

Oskar Savikko

# Simuloinnin hyödyntäminen pienten sarjojen ja eräkokojen tuotannossa

Opinnäytetyö

Insinööri

Materiaalitekniikka

2020



**Kaakkois-Suomen  
ammattikorkeakoulu**

<b>Tekijä/Tekijät</b>	<b>Tutkintonimike</b>	<b>Aika</b>
Oskar Savikko	Insinööri (AMK)	Toukokuu 2020
<b>Opinnäytetyön nimi</b>		
Simuloinnin hyödyntäminen pienten sarjojen ja eräkokojen tuotannossa		27 sivua 0 liitesivua
<b>Toimeksiantaja</b>		
Joros Oy		
<b>Ohjaaja</b>		
Mikko Hokkanen		
<b>Tiivistelmä</b>		
<p>Opinnäytetyön aiheena oli simuloinnin hyödyntäminen pientuotannossa eli pienten sarjojen ja eräkokojen tuotannossa. Simuloinnin avulla pystytään mallintamaan ja kokeilemaan tehdasta tai tuotantolaitosta ilman rakennuskustannuksia. Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, miten simulointia voisi hyödyntää pientuotannossa, jossa tehdään paljon erilaisia osia.</p> <p>Simulointia on suhteellisen helppo käyttää tuotannoissa, joissa nimikkeiden määrä on rajattu ja samat nimikkeet toistuvat säännöllisesti. Tällöin pystytään fokusoimaan työvaiheiden simuloimiseen, eikä monien eri tuotteiden simuloimiseen. Näin saadaan kattava simulointikonaisuus tuotannosta. Miten simuloidaan tuotanto, jossa tehdään paljon erinäköisiä ja -kokoisia osia? Tällöin joudutaan myös miettimään monen eri tuotteen lisäystä simulointimalliin, eli työvaiheet jäävät pienemmälle osalle. Toki pystytään molempiinkin keskittymään, mutta silloin työ paisuu liikaa tämän opinnäytetyön kannalta.</p> <p>Simulointimallin tekoon käytettiin Visual Components -ohjelmaa. Visual Components -ohjelma oli tekijälle ennestään tuntematon. Opinnäytetyö alkoi ohjelman opettelulla, joka vei suurimman osan ajasta. Tänä aikana selvisi, että tarkat simuloinnit eri työvaiheista tulisivat olemaan mahdottomia tässä työssä. Mallissa simuloidaan materiaalinvirtausta, ei siis tarkkaa kopiota tehtaasta tai tuotantolaitoksesta.</p> <p>Opinnäytetyössä saadaan aikaan toimiva simulointimalli. Lisäksi selvisi, kuinka vaikeaa datan kerääminen on. Työssä saatiin kerättyä dataa seitsemästä työtilauksesta, tarkoitus oli kerätä dataa 30 tilauksesta. Siksi malli on validoitu kuvitteellisilla työtilauksilla, joita oli 18 kappaletta. Jatkokehityksessä voitaisiin keskittyä keräämään dataa tuotannosta, jotta saadaan simuloinnit tehtyä oikealla datalla. Lisäksi olisi syytä tutustua Visual Components -ohjelman uuteen versioon. Tässä versiossa uutena ovat prosessien mallinnus ja pitkien vaiheikojen nopeampi käsittely.</p>		
<b>Asiasanat</b>		
simulointi, tuotanto, tehdas, tuotantolaitos, putki		

Author (authors)	Degree	Time
Oskar Savikko	Bachelor of Engineering	May 2020
<b>Thesis title</b>		
Utilization of simulation in production of small series and batch sizes		27 pages 0 pages of appendices
<b>Commissioned by</b>		
Joros Oy		
<b>Supervisor</b>		
Mikko Hokkanen		
<b>Abstract</b>		
<p>The topic of the thesis was the utilization of simulation in small production, i.e. in the production of small series and batch sizes. By means of simulation it is possible to model and test a factory or production facility without construction costs. The aim of the thesis was to find out how simulation could be used in small production where many different parts are made.</p>		
<p>The simulation is easier to use in productions where the number of products is limited, and the same titles are repeated regularly. This allows you to focus on simulating work steps instead of needing to simulate many different products. This provides a comprehensive simulation package for production. How do you simulate productions that make a lot of parts of different looks and sizes? In this case, it was also necessary to consider many different additions in the simulation model, i.e. the work steps have a smaller part. Of course, it would have been possible to focus on both, but then the scope of this thesis would have been too extensive.</p>		
<p>The Visual Components program was used to create the simulation model. The program was previously unknown. The thesis began by learning to use the program, which took up most of the time. During this time, it became clear that accurate simulations of the different work steps would be impossible in this work. The model simulates the material flow, i.e. the model is not an exact copy of the factory or production plant.</p>		
<p>A functional simulation model was made in the thesis. It became clear how difficult it is to collect data on site. The work collected data from seven work orders, the purpose was to collect data from 30 orders. As a result, the model was validated with 18 imaginary work orders. Further development could focus on collecting data from the output, and then simulations can be done with the right data. The new version of the program is something that should also be tested. New features in this version are process modeling and faster processing of long phase times.</p>		
<b>Keywords</b>		
simulation, production, factory, production plant, pipe		

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	6
2	JOROS OY.....	6
3	TEORIA.....	8
3.1	Teollisuus 4.0.....	8
3.2	Digitaalinen kaksonen .....	9
3.3	Autonomiset järjestelmät .....	11
3.4	Digitaalinen tehdas .....	13
4	TOTEUTUS.....	14
4.1	Aiheen rajaaminen.....	14
4.2	Visual Components -ohjelma .....	14
4.3	Tuotteen tuotantoaskeleet.....	16
4.4	Simulointiprojekti.....	17
4.5	Simulointimalli.....	17
4.5.1	Komennot.....	19
4.5.2	AGV-robotit .....	22
4.5.3	Työtilausten tarkastelu ja implementointi.....	23
4.5.4	Mallin validointi ja verifiointi .....	23
5	TULOKSET .....	24
6	ANALYYSI JA JATKOKEHITYS.....	25
6.1	Johtopäätökset .....	25
6.2	Jatkokehitys .....	25
	LÄHTEET .....	27
	KUVALUETTELO	

## Lyhenteet ja käsitteet

CNC	Computer numerical Control; tietokoneistettu numeerinen ohjaus
TIG	Tungsten Inert Gas; kaasukaarihitsausprosessi, jossa käytetään volframielektrodiä
MIG/MAG	Metal Inert Gas/Metal Active Gas; kaasukaarihitsausprosessi, jossa käytetään lisäainelankaa
NASA	National Aeronautics and Space Administration; Yhdysvaltain liittohallituksen alainen ilmailu- ja avaruushallintovirasto
Prototyyppi	koekappale, alkuperäinen, ensimmäinen versio jostakin
Industry 4.0	Teollinen vallankumous 4.0, eli neljäs teollinen vallankumous.
PLM	Product Lifecycle Management; tuotteen elinkaaren hallinta. Tässä pyritään ohjelmistokokonaisuuksien avulla hallitsemaan kaikki tuotteeseen liittyvät tiedot ja suunnitteluprosessit.
WP-komponentti	Works process -komponentti. Käytetään pyytämään ja lähettämään tuotteita sekä erinäisten prosessien määrittämiseen.
WTC-komponentti	Works Task Control -komponentti. Works-kirjaston sydän. Muut Works -komponentit vaativat tämän toimiakseen.
FC-komponentti	Fence Creator -komponentti. Komponentti tekee aidatun alueen syötetyistä mitoista.
AGV	Automated Guided Vehicle; ajoneuvo, joka kykenee automaattiseen liikkumiseen ja toimintaan eri ohjeilla.

## 1 JOHDANTO

Simuloinnin avulla voidaan tutkia järjestelmiä tai ilmiöitä yksinkertaisemmalla tietojenkäsittelymallilla. Tavoite on mallintaa olemassa oleva tai tuleva järjestelmä. (Tajini, Lissane Elhaq & Rachid 2011.) Simuloinnilla voidaan pienillä kustannuksilla kokeilla, miten tehdas tai pienempi kokonaisuus toimii. Nykypäivän talousahdingossa korostuu hyvä suunnittelu ja simuloinnilla nähdään etukäteen oman suunnittelun tulos ja toimivuus.

Tämän opinnäytetyön aiheena on simuloinnin hyödyntäminen pientuotannossa eli pienten sarjojen ja eräkokojen tuotannossa. Tavoitteena on selvittää, voiko simulointia hyödyntää Joros Oy:n pientuotannossa. Opinnäytetyössä simuloidaan materiaalivirtausta, joten tässä opinnäytetyössä ei simuloida tuotantolaitosta kokonaisuudessaan. Tutkimusongelmana on pienien eräkokojen ja yksittäistuotannon asettamat haasteet simulointityökalun käytölle. Voidaan kysyä, voidaanko simulointityökalua edes käyttää ja onko se järkevää. Tutkimusmenetelmänä käytettiin kvantitatiivista tutkimusta.

