisiin tuloksiin ja analysoida niihin vaikuttavia tekijöitä. Tuloksia analysoitaessa tulee huomioida myös simulaation käyttäytymisen vaikutus tuloksiin. Tällaisia tuloksiin vaikuttavia tekijöitä voivat olla esimerkiksi viive mallin käynnistymisessä tai mallin alustaminen haluttuun tilaan simuloinnin alussa. Esimerkiksi aletaanko simulaation alussa täyttää tuotantolinjoja vai ovatko ne jo valmiiksi täytettyjä. Valittu käyttäytyminen riippuu tehtävän simulaation luonteesta. (Bangsow 2014, 5; Robinson 2015, 175.)

4.8 Dokumentointi

Suunnittelututkimuksen ja simulointiprosessin viimeinen vaihe on dokumentointia ja tiedon jakamista tehdystä innovaatiosta. Simuloinnin kannalta dokumentointi on

erittäin oleellinen osa prosessia. Dokumentoinnin avulla simulaation mallintaja muistaa, mitä on tehty, simulaation käyttäjät osaavat käyttää mallia, asiakas ymmärtää mallin sisäistä toimintaa ja mallin kehittäminen on tulevaisuudessa helpompaa. Dokumentointia tarvitaan myös mallin verifiointissa ja validoinnissa. (Robinson 2015, 161-162; Bangsow 2014, 6.) Robinson (2015) ehdottaa mallin dokumentointiin kolmen tyyppistä dokumentointia: mallin dokumentointi, projektin dokumentointi ja käyttäjädokumentointi, joiden sisältöä on listattu alla olevassa taulukossa esimerkinomaisesti, Robinsonin (2015) mukaan.

Taulukko 2. Dokumenttityypit ja niiden sisältöä Robinsonin (2015) mukaan

Dokumenttityyppi	Sisältö
Mallin dokumentointi	Käsitteellinen malli
	Mallin suunnitelma
	Nimeämiskäytäntö
	Ohjelmakoodin kommentointi
Projektin dokumentointi	Projektin määrittely
	Tapaamiset
	Verifiointin ja validoinnin suoritus
	Suoritetut simulointiajot
Käyttäjädokumentti	Loppuraportti
	Projektin määrittely
	Simulointimallin käyttäminen
	Tulosten tulkitseminen

Simulointiprosessissa tehtyjä dokumentteja, varsinkin mallin dokumentoinnin osalta, voidaan käyttää kommunikoitaessa tehdystä innovaatiosta ja muiden sitä arvioiessa. Dokumenttien avulla ulkopuoliset voivat tutustua tehtyyn malliin, sen tarkoitukseen ja toiminnallisuuteen sekä arvioida sen pätevyyttä.

5 ESIMERKKEJÄ TUOTANNONKEHITTÄMISMUODOISTA, JOIHIN SIMULOINTIA KANNATTAÄ HYÖDYNTÄÄ

Simulaatioita voidaan tehdä moniin eri tarkoituksiin. Simulaation hyödyntämisen tavoitteena tai ratkaistavana ongelmana voi olla esimerkiksi myynnin kasvattaminen, tuotannon optimointi, layout-suunnittelu tai uuden laitteen ohjelmointi ja kokeileminen etukäteen ennen asennusta ja hankintapäätöstä. Simulaation käyttötarkoitus yleensä ohjaa valitsemaan jonkin tietyn simulointiohjelmiston, joka sisältää tarvittavat ominaisuudet simulaation toteuttamiseksi. Esimerkiksi robotin ohjelmoinnin apuna toimii paremmin robotin valmistajan oma ohjelmisto kuin logistiikkasimulointiin tarkoitettu ohjelmisto. Simulaation käyttötarkoitus ohjaa myös itse simulaation tekemisen prosessia ja siihen liittyviä valintoja, kuten simulaation toiminnallisuuden tarkkuutta, miten laajasti tuotantoa simuloidaan ja millaisia rajapintoja simulaatioon tarvitaan, jos niitä tarvitaan. Seuraavaksi esitellään eritasoisia tuotannonkehittämismuotoja, joissa simulointia voidaan hyödyntää. Samalla on nostettu esiin simulointiin liittyviä huomioita. Näiden huomioiden lisäksi kannattaa pitää mielessä luvussa 3.2 esitetyt simuloinnin edut ja haasteet.

5.1 Laitteiden uusiminen ja lisääminen

Laitteita uusittaessa tai lisääessä voidaan simulointia hyödyntää monella tapaa. Simulaatio voidaan tehdä laitteen tulevan käyttäjän puolesta tai sitten se voi olla laitteen toimittajan tarjoama. Seuraavaksi on listattuna muutamia tapoja simulaation hyödyntämiselle tässä tapauksessa.

- Tuotantokapasiteetin selvittäminen
- Investointipäätöksessä
- Laitteen sopivuuden selvittäminen
- Toiminnallisuuden suunnittelu/esittely
- Ohjelmointi etukäteen
- Käyttökoulutus

Simulaation tarkkuus ja laajuus riippuu paljolti käyttökohteesta, mutta suppeimmissa tapauksissa riittää pelkän uuden laitteen simulointimalli esimerkiksi koulutus- tai esittelykäytössä. Tuotantokapasiteettia selvitetessä tuotantoa voidaan joutua simuloimaan laajaltikin varsinkin, jos noussut tuotantokapasiteetti voi aiheuttaa pullonkauloja ja ne halutaan ottaa huomioon. Laitteen ohjelman tekeminen ja testaaminen etukäteen vaatii tarkkaan tehdyn simulointimallin laitteen toiminnasta ja ominaisuuksista, jotta se vastaisi mahdollisimman hyvin vastaavaa oikeaa laitetta vrt. oikean robotin ohjelmointi simulaatiossa. Tällöin kuitenkin muutokset laitteen ohjelmaan voidaan testata etukäteen ja myöhemmin myös ilman, että tuotannossa olevaan oikeaan laitteeseen kosketaan muutoksia tehdessä.

5.2 Uuden linjan/solun/laitteen tekeminen

Uutta tuotantolinjaa tai solua tehtäessä tai kehitettäessä on helpompaa tehdä valintoja ja päätöksiä, jos tukena on jotain millä perustella niitä. Simuloinnin hyödyntämisen etuja on mm. visuaalisuus, joustavuus ja ratkaisujen vertaileminen samanaikaisesti. Eri ratkaisuja voidaan vertailla esimerkiksi pohjaratkaisun, suorituskyvyn ja kustannusten perusteella. Pohjaratkaisua voidaan hioa siten, että tarvitaan vähemmän kuljettimia tai pienempi ja halvempi robotti riittää, kun laitteiden sijoittelulle löytyy parempi ratkaisu. Suorituskykyä voidaan mitata eri robottien tai laitteiden välillä ja myös turvaratkaisuihin voidaan kiinnittää huomiota jo tässä vaiheessa esimerkiksi turvatojen sijoittelulla tai tarkastelemalla turvaetäisyyksiä. Tehtäessä 3D-simulaatiota kannattaa huomioida, että osassa simulointiohjelmistoja on mahdollisuus tuoda CAD-malleja (Computer Aided Design) pohjaksi laitteille ja rakentaa niihin laitteen toiminnallisuus. Tämä nopeuttaa huomattavasti simulointiprosessia. Tehtävä malli voidaan joissain tapauksissa jakaa muiden hyödynnettäväksi simuloinneissa. Tällöin rajapintoihin ja dokumentaatioon kannattaa kiinnittää erityistä huomioita, jotta malli olisi mahdollisimman helposti käytettävä.

5.3 Pohjaratkaisujen vertailu

Pohjaratkaisuja simuloimalla voidaan optimoida mm. tilantarve, tuotevirrat ja varastopaikat. Pohjaratkaisua simuloitaessa kannattaa hyödyntää olemassa olevia

piirrustuksia rakennuksista ja laitteista. Valmiit CAD-kuvat ja piirrustukset nopeuttavat simulointimallin rakentamista ja laitteiden sijoittelua simulointimalliin pohjaratkaisujen vertailua varten. Pohjaratkaisuja simuloitaessa ei välttämättä jokaista laitetta ja solua tarvitse mallintaa toiminallisuuksineen vaan usein pelkät materiaalivirrat parametreineen riittää. Simulaatiosta saadaan tällöin tehtyä kevyemmin ajettava ja työmäärä simulaation tekemiseen on pienempi. Tarvittaessa kolmiulotteista näkymää esimerkiksi havainnollistamaan eri tasoissa sijaitsevia linjoja, voidaan pelkät staattiset 3D-mallit tuoda pohjaksi simulaatiolle.

