



Tutkimus simulaation hyödyntämisestä robottimaalaamon suunnittelussa

Mika Rautiainen

Opinnäytetyö, ylempi AMK

Toukokuu 2023

Robotiikka (YTG20S1)

Rautiainen, Mika

Tutkimus simulaation hyödyntämisestä robottimaalaamon suunnittelussa.

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. **Toukokuu 2023**, 75 sivua

Tekniikan ala. Robotiikan YAMK tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö YAMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

Tiivistelmä

Valtran traktoritehtaalla aloitettiin iso maalaamoprojekti, missä vanha kokoonpanolinjan integroitu traktorirunkojen robottimaalaamo päivitetään uuteen kokoonpanolinjan sivussa olevaan erilliseen maalaamoon. Robottimaalaamoprojektin suunnittelussa päätettiin hyödyntää AGCO-konsernissa yleisesti käyttöön otettua Visual Components-simulointiohjelmistoa, minkä avulla voitiin jo projektin alkuvaiheessa simuloida erilaisia maalaamon teknisiä ratkaisuja, esimerkiksi traktorirunkojen siirtämiseen kokoonpanolinjan ja uuden maalaamon välillä. Tietoperustassa esiteltiin simulaatiota käsitteenä ja osana Teollisuus 4.0:aa, sekä erilaisia teknisiä ratkaisuja teollisen ympäristön muuttamiseksi digitaalisiksi malliksi, mitä voidaan hyödyntää simulaatioissa. Tutkimuksen tavoitteena oli saada aikaiseksi realistinen simulaatio uudesta robottimaalaamosta, millä voidaan katselmoida kokoonpanolinjan, traktorirunkojen siirtämiseen käytettävien vihivau-
nujen eli AGV:den ja maalaamoprosessin yhteiskäyntiä, eri tuotemixien vaikutusta, traktorimallien fyysisten rajoitteiden, prosessin pullonkaulojen ja häiriötilojen vaikutusta maalausprosessiin.

Tutkimustyö simulaation hyödyntämisestä toteutettiin toimintatutkimuksena. Simulaatiolle asetettujen tavoitteiden ja tutkimustuloksien osalta simulaation hyödyntämisestä työ noudattaa sekä kvantitatiivista, että kvalitatiivista tutkimus-otetta. Tutkimusaineistona käytettiin kyselykaavaketta, minkä avulla maalaamon projektiryhmä asetti simulaatiolle tavoitteet.

Toimintatutkimuksen tuloksena saatiin aikaiseksi Visual Components-simulaatio, minkä avulla voidaan prosessin kokonaiskuva hahmottaa, sekä katselmoida kaikkien traktorimallien koko maalausprosessi. Lisäksi simulaatiolla voidaan testata kokoonpanolinjan eri tahtiaikojen vaikutusta maalausprosessiin, sekä katselmoida AGV vihivaunujen liikettä ahtaissa tuotantotiloissa. Simulaatiota testattiin myös virtuaaliympäristössä VR-laseilla, jolloin maalausprosessista saatiin vielä realistisempi kokonaiskuva.

Johtopäätöksinä raportissa todetaan Visual Componentsin jatkohyödyntäminen robottien maalausohjelmien tekemiseen, nykyisten maalausohjelmien testaamiseen, työpisteiden suunnitteluun ja VR-katselmointiin. Robottimaalaamon suunnittelun apuvälineenä simulaatiota ei keretty täysin hyödyntämään tutkimuksen viivästymisen takia. Johtopäätöksissä nostetaan myös Visual Components-ohjelmiston kehitysehdotuksia.

Avainsanat (asiasanat)

Robotiikka, Simulaatio, Teollisuus 4.0, Industry 4.0, Visual Components, digitalisointi

Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)

Rautiainen, Mika

Study to utilize simulation at robot paint shop designing

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, May 2023, 75 pages

Engineering and technology, Master's Degree Programme in Robotics, Master's thesis.

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

Abstract

Valtra tractor factory has big ongoing project upgrading to the new robot paint shop. Current robot paint shop is integrated to the assembly line, when the new paint shop is located aside from the assembly line. Decision was to utilize Visual Components simulation software as one tool when designing the new robot paint shop, since software is now commonly in use at all AGCO corporation factory sites. This allows early-stage testing in simulation for different technical solutions of the paint shop, for example transportation methods for tractor chassis between assembly line and paint shop. Theory section introduces the simulation as a part of Industry 4.0 and different technical solutions to convert industrial environment on to digital form, which can be then utilize in the simulation. Objective of the study was to achieve a realistic simulation of the new robot paint shop, which can be used to view assembly line, tractor frame transportation AGV's and paint shop systems cooperation, different product mix effect, physical limitations of tractor models, process bottlenecks and process errors affect in to the painting process.

Study of utilizing the simulation was executed as a action study. Goals and results of the study practice both qualitative and quantitative research extract. Query template was used as research material, which was used by paint shop project team to set goals for the study.

As a result of this action study, a Visual Components -simulation was accomplished for overviewing whole painting process and to demonstrate the painting process for all tractor models. The simulation can also be used for testing affect of different assembly line tact times and movement of the AGV's in constricted factory premises. The simulation was also tested in virtual reality environment with VR-goggles, which portrayed even more realistic appearance of the new painting process.

As conclusion in this study is, that Visual Components can be further utilized in the offline programming of the painting robots, reversed testing of the existent robot programs, workstation and layout designing and for VR reviewing. Simulation as a tool for robot paint shop designing couldn't be fully utilized because of delay in the schedule of this study. Conclusion also includes some development proposals for Visual Components software.

Keywords/tags (subjects)

Robotics, Simulation, Industry 4.0, Digitization

Miscellaneous (Confidential information)

Sisältö

1	Johdanto	4
1.1	Tutkimustyön tausta	4
1.2	Tutkimusote, lähdeaineiston keruu ja tutkimuseettisyys.....	5
1.3	Tutkimustavoite	6
2	Runkomaalaamojen esittely.....	9
2.1	Nykyinen maalaamo ja sen aiheuttamat rajoitteet	9
2.2	Uuden maalaamon toimintaperiaate ja sen tuomat edut	11
3	Simulaatio käsitteenä	17
3.1	Visual Components-simulointiohjelmisto	17
3.2	Robottien simulointi ja ohjelmointi	22
3.3	Simulointi osana Teollisuus 4.0:aa	26
4	Tuotantoympäristön digitalisointi simulaatiota varten	28
4.1	3D-skannaus, eli laserkeilaus	29
4.2	Fotogrammetria	30
4.3	Mallintaminen CAD:illa.....	32
5	Robottimaalaamosimulaation toteutus.....	34
5.1	Traktorien runkomallit simulaatiota varten.....	34
5.2	Rakennuksen ja maalaamotekniikan mallien tuonti simulaatioon.....	36
5.3	Visual Components -simulaatio	39
6	Tutkimuksen tulokset	50
7	Tutkimuksen jatkokehityskohteet ja pohdinta.....	52
7.1	Maalaustapahtuman simulointi	52
7.2	Prosessin statistiikkatoimintojen hyödyntäminen.....	54
7.3	Teach a path -toiminnon ja shrinkwrap-mallin hyödyntäminen	55
7.4	Simulaation hyödyntäminen presentaationa	57
7.5	Layout-suunnittelu	59
8	Visual Components kehityskohteet	61
	Lähteet	63
	Liitteet	66
	Liite 1. Simulaation tavoitteet.....	66
	Liite 2. Visual Componentsin tukemat tiedostomuodot.....	67
	Liite 3. Visual Components -simulaation Products-asetukset.....	68
	Liite 4. Process Flow -kaaviot	69

Liite 5. Kokoonpanovaunun prosessilogiikka	70
Liite 6. Traktorirunkojen prosessilogiikka	71
Liite 7. AGV:n prosessilogiikka	72
Liite 8. Loadbar:in prosessilogiikka	72

Kuviot

Kuvio 1 Uuden maalaamon sijainti voimansiirto- ja kokoonpanohallin välissä (Valtra.com).	4
Kuvio 2 Simulaatioprojektin vuokaavio (Simplan.de)	7
Kuvio 3 Nykyinen maalaamo osana kokoonpanolinjaa	9
Kuvio 4 ABB IRB 5400 robotit vanhassa runkomaalaamossa	11
Kuvio 5 Uuden maalaamon sijoittuminen tuotantoprosessiin	12
Kuvio 6 Kitkapyörämekanismen esimerkkikuva (Vollert.de, muokattu)	13
Kuvio 7 Traktorin runko AGV:n päällä.....	14
Kuvio 8 Uuden maalaamon prosessikaavio	15
Kuvio 9 Robotin haasteelliset maalausasennot	16
Kuvio 10 Listaus simulointiohjelmiston ominaisuuksista (Visual Components/products).....	19
Kuvio 11 Käytettävissä olevat Statement-komennot (vas.) ja Behavior-ominaisuudet (oik.)....	21
Kuvio 12 Program Editor:issa robotin aliohjelma, missä liikerata ja signaalikäskyjä.....	25
Kuvio 13 Valtran maalausrobottien ohjelmointia virtuaalisesti Robot Studiolla	26
Kuvio 14 Pistepilven ja polygoniverkollisen pintamallin erot.	30
Kuvio 15 Fotogrammetriaa varten otettu kuvasarja.	31
Kuvio 16 Fotogrammetrian muodostama 3D-malli leluautosta.	31
Kuvio 17 Fotogrammetrian tarkkuus verrattuna muihin mittausmenetelmiin (Boehm & co). .	32
Kuvio 18 Halkileikkaus shrinkwrap toiminnolla kevennetystä kokoonpanosta.	36
Kuvio 19 DWG tiedostona layout ja maalaamokuljettimen Visual Components -elementit.	37
Kuvio 20 Maalaamotekniikka lisättyä simulaatioon.	38
Kuvio 21 Maalaamotekniikka ja rakennuksen 3D-mallit lisättyä simulaatioon.....	38
Kuvio 22 Konseptiversio missä traktorinrunko nostetaan suoraan kuljettimelle.	40
Kuvio 23 AGV:n konseptiluonnos, missä rungon jättö- ja noutopiste olivat erillään.	40
Kuvio 24 Tuoteasetusten määrittäminen.	41
Kuvio 25 Feeder-asetukset simulaation tuotteille.....	43
Kuvio 26 Feeder:in From Conveyor ja kokoonpanolinjan To Conveyor -prosessipisteiden käskyt.	44
Kuvio 27 Kokoonpanolinjan nosto- ja laskupisteen simulaatio.	46

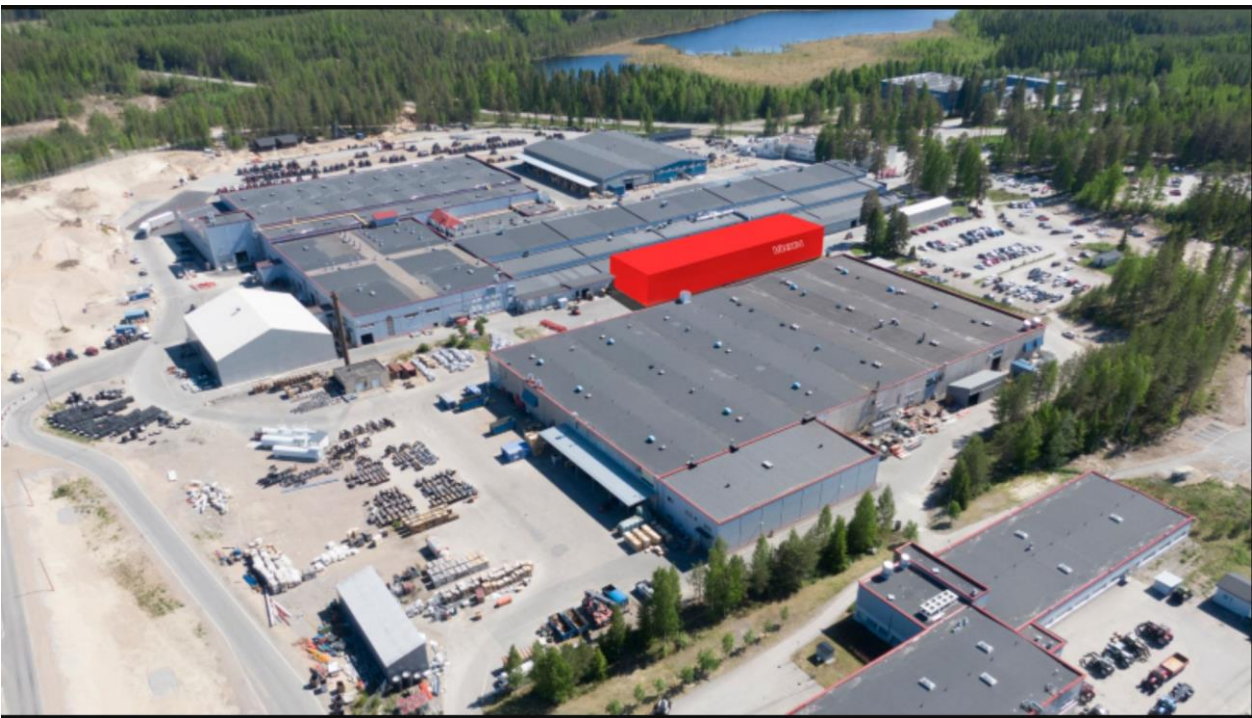
Kuvio 28 DXF-tiedosto AGV:n reitistä simulaation Z-tasolla ja AGV palauttamassa maalattua runkoa.	48
Kuvio 29 If-lausekkeet AGV:n jättöpisteellä ja linjan nosto/laskupisteellä.	50
Kuvio 30 Maalaamisen simulointi Visual Components 4.5 Premium:in Paint-toiminnolla.	53
Kuvio 31 Faceted solid -mallin ja normaalin CAD-mallin erot.	56
Kuvio 32 Teach a path -toiminnolla valittuja Faceted solid -mallin reunaviivoja.	57
Kuvio 33 Kuivausuunit VR perspektiivistä katsottuna.	59
Kuvio 34 Simulaatiomalli työpisteestä 2D-layout -malliksi käännettynä.	60
Kuvio 35 Käyttöliittymä tuotemäärittelystä.	62

1 Johdanto

1.1 Tutkimustyön tausta

Valtran traktoritehtaalla Äänekosken Suolahdessa ollaan rakentamassa uutta robotisoitua traktorien runkomaalaamaa. Tarve tutkimusaiheen robotisoidun maalausprosessin simulaatiosta ilmeni uuden maalaamon suunnittelun myötä. Robottimaalaamon toiminnan kokonaiskuvaa on hankala hahmottaa 2D-layout -kuvista, joten realistinen tietokonesimulaatio koko maalausprosessista koettiin tarpeelliseksi, joten tutkimuskysymykseksi muodostuikin, että kuinka tällainen simulaatio olisi toteutettavissa ja miten simulointimenetelmiä voisi tulevaisuudessa hyödyntää Valtralla.

Taustana maalaamoinvestoinnille on nykyisen maalaamon liian pitkä läpimenoaika, mikä muodostaa tuotantoon pullonkaulan, sekä maalaamon fyysiset rajoitteet traktorien runkokokojen aina vain suurentuessa. Uusi maalaamo sijoittuu kokoonpanolinjan sivuun, toisin kuin nykyinen maalaamo, mikä toimii osana kokoonpanolinjaa. Maalaamotekniikka rakennetaan erilliseen lisäsiipeen, mikä on noin 1 500 neliometriä pinta-alaltaan (Kuvio 1). Uuden runkomaalaamon maalausprosessi ja tekniikat esitellään tarkemmin omissa luvuissaan.



Kuvio 1 Uuden maalaamon sijainti voimansiirto- ja kokoonpanohallin välissä (Valtra.com).

Valtran emoyhtiö AGCO on ottanut käyttöön ulkomaisissa tuotantolaitoksissaan Visual Components simulointiohjelmiston yhdeksi tuotantoprosessien suunnittelun työkaluksi ja kun konsernin linjaus on yhteneväisistä ohjelmistoista, niin avautui Valtrallakin mahdollisuus tutustua Visual Componentsin simulointiohjelman tuomiin mahdollisuuksiin. Tutkimuksen tavoitteena oli saada maalausprosessista mahdollisimman realistinen simulaatio ja samalla kartuttaa Valtran sisäistä simulointiosaamista AGCO konsernin tavoitteiden mukaisesti. Tutkimuksellinen osuus keskittyi Visual Componentsin ominaisuuksien analysointiin, että millä kaikilla tavoilla ohjelmistoa voisi uudessa robottimaalausprosessissa hyödyntää.

1.2 Tutkimusote, lähdeaineiston keruu ja tutkimuseettisyys

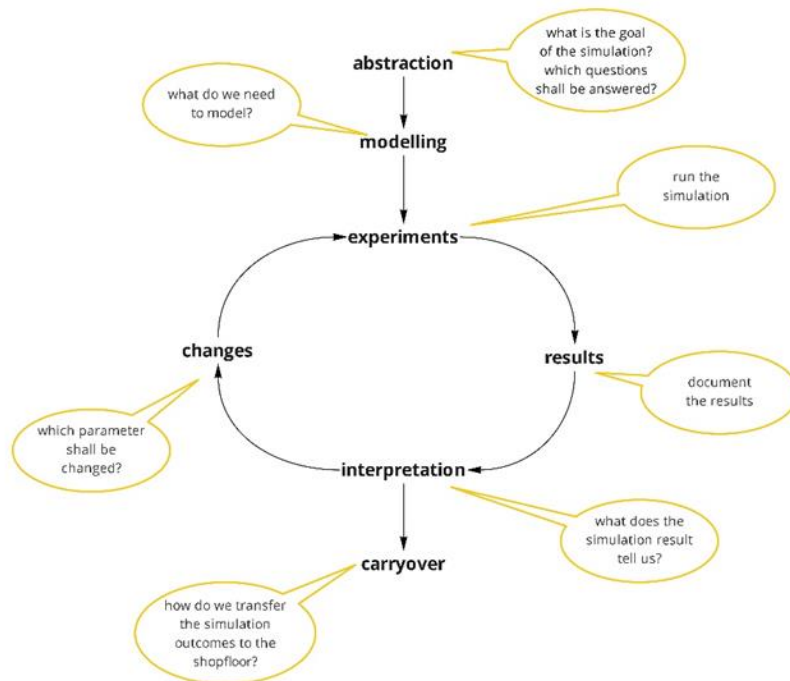
Tutkimuksen tietoperusta muodostaa synteessin simulaatiokäsitteen, tuotantotilojen digitaaliseksi malliksi kääntävien menetelmien ja Teollisuus 4.0:n välille. Simulointiohjelmiston ominaisuuksien analysoinnissa käytettiin sekä kvalitatiivista, että kvantitatiivista tutkimusotetta, kun itse tietokonesimulaation tekeminen oli toimintatutkimus. Kvantitatiivisen tutkimuksesta tekee asetettujen tavoitteiden määrä, kun taas tulosten esittely simulaation eri hyödyntämistavoista noudattaa kvalitatiivista tutkimusotetta. Kvantitatiivisessa tutkimuksessa tulos on numeerisesti esitettävissä, kun kvalitatiivisten tulosten keskenään vertaamiseen ei voida soveltaa matematiikkaa (Franklin 2013, 15–17). Toimintatutkimus on rajattu koskemaan vain maalausprosessia, joten kokoonpanolinjan toimintoja ei sisällytetty simulaatioon muuten kuin rungon maalausprosessiin noston, sekä kokoonpanolinjalle palautuksen osalta. Tietoperustaan referoitiin lähdeaineistoa, jotka käsittelevät ympäristön skannaamista digitaaliseen muotoon, simulaatiota käsitteenä, sekä digitaalista kaksosta.

Lähdeaineistoa koostettiin aiheen rajaamisen jälkeen lukemalla aiempia tutkimuksia, jotka liittyivät robotiikkaan, simulointiin, Teollisuus 4.0:aan ja kohdetta koskettamattomien mittausmenetelmien hyödyntämisestä ympäristön digitoimisessa. Näitten tutkimusten lähteistä löytyi tuoreita, enimmäkseen kansainvälisiä, kirjallisia julkaisuja kustakin aihealueesta. Lähteet olivat enimmäkseen tieteellisiä kirjoja ja e-kirjoja Janet Finna, ProQuest Ebook Central ja Skillsoft portaaleista. Nettisivustoja käytettiin lähteenä lähinnä vain yritys- ja tuote-esittelyihin, mutta niissäkin käytettiin luotettavuuden varmistamiseksi yritysten omia nettisivuja. Jotkin lähteistä olivat poikkitieteellisiä, koska julkaisuja ympäristön digitaaliseen muotoon kääntämisestä löytyi paljon lähteitä arkkitehtuurin puolelta.

Työ on tarkastettu ennen julkaisua Turnitin-plagiaatintunnistusjärjestelmällä, millä varmistetaan raporttiosion tekstin olevan lähdeaineistosta referoitua, eikä kopioitua. Työn raporttiosan kirjoittamisessa ei ole käytetty apuna Chat GPT:tä tai mitään muitakaan tekoälysovelluksia. Liitteinä olevien prosessilogiikoiden ja prosessien virtauskaavioiden kuvankaappauksien perusteella toimintatutkimuksen simulaatio on toistettavissa Visual Componentsilla kenen tahansa toimesta, mikä tuo työhön läpinäkyvyyden. Tutkimusaineistona toimi kyselykaavake, mikä on määritelty julkiseksi ja on myös tutkimusraportin liitteenä. CAD-mallien osalta noudatettiin AGCO:n tietosuojakäytänteitä ja työntilaaaja on hyväksynyt raportissa käytettyjen kuvien julkaisukelpoisuuden ennen julkaisua. Myös alihankkijoilta on kirjallinen suostumus heidän suunnittelemien ja valmistamien tuotteiden kuvankaappauksien esittämiseen julkisessa opinnäytetyö versiossa. Haastateltavilta on saatu sähköpostitse kirjallinen varmistus, että heidän kanssaan käytyihin keskusteluihin saa viitata tutkimustyössä. Näihin argumentteihin peilaten työ noudattaa yhteisesti sovittua hyvää tutkimusetiikkaa.

1.3 Tutkimustavoite

Kun simulaatioprojekti aloitetaan, tulisi simulaatiolle asettaa selkeät tavoitteet, mitä simulaatiolla halutaan simuloida ja niitten tavoitteiden pohjalta lähteä rakentamaan simulaatiota. Simulaatiolla saadaan aikaiseksi jokin tulos, mitä tulkitsemalla voidaan tehdä johtopäätöksiä. Hyvällä simulaatiolla on helppo testata siihen asetettujen parametrien muutoksen vaikutus simulaation lopputulokseen. Näillä useilla simulointikierröksillä saadaan selville eri parametrien vaikutus simuloitavaan kokonaisuuteen, minkä perusteella voidaan implementoida muutoksia tosielämän prosessiin. Tällainen simulaation parametrien avulla iterointi on esitetty vuokaaviona kuviossa 2 Simplan nimisen saksalaisen simulointipalveluja tarjoavan yrityksen nettisivujen mukaan. Vastaavaa vuokaavio on käytössä AGCO:n yhteisessä Visual Componentsia koskevassa toimintaohjeessa.



what is crucial for good simulation results:

- exact goal definition that is aligned with the stakeholders
- clarity about what is necessary and what is not. A good simulation isn't too detailed but still detailed enough to answer all raised questions
- the simulation needs to be varified: avoid blind trust!
- a good simulation requires regular feedback sessions with the stakeholders (there need to be several meetings between the kick-off and the final result meeting)

common mistakes:

- unspecific requirements & key figures
- false or incomplete goal definition
- too detailed and time consuming modelling
- too vague modelling, results are useless

Kuvio 2 Simulaatioprojektin vuokaavio (Simplan.de)

Tutkimuksen aihe robottimaalaamon simulaatiosta alkoi konseptisuunnitteluna, missä alustavia hyvin yksinkertaisia simulaatioita rakennettiin sitä mukaa, kun maalaamoprojektissa mietittiin erilaisia teknisiä ratkaisuja. Kun maalaamoprosessiin liittyvät teknologiat olivat valittu, asetettiin robottimaalaamon simulaatiolle tavoitteet maalaamon projektiryhmän toimesta (Liite 1). Maalaamon projektiryhmää edusti tavoitteiden asettamisessa Mikko Santakallio (Manager, Projects) ja hän toimi myös opinnäytetyössä työntilajana. Simulaation tavoitteiksi asetettiin:

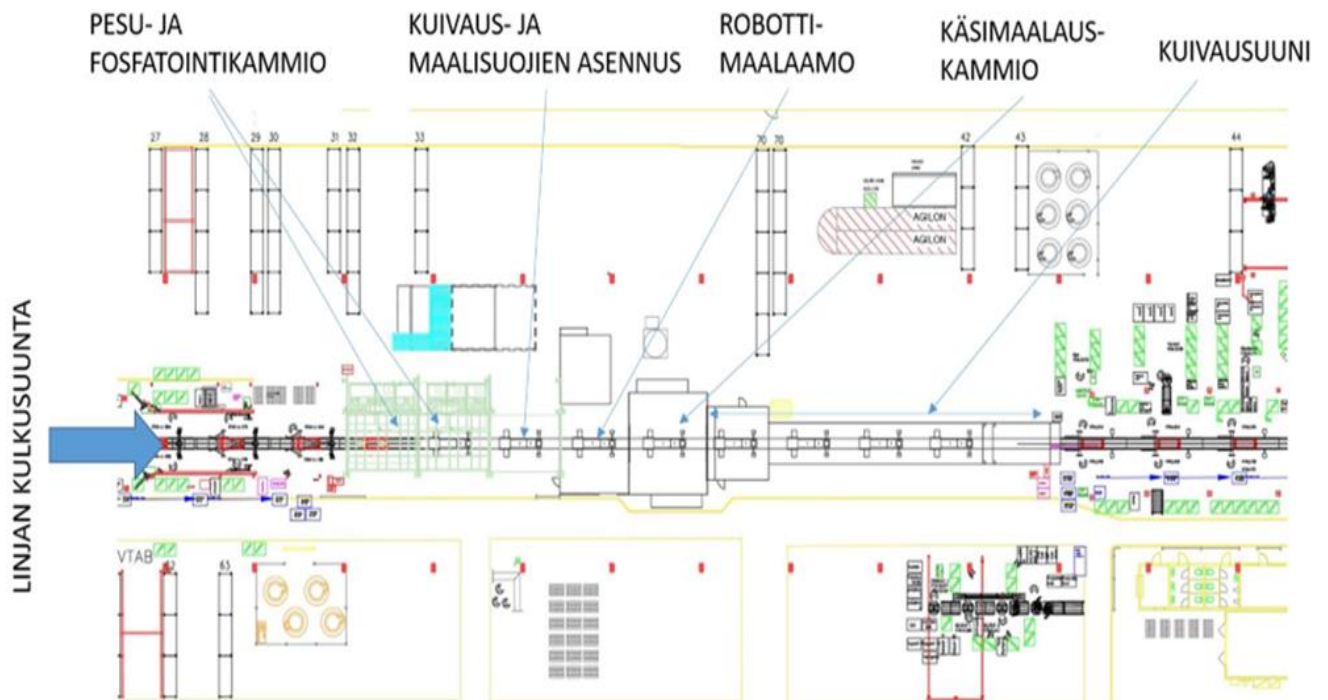
- Kokonaisprosessin eri tahtiaikojen ja tuotemixien testaaminen
- Kokoonpanolinjan ja maalaamon keskinäisen tahdistaminen, sisältäen AGV siirrot
- Traktorimallien fyysisten rajoitteiden havainnointi simulaation avulla
- Tuotannollisten pullonkaulojen tunnistaminen prosessista simulaation avulla
- Tuotannon erilaisten häiriötilojen testaaminen simuloinnilla

Toimintatutkimuksena valmistunut simulaatio saavutti sille asetetut tavoitteet pääpiirteittäin, mutta simulaation käytettävyyteen jäi vielä kehitettävää. Lisäksi simulaatio ja siten opinnäytetyön aikataulu viivästyi ulkopuolisista syistä noin vuoden, joten simulaatiosta ei saatu optimaalista hyötyä nyt meneillään olevaan maalaamoprojektiin liittyen. Tutkimuksesta saatiin kuitenkin kaivattua simulaatio-osaamista ja tutkimuksen loppuvaiheessa pääpaino siirtyikin jatkokehitysideointiin Visual Componentsin mahdollisesta hyödyntämisestä eri tavoin muissa projekteissa. Opinnäytetyössä käytettiin AGCO:n lisenssillä Visual Componentsin Professional 4.3 ohjelmistoversiota, sekä JAMKin lisenssillä versiota Premium 4.5. Tutkimustyön pohjalta ehdotettiin AGCO-konsernin Visual Components lisenssejä hallinnoiville tahoille päivitystä Premium-versioon, jolloin simulointiohjelmaa voitaisiin hyödyntää paremmin maalausrobottien ohjelmoinnissa ja maalausohjelmien testaamisessa.

