

Pekka Nykänen

TEHDASSIMULOINNIN LÄHTÖTIETO- JEN TUNNISTAMINEN JA KERÄÄMINEN

Kandidaatintyö
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Huhtikuu 2023

TIIVISTELMÄ

Pekka Nykänen: Lähtötietojen kerääminen tehdassimuloinnissa
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Teknisten tieteiden kandidaattiohjelma
Huhtikuu 2023

Simulointi on erinomainen työkalu tuotantojärjestelmien analysointiin ja tehokkuuden parantamiseen. Nykyaikaisessa yritysmaailmassa on kova kysyntä kyvyille luoda ja toimittaa tehokkaita ja käyttökelpoisia simulaatiomalleja. Kuitenkin simulointimallien nopea kehittäminen ja käyttöönotto on estynyt tehotoman tiedonkeruun, pitkän mallidokumentaation ja huonon suunnittelun takia. Tehdassimulointiprojektit ja simulointimallit ovatkin vahvasti riippuvaisia korkeasta lähtötietojen laadusta, ja simulointiprojekteista iso osa kuluu tietojenkeräämiseen.

Tutkimuksen tavoitteena on selkeyttää simulointiprojektiin liittyvää tiedonkeräämistä ja näin ollen tehostaa simulointiprojektin suorittamista. Tutkimuksessa selvitettiin, mistä tunnistaan tarvittavat lähtötiedot tehdassimulointiprojektin alussa, ja miten lähtötietoja kerätään tehdassimulointiprojektin alussa. Työssä myös tutkittiin, kuinka lähtötietojen kerääminen ja muut keskeiset tekijät, kuten ongelman määrittely ja mallin monimutkaisuus sekä simulointiprojektin johtaminen vaikuttavat tehdassimuloinnin onnistumiseen.

Tutkimuksessa tutkimus suoritettiin kirjallisuuskatsauksena. Kirjallisuuskatsaus suoritettiin etsimällä aiheeseen liittyvää kirjallisuutta Andor-palvelusta sekä Google Scholarista, kirjallisuudessa keskityttiin vertaisarvioituihin ja luotettaviin tieteellisiin lähteisiin, kuten kirjoihin ja artikkeleihin, sekä konferenssijulkaisuihin. Kirjallisuutta rajattiin keskittymällä simulointiprojekteihin sekä jatkuvaan simulointiin.

Kirjallisuuskatsauksen tuloksena selvisi, että tärkeimmät vaiheet lähtötietojen määrittämisen kannalta simulointiprojektissa ovat ongelman ja tavoitteiden määrittäminen, käsitteellisen mallin muodostaminen sekä oikean systeemin ymmärtäminen. Oikean systeemin ymmärtäminen tukee käsitteellisen mallin muodostamista, josta simulointimallin tietovaatimukset ovat tunnistettavissa. Lähtötietojen keräämisen nopean ja onnistuneen kannalta kriittistä on, että kerääminen automatisoidaan standardimenetelmällä, jos se on kannattavaa. Kaikki lähtötiedot pitää sijaita samassa paikassa, sekä kaikki tiedot ja vaiheet pitäisi dokumentoida tarkasti. Työssä käsiteltyjä simuloinnin onnistumisen kannalta tärkeitä tekijöitä olivat ongelman ja tavoitteiden määrittely, käsitteellinen malli, mallin monimutkaisuus, lähtötiedot, validointi ja vahvistaminen sekä simulointiprojektin johtaminen. Edeltävät tekijät valittiin, koska ne määrittävät simulointiprojektin etenemistä, simulointimallin sisältöä sekä lisäksi ne esiintyivät tutkitussa kirjallisuudessa useasti. Simulointiprojektin johtaminen ohjaa koko simulointimallin kehittämistä, ja simulointiprojektin osapuolten tyytyväisyys on siitä riippuvainen. Loput tekijät määrittävät simulointimallin sisällön tarkemmin sekä vaikuttavat sen käyttökelpoisuuteen ja tulosten uskottavuuteen.

Tämän tutkimuksen tueksi pitäisi tutkia useampia simulointiprojektiin vaikuttavia tekijöitä sekä tutkia tarkemmin simulointiprojektin johtamisen vaikutusta simuloinnin onnistumiseen. Myös lähtötietojen keräämisen automatisoimista standardimenetelmällä olisi tärkeä tutkia, jotta lähtötietojen kerääminen olisi tehokkaampaa ja luotettavampaa sekä automaatiota voisi implementoida pienemmällä kynnyksellä lähtötietojen keräämiseen.

Avainsanat: tehdassimulointi, lähtötiedot, simulointiprojektit, simuloinnin onnistuminen

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. TEHDASSIMULOINTI	3
2.1 Tehdassimuloinnin käsitteitä	3
2.2 Simuloinnin käyttökohteita.....	4
2.3 Tehdassimuloinnin vaiheet.....	5
2.4 Tehdassimuloinnin hyödyt ja heikkoudet.....	7
3. LÄHTÖTIETOJEN KERÄÄMINEN	9
3.1 Lähtötietojen jaottelu	9
3.2 Keräämisen prosessi.....	10
3.3 Lähtötietojen tallentaminen ja hallinta	11
3.4 Lähtötietojen vahvistaminen ja validoiminen	12
3.5 Lähtötietojen keräämisen haasteet.....	13
4. SIMULOINNIN ONNISTUMISEEN VAIKUTTAVIA TEKIJÖITÄ	16
4.1 Ongelman ja tavoitteiden määrittely	16
4.2 Käsitteellinen malli	16
4.3 Mallin monimutkaisuus	17
4.4 Lähtötiedot	17
4.5 Validointi ja vahvistaminen	18
4.6 Simulointiprojektin johtaminen.....	18
5. TULOSTEN ANALYSOINTI	19
6. YHTEENVETO.....	23
LÄHTEET	25

LYHENTEET JA MERKINNÄT

CBS	engl. Corporate Business System, liiketoiminnan järjestelmä
ERP	engl. Enterprise Resource Planning, toiminnanohjausjärjestelmä
MES	engl. Manufacturing Execution Systems, tuotannonohjausjärjestelmä

1. JOHDANTO

Nykyaikaisessa yritysmaailmassa on kova kysyntä kyvyille, luoda ja toimittaa tehokkaita ja käyttökelpoisia simulaatiomalleja, jotka auttavat yrityksen liiketoiminnan päätöksien tekemisessä epävarmoissa olosuhteissa (Onggo & Hill 2014). Simulointi on erinomainen työkalu tuotantojärjestelmien analysointiin ja tehokkuuden parantamiseen. Tehdassimulointia käytetään suunnitteluun, ohjaukseen, strategian luomiseen, resurssien kohdentamiseen, kouluttamiseen ja muihin tuotannon toimintoihin. (Skoogh et al. 2012)

Simulointimallien nopea kehittäminen ja käyttöönotto on estynyt tehottoman tiedonkeruun, pitkän mallidokumentation ja huonosti suunniteltujen kokeiden takia (Perera & Liyanage 2000). Tehdassimulointiprojektit ovat vahvasti riippuvaisia korkeasta lähtötietojen laadusta, joten niiden keräämiseen kuluu paljon aikaa. Lähtötietojen keräämiseen kuluva aika on keskimäärin 31 % koko simulointiprojektin ajasta ja validoinnin kanssa tyypillisesti 40 % ajasta. (Perera & Liyanage 2000; Skoogh & Johansson 2008) Näin ollen resurssien, kuten ajan, rahan ja henkilöstön säästämiseksi selkeä tietojen keräys menetelmä ja paikka koko simulointi menetelmässä on tärkeä (Onggo & Hill 2014).

Tässä työssä tutkitaan, kuinka tehdassimulointia varten lähdetään keräämään tietoja. Tarkemmin tutkimuskysymykset ovat seuraavat:

1. Mistä tunnistetaan tarvittavat lähtötiedot tehdassimulointiprojektin alussa?
2. Miten lähtötietoja kerätään tehdassimulointiprojektin alussa?
3. Kuinka näiden lähtötietojen kerääminen ja muut tekijät vaikuttavat tehdassimuloinnin onnistumiseen?

Työ rajataan käsittelemään pääasiassa simulointiprojekteja sekä jatkuvaa simulointia ja niihin liittyvää tiedon keräämistä, simulointimallin rakentamista ja kehittämistä. Työ suoritetaan kuvailevana kirjallisuuskatsauksena. Kuvailevalla kirjallisuuskatsauksella ei ole tarkkoja rajoitteita, mutta sen avulla voi silti kuvata tutkittavaa ilmiötä ja sen ominaisuuksia (Salminen 2023). Kirjallisuuskatsauksessa tutkittiin saatavilla ja olemassa olevaa kirjallisuutta liittyen tehdassimulointiin ja lähtötietojen keräämiseen.

