



TAMPEREEN  
AMMATTIKORKEAKOULU

# TUOTANNON SIMULOINTI KOKOONPANO- TEOLLISUUDESSA

Tapaustutkimus – hissien sähkömoottori

Cavén, Ismo

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2018  
Konetekniikan koulutusohjelma  
Automaatiotekniikka



## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Konetekniikan koulutusohjelma  
Automaatiotekniikka

CAVÉN, ISMO:

Tuotannon simulointi kokoonpanoteollisuudessa  
Tapaustutkimus - hissien sähkömoottori

Opinnäytetyö 34 sivua, joista liitteitä 3 sivua  
Toukokuu 2018

---

Visual Components on nopeasti kehittyvä simulointiohjelma, joka on suunnattu pääasiassa layout- ja automaatiojärjestelmäsuunnitteluun sekä kohteen esittelyyn. Ohjelman täydellinen versio antaa mahdollisuudet käytännössä minkä tahansa automaattisen kohteen simulointiin. Yksityiskohdat on mahdollista hioa lähes täydellisiksi, sillä ohjelma tukee CAD-mallinnettujen osien tuontia ohjelmaan, ja ohjelmoimalla ne voi saada käyttymään lähes halutusti. Ohjelma on kätevä suunnittelussa ja markkinoinnissa.

Tässä työssä ohjelmaa käytettiin simuloimaan jo olemassa oleva NMX18 hissimoottorilinja, joka on hyvin pieneltä osin automatisoitu. Linjan työntekijöillä oli useita työtehtäviä, jotka toisinaan piti suorittaa etäällä toisistaan. Muutamassa kohdassa työntekijöiden tehtävät olivat hyvin riippuvaisia toisistaan, jolloin tehtävien suoritusjärjestys oli hyvin tärkeä. Visual Components ei ole suunniteltu monimutkaisten ihmistöiden simulointiin, joten lopputulos antoi vain suuntaa ihmisten tuomien muuttujien määrän vuoksi. Mikäli linja olisi automatisoitu, tulos voisi olla hyvinkin tarkka.

Projektin aikana luotiin muutamia kehitysideoita, jotka voitiin simuloida verrattain hyvin. Tulokset rajoittuivat pääasiassa siihen, miltä linjasto näyttäisi. Toteuttamiskelpoisiksi osoittautuivat layoutin muutokset ja työtehtävien.

Visual Componentsia käytettiin myös työkaluna presentaation luomiseen, jotta idea voitaisiin esitellä projektin johdolle. Tässä käytettiin Visual Componentsin omaa taltiointiin tarkoitettua työkalua, jota käytettiin apuna videoiden kaappaamiseen, jotka liitettiin osaksi presentaatiota.

Ohjelma osoitti hyödyllisyytensä niissä vaiheissa, joissa oltiin sen ydinalueella, eli layout-suunnittelussa ja automaattisten osuuskien simuloinnissa sekä linjan taltioinnissa. Toteuttamiskelpoiset kehitysehdotukset saavutettiin silti pääasiassa Excelin avulla.

Työn voisi sanoa onnistuneen kartoittamaan Visual Components:n hyödyllisyyttä vastaavanlaisen kokoonpanolinjan simuloinnissa, mutta paljon jäi vielä todistettavaa ohjelman kannalta optimaalisen linjan simuloinnista. Jatkossa ohjelmaa pitäisi käyttää siis joko automatisoidun linjan tutkimiseen, suunnitteluun tai esittelyyn, jotta täysi hyöty saataisiin irti, sillä muun muassa erityisesti robotit kuuluvat ohjelmiston avainkohteisiin.

---

Asiasanat: Tuotannon simulointi, simulaatio, Visual Components

## ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Mechanical Engineering  
Automation Engineering

CAVÉN, ISMO:

Simulation of Production In Assembly Industry  
Case Study – Electrical Motor of an Elevator

Bachelor's thesis 34 pages, appendices 3 pages  
May 2018

---

Visual Components is a simulation program which is under constant development. It is mainly meant to be used as a tool in designing layouts and automation systems and in creating visual presentations. The most comprehensive version of the program allows designing practically any kind of an automated system. The details are as good as the user wants because the user can import CAD-modelled parts into the simulation. By programming the user can also make the imported parts behave as needed. Overall the program can be considered useful in designing and in marketing.

In this study, the program was used to simulate an already existing NMX18 electric elevator motor assembly line, which is mainly not automated. The workers of the line had several tasks that sometimes were executed far away from each other. Due to this in some cases the tasks of some workers were strongly dependent of each other. The completing order of the tasks became even more important. Visual Components is not designed to simulate complex routines of workers and all the human factors. Therefore, the results were limited in this respect.

During the project, some enhancement ideas were created, which were relatively easy to simulate. Many ideas were mostly related to visual appearance and showed how the line would look like. However, the most viable ideas concerned optimizing the layout and working phases.

Visual Components was also used to create visual content in order to present the idea to the project managers. The simulation was recorded with Visual Component's own recording tool and the recordings were exported to a separate video editing software, which was used to attach all the recordings together and to add effects and informative text.

The program showed its usefulness in the areas it was mainly meant to be used, like designing layout, simulating automated systems and providing content to presentations. The aforementioned enhancement ideas for the line were created by comparing Excel charts.

It can be stated that the project was successful in discovering Visual Component's potential for developing production lines similar to NMX18. A great deal of potential is still yet to be discovered since the simulated line was far from optimal. In the future the program should be used to study, design and demonstrate automated systems so that all the possibilities could be utilized efficiently.

---

**Key words:** Production simulation, simulation, Visual Components

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	SIMULOINTI.....	8
2.1	Mitä on simulointi?.....	8
2.2	Simuloinnin käyttötarkoituksia.....	8
2.3	Syitä simuloimiselle.....	9
3	TEOLLISUUDEN SIMULOINTI.....	10
3.1	Simuloinnin ominaisuuksia.....	10
3.2	Simuloinnin yhteydessä huomioitavia asioita.....	11
4	TAPAUSTUTKIMUS.....	12
4.1	Visual Components.....	12
4.1.1	Yritys ja ohjelman luonne.....	12
4.1.2	Ohjelma.....	13
4.1.3	Python-koodaus.....	13
4.2	Linjaston esittely.....	14
4.2.1	Komponenttien valmistelu.....	14
4.2.2	Esikokoonpano ja kokoonpano.....	15
4.2.3	Maalaus ja viimeistely.....	15
4.3	Projektin eteneminen.....	15
4.3.1	Lähtötilanne.....	15
4.3.2	Työn tavoite.....	16
4.3.3	Varsinainen aloitus.....	16
4.3.4	Statistiikan keruu.....	17
4.3.5	Ensimmäiset tulokset.....	19
4.3.6	Tärkeä huomio datan keruusta.....	20
4.3.7	Työvaiheiden jako.....	21
4.3.8	Visual Componentsin heikkous ihmisiä simuloitaessa.....	23
4.3.9	Työvaiheiden jaon tuloksien tarkastelu.....	24
4.3.10	Kehitysideoiden simuloinnin tuloksien tarkastelu.....	25
4.3.11	Presentaation valmistelu.....	26
4.4	Haastattelut.....	27
4.4.1	Haastatteluiden luonne.....	27
4.4.2	Haastatteluiden tulokset.....	27
5	TULOKSET JA POHDINTA.....	29
	LÄHTEET.....	31
	LIITTEET.....	32
	Liite 1. Visual Components Essentials 4.0 infolappu, sivu 1 1(2).....	32

Liite 1. Visual Components Essentials 4.0 infolappu sivu 2 2(2) .....	33
Liite 2. Visual Components Essentials with Modeling Pack 4.0 tyypillinen työnäkymä.....	34

**ABBREVIATIONS AND TERMS**

VC	Visual Components
CAD	Computer Aided Design
Working phase	List of tasks one worker executes on the production line
NMX18	A production line of electric motors

## 1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö simulaatiosta kokoonpanoteollisuudessa on toteutettu yhteistyössä Kone Industrial Oy:n kanssa. Työ käsittelee simulaatiota käsitteenä ja vastaa siihen liittyviin kysymyksiin kuten miksi, missä, miten ja milloin. Hyvin olennainen osa tätä opinnäytetyötä on Kone Industrial Oy:n Hyvinkään toimipisteellä sijaitsevan hissitehtaan hissimoottorin tuotantolinjan simulointi ja siitä saatujen tulosten ja huomioiden listaus sekä analysointi.

Työn perimmäinen tarkoitus on selvittää, kuinka Visual Components -simulaatio-ohjelma soveltuu tuotantolinjan simulointiin, mitä hyötyjä ja haittoja sekä mahdollisia kehityskohteita ohjelmassa on. Tarkastelun kohteena ovat erityisesti layoutin suunnittelu kyseisellä ohjelmalla, työvaiheiden keston simulointi ja niistä saadun tilastotieteen vertailu tosielämän mitattuihin tuloksiin, sekä kuinka hyvin mahdollisia tuotantolinjan muutoksia voi ohjelmalla havainnollistaa.

## 2 SIMULOINTI

### 2.1 Mitä on simulointi?

Simulaatio terminä on suhteellisen yksiselitteinen, mutta pitää silti sisällään paljon.

