

# SAVONIA

ammattikorkeakoulu

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

## PULLONKAULAN PARANTAMINEN SIMULAATION AVULLA

Opinnäytetyö

TEKIJÄ/T Alekski Ukonmurto

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Tutkinto-ohjelma Konetekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä(t) Aleksi Ukonmurto	
Työn nimi Pullonkaulan läpimenon parantaminen simuloinnin avulla.	
Päiväys 17.11.2022	Sivumäärä/Liitteet
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Iisalmen Teollisuuskylä Oy	
Tiivistelmä: <p>Tämä opinnäytetyöraportti käsittelee simulaatiota työkaluna keskittyen tuotannon pullonkaulojen löytämiseen järjestelmästä. Työ tehtiin Iisalmen Teollisuuskylälle Teknohub-hankkeessa ja sen simulaatio-hubille. Työn tavoite oli tuottaa tietoa ja osaamista simuloinnista yrityksille ja samalla valmistaa yrityksille omat simulaatiomallit yrityksien käyttöön.</p> <p>Työ toteutettiin pääosin Visual Components-järjestelmällä, jolla luotiin kahdelle suomalaiselle valmistavan teollisuuden yritykselle simulaatiomallit yritysten joistakin tuotantolinjoista. Simulaatiota varten kerättiin dataa yritysten edustajia haastatteleamalla. Tärkein data tuli suoraan yrityksiltä tuotannon tunnuslukuina. Simulaattoreita arvioitiin yhteistyössä mukana olevien jäsenten kanssa havainnoimalla niitä. Simulaattoreita kehitettiin kokeilemalla. Yritykset pääsivät myös mukaan rakentamaan simulaattoreita erilaisten palavereiden kautta, joissa käytiin läpi työn edistymistä.</p> <p>Työssä saavutettiin sille asetetut tavoitteet. Työn tuloksena saatiin yrityksille simulaatiomalleja yritysten tuotantolinjoista sekä tietoa ja näkemystä simulaatiosta. Simulaatiomalleihin jäi kehityskohteita, joita yritykset voivat parannella. Simulaatiosta työkaluna saatiin tietoa ja yritykset pääsivät näkemään mitä simulaatiolla voi tehdä henkilö, joka ei ole koskaan aikaisemmin simuloinut mitään.</p>	
Avainsanat Simulaatio, Tuotanto, LEAN, Pullonkaula.	

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Degree Programme in Mechanical Engineering	
Author(s) Aleksi Ukonmurto	
Title of Thesis Improving Bottleneck Throughput Through Simulation.	
Date 17.May.2023	Pages/Appendices
Client Organisation /Partners Iisalmen Teollisuuskylä Oy	
<b>Abstract:</b> <p>This thesis is about simulation and its applications in industry focusing on finding and removing production bottlenecks within a system. The work commissioned Iisalmen teollisuuskylä, its TeknoHUB project in the simulation hub group. The goal was to provide information and knowledge about simulation to the companies that are onboard in the work and create simulation models for them.</p> <p>The work was mainly done with simulation software called Visual Components. During the work multiple simulation models were created to two Finnish manufacturing companies. Data for the simulation was gathered by interviewing the companies' representatives and by a data package that was received from each company. The simulators were appraised firstly by me and secondarily by parties involved by observing and testing them. The companies that were on board in this project were given the opportunity to influence the building phase of the simulators.</p> <p>The main goals set on the project were reached. The result of the project was that all the simulators, that were meant to be built, were built for the companies. Also, the goal of information gathering was completed successfully. This thesis shows the companies that a beginner in simulation can create competent simulation models.</p>	
Keywords Simulation, Manufacturing, LEAN, Bottleneck.	

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	TEORIA .....	6
2.1	Perustietoa simuloinnista .....	6
2.2	Simulaation historiaa ja nykypäivää .....	6
2.3	Simulaation perusteet .....	8
2.4	Simulaation heikkoudet ja riskit.....	11
2.5	Simuloinnin vahvuudet ja mahdollisuudet .....	12
2.6	Simuloinnin rakentaminen .....	13
3	SIMULAATIO.....	16
3.1	Yleistä.....	16
3.2	Case 1. Maalaamo.....	17
3.3	Case 2. Tuotantolinjan optimointi .....	24
4	TULOKSET .....	29
5	YHTEENVETO .....	30
	LÄHTEET.....	31

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön aihe on simulaation hyödyntäminen tuotantoteollisuudessa, keskittyen pullonkaulojen parantamiseen. Työ tehdään yhteistyössä Teknohub-hankkeen kanssa. Työ on jaettu kahteen eri yritykselle tehtävään case-tutkimukseen ja kirjalliseen osioon.

Ensimmäinen tutkimuskohde on tutkia yleisesti simulaatiota, kerätä tietoa siitä itsel- leni, hankkeelle ja mukana oleville yrityksille. Tämä on tehty ennen varsinaisten case-tutkimusten aloittamista, jotta case-tutkimusten kohdalla olisi perusymmärrys simulaatiosta ennen kuin simuloidaan yritysten tuotantolinjoja. Simulaation osalta työ aloitettiin ”nollapohjalta”, sillä ennen projektia opinnäytetyön tekijällä ei ollut ko- kemusta aiheesta.

Ensimmäinen case-tutkimus on tehty eräälle suomalaiselle yritykselle. Yritykselle tehtiin simulaatiomalli uudesta maalaamosta investointipäätöksen tueksi, samalla tutkien simulaatiota työvälineenä. Tarkoitus on luoda simulaatiomallista riittävän hyvä, että se näyttää missä ja miten tuotannon saa pullonkauloittumaan ja mihin mahdolliset pullonkaulat sijoittuvat. Tarkoituksena ei välttämättä ole ollut tuottaa täysin tarkkaa simulaatiota vaan luoda pohja, joka tässä vaiheessa vastaa yrityksen kysymyksiin, jota laajentamalla, kehittämällä ja tarkentamalla yritys voi testata jär- jestelmää virtuaalisesti.

Toinen case-tutkimus keskittyy erään suomalaisen yrityksen tuotantolinjaan. Yritys halusi tutkia, miten tuotantoa voidaan kehittää ja mitä lisäarvoa simulaatio voi tuoda linjan kehittämisessä.

## 2 TEORIA

### 2.1 Perustietoa simuloinnista

Simulointi tarkoittaa jonkin tosielämän asian, järjestelmän tai prosessin jäljittelyä. Simulaatiota varten kerätään jonkin asian toiminnasta historiatietoa ja dataa, jota käytetään ennustamaan järjestelmän tulevaa toimintaa ja ominaisuuksia. Simulointia voidaan suorittaa monella erilaisella tavalla. Simulaatioita voidaan tehdä esimerkiksi fyysiseksi malliksi pöydälle, virtuaalisesti tietokoneelle tai vaikka taululle voidaan tulostaa tuotannon vaiheiden nimellä varustettuja lappuja, joita liikuttelemalla voidaan simuloida tuotannon sujuvuutta. (Banks;Carson II;Nelson;& Nicol, 2010)

Simulointiin itsessään ei siis välttämättä tarvita kalliita järjestelmiä ja valtavaa määrää dataa. Yksinkertaista simulaatiota voi periaatteessa tehdä hyvinkin pienillä resursseilla, mutta tämä yleensä oleellisesti vaikuttaa simulaation luotettavuuteen tai simulaation kattavuuteen. (Banks;Carson II;Nelson;& Nicol, 2010)

Simulaatioita käytetään eri yhteiskunnan osissa laajasti sen hyödyllisyyden ja resurssitehokkuuden takia. Tietokonesimulaatiota on viihteelliseen käyttöön tarkoitetuista peleistä aina teolliseen ja ammatilliseen käyttöön tarkoitettuihin ohjelmiin asti ja kaikkea tältä väliltä. (Banks;Carson II;Nelson;& Nicol, 2010)

Simulointi voi olla hyvä työkalu monenlaisten ongelmien ja kysymysten ratkaisussa, mutta se voi myös pahimmillaan johtaa harhaan, joko tarkoituksettomasti tai tarkoituksellisesti. (Banks;Carson II;Nelson;& Nicol, 2010)

### 2.2 Simulaation historiaa ja nykypäivää

Historiassa ja varsinkin sotilashistoriassa, on monia esimerkkejä harjoituksista, jotka yrittävät imitoida mahdollisimman tarkasti tosi elämän tilannetta. Esimerkiksi kautta historian järjestetyt "sotapelit" yrittävät imitoida todellisuutta ja näin tuoda niiden järjestäjille etua tositilanteeseen. (Ison-Britannian puolustusministeriö, 2017)

Tänä päivänä simulaatiota käytetään lähes kaikkialla. Suurkaupungit simuloivat kaupunkiansa keskustoja saadakseen liikenteensä sujumaan paremmin, lentokoulut ja ajokoulut käyttävät simulaattoreita opetukseen, ja yritykset simuloivat omaa toimintaansa saadakseen kehitettyä yrityksensä kaikkia osa alueita. Simulaatio ei enää tänä päivänä ole myöskään isoja yrityksiä ja valtioita varten kehitetty työkalu, vaan esimerkiksi tavallinen kuluttaja saattaa törmätä netissä moniin hyvinkin erilaisiin simulaattoreihin ja simulaatioihin. On esimerkiksi lento- ja ajosimulaattoreita ja sotilas-simulaattoreita (Milsim). Internetistä voi myös löytää kasapäin erilaisia simulaatioita erilaisista aiheista. (Banks;Carson II;Nelson;& Nicol, 2010)

Simulaatiota voidaan siis hyödyntää moneen eri tarkoitukseen, aina viihteestä todelliseen hyödyn ja edun hakuun. Kaikki simulaatio ei kuitenkaan ole saman arvoista. Viihteellisen simulaattorin käyttö tosielämän käyttötarkoituksiin ei ole kannattavaa, sillä viihteelliset simulaattorit yleensä valitsevat simulaation parametrit viihteellisestä näkökulmasta, jolloin todenmukaisuus ei ole sitä tasoa, jota tosielämän simulaatiota varten sen kuuluu olla. (Banks;Carson II;Nelson;& Nicol, 2010)

Toki poikkeuksiakin löytyy esimerkiksi Suomen puolustusvoimat ja useat NATO-maat käyttävät harjoittelussa itselleen räätälöityjä VBS 3 -simulaattoriin perustuvia simulaattoreita, jotka pohjautuvat samalle pelimoottorille kuin kaupallinen ARMA 2 -simulaatiopeli. (Panssariprikaati, 2018)