5.4 Tuotannon optimointi

Tuotannon optimointia on monen tasoista ja suurin osa simuloinneista on jollain tavalla asioiden optimoimista. Joissain tapauksissa tuotannon optimointi tarkoittaa tuotteiden valmistusjärjestyksen lajittelua resurssien tai ajan kannalta tehokkaimpaan järjestykseen. Jossain toisessa tapauksessa se voi tarkoittaa työntekijöiden määrän optimointia tuotannon eri vaiheissa. Seuraavaksi on listattu muutamia asioita, joita simuloimalla voidaan optimoida.

- Robotin/laitteiden liikeradat
- Käyttöasteet
- Tuotantojärjestys
- Laitevalinnat
- Resurssien käyttö
- Tilojen käyttö
- Varastomäärät

Jotkin simulointiohjelmistot pitävät sisällään valmiita työkaluja asioiden automaattiseen optimointiin. Tällaisia työkaluja käyttämällä osa optimointitapauksista on huomattavasti helpompia toteuttaa kuin ohjelmoimalla optimoinnin toiminnallisuus erikseen. Optimointityökalujen käytössä on kuitenkin oltava tarkkana sen kanssa, mitä ollaan optimoimassa ja millä keinoin. Pahimmassa tapauksessa optimoinnin tulos on, että asettamalla kuljettimien nopeus äärettömäksi tai suorittamalla työvaiheet 100 työntekijän voimin saadaan paras tulos. Optimoinneissa tulee kiinnittää huomiota

myös simulointimallin suorituskykyyn. Tässä kohdassa onkin hyvä verrata varsinkin 2D- ja 3D-simulointeja ja jopa taulukkolaskentaohjelmistoja. Laaja 3D-simulaatio voi tehdä simulointiajoista hitaita ja raskaita ajettavia sen lisäksi, että se on yleensä työläämpi tehtävä. Samoihin tuloksiin, jotka 2D-simulaatiolla saataisiin sekunneissa, 3D-simulaatiolla voi mennä päiviä.

5.5 Case – Sahasimulaatio

Sahasimulaatio toteutettiin eräälle keskikokoiselle sahalle heidän tuotannonkehittämisen investointipäätöstensä tueksi. Tilaajan määrittelemä ongelma, johon simulaatiolla haettiin ratkaisua, oli tuotannon laajentuessa pullonkaulaksi muodostunut lautatavaran pituus- ja laatulajittelulinja. Tuotantomääriä oltiin edelleen kasvattamassa, mutta investoinnille kaivattiin varmennusta kahdessa asiassa; nykyisten tuotantotilojen riittävyys ja millainen lajittelulinja tulisi rakentaa, jotta se vastaisi tulevaisuuden tarpeisiin.

Sen hetken tilanteessa lajittelulinjalla oli paljon manuaalisia työvaiheita, jotka vaativat ihmisresurssien sitomista kyseiselle linjalle sitä enemmän, mitä nopeammin linjaa ajettiin. Lajittelulinjan hitaus oli myös yksi este tuotantomäärien kasvattamiselle. Linjan teoreettinen maksiminopeus oli noin 15 lautaa minuutissa, mutta käytännössä ajonopeudeksi oli muotoutunut 7 lautaa minuutissa. Sen oli todettu olevan resurssien ja häiriöiden kannalta optimaalinen nopeus. Lajittelulinjalla pystyttiin lajittelemaan laudat 9 lokeroon niiden pituuden ja laadun perusteella. Lokeroihin lajitellut laudat ihminen latoi lokeron pohjalla olevalle kärrylle. Lokeron täytyessä linja pysäytettiin ja lokeron kärry vedettiin ulos lautapaketin sitomista ja muovitusta varten. Tämän jälkeen kärry tyhjättiin trukilla, työnnettiin takaisin lokeroon ja lajittelulinja voitiin käynnistää uudelleen. Tehokkaamman lajittelulinjan avulla tuotantomääriä voitaisiin kasvattaa ja henkilöresursseja ohjata mielekkäämpiin työtehtäviin.

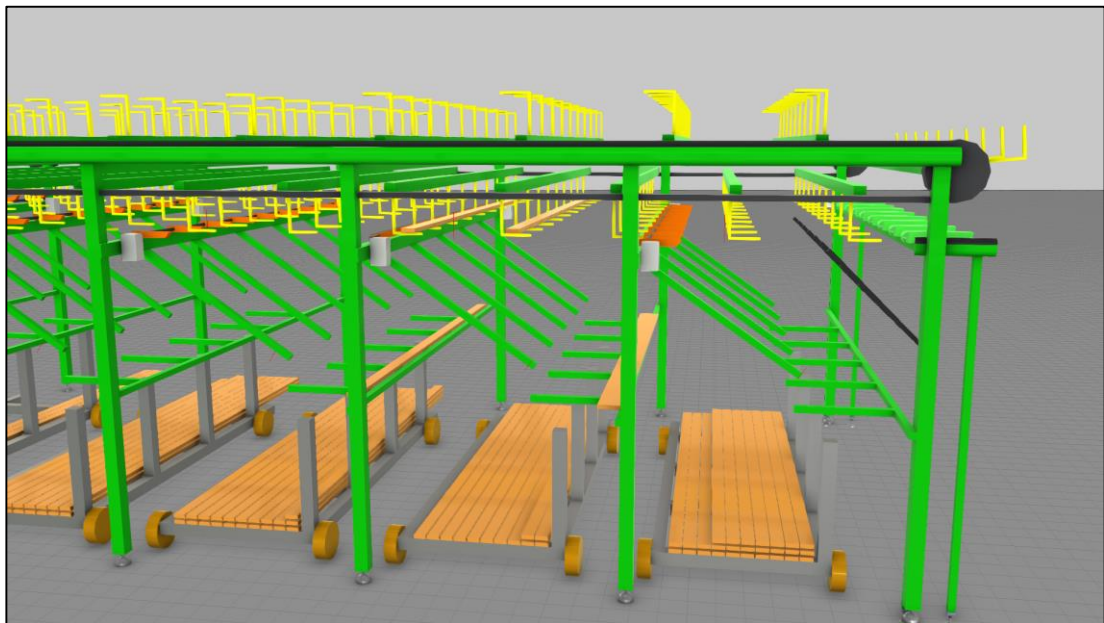
Tavoitteeksi casessa muodostui mahdollisuus vertailla silloista tilannetta ja heille soveltuvinta ratkaisua tilojen riittävyyden ja tuotantomäärien näkökulmista. Vaihtoehtoja lajittelulinjalle oli jo selvitelty tilaajan toimesta, mutta he olivat avoimia myös muille ehdotuksille. Tilaaja esitti mahdollisiksi vaihtoehtoiksi nykyisen linjan

ja hallin korottamista, jolloin lokeroissa olevat kärret voitaisiin korvata kuljettimella tai kuljettimilla tai kokonaan uuden linjan hankkimista. Mahdollisia muita ratkaisuja selvitettiin eri kontaktien kautta niin sahalinjojen toimittajilta kuin muilta sahoilta. Hyvin nopeasti kävi selväksi, että tilat eivät olisi sellaisenaan riittävät, vaan hallia olisi jatkettava tai rakennettava uusi. Tilaajan kanssa päädyttiin siihen, että heille sopivin ratkaisu olisi todennäköisesti käytetyn lajittelulinjan hankkiminen ja sen päivittäminen nykypäivän tasolle. Tätä vaihtoehtoa tulisi kuitenkin pystyä vertailemaan sen hetkiseen tilanteeseen ja sen hetkisen linjan muokkaamiseen. Tämän vuoksi päädyttiin tekemään simulaatiot jokaisesta vaihtoehdosta niiden vertailemiseksi.