BusinessDictionary-sivusto määrittelee simulaation suhteellisen kattavasti seuraavalla tavalla:

Todellisen tai todennäköisen tosielämän vaiheen, tapahtuman tai tilanteen matkiminen tai toistaminen, jotta voidaan selvittää menneen tapahtuman syy (kuten onnettomuus) tai jotta voidaan ennustaa tulevaisuuden tapahtumia (lopputulokset) oletetuissa tilanteissa tai oletettujen tekijöiden läsnä ollessa. Simulaatio voidaan suorittaa ratkaisemalla sarja yhtälöitä (matemaattinen malli), rakentamalla fyysinen (skaalattu) malli, suorittamalla järjestetty harjoitus, luomalla peli (kuten sotapelit) tai luomalla tietokoneella graafinen malli (kuten vaikka animoitu diagrammi). Siinä missä simulaatiot ovat erittäin käteviä työkaluja, jotka mahdollistavat kokeiden suorittamisen ilman riskinottoa, ovat ne vain suuntaa antavia yksinkertaisuuksia todellisuudesta, koska ne sisältävät vain muutamia tosielämän tekijöistä ja näin ollen ovat yhtä päteviä kuin niiden perustana toimivat oletukset. (BusinessDictionary, Simulation, 27.1.2018, <http://www.businessdictionary.com/definition/simulation.html>)

Tämän opinnäytetyön tapaustutkimus keskittyy tietokoneella simuloituun dynaamiseen kokonaisuuteen, joka palvelee pääasiassa tuomalla statistiikkaa ja visualisoimalla tuotantolinjaa. Siksi tämän työn puitteisiin sopii paremmin Merriam-Webster'n määritelmä simulaatiosta: ”imitoiva esitys jonkin systeemin tai järjestelmän toimivuudesta toisen järjestelmän toimintojen kautta”. (Merriam-Webster, 2018, Simulation, 27.1.2018, <https://www.merriam-webster.com/dictionary/simulation>)

Tämän opinnäytetyön tapauksessa tuotantolinjan toimivuutta mallinnetaan tietokoneohjelman kautta. BusinessDictionaryn määritelmän loppuosa simuloinnin ympärilyöreydestä on kuitenkin erittäin hyvä lisäys, kuten myöhemmin tässä työssä ilmenee.

### 2.2 Simuloinnin käyttötarkoituksia

Kuten BusinessDictionaryn (2018) määritelmässä luetellaan, muutamia käyttökohteita ovat tapahtuneiden asioiden käsittely, tai erilaisten lopputulosten saaminen riippuen simulaation kohteesta ja sille annetuista funktioista ja parametreista. Simulointia käytetään



niin rikostutkimuksessa, järjestelmien suunnittelussa kuin myös tapaustutkimuksen tapaan teollisuuden suunnittelu- ja tiedonhankintatehtävissä. Viihdeteollisuudessa simuloinnilla on valtava rooli muun muassa pelien valmistuksessa.

### 2.3 Syitä simuloimiselle

Syitä simuloimiselle on yhtä paljon kuin käyttökohteitakin. Mikäli jotakin asiaa haluaa tutkia, voidaan se myös todennäköisesti simuloida. Simulaatiolla voidaan havainnollistaa lähes tilannetta kuin tilannetta. Esimerkiksi on mahdollista todeta, miten kolari eteni simuloimalla autojen liikeradat ja vauhti, tai voidaan tutkia, kuinka nopeasti savu hälvenee huoneesta tietynlaisessa tilanteessa, kunhan simulaatioon liitetään tietyt tekijät.

Simulaation avulla voidaan myös harjoittaa ihmisiä erilaisiin tehtäviin, kuten palomiesten savusukellus-harjoitukset, sairaanhoitajien suoritukset tietynlaisen potilaan kanssa simuloitussa tilanteessa robottihahmon toimiessa uhrina/potilaana, tai vaikkapa sotilaan tähtäyksen kehittäminen ilmatorjunta-aseella simuloituissa maisemissa ja maalitaulujen ilmestyessä.

Simulaatiolla voidaan myös tutkia kuinka tulisi toimia tietyissä tilanteissa joko graafisena mallina, tai vaikka suorittamalla sarjan matemaattisia yhtälöitä. Näin voidaan todeta esimerkiksi jaksako nosturi nostaa jotakin kaatumatta, tai kuinka paljon PID-säädintä pitää säädellä, jotta saadaan haluttu lopputulos.

Syitä simuloida löytyy siis niin koulutuksen, tutkimuksen, havainnollistamisen, viihdeteollisuuden ja monen muun kategorian alalta.

### 3 TEOLLISUUDEN SIMULOINTI

#### 3.1 Simuloinnin ominaisuuksia

Teollisuuden simuloinnista puhuttaessa on helpompaa luetella mitä ei voi simuloida, kuin mitä voi simuloida. Simuloinnin kohteena voi olla muun muassa osaston työtehokkuus, tuotannon materiaalikustannukset, ilman virtaus eri tiloissa, työntekijöiden liikkuminen rakennuksessa, logististen mahdollisuuksien kartoitus, mekaanisten osien rasitukset altistuessa erilaisille voimille, koneiden toimintaperiaatteet, layoutin suunnittelu tai lähes mitä tahansa mitä voi mitata tai arvioida.

Simuloitava kohde ja siitä haluttu data määrittelevät myös simulointitapaa, joka lisää entisestään simuloinnin potentiaalia työkaluna datan keräämisessä. Esimerkiksi tämän työn tapaustutkimuksessa on käytetty niin sanottua Discrete Event Simulation (DES) simulaatiomenetelmää, jossa järjestelmä on muutettu sarjaksi sekvenssisiä sekä kronologisia tapahtumia. Työn simulointitapa sivuaa vähäisesti erittäin yleisesti mallinnuksessa ja teollisessa simuloinnissa käytetyn CFD (Computational Fluid Dynamics) simulaation ominaisuuksia, jossa pääasiallisesti tutkitaan termodynaamisten ilmiöiden ja nestemäisten substanssien dynaamista käyttäytymistä simulaation avulla, koska tapaustutkimuksessa seurataan myös komponenttien ja koneikkojen virtaa.

Simuloinnin tarkemmat ominaisuudet määrittyvät kuitenkin tapauskohtaisesti simulointitavan ja -ohjelman mukaan. Yleisesti voidaan kuitenkin todeta, että simulointi on verrattain halpa työkalu lähes kaikissa sen käyttökohteissa. Eräs hintaa kerryttävä asia saattaa olla datan siirto simulaatio-ohjelmasta muihin tuotanto-ohjelmiin, jos käyttäjän täytyy syöttää tiedot tietokoneelle uudestaan vaihtaessaan ohjelmaa tai jos järjestelmäintegraattorien täytyy luoda kustomoitu ratkaisu. (Chick.S, Ferrin D., Morrice D. J., Sánchez P. J., 2003, Proceedings of the 2003 Winter Conference, The Future of The Simulation Industry, 31.1.2018, <https://www.informs-sim.org/wsc03papers/263.pdf> )

Simulaatio on vain karkea yleistys tai ainakin enintään melko tarkasti suuntaa antava ja näin ollen sen antamiin tuloksiin ei voi aina luottaa etenkin isommissa kokonaisuuksissa, joissa vaaditaan suhteellisen tarkkoja lopputuloksia. Simulaatiolla päästään kuitenkin

kin hyvin lähelle todellista maailmaa, mikäli sitä voidaan hioa tarpeeksi pitkään ja tarpeeksi suurella määrällä tekijöitä ja parametreja. Tämäkään ei kuitenkaan ota koskaan kaikkia tosielämän tekijöitä huomioon.

Toisaalta simuloinnin heikkous on samalla osittain sen vahvuus. Simuloinnin ei tarvitse sitoutua tosielämän puitteisiin ja näin ollen saavuttaakin hyvän työtehon, on joustava, turvallinen ja toimii lähes missä skaalassa vain, mikäli tietokoneen suorituskyky vain riittää.

### **3.2 Simuloinnin yhteydessä huomioitavia asioita**

Kun aletaan harkita simulointia, kannattaa myös harkita onko se taloudellisesti kannattavaa. Onko edullisempaa vaikkapa simuloida pultin vinottaista leikkausvoiman kestoa ja samalla maksaa simulaatio-ohjelman lisenssistä sekä simuloijan palkasta, vai onko edullisempaa valita monta koekappaletta ja rasittaa niitä, kunnes ne antavat periksi ja mitata tulokset sekä analysoida tapahtumaa.

Pääkohtaisesti simulointi on usein käytettynä halvin toimintatapa ja vaikka ei olisikaan, niin se antaa paljon arvokasta dataa, joka on helppo dokumentoida valmiiksi sähköisessä muodossa olevista tuloksista. Tähän moni muu järjestelmä tai toimija ei kykene ainakaan samalla tehokkuudella, jolloin taloudellinen uhraus saattaa siltikin maksaa itsensä takaisin.

## 4 TAPAUSTUTKIMUS

### 4.1 Visual Components

#### 4.1.1 Yritys ja ohjelman luonne

Visual Components on vuonna 1999 perustettu suomalainen simulointiohjelmistoyritys, joka kehittää saman nimistä simulointiohjelmaa. Vuonna 2017 robottialan yritys Kuka osti Visual Componentsin pitkän yhteistyön jälkeen. VC:n pääkonttori sijaitsee Helsingissä ja sivutoimistoja Lake Orionilla Michiganissa ja Münchenissä Saksassa ja sillä on yli 30 yhteistyökumppania ympäri maailmaa. Nykyään VC on maailmanlaajuisesti tunnettu ja yksi johtavista yrityksistä tuotannonsimulointiteollisuudessa. VC myykin ohjelmistoaan tuotannon avainhenkilöille, järjestelmäintegraattoreille ja koneiden suunnittelijoille yksinkertaisena ja nopeana työkaluna tuotantolinjojen simuloimiseen, mallintamiseen ja suunnitteluun. (Visual Components, 2018, About us, 7.3.2018, <https://www.visualcomponents.com/about-us/>; Visual Components, 2018, Visual Components - Simulointiseminaari 2018, 7.3.2018, Aalto Yliopiston Dipoli, Espoo)

VC:n ohjelmassa on kirjasto, joka sisältää 17 esimerkki-layoutia, yli 2000 komponenttia, lähes 1300 robottia ja noin 130 robottimerkkiä. Kirjastoon myös lisätään sisältöä joka kuukausi. Ohjelman ”eCatalog”, eli komponenttikirjasto, on jaotellut kaikki komponentit ja robotit, sekä jotkin toiminnot, loogisesti eri kategorioihin ja alakategorioihin aikaisemmin käytettyjen komponenttien kansion lisäksi myös valmistajan mukaan. (Visual Components - Simulointiseminaari 2018)