2 Runkomaalaamojen esittely

2.1 Nykyinen maalaamo ja sen aiheuttamat rajoitteet

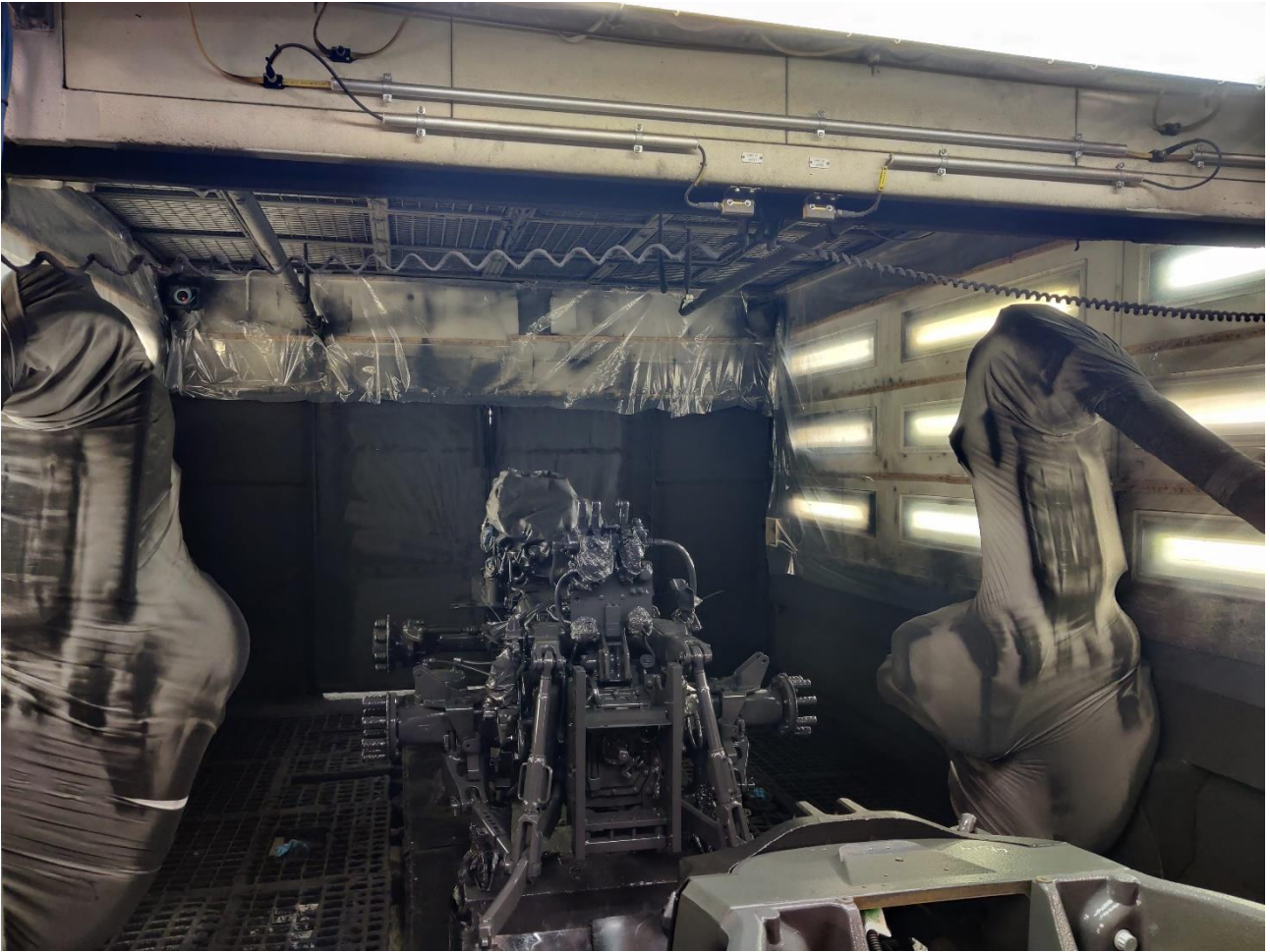
Nykyinen runkomaalaamo on osa kokoonpanolinjaa vieden siitä 10 työpisteen verran tilaa. Kokonaisuudessaan maalauslaitos sisältää pesu- ja esikäsittelykammion, kuivaus- ja suojauskammion, robottimaalausammion, käsimaalausammion ja kuivausuunin (Kuvio 3). Maalausprosessin minimi tahti aika on nykyisellä maalaamolla noin 12 minuuttia, missä ajassa maalin kuivuminen on vielä siedettävällä tasolla. Maalausprosessiin kulunut aika määrittää myös kokoonpanolinjan nopeuden, joten maalaamon on todettu olevan selkeästi tuotannon pullonkaula. Maalin kuivuminen on siis ollut este kokoonpanolinjan toimimiselle täydellä kapasiteetilla.



Kuvio 3 Nykyinen maalaamo osana kokoonpanolinjaa

Nykyistä maalaamoa vaivaa myös tilarajoite, kun uusien isojen traktorimallien rungot ovat niin pitkiä, että maalausrobotilla ei saada laadukkaasti maalattua traktorirungon etu- ja takaosaa. Suurimmista malleista on poistettava maalauksen ajaksi etunostolaitteen nostovarret ja ne on maalattava erikseen, koska traktorinrunko ei mahdu maalaamoon nostovarret asennettuna. Maalaamoinvestoinnilla on tarkoitus – tuotantoprosessin nopeuttamisen lisäksi – parantaa lopputuotteen laatua, koska nykyisessä maalaamossa maalauksen esikäsitteilyprosessi ei anna riittävää suojaa korroosiota vastaan, eikä poista epäpuhtauksia maalattavasta pinnasta riittävän hyvin. Tämä aiheuttaa tuotteeseen myöhemmin kosmeettista haittaa, kun se altistuu ilmankosteudelle ja vedelle. Maalauksen esikäsitteilyt ovat uudessa ja vanhassa maalaamossa periaatteeltaan ja kemialtaan samankaltaisia sisältäen rasvanpoiston, normaalilla hanavedellä huuhtelun, demineralisoidulla vedellä huuhtelun, esikäsitteilyaineella pinnoituksen ja kuivauksen.

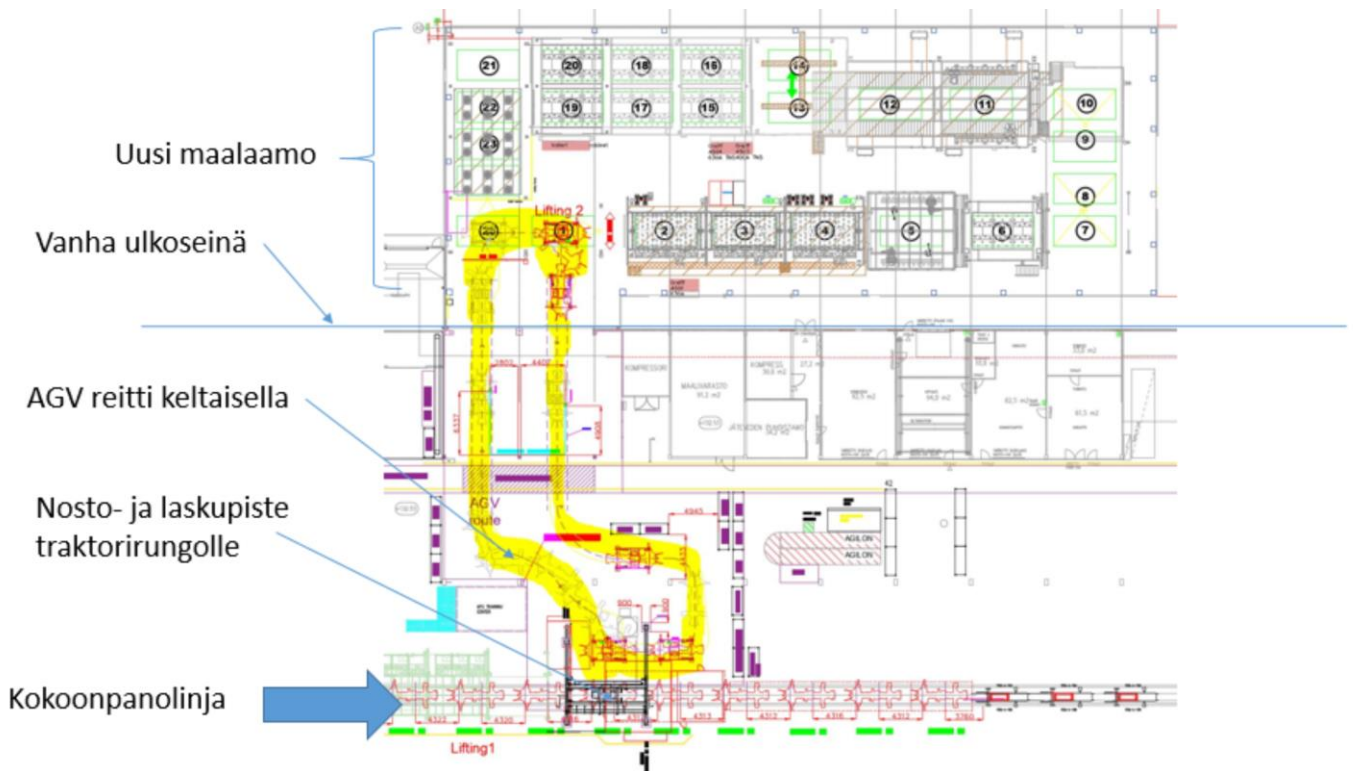
Nykyisessä maalaamossa on käytössä 2 kpl ABB IRB 5400 maalausrobotteja, jotka liikkuvat maalaamossa 6 m pitkiä johteita myöten. IRB 5400 robotit ovat itsessään 6-akselisia ja johteisiin asennettuna 7-akselisia, erityisesti maalaamiseen tarkoitettuja ohuella varsirakenteella ja suurella ulottumalla olevia robotteja (IRB 5400 datasheet n.d.). Maalausprosessissa hyödynnetään staattista sähkövarausta, mikä muodostaa potentiaalieron maaliruiskun ja maalattavan kappaleen väliin ja siten vähentää ohiruiskutuksen määrää, kun staattinen sähkövaraus vetää maaliumun maalattavaan pintaan. Robotit on uusittu vuonna 2015, joten niitä on päätetty hyödyntää uudessa maalaamossa, koska niillä on elinkaarta vielä pitkästi jäljellä. (Kuvio 4).



Kuvio 4 ABB IRB 5400 robotit vanhassa runkomaalaamossa

2.2 Uuden maalaamon toimintaperiaate ja sen tuomat edut

Uusi runkomaalaamo vapauttaa kokoonpanolinjasta tilaa, koska se sijaitsee kokoonpanolinjan sivussa. Tämä mahdollistaa jopa 6 lisätyöpisteen lisäämisen kokoonpanolinjaan, ja sitä kautta entistä nopeamman kokoonpanolinjan tahtiajan sen lisäksi, että itse maalausprosessi nopeutuu huomattavasti nykyisestäään suunnitellulla 8 minuutin tahtiajalla. Uuteen maalaamoprosessiin kuuluu traktorinrunгон siirtäminen kokoonpanolinjalta vihivaunun, eli AGV:n (Automated Guided Vehicle) päälle, rungon nosto maalauslinjaston riippukuljettimeen, pesu- ja pohjakäsittelyprosessi, kuivausprosessi ja veden kuivausunitus, robottimaalaus ja -lakkaus, maalinkuivatus, laskeminen takaisin AGV:n päälle ja nosto takaisin kokoonpanolinjalle (Kuvio 5).



Kuvio 5 Uuden maalaamon sijoittuminen tuotantoprosessiin

Maalaamotekniikka

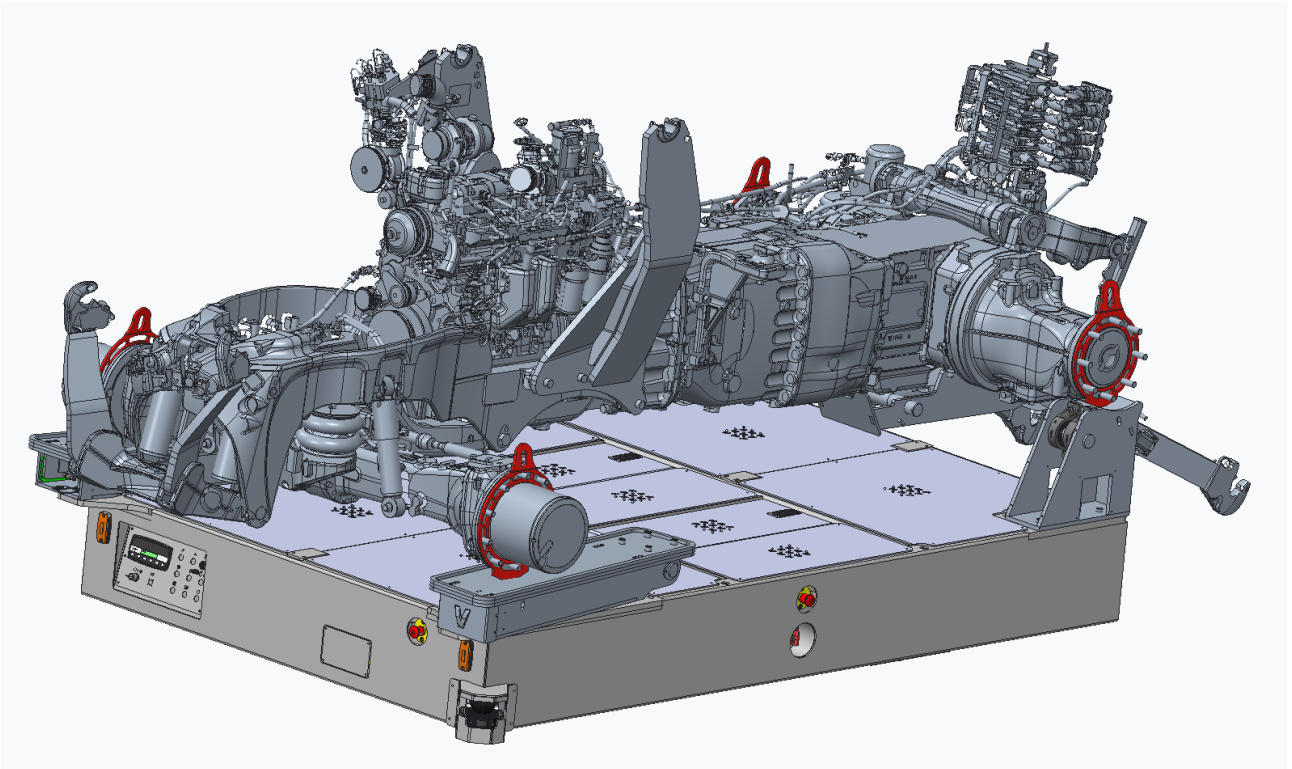
Maalaamotekniikka, sisältäen pesu- ja kuivaus- ja robottimaalauskammiot, on ruotsalainen Greiff industrimiljö AB:n toimittamat ja kuljetintekniikka puolestaan saksalaisen Vollert:in toimittamat. Vollert:in kuljetintekniikassa hyödynnetään kitkapyöräkuljetinta perinteisen kuljetinketjun sijaan. Tämä mahdollistaa erilaiset siirtonopeudet ja eritahtisen toiminnan maalaamokuljetinkierron sisällä, kun perinteisemmällä kuljetinketjulla kaikki toiminnot liikkuisivat yhtä aikaa. Kitkapyöräkuljettimen toiminta perustuu sähkömoottoreihin ja niihin asennettuihin vetopyöriin, mitä on sijoitettu tasaisin välein kuljetinkierto. Kuljetinpalkki, mihin traktorin runko ripustetaan, kulkee vapaasti rullapyörillä I-palkkia myöten ja sähkömoottorien pyörittämät vaakatasossa olevat kitkapyörät vetävät kuljetinpalkkia sivuista eteenpäin (Kuvio 6). Moottoroituja kitkapyöriä on sijoitettu kuljetinlinjastoon siten, että jokainen kuljetinpalkki on aina yhden vetävän kitkapyöräparin vaikutusalueella, joten ei tule tilannetta missä kuljetinpalkki ei pääsisikään liikkeelle.



Kuvio 6 Kitkapyörämekanismiin esimerkkikuva (Vollert.de, muokattu)

Automated Guided Vehicle

AGV:t toimittaa kotimainen Pietarsaassa sijaitseva Solving Oy Ab, mikä on erikoistunut valmistamaan automaattisia raskaiden taakkojen siirtojärjestelmiä. Runkojen siirto maalaamoon ja takaisin toteutetaan AGV:llä, jolloin ne kiertävät kehää kokoonpanolinjan ja maalaamon välillä. Omat haasteensa AGV:n liikkeille tuo tiuhassa olevat hallin pilarit ja risteävä käytävä, missä on paljon trukki- ja jalankulkuliikennettä. AGV:n pyörien rakenne on ympäripyörivä, jotta AGV ja sen päällä oleva pitkä traktorinrunko mahtuvat kääntymään mahdollisimman pienessä tilassa ja siten kulkemaan kokoonpanohallin ja maalaamokuljettimen tukipilareiden välistä (Kuvio 5). Traktorinrunko laskeaan AGV:n päällä olevien adapterien varaan, missä on painotunnistuksena kuorman tilatieto. Lisäksi AGV:ssä on ristikkäisissä nurkissa turvaskannerit ja joka sivulla Häätä seis -napit turvatoimintoina (Kuvio 7).

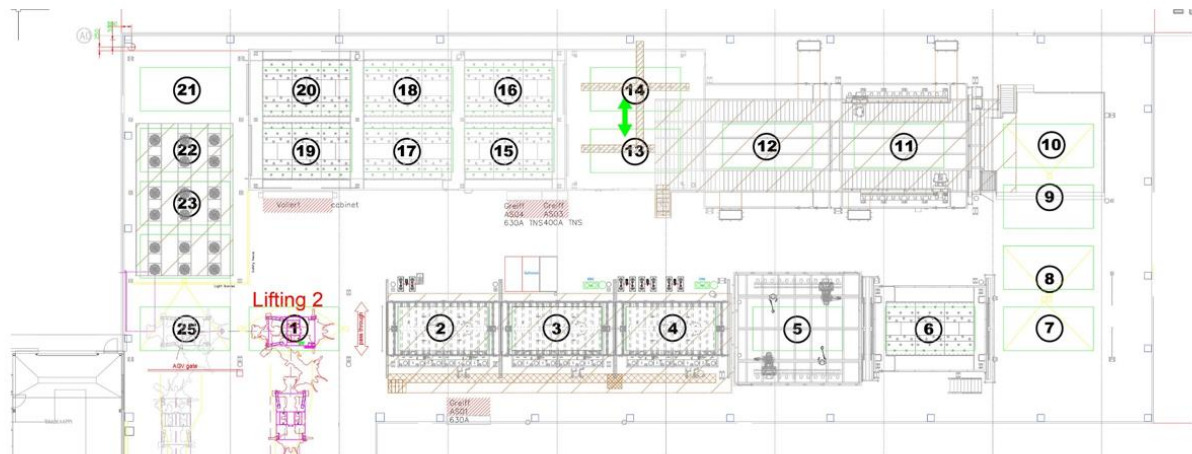


Kuvio 7 Traktorin runko AGV:n päällä

Maalaamon esikäsitteily

Esikäsitteilyprosessien erot vanhan ja uuden maalaamon välillä ovat teknisiä, kun itse esikäsitteilykemialla pysyy samana. Vanhassa esikäsitteilyssä rasvanpoistoaine suodatetaan vain yhdellä suodattimella, kun uudessa esikäsitteilykammiossa on rasvanpoistoaineelle 2+2 suodatinta, joista aina vain kaksi on käytössä. Tällä suodatinjärjestelyllä voidaan toiset kaksi suodatinta vaihtaa esikäsitteilyprosessia keskeyttämättä. Suuri etu uudessa järjestelmässä rasvanpoistopesuun liittyen on, kun uudessa maalaamossa kokoonpanolinjan ketju ja kokoonpanovaunu ei mene enää esikäsitteilyläpi, mikä vähentää pesuun tulevan öljyn määrää huomattavasti. Kokoonpanovaunu ja linjan ketju öljyntyvät kokoonpanolinjalla, koska monet traktorin hydraulikkakomponentit sisältävät pienen määrän öljyä, mikä valuu kokoonpanovaunun ja kuljetinketjun päälle, kun hydraulikkaliitoksia tehdään kokoonpanossa. Toisaalta kokoonpanolinjan kuljetinketju olisi kuitenkin oltava voideltu riittävä pitkän käyttöiän takia, mutta pesuprosessiin öljyä ei saisi mennä, joten nykyinen esikäsitteilyprosessin rakenne ei ole optimaalinen.

Huuhtelutoimintoon uusi esikäsitteilyprosessi tuo parannuksen siten, että demineralisoidulle vedelle on omat suljetut kiertonsa, jolloin se ei pääse sekoittumaan normaalin hanaveden ja rasvanpoistoaineen kanssa, jolloin se pysyy paremmin puhtaana. Esikäsitteilyn pinnoitusaineena sekä vanhassa että uudessa maalaamossa toimii Henkelin Bonderite M-NT 30001, mikä on fosfaatti- ja raskasmetallivapaa aine. Pinnoituksen jälkeen vanhassa esikäsitteilykammiossa seuraava prosessi oli uunitus, missä traktorin runkoa kuumennetaan, että se saataisiin kuivaksi. Tämän jälkeen sitä kuivataan vielä paineilmalla puhaltamalla kaikkiin koloihin ja taskuihin jäänyt vesi pois. Uudessa maalaamossa nämä kuivausvaiheet tehdään käänteisesti, jolloin runkoihin jäävän veden määrä vähenee huomattavasti, kun irtovesi puhalletaan pois ennen uunittamista. Uudessa maalaamossa puhalluskuivaukseen tarkoitetussa kammiossa on myös varaus kuivausprosessin robotisointiin jälkeensä. (Kuvio 8).



- | | |
|---|--|
| 1. AGV:n jättö- ja ottopaikka | 2-4. Esikäsitteilykammiot |
| 5. Puhalluskuivauskammio | 6. Vedenkuivausuuni |
| 7-10. Rungot odottamassa maalausta | 11. Maalausammio |
| 12. Lakkausammio | 13-14. Sivuttaissiirto kuivausuuneihin |
| 15.17.19 Kuivausuuni vasen linja | 16.18.20 Kuivausuuni oikea linja |
| 21.22.23.25 traktorirungot odottamassa AGV:n palautusta | |

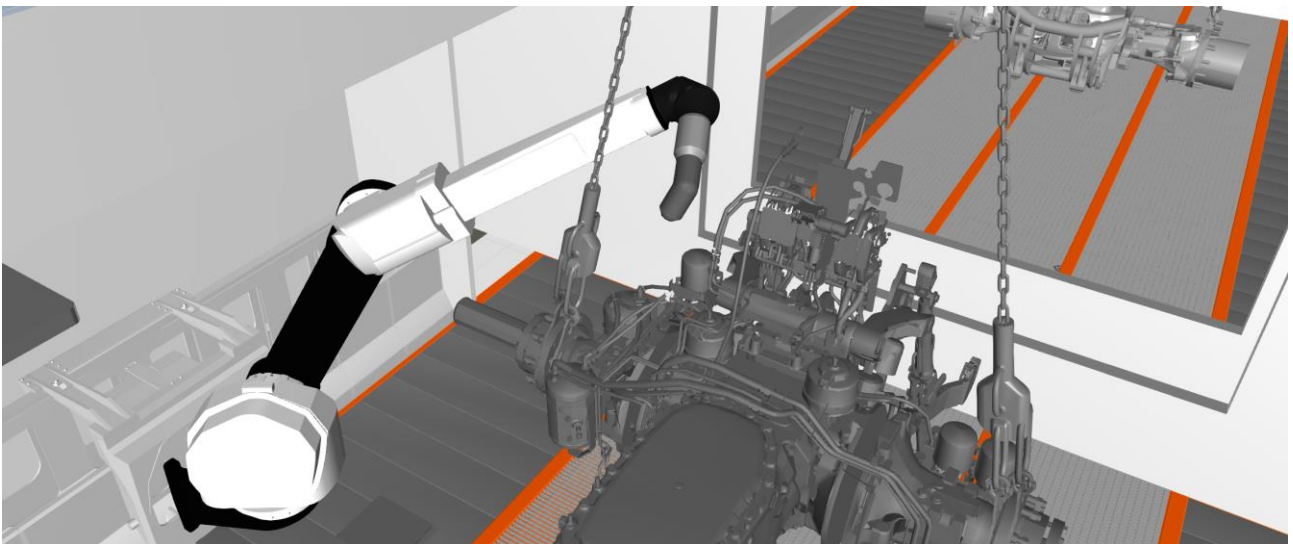
Kuvio 8 Uuden maalaamon prosessikaavio

Näiden parannusten lisäksi uusien esikäsitteilykammioiden valutusaltaitten pohjan rakenne on sellainen, että käsitteilynesteen valutusaika on pienempi kuin nykyisessä, mikä vähentää eri esikäsitteilyprosessissa käytettyjen aineiden keskenään sekoittumista. Näillä muutoksilla esikäsitteilyä saadaan tehostettua uudessa maalaamoprosessissa huomattavasti, jolloin tuotteen korroosionkestävyys ja siten tuotteen laatu paranee.

Maalausrobotit

Maalaaminen asettaa roboteille monenlaisia erityisvaatimuksia. Räjähdysherkässä liuotinpohjaisessa maaliumussa toimivien laitteiden on oltava EX-luokiteltuja ja robotin komponentit on oltava niin hyvin suojattuja ettei maaliumu pääse jumittamaan ja rikkomaan niitä. ABB:n valmistamat IRB 5500 ja IRB 5400 mallit ovat erityisesti maalaukseen tarkoitettuja 6-akselisia robotteja. Pitkä ja ohut varsirakenne ja suuret liikenopeudet mahdollistaa suurten ja monimutkaisten kohteiden maalaamisen, myös onttojen kappaleiden sisäpintojen maalaamisen (interior painting). Robotit ovat asennettavissa sekä kiinteästi, että johteille, jolloin ne ovat 7-akselisia.

Traktorirunkojen maalaamisessa robottien 7-akselisuus, eli johteille asennus on lähes välttämätöntä, koska suurin traktorimalli on rungoltaan 3,1 metriä pitkä, kun robotin ulottuvuus on maksimissaan 2696 mm (Technical data n.d.). Lisäksi haasteita traktorirunkojen maalaamiseen tuo niiden monimuotoiset pinnat, mikä edellyttää robotilta ohutta varsirakennetta. Tämä korostuu uudessa maalaamossa, kun traktorirungot on ripustettu ketjuilla maalaamokuljettimeen ja robotit joutuvat varrellaan kiertämään niitä (Kuvio 9).



Kuvio 9 Robotin haasteelliset maalausasennot

3 Simulaatio käsitteenä

Teknillisen mallin määritelmän mukaan se on fyysinen, matemaattinen tai looginen mukaelma järjestelmäkokonaisuudesta, ilmiöstä tai prosessista. Simulaatio tarkoittaa käsitteenä mallin käytöksen toteutumista ajan kuluessa. Simulaatio tavallaan herättää mallin henkiin ja näyttää kuinka kyseinen malli tai ilmiö käyttäytyy ajan kuluessa. (Systems Engineering Fundamentals 2001, 117.)