Opinnäytetyön alussa esitellään toimeksiantaja (luku 2). Esittelyn jälkeen rajataan tutkimusaihe (luku 3), jonka jälkeen käydään läpi teoriaa neljänestä teollisuuden vallankumouksesta sekä digitaalisen ajan tehdasmenetelmistä (luku 4). Teorian jälkeen esitellään käytettävä simulointiohjelma, jonka jälkeen esitellään itse simulointimalli malli (luku 5). Sen jälkeen käydään läpi tulokset (luku 6), ja lopuksi tehdään analyysi ja johtopäätökset (luku 7).

## 2 JOROS OY

Joros Oy on putkentaivutuksen ammattilainen Punkaharjulta. Yritys perustettiin vuonna 1983. Lähes kaikki Suomen venealan yritykset pitävät Joros Oy:tä luotettavana tuotekehitys- ja yhteistyökumppanina. Joros Oy on valmistanut näiden yritysten satoihin eri venemalleihin huvivenevarusteita, joihin sisältyy mm. portaita, kahvoja ja kaiteita. (Joros 2019a.)

Joros Oy:n tuotantoon sisältyy kuusi eri vaihetta, joiden läpi melkein kaikki tuotteet menevät tuotannossa. Nämä kuusi vaihetta ovat mittaus, muotoilu, taivutus, hitsaus, putkenpään muotoilu ja kiillotus.

Mittausvaiheessa Joros Oy:llä on käytössään Tommeller Space 4000 3D-mallinnus- ja mittauslaite. Tällä mittauslaitteella pystytään nopeasti ja tarkasti siirtämään mitattu data, joka sisältää valmiiden putkikappaleiden muodon, CNC-taivuttimelle. Mittauslaitteella voidaan mitata putkia, joiden halkaisija on 1–150 mm. Mittauskäden käyttösäde on 2,4 metriä. (Joros 2019b.)

Jotta saataisiin mahdollisimman asiakaslähtöinen toimintaprosessi, on protosasto sekä teollinen muotoilija yhteydessä asiakkaisiin tuotekehitysprosesseissa, protovalmistuksessa ja tuotantoteknisissä asioissa. Joros Oy:n tarkoituksena on selvittää kaikki asiakkaiden tarpeet kokonaisvaltaisesti, jotta saadaan kappaleet valmistettua tuotanto- ja kustannustehokkaasti. (Joros 2019b.)

Joros Oy:n kattava taivutusosasto sisältää seitsemän CNC-ohjattua taivutus-konetta. Nämä taivutuskoneet mahdollistavat moninaisten putkikokojen taivuttamisen. Markkinoiden monipuolisin taivutuskone on itselataava Crippa CAN42E täysservotoiminen, 13-akselinen, kahteen suuntaan taivuttava putkentaivutusautomaatti latauslaitteella. (Joros 2019b.)



Kuva 1. CRIPPA CAN42E. (Joros 2019b)

Hitsausosastolla on erikoistuttu ruostumattomien ja haponkestävien teräskappaleiden hitsaukseen. Konekantaan sisältyy TIG-, MIG-, MAG-, piste- ja orbitaalihitsauslaitteet. Jotta ammattitaidon taso olisi riittävä, on kaikilla yrityksen

hitsaajilla myös luokkapätevydet TIG-hitsauksessa. Tämän lisäksi löytyy kolme ABB IRB1400 MIG-hitsausrobotia pyörivällä vaihtomakasiinilla ja pyörítettävällä pöydällä. (Joros 2019b.)

### 3 TEORIA

#### 3.1 Teollisuus 4.0

Teollinen vallankumous ja liike-elämän digitaalinen muutos ovat meneillään 2000-luvulla. Tähän viitataan yleensä teollisuus 4.0:na. (Morteza 2020.) Kansainvälisesti *teollisuus 4.0* tarkoittaa teollisuuden digitalisointia. Alun perin *teollisuus 4.0* luotiin kuitenkin Saksan hallituksen tulevaisuuden projektina, osana korkean teknologian strategiaa vuonna 2011. (Bundesministerium für Bildung und Forschung 2020.) Termi *industry 4.0* tai suomennettuna *teollisuus 4.0*, esiteltiin myöhemmin samana vuonna Hannover-messuilla. (Alok, Gourav, Ankit, Ana & Sonu 2019). Ensimmäisestä teollisesta vallankumouksesta asti, joka alkoi 1700-luvulla, on maailma haastettu kehittämään enemmän tuotteita aina vähenevistä luonnonvaroista. Tämä tyydyttää yhä kasvavan kulutuksen kysynnän. *Teollisuus 4.0* saa kasvavassa määrässä huomiota sen kestävyysvaikutuksista ja siitä, miten se pystyy avustamaan kestävän talouden, ympäristön ja sosiaalisen kehityksen. (Morteza 2020.)

Neljäs teollinen vallankumous voidaan nähdä useiden konseptien ja uusien teknologioiden lähentymisenä. Näitä ovat esimerkiksi radiotaajuinen etätunnistus (RFID eli Radio-frequency identification), pilvitietojenkäsittely, älykkäät sensorit, koneoppiminen (ML eli Machine Learning), robotiikka, tekoäly (AI eli Artificial Intelligence), lisätty todellisuus ja esineiden internet (IoT eli Internet of Things). Kehittyneet teknologiat, jotka sisältyvät teollisuuden neljänteen vallankumoukseen, uusivat kokonaisia valmistusjärjestelmiä. Ne muuttavat analogiset ja keskitetyt työkulut, digitaalisiksi ja hajautetuiksi tuotantoprosesseiksi. (Alok, Gourav, Ankit, Ana & Sonu 2019.)



Teollisuus 4.0:ssa älykkäät materiaalit, koneet ja yhdistetyt tietokoneet kommunikoivat keskenään, reagoivat ympäristöön ja lopuksi tekevät päätökset lähes ilman ihmiskontaktia. Valmistus- ja liiketoimintaprosessien digitalisointi sekä älykkäiden koneiden ja laitteiden käyttöönotto voivat tuoda lukuisia parannuksia. Näitä voivat esimerkiksi olla valmistuksen tuottavuuden nousu, resurssien käyttösuhteen parantuminen ja jätteen väheneminen. Toisaalta valmistuksen tuottavuuden nousu johtaisi suurempiin resurssien ja energiankäyttöihin. (Morteza 2020.) Kehittyneiden teknologioiden avulla on hyvinkin mahdollista nostaa tuotantoa jopa 45–55 %. (Alok, Gourav, Ankit, Ana & Sonu 2019).

Vaikka teollisuus 4.0:n käyttöönottaminen toisi paljon etuja, on vielä pitkä matka edessä. Suurin osa yhtiöistä ei ole vaikeuksien takia ei ole kehittänyt toimintaansa tältä osin. Tutkimukset ovat osoittaneet, että teollisuus 4.0:n toteutus on vaikea prosessi, ja monella yhtiöllä eri maista on ongelmia eri esteiden takia. Pohjimmainen syy käyttöönoton vaikeuteen on digitaalisen strategian puute resurssien niukkuuden rinnalla. (Alok, Gourav, Ankit, Ana & Sonu 2019.)

### **3.2 Digitaalinen kaksonen**

Jotta tulevat tehtaot pystyisivät nopeasti reagoimaan odottamattomiin tilanteisiin, tulee niiden tulevaisuudessa olla aiempaa autonomisempia. Autonomiset järjestelmät ovat älykkäitä koneita, jotka suorittavat vaativia tehtäviä ilman tarkkaa koodausta tai ihmiskontrollia. Ne ymmärtävät oman kyvykkyytensä. Ne pystyvät päättämään, mitä kullakin hetkellä tehdä, omien toimintatehtävien ohella. Tämän mahdollistamiseen autonomiset järjestelmät tarvitsevat korkealaatuisia ja hyvin realistisia malleja nykytilanteesta. Näitä kutsutaan englanniksi nimellä *Digital Twin* (digitaalinen kaksonen). (Rosen, von Wichert, Lo & Bettenhausen 2015, 567.)