VC tähtää tällä hetkellä osaksi Industrial 4.0:aa. Dataa ohjelmasta saa ulos tällä hetkellä muun muassa seuraavissa muodoissa: simulaatiot, raportit, kappaleiden mallinnuksia, 2D DWG -piirroksia ja montaa muuta erilaista dokumentaatiota. Ohjelmistoa myös kehitetään jatkuvasti ja viimeisimpiin päivityksiin kuuluu VR experience, eli Virtual Reality -sovellus, joka auttaa VR-lasien tai kännykän avulla havainnollistamaan simuloitua linjastoa asiakkaan ympärille luodussa virtuaalimaailmassa. Tässä työssä käytettiin Visual Components Essentials 4.0-ohjelmaa (liite 1), joka sisältää simulaation rakentamisen kannalta tärkeimmät työkalut, mutta ei mallinnustyökaluja tai edistyneempiä ohjelmointityökaluja. (Visual Components - Simulointiseminaari 2018)

### 4.1.2 Ohjelma

VC-ohjelmiston tyypillinen näkymä (liite 2) sisältää työkalurivin, joka näkyy ylhäällä. Yläpalkissa ovat pääasiassa erilaiset näkymä-, komponenttien valinta-, liikuttelu-, statistiikaneruu-, kytkentä- ja asennustyökalut, erilaisten dokumentaatioiden export-painike sekä koneella olevien CAD-mallinnuksien import-painike. Vasemmassa palkissa sijaitsee komponenttikirjasto, tai kuten kuvassa (kuva 8), ”Cell graph” -lista, eli simulaatiossa olevien komponenttien lista. Kuten kuvassa 8, näytön oikeassa laidassa on ”Component Properties”-ikkuna, jossa sijaitsee aina valitun kaavion, komponentin tai robotin parametrit ja asetukset. Lisäksi näytön alareunaan on mahdollista saada ”Output”-ikkuna, joka näyttää ohjelman toimintahistorian sisältäen esimerkiksi käyttäjän luomien kommentojen vastaanotto, komponenttien tuonti simulaatioon ja simulaatiossa tapahtuvat virheet.

Ohjelman valikoista löytyy myös linkki VC:n ”Visual Components Academy”-tutoriaali nettisivuille, joka sisältää kattavasti kirjallisia ja video-ohjeita lähes kaikkiin VC:n ominaisuuksiin. Näiden tutoriaalikirjastojen sisällöstä hyvin pieni osa käsittelee operaattorin simulointia, joten tästä voidaan päätellä, että VC on tarkoitettu enemmänkin automatisoiduille layouteille, joissa operaattoreilla on melko pieni rooli, kuten tavaran lastaus linjalle tai jokin muu yksinkertainen tehtävälista. Tämän puolesta puhuu myös hyvin kattava työkalupaletti robottien ohjelmoinnille, robottien laaja komponenttien, työkalujen sekä anturien ja automatisoitujen työkaluiden määrä komponenttikirjastossa.

### 4.1.3 Python-koodaus

Python-ohjelmointikieli on yleistynyt nettisivujen ohjelmointikielenä ja sitä voidaankin käyttää monessa eri tarkoituksessa aina yksinkertaisemmista sovelluksista monimutkaisiin matemaattisiin ratkaisumalleihin. Python rinnastetaan monesti hyvin yleiseen Java-ohjelmointikielen ja se on suosittu ensimmäisenä opeteltavana ohjelmointikielenä sen selkeärakenteisuuden vuoksi. (Python, 2018, General Python FAQ, 13.3.2018, <https://docs.python.org/3/faq/general.html#what-is-python>)

VC:n tasokkaammissa ohjelmistolisensseissä on mahdollista ohjelmoida kappaleita tai vaikkapa ohjelmaan tuotuja CAD-mallinnuksia toimimaan halutusti. Jotta ohjelmasta saisi täyden potentiaalin irti, kuuluisi simuloimisen keskeisenä osana Python-ohjelmisto-

kielen hallitseminen. Työn kuluessa aikaa ei ollut tarpeeksi Python-kielen opetteluun, joten parasta mahdollista visuaalista tarkkuutta simulaatiossa ei saavutettu, mutta se ei olutkaan tämän työn tarkoitus.

## **4.2 Linjaston esittely**

### **4.2.1 Komponenttien valmistelu**

Hyvinkään hissitehtaalla sijaitsee NMX18-hissimoottorin kokoonpanolinja, joka oli valittu projektin kohteeksi. Kokoonpanolinja ei varsinaisesti ala mistään tietystä kohdasta, vaan useita isoja komponentteja valmistellaan ennen kuin kaikki osat päätyvät esikokoonpanossa yhteen. Valmisteltavia komponentteja on karkeasti neljä kappaletta:

1. Roottori, joka käy myös läpi eniten työvaiheita, pestään ensin pesukoneessa, jonka jälkeen se siirtyy liimaamoon. Liimaamossa roottorin pintaan levitetään liimaa ja muutamien muiden osien lisäksi voimakkaat magneetit, jotka mahdollistavat roottorin pyörimisen moottorissa. Liimaamisen jälkeen roottorin päälle asetetaan paino puristamaan magneetteja paikoilleen, jonka jälkeen roottori painoineen kulkee hitaasti uunin läpi, joka kovettaa liiman. Uunin jälkeen paino poistetaan, roottoriin asennetaan laakerit sekä akseli. Tämän jälkeen roottori vielä tasapainotetaan sille varatussa pukissa, josta se siirtyy valmiiden roottorien räkkiin esikokoonpanon viereen.
2. Vetopyörä, joka kelaa hissin vaijerin ympärilleen, pestään ja tasapainotetaan, jonka jälkeen se käy vielä uunissa laajenemassa juuri ennen asennusta.
3. Support on tuki, joka asennetaan viimeisenä isona komponenttina moottoriin. Support ainoastaan laakeroidaan ennen asennusta.
4. Staattori, jossa virta kulkee luoden magneettikentän, valmistellaan ja pultataan kiinni valmiiksi koneistettuun runkoon.

## **4.2.2 Esikokoonpano ja kokoonpano**

Kun staattori on rungossa kiinni, siirretään runko staattoreineen esikokoonpanoon, jossa staattorin päälle asennetaan roottori, jonka jälkeen asennetaan uunista otettu laajentunut vetopyörä. Viimeiseksi vetopyörän päälle asennetaan support tukemaan moottoria. Tämän jälkeen moottori kulkee kokoonpanoon, jossa siihen asennetaan jarrut, käsiavauslaitteet, sähköpiuhat, tuulettimet ja muut tarpeelliset osat.

## **4.2.3 Maalaus ja viimeistely**

Seuraavaksi moottori siirretään maalauskoppiin, jossa tärkeät komponentit suojataan ja moottori maalataan vihreäksi. Tämän jälkeen moottori jatkaa uuniin jossa se pysyy, kunnes maali on kuivunut. Viimeisinä työvaiheina moottori viimeistellään, eli siihen kiinnitetään varoitustarrat, infolaatat sekä viimeiset sähköpiuhat. Sen jälkeen moottori kiinnitetään testipenkkiin, josta päästyään hyväksytty moottori asennetaan alustalle, ja riippuen määränpäästä sekä kuljetustavasta, paketoidaan asianmukaisella tavalla ennen siirtoa varastoon.

## **4.3 Projektin eteneminen**

### **4.3.1 Lähtötilanne**

Projekti esiteltiin kesätyöni aikana kesällä 2017. Kone Industrial Oy oli hankkinut muuttaman lisenssin Visual Components 4.0 -tuotannonsimulointiohjelmaan. Käyttöni annettiin VC 4.0-ohjelman Essentials-versio.

Kesän ajan töiden ohella varattiin siis aikaa ohjelman käyttämiseen ja opetteluun. Samalla loppukesän aikana kuului tehdä myös ensimmäinen hyvin karkea mallinnus linjasta. Vasta myöhemmin etäisyydet säädettiin kohdalleen mittaamalla tehtaalla eri työpisteiden etäisyyksiä käyttämällä Fluken laseretäisysmittaria. Työkalujen suuri kirjo tuotti ensin ongelmia, mutta aikanaan rutinoitui sujuvaksi osaksi simulointia. Linjan operaattoripainotteisuuden vuoksi ihmisten simuloiminen tuntui melko vaikealta kaikkien olemassa olevien muuttujien takia. Operaattorien työtehtävien priorisointi olisi tuonut ratkaisun,

mutta sellaista vaihtoehtoa ei löytynyt. Asiaa selvitettiin VC:n asiakastuen kanssa, mutta operaattorien työkiertoon ei pystynyt jo tunnettujen työkalujen lisäksi enempää vaikuttamaan. Tämä ja moni muu huomio ohjelmasta käytiin läpi useissa palavereissa, joita pidettiin loppukesän aikana.

Kesän viimeisessä palaverissa todettiin tilanne ja päätettiin siirtää varsinainen projekti alkamaan seuraavan vuoden alusta.

### **4.3.2 Työn tavoite**

Työn tavoitteena oli ottaa selvää VC:n potentiaalista kokoonpanoteollisuudessa. Erityisesti mielenkiinto oli mahdollisuuksissa simuloida tuotantolinja ja havaita sen vikoja, sekä mallintaa ratkaisupohjia.

Jotta potentiaalista saataisiin mahdollisimman hyvä tuntuma, päätettiin simuloida NMX18-sähkömoottorin tuotantolinja kokonaisuudessaan, jonka jälkeen kerätä siitä statistiikkaa, josta kartoitettaisiin pullonkaulat, eli ne pisteet, joissa materiaalivirta hidastuu haitaten tuotannon tahtia. Tämän jälkeen harkittaisiin kehitysehdotuksia, jotka simuloitaisiin osana nykyistä linjaa. Tästä kerättäisiin jälleen lisää dataa ja verrattaisiin tuloksia, joiden perusteella voitaisiin tehdä päätöksiä, miten linjaa voisi lähteä todellisuudessa kehittämään.

### **4.3.3 Varsinainen aloitus**

Varsinainen opinnäytetyön työstäminen alkoi tammikuussa. Ensin piti orientoitua jälleen käyttämään VC 4.0 Essentials -ohjelmaa. Pian tämän jälkeen palaverissa päätettiin, että edellisenä kesänä tehtyyn simulaatioon linjastosta lisätään arkistoidut viralliset työajat, jotta moottorien valmistustahti olisi realistisempi.