Vuonna 2019 alkaneen covid-19-pandemian leviämistä tutkittiin simulaatioiden avulla välittömästi, kun ymmärrettiin että uusi herkästi leviävä virus on alkanut leviämään. Simulaatioiden avulla yritettiin selvittää, miten tauti tulisi leviämään, millä aikataululle, minne ja mitkä olisivat parhaita tapoja leviämisen ehkäisemiseen. Covid-simulaatioissa oli kuitenkin haasteita, koska tauti oli uusi ja sitä ei vielä tunnettu kovin hyvin. Malleja kuitenkin saatiin, jotka osaltaan ohjasivat maailman vastausta uudelle tartuntataudille. Mallia päivitettiin ja sen seurauksena jotkut maat muuttivat suhtautumistaan ja toimintatapojaan sitä mukaan, kun uutta dataa taudista ja simulaatiosta saatiin. Simulaatioon törmää siis tavalla tai toisella jatkuvasti päivittäisessä elämässä ilman, että sitä edes välttämättä ymmärtää. (Adam, 2020)

## 2.3 Simulaation perusteet

Simulaatio perustuu aina loppujen lopuksi matematiikkaan. Tässä työssä ei mennä simulaation matemaattisiin kaavoihin ja teoriaan vaan se on rajattu suurilta osin pois, koska se on todella laaja alue enkä näe tarkoituksenmukaiseksi siihen perehtymistä tämän työn kannalta. Perusymmärrystä tuotannonsuunnittelusta tarvitaan, jotta simulaatioita voidaan tehdä luotettavasti. Jotta ymmärtäisi simulaatiota kunnolla, täytyy ymmärtää simulaation osia ja termejä. Simulaatiossa on valtava määrä erilaisia muuttujia ja niille on omia termejä. (Banks;Carson II;Nelson;& Nicol, 2010)

Ollakseen luotettava, simulaatio vaatii simuloitavaan kohteeseen nähden neutraalin, analyttisen ja objektiivisen suhtautumisen. Myös datan tulee olla todenmukaista. Dataa kerätessä täytyy ottaa huomioon, että jos data haetaan suoraan kohteesta saattaa esimerkiksi työntekijä tehdä töitä normaalista poikkeavalla tavalla, koska hänen työtään ollaan sillä kerralla mittaamassa. Tällaiset asiat vaikuttavat välittömästi simuloinnin luotettavuuteen negatiivisesti ja voivat aiheuttaa jopa sen, että malli voi olla täysin käyttökelvoton. (Banks;Carson II;Nelson;& Nicol, 2010)

Järjestelmällä tarkoitetaan simulaatiossa joukkoa yhdessä toimivia asioita jotain yhteistä päämäärää varten. Esimerkiksi koneistuskeskus tai aihiot olisivat omia esineitänsä ja useamman koneistuskeskuksen, aihion, ja työntekijän luoma solu, ketju, tai paja voisi olla oma järjestelmä. Myös koko konepajan kattava simulaatio on järjestelmä, jossa koneet, ihmiset, työkalut, ynnä muut ovat yksittäisiä esineitä järjestelmässä, joka toimii valmistukseen tuotteita. (Banks;Carson II;Nelson;& Nicol, 2010)

Esineillä on omat lainalaisuutensa, näitä kutsutaan ominaisuuksiksi (eng. attribute). Esineiden työvaiheita kutsutaan tehtäviksi. Tehtäviä voi olla esimerkiksi konepajaympäristössä laitteen tekemä koneistustyö tai henkilön tekemä hitsaus. Ominaisuudet tulee aina yrittää saada aluksi mahdollisimman todellisuutta vastaaviksi, jotta esine simulaatiossa vastaisi tosielämää. Jälkeenpäin ominaisuuksia muuttamalla voidaan joko yrittää saada simulaatiota vastaamaan paremmin todellisuutta tai kokeilla miten erilaiset muutokset esimerkiksi läpimenoajassa tai tuotantokapasiteetissa vaikuttavat simulaatiossa systeemiin. Esineitä voidaan myös kutsua resursseiksi. Resurssit voidaan jakaa ihmis- ja laiteresursseihin. (Banks;Carson II;Nelson;& Nicol, 2010)

<i>System</i>	<i>Entities</i>	<i>Attributes</i>	<i>Activities</i>	<i>Events</i>	<i>State Variables</i>
Banking	Customers	Checking-account balance	Making deposits	Arrival; departure	Number of busy tellers; number of customers waiting
Rapid rail	Riders	Origin; destination	Traveling	Arrival at station; arrival at destination	Number of riders waiting at each station; number of riders in transit
Production	Machines	Speed; capacity; breakdown rate	Welding; stamping	Breakdown	Status of machines (busy, idle, or down)
Communications	Messages	Length; destination	Transmitting	Arrival at destination	Number waiting to be transmitted
Inventory	Warehouse	Capacity	Withdrawing	Demand	Levels of inventory; backlogged demands

Kuva 1. Simulaatiojärjestelmän eri osia eri käyttötarkoituksissa.

Discrete-Event System Simulation, Banks, Carson, Nelson, Nicol,

s.31

Järjestelmään voidaan vaikuttaa myös sen ulkopuolelta. Simulaatiota tehdessä on otettava huomioon, mitkä asiat järjestelmän ulkopuolella vaikuttavat itse järjestelmään. Esimerkiksi kahvilan ohi kulkevat asiakkaat tai tehtaaseen tulevat tilaukset voivat olla järjestelmän ulkopuolisia asioita, joihin ei järjestelmää muuttamalla voi vaikuttaa, mutta niillä on vaikutusta järjestelmään. Järjestelmään on tärkeää määritellä järjestelmän ja sen ympäristön raja. Raja tulee päättää sen perusteella, mitä ollaan tutkimassa simulaation avulla. Kahvilan tapauksessa ohi kulkevien potentiaalisten asiakkaiden määrä voidaan määrittää järjestelmän ympäristön asiaksi johon järjestelmän parametreilla ei vaikuteta, vaan se pidetään esimerkiksi vakio arvona tai jokin satunnaisuutta noudattavana arvona. (Banks;Carson II;Nelson;& Nicol, 2010)

Toiminnot ovat kolmas keskeinen määritelmä, joka tulee ymmärtää puhuttaessa simulaatiosta. Toiminto kuvastaa ennalta määriteltyä aikaa. Toimintoa ei välttämättä tarvitse visualisoida simulaatiossa, kunhan kulutettu aika on määritelty tarkasti. Toiminto voisi olla esimerkiksi konepajasimulaatiossa kappaleen koneistus. Konepajasimulaatiossa siis järjestelmä olisi konepaja, ihmiset, aihiot, ja koneet olisivat esineitä, työvaiheet toimintoja, ja koneistus ja logistiikka ajat ominaisuuksia. (Banks;Carson II;Nelson;& Nicol, 2010)

Järjestelmä voidaan halutessa järjestää myös pienempiin alijärjestelmiin, jotka voivat toimia omina järjestelminä. Konepajasimulaatiossa esimerkiksi yksittäinen tuotantolinja voi olla alijärjestelmä konepajassa. Alijärjestelmiä voi myös olla useampia samassa järjestelmässä esimerkiksi konepajassa useampi erillinen tuotantolinja. (Banks;Carson II;Nelson;& Nicol, 2010)

Järjestelmiin liittyy myös jonoja. Jonot ovat simulaation kohtia, joissa esineet joutuvat odottamaan, jotta ne voivat suorittaa aktiviteetteja tai tuotteet odottavat, jotta jokin laite suorittaa edellä olevalle esineelle työvaiheen, jotta ne pääsevät itse samaan aktiviteettiin. Jonoja voi olla joko tuotantolinjalla itsellään tai jono voi olla, vaikka välivarasto, jossa esineet odottavat linjalle pääsyä. (Banks;Carson II;Nelson;& Nicol, 2010)

Simulaatioissa on otettava huomioon myös se, että tosi elämässä tuotanto voi vaihdella päivästä ja hetkestä toiseen. Esimerkiksi manuaalisissa töissä työtahti voi vaihdella monen eri asian takia. Tätä voidaan simuloida asettamalla simulaatiossa esineiden arvoihin lukuja, joita simulaatio voi itsenäisesti muuttaa annettujen raja arvojen puitteissa. Tällöin esimerkiksi saman tuotteen läpäisy aika saattaa olla mitä tahansa 5 ja 15 minuutin välillä. Tätä yleensä kuvataan seuraavalla tavalla (5, 15). Arvoja voidaan myös painottaa, tässä esimerkissä voitaisiin siis laatia esimerkiksi normaalijakauma, jossa arvot painottuisivat siten että 5 ja 15 minuuttisia aikoja on molempia esimerkiksi 5 % ja 50 % ajasta painottuu 10 minuutin kohdalle tasaisesti laskien ääripäitä kohti. Tällä tavalla on mahdollista simuloida muuttuvia läpimenoaikoja esimerkiksi työvaiheissa, jotka tehdään käsin ja joiden läpimenoaika voi vaihdella. Simulaatioita yleisestikin, mutta varsinkin tällaisissa simulaatioissa on hyvin tärkeää ajaa simulaatiomalli läpi mahdollisimman monta kertaa, jotta simulaation tulosten keskiarvot voidaan varmentaa. Muuttuvien arvojen kohdalla on se riski, että ”Mitä, jos useammalla perättäisellä tuotteella kestää kauan?”. Tällaiset tilanteet on hyvä varmistaa ajamalla simulaatio läpi mahdollisimman monta kertaa, jotta voidaan varmistua simuloitavan järjestelmän toimivuudesta kaikissa tilanteissa. (Banks;Carson II;Nelson;& Nicol, 2010)

## 2.4 Simulaation heikkoudet ja riskit

Kaikki simulaatio ei ole yhtä arvokasta tai laadukasta, ja huono simulaatio voi jopa olla haitallista. Huono simulaatio voi esimerkiksi antaa tuloksia, jotka johtavat yritystä investointipäätöksissä tai tuotannosuunnittelussa harhaan. Tämä voi johtaa ajan hukkaan tai jopa tarpeettomiin tai haitallisiin investointeihin. Esimerkiksi hyvin yksinkertaisten ongelmien tarpeeton simulointi on ajan hukkaa, jos ongelman voi ratkaista arkijärjellä. Monimutkaisen simulaation valmistaminen vie aikaa ja rahaa, siksi onkin tärkeää tutkia simulaatiomallin rakentamisen järkevyyttä rahallisesta ja ajallisesta näkökulmasta. Jos ongelman ratkaisun suora kokeilu on halvempaa ja helpompaa kuin simulaation valmistaminen ja kokeilu simulaatiossa, on järkevämpää vain kokeilla ratkaisua suoraan. Kannattaa ottaa huomioon simulaatiomallin mahdollinen hyödynttäminen myöhemmin. Simulointi on ala, jolla kokemus ja simuloitavan järjestelmän ymmärrys näyttelevät suurta roolia. (Banks;Carson II;Nelson;& Nicol, 2010)