Simuloinnin näkökulmasta digitaalinen kaksonen on seuraava askel mallintamis- ja simulointiteknologiassa. Viime vuosikymmenillä simulointi on ollut työkalu vain tietokone- ja numeerisille asiantuntijoille. Tänä päivänä simulointi on

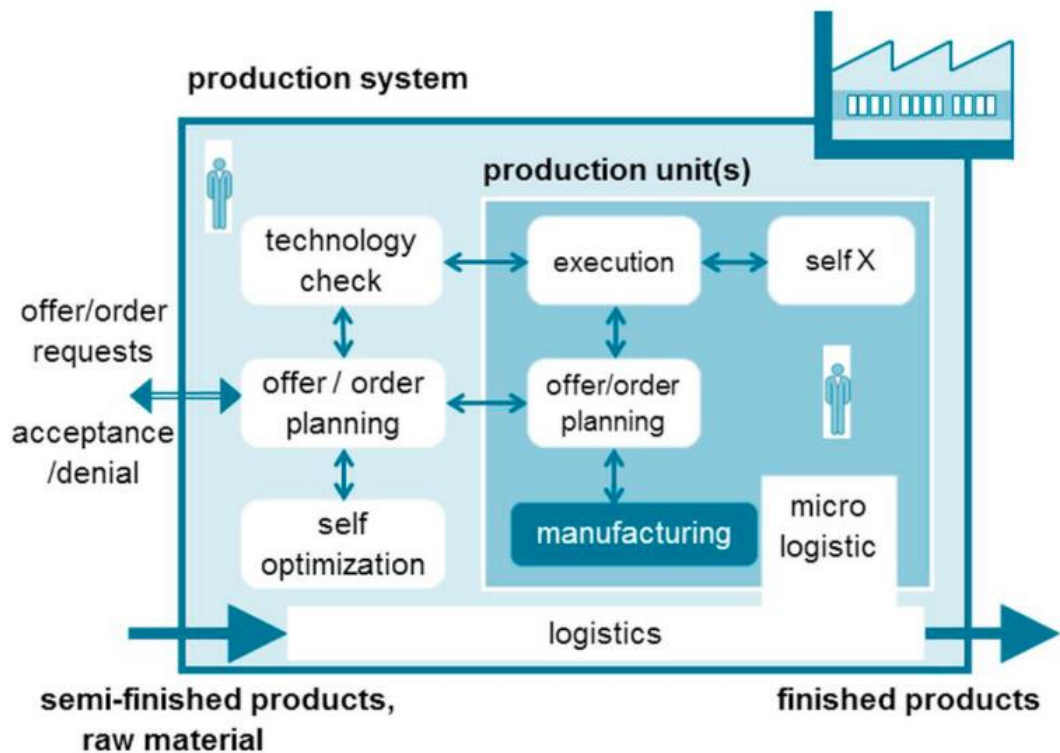
perusta suunnittelupäätöksille ja myös komponenttien sekä kokonaisten tuotantolinjojen validoinnille ja testeille. (Rosen, von Wichert, Lo & Bettenhausen 2015, 568.)

Twin eli kaksonen on konseptina varsin vanha. NASA käytti tätä menetelmää Apollo-ohjelmassaan. Tällöin tehtiin vähintään kaksi identtistä avaruuskulkuneuvoa, jotta voitiin peilata maassa sitä, mitä avaruudessa tapahtuu kulkuneuville. Näin ollen se kulkuneuvo, joka jäi maapallolle, oli kaksonen. Lentovalmistautumisen aikana kaksosta käytettiin harjoitteluun. Lennon aikana sitä käytettiin simuloimaan vaihtoehtoja käyttämällä lentodataa ja näin peilaamalla lento-olosuhteita. Näin jokainen prototyyppi, jota käytetään peilaamaan oikeita olosuhteita, voidaan nähdä kaksosena. (Rosen, von Wichert, Lo & Bettenhausen 2015, 568.)

Kuvassa 2 nähdään yleisnäkymä tuotantojärjestelmästä modulaarisilla tuotantoyksiköillä, mikä havainnollistaa uudet tuotantomahdollisuudet:

- hajautettu suunnittelu, joka on jaettu tuotantoyksiköitten ja tuotantojärjestelmän kanssa. Tuotantoyksiköt voivat antaa enemmän tietoa kuin yleinen suunnittelujärjestelmä. Reaaliaikaiset laskelmat esim. tuotantoajat, kustannukset ja tarvittavat materiaalit ovat tuotantoyksiköiden tehtäviä
- suuret määrät tarjouksista ja tilauksista voidaan suunnitella tilastollisista olettamuksista. Kokoaikainen reagointi häiriöihin tuotannon automaattisilla aikataulutuksilla tukee tasapainoa
- päätöstuen parannus yksityiskohtaisilla diagnooseilla ja semanttisella kontekstilla käyttäen simulointimalleja
- tuotantoyksiköt suunnittelevat ja suorittavat tarjouksia sekä tilauksia automaattisesti. Tämä onnistuu simuloimalla tuotantoyksiköitten kyvyt yhdistettynä tuotantodatan visualisointiin sekä omaisuudenhoitoon.

Nämä kohdat johtavat suoraan uusiin käyttöalueisiin mallintamisessa ja simuloinnissa. (Rosen, von Wichert, Lo & Bettenhausen 2015, 568–569.)



Kuva 2. Yleisnäkymä tuotantojärjestelmästä modulaarisilla tuotantoyksiköillä (Roseen, von Wichert, Lo & Bettenhausen 2015, 568)

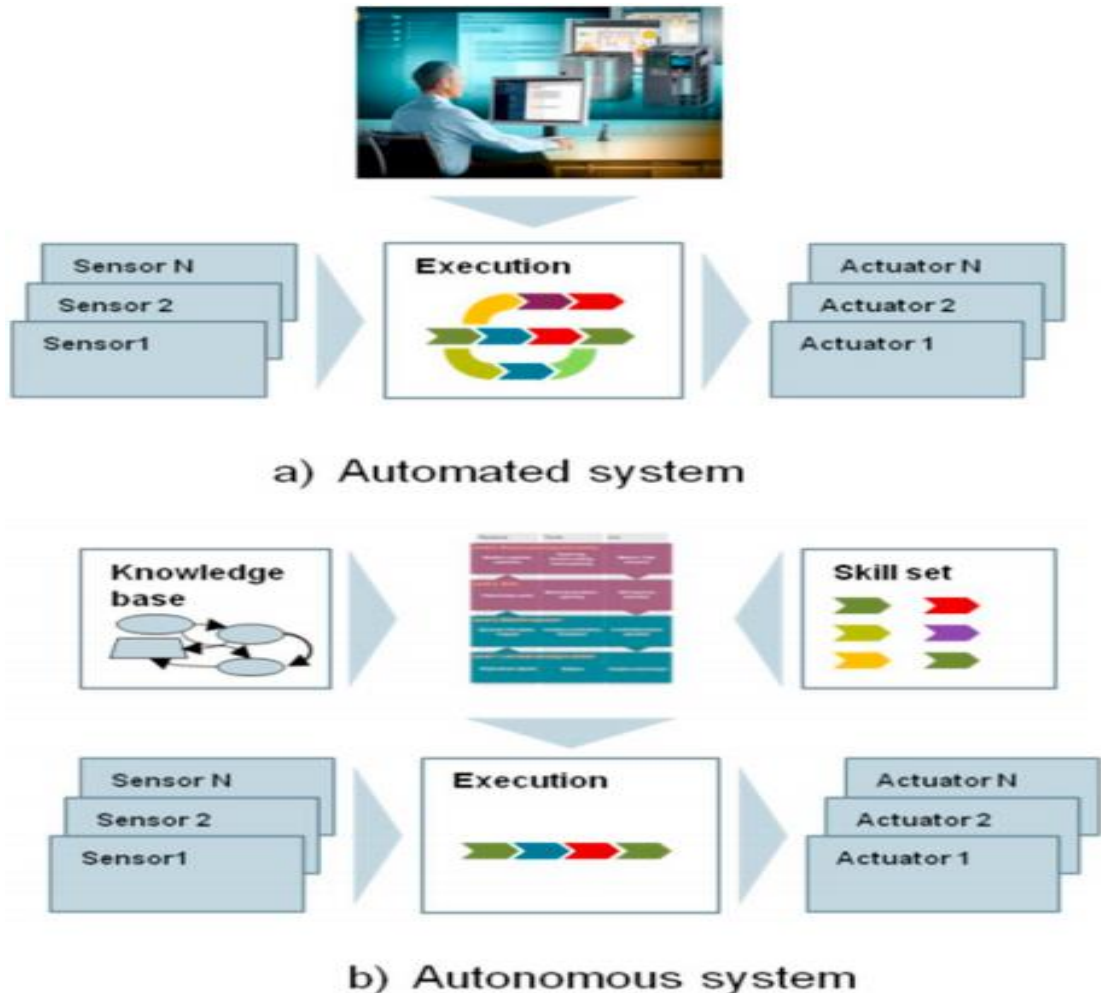
Uudet tuotantokonseptit tarvitsevat hyvin integroituja simulointimalleja elinkaarensa mallintamiseen, jotta saadaan parempi kilpailukyky mm. energian ja raaka-aineiden hyödyntämisessä.