Työn alussa kappaleessa käsitellään tehdassimuloinnin käsitteitä, mihin simulointia käytetään, vaiheet simulointimallin rakentamisessa ja tehdassimuloinnissa sekä heikkoudet ja vahvuudet, jotka tehdassimulointi sisältää. Luvussa kolme keskitytään käsittelemään lähtötietoja osana simulointia. Ensimmäisenä käsitellään, miten lähtötietoja voidaan jaotella ja mistä niitä voidaan tuoda simulointimalliin. Sitten tietojen keräämisen prosessia,

eli mitä vaiheita lähtötietojen keräämiseen kuuluu. Kun lähtötietojen keräämisprosessin vaiheet on käyty läpi. Käsitellään simuloinnin tietojen hallintaa, tallentamista, vahvistamista ja validoimista. Luku kolme päätetään lähtötietojen keräämisen haasteisiin. Neljännessä luvussa vastataan tutkimuskysymykseen 3 eli käsitellään simuloinnin onnistumiseen vaikuttavia tekijöitä, kuten mallin monimutkaisuus, lähtötiedot ja käsitteellinen malli. Viides luku keskittyy työn tuloksien analysoimiseen ja kuudes luku on yhteenveto koko työstä.

2. TEHDASSIMULOINTI

Simulaatiolla tarkoitetaan olemassa olevan tai suunnitteilla olevan järjestelmän tietokonesimulaatiomallin luomista todellisen dynaamisen järjestelmän simuloimiseksi, ja kokeiden suorittamista tälle simulaatiomallille järjestelmän suorituskyvyn arvioimiseksi ja parantamiseksi. Systeemin simulointimallin täytyy sisältää tuotantolinjan layoutsimulointia, prosessisimulointia ja tuotannon logistiikan simulointia. (Qiao & Wang 2021) Banksin (1998) mukaan simulointi on todellisen prosessin tai systeemin toiminnan jäljittelyä, joka sisältää keinotekoisen historian, jotta voidaan tehdä johtopäätöksiä todellisen esitettävän järjestelmän toimintaominaisuuksista. Tehdas on yksi tai useampi rakennus, jossa valmistetaan paljon tuotteita raaka-aineista käyttäen koneita (Cambridge). Tehdassimuloinnissa luodaan siis tietokonesimulaatiomalli tehtaasta, jonka jälkeen simulointimallille tehdään testejä, jotta voidaan arvioida systeemin suorituskykyä ja toimintaa eri parametreilla. Tässä luvussa käydään läpi tehdassimuloinninkäsitteitä ja vaiheita sekä hyötyjä ja haasteita.

2.1 Tehdassimuloinnin käsitteitä

Tehdassimuloinnissa malli, tarkoittaa esitystä todellisesta järjestelmästä (Banks 1998). Tämä esitys sisältää myös ajan ja ajan kuluessa tapahtuvat muutokset (Carson 2005). Mallin tulee olla tarpeeksi monitahoinen, että se vastaa esitettyihin kysymyksiin, mutta ei liian monimutkainen (Banks 1998). Carson (2005) sanoo, että simulointimallin rakenne on yleensä yksi kolmesta vaihtoehdosta, jotka ovat tapahtuman ajoitus, prosessivuorovaikutus tai toiminnan skannaus. Banksin (1998) mukaan on kuitenkin neljäs mallin rakenne, edellisten lisäksi, nimeltä kolmen vaiheen malli. Kaikilla malleilla on oma keskittymisen tapahtumiin, prosesseihin, toimintaan tai käyttäytymiseen (Carson 2005; Banks 1998).

Tapahtuman ajoitus menetelmässä mallin rakentajan täytyy määritellä mallin toiminta logiikka ja systeemin tilan muutokset, jotka esiintyvät aina kun jokin tapahtuma esiintyy (Carson 2005). Tapahtuman ajoitus perustuu siihen, että edetään ajassa seuraavaan tapahtumaan. Tapahtuman seurauksena käytettävissä olevat objektit ja kokonaisuudet uudelleen kohdistetaan toimintaan, johon ne voivat nyt osallistua. (Banks 1998)

Prosessi on sarja tapatumia, toimintoja ja muita viivästyksiä, jotka ovat vuorovaikutuksessa objektiin tai kokonaisuuteen, kun se liikkuu systeemin läpi (Carson 2005). Prosessi

vuorovaikutuksessa tietokoneohjelman pitäisi jäljitellä objektin tai kokonaisuuden etene- mistä systeemin läpi. Objekti tai kokonaisuus etenee systeemissä, kunnes se myöhäs- tyy, menee aktiviteettiin tai poistuu systeemistä. Kun objektin tai kokonaisuuden liike py- sähtyy, malli etenee seuraavaan ajan kohtaan, kun liikettä tapahtuu. (Banks 1998)

Toiminnan skannaus menetelmä perustuu mallin logiikan määrittämiseen, keskittymällä toimintoihin resurssin näkökulmasta ja määrittämällä resurssin tilan muutokset riippuen erilaisista tapahtumista (Carson 2005). Toiminnan skannauksesta käytetään myös nimi- tystä kahden vaiheen menetelmä. Tässä menetelmässä toiminnot odottavat, että ne to- teutuvat, kun tapahtuma esiintyy, systeemin tila päivittyy. Skannaus tapahtuu aina, kun tehdään päätös, suoritetaanko toiminto vai ei. (Banks 1998)

Kolmen vaiheen menetelmässä ajassa edetään, kunnes systeemin tilassa tapahtuu muutos tai jotakin seuraavaa tapahtuu. Systeemiä tarkastellaan, jotta määritetään kaikki tapahtumat, jotka esiintyvät sillä hetkellä. Sitten vapautuvat ne resurssit, jotka lopettaa toimintonsa sillä hetkellä. Lopuksi resurssit uudelleen ohjataan uusiin toimintoihin. (Banks 1998)

Mallista, jota ei olla vielä rakennettu tietokoneohjelmaan, voidaan käyttää myös nimitystä käsitteellinen malli (engl. Conceptual model). Käsitteellinen malli tarkoittaa ohjelmistosta riippumatonta, kuvaus tietokone simulaatiomallista, joka on tai tulee olemaan kehitetty, joka kuvaa mallin tavoitteita, syötteitä, ulostuloja, sisältöä, oletuksia ja yksinkertaistuksia. Käsitteellisen mallin muodostaminen on iteratiivinen prosessi ja prosessin aikana ede- tään ongelmasta mallin vaatimuksiin, ja sitten siihen mitä mallinnetaan ja kuinka mallin- netaan. (Robinson 2010)

”Järjestelmä on rakennelma tai kokoelma erilaisista elementeistä, jotka yhdessä tuotta- vat tuloksen, jota ei saavutettaisi yksittäisillä elementeillä”. Systeemiin elementtejä on käyttäytyminen, suorituskyky, ominaisuudet ja toiminnot. Mallin ja simulaation valmista- jan täytyy siis ymmärtää systeemin osat ja systeemi kokonaisuutena (Nasrallah 2015).

2.2 Simuloinnin käyttökohteita

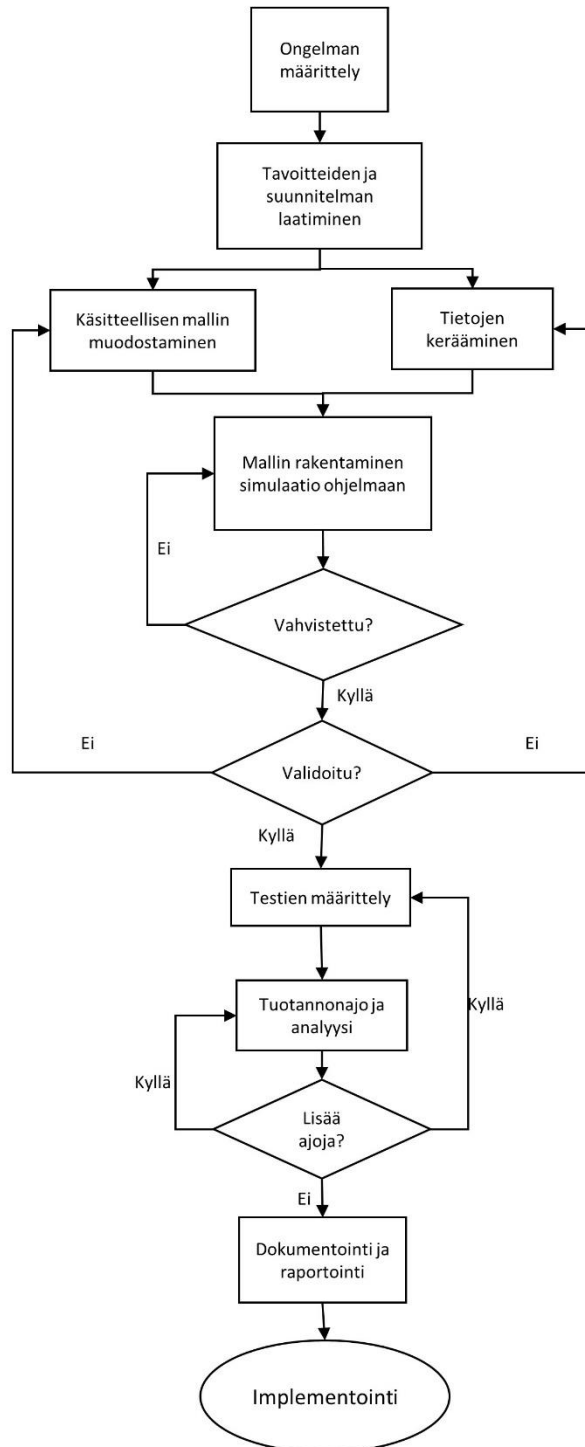
Simulointi toimii tehokkaana työkaluna uusien systeemien, nykyisen systeemin muok- kauksiin ja ohjausjärjestelmän muutoksiin sekä toimintaohjeiden arviointiin ja analysoin- tiin. Simulointimallia käytetään systeemien ja prosessien eri parametrien testaamiseen, arvioimiseen ja vertailuun. Tehdassimuloinnin avulla voidaan täten ennustaa systeemin suorituskykyä ja tunnistaa systeemin ongelmia ja niiden syitä. (Carson 2005) Simuloin- nilla pystytään myös varmistamaan uusien tuotteiden ja tuotantolaitteiden sulava käyt- töönotto (Skoogh & Johansson 2008).