Simulaatio vaatii aina dataa, koska se perustuu aina dataan järjestelmän toiminnasta sen historiassa. Ilman kunnollista dataa, simulaatio ei voi olla luotettava. Mitä laajempaa ja pidemmältä ajalta dataa saadaan, sitä tarkempi ja luotettavampi simulaatio on. Simulaatio tarvitsee tarkkoja parametreja ollakseen tarkka ja luotettava. (Al-Aomar;Williams;& Ulgen, 2015)

Sellaisessa järjestelmässä, jossa on paljon satunnaisuutta, esimerkiksi ihmisen toiminnan tuotoksena, voi olla vaikeaa tai jopa mahdotonta simuloida luotettavasti ja tarkasti. Simulaatio on aina verifioitava ja validoitava ennen kuin sitä voidaan luotettavasti käyttää tosielämän toimenpiteiden perustana. Verifiointi ja validointi on ongelmallista niissä tapauksissa, joissa varsinaista faktaa ei järjestelmästä ole tai järjestelmä pitää sisällään paljon satunnaisuutta. (Banks;Carson II;Nelson;& Nicol, 2010)

Simulointia voidaan myös pahimmillaan käyttää väärin esimerkiksi propagandistisiin tarkoituksiin tai jotain omaa etua ajaen. Voidaan esimerkiksi tehdä simulaatio, jossa jo lähtötilanteessa haetaan jotain tiettyä lopputulosta jota halutaan esitellä muille. Esimerkiksi ukrainan sodan aikaan Venäjä on tehnyt simuloituja ohjusiskuja euroopan maihin aiheuttaakseen pelkoa länsimaissa. Tällaisien tapausten takia on erityisen tärkeää, että simulointi tehdään objektiivisesta näkökulmasta ja ettei tarkastamatta uskota simuloinnin näyttämää lopputulosta. (Carroll, 2022)

## 2.5 Simuloinnin vahvuudet ja mahdollisuudet

Edellä mainitut heikkoudet eivät kuitenkaan tarkoita sitä, että simulointi olisi huono työkalu. Simulointi voi parhaimmillaan olla todella tehokas työkalu monen eri asian suhteen. Simuloinnin heikkoudet on mallia rakennettaessa otettava huomioon ja niiden kanssa on toimittava siten että ne eivät vaikuta liikaa lopputulokseen. (Al-Aomar;Williams;& Ulgen, 2015)

Tosielämän systeemiä tai järjestelmää voidaan rakentaa, tutkia ja testata simulaation avulla. Tämän päivän simulaatiotyökaluihin on sisään leivottuna valmiiksi huikea määrä toimintoja ja kaavoja, joita ohjelma voi käyttää, jos simulaation tekijä osaa niitä hyödyntää. Simulaatiomallin avulla voidaan simuloitavasta järjestelmästä ottaa selvää monia erilaisia asioita. Yksi suurin kysymys on niin sanottu ”entä jos” kysymys. Tällä tarkoitetaan sitä, että potentiaalisia muutoksia järjestelmään voidaan toteuttaa ja kokeilla simulaatiossa, jolloin esimerkiksi jo käynnissä olevaa tuotantoa ei tarvitse häiritä tai keskeyttää muutoksien kokeilemiseksi, kun niitä voidaan kokeilla virtuaalisesti simulaatiomallin sisässä. Näin säästetään aikaa ja rahaa. Jotkin simuloitavat kohteet tai ongelmat voivat olla niin yksinkertaisia, ettei monimutkaisia ohjelmia ja malleja tarvita vaan ongelma voidaan hoitaa matemaattisesti. Tämä on kuitenkin tänä päivänä harvinaista, kun suurin osa järjestelmistä on niin monimutkaisia. (Banks;Carson II;Nelson;& Nicol, 2010)

Simulointi tänä päivänä on päässyt niin pitkälle, että hyvinkin monimutkaisia järjestelmiä voidaan luotettavasti simuloida, kunhan vain riittävä määrä dataa on saatavilla. Simuloinnin etuja on paljon. Tuotantolaitos voidaan tänä päivänä suunnitella virtuaalisesti mahdollisimman tehokkaaksi samalla kokeillen, että kaikki laitteet mahtuvat tuotantolaitoksen sisälle järkevästi. Uusia laitehankintoja voidaan myös kokeilla jo olemassa olevaan laitokseen samassa tarkoituksessa. Hyvin suunniteltu malli voidaan yleensä toteuttaa sellaisenaan tosi elämässä. Halutessaan tuotantolaitos kuten konepaja voi ensin mallintaa yhden järjestelmän kuten vaikka yksittäisen solun tai tuotantolinjan ja testata simuloinnin tuomia etuja siinä ennen kuin laajentaa simuloinnin kohdetta koko laitoksen tasolle. Simuloinnin suurimpia vahvuuksia on ”mitä jos” kysymys. Jos jostain tosielämän asiasta on olemassa luotettava malli, joka on todettu todenmukaiseksi, voidaan simulaatiota lähteä muuttamaan ja kokeilemaan

simuloitavan kohteen kehitysmahdollisuuksia. Esimerkkinä voisi toimia, vaikka koneistussolu, joka on jo simuloitu. Voidaan ajatella että ”entä jos soluun lisättäisiin kone” ja tutkia simulaatiossa, miten uuden koneen tuominen muuttaisi solun toimintaa. Tämä toimii hyvin varsinkin, kun tutkitaan tuotannon pullonkaulojen parantamista. (Banks;Carson II;Nelson;& Nicol, 2010)

Simulaatio voi myös olla hyvä työkalu uuden henkilöstön koulutuksessa. Varsinkin staattisissa valvomotöissä tai erilaisissa ajoneuvojen ajotehtävissä, simulaatiota käytetään opetustyökaluna. Myös epätavallisten tilanteiden ja onnettomuuksien tilanteita voidaan simulaatiossa harjoitella varsin tehokkaasti varsinkin nykyaikaisen VR-tekniologian avulla. Parhaina ja tunnetuimpina esimerkkeinä voi pitää astronautti ja lentokonepilotti oppilaita tai täysiä ammattilaisia, jotka opettelevat uudet konetyypit tai tehtävät simulaattoreilla, ennen kuin heitä päästetään varsinaisen lentokoneen ohjaimiin tai avaruustehtävälle. (Siceloff, 2016)

## 2.6 Simuloinnin rakentaminen

Simuloinnin rakentaminen alkaa aina simuloitavan ongelman tai kohteen tutkimisella. Jotta simulaatio voidaan rakentaa tarkoituksenmukaiseksi, täytyy simulaatiolle asettaa tavoitteet. Tavoitteiden tehtävä on selventää, mitä ollaan simuloimassa, kuinka tarkasti ja miten ja millä periaatteilla simulaatio rakennetaan. Näin rakennetaan simuloinnille suunnitelma, jonka pohjalta se voidaan tehdä luotettavasti. (Banks;Carson II;Nelson;& Nicol, 2010)

Seuraavassa vaiheessa rakennetaan simulaatiomallille runko ja kerätään tarvittava data. Datan määrän, laadun ja mallin rungon määrittelee aikaisemmin määritellyt tavoitteet ja suunnitelma. Mallin teon jälkeen malliin täytyy syöttää kerätty data, joka on käsitelty simulointiohjelmaan tai työkaluun sopivaan muotoon. Datan keruun ja mallin suunnitelman teon jälkeen on aika valita simulaatiolle sopiva työkalu. Työkalu voi olla tietokone ohjelma tai vaikka lappuja taululla. (Banks;Carson II;Nelson;& Nicol, 2010)

Kun malli on tehty tietokoneelle, se täytyy verifioida. Verifiointi tarkoittaa sitä, että ohjelma toimii odotetulla tavalla ja siten vastaa suunnitelmaa. Monimutkaisten mallien kohdalla voi joutua tekemään paljonkin hiomista, kun malleista usein löytyy monenlaisia bugeja. Kun malli toimii odotetulla tavalla, se täytyy validoida. (Al-Aomar;Williams;& Ulgen, 2015)