Käsiteltävä ongelma oli hyvin tiedossa, mutta seuraavaksi oli tutkittava ongelmaa simuloinnin näkökulmasta. Simulointia varten tilaaja toimitti kuvaukset lajittelulinjan toiminnasta. Linjan toimintaa käytiin seuraamassa ja videoitiin sekä linjan käyttäjiä haastateltiin. Ainoa isompi huolenaihe oli se, että mistään käytössä olevasta linjan koneesta ei ollut mitään piirustuksia tai CAD-kuvia. Selvitysten pohjalta pystyttiin kuitenkin tekemään päätös siitä, että simuloinnin käyttäminen olisi mahdollista ongelmaa ratkaistaessa. Tavoitteet, joihin simulaatiolla pyrittiin hakemaan ratkaisua, tulivat suoraan jo aiemmin tehdystä ongelman tunnistamisesta ja analysoinnista. Simulaation tulisi varmentaa investoinnin kannattavuutta tuotantomäärien osalta sekä auttaa tuotantotilojen laajennusta koskevilla kysymyksillä. Simulaatioiden tarkkuuden ei tarvitsisi olla aivan täydellisesti oikeaa tilannetta vastaa vaan auttaa tilaajaa hahmottamaan eri vaihtoehtoihin liittyviä asioita. Ohjaavina mittareina toimivat tuotantomäärät ja tilojen mitoitus. Tilojen mitoituksen ja havainnollisuuden vuoksi simulaatio päädyttiin tekemään 3D-simulaationa.

Simulaatioiden tekemistä varten tarvittiin tarkempaa dataa nykyisistä tuotantomääristä, ajonopeuksista, lautojen jakaumasta pituuksien ja laatuojen osalta, koneiden ja tilojen mitoista. Tässä tapauksessa päädyttiin siihen, että tilaaja hoitaa tarvittavan datan keräämisen ja toimittamisen. Koneiden mallintamista varten tilaaja toimitti kuvia ja niihin liitettyjä mittatietoja. Materiaalivirtoja varten tilaajalta tuli taulukko sisältäen yhden työvuoron aikana lajiteltavat laudat toteutuneen mukaan. Ajonopeuksia varten kelloitettiin lautojen siirtymistä linjalla sekä videoitiin linjaa eri kohdista. Tilaaja mitoitti hallin laseretäisyysmittarilla ja toimitti tarvittavat mitat hallin mallintamista varten.

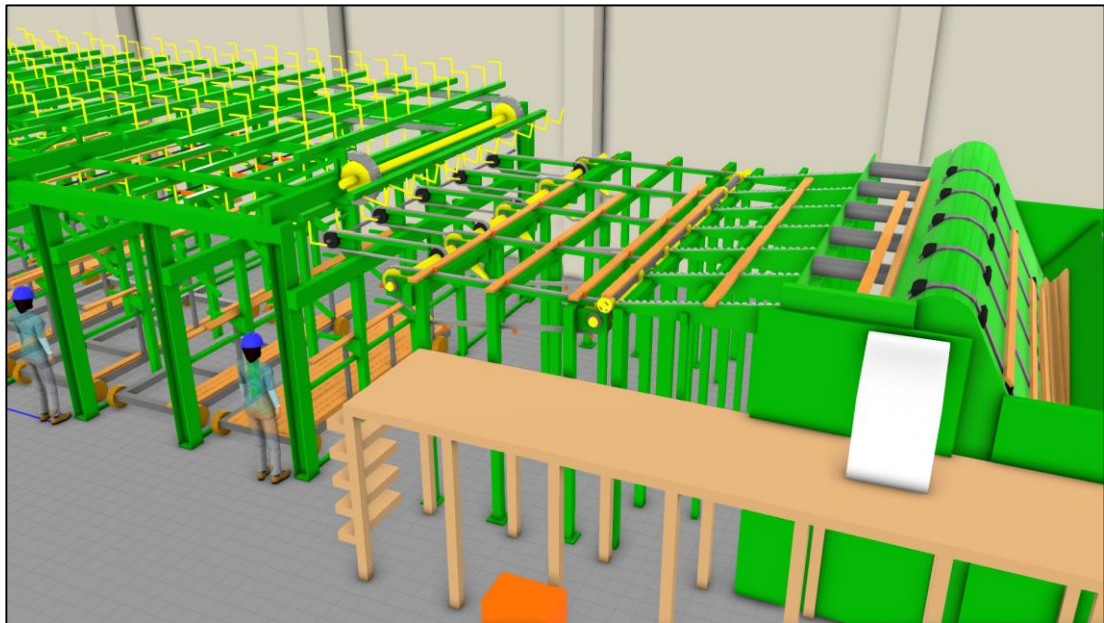
Kerätyn datan ja muiden lähtötietojen avulla rakennettiin simulaatiosta käsitteellinen malli auttamaan vielä tilanteen hahmottamisessa, mutta myös varmistamaan, että simulaation tekeminen olisi mahdollista. Simulaation tekemiseen valikoitui Visual Components -simulointiohjelmisto sen käytettävyyden ja ominaisuuksien vuoksi. Visual Components mahdollisti 3D-simulaation tekemisen sekä erilaisten komponenttien tekemisen komponenttikirjastoon niiden käyttämiseksi aina tarvittaessa. Tässä kohdassa simulointiohjelmistolla mallinnettiin karkeasti myös yksi lajittelulinjan toiminnan kannalta oleellisista komponenteista (kuva 8). Samalla tutkittiin sen toiminnallisuuden rakentamista. Tämä sen vuoksi, että muiden tarvittavien komponenttien toiminnallisuuden tekeminen käytettävässä ohjelmistossa oli jo ennestään tuttua.



Kuva 8. Karkea toiminnallinen malli lajittelulinjan haravakuljetinkomponentista Visual Components -ohjelmistossa

Käsitteellisen mallin ja kerätyn datan pohjalta simulaation tekeminen eteni aluksi kaavalla: komponenttien 3D-mallien luominen koneista, komponenttien toiminnallisuuden rakentaminen, rajapintojen lisääminen ja komponentin dokumentointi myöhempää käyttöä varten. Samalla rinnalla kulki komponenttien mallien vertailu käsitteelliseen malliin ja oikeaan koneeseen. Yleisimpien kuljetintyyppien tekeminen simulointimalliin oli vähiten aikaa vievä osuus toisin kuin harvinaisemmat tappikuljetin ja kiramo. Tappikuljettimessa ja kiramossa laudat kulkevat kuljettimella erillisen kuljettimen mukana liikkuvan ulokkeen, metallitapin

tai metallipalikan, mukana. Näiden toteuttaminen vei suhteessa huomattavasti enemmän aikaa kuin perinteisten kuljettimien, koska niistä tehtiin simulaatioon useita eri versioita parhaan ratkaisun löytämiseksi kevyen toiminnan ja toiminnallisuuden osalta. Komponenttien valmistuttua simulaatiosta koottiin kuvan 9 mukainen ensimmäinen kokonainen lajittelulinjan malli.



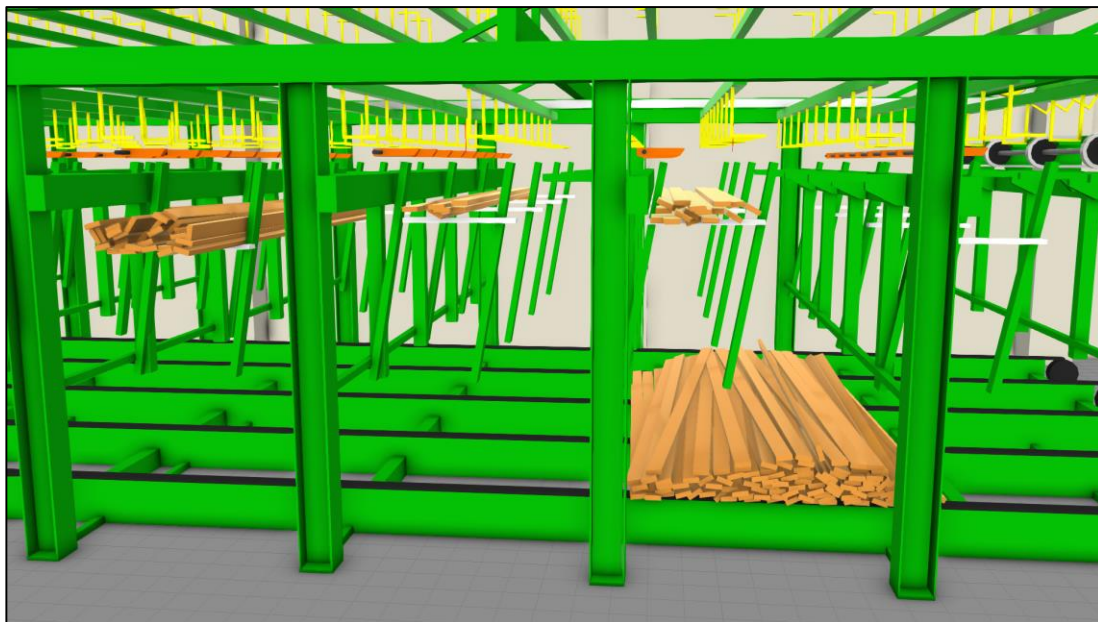
Kuva 9. Ensimmäinen simulointimalli lajittelulinjasta Visual Components -ohjelmistossa

