

Eero Selonen

TEHDASSIMULOINTI VALMISTAVAN TEOLLISUUDEN TYÖKALUNA

Kandidaatintyö
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Hasse Nylund
Joulukuu 2023

TIIVISTELMÄ

Eero Selonen: Tehdassimulointi valmistavan teollisuuden työkaluna
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Konetekniikan tutkinto-ohjelma
Joulukuu 2023

Tehdassimulointi on valmistavan teollisuuden työkalu esimerkiksi päätöksenteon avuksi. Tehdassimuloinnilla tarkoitetaan digitaalisen mallin luomista suunnitellusta tai jo olemassa olevasta reaali maailman tuotantojärjestelmästä, kuten yhdestä tietystä tuotantolinjasta ja kyseisen mallin tutkimista haluttujen kriteerien osalta. Tehdassimulointi perustuu tapahtumapohjaiseen simulointiin (engl. discrete-event simulation), jossa tilamuuttujat muuttuvat ainoastaan diskreetteinä tapahtumahetkinä. Tässä työssä tutkitaan mitä tehdassimulointi on, millainen on hyvä simulaatiomalli, millainen tehdassimulointitutkimuksen rakenne on ja minkälaisia käyttökohteita valmistavassa teollisuudessa tehdassimuloinnilla on.

Työ toteutetaan kirjallisuuskatsauksena ja työn teoriaosuuden tekemiseen käytetään lähteinä vertaisarvioituja konferenssijulkaisuja, tieteellisiä artikkeleita ja kirjallisuutta aiheesta. Työssä käytetään lähteenä myös tapaustutkimusta, jota käytetään konkreettisenä esimerkkinä tehdassimuloinnin käyttökohteesta. Teoriaosuudessa määritellään mitä tehdassimulointi on ja minkälainen prosessi simulointitutkimus on sekä tutkitaan yleisellä tasolla tehdassimuloinnin käyttökohteita.

Simulointimallilla voidaan tutkimustulosten perusteella tarkoittaa yksinkertaistettua digitaalista kopiota tuotantojärjestelmästä. Hyvä simulointimalli on tarpeeksi pätevä, mutta samalla yksinkertainen ollakseen kustannustehokas. Simulointitutkimuksen vaiheet voidaan määritellä neljään seuraavaan vaiheeseen: ensimmäisenä tutkimuskysymyksen muodostaminen ja tiedon hankkiminen, toisena mallin luonti, verifiointi ja validointi, kolmantena mallilla suoritettavat testit ja lopuksi tutkimuksen dokumentointi ja implementointi.

Tutkimustulosten perusteella voidaan sanoa tehdassimuloinnin käyttökohteiden olevan tuotannon piilossa olevien potentiaalien ja heikkouksien löytämistä, kuten esimerkiksi pullonkaulojen tai muiden vastaavien suunnitteluvirheiden paikannusta. Toisaalta tehdassimuloinnille saatiin tulokseksi muitakin käyttökohteita, kuten tuotannon työntekijöiden kouluttaminen mallin avulla ja todellisen järjestelmän paremman ymmärtämisen saavuttaminen. Tutkimustulosten perusteella voidaan kuitenkin sanoa, että tehdassimuloinnin merkittävin sovelluskohde on tuotantojärjestelmän tutkiminen ilman reaali maailman tuotantojärjestelmällä suoritettavia kalliita testejä.

Avainsanat: Tehdassimulointi, valmistava teollisuus, simulointitutkimus

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. TEHDASSIMULOINTI	3
2.1 Prosessi, järjestelmä ja malli	3
2.2 Tehdassimuloinnin määritelmä	4
3. SIMULOINTITUTKIMUS	5
4. KÄYTTÖKOHTEET	8
4.1 Yleisesti käyttökohteista	8
4.2 Konkreuttinen esimerkki käyttökohteesta	10
5. PÄÄTELMÄT	14
6. YHTEENVETO	16
LÄHTEET	18

1. JOHDANTO

Valmistava teollisuus on suuressa asemassa nykymaailmassa, sillä lähes jokainen arkipäiväinen asia, mitä käytämme, oli se älypuhelin tai ruokailuvälineet, on valmistettu jonkinlaista valmistusprosessia hyödyntäen. Kilpailukyvyn ylläpitäminen ja hankkiminen on nykypäivänä yrityksille tärkeää ja yhtenä kilpailukykyä lisäävänä tekijänä voidaan pitää tuotannon tehokkuutta. Nykypäivän kuluttajat haluavat tarpeidensa mukaisia kulutustavaroita ja hyödykkeitä, joten valmistavan teollisuuden yritysten on pyrittävä löytämään keinot näiden tuotteiden valmistamiseen. Yritys voi joutua muuttamaan tuoteperhettään markkinoiden muuttuessa ja samalla muuttamaan tuotantojärjestelmäänsä tavalla tai toisella. Tämän muutoksen suunnitteluun hyvä apukeino on tehdassimulointi (Carson 2005, s. 17–18). Tehdassimulointi pohjautuu tapahtumapohjaiseen simulointiin (engl. Discrete-Event simulation), jossa tilamuuttujat muuttuvat ainoastaan diskreetteinä tapahtumahetkinä (Banks 2003). Työssä rajataan näkökulmaksi valmistava teollisuus, sillä tehdassimulointi muuten on aiheena laaja, koska sitä voidaan käyttää esimerkiksi lääketeollisuuden tai armeijan järjestelmiin (Banks 1998, s. 13–14). Tehdassimulointi on myös simuloinnin suurimpia käyttökohteita ja simulointia on jo hyödynnetty 1960-luvulla (Law & McComas 1999).

Työ tehdään kirjallisuuskatsauksena, jonka toisessa luvussa määritetään tehdassimulointi ja määritellään simuloinnin kannalta oleellisia käsitteitä, kuten simulointimalli. Kolmannessa luvussa tutkitaan simulointitutkimuksen rakennetta ja perehdytään keinoihin, joilla simulointitutkimuksen saa suoritettua onnistuneesti. Neljännessä luvussa käsitellään aluksi tehdassimuloinnin käyttökohteita ja hyötyjä yleisesti valmistavan teollisuuden näkökulmasta sekä lopuksi konkreettista esimerkkiä tapaustutkimuksen muodossa. Lähteitä työhön on etsitty Tampereen yliopiston Andor-tietokannasta, mutta lisäksi Knovel-tietokantaa on hyödynnetty lähteiden etsimisessä. Lähteet ovat vertaisarvioituja artikkeleita, konferenssijulkaisuja sekä kirjallisuutta aiheesta. Hakusanoina lähteiden etsimiseen on pääasiallisesti käytetty ”manufacturing”, ”plant simulation”, ”industry” ja ”simulation”.