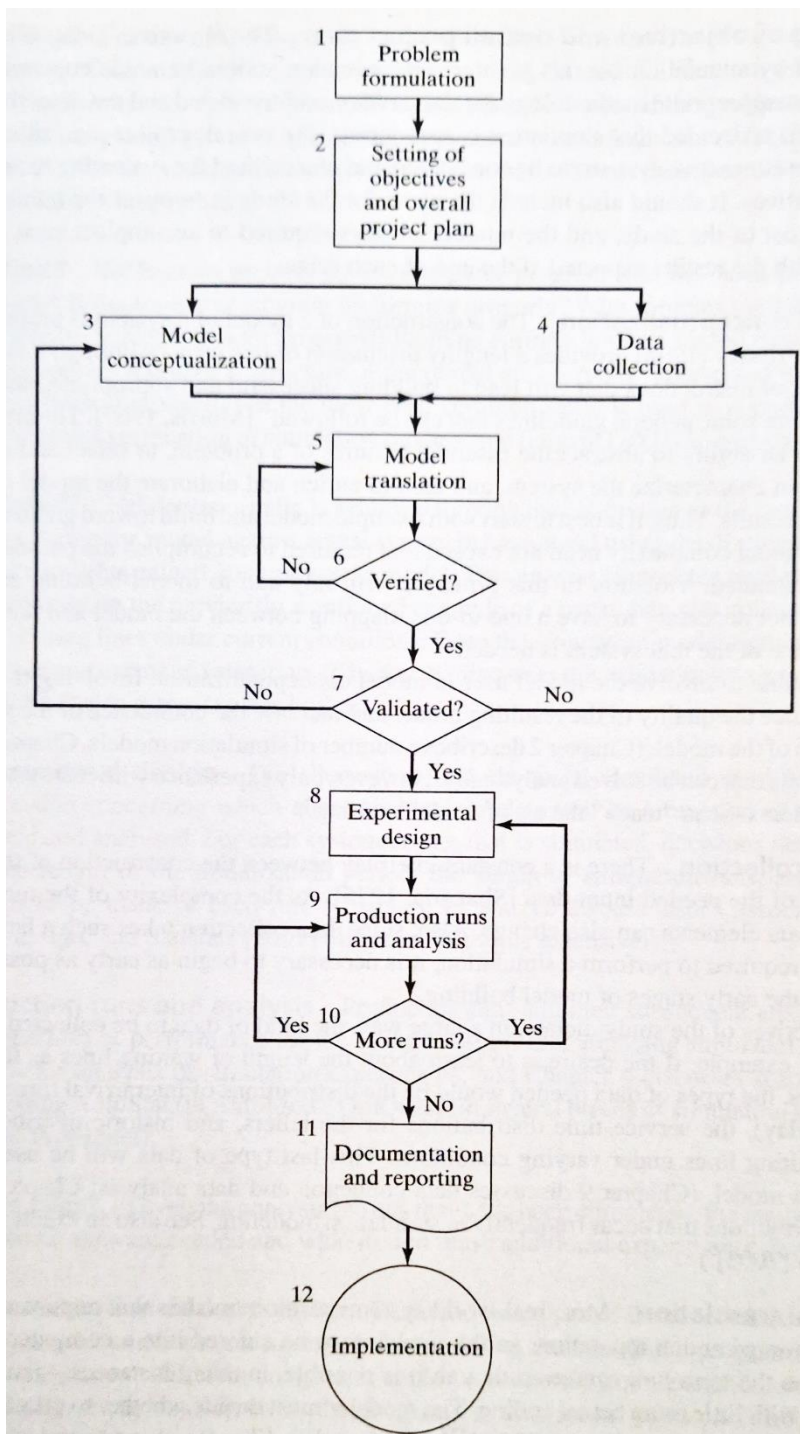
Validointi tarkoittaa sitä, että tarkastellaan, vastaako simulaatiomalli simuloinnin kohteena olevaa järjestelmää ja sen käytöstä. Tämä voidaan tehdä esimerkiksi vertaamalla simuloitavan kohteen tosimaailman ja simulaation tuottamia tuloksia suoraan keskenään. Validointi voi olla vaikeaa, jos tosimaailman vastinetta ei simuloitavalle asialle ole. Näissä tapauksissa on luotettava laskennalliseen tulosten tarkastamiseen ja niin sanottuun "arkijärkeen". Validointi ja verifiointi on simuloinnin vaikeimpia ja aikaa vievimpiä töitä. Jos malli ei tuota todenmukaisia tuloksia sitä täytyy muokata, kunnes se tuottaa niitä. Muokkaus voi liittyä kaikkiin validointia edeltäneisiin vaiheisiin. Voidaan kerätä lisää dataa, muokata mallin konseptia, kokeilla eri simulointi ohjelmaa tai tapaa, tai vain muokata systeemin tai asioiden ominaisuuksia. (Al-Aomar;Williams;& Ulgen, 2015)

Kun malli antaa todenmukaisia tuloksia, voidaan mallilla alkaa kokeilemaan erilaisia asioita. Voidaan kokeilla, miten malli reagoi esimerkiksi, jos tahtiajat nopeutuvat tai hidastuvat tai työvaiheita tulee lisää. Tässä vaiheessa tulee siis päättää, mitä ja minkälaisia variaatioita systeemistä simuloidaan ja kuinka monta toistoa kullekin variaatiolle tulee lähtökohtaisesti tehdä. (Banks;Carson II;Nelson;& Nicol, 2010)

Lopuksi kun simulaatio on valmis, se antaa luotettavia tuloksia ja siitä on olemassa haluttu määrä erilaisia variaatioita, sillä ajetaan vielä loppuajot, jotka analysoidaan. Simuloijan täytyy päättää, montako kertaa simulointeja ajetaan läpi, jotta nähdään riittävällä tarkkuudella ja luotettavuudella systeemin toiminta. Kun simulointien analyysi on tehty, täytyy tehdä päätös siitä, tarvitaanko lisää simulointeja. Jos tarvitsee, millä simulointimallin variaatiolla niitä tulisi ajaa. Näiden simulointien pohjalta tehtyä analyysiä voidaan lopulta käyttää tuotannon ohjauksen tai vaikka investoinnin tukena. (Banks;Carson II;Nelson;& Nicol, 2010)

Simuloinnin antamat analysoidut tulokset, tulee dokumentoida ja raportoida. On tärkeää dokumentoida myös käytetyn simulointityökalun ominaisuuksista, jotta mahdollisesti eri henkilöt, jotka joko tekevät päätöksiä sen perusteella tai jatkavat simuloinnin käyttämistä tai

muokkaavat sitä, ovat perillä siitä, miten ohjelma toimii ja miten sitä voidaan muokata.  
(Banks;Carson II;Nelson;& Nicol, 2010)



(Banks;Carson II;Nelson;& Nicol, 2010, s. 35)

Kuva 3. Simuloinnin vaiheet eriteltynä

### 3 SIMULAATIO

#### 3.1 Yleistä

Työn käytännön osuus alkaa lähes heti, kun projekti alkaa. Ensimmäinen tehtävä on perehtyä simulaatioon ja simulointi ohjelmiin, joista valitaan muutama, joita lähdetään kokeilemaan.

Yksi kokeiltava ohjelma on Anylogic, jonka avulla tehdään yrityksille yksinkertainen malli, jolla esitellään ohjelman toimintaa ja samalla perehdytään simulointiin. Malli on Anylogicin oma tutoriaali, jota seuraamalla valmistuu yksinkertainen konepajan malli, jossa on kaksi työpistettä, varasto, ja saapuville ja lähteville tuotteille omat terminaalit. Tässä vaiheessa huomataan, että Anylogic ohjelmana on melko hankala päästä sisään ja sen käyttöliittymä oli monimutkainen. Selvää on kuitenkin, että Anylogic on monipuolinen ja pätevä työkalu simulaatioon, mutta tässä työssä sen kunnollinen opettelu on liian hidasta.

Seuraavaksi kokeillaan Flexsim-työkalua. Flexsim on visuaalisempi työkalu kuin Anylogic, mutta tässä tapauksessa sitä ei juuri päästä testaamaan, koska Flexsimin kokeiluversio on varsin rajoitettu. Lopuksi kokeillaan Visual Components -ohjelmistoa. Visual Components valikoituu tässä työssä käytetyksi työkaluksi, koska sen academy palvelu ja sen foorumit ovat kattavia ja se vaikuttaa työkaluna suhteellisen yksinkertaiselta aloittelijalle. Lisäksi sen käyttöliittymä on mielestäni helppo ymmärtää. Visual Components on kuitenkin suhteellisen uusi työkalu ja siinä on vielä paljon bugeja ja puutteita kilpailijoihinsa verrattuna. Tarkemman vertailun työkalujen välillä tulen tekemään erillisessä projektissa.

Varsinainen käytännön osa alkaa yritysvierailuilla ja keskusteluilla projektista ja sen käytännön osasta. Projekti jakaantuu kahteen selkeään osaan, joista kummatkin on eri yrityksille tehtäviä simulatiomalleja. Työn kirjallinen osuus tulee samanlaisena molemmille yrityksille. Käytännön osa jaetaan kahteen eri case -tutkimukseen, joista ensimmäinen laajempi kokonaisuus on maalaamon simulointi ja toinen case on tuotantolinjan optimointi simuloinnin avulla. Projektissa mukana olleissa yrityksissä käydään vierailuilla. Näiden vierailuiden aikana varsinainen käytännön osuus

tarkentuu ja näin päästään alkuun simulointimallin suunnittelussa. Näillä käynneillä saadaan myös hyviä kontakteja yrityksiin, joista on apua työssä myöhemmin.

### 3.2 Case 1. Maalaamo

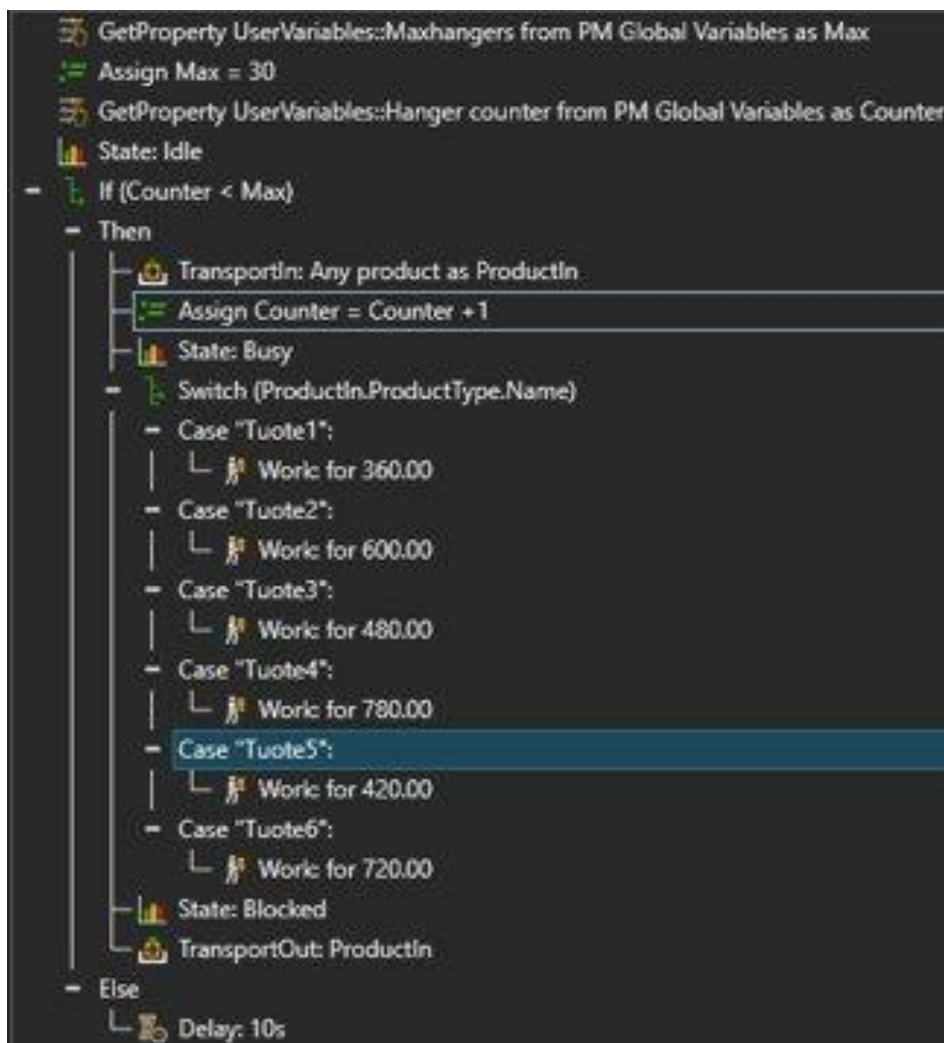
Tarkoitus on tukea erään suomalaisen teollisuuden yrityksen investointipäätöstä simuloinnin avulla ja saada dataa siitä, mitkä ovat uuden maalaamon mahdollisia pullonkauloja tai muita kipupisteitä. Selvitetään myös mihin uusi maalaamo pystyy ja jos simulaatio osoittautuu realistiseksi niin, miten uutta maalaamo voi mahdollisesti jatkossa kehittää. Tässä vaiheessa huomataan jo ongelma siitä, ettei uudesta maalaamosta ole reaali maailmasta saatavaa dataa, jota voitaisiin suoraan laittaa simulaatioon. Dataa muista vastaavista järjestelmistä mahdollisesti olisi saatavilla, mutta tämän keruuta en nähnyt tarpeelliseksi. Ulkopuoliseen dataan luottaminen järjestelmistä, joista ei voitu olla täysin varmoja ovatko ne täysin samanlaisia yrityksen uuden mahdollisen järjestelmän kanssa, olisi ollut riskialtista ja olisi voinut joutaa simulaatiota pahastikin harhaan.