Mallin kokoaminen komponenteista vaatii ensinnäkin niiden sijoittelun oikeille paikoilleen suhteessa toisiinsa, mutta myös niiden rajapintojen yhdistämistä ja toiminnallisuuksien ohjaamisen tekemistä. Komponentit voivat sisältää kaiken niiden toiminnallisuuteen liittyvän ohjelman tai sitten ne voidaan tehdä ohjattavaksi esimerkiksi muista komponenteista. Mallin komponenttien ohjaaminen toteutettiin keskitetysti ohjauspaneelikomponenttiin tehtyjen ohjelmakoodien avulla. Tämä tehtiin siksi, että linjaston toiminnan muuttaminen olisi helpompaa tehdä keskitetysti ja simulaation parametrit voitiin syöttää yhteen paikkaan. Kokonaista mallia muokattiin vielä toiminnoiltaan muutama kertaan, jotta se saatiin vastaamaan riittävän hyvin käytössä olevaa lajittelulinjaa.

Vertailtavien lajittelulinjojen simulaatioiden piti aluksi olla sen hetkisen linjan lokeroiden kärryjen muutos kuljettimiksi ja uuden hankittavan linjan simulointi. Tämä kuitenkin muuttui kahdesta syystä. Ensinnäkin tilaajan kanssa ensimmäisellä

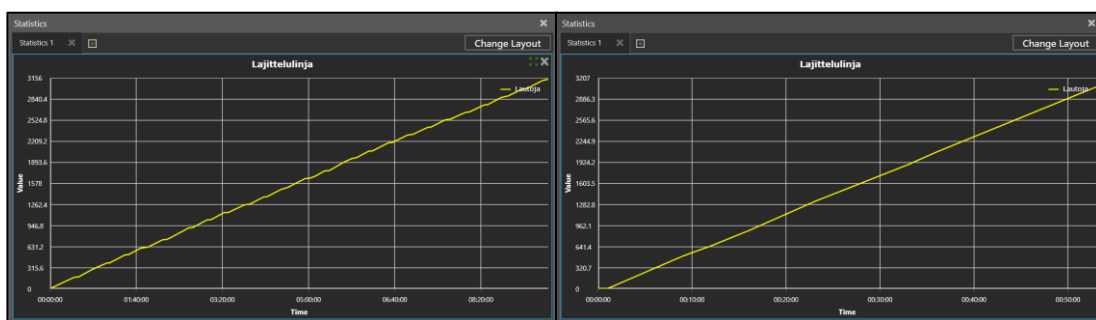
simulaatiolla tehdyt kokeilut ja alustavat koneiden sijoittelut muutostöitä varten osoittivat tarvittavien muutosten olevan jopa laajempia ja haastavampia kuin uuden linjan hankinta. Toiseksi tilaaja kiinnostui simulointiohjelmistosta löytyvästä mahdollisuudesta käyttää fysiikkaominaisuuksia simulointimallin sisällä. Fysiikkaominaisuuksilla laudat voitaisiin saada käyttäytymään ”kuin oikeasti”. Tilaajaa kiinnosti tämä, koska se voisi mahdollistaa tulevaisuudessa esimerkiksi erilaisien häiriötilanteiden simuloimisen realistisemmin. Jotta aluksi sovittu työmäärä pysyisi samana, tehtävien simulaatioiden osalta päädyttiin ratkaisuun, jossa mallinnetaan mahdollisesti hankittavan uuden lajittelulinjan loppupään toiminnallisuus sekä se ja alkuperäinen simulaatio myös fysiikkaominaisuuksia käyttäen. Simulaatioita ilman fysiikkaominaisuuksia käytettäisiin tuotantomäärien vertailuun ja fysiikkaominaisuudet sisältäviä simulaatioita taas tulevaisuuden mahdollisuuksien tutkimiseen.

Kaikki tilaajalle sopivimmat uudet lajittelulinjat olivat toiminnaltaan ja rakenteeltaan hyvin samankaltaisia. Lokerot sijaitsivat korkeammalla, niitä oli paljon enemmän ja niiden alla kulki kuljetin, jolle laudat lokeroista voitiin laskea lokeron täytyessä. Sen jälkeen kuljetin vie laudat eteenpäin erillistä ladontaa varten. Linjaa ei myöskään tarvitse pysäyttää, koska lokeroita on riittävästi ja jokaista laatua sekä mittaa varten voi olla varattuna hetkellisesti kaksi lokeroa. Tehtävän simulaation pohjana käytettiin jo tehtyä haravakuljetinta ja sen toiminnallisuus ja rakenne muutettiin vastaamaan mahdollisesti hankittavaa linjaa (kuva 10).



Kuva 10. Toiminnallisuuksiltaan ja rakenteeltaan päivitetty haravakuljetin sekä sen alapuolella kulkeva keräilykuljetin, jolle täysi lokero tyhjenetään ladontaan kuljettamista varten

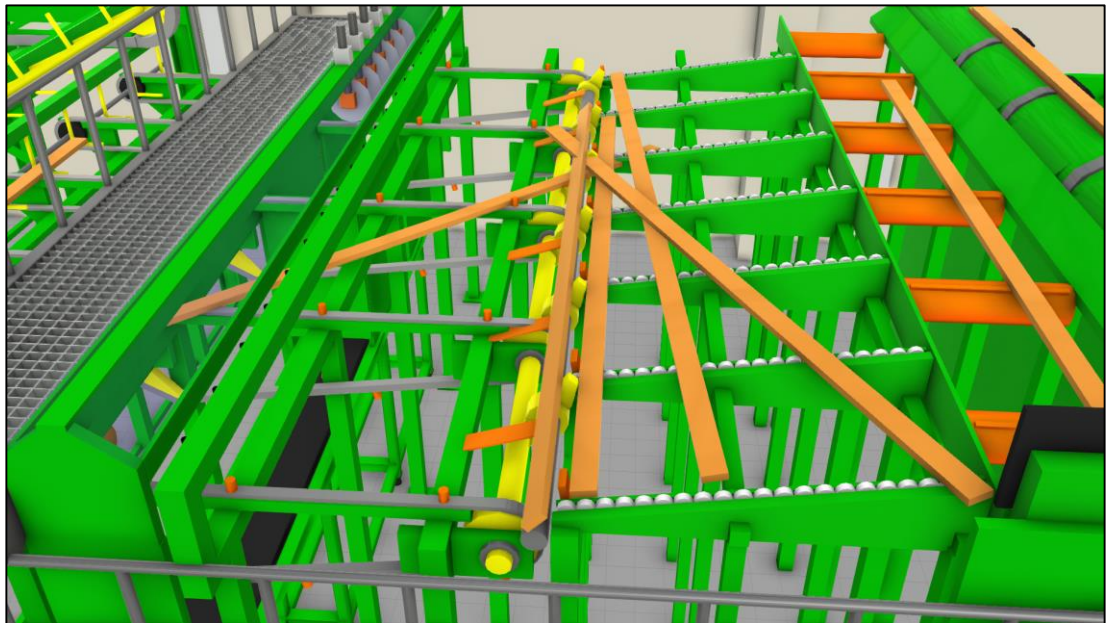
Lajittelulinjojen vertailua varten suoritettiin simulointiajoja tilaajan toimittamien työvuorojen aikana ajatun tuotannon tietoja sisältävien taulukoiden avulla. Mittarina toimi aika, joka kului tuotantoerän ajamiseen. Kuviossa 5 on esitettyä kuvaajat yhdestä simulointiajosta alkuperäisellä simulaatiolla ja muutetulla.