Simulaatiota voidaan hyödyntää mallintamalla tapahtumia, joiden kokeileminen todellisuudessa olisi liian monimutkaista, kallista, vaarallista tai hidasta. Tietokonesimulaatiot perustuvat matemaattisiin kaavoihin ja niiden pohjalta luotuihin sääntöihin, joiden avulla todellista tilannetta simuloidaan. Näitä muuttujia ja sääntöjä muokkaamalla voidaan tietokonesimulaatiota hyödyntää suunnittelussa ja prosessin hahmottamisen apuna. (Simulation n.d.)

Tietokonesimulaatioita käytetään laajasti tieteessä ja teknologiassa. Esimerkiksi sääennustukset perustuvat simulaatioihin ilmakehän tapahtumista. Niissä matemaattisilla kaavoilla saadaan laskettua todennäköisin säämalli ja näin saadaan tulevasta säätilasta ennuste (Weather forecast models 2022). Teknologiassa simulaatioita voidaan tehdä hyvinkin kohdennetusti johonkin haluttuun ilmiöön tai aihealueeseen, esimerkiksi hydraulikkakomponenttien virtausten simulointia tai jonkin rakenteen mallin käytönaikaiseen lujuustarkasteluun, kun siihen kohdistuu erilaisia ulkoisia voimia. Kohdennetun simuloinnin esimerkkinä Diabatix ColdStream, mikä on termodynamiikkaan keskittyvä lämpötilojen vaikutuksia simuloiva ohjelmisto, mitä käytetään jäähdytyslementtien valintaan ja suunnitteluun (ColdStream n.d.). Tuotantoprosessien simulointiin sopivia ohjelmistoja on useita, esimerkiksi Anylogik, FlexSim, Simul8, Simio, Simcad ja Visual Components.

3.1 Visual Components-simulointiohjelmisto

Visual Components Oy on suomalainen vuonna 1999 perustettu yritys, joka kehittää ja myy Visual Components nimistä simulointiohjelmistoa. Yrityksen henkilöstömäärä vuonna 2021 oli 56 henkilöä ja liikevaihto oli noin 9 miljoonaa euroa (Kauppalehti n.d.). Yritys sai alkunsa, kun simulointiexperteistä koostuvalla tiimillä oli tavoitteena yksinkertaistaa tuotannosuunnittelua ja teknologiasimulointia siten, että se olisi helppokäyttöistä ja kaiken kokoisten tuotanto-organisaatioiden helposti lähestyttävissä. Seuraava askel oli kehittää simulointiohjelmisto KUKA robottivalmistajalle robottien offline-ohjelmointiin ja toiminnan simulointiin. Vuonna 2005 julkaistiin ensimmäinen 3D-

tuoteperhe Visual Components brändille. Kokonaan uuteen ohjelmistoarkkitehtuurin ja alustaan pohjautuva Visual Components 4.0 julkaistiin vuonna 2016. Avoimen lähdekoodin ohjaintirajapinta mahdollistaa toimintojen helpon muokattavuuden ja kolmannen osapuolen ohjelmistoaplikaatioiden kehittämisen. (About us n.d.)

Tuoteportfolio sisältää kolme eri versiota ohjelmistosta: Essentials, Professional ja Premium. Tuorein ohjelmistoversio on 4.5, minkä Essentials versio mahdollistaa tehdassimulaatiot, virtuaaliset prosessien käyttöönotot, robottien perusohjelmoinnit, myyntisisällön luomisen, VC Experience mobiiliapplikaation simulointien katseluun ja jakamiseen, sekä virtuaalitodellisuus (VR) mahdollisuuden simulaatioiden tarkasteluun. Tarkempi listaus eri versioiden sisältämistä ominaisuuksista (Kuvio 10).

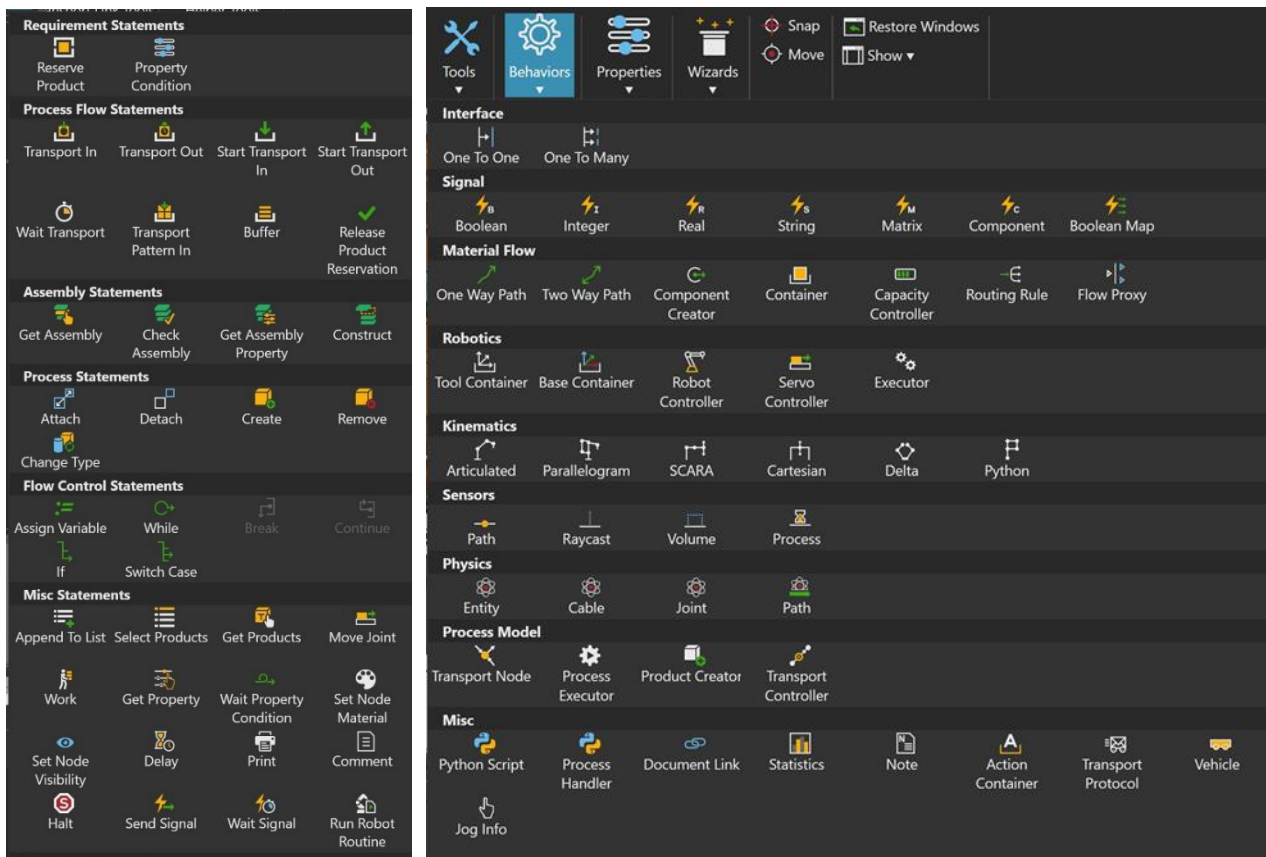
	Essentials Learn more	Professional Learn more	Premium Learn more
+ Expand all			
+ 3D Layout Configuration	✓	✓	✓
+ Process Modeling	✓	✓	✓
+ eCatalog	✓	✓	✓
+ CAD File Import	✓	✓	✓
+ Import 2D Drawings	✓	✓	✓
+ CAD Attribute Reader	✓	✓	✓
+ Point Cloud	✓	✓	✓
+ Statistics	✓	✓	✓
+ PLC Connectivity	✓	✓	✓
+ Simple Robotics	✓	✓	✓
+ Sales Content Creation	✓	✓	✓
+ VC Experience	✓	✓	✓
+ Component Modeling		✓	✓
+ Pre-Built Wizards		✓	✓
+ Basic Solid Geometry		✓	✓
+ Geometry Simplification		✓	✓
+ KUKA OLP Solution			✓
+ ABB Robot Connectivity			✓
+ Fanuc Robot Connectivity			✓
+ Siemens S7 – PLC Connectivity			✓
+ WinMOD and SIMIT Connectivity			✓
+ Geometrical CAD data for Robot Paths			✓
+ Path Statements			✓
+ Paint Process Visualization			✓
+ FBX Exporter			✓
+ VRC Connectivity for UR and Stäubli			✓
+ Interactive VR			✓
+ Web Viewer for custom HMIs			✓
+ VR/3D Conferencing			✓

Kuvio 10 Listaus simulointiohjelmiston ominaisuuksista (Visual Components/products)

Ohjelmistossa on valmis eCatalog-komponenttikirjasto, missä on yli 2900 erilaista teollisuudessa käytettävää komponenttia, sekä yli 1700 robottimallia valmiina (eCatalog n.d.). Lisäksi simulaatioon on mahdollista tuoda omia CAD-malleja import-toiminnolla ja jopa lisätä niihin toiminnallisuuksia. Professional versio ohjelmasta pitää sisällään samat ominaisuudet kuin Essentials, mutta niiden lisäksi sillä on mahdollista luoda toiminnallisia ominaisuuksia ja kinematiikkaa simulaatioon tuotuihin CAD-malleihin, sekä jopa luoda 3D-geometrioita. Premium-versiossa on kaikkien edellä mainittujen lisäksi kehittyneempi prosessin virtuaalisen käyttöönoton simulointi, mikä mahdollistaa esimerkiksi suoran liitettävyyden Siemensin ohjelmoitaviin logiikoihin, sekä edistyksellisemmän robottiohjelmoinnin, sisältäen myös maalausprosessin visuaalisen simuloinnin. Visual Components Experience -lisäohjelma virtuaalisen todellisuuden ominaisuuksiin on saatavilla kaikissa Visual Componentin 4.5 versioissa. (Products n.d.)

Visual Componentsilla on mahdollista rakentaa simulaatioita usealla eri tavalla. Esimerkiksi kokoonpanolinja on mahdollista toteuttaa automaationa sensoreilla, moottoreilla ja niiden välillä kulkevilla signaaleilla PLC-ohjelmointina. Tällä voidaan simuloida kokoonpanolinjan toimintalogiikkaa ja testata eri muutoksien vaikutusta siihen.

Vaihtoehtoisesti kokoonpanoa voi simuloida Visual Componentsin prosessityökaluilla (Process Modeling), mihin määritetään mitä kussakin prosessipisteessä (Process Node) tapahtuu milläkin hetkellä ja missä järjestyksessä. Näillä Statement-käskyillä tai lausekkeilla voidaan asettaa simulaation prosessipisteeseen ehtoja, odottaa signaaleja, lähettää signaaleja, muuttaa tuotteen statusta ja lähettää niitä tuotteen tilasta tai tyylistä riippuen vaihtoehtoihin seuraaviin prosessipisteisiin (Kuvio 11). Prosessiin määritellään valmistettavat tuotteet ja tuoteryhmät, sekä reitit miten ja millä tuotteet prosessin aikana liikkuvat (Process Flow).



Kuvio 11 Käytettävissä olevat Statement-komennot (vas.) ja Behavior-ominaisuudet (oik.)

Tuotteita voidaan siirtää prosessipisteeltä toiselle lineaarisella interpolaatiolla, missä kappale siirtyy määritetyssä ajassa suorassa linjassa pisteeltä toiselle, robotin avustamana, joko varsi- lineaariksi tai mobiilirobotilla. Näiden lisäksi voidaan käyttää tuotteen siirtämiseen ihmistyövoimaa tai nosturia. Liukuhihnakuljettimella siirtämisessä tuote reagoi liukuhihnalle määritetyillä parametreillä, joten kuljetinta voidaan pysäyttää ja käynnistää prosessipisteiden signaalitoiminnoilla.

Lopuksi prosessipisteet ketjutetaan toisiinsa Transport-komennoilla, millä määritetään prosessin simulaation aikainen kulku. Tällaisella simulaatiolla voidaan myös kerätä статистиikkaa simuloitavan prosessin pullonkaloista. Lisäksi simuloinnissa voidaan yhdistellä näitä eri ohjausmenetelmiä tarpeen mukaan esimerkiksi määrittämällä Process node:en Send Signal ja Wait Signal -komentoja.

Jos kattavasta eCatalog-kirjastosta ei löydy simuloinnissa tarvittavaa komponenttia, on sellainen mahdollista tehdä Visual Componentsilla. Ohjelmalla voidaan mallintaa haluttu 3D-geometria ja määrittää sille toimintoja (Behavior) esimerkiksi kinemaattisia liikeratoja ja muita koneellisia ominaisuuksia, signaaliyhteyksien lisäämistä, ja materiaalivirtaan liittyviä toimintoja (Kuvio 11). Edistyneemmille käyttäjille Visual Components antaa lähes rajattomat mahdollisuudet muokattavuuteen sen Python ohjelmointirajapinnan takia, mikä mahdollistaa haluttujen ominaisuuksien koodaamisen jo olemassa olevaan tai itse mallinnettuun komponenttiin Python Editorilla.

Visual Components simulointiohjelmaa voi kuitenkin käyttää täysipainoisesti ilman minkäänlaista koodausosaamista. Ohjelmassa valmiina olevia eCatalog-komponentteja voi muokata helposti Home-välilehden sivuvalikosta, missä on komponentin oleelliset parametrit alavetovalikkoina tai päälle/pois ruksattavina ominaisuuksina. Myös useimpien komponenttien koko on määriteltävissä ja esimerkiksi kuljettimien ja nostureiden tukijalkojen määrät, hyllytasojen määrät, kuljettimien tyyppi ja leveys ovat helposti asetettavissa Component Properties -ikkunasta ilman koodaamista. Edellä mainittu Import-toiminto kattaa useimmat 3D-mallien tallennusformaatit, joten simulaatioprojektiin voi tuoda monen eri CAD-ohjelmiston malleja (Liite 2).

3.2 Robottien simulointi ja ohjelmointi

Robotilla yleisesti tarkoitetaan konetta, joka suorittaa sille määrättyä liikesuoritetta automaattisesti siihen ohjelmoidun ohjelman mukaisesti. Mekaaniset robotit on suunniteltu korvaamaan tai helpottamaan sellainen ihmisen työsuorite, mikä on yksitoikkoinen, vaarallinen tai muutoin raskas (Gupta, Arora, Westcott 2017, 401). Teollisuusrobotti määritellään ISO standardissa 10218-1 seuraavasti:

“Teollisuuden automaatiosovelluksissa käytettäväksi tarkoitettu automaattisesti ohjattu, uudelleen ohjelmoitavissa oleva monikäyttöinen käsittelylaite, jonka akseleista vähintään kolme on ohjelmoitavissa ja joka voi olla kiinteästi asennettu tai liikkuva” (SFS-EN ISO 10218-1, 12).

Robotteja voidaan ohjelmoida usealla eri tavalla riippuen robotin koosta, tyylistä ja käytettävissä olevista ohjelmointilaitteista. Online-ohjelmointina robottisolussa ohjaamalla robottia manuaalisesti käyttöpaneelin avulla tekemään halutut liikkeet. Tätä käytetään yleensä ohjelmien muokkaukseen tai hienosäätöön. (Gupta, Arora, Westcott 2017, 479–480).

Johdattamalla tapahtuva ohjelmointi on yleinen pienempien varsirobottien ja Cobottien, eli yhteistyörobottien ohjelmointitapa. Siinä robotin nivelvarsta manipuloidaan käsin tai hallintapaneeli haluttuun asentoon ja nämä pisteet tallennetaan robotin käyttöliittymästä ohjelmaksi.

Offline-ohjelmointi (OLP) tapahtuu tietokoneella täysin erillään sekä fyysisesti, että ohjelmallisesti ohjelmoitavasta robottisolusta. Robottien tuotantoseisokkiaika pienenee ohjelman vaihdon hetkellä huomattavasti, kun fyysiseen robotin toimintaa ja meneillään olevaa tuotantoa ei tarvitse keskeyttää ohjelmoinnin ajaksi. (Gupta, Arora, Westcott 2017, 484–485.) Kun tietokoneella tapahtuvaan Offline-ohjelmointiympäristöön saadaan 3D-malleina robotin käsittelevät kappaleet ja työpisteen muut robotin toimintaan kuuluvat elementit, voidaan tapahtumaa kutsua simuloinniksi.

Simuloinnilla voidaan varmistaa, että miten robotti toimii suunnitellussa työympäristössään ja sillä voidaan helposti kokeilla esimerkiksi robottisolun erilaisia layouteja ja erilaisien robottimallien soveltuvuutta työtehtävään. Simuloinnin tekovaiheessa ei tarvita edes fyysistä robottia, vaan riittää kun on lähtötiedot työskentelyalueesta ja käsiteltävistä kappaleista, niin simulointi ja ohjelmointi voidaan tehdä niiden pohjalta. Simulointia voidaan siis hyödyntää, kun ollaan suunnittelemassa jonkin työsuorituksen robotisointia ja siihen sopivan robotin hankintaa. Robotin suorittama ohjelma voidaan tehdä ja testata simulaatiossa virtuaalisesti, missä sen liikkeet ovat täysin todellisuutta vastaavat. Simulaatiossa tapahtunut ohjelmavirhe ei aiheuta taloudellisia tappioita eikä työturvallisuusriskejä, joten simuloimalla kiinni saatavat ohjelmoinnissa tapahtuneet virheet säästävät huomattavasti rahaa.

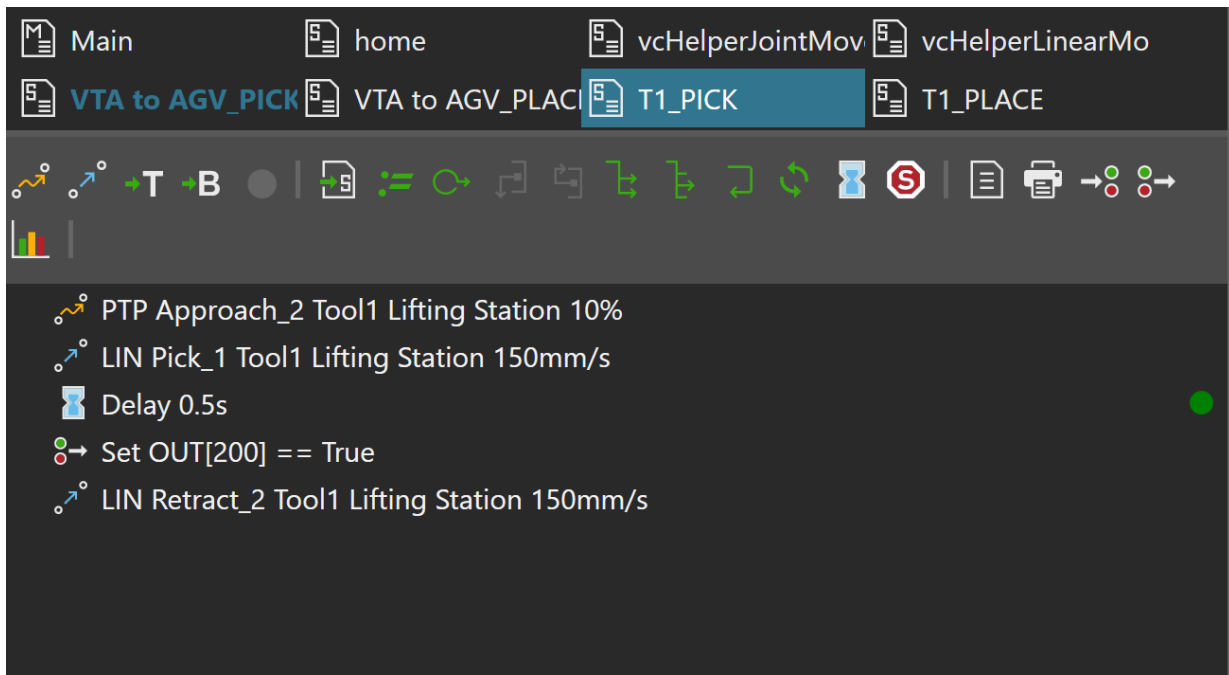
Robotteja voidaan simuloida ja ohjelmoida Visual Componentsilla kattavasti. Komponenttikirjastossa on valmiina 1760 robottimallia eri valmistajilta ja 91 robottityökalua, minkä avulla voidaan simuloida suurta osaa robotisoitavista työvaiheista. Lisäksi on mahdollista mallintaa ja ohjelmoida

omia robotin työkaluja, mitä voidaan ohjata robotin I/O signaaleilla. Ulkoisten akselienkin mallintaminen ja ohjaaminen on toteutettavissa, joten esimerkiksi omia robottitarttuvia voi ohjelmalla mallintaa ja ohjelmoida vapaasti. Robottien ohjelmointi tapahtuu Program-välilehdellä, mistä avautuu valitun robotin ohjelmointi-ikkuna (Program Editor).

Robotteja voidaan liikuttaa simulaatiossa hiirellä tarttumalla ja johdattamalla. Kun robotti on haluttussa asennossa, voidaan piste tallentaa. Tallennetut toiminnot listautuvat ikkunassa päällekkäin ja ohjelma ajaa tallennettuja ohjelmarivejä ylhäältä alas. Kun ohjelma käynnistetään, näkyy ohjelmarivillä mitä robotti suorittaa vihreä ympyrä merkinä missä vaiheessa ohjelma on menossa. Tämä on hyödyllinen tieto vianhakuun, jos ohjelma pysähtyy syystä tai toisesta johonkin vaiheeseen.

Robotti voidaan ohjelmoida odottamaan ja lähettämään signaaleja, mitä voidaan käyttää esimerkiksi pysäyttämään kuljetin tai lähettämällä robottiin asennetulle maaliruiskulle tai tarttujalle päälle/pois käsky. Robottiohjelman sisään voidaan asettaa aliohjelmia, mitä robotti ajaa annettujen ehtojen, esimerkiksi asetetun tuotetiedon perusteella. Kaikkia robottiohjelman rivejä voidaan leikata, kopioida ja liittää vapaasti ohjelman sisällä ja myös ohjelmien välillä. Jos ohjelmoidun robotin monistaa kopioimalla simulaatiossa toiseksi robotiksi, kopioituu myös robotin ohjelma, joten jos simulaatiossa tarvitaan useampaa identtisesti toimivaa robottia, voidaan se tehdä klikkaamalla robottia ja antamalla komennot Copy ja Paste.

Jos robotti on asetettu Process Modeling -simuloinnissa osaksi prosessia, esimerkiksi siirtämään kappaleita liukuhihnalta toiselle, voidaan siirrossa käyttää Record Routine -toimintoa. Tällä toiminnolla ohjelma itse opettelee ja tallentaa kappaleen siirtämiseen tarvittavan ohjelmarutiinin, mitä voidaan Program Editor -ikkunassa muokata (Kuvio 12). Esimerkiksi jos robotin liike halutaankin korkeammaksi, voidaan klikata ohjelmariviä missä robotti on yläasennossa, tarttua Jog-manipulointitoiminnolla robottiin ja johdattaa robotin vartta ylemmäksi ja tallentaa uusi asento Program Editorin Touch Up -painikkeella. Seuraavassa ohjelma-ajossa robotti liikkuu korjatun liikeradan mukaisesti. Perusohjelman saa siis Process Modelingissa Record Routine -toiminnolla automaattisesti tehtyä ja ohjelma on täysin muokattavissa liikeradan tallennuksen sen jälkeen.



Kuvio 12 Program Editor:issa robotin aliohjelma, missä liikerata ja signaalikäskyjä

Valtralla runkomaalausrobottien ohjelmointi tapahtuu nykyään ABB:n omalla Robot Studio sovelluksella offline-ohjelmointina traktorimallien 3D-mallien perusteella. Ohjelmoinnissa hyödynnetään virtuaalitodellisuutta siten, että ohjelmoija johdattaa ohjaimilla virtuaalitodellisuudessa robotin haluttuun asentoon ja tallentaa siten piste kerrallaan halutun reitin robotille. Valtralla on käytössä maalausrobottien ohjelmoinnin apuna Meta Quest 2 -virtuaalilasit. Robot Studion virtuaalisessa ympäristössä on käyttöpaneeli, missä on kaikki oleelliset ohjelmointiin tarvittavat painikkeet, joten laseja ei tarvitse nostaa kasvoilta ohjelmoinnin aikana. Robotin tallennettua ohjelmaa voidaan muokata ilman VR ominaisuutta normaalisti tietokoneen näytöltä. Robotin asennon tarkka säätäminen on helpompaa virtuaalitodellisuudessa kuin tietokoneen ruudulta. (Kuvio 13).



Kuvio 13 Valtran maalausrobottien ohjelmointia virtuaalisesti Robot Studiolla

3.3 Simulointi osana Teollisuus 4.0:aa

Teollisten vallankumousten historiaa

Industry 4.0, Teollisuus 4.0, eli neljäs teollinen vallankumous ei ole käsitteenä niin yksinkertainen, kuin aiemmat teolliset vallankumoukset. Ensimmäinen teollinen vallankumous oli koneiden, lähinnä höyry- keuhuu- ja kutomakoneen keksiminen, sekä niiden mahdollistaman tuotantolaitoksiin keskitetyn koneellisen tehdastyön synty. (Marttinen 2018, 2). Toinen teollinen vallankumous katsotaan alkaneeksi, kun opittiin hyödyntämään liukuhihnaa sekä teknisenä innovaationa, että tuotannon organisointiin liittyvän ajattelutavan muutoksena (Marttinen 2018, 7) . Elektroniikan, tietokoneiden ja ohjelmoitavien logiikoiden, sekä myöhemmin logiikoiden väyläteknologioiden kehitys mahdollisti teollisuuden automaation, eli kolmannen teollisen vallankumouksen (Marttinen 2018, 11). Alasdair Gilchrist (2016) jaottelee teolliset vallankumoukset yksinkertaisemmin mekanisaation, sähkön ja informaatioteknologioiden käyttöönottoon teollisuudessa (Gilchrist 2016, luku 13).

Neljäs teollinen vallankumous

Jussi Marttisen (2018) mukaan neljäs teollinen vallankumous ei perustukaan historialliseen teknologian ja teollisuuden käännekohtaan, vaan se vain päätettiin aloittaa. Teollisen vallankumouksen aloituspiste on katsottu olevan vuoden 2012, kun Saksan hallitukselle esiteltiin Teollisuus 4.0 käsitteeseen liittyviä toimenpide-ehdotuksia. Aiemmissä vallankumouksissa käännekohtat ovat pitäneet sisällään jonkin aineellisen koneen ja sen mahdollistaman tuotantomenetelmän, kun neljännessä teollisuuden vallankumouksessa on kyse aineettomista digitaalisista käsitteistä, mikä hankaloittaa käsitteen hahmottamista. Teollisuus 4.0 pohjautuukin eri tapoihin aiemmin kehitettyjen teknologioiden tehokkaammasta hyödyntämisestä (Marttinen 2018, 17.), nyt kun saatavuus ja hinta ei ole teknologioiden hankinnan este (Ilmarinen 2015, 64).

Marttisen (2018) mukaan Teollisuus 4.0:n toteutus voidaan jakaa neljään peruseriaatteeseen: Tietoverkkojen avulla saavutettava koneiden keskinäinen, sekä koneiden ja ihmisten välinen kommunikointi (Marttinen 2018, 17). Tämä tarkoittaa globaaleja tietoverkkoja varastojen, koneiden ja tehtaiden yhdistämiseksi yhdeksi kyberfyysiseksi kokonaisuudeksi siten, että ne voivat jakaa dataa ja ohjata toisiaan älykkäästi (Gilchrist 2016, luku 13). Toisena peruseriaatteena pidetään digitaalista kaksosta, eli fyysisestä maailmasta mallinnettua virtuaalista kopiota, mihin syötetään dataa reaali maailmasta esimerkiksi antureilla. Kolmantena periaatteena teknologian tuoma tekninen apu helpottamaan ihmisen työkuormaa etenkin uuvuttavissa ja vaarallisissa töissä, eli esimerkiksi yhteistyörobottien ja lisätyn todellisuuden, englanniksi Augmented Reality (AR), sovellusten hyödyntäminen työssä. Neljäntenä periaatteena tekoälyyn liittyvät sovellukset, missä tuotantojärjestelmät osaavat tulkita dataa ja tehdä omia päätöksiä sen perusteella. (Marttinen 2018, 17).