Tehdassimulointia käytetään myös tuotannosuunnitteluun, koska simulointi teknologian avulla voidaan suunnitella tuotantolayout, tuotantolaitteiston kokoonpano ja materiaalin kuljetus. Simuloinnin, vertailun ja analysoinnin jälkeen voidaan löytää olemassa olevat ongelmat systeemistä ja tehdä säätöjä sekä optimointia, jotka vähentävät kustannuksia, lyhentävät rankennusaikaa ja parantavat tehokkuutta. (Qiao & Wang 2021)

2.3 Tehdassimuloinninvaiheet

Jokainen tehdassimulointiprojekti sisältää tietyt samat vaiheet, jotka on esitetty kuvassa 1. Simulaatio projekti alkaa sillä, että määritellään ongelma, asetetaan tavoitteet, miten suorituskykyä mitataan, mallin oletukset ja tietovaatimukset. Tämän jälkeen tehdään projektisuunnitelma, johon kuuluu aika- ja kuluarviot. Projektin suunnitelmaan pitäisi sisällyttää myös erilaiset skenaariot, joita tullaan tutkimaan. Kun projektin suunnitelma on valmis, täytyy muodostaa todellisesta järjestelmästä käsitteellinen malli ja aloittaa keräämään tietoa järjestelmästä. Tietojen keräämistä käsitellään tarkemmin omassa luvussaan. Tietojen keräämisen jälkeen tärkeät ja käyttökelpoiset tiedot täytyy erottaa turhasta tiedosta. Kun tiedoista on seulottu turha tieto pois, täytyy tiedot validoida.

Kun tiedot järjestelmästä on kerätty ja käsitteellinen malli on valmis, täytyy rakentaa tietokoneohjelmaan malli järjestelmästä. Kun tietokoneohjelman malli on valmis, se täytyy vahvistaa ja validoida. Jos mallin vahvistus epäonnistuu, mallia täytyy muokata ja jos mallin validointi epäonnistuu, täytyy käsitteellinen malli tarkistaa, ja tietojen keräys tehdä uudelleen. Tämän takia tietojen kerääminen on tärkeässä osassa simulointiprojektia. Kun vahvistaminen ja validointi on tehty onnistuneesti, projektisuunnitelman perusteella tehdään päätös, mitä kokeita mallille suoritetaan ja miten parametrejä muutetaan mallissa. Kun mallille on suoritettu kokeita, tulokset ja mallin toiminta dokumentoidaan ja raportoidaan. Kun kaikki nämä vaiheet on suoritettu, malli voidaan implementoida käyttöön. (Banks 1998; Carson 2005)



Kuva 1. simulointiprojektin vaiheet (muokattu lähteestä Banks 1998)

Tässä työssä keskitytään tehdassimuloinnin vaiheista alkuun joihin lukeutuu tietojen kerääminen, mallin rakentaminen simulaatio ohjelmaan, validointi, sekä mallin vahvistaminen. Viimeisissä kappaleissa myös arvioidaan näiden vaiheiden onnistumisen vaikutusta simulointiin sekä tehdassimulointiprojektin johtamisen vaikutusta simuloinnin onnistumiseen.

2.4 Tehdassimuloinnin hyödyt ja heikkoudet

Tehdassimulointia voidaan käyttää monilla tavoin parantamaan tuotantoa tai helpottamaan päätösten tekoa tuotannon suunnittelussa. Tehdassimuloinnin etuja ovat Banksin (1998) mukaan:

1. Voidaan tehdä simuloinnin tulosten perusteella valintoja ilman, että joudutaan tekemään isoja investointeja.
2. Ajan manipulointi, tehdassimuloinnissa on mahdollista nopeuttaa tai hidastaa aikaa, jolloin voidaan tehdä ennustuksia tai nähdä asioita paremmin, kun tapahtumat eivät etene yhtä nopeasti kuin oikeassa maailmassa.
3. Syy-seuraus suhteiden parempi ymmärrys. Simulointimallia tutkimalla voidaan saada selville miksi tietyt asiat tapahtuvat systeemissä.
4. Mahdollisuuksien tutkiminen. Simulaatiomalliin tehtävät muutokset eivät tuota häiriöitä oikeaan tehtaaseen, joten simuloija pystyy testaamaan erilaisia uusia toimintatapoja ja muutoksia.
5. Ongelmien diagnosointi. Tehdassimuloinnin avulla pystytään näkemään monitasoisestakin systeemistä mitkä muuttujat ovat kriittisiä systeemin toiminnan kannalta.
6. Rajoitusten ja pullonkaulojen löytäminen. Pullonkaulojen syyn löytäminen voi olla hankalaa, mutta simuloimalla voidaan tehdä pullonkaula analyysi, jolla saadaan pullonkaulojen syy selville.
7. Parantaa ymmärrystä järjestelmästä. Simulointi kokeilla pyritään saamaan tietoa, kuinka järjestelmä oikeasti toimii.
8. Voidaan visualisoida suunnitelmia. Suunnitteilla olevan muutoksen toiminta voidaan nähdä, josta voidaan nähdä puutteita, joita ei muuten huomattaisi. (Banks 1998)

Nämä hyödyt tekevät tehdassimuloinnista käytännöllisen työkalun, kun ei voida esimerkiksi laskentataulukon avulla tehdä tarpeeksi tarkkoja laskelmia systeemistä, todellinen systeemi on liian monitasoinen tai liian isokokoinen hahmotettavaksi sellaisenaan, suunnitellaan uutta järjestelmää, tehdään suuria investointeja, visualisoimaan tuotantoa ja voidaan kouluttaa eritason työntekijöitä järjestelmästä (Carson 2005).

Simuloinnin hyödyt ovat monipuoliset ja niitä on paljon, mutta sillä on myös heikkouksia. Heikkouksia ovat seuraavat:

1. Mallin rakentaminen tarvitsee erityistä koulutusta tai harjoitusta.
2. Simuloinnin tuloksia voi olla vaikeaa tulkita, koska kun mallia ei osata tulkita oikein, voidaan sekoittaa ulostulon satunnaisuus syy seuraus suhteeksi.
3. Simulointi voi olla kallista ja aikaa vievää.
4. Simulointia voidaan käyttää turhaan. Tämä tapahtuu yleensä silloin kun olisi helpompia keinoja käytettävissä, mutta käytetään silti simulointia. (Banks 1998)

Simulointia varten ei usein ole saatavilla lähtötietoja ja niiden kerääminen voi olla kallista, sekä aikaa ei ole tarpeeksi simulointiprojektin päätöksien tekoa varten. Simulointia voidaan myös käyttää turhaan ongelman ratkaisuun vain koska aikaisemminkin on käytetty

simulointia päätöksenteon tukena. Joissakin tapauksissa simulointimallin visuaalisuus voi olla sekoittavaa päätöksenteossa varsinkin, kun tehdään liian nopeita johtopäätöksiä. (Carson 2005)

3. LÄHTÖTIETOJEN KERÄÄMINEN

Tehdassimuloinnissa datalla tarkoitetaan tapahtumien esittämistä määrällisinä faktoina, kuten kokoonpanoaseman prosessointiajan keston kuvaaminen. Lähtötieto tarkoittaa dataa, jota on prosessoitu käytettäväksi suoraan simulointimallissa. (Skoogh et al. 2012) Tässä kappaleessa käsitellään lähtötietojen jaottelua niiden ominaisuuksien perusteella, tietojen keräämisen prosessia ja tietojen hallitsemista, tallentamista, vahvistamista ja validointia. Lopuksi käsitellään vielä haasteita lähtötietojen keräämisessä. Kappaleen on tarkoitus määrittää mitä vaiheita lähtötietojen keräämisessä on ja millaisia vaikutuksia niillä on keräämisen prosessiin.