### 3.3 Autonomiset järjestelmät

Autonomiset järjestelmät ovat koneita tai koneitten ryhmiä, jotka pystyvät suorittamaan korkean tason tehtäviä ilman tarkkaa ohjelmointia. Ne saavuttavat korkean tason tavoitteet organisoimalla joustavasti joukon perus- tai alkeiskyvyn tehtäviä. Nämä kyvyt ovat mallinnettuna riippumatta tietystä tehtävästä. Näitä kykyjä kutsutaan sensomotoristisiksi kyvyiksi. (Rosen, von Wichert, Lo & Bettenhausen 2015, 569.)

Kyky tehdä autonomisia päätöksiä eri vaihtoehtoista on se, mikä erottaa autonomiset automaattisista järjestelmistä. Kun automaattiset järjestelmät suorittavat tarkkoja, huolellisesti suunniteltuja toimintasarjoja, autonomiset järjestel-

mät ymmärtävät tehtävänsä pelkästään niille annetuilla tiedoilla koneesta, tehtävästä sekä ympäristöstä, kuten kuvassa 3 on hahmoteltu. (Rosen, von Wichert, Lo & Bettenhausen 2015, 570.)



Kuva 3. Automaattisen ja autonomisen järjestelmän perusero (Rosen, von Wichert, Lo & Bettenhausen 2015, 570)

Autonomiset koneet ovat perusta joustavalle automaatiolle. Ne mukautuvat automaattisesti eri variaatioihin ympäristöolosuhteissa, tehtävissä tuotteissa tai tuotantomäärissä. Jotta tämä olisi mahdollista, koneet käyttävät sensoreita käsittääkseen ympäristönsä sekä nykyisen tilanteen. Ne käyttävät automatisoitua ajattelua sekä suunnittelua päättääkseen, miten ne toimivat, ja toimilaitteita suorittaakseen päätetyn toimintaketjun. Nämä suoritetaan, jotta päästään määritettyihin tavoitteisiin, jotka hallitseva valmistusprosessi on asettanut. Jotta autonomiset järjestelmät pystyisivät kaikkeen tähän, tarvitsevat ne niin paljon tietoa kuin mahdollista. Tämä käsittää nykyisen tilanteen ympäristössä, tehtävät tuotteet, käytettyjen työkalujen sekä osien geometriat sekä koneiden

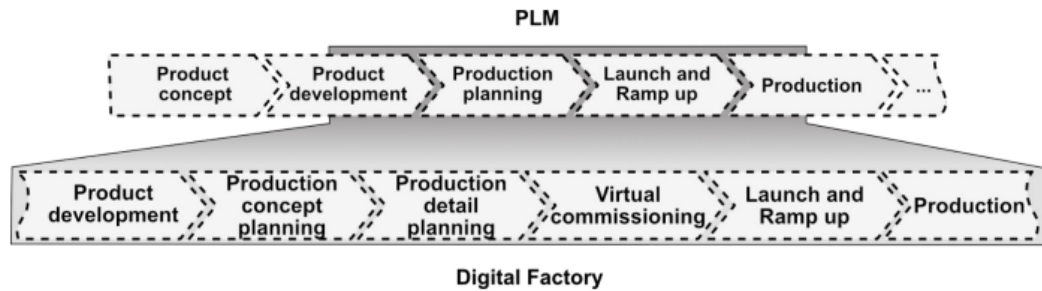
omat kyvyt ja konfiguroinnit. Jotkin näistä informaatioista saadaan järjestelmän sensoreista, mutta suurin osa joudutaan hankkimaan muista lähteistä. (Rosen, von Wichert, Lo & Bettenhausen 2015, 569.)

Jotkin tiedot voivat tulla jo aikaisessa vaiheessa esiin, kuten tuotteen suunnittelussa, tuotantojärjestelmän suunnittelussa tai tuotannon suunnittelussa. Digitaalisen kaksosen konsepti, joka on aikaisemmin esitelty (ks. luku 3.2), kerää kaiken tämän tärkeän tiedon tuotteesta ja tuotannon prosessista. Digitaalinen kaksonen antaa tiedon autonomisille järjestelmille, jotka suorittavat tuotantovaiheet. Tämän takia digitaalinen kaksonen on tärkein asia autonomisessa järjestelmässä sekä avain joustavammissa automaatiojärjestelmissä. (Rosen, von Wichert, Lo & Bettenhausen 2015, 569.)

Operaatiovaiheessa on tarkoitus, että kaikki informaatio, joka on havaittu sensoreilla tai generoitu toimeenpanojärjestelmällä, on tallennettu digitaaliseen kaksoseen. Tällöin digitaalinen kaksonen edustaa koko ympäristöä sekä tuotannon tilaa. Tämä informaatio sekä mallit digitaalisesta kaksosesta käytetään tuleviin simulointeihin. Tätä informaatiota tarvitaan autonomisen järjestelmän toimintasuunnittelussa. Näitä simulointeja käytetään ennakoimaan autonomisten järjestelmien toimenpiteiden seurauksia. Järjestelmälle on tärkeää tehdä autonomisia päätöksiä toimintavaihtoehtoista. Juuri tämä on autonomisten järjestelmien perustavia kykyjä. (Rosen, von Wichert, Lo & Bettenhausen 2015, 569.)

### **3.4 Digitaalinen tehdas**

Yrityksillä tulee koko ajan vastaan vaikeampia suunnittelutehtäviä sekä uusia haasteita. Nämä ovat tuloksia yhä useammin toistuvista tehtaiden sovituksista ja niiden tuotantojärjestelmistä sekä yhä suurenevista vaatimuksista ja spesifikaatioista. Tuotantojärjestelmien suunnittelu on yleensä jaettu moneen eri alaan, jotta saadaan katettua kaikki sisällytetyt menetelmät ja teknologiat. Kuvassa 1 esitetään digitaalisen tehtaan prosessit osana tuotteen elinkaaren hallintaa (PLM eli tuotteen elinkaaren hallinta). (Breckle, Kiesel, Kiefer & Beisheim 2019, 251–256.)



Kuva 4. Digitaalisen tehtaan prosessit osana tuotteen elinkaaren hallintaa (Breckle, Kiesel, Kiefer & Beisheim 2019, 251–256)

Samanaikainen tuotantojärjestelmän suunnitteluvaiheen kehitys, tuotekehitys-prosessin sisällä, on yksi digitaalisen tehtaan keskeisiä tavoitteita. Digitaalisen tehtaan konseptin kehitystä ei voida pitää valmiina. Teknologinen kehitys ja tiedelöydöt vaativat kokoaikaista laajenemista sekä sovitusta. (Breckle, Kiesel, Kiefer & Beisheim 2019, 251–256.)

Tehtaan nykyaikaistaminen voisi tapahtua käyttäen luvussa 3 esiteltyjä menetelmiä. Tähän tarvitaan kuitenkin mittavat resurssit. Tästä syystä olisi hyvä aloittaa pienin askelin. Simuloinnilla voitaisiin kokeilla mahdollisia autonomisia järjestelmiä ennakkoon. Näin ollen tässä voisi olla mahdollisuus simulointimallin jatkokehitykseen.

## 4 TOTEUTUS

### 4.1 Aiheen rajaus

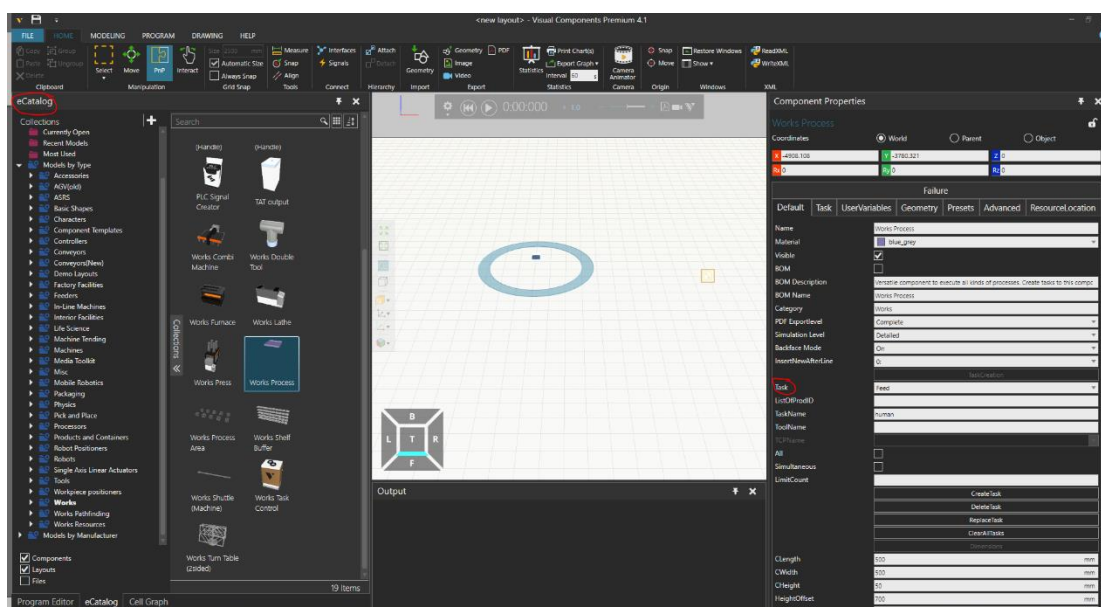
Mallin kehittämiseen löytyi monta eri vaihtoehtoa. Esimerkiksi joko mallinnettaisiin koko tehdas, pieni osa tehtaasta tai yksi kone. Päädyimme lopuksi toimeksiantajan kanssa simuloimaan materiaalivirtauksen.