Andrén (2019) puolestaan esittää Teollisuus 4.0:n keskiössä olevan seuraavien teknisten kehityskohteiden: Uuden sukupolven älyesineet, mikä mahdollistaa valmistavan teollisuuden mukautumisen palvelua tuottavaksi yritykseksi. Tässä itse tuote olisi vain yksi elementti koko sen markkina-arvosta ja tuotteen keräämä data avaisi uusia mahdollisuuksia. Tekoälyn tuomien valtavien potentiaalien hyödyntäminen niin pitkälle, että tuotantojärjestelmät voisivat toimia itsenäisesti ilman ihmistä. Toimitusketjujen tehostaminen reaaliaikaisilla yhteyksillä, tuotteiden ja tuotannon täydellinen digitointi, mikä mahdollistaisi myös tuotannon siirtämisen tehtaasta toiseen. Tuotantoon käytetyn materiaalin ja energian vähentäminen parantamalla työntekijöiden tehokkuutta AR:n ja

yhteistyörobottien avulla. Tuotannosta kerätyn massadatan, eli Big datan hyödyntäminen ennakoivassa kunnossapidossa, sekä tuotantohukan vähentämisessä. (André 2019, 4–5).

Teollisuus 5.0

Viides teollinen vallankumous pyrkii yhdistämään ihmisen ja koneen toiminnan saumattomasti ja korostaa digitalisaatiossa niiden välisen vuorovaikutuksen (EESC info 2019). Hyytiä (2021) näkee viidennen teollisen vallankumouksen olevan Teollisuus 4.0:n täydennys, kuin sen korvaaja tai jatko.

Synteesi

Opinnäytetyön aihe, traktorien runkomaalaamon simulaation yhtymäkohta Teollisuus 4.0:aan on, että siinä muutetaan tuotantoympäristö digitaaliseen muotoon. Simulaation ja digitaalisen kakso-
sen ero on siinä, että kun simulaatiossa jäljitellään olemassa olevaa tai mahdollista prosessia tai tilannetta (Simulation n.d.), on digitaalisen kaksosen määritelmässä kuvattu anturien mittaaman datan liikkuminen digitaalisen representaation ja todellisuuden välillä (Nath, Schalkwyk 2021, 5–6; Marttinen 2018, 17). Runkomaalaamon simulaatioon syötetään dataa reaali maailmasta, esimerkiksi kokoonpanolinjan tahti aika, prosessien kesto, kokoonpanolinjan liikkumisnopeus, mutta ne syötetään simulaatioon parametreina, eikä reaali maailman datana. Täten opinnäytetyön toimintatutkimuksen tuloksessa on kyseessä simulaatio, eikä runkomaalaamon digitaalinen kaksonen.

4 Tuotantoympäristön digitalisointi simulaatiota varten

Tässä luvussa esitellään eri tapoja tuotantoympäristön kääntämiseksi digitaaliseen muotoon. Prosessin tai tapahtuman simuloinnin voi esittää yksinkertaisimmillaan vain numeraalisesti, esimerkiksi sääennusteessa lämpötila ilmoitetaan numeroina. Logistiikka- ja toimitusketjuja voidaan kuvata yksinkertaisen kartan päällä liikkuvilla palloilla tai muilla symboleilla. Jos tuotantoprosessista

ja ympäristöstä halutaan fyysisesti tarkempi simulaatio, kuten tässä opinnäytetyössä on tavoitteena, täytyy tuotantoympäristö kääntää digitaaliseen muotoon jollakin tavalla.

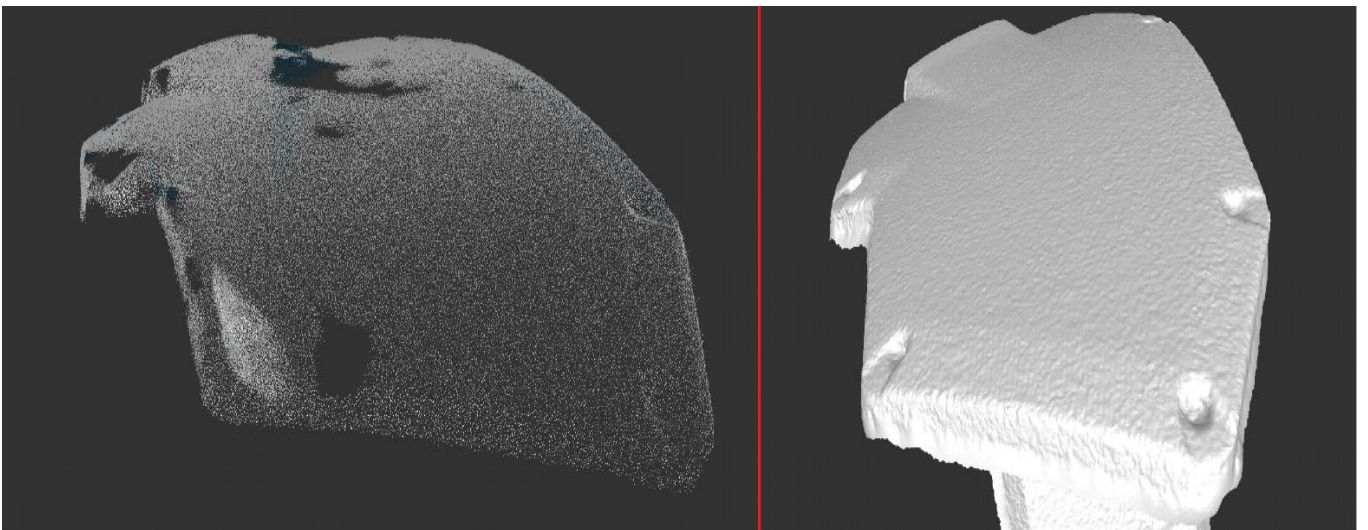
Visual Components -ohjelmassa on laaja komponenttikirjasto, missä on valmiina yleisimpiä tuotantoympäristössä olevia koneita ja esineitä (eCatalog n.d.). Lisäksi sillä voi lisätä simulaatioon esimerkiksi ulkoseiniä, ovia, pilareita sekä muita tuotantoympäristön piirteitä ja rakenteita. Monimutkaisemmat rakennuselementit, kuten pilarit kattotuoleineen, infraan liittyvät rakenteet hallien katossa ym. on tuotava simulaatioon muulla tavoin digitoituna Visual Componentsiin, mikäli autenttista valmista komponenttia ei ohjelman komponenttikirjastosta löydy. Yleisimmät tekniikat tuotantotilojen, tai muiden olemassa olevien rakenteiden digitointiin ovat 3D-skannaus, fotogrammetria, sekä rakenteiden mallintaminen CAD-ohjelmalla. Nämä eroavat toisistaan sekä tarkkuuden että tekniikoittensa puolesta.

4.1 3D-skannaus, eli laserkeilaus

Käsitteellä 3D-skannaus, eli laserkeilaus tarkoitetaan mittalaitteella, laserkeilaimella, halutun alueen tai objektin skannaamista digitaaliseen muotoon. Menetelmän tunnusomainen piirre on, että mittatapahtumassa mittalaite ei fyysisesti kosketa mitattavaa kohdetta (Joala 2006, 1). Laserkeilain lähettää lasersädettä ja mittaa aikaa säteen lähdöstä takaisinheijastukseen. Kun on tiedossa lasersäteen nopeus, lähtökulma ja matkaan käytetty aika, saa skannausohjelmisto laskettua säteen takaisinheijastuspisteelle X- Y- ja Z-koordinaattisen etäisyyden suhteessa laserkeilaimen (Geller 2010, 92; Héno, Chandlier 2014, 87–88). Koska laserkeilaus perustuu säteen lähettämiseen ja sen takaisinheijastukseen, ei sillä voida skannata kuin mittasäteen suoraan tavoittamat alueet. Skannaus täytyykin tehdä useasta eri pisteestä, että katvealueilta välttyttäisiin ja skannaustuloksesta tulisi mahdollisimman kattava.

Joalan mukaan laserkeilaimet voidaan jakaa kolmeen pääluokkaan, ilma-aluksiin asennetut pitkänmatkan kaukokartoituskeilaimet, terrestriaaliset eli maakeilaimet, sekä teollisuuskeilaimet, millä skannataan objekteja suurella tarkkuudella lyhyen etäisyyden päästä (Joala 2006, 1). Yleisin terrestriaalinen laserkeilaintyyppi on laserkeilain, missä on kupolimainen mittaustapa (Joala 2006, 2). Laserkeilain lähettää lasersäteitä pystyakselinsa ympäri 360 astetta ja vaaka-akselin ympäri yli 300 astetta, joten mittapisteitä saadaan yli miljoona sekunnissa (Héno 2014, 91).

Tätä miljoonista koordinaattipisteistä saatua mittadataa sanotaan pistepilvimalliksi (Geller 2010, 92–93). Visual Componentsin ohjelmistoversiossa 4.2.2 on uutena ominaisuutena pistepilvien tuonti simulaatioon (Visual Components verkkosivut n.d). Pistepilvi on yleisesti haastava datan muoto simulointi- ja CAD-ohjelmistojen käsiteltäväksi, koska data ei sisällä mitään varsinaisia objekteja, vaan kuten nimikin sanoo, vain miljoonia yksittäisiä pisteitä. Pistepilvimalleja voidaan kuitenkin jälkikäsitellä siten, että niistä saadaan pinta- tai kiinteämalli CAD-ohjelmistoon (Geller 2010, 101–107). Esimerkkinä (Kuvio 14) on skannattu auton moottoritilan muovisuoja pistepilvimallina ja muutettu siitä kolmioista muodostuvaksi polygoniverkolliseksi pintamalliksi (Meshing).



Kuvio 14 Pistepilven ja polygoniverkollisen pintamallin erot.

4.2 Fotogrammetria

Kuten laserkeilaus, myös fotogrammetria perustuu kontaktittomaan mittausmenetelmään, missä mittalaite ei fyysisesti kosketa mitattavaa kohdetta. Fotogrammetria menetelmällä saadaan aikaiseksi kolmiulotteinen muoto tulkitsemalla kohteesta eri suunnista otettuja valokuvasarjoja. Jokaisen valokuvan valointensiteettiä, harmaasävyä ja väriarvoa ja geometrista dataa (kohteen asentoa kuvassa), sekä matemaattista muunnosta kuvien välillä hyödyntäen mittajärjestelmä kykenee muodostamaan mallin (Boehm J., Kyle S., Luhmann T., Robson S. 2013, 3).



Kuvio 15 Fotogrammetriaa varten otettu kuvasarja.



Kuvio 16 Fotogrammetrian muodostama 3D-malli leluautosta.

Fotogrammetriaa hyödyntävällä ilmaisella SKANN3D Android-sovelluksella kuvattu leluauto muun-
 tautui 3D-malliksi 21:n kuvan sarjalla (Kuvio 15). Tekstuuripinnalla oleva 3D-malli näyttää verrat-
 tain realistiselta, mutta kun pintakuviot otetaan pois voidaan todeta, että tarkkuus ei ole riittävä
 teknisten ratkaisujen dataksi (Kuvio 16). Tällaisella on enemmän käyttöä peli- tai elokuvateollisuus-
 dessa, missä ulkonäkö on tarkkuutta tärkeämpää. Fotogrammetriatesti suoritettiin keskinkertai-
 sella kännykkäkameralla ja ilmaisella Android-sovelluksella, eikä se ole siten vertailukelpoinen

teollisiin fotogrammetria ratkaisuihin, koska oikealla fotogrammetriaan tarkoitettulla laitteistolla ja ohjelmistolla tarkkuus olisi varmasti paljon suurempi ja vertailukelpoinen laserskannaukseen (Kuvio 17).

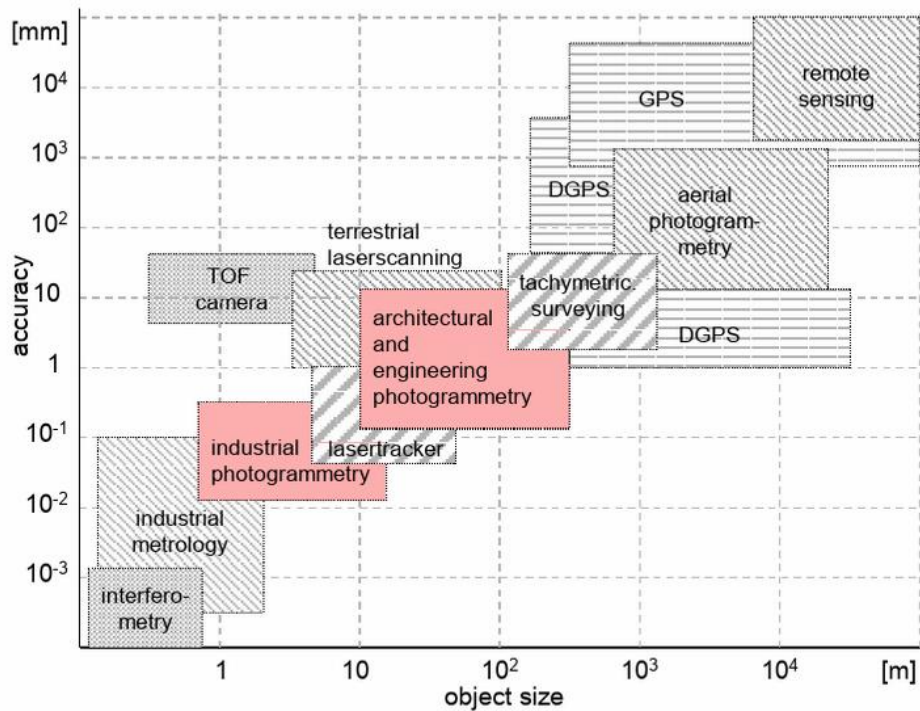


Fig. 1.4: Relationship between measurement methods and object size and accuracy¹

Kuvio 17 Fotogrammetrian tarkkuus verrattuna muihin mittausmenetelmiin (Boehm & co).

4.3 Mallintaminen CAD:illa

Halutuista rakenteista ja objekteista voidaan tehdä digitaalinen malli myös CAD-ohjelmistolla mallintamalla. Laserkeilauksessa ja fotogrammetriassa on vaatimuksena, että digitoitava kohde on jo olemassa, koska niiden toimintaperiaate perustuu kohteiden kuvaamiseen ja skannaamiseen. CAD-mallintamisella voidaan puolestaan tehdä virtuaalisia digitaalmalleja objekteista mitä ei vielä ole olemassa, joten joskus se on ainoa tapa tuottaa simulaatioon tarvittavat virtuaalimallit. Etenkin projektien konseptoinnissa käytettävät simulaatiot on helppo rakentaa CAD-mallinnuksien pohjalta.

CAD-mallinnus, eli tietokoneavusteinen suunnittelu voidaan toteuttaa kaksi- tai kolmiulotteisena. Kolmiulotteista mallinnusta voidaan hyödyntää tehokkaammin, koska niillä voidaan varmistaa yhteensopivuus fyysisessä kokoonpanossa ja havaita esimerkiksi mahdolliset osien törmäykset (Hietikko 2020, 6). Kolmiulotteinen CAD-mallinnus voidaan tehdä joko perinteisten rakenne- tai mittakuvien perusteella, mittaamalla halutut rakenteet, tai kaksiulotteisia CAD-malleja hyödyntäen.

CAD-mallinnus toteuttaa aina lähtötietojen mukaisen objektin, kun oikein tehdyllä fotogrammetrialla ja laserkeilauksella mitoitus vastaa todellisuutta. Täten mahdollinen mittakuvien tai lähtötietojen poikkeama kopioituu CAD-malliin ja sitä kautta virheenä simulaatioon, toisin kuin fotogrammetrialla tai laserkeilauksella tuotetuissa malleissa. Visual Components ohjelmistossa voidaan hyödyntää pistepilvimalleja, CAD-malleja ja eCatalog-komponenttikirjaston malleja samassa simulaatiossa.

5 Robottimaalaamosimulaation toteutus

5.1 Traktorien runkomallit simulaatiota varten

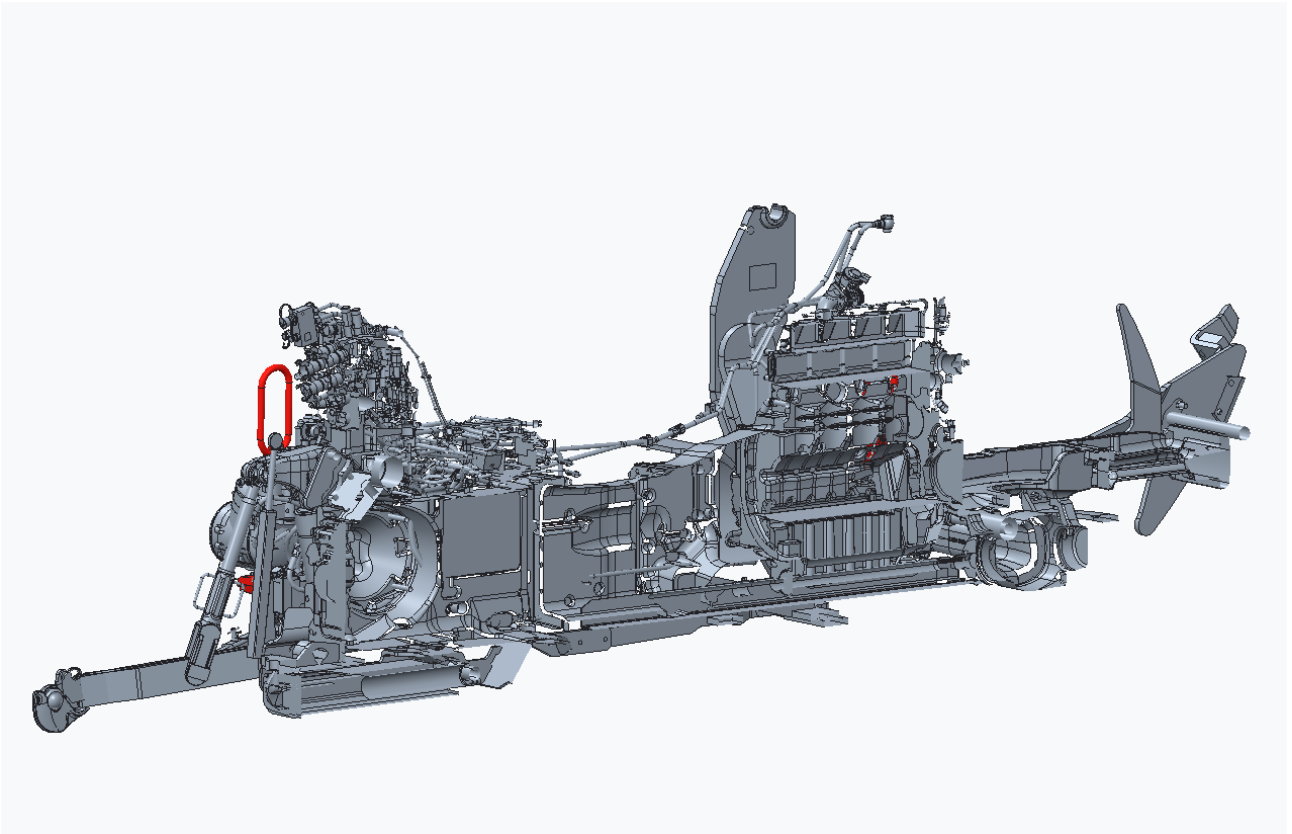
Realistisen simulaation edellytyksenä oli traktorimallien tuominen Visual Componentsin import-komennolla simulaatioon. Sitä ennen traktoreista piti tehdä CAD-ohjelmassa kokoonpanot, minkä sisältö vastasi maalausvalmiita traktorirunkoja. Valtralla on käytössä Creo Parametric CAD-ohjelmisto ja tuotetiedon hallintajärjestelmänä Windchill. Virtuaalikokoonpanojen tekemisessä huomiointiin kaikki maalaukseen vaikuttavat traktorien lisävarusteet, jolloin simulaatioon saatiin maalaus-teknisesti monimutkaisimmat tuotteiden varustekombinaatiot. Valtran mallisto kattaa pienimmästä suurimpaan A- G- N- T- Q- ja S-sarjan, mistä kaikista koostettiin omat runkomallit. Koko traktorimallin avaaminen Creo Parametric:iin kaikkine varustevaihtoehtoineen muodostui liian raskaaksi tietokoneen suorittimelle, joten oli löydettävä vaihtoehtoisia tapoja runkomallien tekemiseen. Jos pieniä osakokonaisuuksia avasi yksi kerrallaan, oli haasteena niiden paikoittaminen toisiinsa, mikä oli työlästä ja lisäsi virheriskiä.

Parhaaksi menetelmäksi osoittautui koko traktorimallin avaaminen omaan ikkunaan Creo View -ohjelmalla, mikä avaa CAD-mallit kevyinä esikatselumalleina ja sieltä valita haluttu rakennetaso, mikä malliin halutaan mukaan. Creo Parametric -ohjelmalla puolestaan avattiin koko traktorin malli Empty Rep -toiminnolla, mikä tuo traktorin koko rakennepuun välimuistiin, mutta ei lataa mallin geometriaa ollenkaan. View-esikatselumallista valitun rakennetason sai Creo Parametric:iin näkyviin Include-käskyllä, jolloin kaikki valitut kokoonpanot olivat toisiinsa nähden oikein kohdistettuna valmiiksi. Tämän lisäksi malleja kevennettiin manuaalisesti poistamalla kaikki maalausprosessin kannalta epäoleelliset rakenteet, esimerkiksi voimansiirron rattaat ja akselit, sekä muut sisäiset osat, jotka ei ole traktorirungossa näkyvillä. Kun haluttu sisältö, minkä arvioitiin Creo:n vielä jaksavan tallentaa, oli saatu Creo:on näkyviin, niin se tallennettiin STEP-tiedostomuodossa (Standard for the Exchange of Product Data), mikä on standardin ISO 10303 mukainen formaatti, mitä useimmat CAD-pohjaiset ohjelmistot tukevat (Sustainability of Digital Formats n.d.). Nämä STEP tiedostot koostettiin Creossa sitten yhdeksi pääkokoonpanoksi, mikä myös tallennettiin STEP-formaattiin.

Traktorien runkokokoonpanoista kokeiltiin myös tallentaa pintamalleja Shrinkwrap-komennolla vielä kevyempien mallien toivossa, mutta niiden geometria ei tullut Visual Componentsissa

näkyviin, joten niitä ei voinut hyödyntää. Shrinkwrap tekee nimensä mukaisesti (shrinkwrap= kutistemuovi, kutistekalvo) kohteena olevan objektin pinnasta vedoksen, hävittäen kaiken sisäpuolisen geometrian ja muuttaen kokoonpanon yhdeksi objektiksi, mikä olisi etu simulaatio käytössä (Kuvio 18). Shrinkwrap-toiminnon asetuksissa oli kolme toisistaan hiukan poikkeavaa tallennusmenetelmää: Faceted solid, mikä laskee kappaleen pintaan kolmioista muodostuvan verkon pohjalta keskiarvon kappaleen muodosta ja tallentaa sen perusteella umpinaisen objektin. Merged solid, mikä säilyttää kaikki geometriset piirteet, mutta yhdistää osakokoonpanot yhdeksi objektiksi. Kolmas vaihtoehto on Surface subset, mikä tekee CAD-mallista pelkän pintamallin, ilman mitään sisäpuolisia geometrisiä piirteitä. Kaikissa mainituissa asetusvaihtoehdoissa oli mahdollisuus säätää Shrinkwrap-toiminnon tarkkuutta, mutta varsinkin pienillä tarkkuuksilla mallit olivat visuaalisesti epätarkkoja ja traktorirunkojen toiminnallisiin mittoihin tuli heittoa. Koska Visual Componentsissa on itsessäänkin Import-toiminnossa tarkkuusasetus ja se osaa keventää siihen tuotavia CAD-malleja, ei Creo:n Shrinkwrap-toimintoa lopulta tarvittu tähän projektiin ollenkaan.

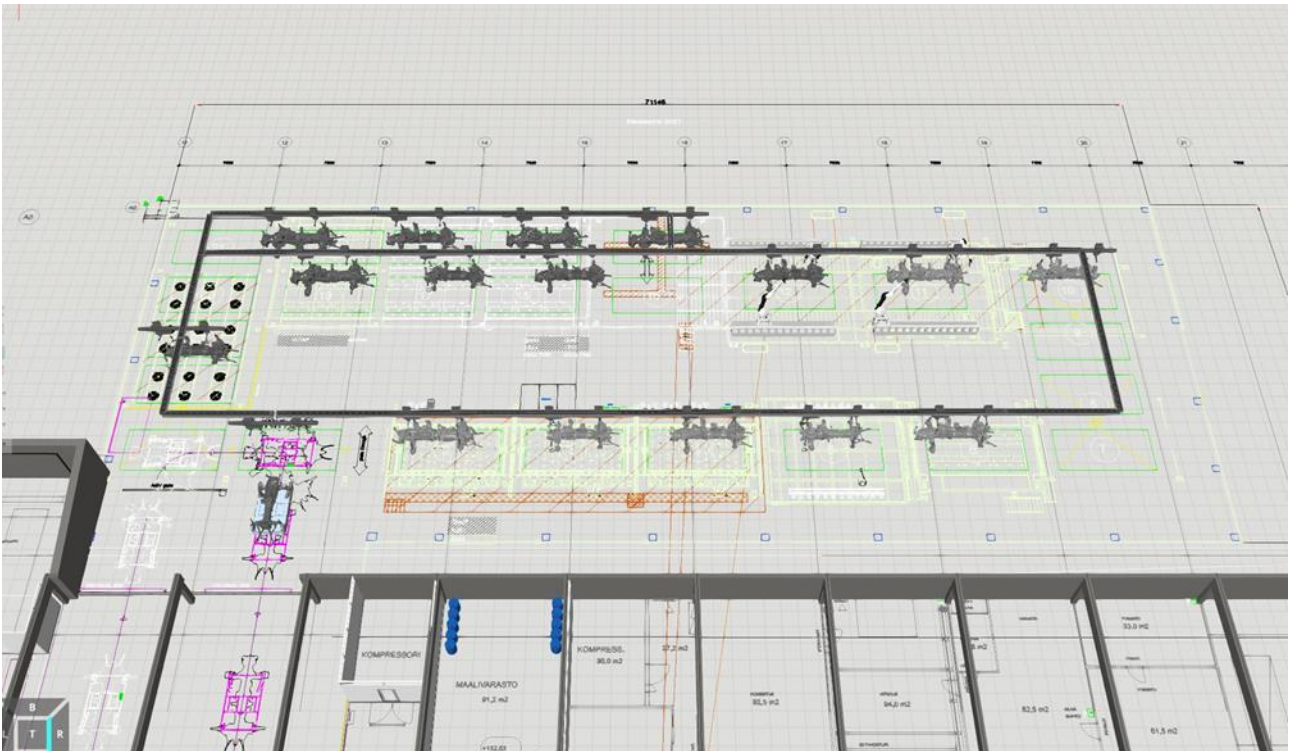
Paljon yksityiskohtia sisältäviä malleja simulaatioon tuodessa on syytä asettaa tällaisessa isossa simulaatioprojektissa Import-valikon Tessellation Level -liukusäädin Low asentoon, jolloin 3D-mallien tarkkuus pienenee hieman, mutta simulaatio saadaan tällöin toimimaan jouhevammin. Maalaamo-simulaatiossa runkomallien tesselaatiotason madaltaminen ei silminnähden tehnyt malleista paljoa rosoisempia, mutta suorituskyyvyn kannalta sillä oli iso ero. Simulaatiossa on jatkuvasti noin 25–30 traktorin runkoa esillä, joten niiden tesselaatioasetuksen muuttaminen vaikuttaa kerrannaisesti suorituskyyvyn.



Kuvio 18 Halkileikkaus shrinkwrap toiminnolla kevennetystä kokoonpanosta.