Kun oikeat työajat oli asetettu ja layoutin ulkonäköä hieman hiottu siistimmäksi, arvioitiin simulaatiota päällisin puolin. Todettiin, että mikäli linjalla on pullonkaula, sijoittuu se esikokonpanoon tai sen jälkeen. Samalla oli tarkoituksena käydä läpi edellisenä kesänä luotuja kehitysehdotuksia linjastosta ja arvioida niitä sekä valita niistä potentiaalisimmat,

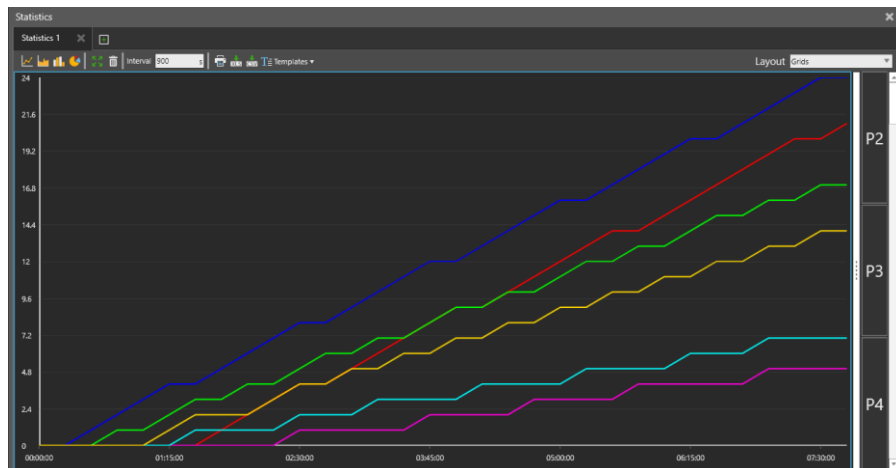


joita voitaisiin lähteä viemään eteenpäin. Kehitysehdotuksista luotiin Excel-taulukko, jonka kolumneihin lisättiin kohteiden eri ominaisuuksia, kuten hinta-arvio ja vanhan sekä uuden työvaiheen ajallinen kesto.

Palaverissa kuitenkin todettiin, että on kahdenlaista lähestymistapaa ongelmakohtiin: Joko ensin mietitään parannuksia, jotka sitten toteutetaan simulaatiossa ja katsotaan, miten siitä saatu statistiikka muuttuu tai sitten ensin simuloidaan mahdollisimman realistinen tuotantolinja, josta kerätään paljon dataa, jonka perusteella voidaan löytää tuotantolinjan pullonkaulat. Päätettiin lähteä toimimaan jälkimmäisellä tavalla, jolloin kehityskohteiden lista laitettiin syrjään toistaiseksi.

#### 4.3.4 Statistiikan keruu

Seuraavien viikkojen aikana tuotantolinjasta otettiin irti paljon dataa VC:n omalla statistiikankeruutyökalulla, joka luo viivadiagrammia (kuva 1) halutuista suureista. Tässä tapauksessa käytettiin parametreja ”Statistics:PartsEntered” ja ”Statistics:PartsExited”, jotka määrittelevät diagrammissa näkyväksi montako kappaletta jollekin työvaiheelle on saapunut tai montako siitä on lähtenyt. Diagrammissa on datankeruuintervallina käytetty



KUVA 1. Esimerkki-viivadiagrammi eri työvaiheilla tapahtuneesta liikenteestä

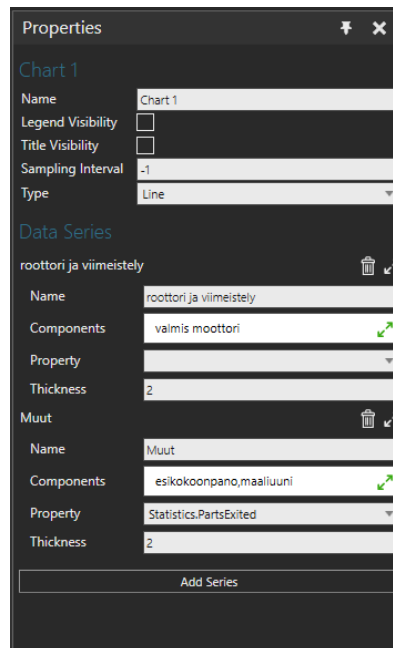
900 sekuntia eli 15 minuuttia, joka näkyy kuvan 1 yläreunassa. Diagrammi on mahdollista muuttaa suoraan Excel-tiedostoksi (taulukko 2).

Software: Visual Components Essential 4.0  
 Layout: Testwithout delays.vcmx  
 Date: 2/16/2018 3:47:16 PM

Simulation time (h)	washing - glue oven	shaft - ready rotor	stator fixed, body in the rack	preassembly	assembly - painting oven	finishing - ready motor
0	0	0	0	0	0	0
0,25	0	0	0	0	0	0
0,5	0	0	1	0	0	0
0,75	0	1	2	0	0	0
1	0	1	3	0	0	0
1,25	0	2	4	0	1	0
1,5	0	3	4	1	2	0
1,75	1	3	5	1	2	0
2	2	4	6	2	2	0
2,25	3	4	7	1	3	0
2,5	4	5	8	2	4	1
2,75	4	6	8	2	4	1
3	5	6	9	2	5	1
3,25	6	7	10	3	5	1
3,5	7	7	11	3	6	1
3,75	8	8	12	3	6	2
4	9	9	12	3	7	2
4,25	9	9	13	4	7	2
4,5	10	10	14	4	8	2
4,75	11	10	15	4	8	3
5	12	11	16	4	9	3
5,25	13	12	16	5	9	3
5,5	14	12	17	5	10	3
5,75	14	13	18	5	10	4
6	15	13	19	5	11	4
6,25	16	14	20	6	11	4
6,5	17	15	20	6	12	4
6,75	18	15	21	6	12	4
7	19	16	22	7	13	5
7,25	20	16	23	7	13	5
7,5	20	17	24	7	14	5
7,75	21	17	24	7	14	5

TAULUKKO 2. VC:n viivadiagrammista saatu Excel-tiedosto, jota on siistitty. Vasemmalla aikaleima ja kolumneissa valmistettujen kappaleiden määrä.

VC:n statistiikankeruutyökalulla voidaan luoda useampaa diagrammia yhtä aikaa, joissa voi olla eri parametreilla kerättyjä erilaisia diagrammeja. Kun kutakin diagrammia klikkaa, avautuu näytön oikeaan laitaan ”Properties”-ikkuna (kuva 2), josta voi säädellä haluttuja suureita.



KUVA 2. Properties-ikkuna

Linjastosta kerättiin ensin dataa kolmella eri tavalla. Ensiksi siten, että jokaisen työvaiheen välillä on hypoteettinen ”loputon puskuri”, jolloin simulaation kaikki operaattorit aloittavat työt yhtä aikaa sen sijaan, että odottaisivat edellisen työvaiheen päättymistä.

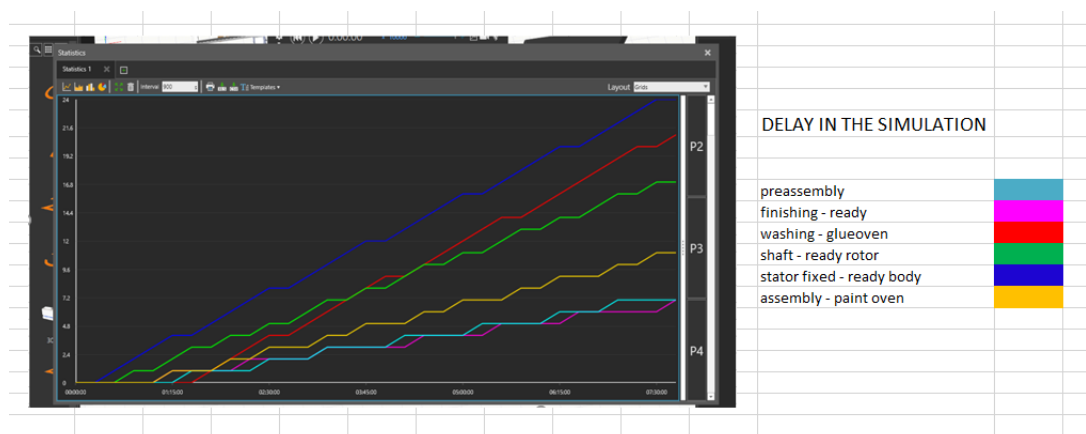
Toisella kertaa toimittiin muuten samoin, mutta sellaiset työvaiheet, jotka ovat riippuvaisia edellisestä työvaiheesta, joutuvat odottamaan ensimmäisestä kappaleesta eteenpäin virallisen kelloitetun ajan verran ennen kuin puskuriin ”ilmestyy” uusi kappale ”edellisestä työvaiheesta”. Tämä toteutettiin komento sarjalla Create\*kappale\*, Feed\*kappale\*, Delay\*x sekuntia\*.

Kolmas on jälleen samanlainen kuin toinen simulaatio, mutta lisäksi operaattorit jakavat keskenään joitakin työtehtäviä, jotta simulaatioon saataisiin mahdollisimman realistista joustavuutta.

Todellisuudessa operaattorit vaihtavat työtehtäviä lennossa ja painottavat aluetta, jossa kulloinkin on kriittisin vaihe. Tämä ominaisuus tuli esille jo edellisenä kesänä, mutta se on tämän projektin suurin ja näkyvin epätarkkuuden ja muuttujien luoja, jota ei voi jäljitellä millään tarpeeksi tarkasti.