### 4.2 Visual Components -ohjelma

Visual Components -ohjelmistoyritys on omien sanojensa mukaan, 3D valmistuksessa simulointiohjelmistojen ja -ratkaisujen johtava kehittäjä. Yritys aloitti vuonna 1999, ja sen tavoitteena oli tehdä valmistuksen suunnittelu- ja simulointiteknologiasta helppokäyttöistä. Visual Components tarjoaa koneenrakentajille ja valmistajille helppokäyttöisen, nopean sekä kustannustehokkaan tavon suunnitella ja simuloida tuotantolinjoja. (Visual Components 2020.)

Visual Components -ohjelma koostuu perusnäköstä, mallinnusnäköstä, ohjelmointinäköstä sekä piirustusnäköstä. Perusnäköllä voi tehdä mallin alusta loppuun. Loput näkömöt on tarkoitettu komponenttien muokkaukseen tai omien tekemiseen.

Kuvassa 4 nähdään Visual Components -ohjelman perusnäkö, jossa vasemmalla puolella on *eCatalog*-komponenttikirjasto. Tästä kirjastosta löytyy kaikki komponentit, joita tarvitsee aloittaakseen simulointimallin rakentamisen. Works-kansio on tärkein. Sieltä löytyy Works Process -komponentti. Tämä komponentti sisältää eri tehtäviä, joilla kuvaillaan prosessi ja tuote. WP-komponentti vaatii Works Task Control -komponentin toimiakseen, tämä on Works-komponenttien sydän. Näin ollen esimerkiksi WP-komponentti lähettää WTC-komponentille pyyntöjä. Kuvassa 5 nähdään oikealla puolella *Task*, eli tehtävät WP-komponentilta, joita tarvitaan pyyntöihin. Näitä ovat esim. *Feed*, *Need* ja *HumanProcess*. *Feed* lähettää tuotteen muualle WP-komponentilta, *Need* pyytää tuotteen tehtävän laiteelle WP-komponentille ja *HumanProcess* määrittää ihmismallin suorittaman prosessin. Koko tämä opinnäytetyö on rakennettu WP-komponenttien pohjalta.



Kuva 5. Visual Components ohjelman perusnäkö, jossa WP-komponentti valittuna

### 4.3 Tuotteen tuotantoaskeleet

Joros Oy:llä on käytössä työtilauksen seuranta. Tämä on lappu, josta löytyy tilausnumero, kappalemäärä, työvaiheet sekä toimituspäivä merkitään työtilauksen mukaan. Jokaisella työpisteellä merkitään, milloin työ alkoi ja milloin se päättyi, kuten kuvassa 6 on merkitty sahauksen alku ja loppuaika. Työvaiheita ovat seuraavat:

- Putkilaser
- Sahaus
- Koneistus
- Taivutus, jossa eri konetyyppejä ja näin ollen lisää merkin-tätilaa
- Kokoonpano
- Hitsaus (manuaalinen)
- Hitsausrobotti
- Hionta
- Kiillotus
- Lähettämö / pakkaus

**Joros Oy** TYÖTILAUKSEN SEURANTA

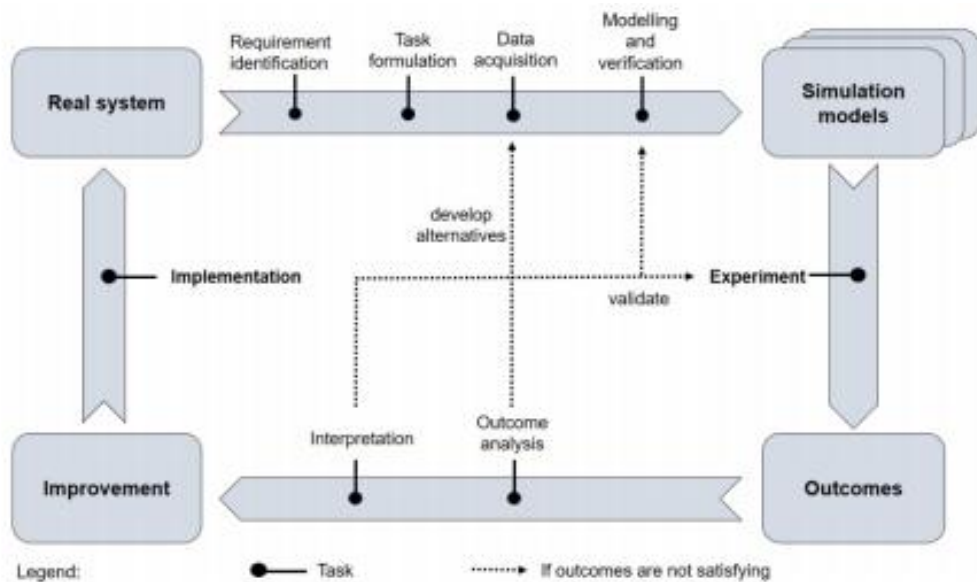
Tilausnumero	91976			
Määrä / kpl	200			
	Alkoi		Valmis	
Työvaihe	klo	pvm	klo	pvm
Työmääräin työjonossa				10.12.
Putkilaser				
Sahaus	6.30	16.12	7.45	17.12
Koneistus				
Taivutus, konetyyppi:				
Kokoonpano				
Hitsaus, manuaalinen				
Hitsaus, robotti				
Hionta				
Kiillotus				
Lähettämö / pakkaus				
Vahvistettu toimituspäivä	8.1.20			
Toteutunut toimituspäivä	30.12.19			
Läpimenoaika (ei täytetä)				

Kuva 6. Esimerkki opinnäytetyössä käytetystä työtilauksen seurannasta (Skannattu työtilauslomake)



#### 4.4 Simulointiprojekti

Simulointiprojektissa on yleensä kolme vaihetta. Näitä ovat valmistelu, toimeenpano ja arviointi. Ensimmäisessä vaiheessa ongelma ja tavoite selvitetään sekä dataa kerätään, eli kuvassa 7 lähdetään vasemmasta yläkulmasta. Toisessa vaiheessa on itse simulointimallin teko. Tämä malli validoidaan sekä verifioidaan. Verifiointi on prosessi, jossa testataan, toimiiko malli odotetulla tavalla. Validoinnissa vertaillaan mallin ja todellisuuden vastaavuutta. Kolmannessa vaiheessa analysoidaan mallista saatua dataa. Jos ei malli ole halutunlainen, siirrytään takaisin kokeilemaan muuta, kuten kuvassa 6 nähdään kohdassa *Interpretation*. Kun tulokset miellyttävät voidaan ne implementoida todellisuuteen. (Müller, Menn & Günther 2017, 284.)



Kuva 7. Simulointiprojektien yleinen menettely (Müller, Menn & Günther 2017, 284)

#### 4.5 Simulointimalli

Ensimmäinen vaihe simulointimallin tekemisessä oli perusmallin tekeminen. Perusmallilla tarkoitetaan hyvin pelkistettyä simulointimallia, jossa jokin asia menee johonkin ja siitä tulee jotakin. Tällä mallilla saatiin simulointiohjelman perustoiminnot esitettyä toimeksiantajalle. Tämä vaihe suoritettiin myös, jotta mallin tekijä sai otettua tuntumaa ohjelman käyttämiseen. Tässä mallin vaiheessa kappaleet simuloitiin hyllystä otettavina. Kappaleina käytettiin sylinteri-