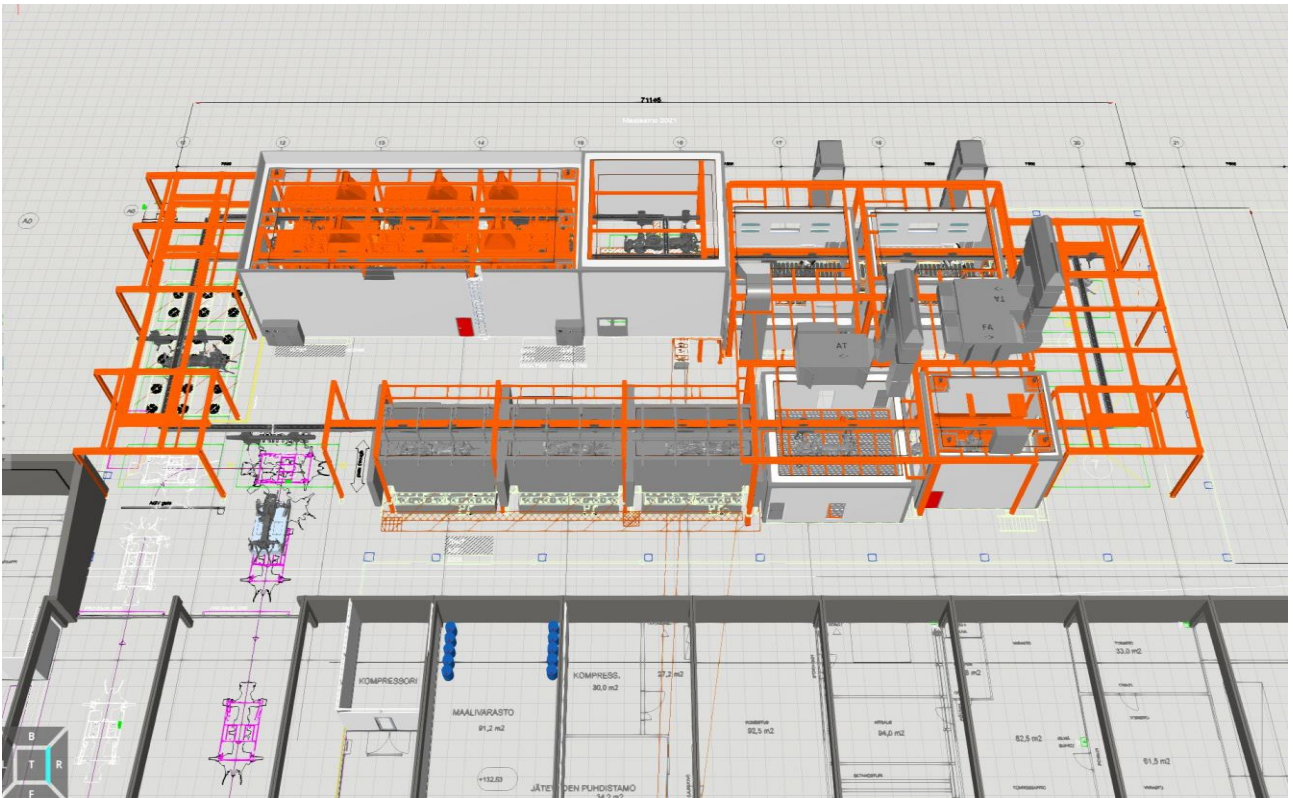
5.2 Rakennuksen ja maalaamotekniikan mallien tuonti simulaatioon

Simulaatiossa oli mahdollista hyödyntää sekä maalaamorakennuksen, että maalaamotekniikan 3D-malleja. Ensiksi simulaatioon tuotiin tehtaan layout DXF-muodossa kaksiulotteisena kuvana, minkä päälle rakennuksen ja maalaamotekniikan 3D-mallit oli helppo kohdistaa (Kuvio 19). Kun mallit saatiin paikoilleen, havaittiin että näkyvyys maalaamoon oli niin huono, että simulaatiosta ei olisi nähty mitään. Tämän vuoksi rakennuksen ja maalaamon mallit avattiin Creo Parametricilla ja poistettiin kattorakenteita siten, että näköyhteys simulaatioon yläkautta koko maalausprosessin ajan säilyy. Nämä aukileikatut mallit tuotiin simulaatioon poistamatta alkuperäisiä, joten mahdollisuus laittaa näkyviin tai piilottaa molempia 3D-malleja tarpeen mukaan säilyi (Kuvio 20) (Kuvio 21).

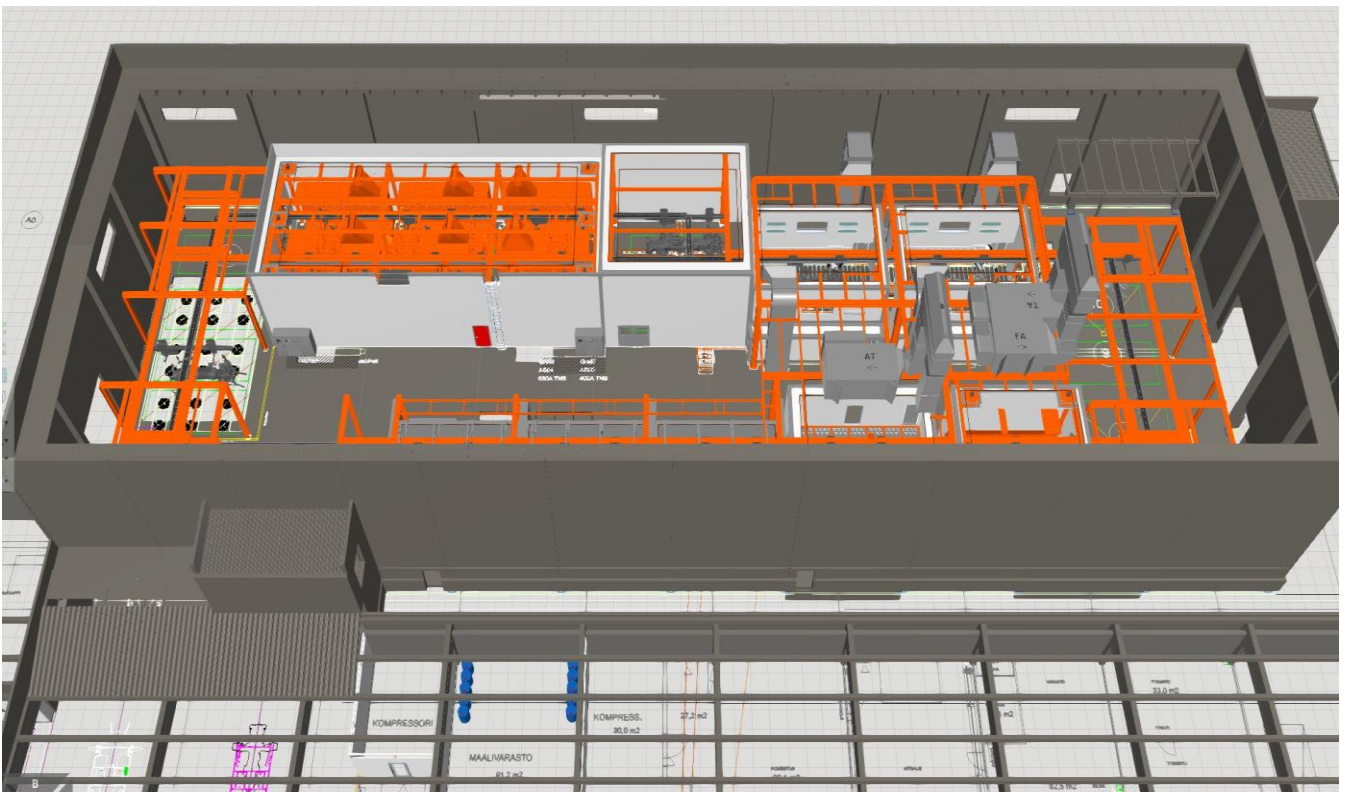


Kuvio 19 DWG tiedostona layout ja maalaamokuljettimen Visual Components -elementit.

Kokoonpanohallista ei ollut 3D-mallia, mutta rakenteista oli kaksiulotteiset AutoCad-mallit, sekä pohjapiirroukset. Simulaation realistisuuden kannalta oleellisimmat rakenteet ovat ulkoseinät, tukipilarit, kattopalkit sekä kokoonpanolinjan sijainti suhteessa ulkoseiniin. 2D-rakennekuvia hyödynnettiin siten, että halutut rakenteet suodatettiin AutoCad:illa ja tallennettiin omina DWG-tiedostoinaan. Creolla saatiin rakenteen DWG-kuvat hyödynnettyä Sketch:inä ja pursotuskomennolla muutettua rakenteet 3D-malliksi. Saaduilla malleilla voitiin rakentaa riittävän realistinen ympäristö, mihin maalaamotekniikka ja AGV-vaunujen reitti voitiin simuloida. Jos aikataulut olisi olleet suotuisammat, olisi tuotantoympäristö kannattanut laserskannata AGV:n reitin ja uuden maalaa-
mon liitospinnan osalta, jolloin simulaatiolla olisi saatu vielä realistisempi toimintakuvaus prosessista laserskannauksen pistepilvidataa hyödyntäen.



Kuvio 20 Maalaamotekniikka lisätynä simulaatioon.



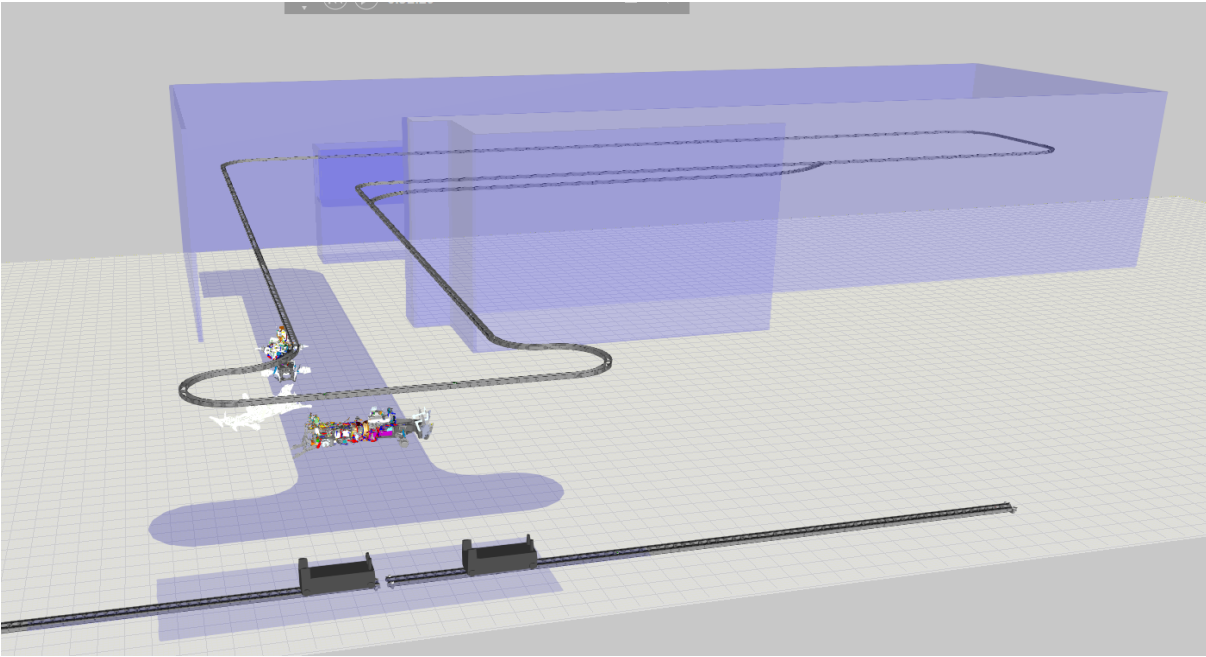
Kuvio 21 Maalaamotekniikka ja rakennuksen 3D-mallit lisätynä simulaatioon.

5.3 Visual Components -simulaatio

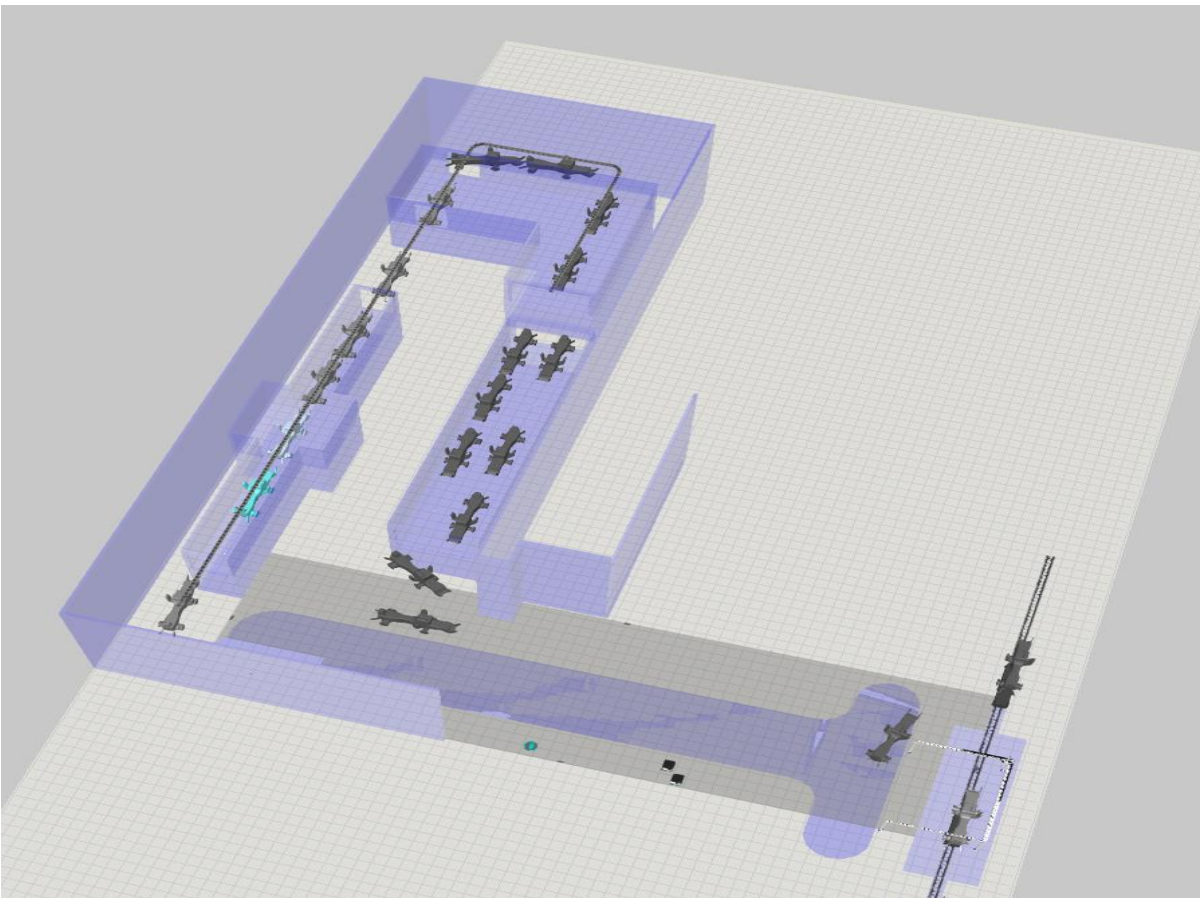
Luvussa esitellään Visual Components simulaation toteutustapa pääpiirteittäin ja perustellaan sitä, että miksi käytettyihin simulointimenetelmiin ja -asetuksiin on päädytty. Tutkimustyön liitteissä on kuvankaappaukset simulaatioon rakennetusta prosessista ja kuvattu kaikkien prosessipisteiden kommentojen sisältö, sekä Process Flow -kaaviot (Liite 3), joitten perusteella kuka tahansa voi tehdä vastaavalla logiikalla olevan simuloinnin Visual Componentsilla. Simulaatio on tehty Valtralla käytössä olevalla Visual Componentsin 4.4 Professional versiolla, mutta VR Experience ja maalauksen simulointi kokeiltiin JAMKin lisenssillä Visual Componentsin 4.5 Premium versiolla.

Maalaamoprosessin konseptisuunnittelu

Maalaamoprojektin alkuvaiheessa simuloinnilla kokeiltiin erilaisia tapoja siirtää traktorirungot kokoonpanolinjalta maalaamoon, kun mietittiin mihin tekniseen rungonsiirtoratkaisuun päädyttäisiin. Ensimmäisissä versioissa runko nostettiin suoraan kokoonpanolinjalta kuljetinradalle, mikä kuljetti rungot koko maalausprosessin läpi (Kuvio 22). Riippukuljetin ei antaisi vapauksia traktorirunkojen siirtojen ja kokoonpanolinjan muokkaamiselle tulevaisuudessa siten kuin AGV, joten maalaamoprojektin suunnittelutiimi päätyi AGV vaunuratkaisuun niiden joustavuuden ja muokattavuuden takia. Ensimmäisissä AGV konseptiluonnoksissa rungon jättö- ja noutopiste olivat erillään (Kuvio 23). Tässä konseptiluonnosteluvaiheessa maalaamoprosessin kulkusuunta ja järjestys muuttui useasti. Projektin tässä vaiheessa simuloinnilla on suuri merkitys, kun nopeasti ja edullisesti voitiin kokeilla simuloimalla erilaisia teknisiä ratkaisuja maalausprosessin toteuttamiseksi.



Kuvio 22 Konseptiversio missä traktorinrunko nostetaan suoraan kuljettimelle.

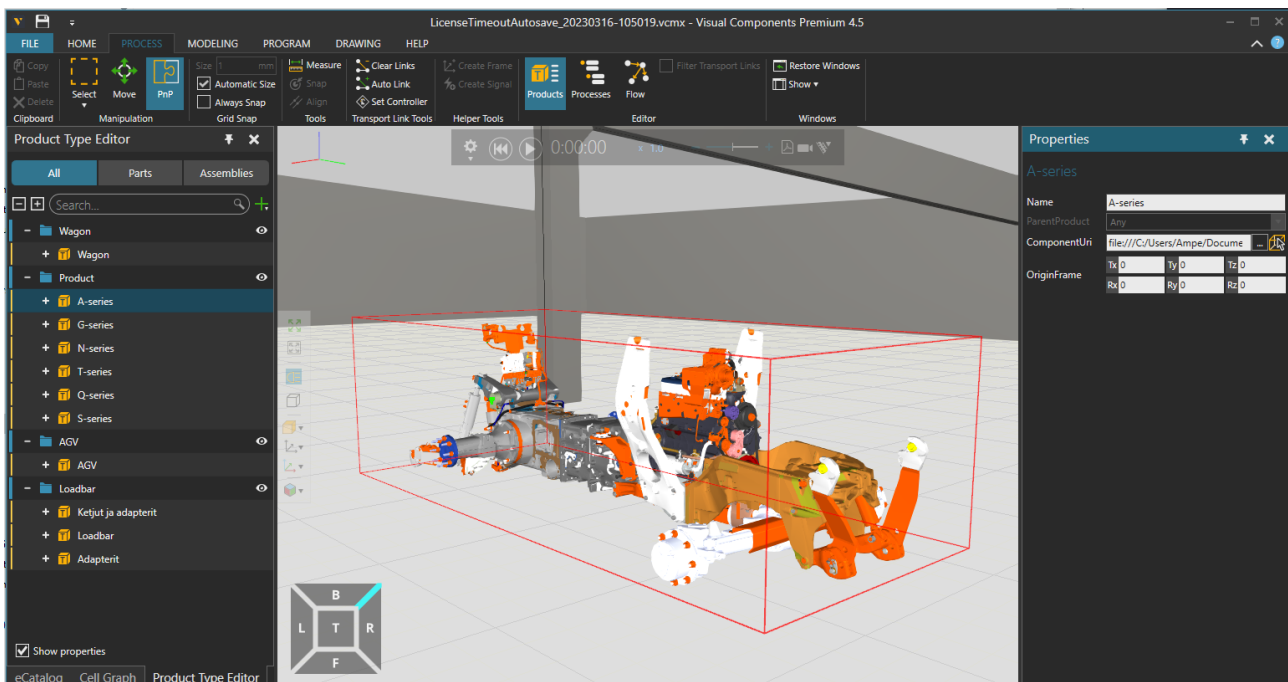


Kuvio 23 AGV:n konseptiluonnos, missä rungon jättö- ja noutopiste olivat erillään.

Simulaatiot toteutettiin Process Modeling -toiminnoilla, missä määriteltiin 3D-maailmaan tuotantoprosessin kannalta oleellisiin kohtiin prosessipisteet, eli Process Nodet, mihin voitiin ohjelmoida erilaisia Statement-komentoja.

Product tuoteasetusten määrittäminen

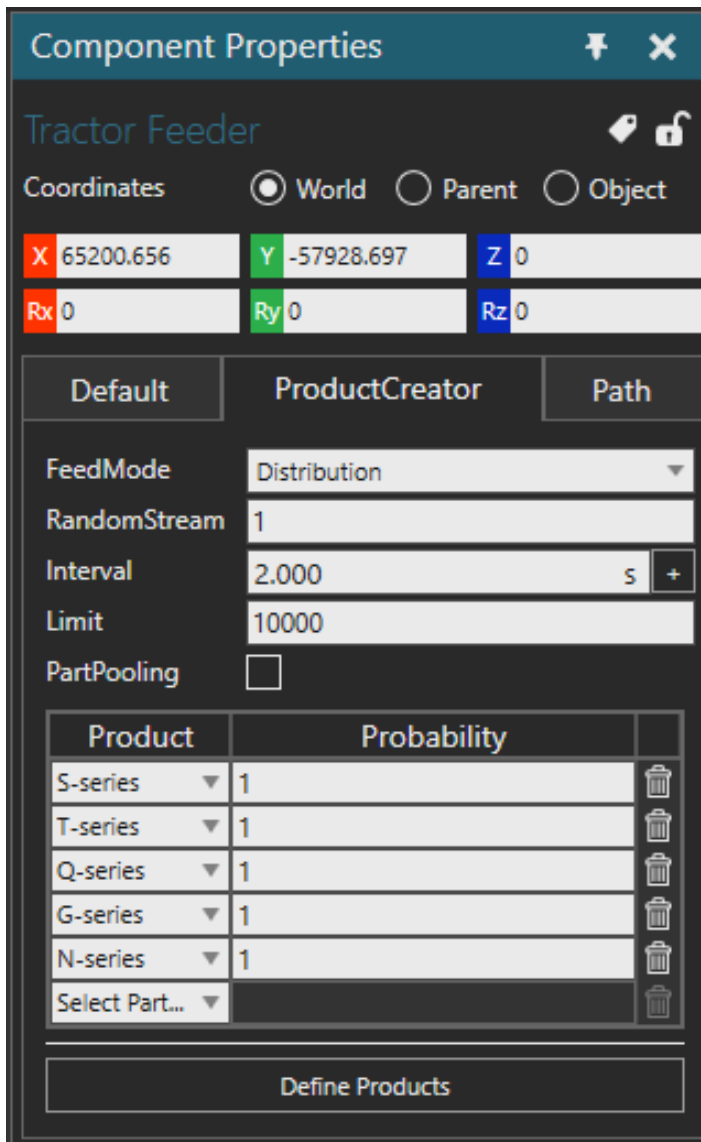
Edellisessä luvussa esitellyt traktorimallit tuotiin Visual Componentsiin ja niille luotiin tuoteryhmä. Tässä vaiheessa simulaation tekemistä todettiin järkevimmäksi niputtaa kaikki traktorimallit samaan Product-kategoriaan, koska kaikki mallit käyvät läpi saman maalausprosessin (Liite 3). Jos simulaatiossa olisi vaihtoehtoisia reittejä eri traktorimalleille, olisi parempi ratkaisu eritellä mallit erillisiin tuoteryhmiin, mitä voidaan sitten hallinnoida kutakin omalla tavallaan prosessipisteiden Statement-komennoilla. Tuotteen määrittelyssä Visual Componentsin käyttöliittymä on yksinkertainen. Kun Product type editoriin on uusi tuote lisätty haluttuun kategoriaan ja nimetty, ei tarvitse kuin painaa Pick component from 3D – world -painiketta ja osoittaa haluttua CAD-mallia simulaation 3D-maailmassa (Kuvio 24). Samalla voidaan määrittää tuotteelle origo.



Kuvio 24 Tuoteasetusten määrittäminen.

Product Feeder

Yhtenä simuloinnilta haluttu ominaisuus oli saada simulaatioon realistinen traktorimallisto, sekä mahdollisuus vaikuttaa tuotemixiin, eli siihen paljonko mitäkin mallia valmistuu kokoonpanoprosessista. Tästä syystä simulaatioon rakennettiin oma tuotteiden syöttölaite, eli Feeder mihin voitiin traktorimallikohtaisesti asettaa painoarvo, missä suhteessa mitäkin tuotetta syöttölaite alkaa syöttämään. Modeling-välilehdellä mallinnettiin syöttölaitteelle suorakaiteen muotoinen objekti, mihin asetettiin Behaviors-toiminnolla liukuhihna ja Product Creator ominaisuudet. Product Creator -toiminnolle osoitettiin mitä malleja se alkaa luoda. Syöttölaite syöttää eri malleja sattumanvaraisesti, mutta haluttujen painotuskertoimien (Probability) mukaisesti (Kuvio 25). Tuotemixien säätäminen simulaatiossa oli yksi sille asetetuista tavoitteista. Product feeder sijoitettiin kokoonpanolinjan alkuun, mistä tuotteet siirtyvät kokoonpanolinjan To Conveyor -prosessipisteelle. Tuotteita laitettiin valmistumaan 2 sekunnin välein, vaikka todellisuudessa kokoonpanolinjan tahti aika on useita minutteja. Tuotteita on Feeder:in puskurissa koko ajan ja linjan käyntilogiikka on se, mikä määrää milloin linja liikkuu ja uusi tuote voidaan ottaa Feeder:in puskurista.

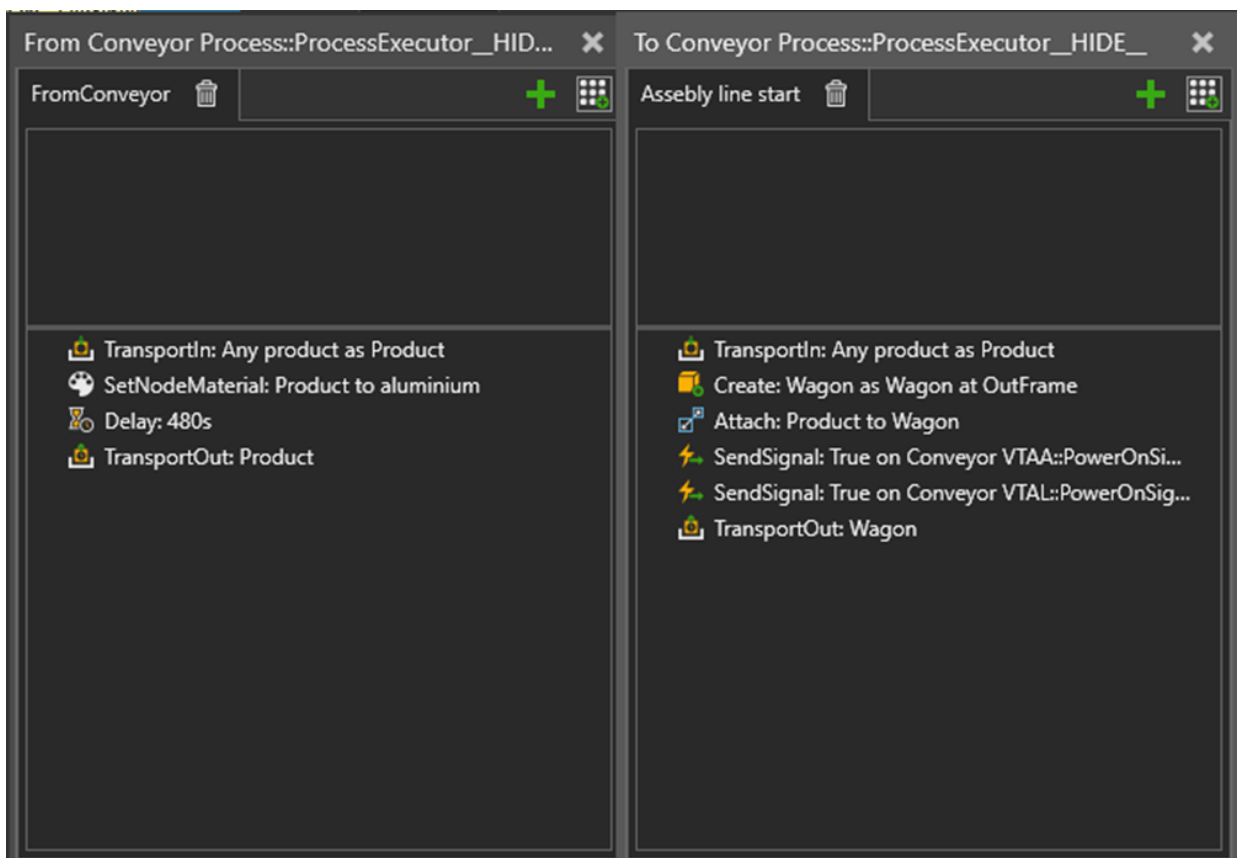


Kuvio 25 Feeder-asetukset simulaation tuotteille.