Kuvio 5. Vasemmalla alkuperäisen simulaation mukaan tehty kuvaaja tuotantoerään kuluneesta ajasta ja oikealla uuden mukaan tehty kuvio

Kuvaajista näkee uuden lajittelulinjan olevan paljon tehokkaampi. Tämän pystyi ennakoimaan jo ilman simulaatiotakin, koska uuden linjan normaali ajonopeus on noin 70 lautaa minuutissa ja pysäytyksiä ei tarvita. Tilaajan mielestä simulaatio auttoi kuitenkin oleellisesti tilanteen hahmottamisessa ja toi lisäksi ymmärrystä simulointien hyödyntämisestä tuotantoa kehitettäessä. Simulaatiossa tehtiin vielä komponenttien siirtelyä ja kokeiluja nykyisen hallin käyttämiseksi. Näiden pohjalta tilaajalle tuli

varmuus uuden hallin tarpeesta. Tehdyt fysiikkaominaisuuksia sisältävät simulaatiot osoittivat mallin rakentamisen muuttuvan oleellisesti verrattuna tilanteeseen, jossa fysiikkaominaisuuksia ei käytetä. Komponenttien rakenne tulee miettiä uusiksi, mutta toisaalta jotkin toiminnallisuudet on helpommin toteuttavissa. Kuvassa 11 on esitettyä häiriötilanne linjalla, kun laudat ovat päässeet muodostamaan suman.

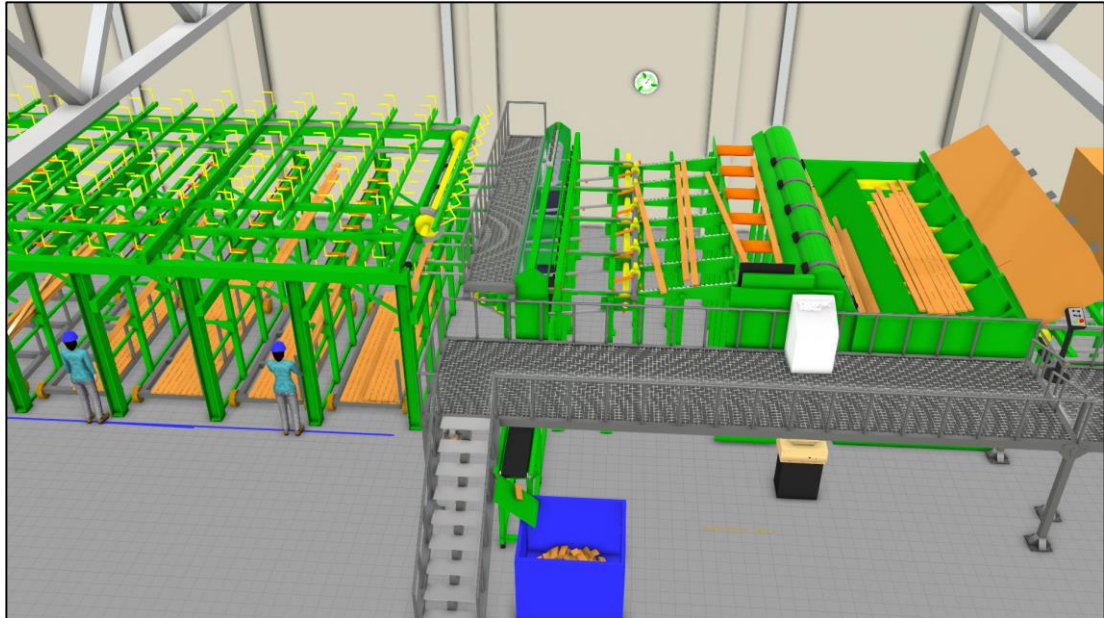


Kuva 11. Suma tai tukos lajittelulinjalla

Fysiikkaominaisuuksia hyödyntävät simulaatiot olivat tilaajan mielestä visuaalisesti näyttäviä ja voivat mahdollistaa uusia käyttökohteita. Ongelmaksi näiden osalta muodostui kuitenkin vaadittava tietokoneen teho ja simulointiohjelmiston toiminta fysiikkaominaisuuksia käytettäessä, mikä johti usein simulaation lähes täydelliseen pysähtymiseen tai ohjelmiston kaatumiseen. Vaikka tehdyt simulaatiot eivät täysin vastanneet todellisuutta, olivat ne valideja käyttökohteeseensa. Simulaatioiden tuoma lisäarvo oli tilaajan mukaan merkittävä investointia mietittäessä ja uusia ideoita kehitettäessä.

Simulaatiosta, niiden tekemisestä ja käytöstä tehtiin dokumentit tarvittavilta osin. Dokumentointiin sisältyi mm. videot simulaatiosta, layout-piirrokset ja statistiikka tilaajalle, ohjeistoa fysiikkaominaisuuksien käyttämiseen sekä uudentyypisten komponenttien tekemiseen simulaatioiden mallintajille. Kertynyttä uutta suunnittelutietoa jaettiin simulaatioita tekevien tahojen kanssa. Näitä olivat erityisesti

toiset ammattikorkeakoulut ja opiskelijat. Kohdatuista haasteista keskusteltiin myös simulointiohjelmiston kehittäjien kanssa kasvotusten sekä tehtyjä malleja jaettiin heille tilaajan luvalla. Kuvassa 12 on nähtävillä koko lajittelulinjan simuloitu osuus fysiikkaominaisuuksilla.



Kuva 12. Lajittelulinjan simulaatio fysiikkaominaisuuksilla

5.6 Case – Tuotelaatikoiden kuljetus ja lavaus simuloituna

Simulaation tilaaja oli hankkimassa kuljetinlinjastoa tehtaalleen valmiiden tuotteiden laatikoiden kuljettamiseksi keskitettyyn lavaukseen. Hankittava kuljetin selkeyttäisi koko tuotantolinjaa ja poistaisi välivaiheita tuotannossa. Linjasto koostui kahdesta rinnakkaisesta päälinjasta, kääntöpöydästä, kokoavasta linjasta ja laatikoiden teippauksesta. Kuljetinlinjaston loppupäähän oli suunnitteilla lavausrobotin hankinta, jotta lavausta ei tarvitse tehdä käsin. Tilaajalla oli kuitenkin tarve selvittää vielä muutamia tuotannonkehittämiseen liittyviä asioita; millainen robotilla tehtävästä lavauksesta pitäisi rakentaa, syntyykö pullonkauloja ja miten ne ratkaistaan. Kuljetinlinjaston kääntöpöydän ja teippauksen välissä arvioitiin tilaajan toimesta olevan mahdollisuus pullonkaulalle. Valmiiden tuotteiden laatikoiden koko oli vaihteleva tuotteesta riippuen ja tuotantomäärät olivat vaihtelevia lähes päivittäin. Jokaisesta tulevan kuljetinlinjaston varrella olevasta tuotantosolusta saattoi tulla

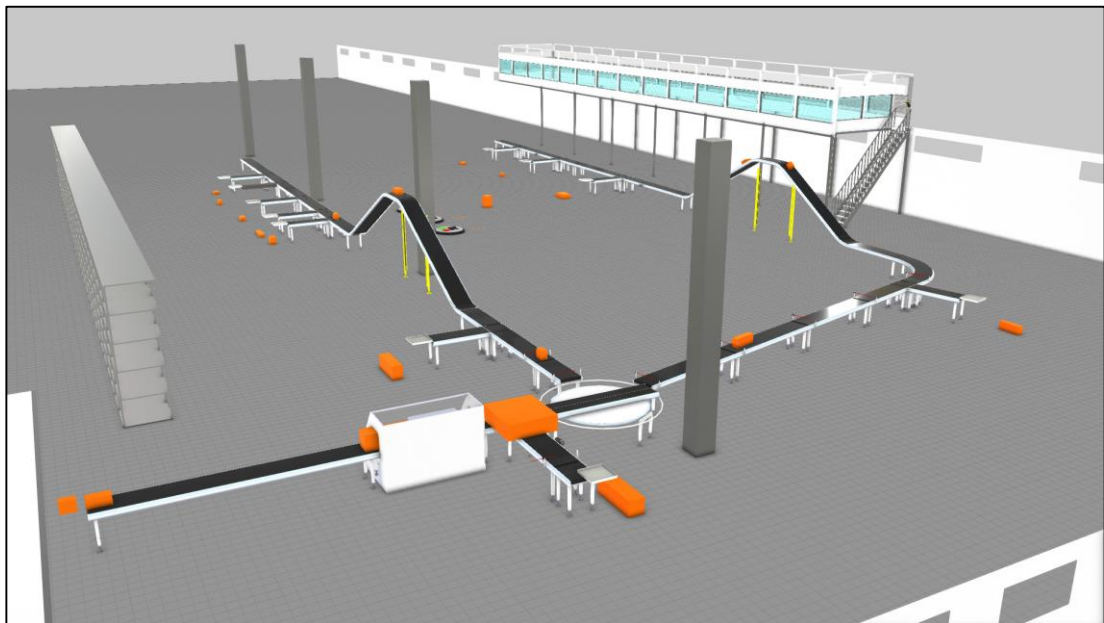
kuljetinlinjastolle erikokoista laatikkoa ja eri tahdilla. Tämä täytyy huomioida myös lavaussolun toiminnassa.