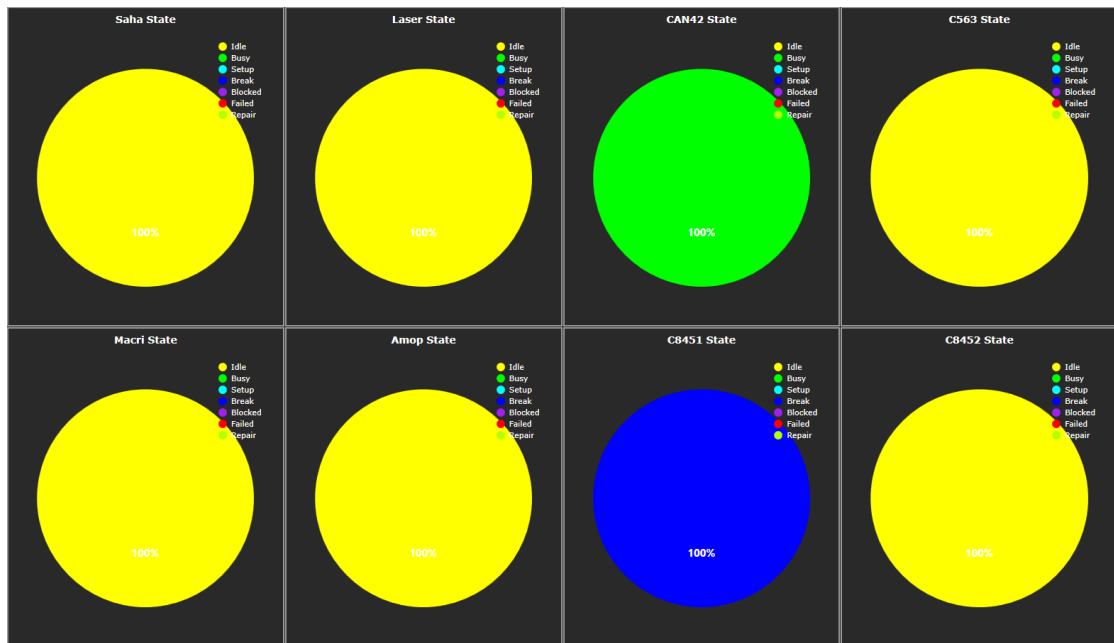
mallisia peruskappaleita. Hyllystä kappale siirrettiin lavalle ihmismallin toimesta. Kun lava oli täynnä, siirrettiin se ihmismallin toimesta työstökoneen viereen. Seuraavassa vaiheessa, toinen ihmismalli siirsi kappaleet työstökoneelle. Työstökone työsti kappaleet yksitellen. Jokaisen kappaleen työstämisen jälkeen, ihmismalli siirsi ne seuraavalle lavalle. Kun lava oli täynnä, siirrettiin se seuraavalle prosessipisteelle toisen ihmismallin toimesta. Tältä prosessipisteeltä truckki kävi hakemassa sen seuraavalle pisteelle. Tällä mallilla saatiin hieman avattua mitä voitaisiin tehdä ohjelmalla, ja minkälaista simulointimallia toimeksiantaja haluaisi. Lopullisessa mallissa ei käytetty mitään koe-mallista.

Lopullisen simulointimallin tekeminen alkoi tehtaan muodon mallintamisella. Käytännössä siis tehtaan seinät mallinnettiin vastaamaan oikeaa tehdasta. Tähän käytettiin *Wall (Hall)* nimistä komponenttia. Tehtaan mitat saatiin piirustuksesta mittaamalla, nämä mitat eivät siis ole täysin tarkkoja, mutta kuitenkin niin tarkkoja että mitat eivät heitä kuin muutaman metrin pahimmassa tapauksessa. Tässä työssä ei kuitenkaan ollut oleellista, että malli on aivan identtinen oikean tehtaan kanssa. Tämä vaihe on tehty, jotta saadaan tehtaan muoto, sekä esteettinen ilme kelpoiseksi.

Mallissa käytettiin Fence Creator-komponenttia, eri solujen tekemiseen. Näihin kuuluvat siis kaikki koneet sekä varastointitilat. FC-komponenttiin syötettiin alueen pituus- ja leveysmitat, jonka avulla komponentti teki aidatun alueen. Nämä alueet sijoitettiin malliin, tehtaan pohjakuvan mukaan. Jokaisen alueen sisään laitettiin yksi Works Process -komponentti, joka toimii sen alueen koneena. Alkuvaiheessa kokeiltiin käyttää montaa eri WP-komponenttia yhden alueen sisällä. Tämä ei kuitenkaan olisi toiminut materiaalivirran mittaamisessa, koska ei saatu odotusaikoja simuloitua. Jokaiselle WP-komponentille annettiin tilan nimi, esim. varasto tai välivarasto, jotta tilastotietoihin saadaan merkintä tuotteen kohteesta.

Kuvassa 8 nähdään kahdeksan koneen tilat juuri sillä hetkellä. Tätä voidaan käyttää avuksi, kun tehdään mallia. Näin nähdään, jos jokin kone on estynyt tekemästä jotain ja asia voidaan korjata. Lisäksi nämä kuvaajat saadaan myös

Excel muotoon. Tällöin nähdään, milloin kone on ollut käytössä ja esimerkiksi, milloin tauolla.



Kuva 8. Eri koneiden tilat näytönkaappauksen ottamisen hetkellä

#### 4.5.1 Komennot

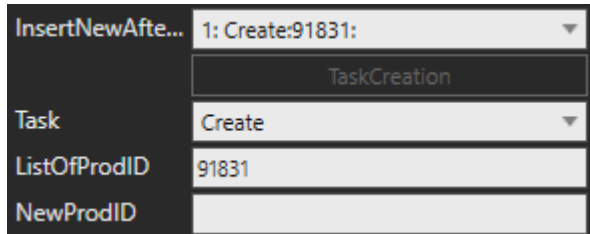
WP-komponenteille annettiin seuraavia komentoja tässä mallissa:

- *Create*
- *Feed*
- *Need*
- *DummyProcess*
- *Delay*
- *ChangeID*

Näillä komennoilla tehtiin tuotteen reitti, tehtaan alusta loppuun. Käydään läpi jokainen näistä komennoista erikseen.

Komento *Create* on ainoastaan käytössä niissä WP-komponenteissa, joista tuote lähtee. Tässä mallissa kyseiset WP-komponentit sijaitsevat varastossa. Tällä komennolla saadaan tehtyä tuote. Tuotteen 3d-mallilla ei ole väliä missä se simulointimallissa sijaitsee. 3d-malli tulee kuitenkin sijaita simulointimallin tiedostossa, mutta se voi olla näkymätön tai näkyvän tilan ulkopuolelle sijo-

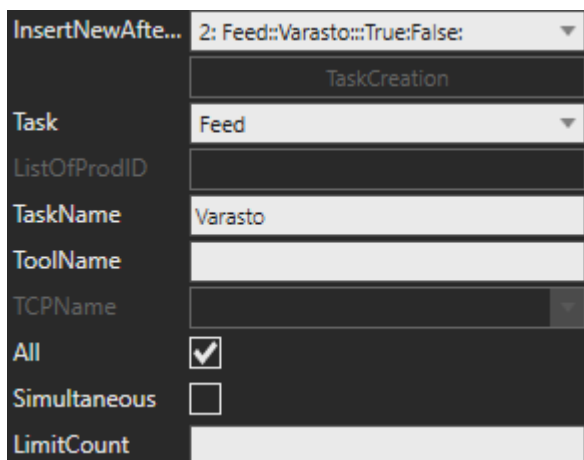
tettu. *Create*-komennolla saadaan generoitua se tuote WP-komponentin kohdalle, minkä tuotetunnus kirjoitetaan *ListOfProdID* kenttään, kuten kuvassa 9 on kirjoitettu.



InsertNewAfte...	1: Create:91831:
	TaskCreation
Task	Create
ListOfProdID	91831
NewProdID	

Kuva 9. *Create*-komento. Tuote 91831 generoidaan WP-komponentin päälle

*Feed*-komentoa käytetään, kun halutaan lähettää tuote yhdeltä WP-komponentilta, toiselle WP-komponentille. Tähän tarvitaan jokin resurssi, joka vie tuotteen toiselle WP-komponentille, tässä mallissa käytettiin siirtorobotteja. Kuvassa 10 nähdään, mistä *Feed*-komento koostuu. Koska WP-komponentilla on vain yksi tuote, voidaan *Feed*-komento konfiguroida siten että se koskee jokaista tuotetta WP-komponentilla. Jos taas WP-komponentilla on useita tuotteita, voidaan käyttää kohtaa *ListOfProdID* ja määrittää siihen mitä tuotetta komento koskee. Lisäksi pystytään määrittämään, lähteekö kaikki tuotteet samaan aikaan, ja myös kuinka monta tuotetta lähtee. Kohtaan *TaskName*, määritetään siirtorobotin tehtävä. Tämä tehtävä on sama koodi tai sana, joka on määritetty robotille kohtaan *Tasklist*. WP-komponentin siirtopyyntö menee täten siirtorobotin työjonoon.



InsertNewAfte...	2: Feed::Varasto:::True:False:
	TaskCreation
Task	Feed
ListOfProdID	
TaskName	Varasto
ToolName	
TCPName	
All	<input checked="" type="checkbox"/>
Simultaneous	<input type="checkbox"/>
LimitCount	

Kuva 10. *Feed*-komento. Tuote 91831 lähetetään seuraavalle WP-komponentille

*Need*-komento on WP-komponentin peruskomentoja, yhdessä *Feed*-komenton kanssa. Nämä kaksi komentoa toimivat yhdessä. Kun esim. varaston WP-komponentille on määritetty *Feed*-komento, tarvitsee se parikseen toiselta WP-komponentilta *Need*-komenton. Tuotteen tuotetunnus, minkä WP-komponentti tarvitsee, määritetään *ListOfProdID* kohtaan, joka näkyy kuvassa 11. Näin saadaan tuote siirrettyä oikealle WP-komponentille siirrobotilla.