Kokoonpanolinjan toiminta

Kokoonpanolinjan alussa on To Conveyor prosessipiste (Node), mihin on määritelty sisäänkuljetettavaksi tuote, sekä luotavaksi (Create) kokoonpanovaunu. Simulaatiossa tuotteen (Product) määrittelyn alle on asetettu kaikki traktorimallit, joten prosessipisteet huolivat tuotteena kaikki traktorimallit yhdenvertaisesti. Lisäksi To Conveyor -pisteellä traktorin runko yhdistetään vaunuun, jolloin simulaatio käsittelee niitä jatkossa yhtenä kappaleena. Tältä pisteeltä kokoonpanovaunu ja traktorirunko asetettiin lähtemään liukuhihnalle TransportOut-komennolla, mihin asetettiin myös To component container -tarkennus. Tämä tarkennus mahdollistaa sen, että prosessipisteiden välillä, tässä tapauksessa kokoonpanolinjalla voi olla useita tuotteita, eli traktorirunkoja.

Kokoonpanolinjan tahdistus toteutettiin asettamalla kokoonpanolinjan varteen valoverhoanturi layoutin linjajaon mukaisesti. Tällä anturilla annetaan linjalle pysäytyskäsky. Kokoonpanolinjan tahtiajan pystyy määrittämään To Conveyor -prosessipisteen Wait-komennon asetuksista sekunteina. Tahtiaikojen asettaminen oli yksi simulaation tavoitteista. To Conveyor -prosessipisteellä annetaan myös Send signal -komento kokoonpanolinjalle, mikä käynnistää linjan. Näitten Send signal -komennon ja valoverhoanturin pysäytyskäskyn yhteisapelillä kokoonpanolinjaan saatiin realistinen käynti (Kuvio 26).

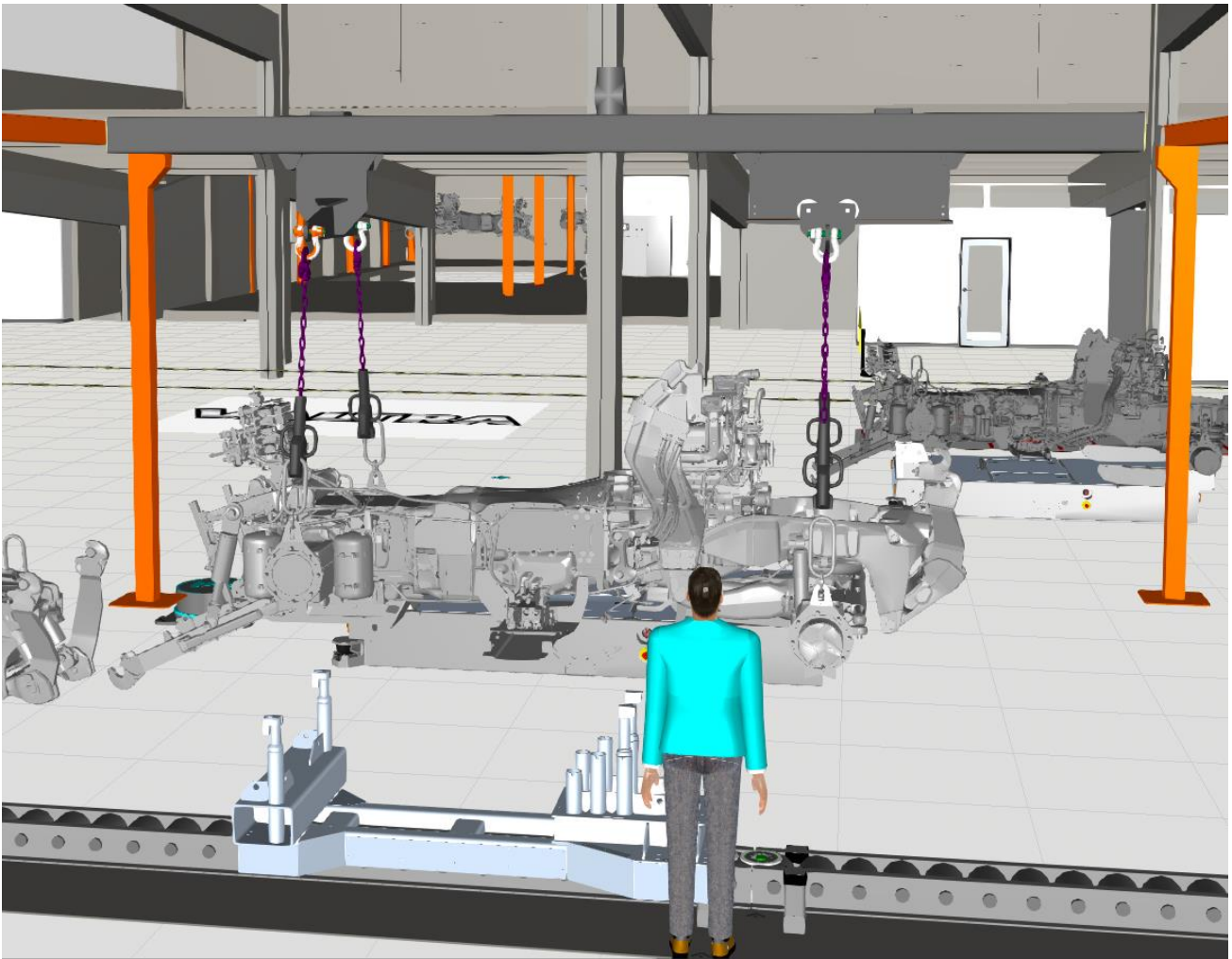


Kuvio 26 Feeder:in From Conveyor ja kokoonpanolinjan To Conveyor -prosessipisteiden käskyt.

Rungon nosto/lasku kokoonpanolinjalla

Rungon siirtoon käytettiin Girder crane -nosturitoimintoa, missä oli hankaluutena saada simulaatioon realistinen liike, missä nosturi tarttuisi ja jättäisi rungon oikeassa asennossa.

Nosturitoiminnossa oli havaittavissa yksi Visual Componentsin version 4.4 epälooginen ja virheellinen käyttäytyminen, kun aina ensimmäisen rungon noston kohdalla nosturi nostaa liian korkealle ja pudottaa traktorirungon jättöpisteelle. Seuraavien traktorirunkojen osalta liike on oikeanlainen. Tämä virhe toistuu aina ensimmäisen traktorirungon kohdalla, kun simulaatio käynnistetään. Lopulta päädyttiin käyttämään rungon nostamiseen Cartesian Robot -lineaarirobottia, millä saa tarvittavat liikeradat luotua automaattisesti Record routine -toiminnolla, mikä jälkeen liikkeitä saa säädettyä tarkasti kohdalleen Program-välilehden ohjelmasta. Robotin työkaluliitospintaan asetettiin nostopalkki ja nostoon tarvittavat ketjut ja napa-adapttereita Attach-komennolla, jolloin nostotapahtumasta saatiin realistinen (Kuvio 27). Modeling-välilehdeltä piilotettiin Cartesian robotin osia, jolloin siitä saatiin visuaalisesti aivan tavallisen pilarinosturin näköinen. Nostoketjujen 3D-mallit tuomalla simulaatioon voitiin katselmoida tilanne, missä AGV lähtee rungon kanssa kohti maalaamaa, että tuleeko ketjujen ja traktorirungon välille takertumisvaaraa. Tällaista ei ole mahdollista etukäteen testata muuten, kuin simulaatiolla.



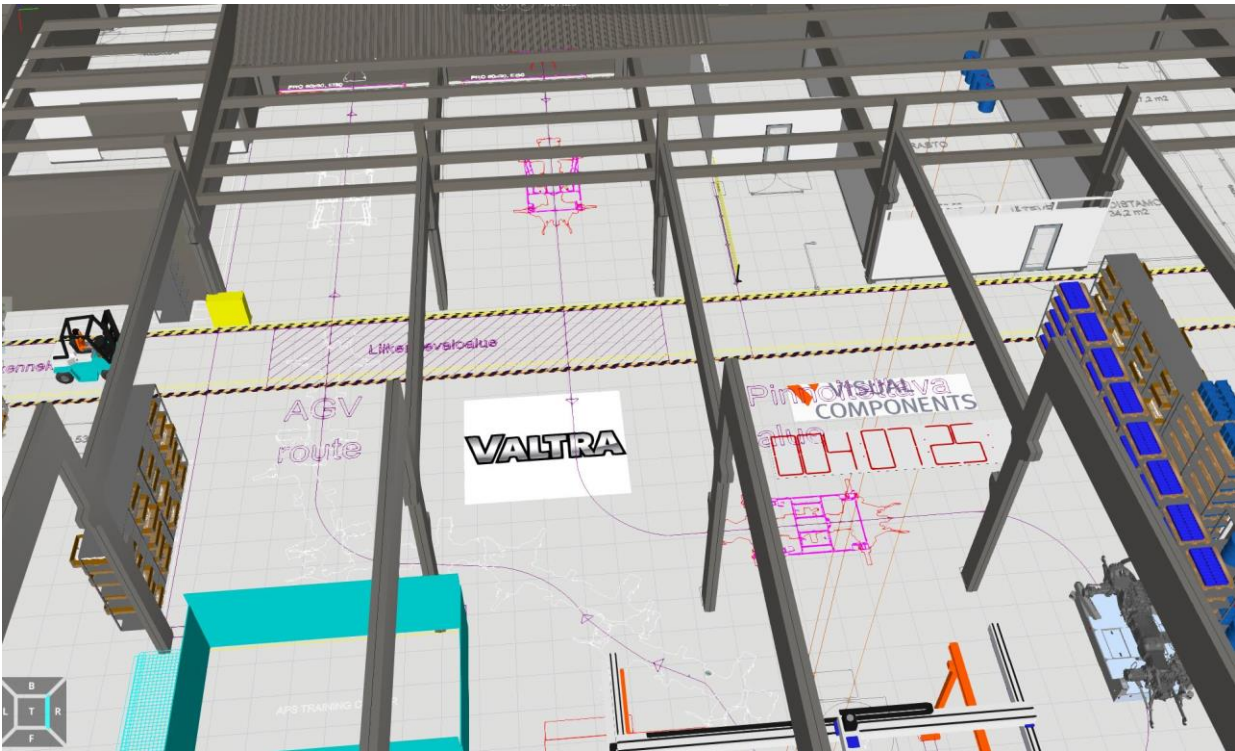
Kuvio 27 Kokoonpanolinjan nosto- ja laskupisteen simulaatio.

AGV siirtojen toteutus

Seuraavaksi simuloitiin traktorin rungon siirtämiseen tarvittavan AGV:n toiminta kokoonpanolinjan ja maalaamon välille. AGV joutuu liikkumaan todella rajoitetussa tilassa nosturinjalcojen ja kokoonpanohallin pilarien välissä, joten yhtenä simulaation tavoitteena oli tarkka ja realistinen AGV:n liike. Simulaatio toteutettiin aluksi PM Mobile Robot -komponenteilla, mitä laitettiin aluksi viisi kappaletta siirtämään traktorirunkoja. Näille määriteltiin toiminta-alueet eli Pathway:t, mihin asetettiin yksikaistainen toiminto, joten AGV:t/mobillirobotit eivät voineet ajaa edes takaisin niille ajettuja reittejä. Toiminta-alueista (Pathway) muodostettiin yksisuuntainen lenkki, missä maalaamon suuntaan ajetaan maalaamattoman rungon kanssa ja paluureitti maalatun rungon kanssa. PM

Mobile Robot:ien ja Pathway-komponenttien kanssa törmättiin toiseen Visual Componentsin toimintavirheeseen. Aluksi simulaation Mobile Robot poimi traktorirungon kokoonpanolinjan nostopisteeltä halutusti ja kuljetti sen maalaamon prosessipisteelle sille asetettua reittiä, mutta palasivat takaisin nosturille suorinta reittiä kunnioittamatta sille asetettua Pathway reittiä. Kun Visual Components sovelluksen sammutti ja käynnisti uudelleen, alkoivat Mobile Robotit ajamaan maalaamon Process Nodelle ja takaisin suorinta reittiä ja simulaatio antoi virheilmoituksen, että Pathway:lla on jokin este. Tästä tilasta simulaatio ei palautunut, vaikka Mobile Robot Controllerista yhdistettiin Pathway:t ja mobiilirobotit uudestaan ja vaikka Pathway kulkureittejäkin levennettiin varmuuden vuoksi.

Seuraava yritys AGV vaunujen liikeratojen simuloinnille toteutettiin poikkeavalla menetelmällä rakentamalla AGV:n reitille liukuhihna simulaation Z-tasoon asetetun DXF layout-kuvan mukaisesti, mihin voitiin määritellä AGV:ihin toimittajan ilmoittamat nopeudet. Tällä keinoin saavutettiin simulaation tavoitteet liikeradan ja nopeuksien osalta. Simulaatiosta kokeiltiin piilottaa liukuhihnakomponentit, jolla pyrittiin visuaalisesti realistiseen vaikutelmaan, että AGV:t ajavat itsestään eivätkä kulje liukuhihnalla. Liukuhihnakomponenttien piilottaminen Home-välilehden Hide-komennolla aiheutti kuitenkin sen, että se piilotti myös siinä kulkevat objektit eli AGV:n ja traktorirungon. Tämä ongelma saatiin kierrettyä piilottamalla liukuhihnakomponentit Modeling-välilehdeltä, jolloin AGV:n ja traktorirungon mallit jäivät simulaatioon näkyviin (Kuvio 28).



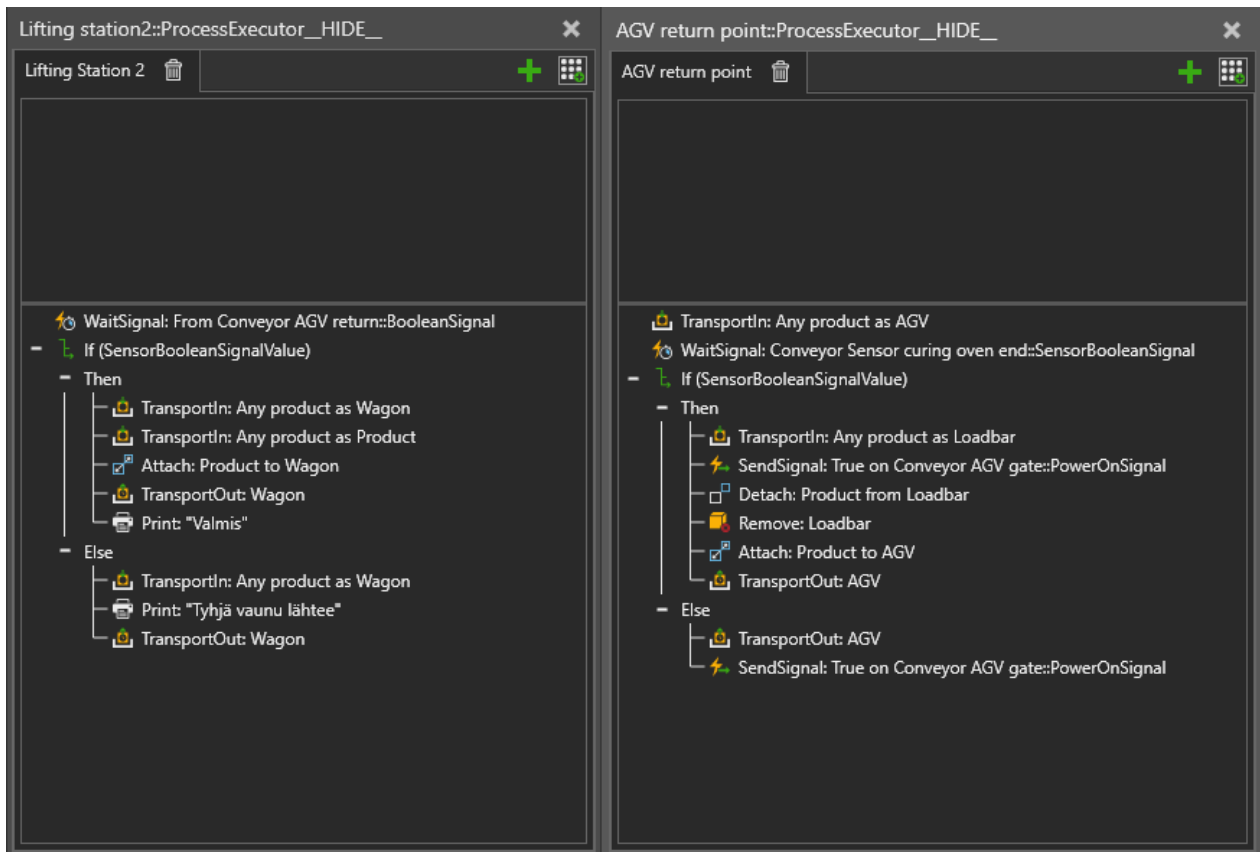
Kuvio 28 DXF-tiedosto AGV:n reitistä simulaation Z-tasolla ja AGV palauttamassa maalattua runkoa.

Maalaamon kuljetintekniikan toteutus simulaatiossa

Maalaamokierron simulaatio toteutettiin kuljettimilla, mihin runko nostetaan AGV:n päältä. Runko kiinnittyy ketjuilla kuljetinpalkkiin (Loadbar), mikä kulkee kuljetinta myöten määritetyllä nopeudella prosessipisteiden välillä. Kuljetinpalkkien määrittäminen kiinteäksi osaksi kuljetinlinjastoa olisi vaatinut Python-koodausta, niin päädyttiin helpompaan ratkaisuun, eli luomalla maalausprosessin ensimmäisellä prosessipisteellä kuljetinpalkki Create-komennolla, ennen kuin traktorin runko nostetaan kuljettimelle. Vastaavasti prosessin lopussa, kun maalattu runko erotetaan kuljetinpalkista ja siirretään AGV:n päälle, niin kuljetinpalkki tuhoetaan Sink-komennolla. Tätä Create ja Sink tapahtumien erotusta ei juuri simulaatiosta huomaa, koska edellisen kuljetinpalkin tuhoutuminen ja uuden luominen tapahtuu samalla prosessipisteellä yhtäaikaisesti, jolloin epäjatkuvuutta ei tule ja simulaatio pysyy siltä osin realistisena.

Maalaamokierto sisältää runkojen sivuttaista liikettä, joten kuljettimien alku- ja loppukoordinaatteja piti muokata Modeling-välilehdellä. Värikoodattujen koordinaattien kääntäminen on helppoa, kun varmistaa että liitettävien kuljetinkomponenttien koordinaatisto pysyy samansuuntaisena. Myös komponenttien tai objektien toisiinsa liittävä Snap-toiminto toimii normaalisti, vaikka koordinaatistoa muokkaa, mikä helpottaa kuljettimien paikoitusta toisiinsa. Maalaamokierto sisältää useamman eri kuljetinosuuden, koska maalausprosessien pysäkkien välit vaihtelevat (Kuva 19). Lähtötietona oli kuitenkin, että siirto kestää 45 sekuntia, jolloin kuljetinten nopeusparametrit (mm/s) voitiin asettaa mittaamalla pysäkin väli (mm) ja jakamalla se siirtoajalla 45 s. Oikein asetetut kuljettimen nopeusparametrit pitää maalaamokierron kokonaisuuden synkronoituna, jolloin simulaatio ei ala kasaamaan traktorirunkoja mihinkään kohtaan. Simulaation sisään asennetut maalaamon kiertoon liittyvät liukuhihnakomponentit näkyvät kuviossa 18.

Haastavinta simulaation toimintalogiikan ohjelmoinnissa oli ratkaista prosessin alkuvaihe, kun traktorinrunkoja ei vielä ole maalaamokierrossa. Tätä varten linjan nostopisteelle ja AGV:n jättöpaikalle maalaamoon piti rakentaa Process modeling:issa If-lauseke, joka lukee maalaamosta ja AGV:n paluureitiltä signaalia, että onko maalattua runkoa tulossa takaisin. Jos maalattua runkoa ei ole vielä prosessissa antaa logiikka luvan AGV:lle palata tyhjänä takaisin linjalle ja linjan vaihtosiirron, vaikka maalattua traktoria ei kokoonpanovaunulle tulekaan (Kuvio 29). Ilman tätä If-lauseketta kokonaisuuden logiikka toimisi siten, että yksi traktorirunko siirtyy AGV:n päälle, ajaa maalaamon nostopisteelle missä AGV odottaa koko maalaamokierron ajan, kunnes sama runko palaa maalattuna AGV kyydillä kokoonpanolinjalle. Koko tämän ajan kokoonpanolinja olisi odotustilassa, että milloin maalattu runko palaa takaisin linjalle.



Kuvio 29 If-lausekkeet AGV:n jättö pisteellä ja linjan nosto/lasku pisteellä.

6 Tutkimuksen tulokset

Simulaatio täytti sille asetetut tavoitteet pääpiirteittäin ja tulokset on esitelty tarkennuksineen omilla kappaleotsikoissaan. Kehitettävää ja päivitettävää simulaatioon vielä jäi, mutta koska simulaatio on aikataulullisesti varsinaisesta maalaamoprojektista jäljessä niin paljon, ei ollut järkevää käyttää enää resursseja maalaamosimulaation päivittämiseen.

Kokonaisprosessin eri tahtiaikojen ja tuotemixien testaaminen

Sekä tuotantolinjan, AGV:den ja maalaamon tahtiajat on säädettävissä simulaatiolla Statement-käskyjen Wait-parametreistä. Tuotemixit on säädettävissä Feeder-syöttölaitteen parametreistä esimerkiksi MPS (Master Production Schedule) ennusteen mukaisesti, jolloin voidaan simuloida ennakoivasti tulevaa tuotantoa. Tämä simulaation tavoite toteutui.

Linjan ja maalaamon keskinäinen tahdistaminen (sis AGV)

Kokoonpanolinjan, AGV:den ja maalamokuljettimen yhteiskäynti on realistinen simulaatiossa. Yhteiskäynti on testattavissa esimerkiksi pysäyttämällä kokoonpanolinja Signal-toiminnolla, jolloin AGV:t ja maalaamo jatkavat niin kauan, kun niiden prosessissa on tuotteita. Tätä simulaation toimintoa päästiin hyödyntämään, kun mietittiin miten maalaamattoman traktorirungon jättö ja maalatun rungon poiminta maalaamon päässä tapahtuu. Ilman simulaatiota oli vaikea hahmottaa mitä prosessissa tapahtuu, ja että mikä prosessi odottaa mitäkin tietyllä ajan hetkellä. Nopeutulla simulaatiolla päästiin nopeasti ja havainnollistavasti kiinni kokonaisuuden toiminnasta. Tämä simulaation tavoite toteutui.

Fyysisten rajoitteiden testaaminen. Miten uudet mallit soveltuvat prosessiin.

Simulaatiossa hyödynnettiin todellisia maalaamotekniikan ja traktorien CAD-malleja, joten simulaation tarkkuus fyysisiltä mitoiltaan oli todella tarkka. Simulaatiolla havaittiin potentiaalinen törmäys, missä traktorin nostolaitteen vetovarret törmäivät pesukoneen oven alareunaan ja pesukoneen sisällä pesusuutinkehiin. Jatkotutkimuksissa huomattiin, että vetovarsien kaltevuussäätimet on mallinnettu CAD-malleissa maksimimitaansa, jolloin vetovarret roikkuvat alimmassa mahdollisessa asennossa. Käytännössä kaltevuussäätimet on säädetty lyhyemmiksi ja niiden toimitusmitasta on valmistajan mittakuvaan määritetty spesifikaatio. Kun nostolaitteiden CAD-mallit korjattiin oikeaan positioon ei törmäysvaaraa enää kuitenkaan ollut. Lisäksi simulaatiota hyödynnettiin tarkastelemalla onko rungon nostoketjuilla riskinä takertua traktorirunkoon kiinni, kun runko on nostettu AGV:n päälle ja se lähtee liikkeelle. Tämä simulaation tavoite toteutui ja tätä simulaation ominaisuutta päästiin käytännössä hyödyntämään.

Pullonkaulojen tunnistaminen prosessista.

Tämä toiminto jäi testaamatta, kun ei ollut työntutkimuksellista dataa mitä olisi voinut hyödyntää. Simulaatiossa on kuitenkin prosessi kuvattu niin tarkasti, että prosessipisteisiin Work-käskyn lisäämällä ja sille ajan määrittämällä saadaan kokonaisprosessista statistiikkadataa kerättyä. Tämä voisi toimia simulaation jatkokehitykselle tutkintalinjana, jos jossain vaiheessa linjan tuotantomääriä nostettaisiinkin hurjasti. Tämä simulaation tavoite toteutui varauksin.

Tuotannon erilaisten häiriötilojen simulointi.

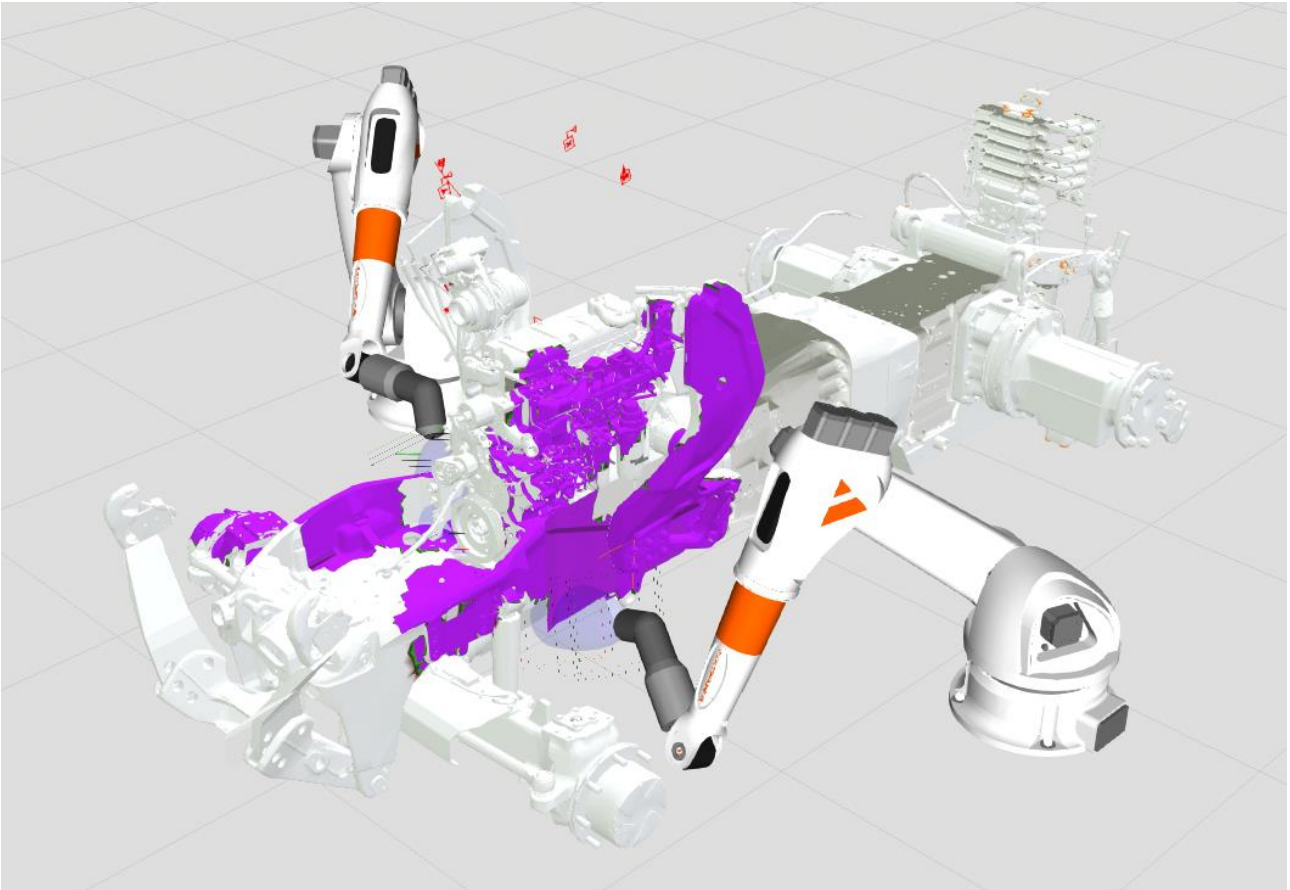
Tavoitteena simulaatiolla oli testata erilaisia tuotannon erikois- ja häiriötiloja, missä prosessikokonaisuus käyttäytyykin eri tavalla kuin normaali tuotannon aikana. Yhtenä esimerkkinä maalaimokuljettimen Night Mode, missä työvuoron lopussa yksi ylimääräinen traktorirunko jää esikäsitelyn ja maalaamon väliin ja useampi runko jää kuivausuunin ja AGV pisteen väliselle sivuttaiskuljettimelle. Tällaisen logiikan ohjelmointi koettiin niin haastavana, että tästä simulaatio ominaisuudesta luovuttiin jo projektin alkuvaiheessa, eli tältä osin tavoitteeseen ei päästy.