Tässä vaiheessa aletaan tiedustelemaan yritykseltä itseltään, onko uudesta maalaamosta saatavilla tietoa siitä, minkälaisia tahti-, ja läpimenoaikoja tällaiset maalaamot tuottavat verrattuna märkämaalauksen prosessiin joka yrityksessä oli sillä hetkellä tuotannossa. Jauhemaalauksen pullonkaula, samoin kuten märkämaalauksenkin, on yleensä uunitusprosessi, jossa kappaletta lämmitetään, jolloin maali saa lopullisen pintansa ja kappale voi prosessin jälkeen jatkaa matkaa tuotannossa. Uunitusaika riippuu siitä, kuinka paksu maalipinta halutaan, paksumpi maali vaatii pitemmän uunitusajan. Myös maalattavan kappaleen muodot vaikuttavat uunitus-, suojaus- ja maalaus aikoihin molemmissa prosesseissa.

Kun tarvittava määrä dataa on kerätty ja pohjapiirustukset tulevasta järjestelmästä on saatu yritykseltä, voidaan aloittaa rakentamaan mallin pohja. Tässä vaiheessa tehdään malliin pelkkä kuljetinrata ja radasta erillinen syöttöpiste eli feeder, josta tuotteet syötetään radalle. Kun rata saadaan toimimaan halutulla tavalla, eli tuotteet kiertävät radan ympäri alusta loppuun, laitetaan seuraavaksi radalle tarvittavat

prosessipisteet. Radalle asetettuja prosessipisteitä on tässä työssä kahdenlaisia. Processpoint conveyor ja process point -pisteitä.

Processpoint conveyor -pisteitä laitetaan niihin kohtiin, joissa tahtiaika on kaikille tuotteille sama ja työntekijöitä ei tarvita. Puhallus-, pesu- ja maalaus-pisteet ovat automatisoituja tasaisen tahtiajan työpisteitä, joten ne voidaan simuloida kukin yhdellä yksinkertaisella pisteellä, jolle tahtiaikaa voidaan määrittää suoraan pisteen ominaisuusvalikosta. Toisen tyyppinen prosessipiste, jota simulaatiossa käytetään, on inline process -piste. Inline process on Visual Componentsissa oleva prosessipiste, jolle voidaan ohjelmoida erilaisia toimintoja. Inline process -piste on käytännössä sama piste kuin process node -piste, jota voidaan käyttää samalla tavalla. Käytännössä niiden pääero on se, että inline process -piste on liukuhihna, johon process node -piste on kiinnitettyinä valmiiksi ja näin se sopii sellaisenaan erilaisiin liukuhihnajärjestelmiin, kuten tähän. Prosessipisteille tulee luoda omat prosessilistat, joissa määritellään, mitä piste pitää sisällään. Prosessipisteen kuvaketta klikkaamalla siitä avautuu statement-/prosessipuu, johon haluttu prosessi voidaan lisätä statement-valikoimasta.



Kuva 4. radalle noston statement-puu.

Tässä kohdin rakennetaan radalle noston statement-puuhun laskuri, joka laskee tuotteiden määrää radalla. Laskurille määritellään maksimimäärä tuotteita, jonka jälkeen tuotteita ei päästetä maalaamon radalle ennen kuin arvo alittuu. Näin voidaan hallita radalla olevien tuotteiden määrää. Silloin kun tuotteiden määrä radalla alittaa annetun arvon, voidaan tuotteita tuoda radalle. Maksimi tuotteiden määrää voidaan simulaatiokertojen välillä muuttaa vaihtamalla statement-puussa olevaa "Max" arvoa. Näin simulaatiossa voidaan kokeilla kuinka se reagoi, kun tuotteita on eri määriä radalla. Avaamalla simulaatioon luotu "Global variables" -taulukko voidaan simulaation aikana reaaliajassa seurata tuotteiden määrää radalla.

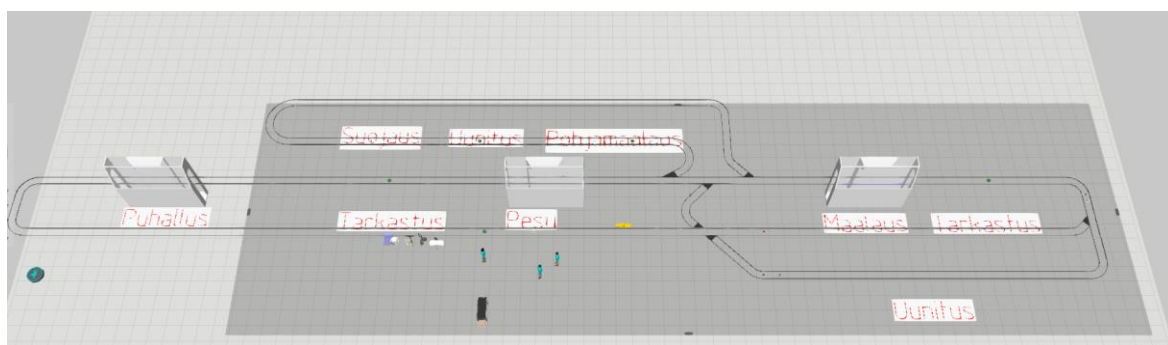
Kun prosessipisteet on luotu, täytyy simulaatiolle rakentaa logiikka, jonka perusteella se eri y-haarojen kohdalla osaisi viedä tiettyjä tavaroita pohjamaalattavaksi ja toisia suoraan maalattavaksi ja mitä tuotteita viedä kullekin uunitusradalle.

Pohjamaalauksen risteys ratkaistaan jakamalla simulaatiossa olevat tuotteet kahden eri tuoteperheeseen, ”lisälenkkiläisiin” ja ”lisälenkittämiin” ja asettamalla y-haara tunnistamaan tuoteperheen ja määräämään kumpaa rataa pitkin tuotteet liikkuvat.

Uunituksen osalta joudutaan määrittelemään jokaiselle tuotteelle suunta erikseen. Tämä onnistuu suoraan taulukosta löytyvällä valikolla, josta löytyy simulaatiossa olevat tuotteet nimellä.

Tuotannossa on yksi tuote, jonka täytyi kulkea maalauksen läpi kahdesti. Tälle tuotteelle joudutaan rakentamaan oma y-haara, jonka jälkeen radalla on leimasin, joka leimaa simulaatiossa tuotteelle tunnisteeseen, jota edellä oleva y-haara lukee tuotteesta. Jos tuotteella on leima, se jatkaa suoraan ja jos ei, se kääntyy uudestaan maalaukseen ja saa leiman.

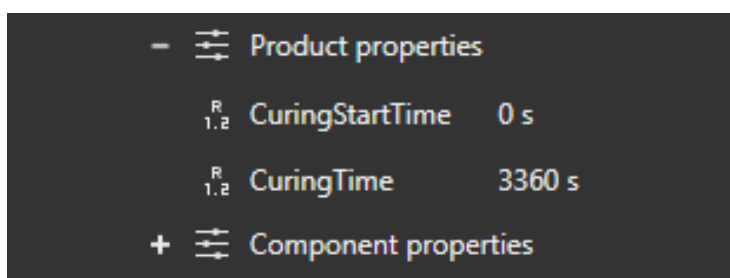
Useamman radan yhdistyessä käytettiin myös y-haaroja, jotka olivat vain yhdistyviä. Kun prosessipisteet on luotu järjestelmään, alkaa uunitusjärjestelmän suunnittelu.



Kuva 5. Maalaamon mallin pääkuva

Uunitusjärjestelmän teko vastaamaan todellista uunitusjärjestelmää on työn työläin ja hankalin prosessi. Järjestelmästä tulee tehdä sellainen, että uuniin tulevan tuotteen aika laskuri alkaa heti, kun tuote menee simulaatiossa uuniin. Loppupäässä olevan vapautuksen tulee tapahtua, siten, että se ottaa huomioon tuotteen koko uunissa jo vietetyn ajan ja laskee, milloin tuotteen voi vapauttaa uunista. Toinen uunin

parametri on se, että tuotteita mahtuu uuniin kerrallaan maksimissaan kuusi kappaletta ja nämä kuusi jakautuvat siten että kahdelle raiteelle molemmille mahtuu kolme tuotetta kerrallaan. Tuotteelle voidaan luoda tuotekohtaisia parametrejä, joihin voidaan prosessipisteissä lisätä arvoja simulaatiossa. Näitä parametrejä on CuringStartTime, johon leimaus uunin alkupäässä leimaa sen hetkisen simulaatioajan, ja CuringTime, joka on joka tuotteelle erikseen määritelty uunitusaika. Uunitusajat saatiin yritykseltä. Periaatteessa parametrit olisi voitu nimetä kuinka tahansa mutta koska malli tulee yritykselle, on viisainta käyttää helposti ymmärrettäviä parametrien nimiä.



Kuva 6. Tuotteille luodut parametrit.