Työn tutkimuskysymykset ovat seuraavat:

1. Mitä tehdassimulointi on?
2. Millainen on simulointitutkimus valmistavassa teollisuudessa?

3. Mitkä ovat tehdassimuloinnin hyödyt ja käyttökohteet valmistavan teollisuuden näkökulmasta?

Vastaukseksi tutkimuskysymyksiin voidaan lyhyesti kertoa seuraavat. Tehdassimulointi on tuotantojärjestelmän luomista digitaaliseksi malliksi ja tämän mallin tutkimista (Bangsow 2016). Simulointitutkimus on prosessi, jossa määritetään tutkimuskysymys ja luodaan simulointimalli hankittujen tietojen avulla sekä viimeisenä simuloidaan mallia tutkimuskysymyksen selvittämiseksi (Banks 1998; Law 2019). Tehdassimuloinnin hyödyiksi voidaan sanoa tuotantojärjestelmän tutkimisen, ilman että tarvitsee toteuttaa testejä oikean maailman tehtaalla (Trebuña et al. 2014, s. 468).

2. TEHDASSIMULOINTI

Tämän luvun tavoitteena on tutustua simuloinnin määritelmään ja tehdassimuloinnin kannalta oleellisiin käsitteisiin. Käsiteltäviä käsitteitä ovat prosessi, järjestelmä ja malli sekä niihin sisältyviä muita pienempiä käsitteitä.

2.1 Prosessi, järjestelmä ja malli

Tehdassimuloinnin määrittelyä varten tarvitsee ensin käsitellä siihen oleellisesti liittyviä käsitteitä. Simulaatiomalli voidaan määritellä yksinkertaistetuksi kopioksi suunnitellusta tai todellisesta järjestelmästä. Malli eroaa alkuperäisestä järjestelmästä joissakin tietyissä ominaisuuksissa sallittujen ja hyväksyttävien toleranssien sisällä. Se siis voi olla esimerkiksi tehtaan nykyinen rakenne tai pohja tai suunnitelma siitä, millaiseksi tehdas halutaan muuttaa. (Bangsow 2016, s. 2) Carson (2005 s. 18) kertoo, että simulointimalleja tekevät voivat käyttää liikaa aikaa erilaisten epäoleellisten yksityiskohtien hiomiseen, joten esimerkiksi työstökoneen tai pisteen ei tarvitse mallissa olla täysin reaali maailmaa vastaava ulkomuodollisesti vaan riittää, että se täyttää simuloinnin kannalta oleelliset kriteerit. Simulaatiomalli voidaan lisäksi määritellä olevan visuaalinen malli prosessista tai järjestelmästä, ja malli sisältää yleensä parametrejä, joiden avulla mallia pystytään muokkaamaan tarvittaessa. Muokkaavuus mahdollistaa erilaisten kokoonpanojen luomisen järjestelmälle tai prosessille. Parametrejä voidaan esimerkiksi olla työntekijöiden määrä tietyllä työpisteellä, kuljettimen ohjausjärjestelmän ajoitustoiminnot sekä koneen tai ajoneuvon nopeus. (Carson 2005, s. 17)

Lyhyesti siis voidaan sanoa, että simulointimalli on malli, joka kuvastaa nyky maailman järjestelmää, ja tätä kyseistä mallia voidaan muokata määrittämällä eri parametrejä, kuten lähtötietoja. Mallin rakentamista varten tarvitaan siis dataa eli lähtötietoja. Ne voidaan jakaa kolmeen osa-alueeseen: järjestelmän kuormitukseen, organisaation tai teknisiin tietoihin (Bangsow 2016, s. 2). Mallin ei tarvitse olla aina kaikista pätevin, koska silloin malli ei ole välttämättä enää kustannustehokkain. Mallin pätevyuden lisääminen tietyn tason ylitse voi lisätä kustannuksia suuresti, sillä esimerkiksi dataa on kerättävä suuria määriä. (Law 2019, s. 1402)

Resurssi on osa tai kokonaisuus, jonka tehtävänä on palvella jotakin entiteettiä ja se voi palvella yhtä tai useampaa samaan aikaan. Entiteetti voi ottaa resurssin käyttöönsä tie-

tyksi ajaksi ja sen jälkeen vapauttaa sen muiden käyttöön. Resurssille on muutamia tiloja, joita voi olla esimerkiksi vapaa tai käytössä. Muita mahdollisia tiloja voi olla esimerkiksi epäonnistunut tai estynyt (Banks 1998, s. 7–8).

2.2 Tehdassimuloinnin määritelmä

Simulointi on Bangsowin (2016, s. 2) mukaan oikean maailman systeemi ja sen dynaamisten prosessien uudelleenluomista digitaaliseksi malliksi. Tarkemmin sanottuna simulointi on erityisten kokeiden valmistelua ja toteuttamista sekä arviointia käyttäen simulaatiomallia. Simulaatio mahdollistaa järjestelmän kokeilun mallin avulla, joten simulointi on kokeellinen lähestymistapa eli päätöksentekoon sopiva työkalu. (Carson 2005, s. 2, 18; Robinson 2014, s. 4) Tehdassimulointi pohjautuu

Simuloinnin voidaan sanoa olevan prosessin tai järjestelmän toiminnan jäljittelyä ajan kuluessa. Simulaatio sisältää myös keinotekoisia historiaa järjestelmästä, ja tätä historiaa voidaan käyttää avuksi päätöksenteossa. Tehdassimulointi voidaan siis tiivistää tarkoittamaan työkalua, jolla tehdään simulointimallille kokeita ja näiden kokeiden avulla voidaan tehdä erilaisia päätöksiä vaikkapa tuotannossa (Banks 2003, s. 663).