Kvantitatiivisesti tarkasteltuna simulaatio täytti sille asetetut tavoitteet 80 %: sesti, mutta kvalitatiivisessa mielessä tärkeimpiä tuloksia oli etenkin kokonaisuuden hahmottamiseen ja fyysisten rajoitteiden katselmointiin liittyvät simulaation ominaisuudet. Esimerkiksi törmäysriskihavainto simulaatiovaiheessa saattaa säästää aikaa ja rahaa huomattavia määriä, kuin että sama havainto tehtäisiin vasta maalaamon käyttöönottovaiheessa.

7 Tutkimuksen jatkokehityskohteet ja pohdinta

7.1 Maalaustapahtuman simulointi

Yksi Visual Componentsin useista erikoistoiminnoista on Premium versiossa oleva Paint-toiminto, millä voidaan simuloida maalaustapahtumaa (Kuvio 30). Sillä voidaan asettaa Tool Center Point:illa (TCP) maalausetaisyys ja määrittää haluttu maalikalvon paksuus. Simulointiohjelmisto maalaa kappaleen halutuilla parametreilla ja esittää värein niillä saavutetun maalikalvon paksuuden, esimerkiksi liian ohut kalvo punaisella, oikea paksuus vihreällä, liian paksu sinisellä. Tällaista ominaisuutta ei nykyisellään ole Valtralla käytössä olevassa Robot Studio -ohjelmistossa.



Kuvio 30 Maalaamisen simulointi Visual Components 4.5 Premium:in Paint-toiminnolla.

Maalausprosessin simulointia voisi tulevaisuudessa hyödyntää, tai ainakin testaamalla verrata simuloinnin tulosta todelliseen maalausrobotin tuottamaan maalaustulokseen ja toisin päin. Tämä vertailu olisi mahdollista Visual Componentsin Premium versiolla 4.6, missä on lisäosa ABB robottien suoraan ohjelmointiin (Introducing Visual Components 4.6, 2022). Maalausprosessin simulointia voisi testata käänteisesti ajamalla nykyinen hyväksi havaittu maalausohjelma simulaatiossa, jolloin saataisiin vertailudataa maalausprosessin simulaation realistisuudesta ja siten luotettavuudesta. Jos maalausprosessin simulaatio pystytään reaali maailmassa kääntäen testaamalla todeta riittävän tarkaksi, niin voitaisiin Visual Components ohjelmaa käyttää tulevaisuudessa maalausrobottien offline-ohjelmointiin. Huomioitavaa kuitenkin on, että AGCO:lla ja siten Valtralla on toistaiseksi käytössä vain Visual Componentsin Professional -versio, kun varsinaisen maalaustapahtuman simulointi vaatisi Premium-version. Robotteja voi toki ohjelmoida kummallakin ohjelmistoversiolla, mutta maalaustapahtuman simulointi vaatii Premium-version.

Aivan tutkimustyön lopussa päästiin haastattelemaan ruotsalaisen Eksar nimisen yrityksen automaatioinsinööriä ja toimitusjohtajaa Pelle Anderssonia. Hänellä on vahva osaaminen etenkin maalausrobottien ohjelmoinnista, simuloinneista ja VR-toimintojen hyödyntämisestä ohjelmoinnissa. Haastattelussa hän käytti maalausprosessin simuloinnista termiä "flashlight simulation", eli taskulamppu simulointi. Tällä hän tarkoitti simulaation tapaa maalata vain sitä pintaa mihin simuloitu maaliumun keila osuu suoraan, aivan kuin pintaan osoitettaisiin taskulampulla. Todellisuudessa maaliumuun vaikuttaa paineilman aiheuttama pyörre sekä maalaustulosta parantava sähköstaattinen varaus, mitkä mahdollistavat maaliumun leviämisen myös paikkoihin mitkä eivät ole suorassa linjassa maalausrobotin kanssa. Andersson oli kuitenkin kiinnostunut siitä, että miten paljon simulaation ja todellisen maalaustuloksen jälki eroaa käytännössä, vaikka simulaatio ei ota huomioon edellä mainittuja ulkoisia tekijöitä. Andersson myös sanoi, että maalausprosessin simulaatioita kehitetään koko ajan, joten on odotettavissa että tulevaisuudessa algoritmien kehittyessä tällaisella simulaatiolla voidaan saada hyvinkin todenmukaisia tuloksia maalausprosesseista (Andersson, 2023).

Tutkimustyön valmistuttua simulaatio ja sen jatkohyödyntämisehdotukset esiteltiin AGCO-konsernin Visual Components -lisenssejä hallinnoiville henkilöille, jotka kertoivat että vastaava käänteinen maalausohjelmien testaaminen on tehty Fendt:in tehtaalla Saksassa. Siinä testattiin tuomalla Fanuc-maalausrobottien ohjelma maalausprosessia simuloivaan ohjelmistoon, mutta epäselväksi jäi, että millaisia vertailutuloksia siitä saatiin. Oli myös epäselvää mitä simulointiohjelmaa siinä käytettiin. Alustavasti sovittiin konsernin yhteisestä testistä, missä eri tehtaiden maalausohjelmia testattaisiin simuloimalla, mutta aikatauluista, kontakteista tai muista yksityiskohdista ei vielä sovittu. Opinnäytetyön pohjalta ehdotettiin konsernin lisenssien päivittämistä Premium-versioon ja sitä harkitaan seuraavan Visual Components version hankinnan yhteydessä.

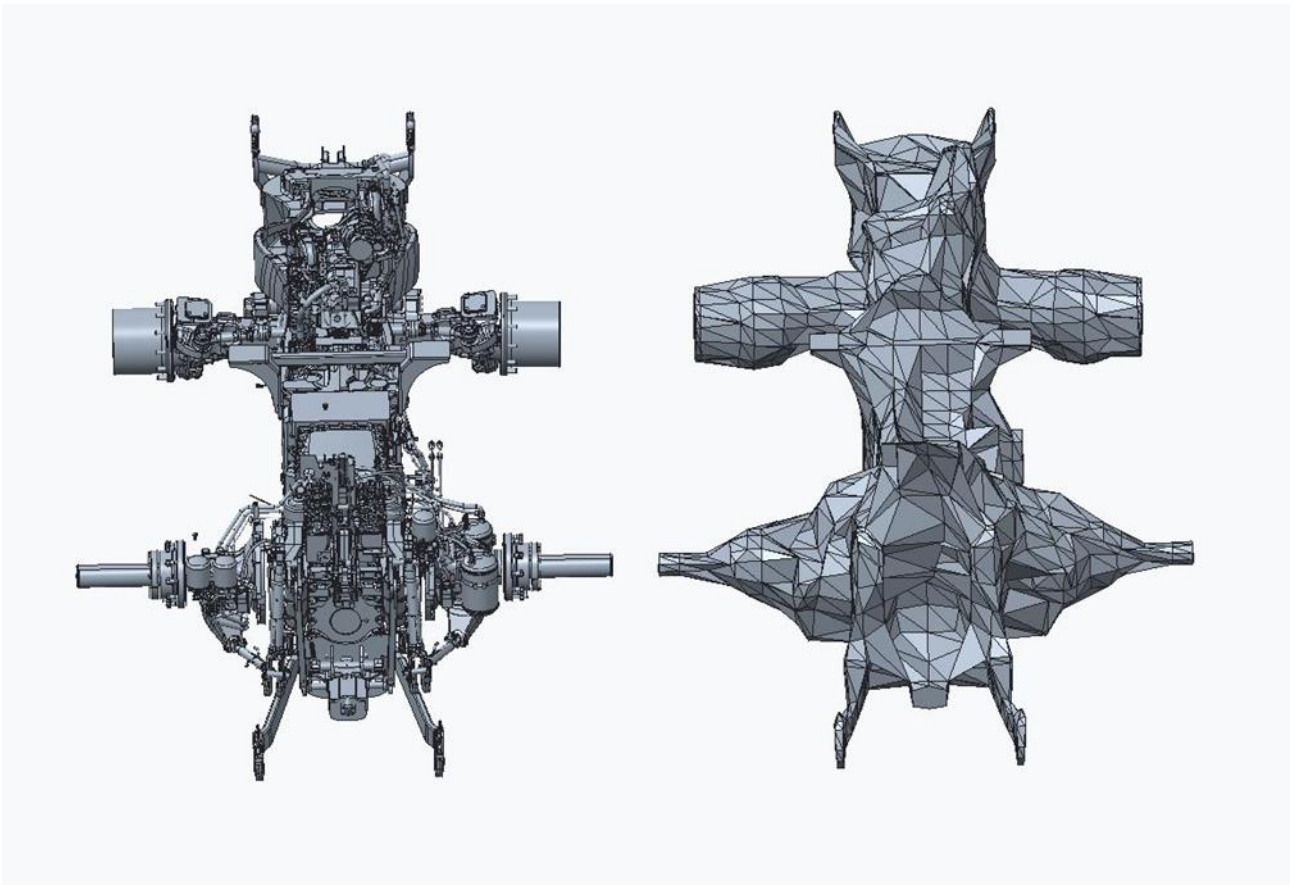
7.2 Prosessin statistiikkatoimintojen hyödyntäminen

Maalaamon simulaatiolla voitaisiin testata kokoonpanolinjan ja maalaamon erilaisia tahtiaikoja ja siten löytää kokonaisprosessista mahdollisia pullonkauloja. Myös maalaamon ja kokoonpanolinjan

välisen AGV:n eri nopeuksien vaikutusta prosessin kokonaisuuteen voidaan testata simulaation avulla, sekä testata millä tahtiajoilla AGV vaunujen määrää joudutaan mahdollisesti lisäämään. Simulaatiota jatkojalostamalla kattamaan myös kokoonpanolinja, voisi sillä testata kaikkien työpisteiden kuormia asettamalla traktorimallikohtaiset työntutkimuksen mittaamat kellotusajat Process Modeling:in Work statementilla ja asettaa Feeder:iin traktorimallikohtaisesti painotukset tuotantoennusteen mukaisesti. Pidemmällä simulaatioajolla voitaisiin katsoa Home-välilehden Statistics toiminnolla mitkä työvaiheet kuormittuvat ja missä olisi mahdollisesti resursseja vapaana. Tätä tutkintalinjaa jatkokehittämällä voidaan saavuttaa kokoonpanolinjaston digitaalinen kaksonen, mutta se edellyttäisi riittävän tarkkaa työntutkimusdataa kaikista tuotevariaatioista, sekä muutoksia simulaation Products-tuotetietoihin, missä eri mallit olisi jaettava omiksi tuotteiksi.

7.3 Teach a path -toiminnon ja shrinkwrap-mallin hyödyntäminen

Visual Componentsin Premium versiossa on Teach a path -toiminto, minkä avulla on mahdollista ohjelmoida robotin liikeratoja kappaleen piirteiden äärirajojen avulla. Tätä ominaisuutta käytetään muun muassa, jos halutaan robotin levittävän liimaa tai hitsaamaan jatkuvaa saumaa. Liikeradan ohjelmointi tapahtuu Programming-välilehdellä valitsemalla Teach a path -painike. Sen jälkeen kappaleesta valitaan reuna, mitä myöten robotin työkalun – tässä tapauksessa maaliruiskun – halutaan seuraavan. Sen jälkeen määritellään suunta, mistä työkalu valittua reunaviivaa lähestyy. Viivoja on nopea valita useampi valitsemalla aina seuraava viiva riittävän läheltä edellisen viivan päätepistettä, jolloin ohjelma automaattisesti yhdistää valitut viivat yhtenäiseksi liikeradaksi. Tässä yksinkertaistettu Faceted solid -toiminnolla tallennettu shrinkwrap-malli toimi huomattavasti nopeammin, kuin tarkka 3D-malli (Kuvio 31). Tietokone hidastui ja ohjelma pysähtyi useaksi sekunniksi ennen kuin tarkasta 3D-mallista sai valittua yhtään reunaa, kun taas Faceted solid-mallista sai valittua piirteitä ilman ohjelman kaatumista tai hidastelua.

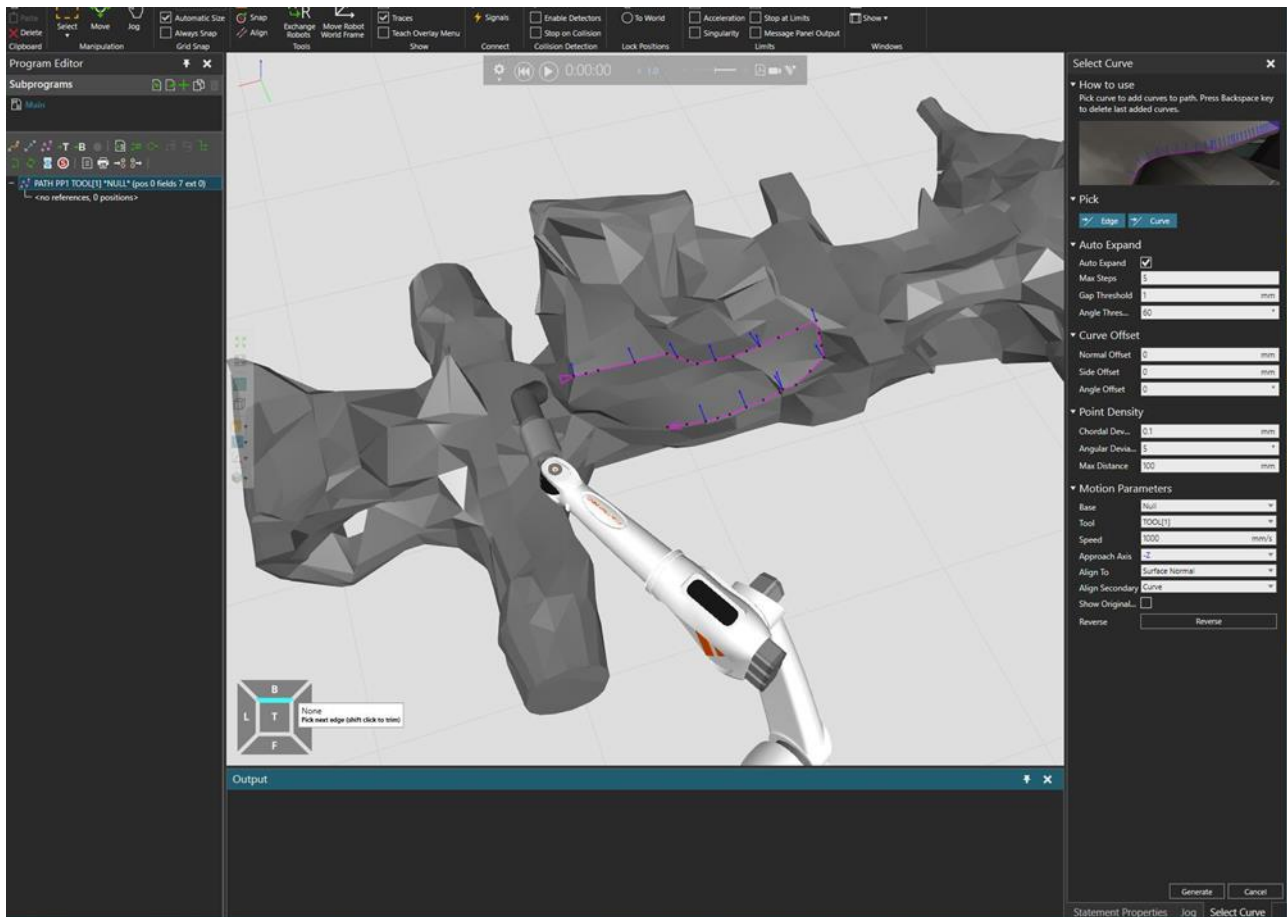


Kuvio 31 Faceted solid -mallin ja normaalin CAD-mallin erot.

Faceted solid -mallin käyttäminen robotin liikeratojen ohjelmoinnissa rajaa käyttökohteet ainoastaan maalaamiseen, puhaltamiseen tai muuhun suurpiirteisempään työhön johtuen Faceted solid -mallin suurpiirteisestä geometriasta. Maalausohjelman tekemisessä Teach a path -toiminnon edut jäävät kuitenkin vähäisiksi, koska perinteisissä pisteiden välisissä ja lineaarisissa liikeratakäskyissä robotin liikkeet ovat riittävän tarkat maalausprosessin kannalta ja robotin pisteiden määrittäminen ei ole tietokoneen suorituskyvylle niin raskasta kuin Teach a path - ohjelmointi.

Huomionarvoista tutkimuksen kannalta kuitenkin on, että Faceted solid -mallin kolmiomallien reunat ovat Teach a path -toiminnolla valittavissa olevia piirteitä, mikä saattaa olla hyödyllinen ominaisuus jossakin muussa käyttökohteessa (Kuvio 32). Traktoreissa on lukuisia lisävarusteita, mistä monet vaativat oman maalausohjelmansa, joten erilaisia maalausohjelmien variaatioita on useita kymmeniä. Nykykäytännön robottiohjelmoinnissa lisävarusteet on huomioitu lisäohjelminaan, mitkä aktivoidaan tarpeen mukaan. Ohjelmointi on tehty siten, että perusrungoille on tehty traktorimallikohtaisesti, mihin sitten lisätään lisävarusteet. Teach a path -toimintoa hyödyntäessä

kaikista traktorimalleista ja niiden lisävarustevariaatioista omien Faceted solid shrinkwrap -mallien tekeminen erikseen olisi niin hidasta, ettei niiden tekeminen käytännössä ei olisi järkevää. Myöskään edellisessä luvussa esitellyn maalausprosessin simulointituloksia ei voida soveltaa tähän menetelmään, koska geometria poikkeaa todellisesta traktorimallista.



Kuvio 32 Teach a path -toiminnolla valittuja Faceted solid -mallin reunaviivoja.

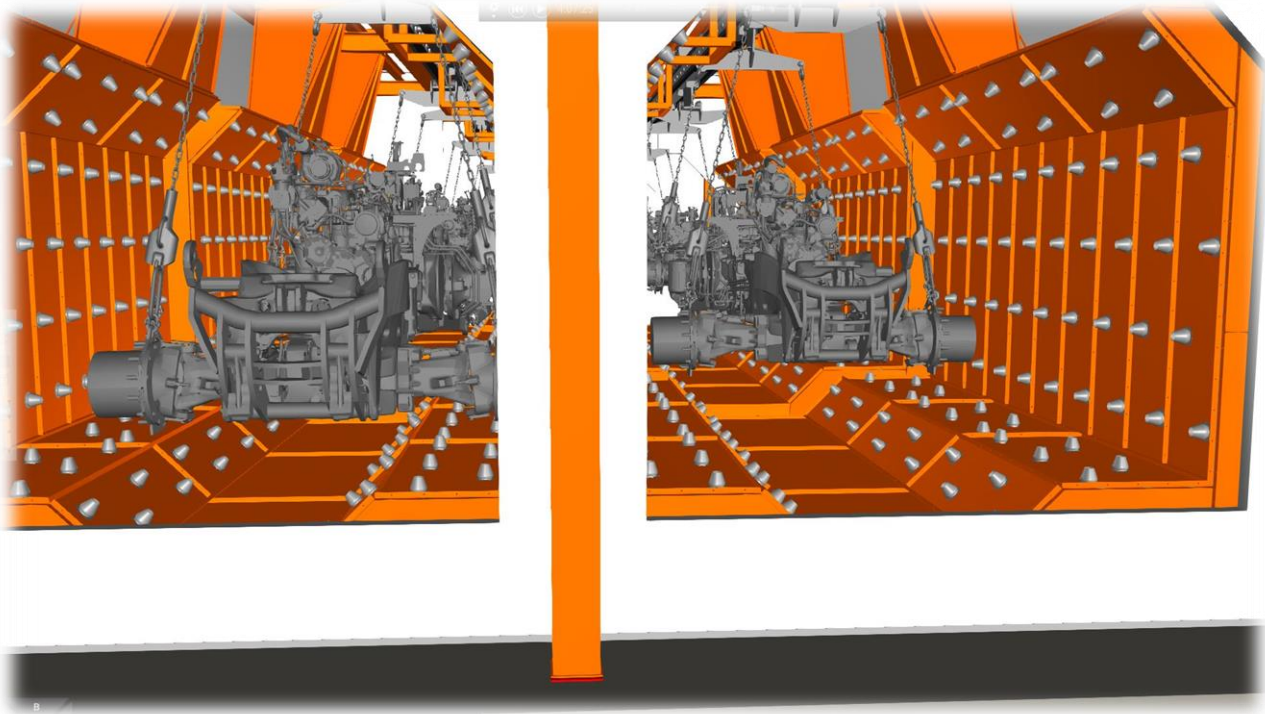
7.4 Simulaation hyödyntäminen presentaationa

Visual Componentsin simulaatiosta on mahdollista tallentaa videoita klikkaamalla simulaation kontrollipaneelin videokameran kuvaketta, tai Home-välilehden Export-ryhmän Video-painiketta. Video voidaan tallentaa myös nopeutetusta simulaatioajosta, jolloin lyhyelläkin videolla voidaan demonstroida katsojalle pitkien ja hitaiden prosessien toimintaidea. Videoon tallentuu simulaation aikainen näkymä, joten näkymää liikuttamalla voidaan käydä esimerkiksi tutkimuksen aiheena oleva maalausprosessi läpi kokonaisuutena, jolloin videolle saadaan tallentumaan kaikki prosessin vaiheet. Videot voidaan tallentaa eritasoisilla resoluutioilla, eri ruudunpäivitysnopeuksilla, mitkä

vaikuttavat tallennetun videotiedoston kokoon. Videot voidaan tallentaa formaateissa .avi, .mp4, sekä .mov. Nämä ovat yleisesti käytössä olevia videoformaatteja, mitä voidaan toistaa lähes millä tahansa Windows, Android tai Applen videon katseluun tarkoitetulla sovelluksella. Presentaation katsojalla ei siis tarvitse itsellään olla Visual Components -ohjelmistoa, vain jokin yleinen mediaa toistava sovellus riittää. Tällaista videopresentaatio olisi hyvä työkalu esimerkiksi jonkin hankkeen esittelyä rahoitusta tai johtoryhmän hyväksyntää varten, median käyttöä varten kun julkaistaan uutisia tulevista hankkeista, sekä projektien aikana tiedon jakamiseen projektin osapuolten välillä.

Visual Componentsin Premium versioon sopiva lisäosa Visual Components Experience mahdollistaa simulaation katsomisen VR-laseilla tai suoratoiston tabletin tai puhelimen näytölle. Valtran AGCO:n lisenssi kattaa vain Professional-version, joten VR-lasien testaaminen suoritettiin JAMKin Visual Components 4.5 Premium -lisenssillä. Visual Components tukee opinnäytetyön kirjoitushetkellä HTC Vive ja Vive Pro, Oculus Rift S, Samsung HMD Odyssey ja Valve Index virtuaalilaseja. Valtralla robottiohjelmien tekemisessä käytetään nykyään nykyään Quest 2 laseja, mutta onneksi jo käytöstä poistetut HTC Vive virtuaalilasit oli ehjät ja saatavilla, joten VR Experienceä voitiin testata. Jotta Experience voidaan ottaa käyttöön, on Visual Componentsista laitettava Animation Streaming -asetus päälle, mikä löytyy valikosta File–Options–Animation Streaming–Enabled. Asetuksen muuttaminen vaatii ohjelman uudelleen käynnistämisen. Tämän jälkeen voidaan käynnistää Experience, minkä virtuaalisen näkymän alavetovalikosta valitaan virtuaalilasien IP-osoite. Tämän jälkeen virtuaalilasien ohjaimella painetaan virtuaalivalikon Play-painiketta ja simulaatio käynnistyy.

Toimintatutkimuksena valmistunutta maalaamosimulaatiota esiteltiin virtuaalilaseilla maalaamon projektiryhmälle, sekä maalaamon työntekijöille. Virtuaalikokemus todettiin erittäin vaikuttavaksi, koska siinä konkretisoituu mittasuhteet ja siten saatiin hyvinkin realistinen kuva uuden maalaamon ja AGV:iden toiminnasta. Lisäksi VR-näkymässä pääsi tarkastelemaan huomattavasti paremmin prosessin eri vaiheita, koska näkyväisyys on parempi ja kuvakulma on luonnollisempi, kuin normaalisti näytöltä simulaatiota ylhäältä päin tarkastellessa (Kuvio 33).



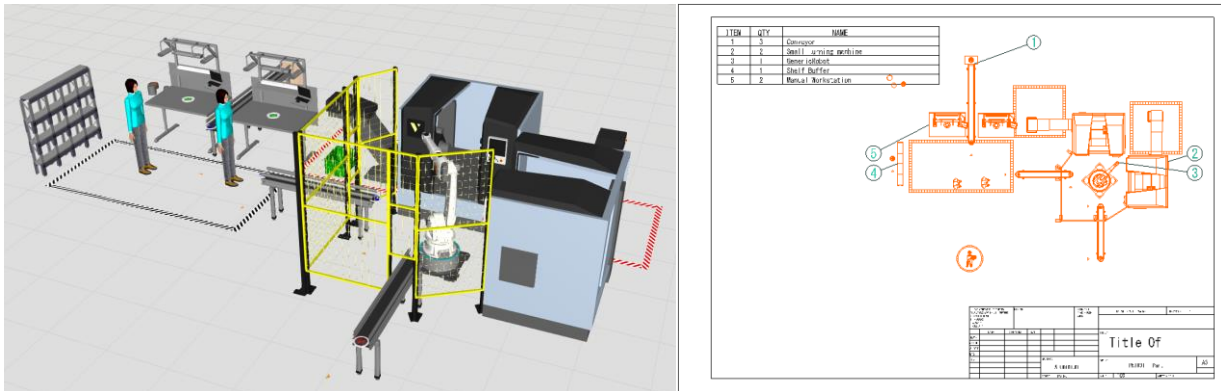
Kuvio 33 Kuivausuunit VR perspektiivistä katsottuna.

Palaverissa missä esitettiin simulaatiota ja sen jatkokehitysideoita AGCO konsernin päättäjille havaittiin, että VR Experience toiminto löytyy myös Professional-versiosta, mutta se ei toimi simulaation suoratoistona kuten toimintatutkimuksessa maalaamosimulaation VR testissä. Fendt:in tehtaalla Saksassa Experienceä oli testattu Professional-versiolla, jolloin simulaatiosta piti ajaa ensin tallenne, mitä voitiin sitten katselmoida Experience sovelluksella VR-laseilla. Suoratoistetun ja tallennetun simulaation käytännön eroja ei tutkimuksen puitteissa keretty testaamaan, mutta vain Premium-versiossa olevat VR-toimintojen interaktiiviset toiminnot puoltavat Visual Componentsin päivittämistä Premium-versioon.