3.1 Lähtötietojen jaottelu

Tehdassimuloinnissa lähtötietojen keräämisellä on suuri merkitys, ja simulointiprojektit ovat vahvasti riippuvaisia syötettyjen lähtötietojen korkeasta laadusta (Skoogh & Johansson 2008, s. 1). Kun simulointiprojekti on siinä vaiheessa, että on muodostettu käsitteellinen malli, pitää määrittää, mitä tietoja täytyy kerätä. Tiedot jaetaan kolmeen kategoriaan niiden saatavuuden perusteella. Kategoria A:han kuuluvat kaikki ne tiedot, jotka ovat jo valmiiksi saatavilla tai kerättynä. Tällaisia tietoja ovat automaattisesti kerätyt tai jotain muuta projektia varten kerätyt tiedot, jotka ovat käyttökelpoisia. Kategoria B:hen kuuluvat sellaiset tiedot, jotka ei ole vielä valmiiksi kerättynä mutta jotka voidaan kerätä. Kategoria C:hen kuuluvat ne tiedot, jotka eivät ole valmiiksi kerättynä ja joita ei myöskään voida kerätä. (Robinson & Bhatia, 1995 s. 63)

Lähtötietoja voidaan tuoda simulointimalliin neljästä eri lähteestä (Skoogh et al. 2012, s. 182). Ensimmäinen lähtötietojen lähde on yrityksen liiketoiminnan ja tuotannon järjestelmät (engl. Corporate Business System, CBS). Tämänlaisia järjestelmiä ovat esimerkiksi ERP ja MES. ERP-järjestelmä on yrityksen toiminnanohjausjärjestelmä, josta voidaan nähdä esimerkiksi ennusteita. MES on tuotannonohjausjärjestelmä, josta voidaan nähdä esimerkiksi tuotannon tila ja kuormitus. Näistä järjestelmistä saadaan seuraavia tietoja: asetusajat, työstöajat ja materiaalin käyttö. Toinen lähde, josta tietoja voidaan tuoda malliin, on projektikohtainen data. Projektikohtaista dataa ovat esimerkiksi asiantuntijoilta ja johtajilta saadut tiedot, kuten myyntiennusteet ja työntekijöiden määrä. Kolmantena lähteenä on ulkoisista viitejärjestelmistä kerätty tieto. Näitä tietoja ovat esimerkiksi koneen tiedot valmistajalta. Neljäs lähde, josta tietoa voidaan tuoda malliin, on kerättävä data, esimerkiksi kellon kanssa ajan mittaaminen jollekin prosessin osalle. Kun aikaisemmat tiedot eivät riitä mallin rakentamiseen täytyy oikeaa prosessia tutkia ja tarkastella, jotta

voidaan päättää, mikä tieto on merkityksellistä. (Skoogh et al. 2012, s. 182–183) Lähtötietoja jaotellaan myös saatavilla olevan tiedon määrän, laadun sekä riippuvuuden perusteella (Banks 1998, s. 19).

3.2 Keräämisen prosessi

Ennen kuin lähtötietoja aletaan keräämään, täytyy määrittää, mitä lähtötietoja täytyy kerätä ja mitä tietoja mallin rakentamiseen tarvitaan (Skoogh & Johansson 2008, s. 1729). Simulointiprojekteilla, jotka on ymmärretty väärin tai huonosti, on korkeampi riski epäonnistua, koska asiaan kuulumattomien tietojen keräämiseen on käytetty liikaa aikaa (Pereira & Liyanage 2000, s. 656). Malliin tarvittavat ja kerättävät lähtötiedot voidaan tunnistaa käsitteellisestä mallista, sekä siitä voidaan myös tunnistaa, kuinka tarkkoja tietoja millekin elementille tarvitaan (Robinson & Bhatia 1995, s. 63). Jos tietoja ei ole vielä kerätty, pitää jokaiselle tarvittavalle lähtötiedolle määrittää, miten niitä mitataan ja kuinka ne esitetään mallissa (Skoogh & Johansson 2008, s. 1729).

Yleisesti lähtötietoja varten raaka dataa olisi hyvä kerätä niin paljon kuin mahdollista, jotta voidaan luoda tarkat lähtötiedot systeemistä. Keräämisen tehokkuuden kannalta kuitenkin on tärkeää erotella tarkkuus vaatimukset jokaiselle simulointimallin parametreille. (Skoogh & Johansson 2008, s. 1730) 100–200 näytettä, kuten asetusaikaa, on riittävä määrä, jos niiden kerääminen on mahdollista. Jos näytteitä otetaan vähemmän, lähtötietojen laatu kärsii, eikä se parane huomattavasti, jos näytteitä otetaan enemmän. (Banks 1998, s. 60) On kriittistä tunnistaa mallia varten tärkeät tiedot ja keskittyä niiden selvittämiseen. Erityisesti systeemin pullonkaulat ja kapeikot tarvitsevat korkeaa tarkkuutta ja validiutta lähtötietojen suhteen. Kun lähtötietojen keräysvaiheessa tiedetään, että jokin lähtötieto on kriittinen mallin toiminnalle, siihen voidaan keskittyä enemmän ja myöhemmässä vaiheessa voidaan luoda testi, jolla määritetään, onko lähtötieto kerätty tarpeeksi tarkasti, jotta malli toimii validisti. Tätä testaamista tulisi tehdä kaikille mahdollisesti kriittisille lähtötiedoille. (Skoogh & Johansson 2008, s. 1730)

Kun on määritetty aikaisempien kohtien perusteella, mitä tietoja pitää kerätä, kuinka tarkasti ja mitkä ovat kriittiset tiedot ja niiden vaikutus mallin toimintaan, aletaan muodostamaan lähtötietoja, jotka syötetään malliin. Ensimmäisenä aletaan tunnistamaan tietoja kategoriasta A, eli valmiiksi saatavilla olevia ja kerättyjä tietoja. Kun aletaan käyttämään jo ennalta kerättyä tietoa, täytyy olla tarkkana, että tiedot ovat oikeassa muodossa ja tarpeeksi tarkkoja. Kategorian A tietoja voidaan alkaa hakemaan kolmesta ensimmäisestä lähteestä eli CBS:stä, projektiakohtaisista tiedoista ja viitejärjestelmistä. Tässä kohdassa on kriittistä varmistaa, että tieto on kerätty sopivalla tavalla, joka on määritetty aikaisemmin. (Skoogh & Johansson 2008, s. 1730–1731)

Seuraavaksi aletaan määrittämään tietoja, joita ei vielä ole saatavilla, eli keskitytään kategorioihin B ja C. Nämä tiedot pitää kerätä tai arvioida sopivalla tarkkuudella. Yleisin tapa kerätä kategorian B tietoja on käyttämällä kelloa eli mittaamalla aika, joka kuluu systeemin prosesseihin. Kun prosessia mitataan, täytyy olla tieto, mistä kohtaa prosessi alkaa ja missä kohtaa se loppuu. Nämä kohdat pitäisi olla määritettynä käsitteellisestä mallista jo aikaisemmin. Tällä tavalla voidaan kerätä helposti ja nopeasti tietoja esimerkiksi tuotannon prosesseista, puskurivarastoista ja kuljettimien nopeuksista. Tietoja voidaan myös kerätä videolta. (Skoogh & Johansson 2008)

Tietojen keräämisessä voi tulla haasteellinen tilanne, jossa systeemiä ei vielä ole olemassa, jolloin joudutaan käyttämään alkuarvoille arvioita, koska tietoja ei voida vielä kerätä millään aikaisemmin mainitulla tavalla. Kun joudutaan turvautumaan pelkkiin arvioihin, on kolme tapaa, joiden avulla saa tukea arvioihin:

1. keskustellaan arvioista asiantuntijan kanssa
2. tarkastellaan historiatietoja samanlaisista järjestelmistä
3. etsitään standardoitua tietoa prosesseista. (Banks 1998)

Toinen haastava tilanne tietojen keräämisessä on ihmisten mukana oleminen. Ihmisten toiminta on paljon arvaamattomampaa kuin systeemin muiden osien toiminta. Ihmiset eivät myöskään toimi aina täysin loogisesti. Kun ihmisiä on mukana systeemissä, täytyy tietojen kerääminen suunnitella ja suorittaa varovasti, jotta voidaan välttää Hawthorneefektiä sekä vältetään toimijoiden ärsyttämistä. (Skoogh & Johansson 2008) Hawthorneefektillä tarkoitetaan sitä, että yksilö muuttaa käyttäytymistään, koska tietää olevansa tarkkailun alaisena.

3.3 Lähtötietojen tallentaminen ja hallinta

Kun tietoja kerätään, lähtötiedoille täytyy laatia paikka, johon ne tallennetaan, joko laske-
tataulukon tai tietokannan muodossa. Tällöin tiedonkeräysprosessi pysyy johdonmu-
kaisena ja lähtötiedot ovat helposti saatavilla. Kaikki raaka data ja analysoitu data ja
lähtötiedot pitäisi sijaita samassa paikassa. (Skoogh & Johansson 2008) Yleisimmät läh-
tötietojen ja datan hallintamenetelmät sisältävät paljon manuaalista osallistumista tieto-
jen hallintaan ja hyödyntävät simulointimallista erillistä taulukkolaskentarajapintaa
(Skoogh et al. 2012).

Skoogh et al. (2012) mukaan datan säilyttämistä varten tulee valita oikea tapa säilyttää sitä. Simulointi tiimeillä on neljä erilaista menetelmää prosessoida ja säilyttää dataa, jotka ovat seuraavat:

1. simulointiprojektin suorittaja tai suorittajat keräävät ja prosessoivat datan lähtötiedoiksi monista lähteistä.
2. data ja tiedot tallennetaan ulkoiseen lähteeseen, yleensä laskentataulukoon.
3. dataa ja tietoja tuodaan ulkoiseen lähteeseen, kuten laskentataulukoon, jostakin automaattisesta järjestelmästä.
4. data tuodaan suoraan malliin relevanteista lähteistä.