3. SIMULOINTITUTKIMUS

Luvun tavoitteena on perehtyä simulointitutkimukseen, simulointitutkimuksella tarkoitetaan prosessia, jossa luodaan simulointimalli ja hyödynnetään mallia haluttujen asioiden tutkimiseen. Käsiteltäviä aiheita ovat simulointitutkimuksen sisältö sekä luvussa perehdytään, miten simulointitutkimus voidaan suorittaa onnistuneesti. Simulointitutkimukseen osallistuu projektinjohtaja, simulointianalytikko ja simuloitavan aiheen asiantuntija (Law 2019, s. 1404) Yleisesti onnistuneen simulointitutkimuksen tekemistä varten voidaan hyödyntää seitsemän vaiheista lähestymistapaa, jonka vaiheet ovat seuraavat:

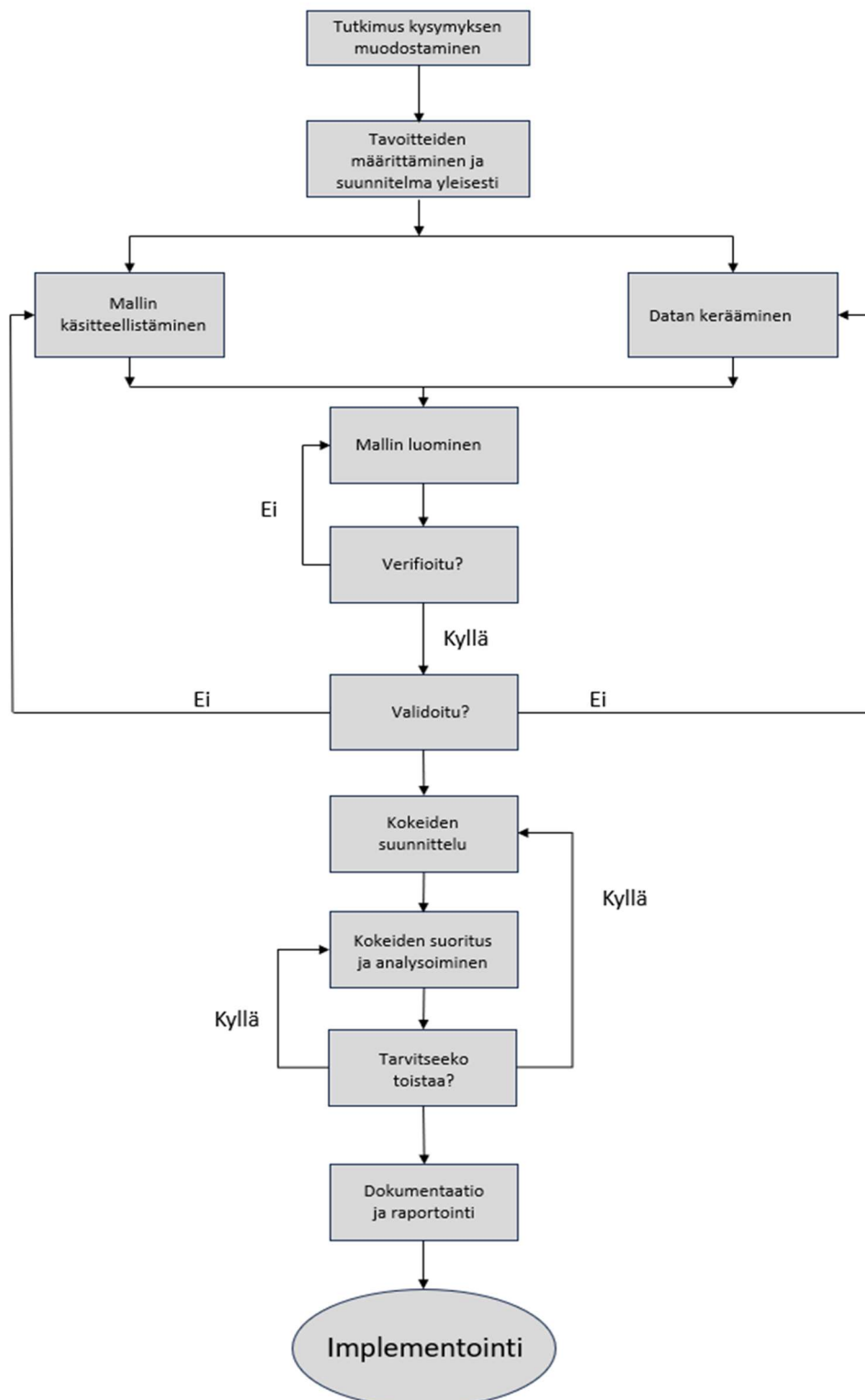
1. Ongelman määrittäminen.
2. Tarvittavan tiedon kerääminen ja oletuksien kokoaminen.
3. Onko oletukset valideja?
4. Mallin luonti.
5. Onko malli validi?
6. Kokeiden suunnittelu, suoritus ja analysointi.
7. Tulosten dokumentointi. (Law 2019, s. 1404–1406)

Itsessään tehdassimulointitutkimukselle taas Zhang et al. (2019, s. 1221) määrittelevät seuraavat kolme vaihetta:

1. Valmistusprosessin virta-analyysi.
2. Tuotantolinjan mallinnus ja suunnittelu.
3. Mallin yksinkertaistaminen.

Valmistusprosessin virta-analyysissä tarvitaan asiantuntijoita ymmärtämään tuotantolinjan ominaispiirteitä, niitä ovat suorituskyvyn vakaus, tuotantovauhdin tehokkuus, automaation taso, huollon helppous ja tuotteiden laatu. Toisessa vaiheessa malleja rakentaessa on otettava huomioon standardit sekä täytyy tehdä päätös mallien lopullisesta laadusta, koska mallien luonti vaatii paljon resursseja. Kolmannessa vaiheessa on kahdenlaisia mallityyppejä, joita tarvitsee yksinkertaistaa. Ensimmäisessä on ulkopuolisilta hankittuja laitteita. Kyseisiä laitteita tarvitsee yksinkertaistaa, koska yrityksellä ei ole pääsyä näiden laitteiden tarkkaan rakenteeseen tai toiminnan yksityiskohtiin. Toinen tyyppi on laitteet, jotka ovat vain hyvin monimutkaisia, kuten laitteet, joissa on paljon vapausas- teita. (Zhang et al. 2019, s. 1221)

Banks (1998, s. 16) esittää simulointitutkimukselle kuvaa 1. vastaavan rakenteen.