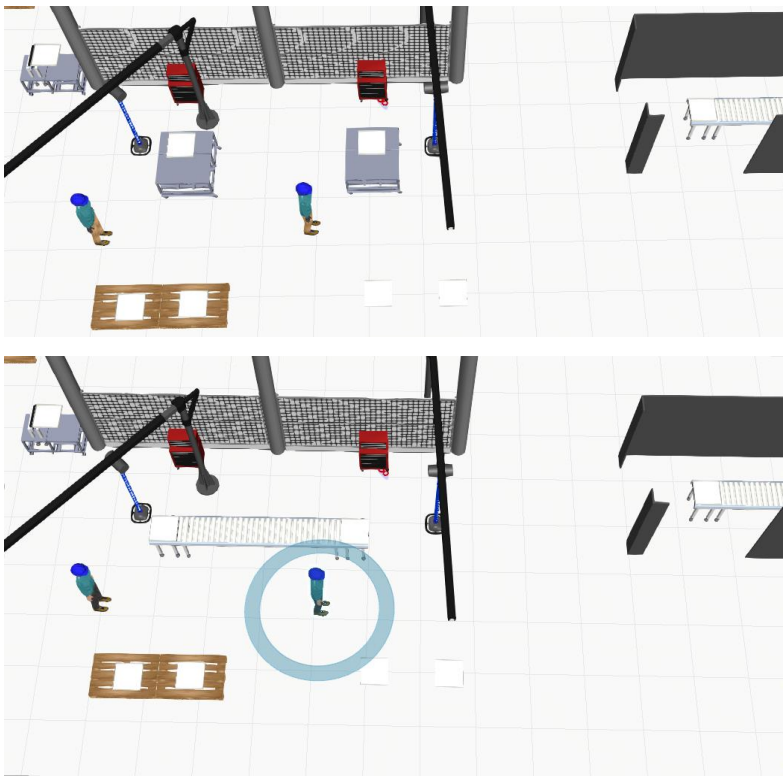
#### 4.3.5 Ensimmäiset tulokset

Tietynasteisesta epätarkkuudesta huolimatta voitiin useaa diagrammia vertailla huomata, että pullonkaula ei löydy linjan alkupäästä. Kuvasta (kuva 3) voidaan nähdä eri työvaiheiden läpi kulkeneiden kappaleiden määrä, kun ne eivät ole riippuvaisia toisistaan. Diagrammin vieressä on värikoodit kullekin viivalle. Aivan kuten aiemmin silmin tarkastellessa, ongelma vaikutti diagrammin mukaan olevan linjan loppupäässä esikokoonpanossa (vaaleansininen), kokoonpanossa ja maalauksessa (keltainen), sekä viimeistelyssä ja pakkauksessa (vaaleanpunainen).



KUVA 3. Viivadiagrammi toisesta simuloinnista, jossa selvästi loppulinjaston viivat ovat muita alempana

Tuloksien osoittaessa loppulinjaan, toistettiin edellä mainitut simulointiskenaariot tarkastellen vain loppuosaa. Loppulinjan simuloinnin tulokset vaihtelivat hieman riippuen simuloinnin ominaisuuksista (puskuri, puskuri ja viive, puskuri ja viive ja jaetut työtehtävät). Kaikki ominaisuudet kattavan kolmannen simulaation lisäksi koetettiin vaihtaa kaksi erillistä kokoonpanopöytää liukuhihnaksi, jonka alkupäässä moottoriin asennetaan puolet kokoonpanokomponenteista. Sen jälkeen moottori siirretään hihnaa pitkin toiselle pisteelle, jossa siihen asennetaan loput komponenteista ja josta se siirretään maalaamoon (kuva 4). Tällä saavutettaisiin myös ergonomisempi työskentely nostojen vähentyessä. Tämä skenaario suoritettiin myös ilman viivettä puskurissa.



KUVA 4. Kaksi kokoonpanopistettä ja pisteet yhdistettynä liukuhihnalla

Kaikkia tuloksia vertaillen voi sanoa, että ongelmakohdat löytyvät esikokoonpanossa ja viimeistely/paketointi-vaiheessa.

#### 4.3.6 Tärkeä huomio datan keruusta

Helmikuun loppupuolella käydyssä palaverissa todettiin, että taulukoista (taulukko 2) erottuu selkeästi hidastavat kohdat linjalla, vaikka tuloksissa onkin epätarkkuuksia. Suhteellisen hyvästä näytöstä huolimatta tuloksista huomattiin, että samat luvut olisi voitu

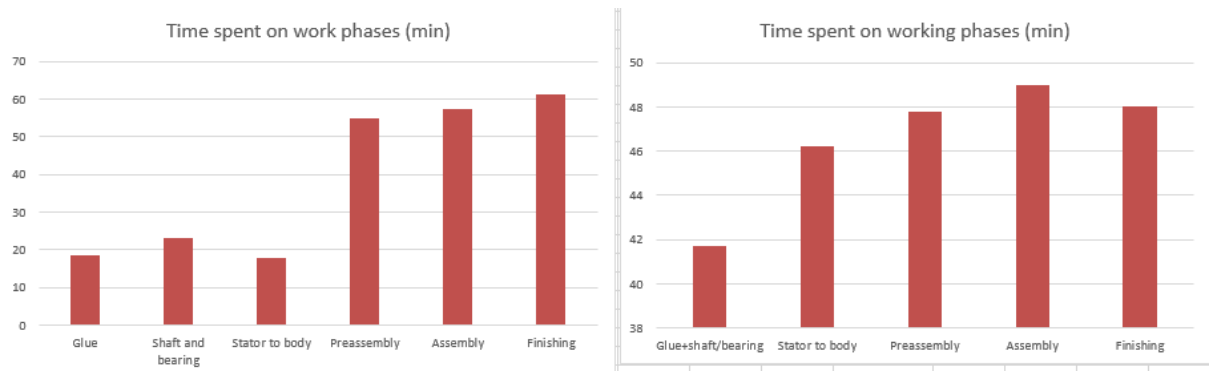
saada tarkemmin käyttämällä perinteisesti Exceliä, yksinkertaista matematiikkaa ja virallisia kellotettuja aikoja. Simulaatiolla oli siis vain todettu todeksi sama tieto, joka oli jo olemassa. Vaikka kellotettuja aikoja ei olisi olemassakaan, veisi vain pari päivää ottaa niistä selvää, joten datan keruu linjastosta tällä tavalla VC:lla oli varsin tehotonta.

Simulaatio ja siitä saadut Excel-tiedostot ovat kuitenkin hyvin havainnollistavia, joten ohjelma on kätevä esitystä valmisteltaessa tai esitellessä linjastoa esimerkiksi henkilölle, joka ei ole koskaan käynyt tehtaalla. Visuaalinen simulaatio myös mahdollistaa hyvin layoutin suunnittelun ja VC sisältääkin toiminnon, jolla luotu layoutin pohjapiirros saadaan suoraan pdf. -muotoon.

Aivan kuten layoutin suunnittelussa, VC on erityisen hyödyllinen myös mahdollisten ratkaisujen ja ratkaisuvaihtoehtojen mallintamisessa ja niiden tuottamien tulosten tarkastelussa. Oikeastaan voidaan todeta, että Visual Componentsista on eniten hyötyä hypoteettisten asioiden tutkimuksessa, eli ratkaisujen tai layoutien tutkimuksessa, joita ei ole vielä olemassa.

#### **4.3.7 Työvaiheiden jako**

Seuraavan palaverin jälkeen todettiin, että lasketaan yhteen staattorin pulttauksesta linjaston loppuun asti kaikkien työvaiheiden kellotetut työajat yhteen ja jaetaan tulos työvaiheiden määrällä, jolloin voitaisiin nähdä kuinka paljon työtehtäviä pitäisi tasata eri vaiheiden välillä, jotta kukin vaihe kestäisi suunnilleen yhtä kauan. Tasoitetuista työvaiheista luotiin uusi Excel-taulukko sekä kuvaajat uusista ja vanhoista työajoista (kuvaaja 1), joiden pohjalta seuraavalla viikolla pidetyssä tapaamisessa keskusteltiin kuinka työtehtävien jaot voisi toteuttaa. Esimerkiksi voitaisiinko aiemmin eri pisteillä tehdyt staattorin pulttaus runkoon ja roottorin asennus toteuttaa samalla pisteellä ja siirtää helposti seuraavalle pisteelle.

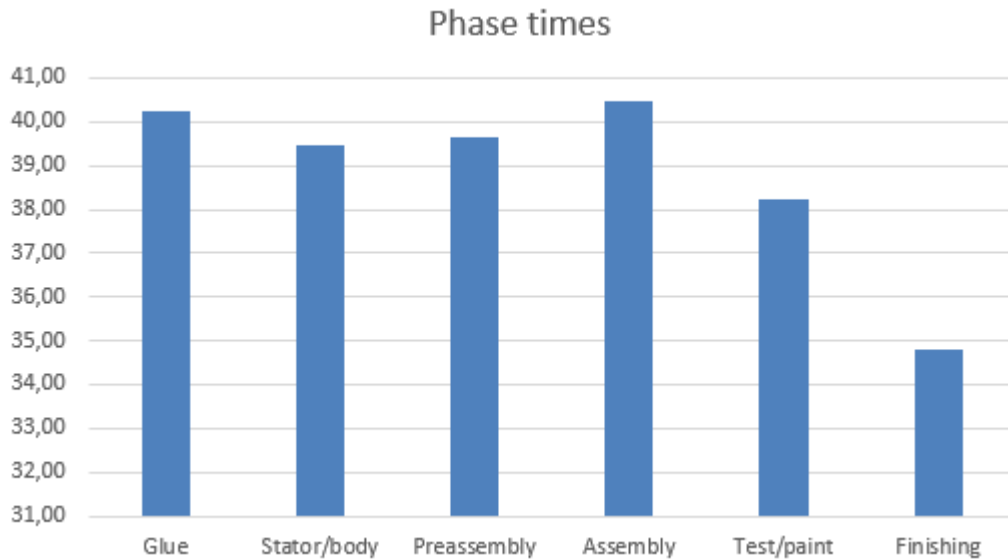


KUVAAJA 1. Vasemmalla työvaiheiden ajat ennen ja oikealla jälkeen aikojen tasoituksen.

Liimaamolle oli useita eri ehdotuksia, mutta toistaiseksi vain pesukoneen ja liimaamon sekä roottorin akseloinnin ja laakeroinnin ajat laskettiin yhteen. Missään kohtaa vaiheiden laskuissa ei otettu huomioon koneiden, eli uunien tai pesukoneen, aikoja.

Viereisen tuotantolinjan viikkovolyymi on 55 moottoria, jota käytettiin referenssinä NMX18-linjan työvaiheiden tarkemmassa jaossa. Referenssiä käytettiin niin kauan, kunnes tehtaalta saatiin analyysi linjan vuosivolyymista, josta laskettiin uusi referenssiarvo viikkovolyymille.