InsertNewAfte...	2: Need:91831
	TaskCreation
Task	Need
ListOfProdID	91831

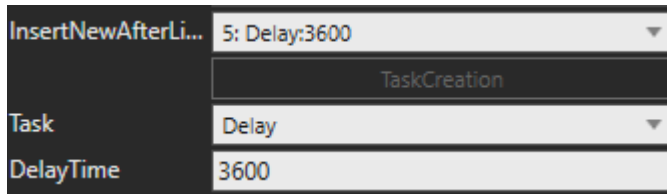
Kuva 11. *Need*-komento. WP-komponentille määritetään, että se tarvitsee tuotteen 91831

*DummyProcess* -komentoa käytetään tässä mallissa simuloimaan työvaiheiden aikoja. Työvaiheiden ajat saatiin työtilausten seurannasta, joka näkyy kuvassa 6. Ajat oli mallissa muutettava sekunneiksi, koska malli käyttää sekunteja. Kokeilussa oli myös vaihtoehto, jossa sekunnit esitetään minuutteina. Tämä ei onnistunut koska tilastotietojen raporteja ei pystynyt muuttamaan tähän soveltuvaksi, joten vaihdettiin takaisin sekunneiksi. Työvaiheen aika määritetään kohdassa *ProcessTime* joka näkyy kuvassa 12. Ohjelmasta löytyy jokin eri tapa simuloida prosesseja, ja tässä mallissa *DummyProcess* oli riittävä.

InsertNewAfte...	3: DummyProcess:10800
	TaskCreation
Task	DummyProcess
ProcessTime	10800

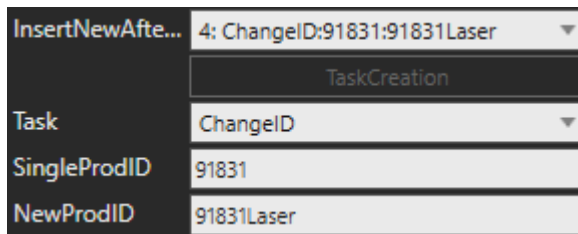
Kuva 12. *DummyProcess*-komento. Simuloi työvaiheen ajan, joka on tuotteelle 91831, 10800 sekuntia

*Delay*-komento, on optimaalinen taukojen tai muiden odotusaikojen simuloimiseen. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että kohtaan *DelayTime* määritetään aika, jolloin WP-komponentti ei tee mitään, kuten kuvassa 13 on määritetty 3600 sekuntia.



Kuva 13. *Delay*-komento. Tätä käytetään, kun halutaan simuloida tauko tai muu odotusaika

*ChangeID*-komennolla muutetaan tuotteen tuotetunnus, kuten kuvassa 14 näkyy. Tämä tehdään, jotta eri WP-komponenteilla ei olisi samaa tuotetunnusta tehtävissään. Vanha tuotetunnus lisätään kohtaan *SingleProdID*, ja uusi tuotetunnus määritetään kohtaan *NewProdID*. Näin varmistetaan, että tuotteet pysyvät oikealla reitillä, eivätkä mene alusta loppuun yhdellä hypyllä.



Kuva 14. *ChangeID*-komento. Komennolla muutetaan tuotteen tuotetunnus

#### 4.5.2 AGV-robotit

AGV, eli Automated Guided Vehicle, on siirtorobotti mille annetaan ohjeet liikkumiseen. Tämän jälkeen se pystyy itse liikkumaan ja tekemään asioita annettujen ohjeiden mukaan. Näitä ajoneuvoja käytettiin tässä mallissa tuotteiden siirtämiseen. Tässä mallissa siirtorobotteja käytetään tuotteiden siirtoihin prosessipisteiden välillä. Tämän takia niillä on suuret nopeudet. Tässä mallissa 10000 mm/s kuten kuvassa 15 nähdään.

TurnSpeed	10000	°/s
MoveSpeed	10000	mm/s
MoveSpeedLoaded	10000	mm/s
MoveSpeedTowing	10000	mm/s
MoveSpeedBypa...	10000	mm/s
MoveSpeedAppr...	10000	mm/s
Busy		
IdlePositionFilter	IdlePositionLaser	
DelayBeforeIdle	1	s
Tasklist	Laser	

Kuva 15. AGV-robotin määrittämistoiminnot

Roboteille on asetettu odottamispiste kohdassa *IdlePositionFilter*. Tähän tarvitaan komponentti, joka on nimeltään *IdlePosition*. Näille määritetään nimi, joka määritetään erikseen jokaiselle robotille. *Tasklist* kohtaan tulee *Feed*-komenton *TaskName* kohta. AGV-robotit tarvitsevat myös reitin, mitä kautta ne liikkuvat. *Works Pathway Lane*-komponenttia käytettiin määrittämään reitit. Tämä antaa alustan *Works Resource Pathfinder*-komponentille. Komponentti määrittää automaattisesti jokaiselle simulointimallin resurssille, miten kulkea mallin sisällä.

#### 4.5.3 Työtilausten tarkastelu ja implementointi

Työtilausten seurannasta saatiin tuotantoajat ja odotusajat simulointimalliin. Kuvassa 6 nähdään että tuotteen sahausaika on tunti ja 15 minuuttia. Tämä aika lisätään *DummyProcess*-komenton *ProcessTime* kohtaan, joka näkyy kuvassa 12. Jos kyseisessä työtilauksessa olisi toinen työvaihe, lisättäisiin näiden vaiheiden erotusaika *Delay*-komenton *DelayTime* kohtaan kuten kuvassa 13 on tehty. Työtilausten seurantalomakkeista nähtiin mitkä työvaiheet kullakin työtilauksella on. Näiden avulla pystyttiin simuloimaan eri työtilausten tuotanto reittejä.

#### 4.5.4 Mallin validointi ja verifiointi

Koska dataa saatiin niukasti kerättyä, on mallia testattu kuvitteellisella datalla. Malliin syötettiin 18 kuvitteellisen työtilauksen tiedot. Työtilausten lisäämisellä ei ollut vaikeuttavaa vaikutusta malliin. Koska malli suoriutui 18 kuvitteellisesta

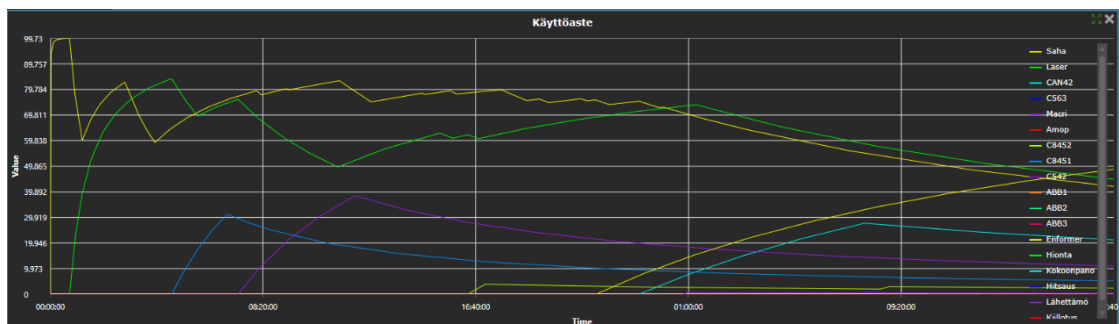
työtilauksesta voidaan olettaa mallin suoriutuvan myös oikeista työtilauksista. Pienellä kuormituksella malli hoitaa työtilaukset parin sekunnin heitoilla alusta loppuun. Tämä johtuu AGV-robottien liikkumiseen menevästä ajasta prosessipisteiden välillä. Koska työtilaukset asetetaan manuaalisesti simulointimalliin, mallin pitäisi pystyä toimimaan myös suurempien työtilausmäärien kanssa samaan aikaan.

Mallin muoto on tehty käyttäen tehtaan pohjapiirustusta. Pohjapiirustuksessa on piirretty puolet tehtaan koneista. Loput koneet on sijoitettu parhaan arvon mukaan. On tärkeämpää, että vaiheiden lukumäärät ja vaiheajat täsmäävät kuin se että koneet ovat täysin oikein sijoitettuna. Siirtoon kuluva aika on myös paljon pienempi kuin esimerkiksi odotusaika. Täten voidaan tehdä johtopäätös, että koneiden sijoittelu ei vaikuta mallin luotettavuuteen.

## 5 TULOKSET

Työn tarkoituksena oli selvittää, miten simulointia voidaan hyödyntää pienten sarjojen ja eräkokojen tuotannossa vai onko se edes mahdollista. Työssä tehtiin simulointimalli. Malli saatiin toimintavalmiiksi ja toimintaa kokeiltiin 18 kuvitteellisella työtilauksella. Mallilla pystytään simuloimaan materiaalivirtausta.