Casen tavoitteeksi muodostui mahdollisuus kokeilla päivän tuotantoa etukäteen, mahdollisten pullokaulojen selvittäminen ja lavauksen toiminnan suunnittelu. Simulointi soveltuu hyvin näiden asioiden ratkaisun tueksi. Tilaajalla oli mielessään joitain mahdollisia pullonkauloja linjastolla ja näitä haluttiin tutkia. Tilaajalla oli myös valmiina kaksi eri vaihtoehtoa lavauksen toteuttamiseksi ja niiden toimintaa sekä soveltuvuutta haluttiin vertailla investointipäätöksen tueksi.

Simulaation toteuttamista varten oli saatavilla 2D-pohjakuva hankittavasta kuljetinlinjastosta, tietoa tuotantomääristä ja kuvat tuotantosolujen sijoittelusta linjaston varrelle. Myös kuljettimien nopeudet olivat tiedossa. Simulaatio oli toteutettavissa käytettävissä olevan ajan puitteissa eikä tarvittava simulaatio ollut liian monimutkainen. Simulaation tavoitteina käytettiin suoraan jo aiemmin määriteltyjä tavoitteita. Simulaation tarkkuuden tulisi olla sillä tasolla, että pullonkaulojen ja lavauksen selvittäminen on mahdollista. Tämä vaatii sen, että mitoitukset simulaatiossa ovat oikeaa vastaavat niin tuotelaatikoiden, linjaston kuin tahtiaikojen osalta. Mitattavia asioita simulaatiossa olivat tuotantomäärät ja pullonkaulojen syntyminen. Simulaatio päädyttiin tekemään 3D-simulaationa, koska kuljetinlinjastossa oli nousuja ja laskuja sekä lavauksesta haluttiin mahdollisimman helposti havainnoitava. 2D-simulaatio olisi ollut tehokkaammin ajettava, mutta tapahtumien havainnoinnin koettiin olevan hankalampaa.

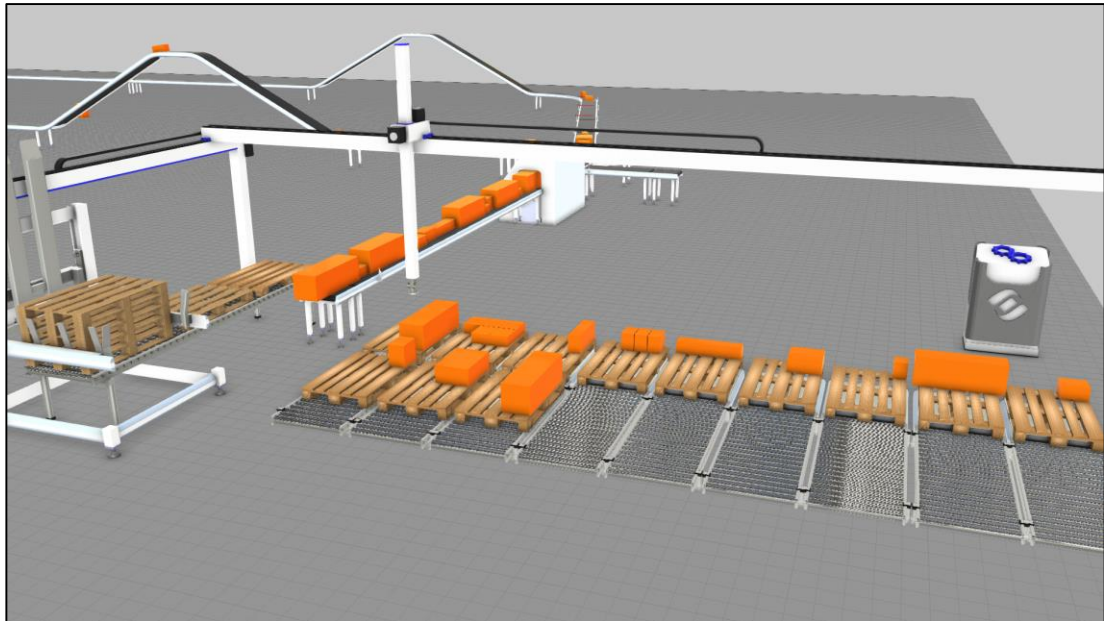
Simulaatioon tarvittava dataa oli jo saatavilla tuotantomäärien, nopeuksien ja sijoittelun osalta. Tämän lisäksi tilaaja toimitti eri tuotelaatikoiden mitat niiden mallintamista varten. Mitat olivat oleellisia tuotteiden lavauksen ja linjastolla jonottamisen mallintamiseen. Mallintaminen aloitettiin kuljetinlinjaston mallintamisesta 2D-kuvien pohjalta. Simulaation tekemisen nopeuttamiseksi käytettiin simulointiohjelmistosta löytyviä generisiä kuljetinkomponentteja. Niiden parametreja muuttamalla kuljettimet saatiin muistuttamaan vastaavia oikeita kuljettimia niin toiminnallisuudeltaan kuin ulkonäöltään. Tämän jälkeen mallinnettiin kääntöpöydän toiminnallisuus käyttämällä pohjana geneeristä komponenttia, mutta muuttamalla sen toiminnallisuus paremmin oikeaa tilannetta vastaavaksi.

Käätöpöydän jälkeiselle linjalle lisättiin komponenttikirjastosta löytyvä teippauskone ja myös sen parametrit muutettiin vastaamaan tulevaa teippauskonetta. Komponenttikirjaston komponentteja hyödyntämällä simulaation mallintamiseen kuluvaa aikaa voitiin lyhentää oleellisesti. Kuljetinlinjaston mallintamisen jälkeen mallinnettiin sen varrella olevat tuotantosolut riittävällä tasolla, mikä tässä tapauksessa oli se, että soluista tehtiin vain syötöt kuljetinlinjastolle. Seuraavaksi rakennettiin malliin vielä tarvittavat toiminnallisuudet tuotantomäärien ja prioriteettien osalta. Tuotantomäärät simulaatiossa ja itse simulaatiomalli vastasivat tilaajan mukaan oikeaa tilannetta niin hyvin kuin se ennakoinnin mukaan oli mahdollista. Kuvassa 13 on kuljetinlinjaston malli sillä hetkellä, kun sillä pystyttiin selvittämään pullonkauloja ja linjaston toimintaa ennen lavausta.



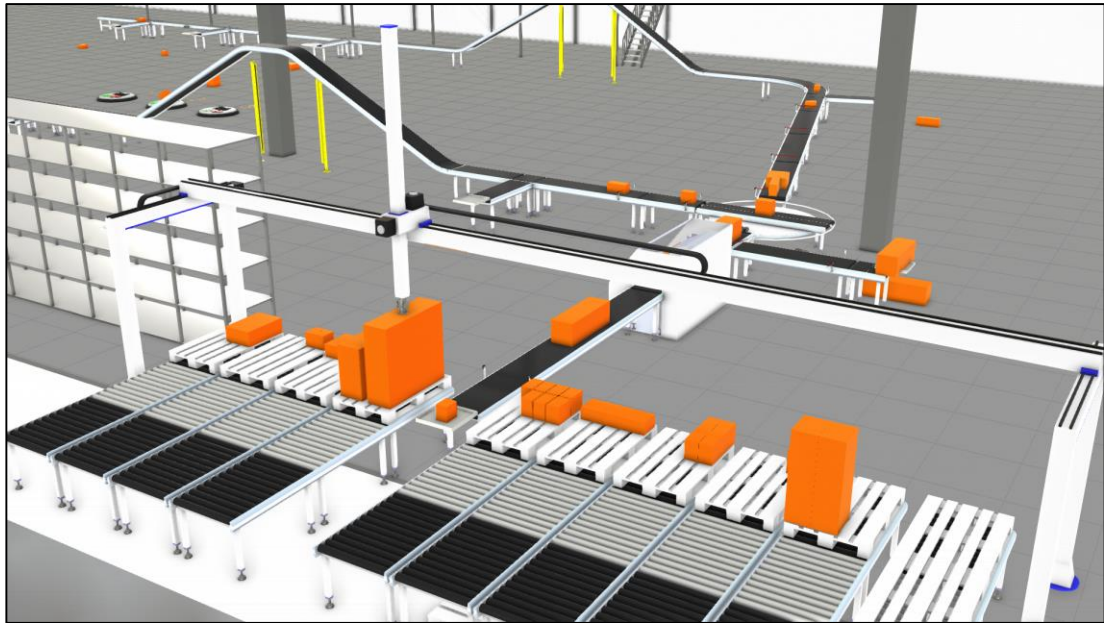
Kuva 13. Kuljetinlinjaston simulointimalli ennen lavauksen mallintamista

Lavausta varten tilaaja oli jo saanut laitteistotoimittajilta ehdotuksen siitä, millainen lavaus voisi olla. Seuraavassa vaiheessa simulaatioon lisättiin tämän ehdotuksen mukainen lavaussolu ja sen toiminnallisuus. Lavaus hoidettaisiin portaalirobotilla tarvittavan lavapaikkamäärän vuoksi. Käsivarsirobotti ilman johteita ei olisi yltänyt lavaamaan kaikkia tuotteita. Alkuperäisessä ehdotuksessa kaikki lavapaikat sijaitsivat kuvan 14 mukaisesti kuljetinlinjaston loppupään samalla puolella.