Tehtaalta saatu viikkovolyymi oli minimissään 23 koneistoa viikossa kolmella työntekijällä ja maksimissaan 60 koneistoa yhdeksällä työntekijällä. Erilaisia volyymeja, työntekijämääriä ja työvaiheiden jakoja olisi todella monia, joten layout päätettiin vakioda kuudelle hengelle, jonka jälkeen jaettiin tehtävät erilaisille volyymeille ja työntekijämäärille pitäen mielessä kuuden hengen layout.



KUVAAJA 2. Työaikojen jakauma kuudelle hengelle

Työnjako oli pääasiassa helppoa: Yhden vaiheen aika pitäisi korkeintaan olla se aika, joka saadaan, kun päivän työaika minuutteina jaetaan halutulla päivätuotolla. Sen jälkeen jako tehdään siten, ettei työtehtävien yhteenlaskettu aika ylitä laskettua aikaa.

#### 4.3.8 Visual Componentsin heikkous ihmisiä simuloitaessa

Kuten kuvaajasta 2 huomaa, loppuvaiheeseen kuluu varsin vähän aikaa, mutta tämä johtuu VC:n operaattorien työkierron luonteesta, mikä luo ongelman, mikäli operaattorin työtehtävien välissä on jokin aikaa vievä automaattinen kone tai vaihe, kuten pesukone tai uuni. Juuri ennen viimeistelyä sijaitsee maalauksen jälkeinen uuni, jonka käyttöaika lasketaan yhteen muiden työtehtävien kanssa, mikäli se ei ole eri työvaiheiden välissä, sillä operaattori joutuu odottamaan vaiheen päättymistä ennen kuin voi jatkaa työtehtäviään. Tästä syystä jako on tehty siten, että maaliuunin jälkeinen operaattori ei simulaation sisällä tee tehtäviä, jotka sijaitsisivat ennen uunia. Tämä on hyvä esimerkki, miten VC ei toistaiseksi sovellu laajempien tuotantolinjojen simulointiin, jotka eivät ole automatisoituja vaan pääasiassa täynnä operaattoreita, joilla on monia tehtäviä.

Kone Industrialilla on Kiinassa tehdas, jonka layoutia on myös mallinnettu VC:lla. Eräs tehtaan simuloituista linjastoista on pääasiallisesti operaattorilähtöinen, mutta kullakin operaattorilla on melko vähän tehtäviä ja linja on vielä kehityksen alla, joten muutoksia on helppo tehdä. Tällaisessa tapauksessa VC on hyvä suunnittelu- ja visualisointityökalu.

Minimi- ja maksimivolyymien työnjakoa tehtäessä huomattiin jo Excel-taulukosta, että minimi on tehtävä kolmella hengellä kuten tähänkin asti, mutta maksimi voitaisiin teoriassa tavoittaa vain seitsemällä työntekijällä. Linjastolla on tietenkin aina häiriöitä, kuten työkalujen rikkoutumista, resurssien hetkellistä puutetta tai muita tuotantoa hidastavia tapahtumia. Näitä ei kuitenkaan työnjaossa oteta huomioon niiden ennustettavuuden mahdollisuuden vuoksi. Olettaessa статистиikkaa simulaation työvaiheista valmistuneiden kappaleiden määristä (taulukko 3), voitiin todeta työtehtävien jaon olleen onnistunut verrattuna taulukon 2 antamiin tuloksiin.

TAULUKKO 3. Kuuden tasoitetun työvaiheen tuotto

	A	B	C	D	E	F	G
1	Software : Visual Components Essentials 4.0						
2	Layout : kehitys.vcmx						
3	Date : 3/6/2018 12:17:40 PM						
4	Simulation Time (h)	Glue	Stator	Preassembly	Assembly	Test/paint	Ready
5	0	0	0	0	0	0	0
6	0,5	0	0	0	0	0	0
7	1	0	0	1	1	1	1
8	1,5	0	1	1	2	1	2
9	2	0	2	2	3	2	2
10	2,5	0	3	3	3	3	3
11	3	1	3	4	4	3	4
12	3,5	2	4	4	5	4	4
13	4	2	5	5	5	5	5
14	4,5	3	6	6	6	6	6
15	5	4	6	7	7	6	7
16	5,5	4	7	7	8	7	7
17	6	5	8	8	8	8	8
18	6,5	6	9	9	9	9	9
19	7	6	9	9	10	9	9
20	7,5	7	10	10	11	10	10
21	8	8	11	11	11	11	11

#### 4.3.9 Työvaiheiden jaon tuloksien tarkastelu

Maaliskuun alussa pidettiin palaveri, jossa käytiin läpi uusi työvaiheiden jako ja niiden perusteelta luotu layout. Palaverissa jäsenneltiin läpikäytyä prosessia, sekä sen pohjalta havaittuja hyviä sekä huonoja puolia ohjelmassa. Lähtökohdaksi valittiin luotu kuuden hengen layout, johon päätettiin seuraavaksi alkaa simuloida kehityskohteita. Palaverissa liimaamo nousi puheenaiheeksi, sillä siellä liimataan roottoreita myös viereiselle MX20 linjalle, eikä sen vaikutusta NMX18-linjan käyttöön valmistettavien roottoreiden tuotantoon tiedetä tasan tarkkaan. Tämä asia kuitenkin päätettiin jättää vielä toistaiseksi syrjään, kunnes tilanteeseen saataisiin parempi selvyys.



Eräs näkemys, joka tuli esiin palaverin lopulla, oli, että mikäli linjastosta haluttaisiin tehokkaampi, täytyisi layout suunnitella suurelta osin uudelleen. Tämänhetkisillä ideoilla voitaisiin mahdollistaa paljon parempi työergonomia ja jokseenkin parempi työturvallisuus, mutta erityisen kannattavaa taloudellista etua ei saavuteta.

Kehitysideoiden simulointi oli helppoa ja suhteellisen nopea toteuttaa, mutta tuloksien tarkkuuteen vaikutti suuresti se, että ideoiden yhtenä päätarkoituksena oli vähentää linjastolla tehtäviä nostoja nostureilla. Nostojen ja siirtojen viemää aikaa ei ole kelloitettu, joten tarkat lukemat ovat hyvin pitkälti arvioita ja lopputulokset suuntaa antavia. Simulaation mukaan saavutettu ajallinen hyöty on noin viiden minuutin mittainen, mikä ei ole riittävän hyvä tulos kehitysideoiden hintaan verrattuna, vaikka tulos olisikin vain suuntaa antava.

#### 4.3.10 Kehitysideoiden simuloinnin tuloksien tarkastelu

Seuraavassa palaverissa todettiin hypoteesin osuneen melko oikeaan ja todettiin että taulukon (taulukko 4) mukaisen noin viiden minuutin ajallinen hyöty on aivan liian pieni uudistusten kustannuksiin nähden. Kehitysideat siis unohdettiin.

TAULUKKO 4. Työvaiheiden karkeat ajat tehtävien optimoinnin ja optimoinnin sekä kehitysideoiden jälkeen

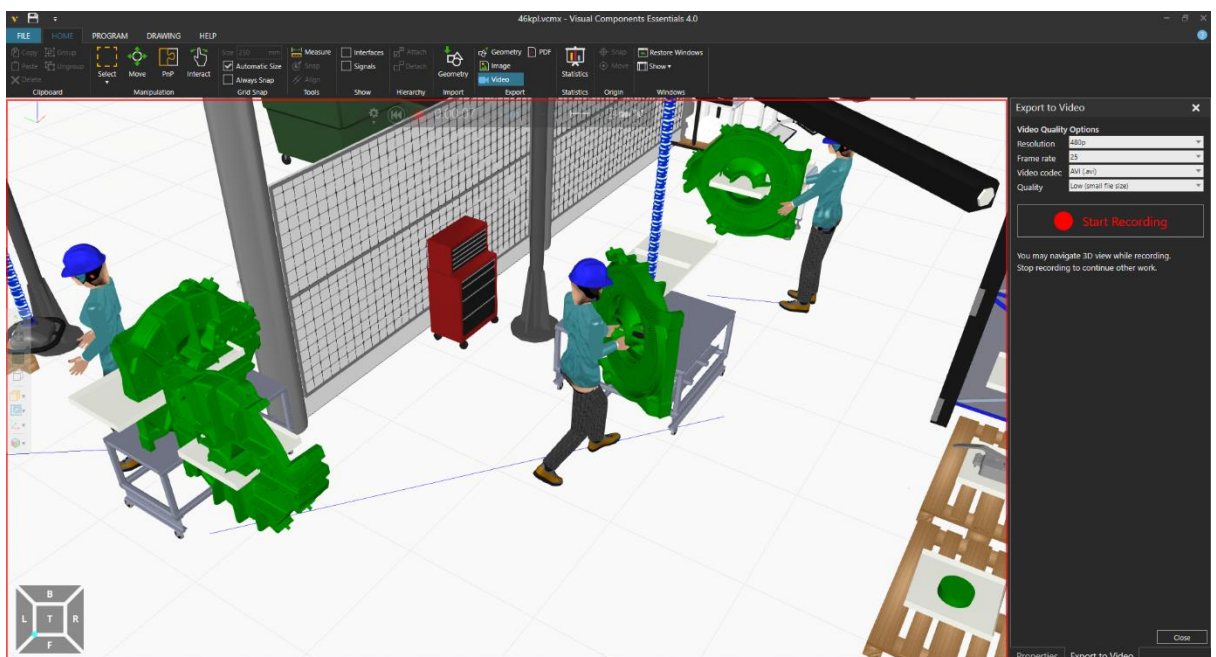
	<b>Optimized (min)</b>	<b>Optimized/developed (min)</b>
<b>Glue</b>	40,26	40,26
<b>Stator</b>	39,47	36,1
<b>Preassembly</b>	39,67	39
<b>Assembly</b>	40,48	40,1
<b>Testing/painting</b>	38,21	37,8
<b>Finishing</b>	34,8	34,8
<b>TOTAL</b>	232,89	228,06
Time saved		-4,83

Työn ohessa tehty työtehtävien optimointi kuitenkin teoriassa on tuottanut hyvää tulosta, joten seuraavaksi päätettiin paneutua VC:n ominaisuuksiin presentatioon valmistauduttaessa. Tarkoituksena on myydä idea muutamista layout muutoksista esimiehille tekemällä video käyttämällä VC:n omaa simulaation taltiointiin tarkoitettua työkalua, josta

videon saa ulos joko muodossa .avi, .mov tai .mp4. Presentaatiota varten käytin muotoa mp4.