Näistä menetelmistä ensimmäinen on ollut yleisin ja suosituin, koska se on yksinkertaisin ja mallin rakentaja vahvistaa tietoja koko simulointiprojektin ajan. Ensimmäisen menetelmän heikkous on se, että virheellisesti syötetyt arvojen mahdollisuus kasvaa ja tietoja voi päivittää vain mallin iteraatioiden välissä, eikä jatkuvasti. Toisena esitelty menetelmä on paljon käytetty, koska pystytään muokkaamaan lähtötietoja laskentataulukosta. Laskentataulukon käytön ansiosta datan prosessointi ja vahvistaminen on helpompaa sekä mallin joustavuus ja päivittyvyys paranevat. (Skoogh et al. 2012)

Kolmas menetelmä on jatkettu versio toisesta menetelmästä, joten kolmas menetelmä on joustava ja päivittyvä, mutta myös automaattisempi kuin ensimmäinen ja toinen menetelmä. Kolmatta menetelmää käyttämällä voi säästää aikaa datan ja tietojen keräämisessä, koska niitä ei tarvitse hakea ja kerätä manuaalisesti. Neljännessä menetelmässä yleensä tiedot tuodaan jostakin lähteestä CBS:n sisältä. Tämä menetelmä poistaa datan keräämisen ja hallinnan tarpeen sekä poistaa virheiden syöttö mahdollisuuden, kunhan tiedot tuodaan oikein malliin CBS lähteistä. Neljännen menetelmän toimintaan tarvitaan kuitenkin sellaiset CBS lähteet, joista tietoa on mahdollista saada. (Skoogh et al. 2012)

3.4 Lähtötietojen vahvistaminen ja validoiminen

Vahvistaminen tarkoittaa prosessia, jossa määritetään, että simulointimalli edustaa kehittäjän käsitteellistä mallia tarpeeksi tarkasti (Robinson & Brooks 2010). Validoinnilla tarkoitetaan prosessia, jolla määritetään, että kuinka hyvin simulointimalli ja siihen liittyvä data kuvaa oikeaa systeemiä (Schwartzenburg et al. 2007). Vahvistamiseen ja validointiin kuuluu simulointiprojektissa seitsemän kohtaa, jotka ovat käsitteellisen mallin validointi, datan validointi, vahvistaminen, valkea laatikko validointi (engl. white-box valida-

tion), musta laatikko validointi (engl. black-box validation), koe validointi ja ratkaisu validointi. Datan validoinnissa määritetään, että asiaankuuluva data ja datan tarpeet, mallin realisoimista ja validoimista varten, ovat tarpeeksi tarkat. (Robinson & Brooks 2010)

Vahvistaminen ja validointi ei ole yksittäinen askel simulaatio projektissa, vaan jatkuva-prosessi, joka alkaa käsitteellisen mallin muodostamisesta ja loppuu kun työ on valmis (Robinson 2002). Tietojen validoimista ei usein pidetä osana mallin validointia, koska on yleisesti hankalaa, aikaa kuluttavaa ja kallista saada tarkkaa, sopivaa ja riittävästi tietoa, mutta ongelmat datan kanssa on yleisesti syy mallin validoimisen epäonnistumiseen. Dataa käytetään yleisesti kolmeen eri tarkoitukseen, joista kahta ensimmäistä käytetään mallin validoimisessa:

1. käsitteellisen mallin rakentamiseen
2. mallin validoimiseen
3. testien suorittamiseen validoidulla mallilla. (Sargent 2013)

Mahdollisten ristiriitojen ilmaantuessa validoinnissa tai vahvistuksessa simulointimallin ja oikean systeemin välille, täytyy mallista etsiä virheitä, tai käsitteellistä mallia täytyy muokata, jotta se kuvastaisi paremmin oikeaa systeemiä. Kun nämä virheet on korjattu tai käsitteellistä mallia on muokattu, täytyy validointi ja vahvistus tehdä uudestaan. (Banks 1998) Jos malli on validoitu ja vahvistettu, täytyy kaikkien mallin ulostulojen olla järkeviä ja kohtuullisia useilla syötetyillä lähtötiedoilla (Carson 2005).

3.5 Lähtötietojen keräämisen haasteet

Lähtötietojen keräämistä hankaloittaa seuraavat asiat: mallin yksityiskohtaisuus, mallin tarkkuus, tietolähteiden määrä ja tunnistaminen, oikean systeemin monimutkaisuus, selkeiden tavoitteiden puute sekä väärin määritetyt ongelmat. Ennen kuin simulointia aletaan tekemään ongelma, johon sillä pyritään vastaamaan, täytyy olla selvä. Myös ongelman koko ja laatu täytyy tietää, jottei simulointimallia rakenneta väärää ongelmaa varten. (Perera & Liyanage 2000)

Mallin yksityiskohtien määrän kasvaessa, laadukkaan datan löytäminen uusille ominaisuuksille on vaikeampaa tai sitä ei ole olemassa. Lähtötietoja ei ole saatavilla myöskään, kun simulointimalli rakennetaan kuvaamaan uutta suunniteltavaa järjestelmää, koska järjestelmän toiminnasta ei ole historiatietoja. Edellä mainitut asia johtavat usein huonoon lähtötietojen saatavuuteen. (Perera & Liyanage 2000)

Mallin tarkkuudella on selkeä vaikutus tiedonkeruuseen. Mallin tarkkuus riippuu simulointiprojektin tavoitteista, tietojen saatavuudesta, luotettavuus huolista, simulointiohjelman rajoitteista ja asiantuntijoiden mielipiteestä. Mallin korkeampi tarkkuus ei välttämättä paranna simulointi tuloksia, mutta voi johtaa tiedon keräämisen pitkittymiseen. (Perera & Liyanage 2000)

Simulointimallit tarvitsevat lähtötietoja ja dataa monista lähteistä, joka johtaa usein vaikeuksiin tunnistaa saatavilla olevat luotettavat tietolähteet. Nämä tietolähteet voivat vaihdella yksinkertaisista manuaalisista järjestelmistä kehittyneisiin tietokonepohjaisiin järjestelmiin. Lisäksi samat tiedot voivat sijaita monissa tietolähteissä, sekä tiedot voivat myös olla eri muodoissa näissä tietolähteissä. (Perera & Liyanage 2000)

Kerättävän datan määrä ja monimuotoisuus on suuresti riippuvainen todellisen tutkittavan järjestelmän monimutkaisuudesta. Datan keräys prosessin edetessä täytyy dataa vertailla sen yhtenäisyyden tarkistamiseksi. Tietojen vertailun eli validoinnin ja vahvistamisen ollessa mahdotonta tarvitaan useita iterointeja ennen kuin voidaan todeta tiedot asiaankuuluviksi ja tarkoiksi. (Perera & Liyanage 2000)

Selvien tavoitteiden puute vaikuttaa simulointiprojektin kaikkiin simulointiprojektin osaluoksiin. Huonosti määritellyt tavoitteet voivat aiheuttaa mallin liiallisen tarkkuuden tai monimutkaisuuden. Tarvittavien tietojen kerääminen vaikeutuu, jos mallin tavoitteita ei määritellä tarkasti heti simulointiprojektin alussa. (Perera & Liyanage 2000)

Ennalta manuaalisesti kerätty tieto voi myös aiheuttaa monenlaisia ongelmia, kuten tietoja on yhdistetty ryhmiksi, tietoja ei ole kerätty tarpeeksi tarkkoilla arvoilla tai arvoja on pyöritetty, tiedossa on mukana muitakin kuin yksi prosessi ja tieto voi myös kuvastaa eri systeemiä, kuin mitä simuloinnissa tullaan tarkastelemaan. (Banks 1998)

Jatkuvassa simuloinnissa, jota käytetään systeemin suunnittelun sijaan päivittäin systeemin operointiin, tarvitaan automaattisesti kerättyä korkean laadun dataa lähtötietoja varten. Datan laadun yksitoista dimensioita ovat:

1. tarkkuus
2. maine
3. saavutettavuus
4. käypäisyys
5. täydellisyys
6. tarkkuus
7. merkityksellisyys
8. resoluutio
9. jäljitettävyyys

10. selkeys

11. johdonmukaisuus

Datan laatua pystytään parantamaan monilla toimilla. Simulointiprojekteissa ja jatkuvassa simuloinnissa asiakas täytyy vakuuttaa datan tärkeydestä simuloinnissa. Tuotannon datan ollessa korkea laatuista datan hallinta pitäisi automatisoida standardi prosessilla muuttaen raaka datan syötettäväksi lähtötiedoiksi. Simuloinnin datan validointi täytyy erotella simulointimallin validoinnista, jolloin simulointi-analytikko validoi datan ja mallin käyttäen eri menetelmiä. Osapuolilla pitää olla selkeät roolit ja vastuut tiedon tuottamisessa, sekä täytyy edistää viestintää ja yhteistyötä, jotta kaikki osapuolet tietävät mitä, miten ja miksi dataan tuotetaan, varastoidaan ja käytetään. (Bokrantz et al. 2018)

4. SIMULOINNIN ONNISTUMISEEN VAIKUTTAVIA TEKIJÖITÄ

Tässä luvussa tutkitaan simuloinnin onnistumiseen vaikuttavina tekijöinä mallin monimutkaisuutta, lähtötietoja sekä käsitteellistä mallia. Nämä tekijät on valittu, koska ne liittyvät toisiinsa tiiviisti ja ne ovat kriittisessä osassa simulointia sekä ne ovat esiintyneet useasti monissa työn lähteissä. Viimeisenä tekijänä on simulointiprojektin johtaminen, josta mainitaan useissa lähteissä, mutta tietoa sen vaikutuksesta simulointiprojektin onnistumiseen on niukasti.