Kuva 14. Lavausrobotti alustavan ehdotuksen mukaan

Kuljetinlinjaston toimintaa testattiin simulointiajoilla ilman lavausta ja sen kanssa. Ilman lavausta suoritetuissa simulointiajoissa ei löydetty ongelmia tilaajan tuotantomäärillä, vaikka simulaatiossa kokeiltiin tuotantomäärien kasvattamista. Kuljetinlinjaston toiminta osoittautui hyväksi ja kääntöpöydän kohdalle ei syntynyt pullonkaulaa. Lavauksen kanssa ajatut simulaatiot osoittivat kuitenkin ongelmia. Pullonkaulaksi muodostui lavausrobotti ja sen toiminnallisuus. Alkuperäisellä suunnitelmalla toteutettuna robotti ei ehtisi lavaamaan kaikkia tuotteita, vaan sitä edeltävä kuljetin tulisi täyttymään. Löydöksen myötä lavaussolun toimintaa lähdettiin optimoimaan siten, että se pystyisi tarvittaviin tahtiaikoihin. Simulointien avulla lavaussolun layoutista muodostui kuvan 15 mukainen.



Kuva 15. Lavaussolun layout ja toiminnallisuus paranneltuna

Lavapaikat jaettiin molemmin puolin kuljetinta, jolloin robotti joutuu liikkumaan sivuttaissuunnassa mahdollisimman lyhyet matkat lavauksessa. Toimintaa optimoitiin vielä siten, että simulaation alussa robotti saa tiedon tuotteiden suunniteltuista tuotantomääristä. Määrien avulla robotti jakaa lavapaikat siten, että eniten lavattavaa tuotetta lavataan robottia lähimpään lavapaikkaan ja vähiten lavattavaa tuotetta kauimpaan lavapaikkaan. Näin saatiin säästettyä huomattavasti aikaa, joka robotilla kului alkuperäisen suunnitelman mukaisesti tuotteiden lavaamiseen. Simulaatiot toimivat käyttökohteessaan hyvin. Simulointia käyttämällä saatiin ratkaistua molemmat tilaajan esittämät ongelmat ja simuloinnille asetetut tavoitteet täyttyivät. Tilaaja hyödynsi simulaatioita kommunikoinnissa laitetoimittajien kanssa ja etsiessään parhaiten toimivaa ratkaisua. Tätä varten simulaatiosta tehtiin videoita ja dokumentaatiota tilaajan tarpeisiin. Lopullinen simulaatio oli myös tilaajalla käytössään heidän tutkiessa tuotantomäärien vaikutusta tuotannossa. Tilaajan luvalla simulaatiota ollaan voitu käyttää esimerkkinä simulaation hyödyntämisestä tuotannonkehittämisessä. Käytetyistä ratkaisuista ja kertyneestä tiedosta onkin käyty paljon keskustelua muiden mallintajien ja yritysten kanssa simulointitietoisuuden lisäämiseksi.

6 VR:N TUOMAT MAHDOLLISUUDET SIMULAATIOIDEN TEKEMISEEN JA HYÖDYNTÄMISEEN

6.1 VR Robotics simulator

VR Robotics simulator on siitä erilainen ohjelmisto verrattuna muihin esiteltyihin simulointiohjelmistoihin, että se on tehty suoraan VR-käyttöön. Ohjelmisto on tehty käytettäväksi HTC Vive- ja Oculus Rift -VR-laseilla. Ohjelmistoa voidaan hyödyntää robottien toiminnan simuloimiseen, erilaisien robottisolujen ja linjastojen tekemiseen niiden analysointia ja demoamista varten. Ohjelmisto sisältää myös erillisen robotteihin keskittyvän opetusosion sisältäen tietoa robottien ohjelmoinnista ja niiden rajoitteista. (MindRend Technologies.) Kuvassa 16 on VR Robotics simulatorin näkymä VR laseissa.



Kuva 16. VR Robotics simulatorin näkymä käyttäjälle

VR Robotics simulator on Satakunnan ammattikorkeakoululla käytössä pääasiassa yhtenä robotiikan laboratorioharjoituksena. Ohjelmiston avulla on kevyttä tutustua virtuaalitodellisuuden hyödyntämiseen simulaatioissa ja sen lisäksi ohjelmisto sisältää robotteihin liittyvän opetuksen kannalta hyödyllisen opetusosion. Ohjelmistolla pystytään suhteellisen pienellä vaivalla tekemään simulaatio robottisolun toiminnallisuudesta ja vertailemaan eri ratkaisuja. Omien 3D-mallien hyödyntäminen on myös mahdollista, joten omiin virtuaalisiin tuotantotiloihin tehty robottisolun

simulointi on myös mahdollista. VR Robotics simulatoria käyttämällä voisi löytää mahdollisesti toimivampia ratkaisuja ja optimoida tilan käyttöä, koska käyttäjä pääsee vapaasti liikkumaan robottisolussa ja siirtelemään 3D-malleja. Robottien ohjelmointi tapahtuu myös virtuaalimaailmassa joko liikuttamalla robotteja tarttumalla niihin ”käsin” tai käyttämällä virtuaalista opetuspaneelia.

6.2 VR muissa simulointiohjelmistoissa

Muista esiteltyistä simulointiohjelmistoista esimerkiksi ABB RobotStudio, RoboDK ja Visual Components sisältävät ominaisuuksia virtuaalitodellisuuden hyödyntämiseen. ABB RobotStudio mahdollistaa ABB:n robottien ohjelmoimisen ja solun rakentamisen suoraan virtuaalitodellisuudessa samaan tapaan kuin VR Robotics simulator. Erona on se, että RobotStudion virtuaalimaailmassa tehty robottiohjelma voidaan siirtää oikealle robotille suoritettavaksi. Parhaimmillaan siis monimutkaisen robottisolun toiminta voidaan ohjelmoida lähes valmiiksi virtuaalimaailmassa, vaikka kaikkia tarvittavia koneita ei olisikaan vielä oikeasti olemassa. RoboDK mahdollistaa myös VR:n käytön samaan tapaan kuin RobotStudio.

Visual Components mahdollistaa virtuaalitodellisuuden käytön siten, että tehty simulaatio voidaan tallentaa simulointiajona, jota pääsee tarkkailemaan VR-laseilla. Tallennetun simulointiajon sisällä voidaan mm. liikkua vapaasti ja sen nopeutta voidaan kontrolloida. Visual Components esitteli Automatica 2018 -messuilla tulevia uusia VR-ominaisuuksia, joihin lukeutuu simulaation rakentaminen virtuaalitodellisuudessa ja siihen vaikuttaminen simulaation aikana.