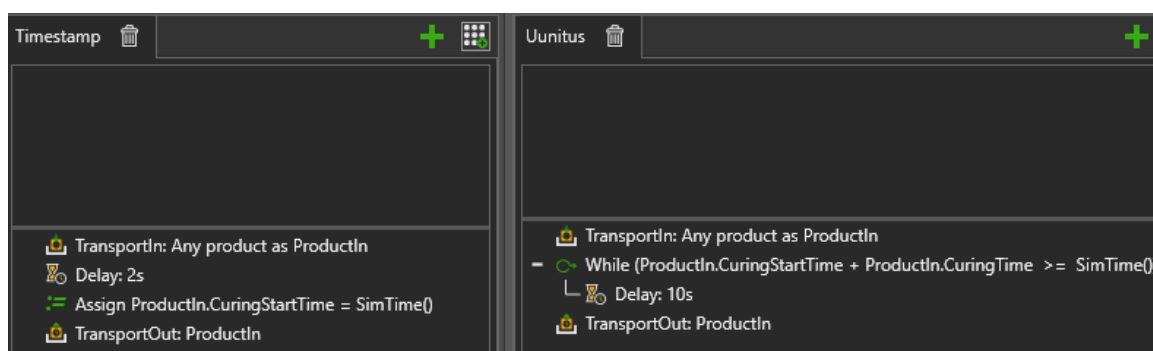
Näin voidaan leimata tuotteelle uuniin mennessä sen hetkinen simulaatioaika käyttämällä Visual Componentsissä olevaa "SimTime()" komentoa. Tämän jälkeen lähdetään rakentamaan uunin poistopäähän prosessipistettä, joka osaa lukea tuotteelle leimattua aikaa, lisätä siihen tuotteelle määritellyn uunitusajan ja lopuksi verrata sitä sen hetkiseen simulaatioaikaan. Kun tuotteen yhteenlaskettu aika on riittävän suuri, tuote pääsee poistumaan uunista. Uunin poistopään saaminen toimimaan, vaati aikaa sillä tähän en foorumeilta saanut valmista ratkaisua. Sain ratkaisuehdotuksen, mutta se ei toiminut, joten jouduin rakentamaan omani.

Visual components on työkalu, jossa merkeillä, numeroilla, ja esimerkiksi isoilla ja pienillä kirjaimilla on olennainen merkitys, kun ohjelma lukee tuotteiden ja parametrien nimiä.

Foorumeilta saamani ehdotuksen pohjalta, ja jo keräämäni tietämyksen perusteella sain lopulta rakennettua statement -puun, joka lukee yhteenlaskettua aikaa, ja jos aika alittuu, se odottaa kymmenen sekuntia ja aloittaa sitten prosessin alusta. Alkuun en saanut tätäkään toimimaan mutta lopulta print -komentoja lisäämällä puuhun, löysin virheellisen kohdan puusta, joka osoittautui yhdeksi pieneksi alkukirjaimiksi puussa olevassa parametrin nimessä (kuva 7), joka oli iso alkukirjain tuotteen parametritaulukon (kuva 6) nimessä. Tämän takia ohjelma ei tunnistanut

parametriä ja ei tästä syystä voinut laskea yhteenlaskua. Kun vaihdoin kirjaimen niin uunitusvaihe alkoi toimimaan oikein.

Lopuksi uunin alkupäähän lisättiin laskuri ja uunin loppupäähän sille poistopisteet. Näillä pisteillä hallitaan uunissa olevien tuotteiden määrää. Tuotteita päästetään uuniin kuusi kerrallaan. Visual componentsilla ei saatu uunia toimimaan siten että pisteet olisivat osanneet ottaa uuniin sisään kolme tuotetta per puoli, joten välillä simulaatioajoissa tuli tilanteita, joissa yhdellä puolella oli neljä tuotetta hetkellisesti.



Kuva 7 Case 1 statement puut leimaus vasemmalla ja uunituksen laskuri oikealla.

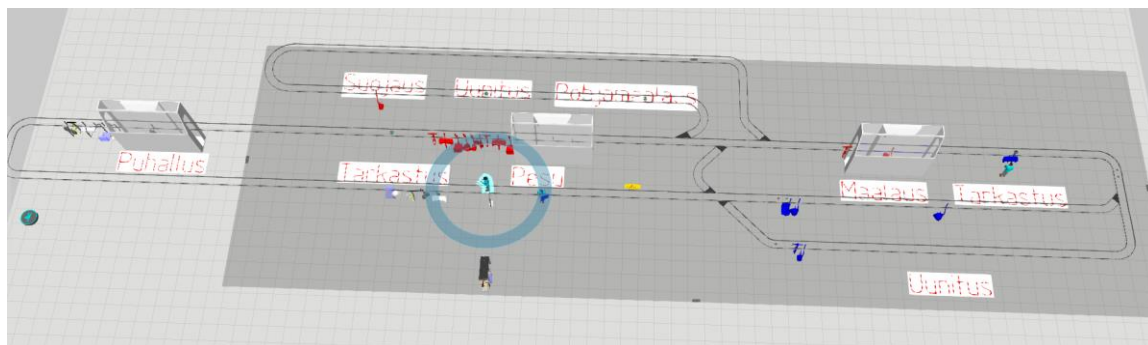
Kun järjestelmä on valmis, voidaan aloittaa ensimmäiset varsinaiset simulaatio ajot. Tässä kohtaa tuli yllätyksenä, että tuotanto pullonkaloittuu simulaattorissa pesu vaiheeseen. Yrityksen kanssa käydyssä palaverissa kävi ilmi, että yritys oli suunnitellut alun perinkin uuden järjestelmän siten, että pesu vaihe on tuotantoa tahdistava järjestelmä eli toisin sanoen sen pullonkaula. Tämä tuli yllätyksenä, sillä aikaisempien yrityksen kanssa käymistäni palavereista oli jäänyt käsitys, että pullonkaula sijoittuisi mahdollisesti nimenomaan uunitus vaiheeseen. Tämä on positiivinen merkki simulaattorin oikeellisuuden kannalta ja verifioi osaltaan sen toimivuutta.

Uunitus vaiheeseen ei tule pullonkaulaa, ellei maalauksen tarkastus kerkeä joutua henkilöresurssin puutteen takia. Tuotannon ja myös uunituksen saa kyllä pullonkaloittumaan jos tuotantoon työntää paljon sellaisia tuotteita kerralla, joiden uunituksen vaiheajat ovat kaikista pisimpiä.

Simulaatiojärjestelmän verifiointi ja validointi tässä tapauksessa on hankalaa, sillä ei ole järjestelmää, johon verrata simulaatiota suoraan. Ensin simulaatio verifioidaan toimivaksi itse, jonka jälkeen sitä esitellään mukana oleville henkilöille ja

yrittäjien edustajille, joiden palautteen perusteella todetaan, että malli toimii odotetulla tavalla eli on verifioitu.

Validointi on tässä case tutkimuksessa ongelma, sillä ei ole olemassa järjestelmää, johon simulaatiomallia olisi verrattu. Yrityksen olemassa olevaan järjestelmään ei simulaatiota voi verrata, sillä se on uuden järjestelmän kanssa erilainen. Päädytään siihen lopputulemaan, että varsinaista oikeaan järjestelmään vertaamista tulee tehdä sitten kun uusi järjestelmä on valmis, ja että tähän simulaatioon ei saa sokeasti luottaa investointipäätöksen teossa, sillä simulaatiota ei voida kunnolla validoida. Järjestelmää arvioidaan kuitenkin, edellä mainittu mielessä pitäen, usean henkilön toimesta. Siihen ei ole viitteitä, että simulaatio antaa virheellisiä tuloksia, joten simulaation antamat tulokset ovat vähintäänkin oikean suuntaisia. Yritys kuitenkin saa mallin omaan käyttöön ja voi näin muokata järjestelmässä olevia arvoja, jos ne eroavat oikean järjestelmän ja simulaation välillä.



Kuva 8. Malli 10 tunnin ajon kohdalla. Pesussa ja puhalluksessa pullonkaula.

Simulaatio järjestelmän valmistuttua lähdetään kokeilemaan erilaisia kokeita siitä, miten järjestelmä reagoi erilaisiin muutoksiin. Ensin kokeillaan miten pesun vaiheajan lyhentäminen vaikuttaisi tuotantoon, ja tuloksena on, että pullonkaula siirtyi puhallukseen ja loppupään pisteille tuli hieman enemmän tuotteita mutta ne eivät pullonkaulautuneet. Kun seuraavaksi vähennetään puhalluksen tahtiainaa, pullonkaula siirtyy maalaukseen. Seuraavaksi vähennetään tahtiainaa maalauksesta, jonka jälkeen pullonkaula siirtyy uunitukseen. Aikoja pitää kuitenkin rajata hyvin voimakkaasti, jopa epärealistisen paljon. Tämä viittaisi siihen, ettei uunitus vaihetta saa pullonkauloittumaan kuin todella huonolla tuotannon ohjauksella tai prosessipisteiden tahtiajoilla, jotka ovat noin puolet yrityksen antamista arvoista.

### 3.3 Case 2. Tuotantolinjan optimointi

Case 2. on erääseen suomalaiseseen, valmistavan teollisuuden yritykseen tehtävä tuotantolinjan simulaatio ja sen optimointi. Tuotantolinjalla on yksi esikokoonpanopiste, jonka jälkeen tuotteet siirtyvät jollekin neljästä kokoonpanopisteestä, jossa tuote kokoonpannaan valmiiksi tuotteeksi. Kokoonpanon jälkeen tuotteet asetetaan kuljettimelle, jolla ne kulkeutuvat lyhyen matkan testaukseen, jossa tuotteiden toimivuus testataan ja ne säädetään. Lopuksi tuotteet pakataan.

Työ alkaa keräämällä dataa ja tietoa tuotantolinjasta paikan päällä yrityksessä ja keskustelemalla tuotantolinjalla olevien henkilöiden kanssa. Kysymykset koskevat tuotantolinjan toimivuutta ja sen kipupisteitä. Kysymyksistä ilmenee, että tuotanto pullonkaulautuu helpoimmin sen esikokoonpanoon tai testausvaiheisiin, koska yksi esikokoonpanija ei ehdi tuottamaan riittävästi esikokoonpanoja kokoonpanijoille. Tuotanto pullonkaulautuu oikeastaan ennen kuin se kerkeää kunnolla alkaakaan. Toinen kipupiste testauksen ja pakkauksen osalta on saman tyyppinen. Testaus ja pakkauspisteitä on molempia yksi, joten monta kokoonpanopistettä tuottaa tuotteita nopeammin testaukseen kuin mitä testaus ja pakkauspisteet kerkeävät näitä prosessoida.