Kuva 1: Simulointitutkimuksen vaiheet, (muokattu lähteestä (Banks 1998, s. 16)).

Simulointitutkimuksen aloitustapaamisessa tulisi määrittää tutkimuksen tavoitteet ja tarkat tutkimuskysymykset, joihin halutaan vastaukset. Tarkoilla tutkimuskysymyksillä mahdollistetaan mallin tarkkuuden luominen, eli minkä tasoinen malli kyseiseen tutkimukseen riittää. Tapaamisessa päätetään tutkimuksessa käytettävät mittarit, mallin laajuus, tarvittavat resurssit sekä viimeisenä tutkimuksen aikataulu. (Law 2019, s. 1404) Kommunikointi heti aloitustapaamisesta alkaen on tärkeää, sillä huono kommunikointi tutkijain kesken on suurin syy tutkimuksen epäonnistumiseen (Banks 1998, s. 726).

Ennen mallin luomista on kerättävä tarpeeksi tietoa järjestelmän rakenteesta, järjestelmän suorituskyvystä ja sen toimintatavoista. Tässä vaiheessa tulisi valita myös mallin yksityiskohdat, jotka riippuvat esimerkiksi tutkimuksen tavoitteista, datansaannista ja mallinnukseen käytettävän tietokoneen suorituskyvyn rajoituksista. (Law 2019, s. 1404)

Varmentamisella eli verifiointilla tarkoitetaan, onko luotu käsitelmä oikea ja vastaavasti kuvastaako toimintamalli käsitteellistä mallia (Balci 1998, s. 22). Verifiointia varten on olemassa seitsemän keinoa, joista esimerkiksi ensimmäinen on jäsenyten ohjelmointiperiaatteiden noudattaminen, joita ovat ylhäältä alas suunnittelu ja ohjelman modulaarisuus. Toinen verifiointityökalu on esimerkiksi animaation hyödyntäminen, sillä sen avulla voidaan havaita epäloogisuuksia, kuten resurssin vikaantuessa resurssin kuuluisi muuttua punaiseksi, vaikka se ei animaatioissa niin tee. (Banks 1998, s. 23)

Vahvistamisella eli validoinnilla tarkoitetaan sitä, että voiko oikeanmaailman järjestelmää kuvata käsitteellisellä mallilla kokeilutarkoituksia varten (Balci 1998, s. 22). Simulaatiomallin validointiin voidaan käyttää lukuisia keinoja, joita ovat Sargent:n (1992) mukaan muun muassa:

1. Kasvokelpoisuus (Face Validity): eli reaali maailman järjestelmän tuntevien ihmisten mielipiteiden kysymistä siitä, onko malli ja sen käyttäytyminen loogista.
2. Vertaaminen muihin malleihin: Simulaatiomallin tuloksia verrataan muihin jo päteviin malleihin ja niiden tuloksiin.
3. Ääriolosuhde testit: Ääritilanteissa ja epätodennäköisien tekijöiden tilanteissa mallin rakenne sekä tulokset tulisi pysyä uskottavina. Esimerkiksi keskeneräisten varastojen ollessa nolla tuotannon outputin pitäisi myös olla nolla.

4. KÄYTTÖKOHTEET

Tässä luvussa perehdytään tehdassimuloinnin käyttökohteisiin. Alaluvussa 4.1 perehdytään yleisesti tilanteisiin, joissa tehdassimuloinnin käyttöä kannattaa harkita, sekä annetaan muutama pieni esimerkki tilanteista, joissa simuloinnista voikin olla haittaa. Alaluvussa 4.2 tarkastellaan muutamaa konkreettista esimerkkiä tehdassimuloinnin käyttökohteista tapaustutkimuksien muodossa. Samassa luvussa perehdytään vielä siihen, mitä hyötyä tehdassimuloinnista oli kussakin tapauksessa.

4.1 Yleisesti käyttökohteista

Tehdassimuloinnille on monia erilaisia käyttökohteita ja samalla erilaisia tilanteita, joissa tehdassimuloinnista voi olla hyötyä valmistavan teollisuuden yritykselle. Esimerkiksi Mallega et al. (2022) kertovat artikkelissaan valmistusjärjestelmän optimoinnista tehdassimulaation avulla. Trebuňan et al. (2014, s. 468) mukaan tehdassimuloinnin hyötyjä ovat seuraavat:

1. Simulointi korvaa oikean maailman järjestelmäkokeet.
2. Simulointia voidaan käyttää tilanteissa, joissa ei voida käyttää analyyttisiä ratkaisuja.
3. Satunnaisvaikutuksia voidaan käyttää suurissa määrissä.
4. Mahdollisuus mallintaa aikaa ja varmentaa ratkaisuja.
5. Todellisen järjestelmän parempi ymmärtäminen.

Law ja McComas (1999 s. 58) kertovat satunnaisvaikuttajiksi muun muassa kokoonpano-, käsittely- ja tarkastusajat sekä koneen vikaantumisajan. Carson (2005, s. 17–18) luettelee simuloinnille seitsemän tilannetta, jolloin simulointi on kaikista hyödyllisintä:

1. Tilanne, jolloin analysointia varten ei ole yksinkertaista analyyttistä mallia, taulukkomallia tai käsin tehtyä laskentaa, joka olisi tarpeeksi tarkka.
2. Todellinen järjestelmä on säännöllinen, eli se ei ole kaaottinen tai hallitsematon.
3. Järjestelmä on kompleksinen. Se esimerkiksi sisältää vuorovaikutusta ja/tai riippuvuutta eri osien välillä tai se on yksinkertaisesti niin suuri, että sen hahmottamisesta tulee vaikeaa. Erityisesti muutosten vaikutusta olisi vaikea tai jopa mahdotonta ennustaa.