4.1 Ongelman ja tavoitteiden määrittely

Simulointiprojekteissa ongelman määrittely on kaikista tärkein vaihe, koska se ohjaa kaikkien muiden vaiheiden toteuttamista. Ongelman määrittäminen pitää dokumentoida ja tehdä selkeästi, jotta voidaan asettaa simulointiprojektin tavoitteet. (Banks 1998)

Kaikkien simulointiprojektin vaiheiden tulisi keskittyä simulointiprojektin tavoitteisiin. (Carson 2005) Simulointiprojektilla täytyy olla selkeät tavoitteet, koska muuten simulointiprojektin epäonnistumisen riski kasvaa. Selkeät tavoitteet auttavat simulointiprojektin edetessä ja se tekee radikaalien muutosten tekemisestä huonoon suuntaan epätodennäköisempää. (Banks 1998)

4.2 Käsitteellinen malli

Käsitteellinen malli on pohjimmiltaan oletusten ja tietojen joukko. Nämä oletukset ja tieto vaatimukset täytyy dokumentoida mallinnettavan systeemin kielellä, sillä se kuvaa mallinnettavaa systeemiä. (Carson 2005) Käsitteellisen mallin rakentaminen on tärkeä vaihe simuloinnin onnistumisen kannalta, koska sen kanssa määritetään simulointimallin tavoitteet, suorituskyky ja rajoitukset (Robinson 2011).

Käsitteellisestä mallista saadaan tietää simulointimallin laajuus ja syvyys. Mallin tulisi olla tarpeeksi laaja ja yksityiskohtainen, jotta käsitteellisen mallin tavoitteet saavutetaan. Simulointimallin turha yksityiskohtaisuus saattaa aiheuttaa merkittävää ajan hukkausta lähtötietojen keräämiseen ja mallin rakentamiseen. Käsitteellisestä mallista voidaan tunnistaa helposti tarvittavat lähtötiedot, jotka täytyy määrittää. (Robinson & Bhatia 1995)

4.3 Mallin monimutkaisuus

Simulointimalli rakennetaan käsitteellisen mallin perusteella. Simulointiprojektin onnistumisen kannalta simulointimallin rakentaminen aloitetaan yksinkertaisimmalla mahdollisella tavalla vastaamaan ongelmaa ja sitten lisätään monimutkaisuutta tarvittaessa. (Banks 1998)

Mallin monimutkaisuuden ja yksityiskohtien tasolla on hyvin tärkeitä vaikutuksia mallin suorituskykyyn. Monimutkaisempi malli on validimpi ja antaa enemmän yksityiskohtaista ja tarkempaa tietoa, mutta siihen kuluu enemmän resursseja, se sisältää helpommin virheitä ja sitä on vaikeampi ymmärtää. (Robinson 2010) Mallin monimutkaisuudella on selkeä vaikutus tietojen keräämiseen (Perera & Liyanage 2000).

Yleensä korkeampi monimutkaisuus johtaa korkeampaa tarkkuuteen, mutta on myös joidakin tapauksia, joissa korkeampi monimutkaisuus johtaa heikompaan tarkkuuteen tai tarkkuus ei parane, mutta tietojen kerääminen tietojen kerääminen pidentyy (Robinson 2022; Perera & Linyanage 2000). Yksinkertaisempien mallien hyötyjä on nopeampi mallin rakentaminen, keskittyminen vain tärkeimpiin elementteihin, tarvitaan vähemmän dataa, helpompi vahvistaa ja validoida, joustavampi ja helpompi muokata sekä helppo ymmärtää. Liian yksinkertainen malli voi olla vähemmän ymmärrettävä, jos se ei muistuta enää alkuperäistä systeemiä. (Robinson 2022)

4.4 Lähtötiedot

Diskreettitapahtumasimulointi on vahvasti riippuvainen lähtötietojen korkeasta laadusta (Skoogh & Johansson 2008). Kun lähtötiedot eivät ole oikeat simuloinnin tulokset eivät ole käyttökelpoisia, vaikka malli olisi kuinka hieno (Bengtsson et al. 2009). Lähtötietojen ja data joukkojen on oltava kokonaisia ja tarkkoja, koska ne ohjaavat koko simulointimallin toimintaa. Simulointimallin uudelleen käytössä on tarpeellista pitää lähtötiedot ja data joukot ajan tasalla. (Skoogh et al. 2012)

Tapauksissa, joissa mallintaja rakentaa suhteellisen monimutkaisen simulointimallin rajoitetuilla tiedoilla tai ilman tietoja ja kerää sitten tiedot. Tämä lisää todennäköisyyttä siihen, että joudutaan muuttamaan alkuperäistä mallia oletusten ja rajoitusten takia, joihin vaikuttaa merkittävästi tarvittavien tietojen laatu ja saatavuus. Mallintaja voi myös ajatella, että kaikki data pitää kerätä ennen kuin malli voidaan rakentaa. (Onggo & Hill 2014) Heikko lähtötietojen laatu johtaa huonoon simulointimalliin ja lopulta epäonnistuneeseen simulointiprojektiin (Robinson 2002).

4.5 Validointi ja vahvistaminen

Vahvistaminen ja validoiminen on kriittinen osa simulointimallin rakentamista, koska niiden avulla tiedetään, onko simulointimalli ja mallin tulokset käyttö kelpoisia. Validoinnin ja vahvistamisen dokumentointi on tärkeää, jotta voidaan vakuuttaa simulointimallin käyttäjä sen oikeellisuudesta. (Sargent 2013) Simulointimallin käyttäminen ongelman ratkaisuun ja kokeiden suorittamiseen ei voi alkaa, ennen kuin malli on validoitu, eli simulointimalli vastaa sille asetettuja tavoitteita sekä on tarpeeksi tarkka (Robinson & Bhatia 1995). Validointi ja vahvistaminen ei korjaa simulointimallin mahdollisia ongelmia, mutta se paljastaa ne, jotta ongelmat voidaan tiedostaa ja ratkaista (Schwartzenburg et al. 2007).

Validiuden ja mallin sisällön laadun välillä on selvä yhdenmukaisuus, jossa validius sisältää kaikki simulointiprojektin osien validoinnit. Validointia ja vahvistamista ei keretä tekemään tarkasti kaikille simulointimallin osille, mutta riittää että mallin tärkeimmät osat on validoitu ja vahvistettu tarkasti, jolloin ulostuloon vaikuttavat osat ovat luotettavia. (Robinson 2002) Validointia tehdessä kaikkia muutoksia ei kannata hyväksyä, jos niillä ei ole vaikutusta projektin tavoitteisiin tai ongelman ratkaisuun, vaikka ne parantaisivat mallia jollakin tavalla. Kun hyväksytään kaikki pienet muutokset, jotka parantavat mallia olemattomasti ja merkityksettömästi, simulointiprojektin tekeminen kestää pidempää ja on kalliimpaa. (Banks 1998)

4.6 Simulointiprojektin johtaminen

Simulointiprojektin johtajan täytyy suunnitella ja aikatauluttaa simulointiprojekti, jotta voidaan käyttää tietoja, jotka kerätään, eli tiedot eivät saa vanhentua, koska simulointiprojektia ei aikatauluteta oikein. Simulointiprojektin johtajan täytyy auttaa määrittämään tilanteeseen sopivat mittarit, joilla systeemin suorituskykyä mitataan. Johtavan henkilön täytyy myös päättää mitä simulointimalliin sisällytetään ja mitä jätetään pois. Simulointiprojektin johtajan täytyy tehdä monenlaisia päätöksiä liittyen simulointimallin sisältöön, jolloin on tärkeää toimia alussa määritettyjen tavoitteiden ja ongelman sekä käsitteellisen mallin perusteella. (Banks 1998)

Simulointiprojektin johtamisessa tärkeää on, varata riittävästi resursseja, kuten henkilökuntaa, aikaa ja rahaa, saada ylemmän johdon luottamus, selkeä kommunikointi tärkeiden henkilöiden ja osastojen välillä sekä kaiken dokumentoiminen. Johtaminen on tehty väärin, jos mallin syvyys on väärä, työn aikataulu menee yliajalle, mallissa on liian paljon yksityiskohtia sekä tärkeät henkilöt otetaan projektiin liian myöhään mukaan. (Carson 2005)

5. TULOSTEN ANALYSOINTI

Tehdassimulointiprojektit sisältävät monia vaiheita, kuten simulaatiomallin rakentaminen, käsitteellisen mallin rakentaminen, tietojen kerääminen, vahvistaminen ja validointi, mutta kaikista vaiheista pelkkään tietojen keräämiseen kuluu koko projektin ajasta jopa 30 % (Skoogh & Johansson 2008). Simulointimallia voidaan käyttää suunnitteluun, ope-
rointiin, testaamiseen, arvioimiseen sekä tukemaan päätöksiä tekemistä. Tehdassimu-
loinnin heikkouksia ovat koulutuksen ja harjoittelun tarve, tuloksien vaikea tulkinta, voi
kuluttaa paljon resursseja sekä simulointia voidaan tehdä turhaan, jos on helpompi keino
ongelman ratkaisuun.