#### 4.3.11 Presentaation valmistelu

Kuten kuvasta (kuva 10) voi nähdä, yläpalkista on videointiin tarkoitettu työkalu aktiivisena, jonka jälkeen oikeanpuoleisessa paneelissa näkyy valinnat liittyen tallentavan videon tarkkuuteen, tallennusmuotoon ja frame rateen. Tarkempi kuva ja korkeampi frame rate johtavat luonnollisesti suurempikokoiseen videotiedostoon.



KUVA 10. VC:n tallointityökalu käytössä

Lopullisen videon tekoon tarvittiin Excelistä saatuja tietoja, jotka voitiin erilaisten efekti-  
tien lisäksi lisätä videoon käyttämällä tässä tapauksessa Windows Movie Makerin il-  
maista versiota. Tallennettu video lisätään leikepöydälle, jonka jälkeen siihen lisätään ha-  
lutut siirtymisanimaatiot leikkeiden välillä, tekstien ilmestyminen ja näkymisen kesto  
sekä mahdollinen haluttu taustamusiikki.

Ennen idean esittelyn loppuun lyömistä päätettiin tarkastella viikon maksimivolyymien  
työjaot seitsemälle hengelle. Virallisten aikojen mukaan tehtaan työntekijät työskentele-  
vät kahdeksan tuntia ja sen lisäksi pitävät 30 minuuttia ruokataukoa. Kahdeksasta tunnista  
30 minuuttia kuluu kahvitaukoihin. Näin tehokasta työaika jäisi 7,5 tuntia joka päivä.

Seitsemän työntekijää siis riittäisi linjastolle maksimivolyymilla toistaiseksi vain teoriassa. Laskenta suoritettiin vielä 6,5 tunnin tehokkaalla työajalla jolloin miehitystilanne, jolla voitaisiin pysyä tahdissa, oli kahdeksan henkeä. Tällöin muutos nykyiseen jakoon olisi yksi työntekijä vähemmän. Seuraavassa palaverissa käsiteltiin millä luvuilla layout muutokset esiteltäisiin tehtaan johdolle sekä esityksen muutamia yksityiskohtia.

Lopullinen esitys muodostui VC:n omilla työkaluilla taltioidusta simulaatiovideosta, jota editoitiin Windows Movie Makerilla. Video asetettiin MS Powerpointin ensimmäisiin di-oihin, jonka jälkeen projektin pääkohdat selitettiin videota seuraavissa dioissa.

## **4.4 Haastattelut**

### **4.4.1 Haastatteluiden luonne**

Tutkimukseen liittyen haastateltiin useita yrityksiä simulointiin liittyen. Haastattelu oli puolistrukturoitu, jolloin kysymykset ovat valmiiksi mietittyjä, mutta niiden sanamuoto ja järjestys voivat muuttua haastattelukohtaisesti. Kysymykset koskivat simulointityökalujen käyttöä, kuinka usein on simuloitu, mitä simulaatio-ohjelmaa on käytetty, käytetäänkö lisenssejä vai ostetaanko palveluna ja kuinka moneen tarkoitukseen simulointia käytetään.

Haastateltavia yrityksiä olivat Metso Oyj, Finnair Oyj, Konecranes Oyj, Valmet Oyj, Insta Oy, Sandvik Construction and Mining Oy ja Patria Oyj.

### **4.4.2 Haastatteluiden tulokset**

Haastattelun aikana esitettiin seuraavat kysymykset ja niiden tulokset ovat yleisiä kuvauksia, jotka muodostettiin suoritettujen haastattelujen pohjalta.

#### **Käytetäänkö teillä suunnittelussa minkäänlaista simulointia?**

Simulointia käytettiin yleisesti ottaen melko vähän. Vain muutamat haastatelluista yrityksistä käyttivät säännöllisesti simulaatiotyökaluja.

**Kuinka paljon? Käytetäänkö jokaisessa projektissa vai harvakseltaan?**

Muutamit yrityksistä simuloivat pääasiassa lähes jokaisessa projektissa, joka on asiakaslähtöinen. Muissa tapauksissa simulointia käytetään harvakseltaan. Simuloinnilla pyrittiin esittelemään tuotetta asiakkaalle tai näyttämään erilaisia ratkaisuvaihtoehtoja. Koska asiakaslähtöinen suunnittelu vaihtelee verrattain paljon, oli tämä tulos odotettavissa.

**Mitä simulointiohjelmaa käytätte?**

Mallinnuksessa käytettiin yleisesti paljon perinteisiä AutoCAD -tuotteita, Catiaa sekä Solidworksia. Muihin simulointitarkoituksiin käytettävät ohjelmistot olivat todella erilaisia ja jotkin ovat yritysten itse kehittelemiä.

**Onko käyttökohteena aina jokin tietty asia vai useita simulaatiokohteita?**

Tuotteiden suunnittelussa mallinnusta käytettiin paljon. Muista käyttökohteista asiakasesittelyt olivat suurin kohde. Muut kohteet vaihtelivat layoutin suunnittelusta virtaus- ja kestävyysuunnitteluun. Valtaosalla yrityksistä simulaation käyttökohteina oli vain yksi tai kaksi asiaa.

**Onko lisenssejä yksi tai useampia vai tilataanko palveluna? Miksi?**

Tämä riippui hyvin pitkälti siitä, kuinka paljon simulointia käytetään yrityksessä. Muutama yritys jotka käyttävät simulointia vain harvoin tai erikoistilauksien yhteydessä, ostavat simulointitulokset ulkoisena palveluna. Mikäli simulointia käytettiin silloin tällöin, yrityksellä saattoi olla yksi osaaaja ja yksi lisenssi. Vain yksi yritys käytti monenlaista simulointia hyvin usein ja lähes jokaisessa projektissa ja näin ollen omistaa useita lisenssejä, jolloin simuloinnista tulee erityisen edullinen ja käytännöllinen työkalu.

**Yleisesti lisättävää?**

Millään haastatelluista yrityksistä ei ollut juurikaan lisättävää, muuten kuin simuloinnin merkityksen jatkuva lisääntyminen ajan kuluessa.

## 5 TULOKSET JA POHDINTA

Työn tuloksena on kartoitettu Visual Components Essentials 4.0 -simulaatio-ohjelman käytännöllisyyttä kokoonpanoteollisuudessa simulaatiokohteen ollessa Hyvinkään hissi-tehtaan vähän automatisoitu NMX18 -kokoonpanolinja. Kokoonpanolinjan visuaalinen simulointi ja toisinto onnistuivat hyvin, mutta tietyt toiminnallisuudet, kuten katossa kulkeva kisko, jota pitkin ketjun päässä roikkuvat moottorit kulkevat, oli liian hankalaa simuloida tämänhetkisellä osaamisella ja/tai ohjelmaversiolla. Linjan työntekijöiden käytöstä ja työkiertoa oli vaikea mallintaa, mikä tuotti havaintoihin epätarkkuuksia.

Ohjelma on tarkoitettu pääasiassa automatisoitujen linjojen suunnitteluun ja simulointiin. Siksi NMX-18 linja ei ole ohjelman täyden potentiaalin kannalta paras simuloinnin kohde sen työtehtävien kuullessa lähes täysin työntekijöille, eikä automatisoidulle koneille. Ihmiset tuovat tekniseen datan keruuseen liikaa muuttujia, jotta tulokset olisivat konemaisen tarkkoja. Lisäksi ihmisen laaja liikkuminen simuloidussa ympäristössä tuo paljon haasteita.

Simulaatiosta kerättiin statistiikkaa ennen ja jälkeen kehitysehdotuksien. Simulaation tuloksena saatiin diagrammidataa komponenttien valmistumisajasta ja tahdistista sekä miltä linja näyttäisi muutosten jälkeen. Tulokset osoittivat, että muutokset parantaisivat työergonomiia ja -turvallisuutta, mutta ajalliset ja taloudelliset hyödyt olisivat lähes mitättömiä. Muutokset tällaisenaan päätettiin siis hylätä.

Diagrammidata oli mahdollista muuntaa helposti Excel-taulukoksi napin painalluksella, joten dataa oli helppo käsitellä sen keruun jälkeen. Ehdotuksista kerätty data oli siis sekä silmämääräistä, että taulukkoina Excelissä. Silmämääräisesti todettiin ergonomian parantuvan, raskaiden kappaleiden nostojen vähetessä. Taulukosta voitiin kuitenkin todeta, ettei noin viisi minuuttia nopeampi suoritus maksa muutoksien hintaa tarpeeksi nopeasti takaisin. Ihmisten tuoman epävarmuustekijän vuoksi viisi minuuttia on vain suuntaa antava tulos, mutta siinäkin tapauksessa se on tarpeeksi vähän todistamaan, että näitä kehitysideoita ei kannata toteuttaa.

Työn aikana linjan työntekijöiden työtehtävät myös optimoitiin ja jaettiin tasaisiin työvaiheisiin, joiden perusteella layoutiin tehtiin muutoksia helpottamaan uusien työvaiheiden suorittamista. Muutoksilla ja optimoinnilla linjan maksimi viikkovolyymistä ja miehistöstä, joka on 60 koneikkoa ja yhdeksän työntekijää, voisi vähentää teoriassa kaksi työntekijää ja käytännössä yhden.

Työtehtävien optimointi suoritettiin puhtaasti Excelissä, joten VC:lla ei ollut tähän osuuteen mitään osaa. Vain optimoinnista johtuvat layout muutokset voitiin mallintaa olemassa olevaan simulaatioon nykyisestä linjasta.

Miksi teoriassa työntekijöitä voisi vähentää viikon maksimivolyymissa kaksi henkilöä, johtuu siitä, että tällöin laskelmissa työntekijöitä on käsitelty konemaisesti käyttäytyvinä. Käytännön tulos saatiin, kun huomioitiin ihmisen toiminnan epävarmuus ja todellinen työntekoon käytetty aika.

VC:a käytettiin tässä vaiheessa myös simulaation taltiointiin, jota käytettiin hyödyksi kehitysehdotuksen viemisessä eteenpäin.