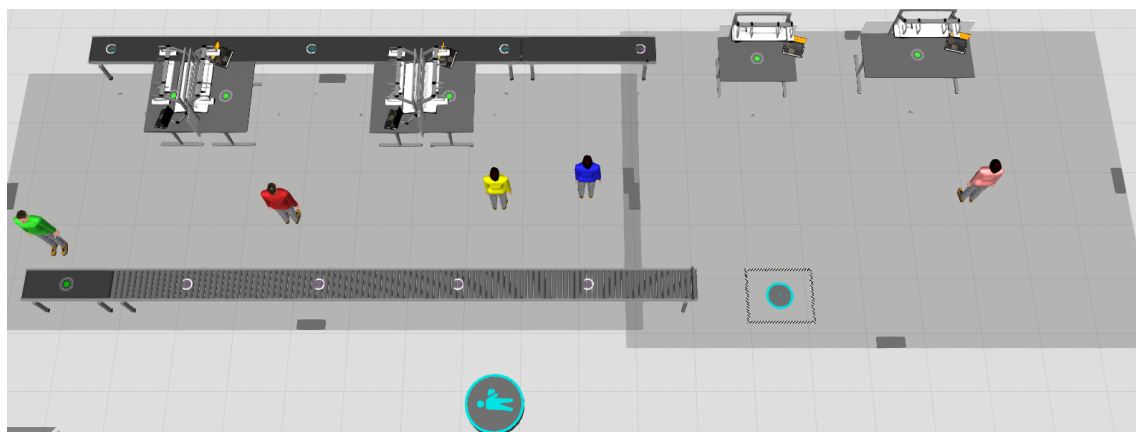
Yrityksessä on yritetty jakaa resursseja siten että tuotanto olisi mahdollisimman sujuvaa ja pullonkauloja ei syntyisi. Resurssien jako on kuitenkin hankalaa, kun kaikilla työntekijöillä ei ole valmiuksia tehdä kaikkia työvaiheita. Esimerkiksi pakkauksen tehtävät eivät välttämättä sovi henkilölle, jolla on tuki- ja liikuntaelin vaivoja. Tavallisin määrä työntekijöitä linjalla on viisi (5) henkilöä. Tarkoituksena oli tutkia minkälaisia muutoksia linjastolle voisi tehdä, jotta yritys voisi käyttää kaikkia neljää kokoonpanopistettä yhtä aikaa ilman tuotannon pullonkaulautumista.

Kun tarvittava data ja tieto on kerätty järjestelmästä, aloitetaan simulointi. Tämän case'n simuloinnissa ei tarvitse käyttää kovinkaan edistyneitä ominaisuuksia, tai tarvitse tehdä monimutkaisia statement -puita visual components -työkalussa koska simuloitava järjestelmä on toimintaperiaatteiltaan suhteellisen yksinkertainen.

Simulaation rakennus aloitetaan lisäämällä tarvittavat komponentit simulaatiomaailmaan ja luomalla pisteille statement -puihin työajat ja näiden pisteiden välille virtaukset halutulla tavalla.

Ensimmäinen versio simulointimallista on karkea representaatio todellisesta tilanteesta, jossa testaus- ja pakkaustyövaiheissa on yksi työntekijä, esikokoonpanossa yksi työntekijä ja loput kolme ovat kokoonpanossa. Tässä vaiheessa myös eri työvaiheiden vaiheajat asetetaan yrityksestä saadun datan mukaisiin arvoihin. Tässä vaiheessa simulaatio osoittaa heti, että pullonkaulat muodostuivat esikokoonpanoon ja testaus- ja pakkausvaiheisiin. Tässä vaiheessa todetaan myös, että malli on toimiva, sillä se antaa haastattelujen kanssa yhteneviä tuloksia pullonkaulojen sijainneista.

Tämän jälkeen mallia muokataan siten, että työntekijöille annetaan vapaus vaihtaa työpaikkojaan simulaatio-ohjelman logiikan mukaisesti. Tämä aiheuttaa sen, että työ jakaantuu paremmin ja pullonkaulat tuotantolinjalla pienentyvät huomattavasti. Pullonkaulat pienentyvät koska simulaattorin oma logiikka osaa allokoida resursseja siten että järjestelmä virtaa paremmin. Tässä käytetään Visual Componentsin perusasetusta, joka määrittää resurssin allokoinnin aina lähimpään vapaana olevaan työpisteeseen. Tämä aiheuttaa sen, että esikokoonpanossa on jatkuvasti yksi työntekijä kuten ennenkin, mutta testaus ja pakkaus vaiheisiin tulee yksi jatkuvasti pysyvä työntekijä ja yksi vaihtuva työntekijä. Tämä johtuu siitä, että yksi esikokoonpanija ei pysty ruokkimaan kuin kahta kokoonpanijaa kerrallaan ja toinen pullonkaula sijoittuu juuri testaukseen ja pakkaukseen. Luonnollisesti kokoonpanopisteeltä ylimääräiseksi jäävä työntekijä siirtyy simulaatiossa ainoalle vapaana olevalle työpisteelle, jolla on työtehtävä jonossa.



Kuva 4. Case 2:n mallista 1. jossa 5 työntekijää.

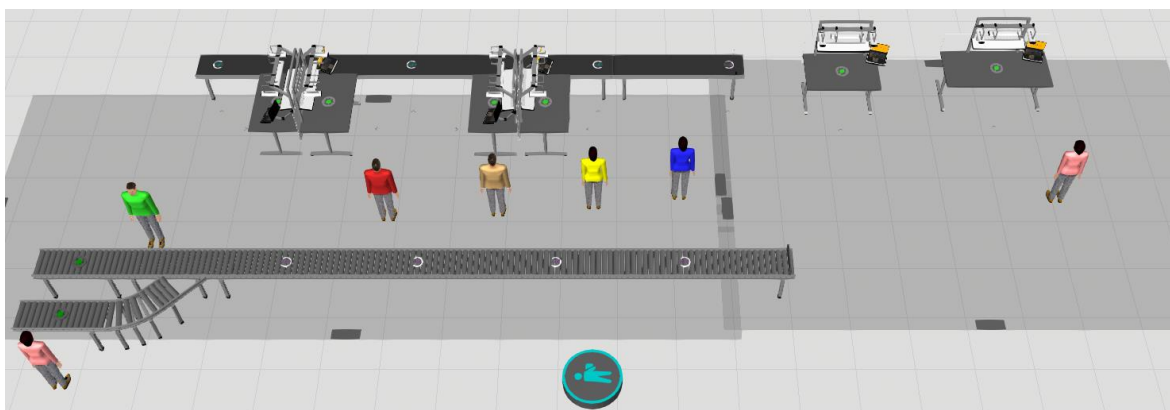
Seuraavaksi luodaan simulaatioon statistiikkaa työpisteiden käyttöasteesta ja tuotettujen tuotteiden määrästä. Tässä vaiheessa huomataan, että työpisteiden käyttöasteet ja tuotettujen tuotteiden määrät ovat noin viiden prosenttiyksikön päässä yrityksestä saadun datan arvoista. Tämä kertoo sen, että työ on menossa oikeaan suuntaan. Tässä kohtaan pidetään yrityksen ja ohjaajien kesken palaveri, jossa käydään läpi projektia. Palaverissa käy ilmi, että yrityksestä saadussa datassa on laskettuna mukaan tuotteiden siirto työvaiheesta toiseen. Koska simulaation työvaiheisiin on laitettu yritykseltä saatu data suoraan, kuluu työvaiheesta toiseen siirrossa nyt tupla aika ja tämä vaikuttaa käyttöasteisiin ja tuotantomääriin negatiivisesti.

Aikaisemmin arveltiin, että tässä voisi olla yksi kohta, jossa simulaatio eroaa todellisesta maailmasta. Tämä ero korjattiin laskemalla simulaatiossa tuotteiden siirtoon kulunut aika ja vähentämällä sama aika työvaiheiden työajoista. Tällä päästiin alle kahden prosentin päähän todellisista arvoista. Tässä kohtaan joudutaan miettimään kovasti mistä loput prosentit saadaan, jotta päästäisiin todellisuutta vastaaviin arvoihin. Tässä kohtaa huomataan, että kokoonpanopisteeltä on unohtunut poistaa aika, joka kuluu siirtoon kokoonpanopisteeltä kuljettimelle, joka kuljettaa tuotteen testaukseen. Vähentämällä tuon ajan päästään alle prosentin päähän datan arvoista. Aika, joka vähennettiin ei ole suuri, vain muutama sekunti, mutta sen vaikutus on suhteessa paljon suurempi, verrattuna aikaisemmin poistettuihin aikoihin, koska poistettu aika lähtee juuri oikeasta kohtaa.

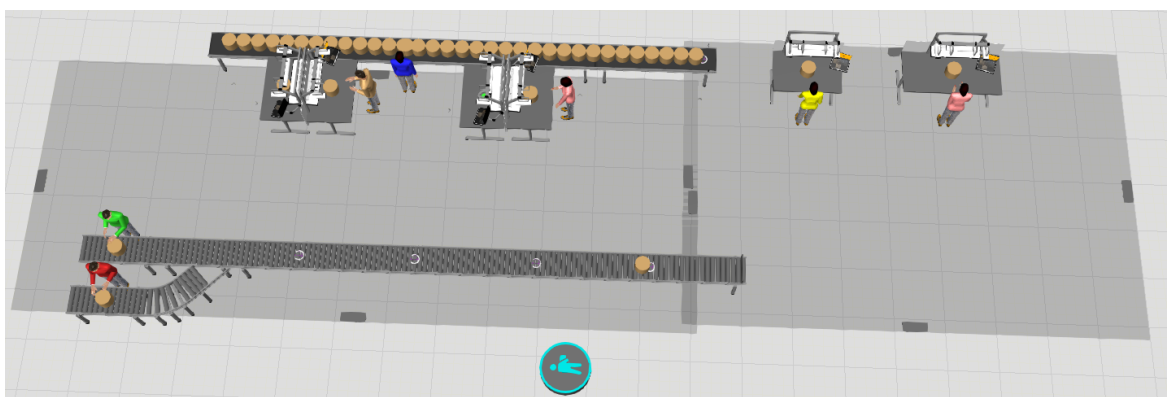
Viimeisiä prosentin kymmenyksiä saadaan pois vähentämällä yksittäisiä sekunteja ja sekunnin murto osia eri työvaiheista ja lisäämällä niitä toisaalle. Aikaa siirretään sillä perusteella, että aikaisemmin työpisteiden välistä siirtoaikaa oli otettu pois aina yhdeltä tietyltä työpisteeltä. Nyt muutos tehdään siten että jos paikasta A, siirretään tuote paikkaan B, otetaan aikaa molemmista pisteistä pois suhteessa se määrä kuinka paljon arviolta kumpikin piste aikaa kuluttaa siirtoon. Tämä ajan otto toki perustuu pelkkään arvioon, mutta sekin on tässä tapauksessa parempi kuin aikaisempi tapa, joka oli varmuudella väärin.