7 TULEVAISUUDEN MAHDOLLISUUDET

Simulointiohjelmistot ja niissä hyödynnettävät teknologiat kehittyvät jatkuvasti. Suurimmat odotukset osaltani liittyvät siihen, mitä mahdollisuuksia VR:n syvempi hyödyntäminen tuo mukanaan. Tälläkin hetkellä olisi jo periaatteessa mahdollista tehdä fyysisestä tuotantolinjasta tai -laitoksesta simulointimalli, jota voitaisiin hyödyntää virtuaalimaailmassa työntekijöiden kouluttamisessa. Uudet työntekijät voitaisiin pohjakouluttaa ilman, että oikea tuotanto vaarantuu ja esimerkiksi erilaisissa häiriö- ja vikatilanteissa toimimista voitaisiin harjoitella turvallisesti. Simulaatiomalli voisi sisältää virtuaalimaailmassa hyödynnettävää dokumentaatiota ja ohjeistusta eri tilanteisiin. Käyttäjä pystyisi mahdollisesti niiden avulla lisäämään osaamistaan työtehtävissä ja vaikkapa turvallisuuteen liittyen. Oikeaa tulipaloa sahalla eri kohteissa on hankala harjoitella, mutta simulaatiossa tulipalo ja sen haluttuja vaikutuksia voidaan mallintaa. Tällöin jokaisen uuden työntekijän olisi mahdollista suorittaa paloturvallisuuteen liittyvä koulutus syvällisemmin heti työt aloittaessaan.

Tehtäessä tuotannosta digitaalinen kaksonen eli lähes täydellinen kopio oikeista tuotantolinjoista ja prosesseista, voitaisiin sen avulla tuotantoa seurata etänä, ennakoida huoltotarpeita ja jopa etähuoltaa tai -ohjata laitteita. Robottioperaattori hyppää sisään virtuaalimaailmasta löytyvään malliin ja opettaa robotille uudet liikeradat uutta tuotetta varten. Vikatilanteiden sattuessa oikeasta tuotannosta kertynyt data siirretään digitaaliseen kaksoseen ja ajassa ”palataan” taaksepäin vikatilanteen syiden löytämiseksi ja niiden välttämiseksi tulevaisuudessa.

Iso asia erilaisia ohjelmistoja ja laitteita käytettäessä on niiden käytettävyys. Esimerkiksi uusien yhteistyörobottien käyttöliittymät ovat ottaneet suuria askelia käytettävyyden kannalta. Samoin 3D-mallinnukseen käytettäviä ohjelmistoja löytyy lähes jokaiselle käyttäjäryhmälle soveltuvina. Simulointiohjelmistoissa käytettävyys on menossa helpompaan suuntaan ja tulevaisuudessa vilskeimmässä kuvitelmissa voisi olla mahdollista tehdä simulaatio vain kuvailemalla sitä puheella tai yksinkertaisilla lauseilla. Sen jälkeen simulaation optimointi tapahtuisi itsestään valittujen mittarien perusteella. Optimointi vaatii tällä hetkellä yleensä paljon tietoa, parametroitua tai muuta manuaalista työtä mallintajalta. Tulevaisuuden simulointiohjelmistot voisivat

rakentaa tuotantosolun sille annetun tehtäväkuvauksen mukaan optimaaliseksi robotin liikeratoja myöden.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Jokaisella yrityksellä on jossain vaiheessa mielessä tuotannon kehittäminen. Silloin on hyvä muistaa mahdollisuus hyödyntää simulointia ja virtuaalitodellisuutta tukena ideoille ja tehtäville päätöksille. Kun pitää mielessä aiemmin esitetyt simulointiin liittyvät hyödyt ja haitat, on paljon helpompaa tehdä päätöksiä mahdollisesta simuloinnin hyödyntämisestä tuotantoa kehitettäessä. Tieto simulaation toteuttamiseen liittyvistä asioista auttaa osaltaan myös simulaatioiden tulosten ja oikeellisuuden arvioinnissa, kun ymmärtää simulaatioiden luonnetta ja simulointiin liittyviä osa-alueita paremmin. Esimerkiksi datan oikeellisuuden merkitystä ei voi korostaa liikaa. Tilaajan ymmärtäessä paremmin simulointia, on todennäköisempää, että simulaatiosta saadaan tarkoitukseen sopiva ja se auttaa mahdollisimman hyvin ratkaisemaan käsiteltäviä haasteita. Oikein käytettynä simulointi on tehokas työkalu tuotannon kehittämisen tukena, mutta pahimmillaan se voi saada tekemään virrehankinnan tilaajan hämääntyessä visuaalisesti näyttävästä mallista tai vääristellyistä tuloksista.

Tulevaisuudessa simuloinnin hyödyntämisestä tulee toivottavasti helpompaa ja halvempaa myös pieniä investointeja mietittäessä tai kokeiluja tehtäessä. Tällä hetkellä simuloinnin hinta saattaa olla turhan kova ja simuloinnin vaatimat muut resurssit suuria, jotta viltimpiäkin ideoita tuotannon kehittämiseksi uskallettaisiin kokeilla. Meneillään oleva neljäs teollinen vallankumous ajaa yrityksiä hyödyntämään digitaalisuutta entistä enemmän pärjätäkseen kilpailussa muita yrityksiä vastaan. Simuloinnin perusteisiin tutustuttuaan yrityksillä on paremmat työkalut pohdittaessa, onko simulointi sopiva työkalu oman tuotannon kehittämiseen.

LÄHTEET

- ABB Robotics www-sivut. Viitattu 2.11.2019. <https://new.abb.com/products/robotics/>
- Altiok, T. & Melamed, B. 2007. *Simulation Modeling and Analysis with Arena*. Elsevier, Inc.
- AnyLogic. What is Discrete Event Simulation Modeling. Viitattu 29.10.2019. <https://www.anylogic.com/use-of-simulation/discrete-event-simulation/>
- Bangsow, S. 2015. *Tecnomatix Plant Simulation: Modeling and Programming by Means of Examples*. Springer.
- Factory I/O www-sivut. Viitattu 29.11.2019. <https://factoryio.com/>
- Hevner, A., March, S., Park, J. & Ram, S. 2004. Design Science in Information Systems Research. *MIS Quarterly* Vol. 28 No. 1, pp. 75-105
- Ideal PLM. Materiaalivirtojen ja logistiikan suunnittelu ja simulointi. Viitattu 29.10.2019. https://ideal.fi/uPage/Materiaalivirtojen_ja_logistiikan_suunnittelu_ja_simulointi
- Järvinen, P. & Järvinen, A. 2004. *Tutkimustyön metodeista*. Tampere: Opinpajan kirja.
- Law, A. & Kelton, W. 1991. *Simulation Modeling & Analysis*. 2. painos. New York: McGraw-Hill, Inc.
- MindRend Technologies www-sivut. Viitattu 1.12.2019. <http://vrrobotsim.com/>
- Morey, B. 2017. SME. Building simulation tools for non-programmer types. Viitattu 29.10.2019. <https://www.sme.org/technologies/articles/2017/march/building-simulation-tools-for-non-programmer-types/>
- Okechukwu, M. & Udoka, F. 2010. *Understanding Virtual Reality Technology: Advances and Applications*. Viitattu 31.10.2019. <https://www.intechopen.com/books/advances-in-computer-science-and-engineering/understanding-virtual-reality-technology-advances-and-applications>
- Peffer, K. 2008. A Design Science Research Methodology for Information Systems Research. Viitattu 23.11.2019. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.535.7773&rep=rep1&type=pdf>
- Pello, R. 2018. Design Science Research – a short summary. Viitattu 1.11.2019. <https://medium.com/@pello/design-science-research-a-summary-bb538a40f669>
- Robinson, S. 2014. *Simulation: The Practice of Model Development and Use*. Palgrave Macmillan.
- RoboDK www-sivut. Viitattu 3.11.2019. <https://robodk.com/>

RobotWorx. ABB Offers VR Integration for Robot Programming. Robotic Industry News. Viitattu 28.10.2019. <https://www.robots.com/blogs/abb-offers-vr-integration-for-robot-programming>

Rostkowska, M. 2014. Simulation of production lines in the education of engineers: How to choose the right software. *Management and Production Engineering Review* 5, 53-65.

Sensolligent. 2018. Virtual reality – white paper. Viitattu 31.10.2019. https://sensolligent.com/wp-content/uploads/2019/06/EN-2018_08_VR_White-Paper.pdf

Siemens www-sivut. Viitattu 2.11.2019. <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/products/tecnomatix/>

Universal Robots www-sivut. Viitattu 29.11.2019. <https://www.universal-robots.com/>

Van Aken, J. 2004. Management Research Based on the Paradigm of the Design Sciences: The Quest for Field-Tested and Grounded Technological Rules. *Journal of Management Studies* 41:2.

Visual Components www-sivut. Viitattu 5.11.2019. <https://www.visualcomponents.com/>

Visual Components. 2019. Visual Components Experience Guide. Viitattu 28.10.2019. https://www.visualcomponents.com/wp-content/uploads/2019/11/Experience_Guide.pdf