Mallilla saadaan mitattu erinäistä tilastotietoa. Ohjelmassa näemme tilastotiedon eri graafisina kuvaajina, kuten esimerkiksi käyttöasteen kuvassa 16. Kuvan 16 graafin tiedot ovat siis kuvitteellisella datalla saatu. Graafiset kuvaajat saadaan myös vietyä Excel muotoon. Kaikki tieto mikä nähdään visuaalisesti ohjelmassa, saadaan myös numeroina ulos ohjelmasta. Lisäksi mallissa voidaan käyttää kuvaajia, jotka näyttävät jokaisen koneen tilan.



Kuva 16. Kuvitteellisen datan käyttöaste graafissa



## **6 ANALYYSI JA JATKOKEHITYS**

### **6.1 Johtopäätökset**

Opinnäytetyössä selvitettiin, miten simulointia voitaisiin hyödyntää Joros Oy:n tuotannossa. Päädyttiin siihen, että materiaalivirtauksen simulointi on yksi tapa, ja tällä hetkellä sopiva tapa simuloida pienten sarjojen ja eräkokojen tuotantoa. Koska simulointimallilla pystytään ajamaan kuvitteellista dataa, tulisi sen myös pystyä ajamaan oikeita työtilauksia. Näin ollen voidaan tehdä johtopäätös, että simulointia voidaan hyödyntää pienten sarjojen ja eräkokojen tuotannossa.

Datan keräämisessä, simulointimallia varten, epäonnistuttiin. Luultiin että datan kerääminen olisi onnistunut helposti. Työssä olisi voitu varata enemmän aikaa datan keräämiseen, eli työtilausten seurantalomakkeiden keräämiseen. Tämä ei kuitenkaan vaikuta raskaasti opinnäytetyön lopputulokseen. Koska keksittyä dataa pystyttiin ajamaan, niin tulisi myös mallilla pystyä ajamaan suurempiakin määriä oikeaa dataa.

### **6.2 Jatkokehitys**

Jatkossa on tarkoitus jatkaa mallin kehitystä. Tämä luultavasti toteutetaan opinnäytetyönä. Jatkokehityksessä tulisi kerätä mahdollisimman paljon dataa erityyppisistä työtilauksista. Erityyppisillä työtilauksilla tarkoitetaan siis työtilauksia missä on mahdollisimman paljon eriäviä työvaiheita. Kun dataa on kerätty tarpeeksi, tulisi dataa käyttää oikean tuotannon simuloimiseen. Tämän avulla pystyttäisiin mahdollisesti löytämään pullonkauloja tuotannossa.

Materiaalivirtauksen simulointi ei ole ainoa mahdollisuus simuloimiselle. Tämän työn tehtaan pohjaa voitaisiin esimerkiksi hyödyntää jonkin osaston tarkan simuloimisen pohjaksi.

Tällä hetkellä pitkien vaiheaikojen sekä materiaalivirtauksen simulointi on hyvin työlästä. Simuloinnin nopeus perustuu hyvin pitkälti siihen, kuinka tehokas

tietokone on käytössä. Kun tässä opinnäytetyössä käytettiin Visual Components -ohjelman versiota 4.1, on nyt tullut versio 4.2. Versio 4.2 edesauttaa pitkien vaiheaikojen simulointia.

Uutena lisäyksenä ohjelmaan on tullut prosessien mallinnus. Tämä tulee helpottamaan ja selkeyttämään materiaalivirtauksen simulointia. Prosessien mallinnuksessa on prosessien ja materiaalivirtauksen hallinta helpompaa ja paremmin visualisoitu kuin 4.1 versiossa. Simuloinnin nopeus parantuu myös uudessa versiossa. Simuloinnit mitkä tehdään prosessien mallinnuksella, prosessoidaan ohjelman omalla kielellä. Prosessien mallinnuksessa tehdyt tuotteet käsitellään dynaamisina osina. (Urho, Salminen, Hannonen, Ahonen & Mertanen 2020.)

## LÄHTEET

About Us. 2020. Visual Components. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.visualcomponents.com/about-us/> [viitattu 21.1.2020]

Alok R., Gourav D., Ankit S., Ana BLdSJ. & Sonu R. 2019. Barriers to the adoption of industry 4.0 technologies in the manufacturing sector: An inter-county comparative perspective. International Journal of Production Economics. Science Direct. Saatavissa: <https://kaakkuri.finna.fi> [viitattu 7.1.2020]

Bundesministerium für Bildung und Forschung. 2020. Industrie 4.0. Saatavissa: <https://www.bmbf.de/de/zukunftsprojekt-industrie-4-0-848.html> [viitattu 20.4.2020]

Breckle T., Kiesel M., Kiefer J. & Beisheim N. 2019. The evolving digital factory – new chances for a consistent information flow. Procedia CIRP. 251-256. Science Direct. Saatavissa: <https://kaakkuri.finna.fi> [viitattu 8.1.2020]

Joros Oy. 2019. Joros Oy työllistää noin 60 erityisalojen ammattilaista 5000m<sup>2</sup> nykyaikaisissa tuotantotiloissa. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.joros.fi> [viitattu 12.9.2019]

Morteza, G. 2020. Industry 4.0, digitization, and opportunities for sustainability. Journal of Cleaner Production Volume 252. Science Direct. Saatavissa: <https://kaakkuri.finna.fi> [viitattu 7.1.2020]

Müller CB., Menn PJ. & Günther S. 2017. Procedure for experiential learning to conduct material flow simulation projects, enabled by learning factories. Procedia Manufacturing Volume 9. 283-290. Science Direct. Saatavissa: <https://kaakkuri.finna.fi/> [viitattu 4.2.2020]

Rosen, R., von Wichert, G., Lo, G. & Bettenhausen, KD. 2015. About the importance of Autonomy and Digital Twins for the Future of Manufacturing. IFAC-PapersOnLine Volume 48. 3. painos. 567-572. Science Direct. Saatavissa: <https://kaakkuri.finna.fi> [viitattu 3.12.2019].

Tajini, R., Lissane Elhaq, S. & Rachid A. 2011. A New approach for Manufacturing Systems Simulation: Integration of Control and Decision Making. IFAC Proceedings Volumes Volume 44. 1. painos. 10402-10407. Science Direct. Saatavissa: <https://kaakkuri.finna.fi> [viitattu 27.4.2020]

Tuotanto ja laitteet. 2019. Joros Oy. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.joros.fi/tuotanto/> [viitattu 12.9.2019]

Urho M., Salminen M., Hannonen J., Ahonen S. & Mertanen L. 2020. Visual Components 4.2. Webinaari. [viitattu 27.4.2020]

## KUVALUETTELO

Kuva 1. CRIPPA CAN42E. (Tuotanto ja laitteet 2019) .....	7
Kuva 2. Yleisnäkymä tuotantojärjestelmästä modulaarisilla tuotantoyksiköillä (Roseen, von Wichert, Lo & Bettenhausen 2015, 568) .....	11
Kuva 3. Automaattisen ja autonomisen järjestelmän perusero (Rosen, von Wichert, Lo & Bettenhausen 2015, 570) .....	12
Kuva 4. Digitaalisen tehtaan prosessit osana tuotteen elinkaaren hallintaa (Breckle, Kiesel, Kiefer & Beisheim 2019, 251–256) .....	14
Kuva 5. Visual Components ohjelman perusnäkymä, jossa WP-komponentti valittuna .....	15
Kuva 6. Esimerkki opinnäytetyössä käytetystä työtilauksen seurannasta (Skannattu työtilauslomake) .....	16
Kuva 7. Simulointiprojektien yleinen menettely (Müller, Menn & Günther 2017, 284).....	17
Kuva 8. Eri koneiden tilat näytönkaappauksen ottamisen hetkellä .....	19
Kuva 9. <i>Create</i> -komento. Tuote 91831 generoidaan WP-komponentin päälle .....	20
Kuva 10. <i>Feed</i> -komento. Tuote 91831 lähetetään seuraavalle WP- komponentille .....	20
Kuva 11. <i>Need</i> -komento. WP-komponentille määritetään, että se tarvitsee tuotteen 91831 .....	21
Kuva 12. <i>DummyProcess</i> -komento. Simuloi työvaiheen ajan, joka on tuotteelle 91831, 10800 sekuntia.....	21
Kuva 13. <i>Delay</i> -komento. Tätä käytetään, kun halutaan simuloida tauko tai muu odotusaika.....	22
Kuva 14. <i>ChangeID</i> -komento. Komennolla muutetaan tuotteen tuotetunnus.	22
Kuva 15. AGV-robotin määrittämistoiminnot .....	23
Kuva 16. Kuvitteellisen datan käyttöaste graafissa .....	24