Simulaatiota joudutaan ajamaan useita kymmeniä tunteja, jotta todelliset luvut saadaan simulaatiosta esille, sillä simulaatio lähtee nolatilanteesta, josta kaikki arvot lähtevät nousemaan. Tämä aiheuttaa sen, että todelliset arvot tulevat esille vasta noin 80 tunnin simuloinnin jälkeen. Tämän takia simulaation antamia tuloksia otetaan talteen vasta vähän sen jälkeen, kun statistiikkatyökalun antamat arvot eivät enää muuttuneet, eli noin 100 tunnin ajon kohdalla. Ajot toistetaan useita kertoja, jotta varmistetaan että tulokset ovat toistettavissa. Nämä arvot hyväksytetään yrityksellä, ja tämän jälkeen päätetään lähteä kehittämään tuotantolinjaa ja testaamaan sitä simulaatiossa.

Ensimmäinen kehitysidea tulee suoraan yritykseltä. Miten tuotantolinja toimisi viiden sijasta seitsemällä työntekijällä, jos esikokoonpanijoita olisi kaksi siten että toinen piste toimisi puolella siitä tehosta, jolla ensimmäinen toimii? Tämä toteutetaan siten että simulaatioon lisätään kaksi työntekijää ja yksi esikokoonpanopiste, jolle asetetaan työajaksi tuplasti se aika, joka jo ensimmäisellä esikokoonpanopisteellä on.



Seuraavaksi ajetaan simulaatiota ja heti käy selväksi, että tällä tavalla tuotanto pullonkaulautuu testaus ja pakkaus vaiheisiin. Käytännössä kokoonpanopisteiden jälkeinen kuljetin on jo neljän tunnin simulaatioajon jälkeen tukossa.



Kuva #. 7henkilön malli 5 tunnin ajon kohdalla. Testaus ja pakkaus pullonkauloina.

Tätä pullonkaulaa aukaistaan lisäämällä simulaatioon uudet testaus- ja pakkauspiisteet. Uusi testauspiiste laitetaan jonoon toisen perään ja näiden ajat puolitetaan alkuperäisestä testausajasta yrityksestä saadun informaation perusteella. Tässä huomataan se, että työntekijöitä ei riitä uusille pisteille, jolloin tuotanto pullonkaulautuu edelleen. Seuraavaksi lisättiin kaksi työntekijää lisää ja asetetaan simulaatioissa oleville työntekijöille rajoituksia siten, että kolme työntekijää on neljällä pakkaus ja testaus pisteellä, kolme on vakituisesti kokoonpanossa, kaksi työskentelee esikokoonpanossa ja yksi työntekijä vaihtelee työpistettään tarpeen mukaan. Tällä kokoonpanolla päästään jo lähelle pulloinkaulatonta tuotantoa, mutta edelleen pieni pullonkaula syntyy testaukseen. Lopuksi lisätään simulaatioon vielä kymmenes työntekijä, jolla saadaan viimeinenkin pullonkaula pois simulaatiosta.



Kuva 6. Case 2:n mallista 3. jossa 10 työntekijää ja lisää tuotantopisteitä.

Lopputuloksena näistä simulaatioista saadaan, että jos yritys haluaisi hyödyntää kaikkia neljää kokoonpanopistettä maksimaalisella tavalla yhtäaikaisesti, täytyisi yrityksen tuplata työntekijämääränsä, tuplata pakkauskapasiteetti, ja parantaa testauksen sujuvuutta, jotta pullonkauloja ei syntyisi. Yritys saa käyttöönsä simulaatiomallit ja voi näin hakea kompromissiratkaisua, jota ei välttämättä tämän työn rajallisessa ajassa keretty kokeilla.

## 4 TULOKSET

Molempien case-tutkimusten osalta saatiin tyydyttäviä lopputuloksia. Tämä on siis osoitus, että simuloinnin voi aloittaa uutena simulaation tekijänä, suhteellisen lyhyessä ajassa ja vieläpä voi tehdä kohtalaisen hyviä malleja.

Case 1:n mallin validoinnin hankaluus tarkoittaa sitä, ettei malliin kannata sokeasti luottaa. Malli saatiin toimivaksi ja antamaan hyviä tuloksia. Mallissa uunitusvaihetta ei saatu tuotannon pullonkaulaksi kuin epärealistisilla vaiheajoilla tai huonolla resursoinnilla.

Case 2:n osalta päästiin mallissa niin lähelle todellisia arvoja että se vastaa todellisuutta riittävän tarkasti. Mallien pullonkauloja tutkittiin ja osin myös ratkottiin, sekä annettiin yrityksille tietoa simulaatiosta.

Yritykset saavat mallit käyttöönsä jatko kehitystä ja tutkimusta varten. Molempien case tutkimusten osalta mielestäni päästiin tavoitteisiin ja joissakin asioissa päästiin mielestäni jopa niistä yli. Mikään malleista ei mielestäni ole täydellinen ja varsinkin visuaalinen puoli niistä jää parhaimmillaankin kohtalaiselle tasolle. Tosin visuaalinen puoli ei varsinaisesti ollut tämän työn keskipisteenäkään, joten se jätettiin tietoisesti huomioimatta sen suuremmin. Yritykset kuitenkin voivat tuoda malleihin omat tuotteensa ja mahdollisesti muutakin omaa, kun heillä mallit ovat.

Simulaation hyödyt ja haitat tulivat työn aikana hyvin selville. Tämän tutkimuksen perusteella simulaatiolla on potentiaalia olla hyvä työkalu minkä tahansa yrityksen toiminnan tehostamiseen, mutta simulaatioon kannattaa kuitenkin suhtautua samalla tavalla kuin mihin tahansa muuhunkin työkaluun, jota yritys käyttää tai harkitsee käyttävänsä.

Case 1:n simulaatiomalliin jäi joitakin kehityskohteita kuten uunin tuotemäärän rajaus, mutta mielestäni se vastasi niihin kysymyksiin, joita simuloimalla lähdettiin ratkaisemaan, eli siihen pullonkauloittuuko uunitus vaihe järjestelmässä? Mielestäni simulaatiomalli on siinä määrin luotettava, että voidaan sanoa, ettei uunituksen pitäisi olla järjestelmässä pullonkaula.

## 5 YHTEENVETO

Simulaation hyödyt ja haitat tulivat työn aikana hyvin selville. Tämän tutkimuksen perusteella simulaatiolla on potentiaalia olla hyvä työkalu minkä tahansa yrityksen toiminnan tehostamiseen, mutta simulaatioon kannattaa kuitenkin suhtautua samalla tavalla kuin mihin tahansa muuhunkin työkaluun, jota yritys käyttää tai harkitsee käyttävänsä.

Jälkeenpäin kun työtä miettii ja jos työn jälkeen case tutkimusten simulaatioita lähtisi tekemään uudestaan olisi työn tekeminen paljon nopeampaa. Minulla meni joihinkin jopa suhteellisen yksinkertaisten ongelmien ratkaisuun tunteja, välillä jopa useita päiviä. Tämä osoittaa hyvin sen, kuinka kokemus auttaa simulaatioiden tekemisessä. Minulla meni neljän eri simulaation rakentamisessa aikaa kuukausia, kun en ollut koskaan aikaisemmin tehnyt mitään simulaatioon liittyvää kuin enintään viihteellisessä muodossa ja käytännössä kaikki piti opetella alusta alkaen. Väittäisin, että tämän työn tuomalla kokemuksella voisin valmistaa samat simulaattorit vajaassa kahdessa viikossa, ehkä jopa reilussa viikossa. Tässä täytyy ottaa huomioon, että varsinkin case 2:n muiden mallien valmistuksessa kulunut aika oli häviävän pieni siihen verrattuna, kuinka kauan kesti saada alkuperäinen malli niinkin lähelle todellisuutta kuin se tuli.

Työssä kävi selväksi myös se, ettei simulaatio malli ole koskaan valmis tai täysin tarkka, mutta sen ei välttämättä tarvitsekaan olla. Tämä tuo simulaation tekijälle tärkeän kysymyksen kuinka paljon aikaa on järkevää käyttää simulaation hiomisessa, jos siitä saatava hyöty on pientä. Jos simulaattori vastaa jo alkuperäisiin kysymyksiin, mielestäni sitä on enää turha hioa.

Kun tietokoneet ja muut laitteet kehittyvät olen varma, että oman tuotannon simulointi tulee olemaan entistä tehokkaampaa ja se tulee leviämään entistä laajemmalle.

## LÄHTEET

- Adam, D. (16. Toukokuu 2020). Modelling the pandemic. *Nature*, 316 - 318. Haettu 27. Tammikuu 2023
- Al-Aomar, R.;Williams, E. J.;& Ulgen, O. M. (2015). *Process Simulation Using WITNESS*. John Wiley & Sons, Incorporated.
- Banks, J.;Carson II, J. S.;Nelson, B. L.;& Nicol, D. M. (2010). *Discrete-Event System Simulation 5th Edition*. New Jersey: Pearson Education.
- Ison-Britannian puolustusministeriö. (2017). *Wargaming Handbook*. Iso-Britannia: Ison-Britannian puolustusministeriö. Haettu 12. Tammikuu 2023 osoitteesta <https://www.gov.uk/government/publications/defence-wargaming-handbook>
- Mäkimattila, A. (ei pvm). *Digitaalinen kaksonen teollisuudessa - mitä, miksi ja kenelle?* Haettu 18. Helmikuu 2023 osoitteesta Pinja: <https://blog.pinja.com/opas-digitaalinen-kaksonen-teollisuudessa>
- Panssariprikaati. (5. 10. 2018). *Virtuaalikoulutusympäristö osana varusmieskoulutusta*. Haettu 16. 1. 2023 osoitteesta Maavoimat: <https://maavoimat.fi/-/virtuaalikoulutusymparisto-osana-varusmieskoulutusta>
- Pulkka, E.-K. (2022). Hukka vie, muttei tuo. *Maatilan Pellervo*(20).
- Siceloff, S. (27. Huhtikuu 2016). *Simulators Give Astronauts Glimpse of Future Flights*. (Nasa) Haettu 16. Helmikuu 2023 osoitteesta Nasa: <https://www.nasa.gov/feature/simulators-give-astronauts-glimpse-of-future-flights>