Ensimmäinen tutkimuskysymys oli, mistä tunnistetaan tarvittavat lähtötiedot tehdassimu-
lointiprojektin alussa. Lähtötietojen tunnistamiseen liittyy monia vaiheita tehdassimuloin-
nissa. Ensimmäinen näistä vaiheista on ongelman ja tavoitteiden määrittely, johon simu-
loinnilla haetaan vastausta. Seuraava vaihe, jossa määritetään kerättäviä lähtötietoja, on
simulointiprojektin suunnitelman ja käsitteellisen mallin muodostaminen. Tutkimuksen
perusteella nämä ovat osittain toistensa päälle meneviä käsitteitä, koska molemmat si-
sältävät simulointimallille rajoituksia, yksinkertaistuksia, tavoitteita ja tietovaatimuksia.
Oikein muodostetusta käsitteellisestä mallista voidaan tunnistaa simulointimallin tieto-
vaatimukset.

Tehdassimulointiprojektin lähtötietojen tunnistamisen ja keräämisen kannalta alussa tär-
keitä vaiheita, jotka havaintojeni perusteella tulisi suorittaa huolellisesti, ovat ongelman
ja tavoitteen määrittely sekä käsitteellisen mallin muodostaminen. Simulointiprojektin
suunnitelma täytyy myös tehdä, mutta se ei ole yhtä tärkeä asia lähtötietojen keräämisen
kannalta kuin mitä aiemmin mainitut käsitteellinen malli ja ongelman määrittäminen.
Myös oikean systeemin tutkiminen ja ymmärtäminen on kriittistä, jotta kerätään oikeat
lähtötiedot. Vaikka kirjallisuuden mielestä käsitteellisestä mallista voidaan tunnistaa
kaikki lähtötiedot, havaintojeni ja analysoinnin perusteella oikean systeemin ymmärtämi-
nen tukee lähtötietojen tunnistamista sekä käsitteellisen mallin muodostamista ja tulkin-
taa. Tästä syystä oikean systeemin ymmärtäminen on tärkeää lähtötietojen tunnistami-
sen kannalta. Oikeasta systeemistä tunnistetaan helposti mitat systeemin fyysisille omi-
naisuuksille, jotka eivät yleensä ole kriittisiä mallin toiminnalle, näitä voi olla siirtomatkat,
reitit ja tehtaanmuoto.

Toinen tutkimuskysymys oli, miten lähtötietoja kerätään tehdassimulointiprojekteissa. Tämä tutkimuskysymys liittyi selkeästi ensimmäiseen tutkimuskysymykseen ja tapahtuikin simulointiprojektissa vasta, kun on määritetty, mitä lähtötietoja kerätään. Simulointiprojektissa tiedot voidaan kategorisoida niiden saatavuuden perusteella seuraaviin: saatavilla oleviin, kerättävissä oleviin ja ei saataviin. Edellisen ja aikaisempien vaiheiden perusteella voidaan tunnistaa paremmin, mistä lähtötietoja täytyy alkaa keräämään. Tehdassimuloinnissa tietoa voidaan kerätä neljästä lähteestä, jotka ovat CBS:sä, projekti-kohtainen data, ulkoiset viitejärjestelmät ja kerättävä data. Nämä tiedot voidaan syöttää malliin suoraan tai niistä voidaan muodostaa lähtötietoja. Yleensä tiedot kerätään jonkinlaiseen laskentataulukkoon tai tietokantaan, jotta ne ovat saatavilla helposti yhdessä paikassa ja ne ovat helppo tarkistaa, vahvistaa ja validoida. Tietoja voidaan lähteestä riippuen kirjata tietokantaan, manuaalisesti tai se voidaan automatisoida tai tehdä molemmilla tavoilla. Lähtötietojen hallinta ja tallentaminen vaatii paljon manuaalista työtä, jos tiedon keräämistä ei ole automatisoitu ollenkaan. Tietojen keräämisestä haastavaa tekee tilanteet, joissa simuloitava systeemi ei ole vielä olemassa tai systeemissä on ihmisiä mukana. Kun mallia ei ole olemassa, täytyy lähtötietoina käyttää arvioita, joihin saadaan varmuutta asiantuntijoilta, historiasta, standardeista. Ihmisten ollessa mukana systeemissä on tietojen kerääminen vaikeaa, koska ihmiset eivät usein toimi täysin loogisesti sekä mittaaminen voi vaikuttaa ihmisten käyttäytymiseen.

Havaintojeni perusteella tehdassimuloinnin lähtötietojen kerääminen kannattaa automatisoida aina, kun se on mahdollista ja helpottaa tietojen keräämistä. Lähtötietojen keräämisen automatisointi on erityisen järkevää, kun yrityksessä on järjestelmät, joista tieto saadaan helposti kerättyä automaatiolla ja kun raaka dataa on paljon sekä se vaatii käsittelyä, ennen kuin se voidaan syöttää malliin. Manuaalinen kerääminen on järkevintä, kun kirjataan yksittäisiä tietoja, kuten fyysisiä mittoja tai siirtomatkoja ja reittejä. Vaikka yksittäisiä mittoja syötetään vain kerran ja ne pysyvät mallissa vakiona ne tulisi silti kirjata tietolehdelle, jotta ne voi tarkistaa helposti. Kun lähtötietoina käytetään arvioita, on tärkeää tietää, millaisia vaikutuksia simulointimalliin lähtötiedolla on, jolloin voidaan tehdä päätös, kuinka tarkka lähtötiedon arvion täytyy olla, ja tarvitaanko asiantuntija arvioimaan lähtötiedon arvo. Oman arvioni perusteella ihmisten mukana oleminen vaikeuttaa tietojen keräämistä huomattavasti vain, jos prosessi koostuu pääosin ihmisistä, mutta jos vain yksittäinen osa prosessia on ihmisen tekemistä se ei vaikeuta tietojen keräämistä massiivisesti, mutta kerääminen pitää silti suorittaa tarkasti.

Kirjallisuuskatsauksessa lähtötietojen keräämistä hankaloittavia tekijöitä tunnistettiin aikaisemmin mainittujen, oikean systeemin puuttumisen ja ihmisten mukana olemisen lisäksi seitsemän yleisintä. Yksi yleisimmistä ongelmia aiheuttavista tekijöistä on ennalta

manuaalisesti kerätty tieto, koska tietoja on saatettu yhdistellä, kerätä epätarkasti tai pyöristetty. Datan laatu on myös merkittävä tekijä simuloinnissa, koska jatkuvassa simuloinnissa ja simulointiprojekteissa, data on lähtötietojen perustana. Datan laadun dimensioita tunnistettiin yksitoista. Datan laadun parantamiseksi on monia keinoja esimerkiksi seuraavat: automaatio ja standardi menetelmän käyttö keräämisessä, datan validoinnin erottaminen mallin validoinnista, selkeät roolit osapuolilla, hyvä kommunikointi ja yhteistyö.

Kirjallisuuden ja omien havaintojeni perusteella suurimpia ongelmia lähtötietojen keräämiselle aiheuttavat liian suuret määrät eri muodoissa olevaa tietoa, väärin määritellyt tavoitteet ja oikean systeemin monimutkaisuus, jota ei osata yksinkertaistaa. Tutkimuksen perusteella voi kuitenkin sanoa, että kaikki ongelmat ovat vältettävissä, kun noudatetaan standardoituja tapoja, dokumentoidaan vaiheet selkeästi, kommunikoidaan monien tahojen kanssa tarpeeksi, automatisoidaan tiedonkeruuta, jos voidaan, validoidaan ja vahvistetaan kaikissa tarpeellisissa vaiheissa lähtötiedot sekä simulointimalli.

Kolmas tutkimuskysymys oli kuinka lähtötietojen kerääminen ja keräämisen onnistuminen, vaikuttavat tehdassimuloinnin onnistumiseen. Lähtötietojen onnistunut kerääminen on tutkimuksen mukaan kriittistä tehdassimuloinnin onnistumisen kannalta, koska jos lähtötiedot eivät ole oikeat ei simulointimalli ole käyttökelpoinen ja koko simulointiprojekti voi epäonnistua. Projektikohtaisen ja jatkuvan simuloinnin kannalta lähtötietojen täytyy pysyä ajan tasalla. Tehdassimulointiin ja lähtötietoihin vaikuttaa tehdassimuloinnin muut osat, joita ovat mallin monimutkaisuus, käsitteellinen malli, ongelman ja tavoitteiden määrittely, validointi ja vahvistaminen sekä simulointiprojektin johtaminen ja hallinta. Näistä onnistumisen kannalta kaikki ovat tasa-arvoisia ja ne myös vaikuttavat vahvasti toisiinsa. Kaikki näistä tekijöistä rajoittavat tai tuovat lisää malliin ja sen vaatimuksiin.

Tutkimuksen perusteella nämä aiemmin luetellut tekijät ovat vahvasti sidoksissa simuloinnin onnistumiseen ja lähtötietojen keräämiseen. Esimerkiksi mallin monimutkaisuuden kasvaessa kerättävien lähtötietojen määrä ja tarkkuus kasvavat, jolloin siihen tarvitaan mahdollisesti enemmän resursseja. Vaikka käsitteellinen malli rajaa kerättävien tietojen määrää, käsitteellinen malli saatetaan muodostaa väärin, jolloin kerätään turhaan tietoa ja simulointiprojektin epäonnistuminen on todennäköisempää. Simulointiprojektin johtaminen ja hallinta on kriittisessä osassa simulointiprojektin onnistumisen ja lähtötietojen määrittämisen kannalta, koska kaikki työssä mainitut simulointiprojektin vaiheet ovat johtamisesta riippuvaisia. Simulointiprojektin oikeanlainen johtaminen kuitenkin lisää simuloinnin onnistumisen mahdollisuutta, koska useampi osapuoli tulee olemaan todennäköisemmin tyytyväinen lopputulokseen.