4. Tilanne, jolloin ollaan suunnittelemassa kokonaan uutta järjestelmää tai teke-
mässä muutoksia jo olemassa olevaan järjestelmään tai toimintasääntöihin tai
kohdatessasi uudenlaisen kysynnän.
5. Tilanne, johon liittyy merkittävä riski, esimerkiksi tilanne, jossa harkitaan suurta
sijoitusta olemassa olevaan järjestelmään tai kokonaan uuteen järjestelmään, ja
tilanne, joka edustaa muutosta, josta on vähän tai ei lainkaan kokemusta.
6. Tilanne, jossa tarvitaan työkalua, jolla voi esittää tulokset ja niiden vaikutukset
tilastojen sekä animaatioiden avulla. Simulaatiomallia voi käyttää avuksi, kun ha-
lutaan saada muut tiimin jäsenet ymmärtämään paremmin tilannetta.
7. Animoidulla simulaatiolla voidaan osoittaa, miten eri osallisten työ voi vaikuttaa
järjestelmään, oli vaikutus positiivinen tai negatiivinen.

Simulaatiota voidaan käyttää järjestelmän kokeilemiseen mallin avulla. Ilman mallia ai-
noa vaihtoehto olisi kokeilulle oikean järjestelmän käyttäminen, jos sellainen on ole-
massa. Tämä aiheuttaa suuria häiriöitä ja haittoja järjestelmään. Simulaation avulla voi-
daan selvittää mahdolliset pullonkaulat ja suunnittelupuitteet jo ennen uuden tuotanto-
järjestelmän rakentamista tai olemassa olevan muokkaamista. Simulaatiota voidaan
käyttää eri vaihtoehtoisten suunnitelmien ja toimintatapojen tutkimiseen ja eri vaihtoeht-
tojen vertailuun. Tarvittavat arvioinnit voidaan tehdä kyseisten vertailujen perusteella il-
man, että pääomaa tai resursseja tarvitsee käyttää enemmän projektiin. Järjestelmän
dynaamista tutkimista voidaan tehdä simuloinnin avulla. Järjestelmän dynaaminen tutki-
minen tarkoittaa järjestelmän muuttumista ajan myötä ja, sitä miten järjestelmässä olevat
pienet kokonaisuudet tai erilliset komponentit vaikuttavat toisiinsa ajan kuluessa. (Car-
son 2005, s. 18)

Simulointia voi käyttää suunnitteluvaiheessa ja toimeenpanovaiheessa. Suunnitteluvai-
heessa voidaan tunnistaa pullonkauloja ja piilossa olevia potentiaaleja. Suunnitteluvai-
heessa voidaan myös vertailla eri suunnitelmia keskenään. Vertailtavia asioita ovat esi-
merkiksi kapasiteetti, valvonnan tehokkuus, läpimenoaika ja varastojen määrä. Toi-
meenpanovaiheessa voidaan tehdä tehtaalle simuloinnin avulla suorituskykytestejä, on-
gelma-analyysyjä ja testejä tulevaisuuden vaatimuksille. Myös onnettomuuksia ja poik-
keustilanteita voidaan simuloida toimeenpanovaiheessa mallin avulla. Simuloinnin avulla
voidaan tutkia ramp-up- ja cool-down-vaiheiden käyttäytymistä sekä kouluttaa uusia
työntekijöitä. (Bangsow 2016, s. 1)

Law ja McComas (1999, s. 56) kertovat simulaation avulla käsiteltäviksi ongelmiksi seu-
raavia:

1. Henkilöiden ja laitteiden tarve ja määrä. Esimerkiksi työkoneiden ja työvuorojen lukumäärä sekä kuljettimien vaatimukset.
2. Suorituksen arviointi esimerkiksi läpäisykyvyn ja pullonkaulojen.
3. Operatiivisten menettelytapojen arviointia esimerkiksi tuotannon aikataulutuksen sekä laadun- ja varastojenhallinnan.

Simuloinnin avulla voidaan myös arvioida yleisiä suorituskykymittareita, kuten läpäisykykyä, jonojen kokoja, toimitusten oikea-aikaisuutta sekä laitteiston ja henkilöstön käyttöasteita (Law & McComas 1999, s. 56).

Simulointitutkimus voi viedä paljon aikaa eikä tarvittavaa tietoa välttämättä ole saatavilla tai tiedon hankkiminen on kallista. Päätöksiin käytettävää aikaa ei välttämättä ole tarpeeksi riittävän luotettavan tutkimuksen tekemiseen (Carson 2005, s. 18).

4.2 Konkreettinen esimerkki käyttökohteesta

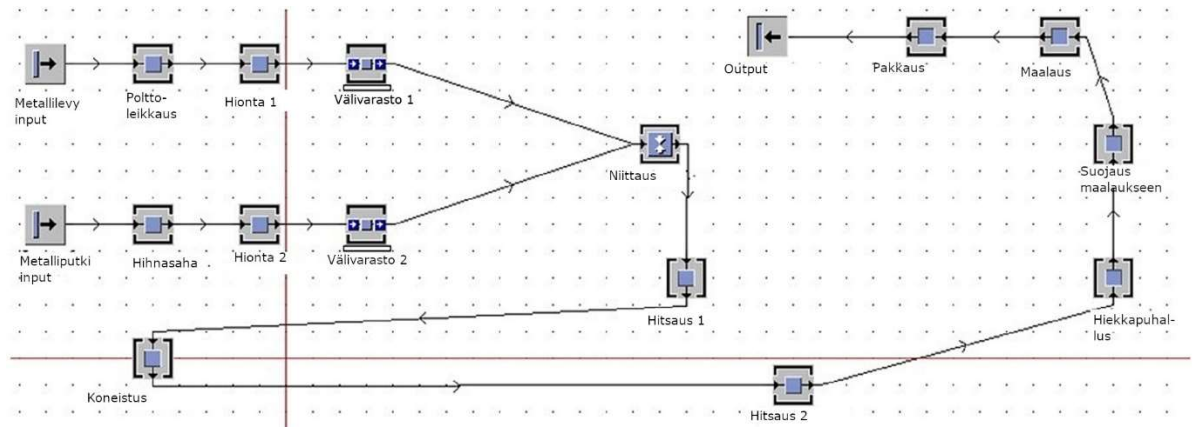
Luvussa käsitellään Malega et al. (2022) suorittamaa tuotantojärjestelmän optimointia tehdassimuloinnin avulla. Työn tarkoituksena on osoittaa, että simuloinnilla voidaan kasvattaa tuotantoa konkreettisen yritysesimerkin avulla. Työ voidaan jakaa kolmeen vaiheeseen, joista ensimmäinen on mallin luominen, toinen on mallintaa yrityksen nykytilanne sekä viimeisenä esittää ratkaisu.