Ohjelma osoitti hyödyllisyytensä niissä vaiheissa, joissa oltiin sen ydinalueella eli layout-suunnittelussa ja automaattisten osuuksien simuloinnissa sekä linjan taltioinnissa. Linjalle saatiin luotua toteuttamiskelpoisia kehitysehdotuksia, mutta se ei ollut VC:n ansiota vaan Excel-taulukoiden vertailua. Kuten BusinessDictionary-sivusto (2018) totesi, simulaatio on vain yhtä hyvä, kuin sen perustana käytetyt oletukset. Automaatiolinjoissa ei ole juurikaan oletettavaa, jolloin tulokset olisivat olleet hyvinkin tarkkoja.

Työn voisi sanoa onnistuneen kartoittamaan VC:n hyödyllisyyttä vastaavanlaisen kokonpanolinjan simuloinnissa, mutta paljon jäi vielä todistettavaa ohjelman kannalta optimaalisen linjan simuloinnista. Jatkossa ohjelmaa pitäisi käyttää siis joko automatisoidun linjan tutkimiseen, suunnitteluun tai esittelyyn, jotta täysi hyöty saataisiin irti, sillä muun muassa erityisesti robotit kuuluvat ohjelmiston avainkohteisiin.

VC on siis helppo ja nopea työkalu suunniteltaessa tuotantolinjaa tai esiteltäessä simuloituja systeemejä. Sen vahvuudet ovat ehdottomasti automatiikassa ja robotiikassa sekä simuloinnin kustomoinnissa. Myös dokumentointi ja datan keruu vaikkapa materiaalivirrasta on helppoa VC:n työkaluilla. Operaattorien simulointi ei kuulu ohjelman vahvuuksiin vaikkakin ihminen voi ongelmitta tehdä simulaatiossa yksinkertaisia tehtäväsarjoja.

## LÄHTEET

BusinessDictionary, Simulation, 27.1.2018, <http://www.businessdictionary.com/definition/simulation.html>

Chick.S, Ferrin D., Morrice D. J., Sánchez P. J., 2003, Proceedings of the 2003 Winter Conference, The Future of The Simulation Industry, 31.1.2018, <https://www.informs-sim.org/wsc03papers/263.pdf>

Merriam-Webster, 2018, Simulation, 27.1.2018, <https://www.merriam-webster.com/dictionary/simulation>

Mihai D., Smashing robotics, 2016, Visual Components Introduces New Generation Simulation Software, 9.4.2018, <https://www.smashingrobotics.com/visual-components-essentials/>

Python, 2018, General Python FAQ, 13.3.2018, <https://docs.python.org/3/faq/general.html#what-is-python>

Visual Components, 2018, About us, 7.3.2018, <https://www.visualcomponents.com/about-us/>

Visual Components, 2018, Visual Components - Simulointiseminaari 2018, 7.3.2018, Aalto Yliopiston Dipoli, Espoo

### Haastattelut:

Aaltonen J., Metso Oyj, tuotesuunnittelun päällikkö, haastattelu, haastattelija Ismo Cavén, litteroitu, Hyvinkää. 14.3.2018

Alander I., Valmet Oyj, tuotepäällikkö, haastattelu, haastattelija Ismo Cavén, litteroitu, Hyvinkää. 14.3.2018

Haveri J., Finnair Oyj, tuotannonkehitys- ja koulutus-päällikkö, haastattelu, haastattelija Ismo Cavén, litteroitu, Hyvinkää. 19.3.2018

Järvilehto J., Insta Oy, projektitoiminnan johtaja, haastattelu, haastattelija Ismo Cavén, litteroitu, Hyvinkää. 15.3.2018

Kyösti J., Patria Oyj, tuotannonjohtaja, haastattelu, haastattelija Ismo Cavén, litteroitu, Hyvinkää. 14.3.2018

Lindahl P., Konecranes Oyj, projektipäällikkö, haastattelu, haastattelija Ismo Cavén, litteroitu, Hyvinkää. 14.3.2018

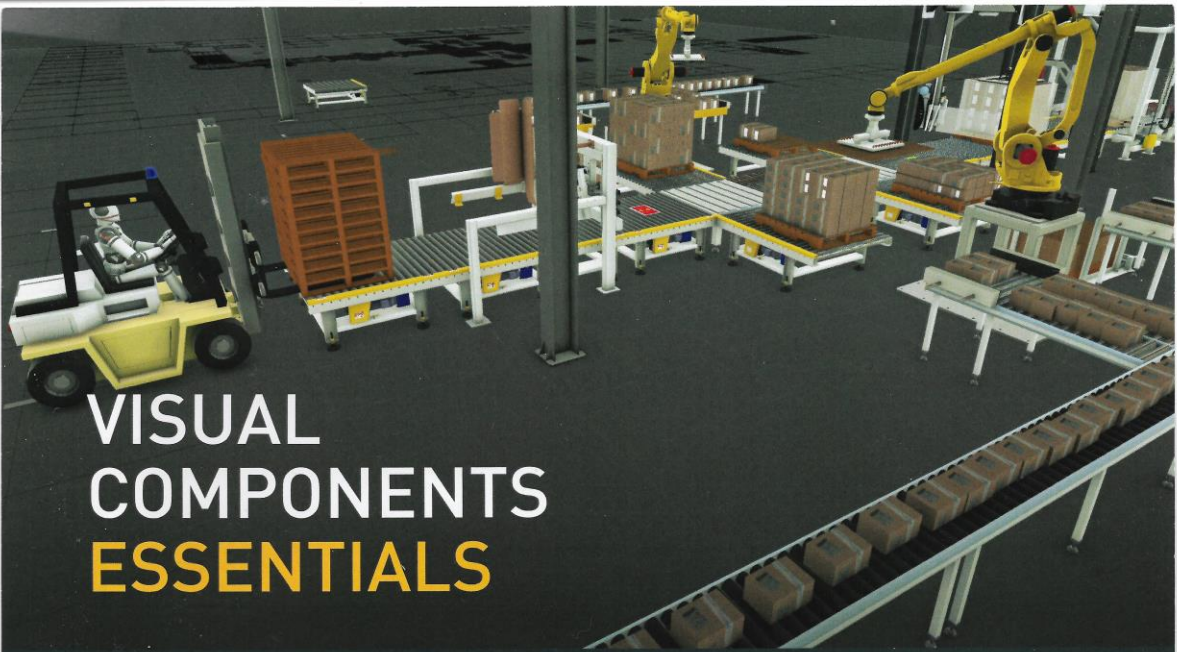
Vento A., Sandvik Construction and Mining Oy, suunnittelupäällikkö, haastattelu, haastattelija Ismo Cavén, litteroitu, Hyvinkää. 15.3.2018

## LITTEET

Liite 1. Visual Components Essentials 4.0 infolappu, sivu 1

1(2)

(7.3.2018. Visual Components - Simulointiseminaari 2018. Aalto Yliopiston Dipoli, Espoo)



# VISUAL COMPONENTS ESSENTIALS


Visual Components Essentials is our core factory simulation product. Design, build, and simulate your factory of the future using ready-made components.

**LAYOUT CONFIGURATION**

The core application of Visual Components Essentials. Quickly build layouts by dragging components from the eCatalog directly into the 3D world, and connecting compatible components via the plug-and-play feature. Use the properties editing feature to modify pre-defined component parameters, such as dimensions, speed, and color. Take advantage of our component library with more than 1,200 pre-built conveyors, industrial robots and other components from over 30 of the largest brands in industrial automation.

**CAD COMPATIBILITY**

Import your CAD files directly into the 3D world. Visual Components Essentials supports CAD file types from many of the leading CAD vendors, making it easy to import geometry files created with popular software applications by Autodesk, Dassault, PTC, Siemens, and others. We're compatible with the most widely used CAD formats, so you can natively import geometry files the way they were designed. Best of all, CAD import is included in Essentials. There's no extra costs or plug-ins.





(7.3.2018. Visual Components - Simulointiseminaari 2018. Aalto Yliopiston Dipoli, Espoo)



### PROJECT READY DELIVERABLES

We've made improvements to the files and deliverables you can generate, created some new templates, and made the workflows much smoother. Easily capture and export screenshots from the 3D world directly into your presentations. Record and export video in up to 4K HD quality. Create animated and interactive 3D PDFs with embedded simulations, built-in navigation and playback options, and bill of materials. Convert 3D layouts to presentation-ready 2D drawings in seconds with the new 2D drawing template.



### SIMPLE ROBOTICS

A simple but powerful package of features for defining and modeling robotic behavior. Simple robotics has built-in features for robot jogging, analyzing reachability and collisions, and defining robot logic and postures with control flow statements.



### POINT CLOUD SUPPORT

Whether you're preparing a project proposal for a customer or studying a change to your current production configuration, context is crucial. That's why we've added support for 3D point clouds. With this feature, you can import point cloud models of your facilities directly into the 3D world, and configure layouts inside them. Point clouds are represented as geometric models, so you can easily include them in tasks such as layout design, distance and angle measurement, and collision analysis.



### 2D DRAWINGS

We've added more support for 2D drawings and incorporated this format into many of the workflows, including layout design and project deliverable templates.



### PLC CONNECTIVITY

The connectivity feature makes it easy to connect simulations with your control system using either the industry standard OPC UA or supported vendor specific interfaces. This enables virtual commissioning activities such as testing and verifying logic programs and control changes in the context of your production process. With PLC connectivity you can also visualize your production's real-time activity, collect and analyze real time data, then test and simulate improvements.



### STATISTICS AND REPORTING

Visualize simulation statistics using line, area, bar, or pie charts. Charts are created, modified, and visualized on a dedicated statistics dashboard. The dashboard helps users to visualize the dynamics of their production line, identify bottlenecks, and evaluate changes to production performance. When more in-depth analysis is required, simulation data can be easily exported in PDF or Microsoft Excel data formats.

## Liite 2. Visual Components Essentials with Modeling Pack 4.0 tyypillinen työnäkymä

(Mihai D., Smashing robotics, 2016, Visual Components Introduces New Generation Simulation Software, 9.4.2018, <https://www.smashingrobotics.com/visual-components-essentials/>)