Tutkimuksen perusteella on helppo tunnistaa simulointiprojektin erivaiheiden ja osien vaikutus simulointiprojektin onnistumiseen. Tutkimustuloksista voidaan myös sanoa, että simulointiprojektit eivät ole suoraviivaisesti ja yksittäisissä osissa suoritettavia tehtäviä vaan simulointiprojektit vaativat iterointia, selkeää johtamista, hyvää kommunikointia, standardoituja toimintatapoja ja selkeän tavoitteen onnistuakseen. Simulointiprojektille on myös tärkeää jo alussa määrittää, onko simulointimallin käyttö jatkuvaa vai projekti-kohtaista sekä tarkka dokumentointi jokaisesta vaiheesta on tarpeellista, vaikka simulointi olisi jatkuvaa tai yksittäinen projekti.

6. YHTEENVETO

Työssä oli tarkoitus määrittää mitä tietoja tehdassimuloinnin alussa kerätään, miten näitä tietoja kerätään ja tämän lisäksi tutkittiin kuinka tietojen kerääminen osana muita tekijöitä vaikuttaa simuloinnin onnistumiseen. Lähtötietojen määrittäminen on merkittävä osa simulointia, koska se vaatii paljon resursseja. Lisäksi työssä käsiteltiin simuloinnin eri vaiheita sekä simuloinnin heikkouksia, haasteita ja vahvuuksia.

Työ suoritettiin kirjallisuuskatsauksena, simulointiprojekteihin ja jatkuvaan simulointiin. Työ käsitteli luvuittain tehdassimulointia yleisesti, lähtötietojen keräämistä osana simulointia, simulointiin vaikuttavia tekijöitä ja viimeisenä analysoitiin tutkimuksen tuloksia. Työssä tutkimuskysymykset olivat:

1. Mistä tunnistetaan tarvittavat lähtötiedot tehdassimulointiprojektin alussa?
2. Miten lähtötietoja kerätään tehdassimulointiprojektin alussa?
3. Kuinka näiden lähtötietojen kerääminen ja muut tekijät vaikuttavat tehdassimuloinnin onnistumiseen?

Ensimmäiseen tutkimuskysymykseen löytyi paljon tietoa tavoista, joilla tunnistetaan lähtötiedot, jotka täytyy kerätä tehdassimulointiprojektin alussa. Ensimmäinen tärkeä vaihe tunnistaa kerättäviä lähtötietoja on selkeä tavoitteiden ja ongelman määrittely, jonka perusteella aletaan muodostamaan käsitteellistä mallia. Oikean systeemin ymmärtäminen on myös tärkeää, jotta käsitteellinen malli muodostetaan oikein sekä sen tietovaatimukset saadaan oikeiksi. Oikein määritellystä käsitteellisestä mallista voidaan tunnistaa simulointimallin tarvitsemat lähtötiedot, ja niiden tarkkuus.

Toinen tutkimuskysymys liittyi vahvasti ensimmäiseen ja se tapahtuukin ensimmäisen kysymyksen jälkeen tehdassimulointiprojekteissa. Lähtötietojen kerääminen voidaan suorittaa manuaalisesti, automaattisesti tai näiden yhdistelmänä, joista yhdistelmä on usein järkevin vaihtoehto, jos se on mahdollinen, koska automaatio nopeuttaa keräämistä. Lähtötietojen keräämisessä tulisi aina noudattaa, jotakin standardimenetelmää, jotta vältytään virheiltä. Lähtötietojen keräämiselle tulisi olla suunnitelma ja koko prosessi täytyy dokumentoida huolellisesti, jotta mahdolliset virheet lähtötiedoissa tai niiden keräämisessä on nopeaa tunnistaa.

Kolmannessa tutkimuskysymyksessä olisi voinut käsitellä monia muitakin tekijöitä, kuin mitä tähän työhön tuli mukaan, mutta työhön valitut olivat kirjallisuudessa eniten esillä, joten ne olivat looginen valinta. Lähtötiedot määräävät tehdassimuloinnin onnistumisen, koska jos lähtötiedot ovat väärät, koko simulointiprojekti epäonnistuu. Muiden tutkittujen tekijöiden vaikutus simuloinnin onnistumiseen oli myös merkittävä, koska ne vaikuttivat

toisiinsa ja simuloinnin ulostuloihin vahvasti sekä simulointiprojektin etenemiseen. Lähtötietojen ja sitä kautta koko simuloinnin onnistumiseen vaikuttavia tekijöitä oli ongelman ja tavoitteiden määrittely, mallin monimutkaisuus, käsitteellinen malli sekä simulointiprojektin johtaminen. Simulointiprojektin johtaminen on myös tärkeää, koska simuloinnin kaikki osapuolet ovat simulointiprojektiin tyytyväisiä, jos johtaminen on ollut kunnollista.

Työssä käsiteltiin vain vähän simulointiprojektin johtamista, sekä simulointiin vaikuttavia tekijöitä ei otettu kaikkia mukaan. Jatkoksi tälle tutkimukselle täytyisi tutkia enemmän simulointiprojektin johtamista sekä lisää simulointiin vaikuttavia tekijöitä. Simulointiprojektin johtamista tulisi myös tutkia muutenkin kuin kirjallisuuskatsauksena. Myös lähtötietojen keräämisen automatisointia ja sille standardi prosessin löytämistä voisi tutkia, jotta automaation käyttäminen lähtötietojen keräämisessä helpottuisi ja sitä voitaisiin implementoida pienemmällä kynnyksellä.

LÄHTEET

- Banks, J. (1998). Handbook of simulation: principles, methodology, advances, applications, and practice. Place of publication not identified: Wiley.
- Bengtsson, N., Shao, H., Johansson, B., Lee, Y.T., Leong, S., Skoogh, A., et al. (2009). 'Input Data Management methodology for Discrete Event Simulation', in Proceedings - Winter Simulation Conference. 2009 IEEE. 1335–1344.
- Bokrantz, J., Skoogh, A., Lämkuil, D., Hanna, A., Perera, T. (2018). Data quality problems in discrete event simulation of manufacturing operations. Simulation (San Diego, Calif.). 94 (11), 1009–1025.
- Cambridge. Cambridge Academic Content Dictionary. Cambridge University Press Saavissa: <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/factory> [21.4.2023]
- Carson, J. S. (2005). 'Introduction to modeling and simulation', in Proceedings - Winter Simulation Conference. 2005 IEEE. 8–23.
- Nasrallah, W. (2015). Handbook of Real-World Applications in Modeling and Simulation. Journal of Artificial Societies & Social Simulation 18 (3). 1.
- Onggo, B. S. S. & Hill, J. (2014). Data identification and data collection methods in simulation: a case study at ORH Ltd. Journal of simulation: JOS. 8 (3), 195–205.
- Perera, T. & Liyanage, K. (2000). Methodology for rapid identification and collection of input data in the simulation of manufacturing systems. Simulation practice and theory. 7 (7), 645–656.
- Qiao, D. & Wang, Y. (2021). A review of the application of discrete event simulation in manufacturing. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 1802 (2), 22066–.
- Robinson, S. (2002). General concepts of quality for discrete-event simulation. European journal of operational research. 138 (1), 103–117.
- Robinson, S. (2011). Conceptual modeling for discrete-event simulation. Boca Raton: Taylor & Francis.
- Robinson, S. (2022). Exploring the relationship between simulation model accuracy and complexity. The Journal of the Operational Research Society. ahead-of-print (ahead-of-print), 1–20.

Robinson, S. & Bhatia, V. (1995). 'Secrets of successful simulation projects', in Winter Simulation Conference Proceedings, 1995. 1995 IEEE. 61–67.

Robinson, S. & Brooks, R. J. (2010). Independent Verification and Validation of an Industrial Simulation Model. *Simulation (San Diego, Calif.)*. 86 (7), 405–416.

Salminen, A. (2023), Mikä on kirjallisuuskatsaus? : Johdatus kirjallisuuskatsauksen tyyppeihin ja joihinkin hallintotieteellisiin sovelluksiin. Vaasan yliopisto, saatavissa: <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-395-081-8> [19.4.2023]

Sargent, R. G. (2013). Verification and validation of simulation models. *Journal of simulation: JOS*. 7 (1), 12–24.

Schwartzenburg, F., Oates, W., Park, J., Johnson, D., Stutzman, M., Bailey, M. et al. (2007). 'Verification, validation, and accreditation (VV&A) one voice -?unified, common & cross-cutting', in Summer Computer Simulation Conference 2007, SCSC'07, Part of the 2007 Summer Simulation Multiconference, SummerSim'07. 2007 429–436.

Skoogh, A. & Johansson, B. (2008). 'A methodology for input data management in discrete event simulation projects', in 2008 Winter Simulation Conference. 2008 Winter Simulation Conference. 1727–1735.

Skoogh, A., Perera, T., Johansson, B. (2012). Input data management in simulation – Industrial practices and future trends. *Simulation modelling practice and theory*. 29181–192.