Artikkelissa käsitellään puomin valmistusta ja raaka-aineina tuotantolinjalle ovat metalliputket- ja levyt. Ensimmäiseksi polttovasaralla työstetään levyt halutun laisiksi ja samanaikaisesti hihnasaha leikkaa putket halutun pituisiksi. Toisessa vaiheessa hiotaan pala-neet jäämät ja reunat osista. Tämän jälkeen osat siirtyvät välivaraston kautta nidontaan ja hitsaukseen. Hitsatut osat kuljetetaan trukkien avulla koneistuspisteelle, jossa porataan reikä osiin, samalla jyrsinkone katkaisee seuraavan puolivalmiin osan reunan. Puolivalmiit osat niitataan lopulliseen muotoonsa ja tarkastetaan. Hyväksytyin tarkastuksen jälkeen reiät suurennetaan tarvittaviin mittoihin ja itse puomi koneistetaan lopulliseen kokoon teknisten piirustuksien mukaisesti. Työstön jälkeen yksittäiset osat, jotka häiritsisivät työstöä, kiinnitetään puomiin niittaamalla. Tämän jälkeen puomi kuljetetaan trukilla loppuhitsaukseen ja työntekijä tarkastaa lopuksi puomin laadun. Hyväksytyin tarkastuksen jälkeen puomista poistetaan ruoste ja lika ennen maalausta ja lopulta kuivauksen kautta pakkauspaikalle odottamaan siirtoa asiakkaalle. (Malega et al. 2022)

Vastaavasti simulointimallissa syöteinä ovat levy- ja putkisyöte. Levysyöte kytketään polttoleikkaukseen ja putkisyöte hihnasahaan. ”SingleProc”-elementit nimetään poltto-

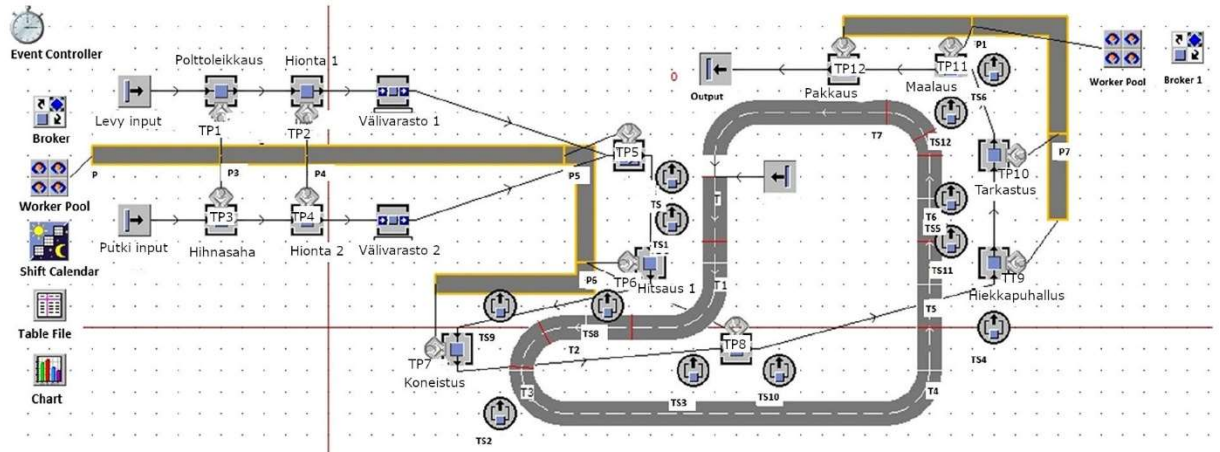
leikkaukseksi ja hihnasahaksi samalla, kun niiden prosessiajat määritetään malliin. Seuraavaksi puolivalmiit osat poistetaan työstö- ja hihnasahoista hiontapisteisiin, jossa käytetään myös "SingleProc" -elementtejä. Hiontapisteet kytketään puskurivarastojen kautta niittaukseen. "Buffer" -elementtiä käytetään puskurivarastoihin. (Malega et al. 2022) Kyseisen tuotantolinjan layout Plant Simulation -ohjelmassa on kuvattuna kuvassa 2. Malega et al. kertovat simuloinnissa käytettävän perusasetuksena kapasiteettia, joka oli asetettuna sataan varastoituihin kappaleeseen, jotka menevät niittaukseen. Simulointimallissa käytetään kahta työvuoroa:

1. Ensimmäinen vuoro alkaa 5:30 ja loppuu 14:00. Tauko on 11:00-11:30.
2. Toinen vuoro alkaa 14:09 ja loppuu 22:30. Tauko on 18:00-18:30. (Malega et al. 2022)



Kuva 2: Työpisteiden Layout Plant Simulation -ohjelmistossa (muokattu lähteestä (Malega et al. 2022)).

Kuvassa 3 havainnollistetaan tutkimuksessa luotu sopiva reititys trukeille ja työntekijöille, kuva 3 kuvastaa samalla valmista mallia. Taulukossa 1 esitellään simuloinnista saadut tulokset kuvaa 3 vastaavasta tilanteesta ennen muokkauksia yhden päivän ajalta.



Kuva 3: Työpisteiden Layout sekä trukien ja jalankulun reititykset Plant Simulation -ohjelmistossa (muokattu lähteestä (Malega et al. 2022)).

Kuvan 3 lyhenne TP on työpiste, P on polku, T on trukin reitti ja TS on "Transfer Station"-elementti.

Taulukko 1: Simulointitulokset kuvaa 3 vastaavasta tilanteesta (muokattu lähteestä (Malega et al. 2022)).

Kohde	Nimi	Keskiarvo aika	Läpi- meno	Tuotta- vuus	Kuljetus	Lisätty arvo
Output	Puomi	13:31:05.8397	2	88,38 %	11,62 %	82,53 %

Artikkelin lopussa Malega et al. (2022) esittävät ehdotuksen tuotantojärjestelmän optimointiin. Simulointituloksista huomataan, että layout ei ole suotavin ja suurin ongelma on horisontaalinen koneistus (Koneistus kuvassa 3), joka sijaitsee kaukana muista. Kaukainen sijainti aiheuttaa turhan hitaan materiaalivirran ja samalla hidastaa koko prosessia. Optimointiehdotuksessa Malega et al. (2022) siirsivät horisontaalista koneistus-pistettä 10 m lähemmäksi hitsausaluetta, samalla kääntäen koneistus-pistettä 90°. Ehdotettu ratkaisu paransi tuotantoprosessia. Käytetty havaintojakso molemmissa simuloinneissa oli yksi päivä, kahdella aiemmin esitellyllä kahdeksan tunnin työvuorolla. Optimointi lyhensi tuotantoprosessia yhteensä 11 minuuttia. Laajennettu simulointi kesti seitsemän päivää, jossa huomattiin, että tuotantolinja pystyi tuottamaan yhden puomin enemmän tänä aikana. (Malega et al. 2022) Taulukossa 2 on esiteltynä simulointitulokset seitsemän päivän aikajaksolta, sekä nykytilanteen ja ehdotetun layoutin osalta.

Taulukko 2: Simulointitulokset seitsemän päivän ajanjaksolta nykyiselle, sekä ehdotetulle layoutille (muokattu lähteestä (Malega et al. 2022)).

	Kohde	Nimi	Keskiarvo aika	Läpimeno	Tuottavuus	Kuljetus	Lisätty arvo
Nykytilanne	Output	Puomi	1:10:50:47.9868	17	77,67 %	22,23 %	34,11 %
Ehdotettu	Output	Puomi	1:10:15:07.0778	18	77,53 %	22,47 %	34,02 %

Artikkelin tulokseksi saatiin muokattu simulointimalli, jonka avulla voidaan säästää noin 11 minuuttia tuotantoprosessista. Muita huomioita tapaustutkimuksesta on, että tuotannonhallinnan tulevaisuuden näkymät ovat sidoksissa informaatio- ja viestintäteknologioiden soveltamiseen. Simulointi voi myös olla joustava ja sitä voidaan täydentää uusilla tekoälysovelluksilla. (Malega et al. 2022)

5. PÄÄTELMÄT

Luvun aiheena on vastata tutkimuskysymyksiin kirjallisuustutkimuksen kautta saatujen tulosten avulla, sekä tuoda omaa pohdintaa esille kysymyksiin liittyen.

Ensimmäinen kysymys on ”Mitä tehdassimulointi on?”. Kirjallisuustutkimuksen tulosten avulla tehdassimuloinnin voisi määritellä olevan järjestelmän mallintamista ja tutkimista tietokoneella haluttujen osa-alueiden sisällä. Esimerkiksi uuden tuotantolinjan luominen simulaatiomalliksi ja tämän jälkeen mahdollisten pullonkaulojen ja muiden tuotannon häiriöiden etsiminen ja poistaminen hyväksytyyn tilanteeseen.

Toinen tutkimuskysymys oli, millainen simulointitutkimus on valmistavassa teollisuudessa. Tutkimustulosten perusteella simulointitutkimuksen voisi mielestäni määritellä prosessiksi, jossa tutkitaan tiettyä ennalta määriteltyä ongelmaa jossakin tietystä tuotantojärjestelmästä luodusta digitaalisessa mallissa. Simulointitutkimuksen rakenteeseen kuuluu myös tulosten dokumentointi sekä mahdollinen implementointi, sillä tutkimuksessa voidaan ehkä huomata, että tulokset eivät välttämättä ole riittävät ratkaisun tekemiseen tai että ongelma sijaitseekin jossain muualla kuin itse tuotantojärjestelmässä. Simulointitutkimuksen voisi tutkimustulosten perusteella määritellä nelivaiheiseksi prosessiksi, jonka vaiheet ovat seuraavat:

1. Tutkimusongelman eli tutkittavan aiheen muodostaminen ja mallin luomista tarvittavan tiedon kerääminen.
2. Mallin luonti, verifiointi ja validointi. Mielestäni nämä voidaan yhdistää yhdeksi vaiheeksi sillä mallia luodessa sen pätevyyttä ja luotettavuutta pitää jo testata.
3. Mallilla suoritettavat testit tutkimustulosten saamiseksi.
4. Tulosten dokumentointi sekä mahdollinen implementointi.

Kolmas tutkimuskysymys oli tehdassimuloinnin käyttökohteiden ja hyötyjen määrittäminen. Tutkimustulosten perusteella hyötyjä sekä käyttökohteita on valmistavassa teollisuudessa monia. Hyödyiksi voisi yleistää tuotannon kannalta tuotannon optimoinnin mahdollisuudet, kuten pullonkaulojen paikannuksen ja läpimenoaikojen arvioinnin. Itsesään simuloinnilla ei välttämättä ratkaisuja ongelmiin saada vaan se lähinnä osoittaa ongelmien sijainnin tuotantojärjestelmässä. Tärkeimmäksi käyttökohteeksi itse mieltäisin tuotantojärjestelmään pohdittavien muutosten testaamisen simulointimallilla tai kokonaan uuden tuotantojärjestelmän luomisen ensin digitaalisena mallina. Täten oikean maailman järjestelmää ei häiritä testeillä vaan tuotanto voi jatkua samalla aikaa ja myös

kustannukset pysyvät maltillisina, kun testejä suoritetaan tietokoneella. Simuloinnin vahvuutena muihin tuotannon tutkimistapoihin verrattuna on satunnaisvaikutusten käyttäminen.

Tapaustutkimuksesta voi huomata, että lopulta pienellä muutoksella tuotantolayoutissa voi saada jo huomattavan eron läpimenoaikaan ja samalla valmistuneisiin tuotteisiin suhteellisen lyhyelläkin ajalla. Kyseisen tapaustutkimuksen ehdotus ei kuitenkaan ole parhain, jos mielessä on nostaa tuottavuutta. Tapaustutkimus on myös hyvä esimerkki tilanteeseen, jossa esimerkiksi pohditaan raskaan koneistuspisteen siirtoa. Vastaavan testauksen suorittaminen hallin puolella olisi ollut melkein mahdotonta ja kallista, joten siten tapaustutkimus antoi hyvän esimerkin muutoksen suunnittelusta jo olemassa olevaan tuotantojärjestelmään.

6. YHTEENVETO

Kandidaatintyön tavoitteena oli tutkia tehdassimuloinnin käyttökohteita ja selvittää simuloinnilla saatavaa hyötyä valmistavan teollisuuden näkökulmasta. Tavoitteena oli myös määritellä tehdassimulointi sekä simulointitutkimuksen rakenne. Tavoitteen saavuttamista varten työlle asetettiin alussa kolme tutkimuskysymystä, joiden avulla tavoitteet myös saavutettiin. Työ toteutettiin kirjallisuuskatsauksena, mutta käyttökohteiden esittämisen apuna hyödynnettiin muutamaa tapaustutkimusta.

Työn toisessa luvussa määriteltiin tehdassimuloinnin määritelmä, sekä perehdyttiin tarkemmin simuloinnin kannalta oleellisiin termeihin, kuten simulointimalliin. Tehdassimulointi määritettiin olevan tuotantojärjestelmän mallintamista ja tutkimista tietokoneella. Simulointimallin määritelmäksi saatiin sen olevan digitaalinen kopio jo olemassa olevasta tai suunnitteilla olevasta tuotantojärjestelmästä. Lisäksi simulointimalli määriteltiin olevan tarpeeksi yksinkertaistettu tiettyjen kriteerien osalta.

Kolmannessa luvussa perehdyttiin simulointitutkimukseen ja sen rakenteeseen sekä selvitettiin muutama keino, joiden avulla simulointitutkimuksen onnistumisen voisi taata. Simulointitutkimukseen osallistuvan tiimin kommunikointi saatiin määritettyä simulointitutkimuksen tärkeimmäksi tekijäksi. Simulointitutkimuksen rakenteeksi saatiin tulosten perusteella muutama eri näkökulma, mutta ne se sisälsivät kuitenkin samanlaisia piirteitä, hieman eri tavalla ilmaistuna tai ryhmiteltynä. Pääpiirteittäin simulointitutkimuksen rakenteeksi määriteltiin seuraavat vaiheet: ensimmäisenä vaiheena on tutkimusongelman muodostaminen, seuraavana tarvittavan tiedon kerääminen, kolmantena mallin luominen kerättyjen tietojen pohjalta sekä mallin verifiointi ja validointi, neljäntenä mallilla suoritettavat testit, jotta tutkimuskysymykseen saataisiin vastaus ja viimeisenä vaiheena tulosten dokumentointi sekä mahdollinen implementointi, sillä päätöksentekijät voivat päättää olla myös implementoimatta.

Neljännessä luvussa käsiteltiin tehdassimuloinnin käyttökohteita ensin yleisesti ja lopuksi myös parin tapaustutkimuksen avulla. Tehdassimuloinnin käyttökohteiksi saatiin määritettyä lukuisia kohteita, joita olivat muun muassa seuraavat: tilanteet, joissa ollaan suunnittelemassa uutta tuotantojärjestelmää tai luomassa muutoksia jo olemassa olevaan ja tilanne, jossa tarvitaan työkalua, jolla voidaan visualisoida tilannetta päätöksenteon avuksi. Simuloinnin käyttökohteeksi saatiin myös esimerkiksi tuotannon työntekijöiden ja työkoneiden lukumäärän ja käyttöasteiden analysointi ja suorituksen arviointi eri mittarien avulla. Tapaustutkimukseen osalta tuotiin ilmi kyseisen tutkimuksen tavoitteet

ja tulokset sekä miten kyseisiin tuloksiin päädyttiin. Tapaustutkimuksen avulla konkreettiseksi hyödyksi kyseisessä tilanteessa saatiin noin 11 minuuttia lyhyempi tuotantoprosessi, joka mahdollistaa yhden ylimääräisen kokonaisen tuotteen valmistuksen työviikon aikana.

LÄHTEET

- Balci, O. (1998) 'Verification, Validation, and Testing', in Handbook of Simulation. [Online]. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons. pp. 1–1.
- Bangsow, S. (2016). Tecnomatix Plant Simulation Modeling and Programming by Means of Examples. 1st ed. 2016. [Online]. Cham: Springer International Publishing.
- Banks, J. (1998) Principles of Simulation. In Handbook of Simulation [Online]. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, 2–2.
- Banks, J. (2003). Discrete event simulation. Encyclopedia of Information systems, 663–671. <https://doi.org/10.1016/B0-12-227240-4/00045-9>
- Carson, J. S. (2005). Introduction to modeling and simulation. Proceedings – Winter Simulation Conference, 2005, 16–23.
- Law, A. & McComas, M. (1999) 'Simulation of manufacturing systems', in Proceedings of the 31st conference on winter simulation. [Online]. 1999 ACM, 56–59.
- Law, A. (2019) 'How to build valid and credible simulation models', in 2019 Winter Simulation Conference (WSC). [Online]. 2019 IEEE Press, 1402–1414.
- Malega, P., Gazda, V. & Rudy, V., (2022) Optimization of production system in plant simulation. Simulation (San Diego, Calif.). [Online] 98 (4), 295–306.
- Robinson, S. (2014). Simulation: The Practice of Model Development and Use, 2nd edition. John Wiley & Sons, 316.
- Sargent, R. (1992) 'Validation and verification of simulation models', in Proceedings - Winter Simulation Conference. [Online]. 1992 ACM, 104–114.
- Trebuña, P., Kliment, M., Edl, M. & Petrik, M., (2014) Creation of Simulation Model of Expansion of Production in Manufacturing Companies. Procedia Engineering. [Online] 96477, 482.
- Zhang, Z., Wang, X., Wang, Xi., Cui, F. & Cheng, H., (2019) A simulation-based approach for plant layout design and production planning. Journal of ambient intelligence and humanized computing. [Online] 10 (3), 1217–1230.