7.5 Layout-suunnittelu

Valtralla tehtaiden ja kokoonpanopisteiden layout-suunnittelu tapahtuu nykyään AutoCAD-ohjelmalla 2D-maailmassa. Tämä asettaa joissakin tapauksissa haasteita, esimerkiksi kun korkeita laitteita sovitellaan kokoonpanoympäristöön. Esimerkkinä maalaamotekniikan ja kiinteistön sprinklauslaitteiston yhteentörmäys, mikä havaittiin vasta maalaamotekniikkaa asentessa ja mitä ei AutoCAD:issä voitu havaita. Visual Componentsin eCataloq-kirjaston valmiiden komponenttien avulla on nopea luoda esimerkiksi kokoonpanosolusta layout, mistä saa perinteisen ylänäkökymästä

olevan 2D-layout -kuvan Visual Componentsin Drawing-välilehdellä (Kuvio 34). 2D-näkymän voi tallentaa Visual Componentsilla muun muassa PDF-tiedostona, mikä on helposti avattavissa millä tietokoneella tahansa ilman kalliita ohjelmistoja, sekä DWG ja DXF-tiedostoina, jos on tarvetta muuntaa tiedosto AutoCAD:ille soveltuvaan muotoon.



Kuvio 34 Simulaatiomalli työpisteestä 2D-layout -malliksi käännettynä.

Lisätutkimahaarana tämän tutkimustyön ulkopuolella Visual Components simulaatioiden soveltamisesta voidaan pitää Experience lisäosan VR-toimintojen hyödyntämisestä työpistesuunnittelussa. Virtuaalilasien avulla saadaan realistinen kuva työpisteen toimivuudesta, koska eCatalogin valmiilla komponenteilla ja Windchillistä tuotujen traktorikokoonpanojen avulla voidaan todella nopeasti testata erilaisia työpisteitä virtuaalisesti. Visual Componentsin uudemmissa versioissa on mahdollista asettaa valikosta esineitä virtuaalisesti poimittaviksi (Pickable) lisäämällä eCatalog-komponenttikirjastosta Device controller -komponentti simulaatioon ja asettamalla poimittavan esineen Component Properties -valikosta Home-välilehdeltä VrPickable-asetus päälle.

Lisäksi eCatalog-kirjastossa on käyttöpaneelleja, mihin voidaan ohjelmoida eri toimintoja, mitä voidaan käynnistää ja sammuttaa virtuaalisessa simulaatiossa. Robotteja ja muita nivel- tai lineaariliikkeisiksi määriteltyjä komponentteja voi liikuttaa virtuaalisessa simulaatiossa, jos ne on määritelty liikuteltaviksi (Joggable). Näillä toiminnoilla voidaan rakentaa interaktiivinen simulaatio, missä esineitä voi siirrellä, käynnistää ja sammuttaa toimintoja, sekä liikutella robottien niveliä ja siten ohjelmoida niitä johdattamalla. Interaktiiviset toiminnot sisältyvät vain Premium-versioon.

Siirtymävaiheessa tehtaan Master layout voitaisiin pitää 2D-muodossa AutoCAD:issa, vaikka yksittäisten työpisteiden suunnittelu tapahtuisikin Visual Componentsin VR:ssä, mutta vähitellen yksittäisiä simulaatio-ohjelman työpisteitä voisi alkaa yhdistellä yhdeksi Visual Componentsin master-tiedostoksi, jolloin ollaan jo askeleen lähempänä digitaalista kaksosta, kun simulaatioon vielä lisätään Process Modeling:illa toimintoja työpisteiden välille.

8 Visual Components kehityskohteet

Simulointia tehdessä kaivattiin Visual Componentsista tiettyjä ominaisuuksia, mitä ei eCatalog kirjastosta löytynyt, liittyen lähinnä nosturin (Girder crane) ja mobiilirobottien toimintaan. Kuten luvussa 5.3 raportoitiin, havaittiin kyseisissä toiminnoissa epäloogisuuksia.

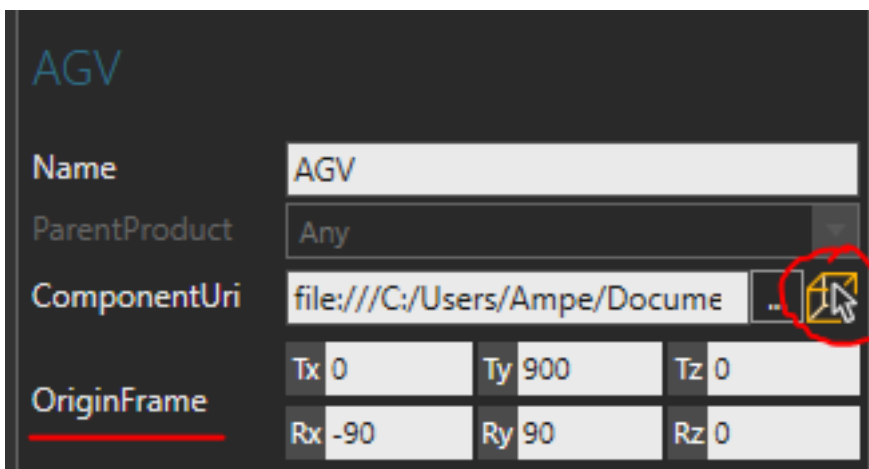
Nosturi

Nosturiin kaivattiin liikkeiden ohjelmointimahdollisuutta, kuten lineaarirobotissa. Lineaarirobotin Record routine -tallennusajo ja sen jälkeinen liikkeiden muokkaus Program-välilehdellä olisi ollut hyödyllinen toiminto myös nosturissa. Nosturin I/O-ohjaus olisi myös hyödyllinen, jos halutaan vaikka nostotapahtuman jälkeen käynnistää liukuhihnaa tai antaa vaikka lähtökäsky AGV:lle. Nämä ominaisuudet olisivat luultavasti lisättävissä nosturiin Behaviors-toiminnoilla ja Python-koodauksella, mutta olisi käyttäjäystävällisempää jos ne olisi valmiina ominaisuuksina nosturissa valittavana ominaisuuksina.

AGV toiminto

Mobiilirobottien toiminta Visual Componentsissa on autonomista ja sitä kautta liikeradat saattavat vaihdella simulaatioajona aikana. Tällainen liike on epätoivottua, jos mobiiliroboteilla on tarkoitus simuloida vakioreittiä ajavaa AGV:tä. Simulaation aikana mobiilirobotteja ei saatu toimimaan yhteen niille määriteltyjen Pathway-reittien kanssa halutusti, joten kuin luvussa 5.3 esiteltiin, päädyttiin simulaatiossa käyttämään Conveyor-liukuhihnaelementtejä liikuttamaan AGV:tä. Tästä saatiin kehitysidea AGV vihivaunujen simulointiin. Vakioreittiä ajava AGV voitaisiin simuloida siten, että ajoreitti voitaisiin piirtää simulaation Z-tasolle viivana. Reitin piirtämiseen olisi kätevin keino CAD-mallinnusohjelmissa yleisesti käytössä olevan Spline-toiminnon tyylinen piirtomoodi, millä

ajoreitin voisi määrittää simulaatioon. Reitin päät voisi tarttua toisiinsa Snap-toiminnolla, jolloin reitistä muodostuisi eheä lenkki. Tämän jälkeen piirretylle ajoreitille määriteltäisiin AGV janalla. Janan pituusmitta määrittyisi AGV:n akselivälin mukaan, jolloin liike reitillä olisi hallittua ja jana luokitsisi AGV:n pysty akselin suuntaisen position reittiin nähden oikeaksi. AGV:n fyysisen komponentin määrittämiseen voitaisiin käyttää samantyyppistä käyttöliittymää kuin Products-välilehdellä on prosessin tuotemäärittelyssä käytössä. Janan päälle voitaisiin Import-komennolla tuoda simulointiohjelman ulkopuolelta CAD-malli, mikä määriteltäisiin AGV:ksi Pick Component from 3D world -painikkeella ja samalla sille voitaisiin asettaa suunta ja origo (Kuvio 35).



Kuvio 35 Käyttöliittymä tuotemäärittelystä.

Tämän lisäksi AGV reitille voitaisiin asettaa Process Nodeja, jotka myös tarttuisivat ajoreitin viivaan Snap-toiminnolla. Prosessipisteiden asettamisen jälkeen AGV voisi toimia osana prosessisimulaatiota ja se voitaisiin asettaa prosessipisteiden väliseksi Transport-toiminnoksi. Näiden perustoimintojen lisäksi AGV-reitille olisi oleellista pystyä määrittämään puskuri- ja latausalueet.

Lähteet

About Us. N.d. Visual Components verkkosivut. Viitattu 10.4.2023

<https://www.visualcomponents.com/about-us/>

Andersson, P. 2023. Keskustelu simulaation esittelypalaverin yhteydessä Valtralla 14.4.2023.

André, Jean-Claude. 2019. Industry 4.0: Paradoxes and Conflicts. John Wiley & Sons, Incorporated

<https://ebookcentral-proquest-com.ezproxy.jamk.fi:2443/lib/jypoly-ebooks/reader.action?docID=5825593>

Boehm J., Kyle S., Luhmann T., Robson S. 2013. Close-Range Photogrammetry and 3D Imaging. 2. painos. De Gruyter, Inc.

ColdStream. N.d. Diabatix-verkkosivut. Viitattu 16.4.2023. <https://www.diabatix.com/coldstream>

eCatalog. N.d. Visual Components verkkosivu. Viitattu 16.10.2022.

<https://www.visualcomponents.com/ecatalog/#/> .

eCatalog. N.d. Visual Components verkkosivut. Viitattu 10.4.2023

<https://www.visualcomponents.com/ecatalog/#/>

Franklin, M, I. 2013. Understanding Research: Coping with the Quantitative – Qualitative divide.

Abingdon, Oxon : Routledge. <https://ebookcentral-proquest-com.ezproxy.jamk.fi:2443/lib/jypoly-ebooks/reader.action?docID=1046923>

Geller, P. 2010. Built Environment: Design, Management and Applications : Design, Management and Applications. E-kirja. New York: Nova Science Publishers, Incorporated. <https://ebookcentral-proquest-com.ezproxy.jamk.fi:2443/lib/jypoly-ebooks/reader.action?docID=3018168&query=> .

Gilchrist, Alasdair. 2018. Industry 4.0: The Industrial Internet of Things. Apress.

[https://masterworkshop.skillport.com/skillportfe/assetSummaryPage.action?assetid=RW\\$655: ss_book:115830#summary/BOOKS/RW\\$655: ss_book:115830](https://masterworkshop.skillport.com/skillportfe/assetSummaryPage.action?assetid=RW$655: ss_book:115830#summary/BOOKS/RW$655: ss_book:115830)

Gupta, A. K. Arora, S.K. Westcott, J. R. 2017. Industrial Automation and Robotics. Mercury Learning and Information. https://app-knovel-com.ezproxy.jamk.fi:2443/kn/resources/kpIAR00001/toc?issue_id=kt0119K3KD&hierarchy=undefined

https://app-knovel-com.ezproxy.jamk.fi:2443/kn/resources/kpIAR00001/toc?issue_id=kt0119K3KD&hierarchy=undefined

Héno R, Chandlier L. 2014. 3D modeling of buildings: Outstanding Sites. John Wiley & Sons, Incorporated. <https://ebookcentral-proquest-com.ezproxy.jamk.fi:2443/lib/jypoly-ebooks/reader.action?docID=1752699> .

Hietikko, E. 2020. Solidworks 2020: tietokoneavusteinen suunnittelu. Helsinki: Books on Demand.

Hyytiä, H. 2021. Työelämätiistai: Tuoko Teollisuus 5.0 helpotusta osaajapulaan teknologia-aloilla? Keski-Uudenmaan koulutuskuntayhtymä Keuda. Viitattu 16.4.2023
<https://www.keuda.fi/2021/09/28/tyoelamatiistai-tuoko-teollisuus-5-0-helputusta-osaajapulaan-teknologia-aloilla/>

Ilmarinen, V. Koskela, K. 2015. Digitalisaatio. Alma Talent Oy. Viitattu 26.10.2022.
<https://bisneskirjasto-almatalent-fi.ezproxy.jamk.fi:2443/teos/IACBGXCTEB#/kohta:Digitalisaatio/piste:ta> .

Import Point Cloud. N.d. Visual Components verkkosivut. Viitattu 6.10.2022
<https://academy.visualcomponents.com/lessons/import-point-cloud/>

Introducing Visual Components 4.6. 2022. Visual Components verkkosivu. Viitattu 10.4.2023.
<https://www.visualcomponents.com/resources/blog/introducing-visual-components-4-6/>

IRB 5400 datasheet. N.d. ABB-verkkosivut. Viitattu 10.4.2023
<https://library.e.abb.com/public/51f6a33caf45781b482576ba0045aeb6/IRB%205400%20slim%20Datasheet.pdf>

IRB 5500 technical data. N.d. ABB-verkkosivut. Viitattu 15.4.2023
<https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=RP50010EN&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>

Joala V. 2006. Laserkeilauksen perusteita ja mittauksen suunnittelu. Leica Nilomark Oy.
<https://drive.google.com/file/d/0B3MfAq-wXowIN2Q4MzJIYjktZTA5Ni00ZGMyLTlkOWUtNTQzMDIwZTI3NDVm/view?pli=1&resourcekey=0-oQ0IKbagU1tAsVfnZXWibg> .

Marttinen, J. 2018. Palvelukseen halutaan robotti: tekoäly ja tulevaisuuden työelämä. Aula & co.
<https://janet.finna.fi/Record/jamk.993506944806251> .

Modeling and Simulation. 2001. Systems Engineering Fundamentals. U.S. Department of Defence. Viitattu 16.4.2023. https://app-knovel-com.ezproxy.jamk.fi:2443/web/view/khtml/show.v/rcid:kpSEF00001/cid:kt00TYSHLP/viewerType:khtml//root_slug:13-modeling-and-simulation/url_slug:modeling-simulation?b-toc-cid=kpSEF00001&b-toc-title=Systems%20Engineering%20Fundamentals&b-toc-url-slug=modeling-simulation&issue_id=kt00TYSHK1&view=collapsed&zoom=1&page=1

Nath, S,V., Schalkwyk, P. 2021. Building Industrial Digital Twins. Packt Publishing. <https://janet.finna.fi/Record/jamk.993695435806251>

Newsletter: EESC info. 2019. Euroopan talous- ja sosiaalikomitea. Viitattu 16.4.2023 <https://www.eesc.europa.eu/fi/news-media/eesc-info/012019/articles/66151>

Products. N.d. Visual Components verkkosivut. Viitattu 10.4.2023 <https://www.visualcomponents.com/products/>

SFS-EN ISO 10218-1. 2013. Robotit ja robotiikkalaitteet. Turvallisuusvaatimukset. Osa 1:Teollisuusrobotit. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Viitattu 10.4.2023 <https://janet.finna.fi>, SFS-online.

Simulation. N.d. Simplan-verkkosivut. Viitattu 21.2.2023. <https://www.simplan.de/en/faq-simulation-en/>

Simulation. N.d. Tieteen termipankki. Viitattu 1.10.2022. https://tieteentermipankki.fi/wiki/Clean_Energy_Research:simulation .

Sustainability of Digital Formats. N.d. Library of Congress verkkosivut. Viitattu 10.4.2023 <https://www.loc.gov/preservation/digital/formats/fdd/fdd000448.shtml>

Valtran tehtaalle rakennetaan huippunykyaikainen maalaamo. 2021. Valtra verkkosivut. Viitattu 10.4.2023. <https://www.valtra.fi/uutiset-ja-tapahtumat/Valtran-tehtaalle-uusi-maalaamo.html>

Visual Components Oy yrityksen perustiedot. N.d. Kauppalehti yrityshaku <https://www.kauppalehti.fi/yritykset/yritys/visual+components+oy/06651672>

Weather forecast models. 2022. Ilmatieteenlaitoksen verkkosivut. Viitattu 1.10.2022. <https://en.ilmatieteenlaitos.fi/weather-forecast-models>

Liitteet

Liite 1. Simulaation tavoitteet

Visual Components simulointiohjelmiston hyödyntäminen. Kyselykaavake:

Tavoitteet. Mitä maalaamon simuloinnilta halutaan:

1. Kokonaisprosessin eri tahtiaikojen ja tuotemixien testaaminen
2. Linjan ja maalaamon keskinäinen tahdistaminen (sis AGV)
3. Fyysisten rajoitteiden testaaminen. Miten uudet mallit soveltuvat prosessiin.
4. Pullonkaulojen tunnistaminen prosessista.
5. Tuotannon erilaisten häiriötilojen simulointi.

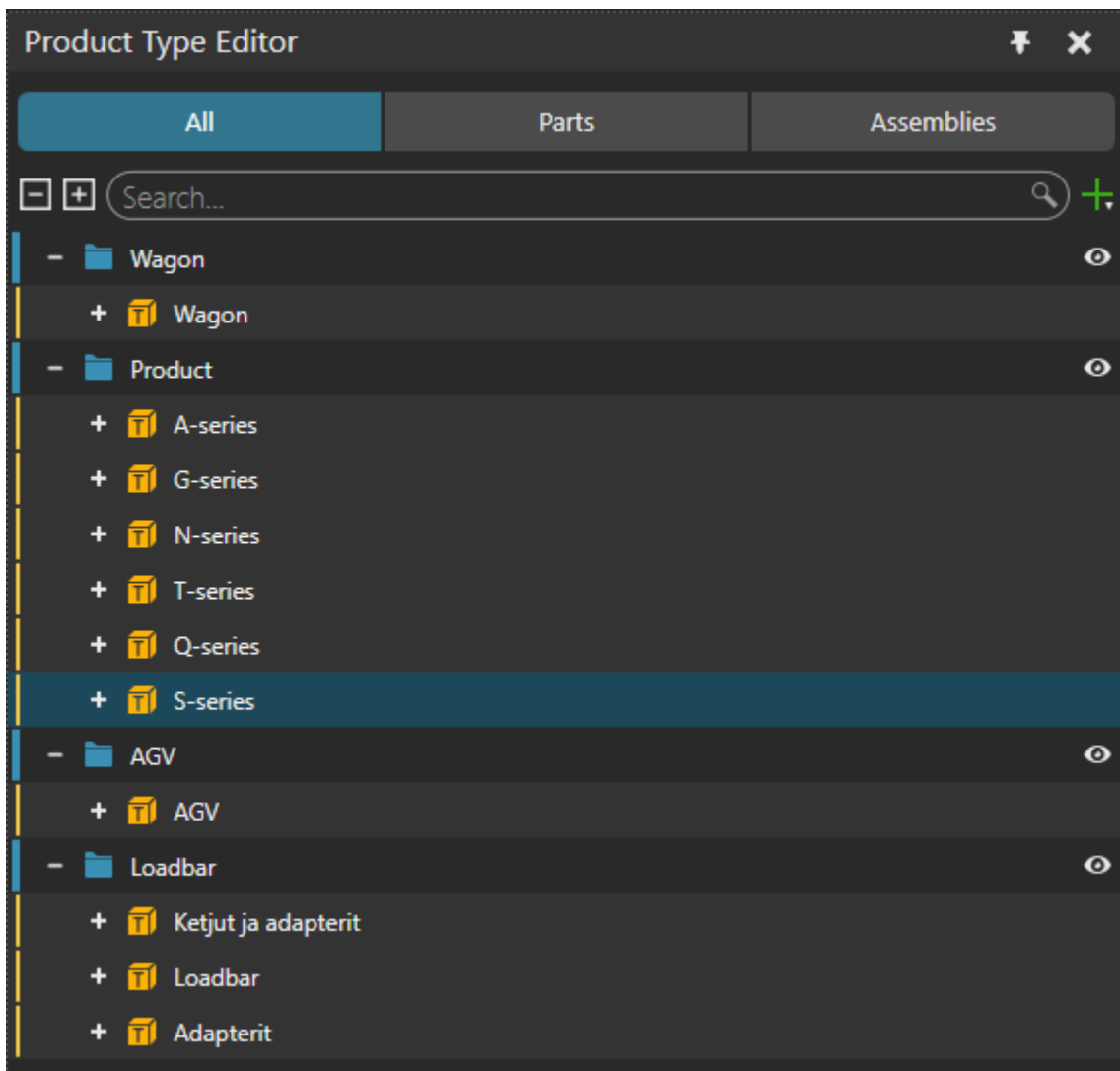
|

Liite 2. Visual Componentsin tukemat tiedostomuodot

Supported CAD Files

Name	Version	Extension	Import	Export
3D Manufacturing Format	1.2.3	.3mf	✓	✓
3D Studio	All	.3ds	✓	✓
ACIS	Up to 2021	.sat, .sab	✓	✗
ASCII Point Cloud file	All	.xyz, .pts, .xyzrgb	✓	✗
Autodesk FBX	FBX ASCII: from 7100 to 7500. Binary: all.	.fbx	✓	✗
Autodesk Inventor	Up to 2023	.ipt, .iam	✓	✗
Autodesk RealDWG	AutoCAD 2000-2019	.dwg, .dxf	✓	✓
Binary point cloud point	All	.bxyz	✓	✗
CATIA V4	Up to 4.2.5	.session, .dlv, .exp	✓	✗
CATIA V5	Up to V5_6R2022	.CATDrawing, .CATPart, .CATShape, .cgr	✓	✗
CATIA V6	Up to V5-6 2019	.3dxml	✓	✗
COLLADA	Any	.dae	✓	✗
Creo	Pro/Engineer 19.0 to Creo 9.0	.asm, .neu, .prt, .xas, .xpr	✓	✗
GL Transmission Format	2.0 only	.gltf, .glb	✓	✗
I-deas	Up to 13.x [NX5] and NX I-deas 6	.mf1, .arc, .unv, .pkg	✓	✗
IFC2x	2 to 4	.ifc, .ifczip	✓	✗
IGES	5.1 to 5.3	.igs, .iges	✓	✗
Igrip/Quest/VNC	All	.pdb	✓	✓
JT	Up to v10.6	.jt	✓	✓
Parasolid	Up to v34.1	.x_b, .x_t, .xmt, .xmt_txt	✓	✗
PRC	All	.prc	✓	✓
Revit	2015 to 2022	.rvt	✓	✗
Robface	All	.rf	✓	✗
Rhino	from 4 to 7	.3dm	✓	✗
Solid Edge	V19-20, ST-ST10, 2022	.asm, .par, .pwd, .psm	✓	✗
SolidWorks	from 97 up to 2022	.sldasm, .sldprt	✓	✗
STEP	Up to AP 203 E1/E2, AP 214 and AP 242	.stp, .step	✓	✓
Stereo Lithography (ASCII and Binary)	All	.stl	✓	✓
U3D	ECMA-363 1st, 2nd and 3rd editions	.u3d	✓	✓
Unigraphics (Siemens PLM software NX)	V11.0 to v18, NX to NX12.0, and NX1847 Series to NX2206	.u3d	✓	✓
VDA-FS	1.0 and 2.0	.vda	✓	✗
VRML	1.0 and 2.0	.wrl, .vrml	✓	✓
Wavefront	All	.obj	✓	✓

Liite 3. Visual Components -simulaation Products-asetukset



Liite 5. Kokoonpanovaunun prosessilogiikka

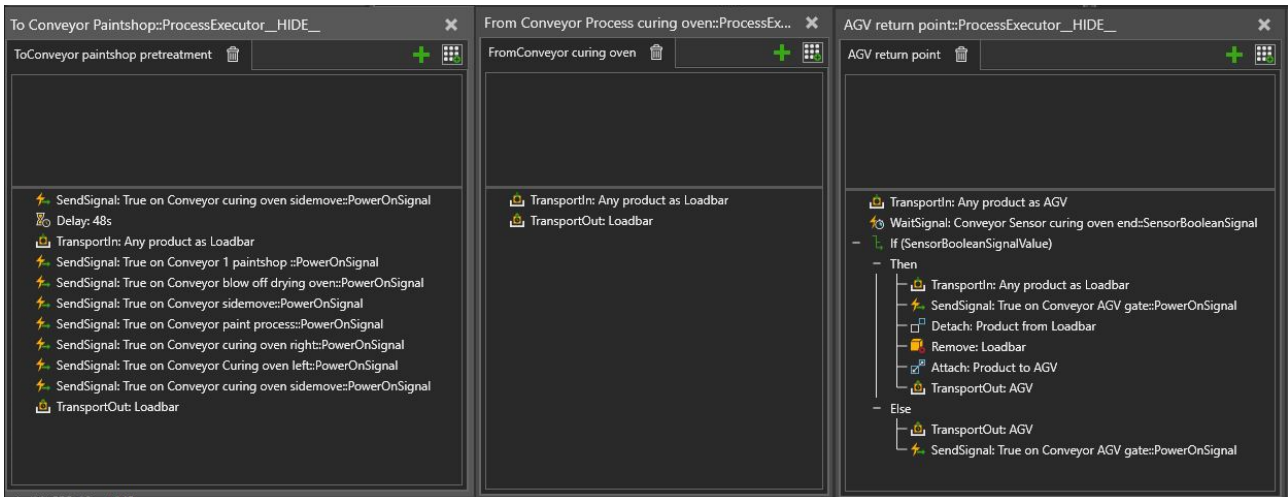
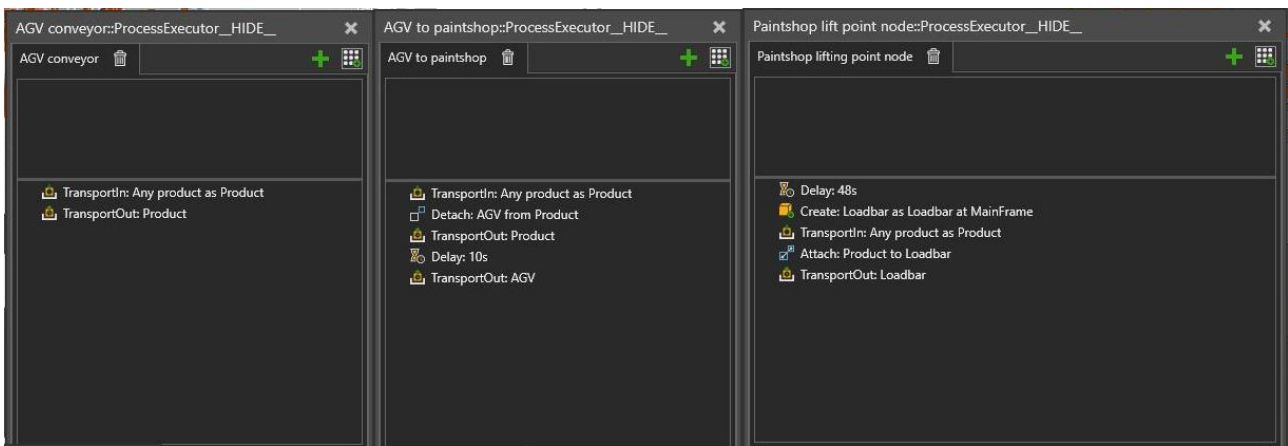
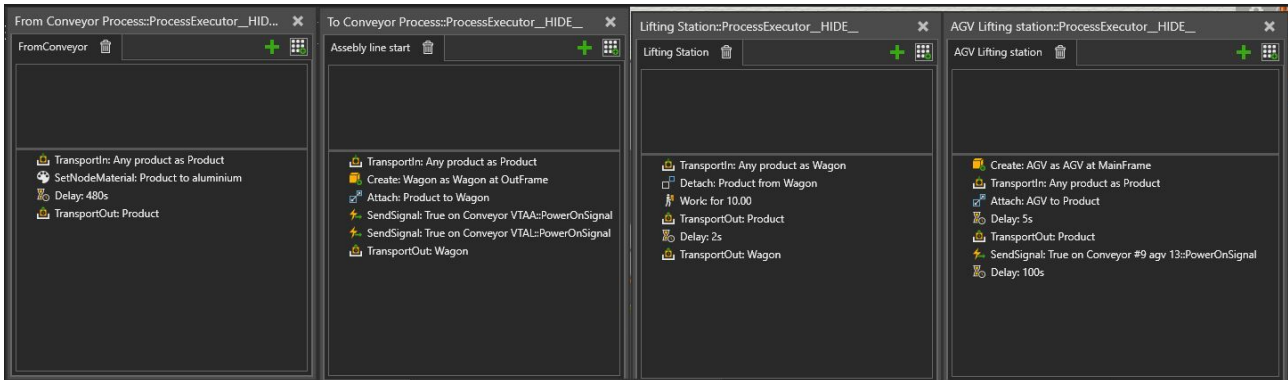
The image shows three screenshots of process logic windows, each with a title bar and a list of actions:

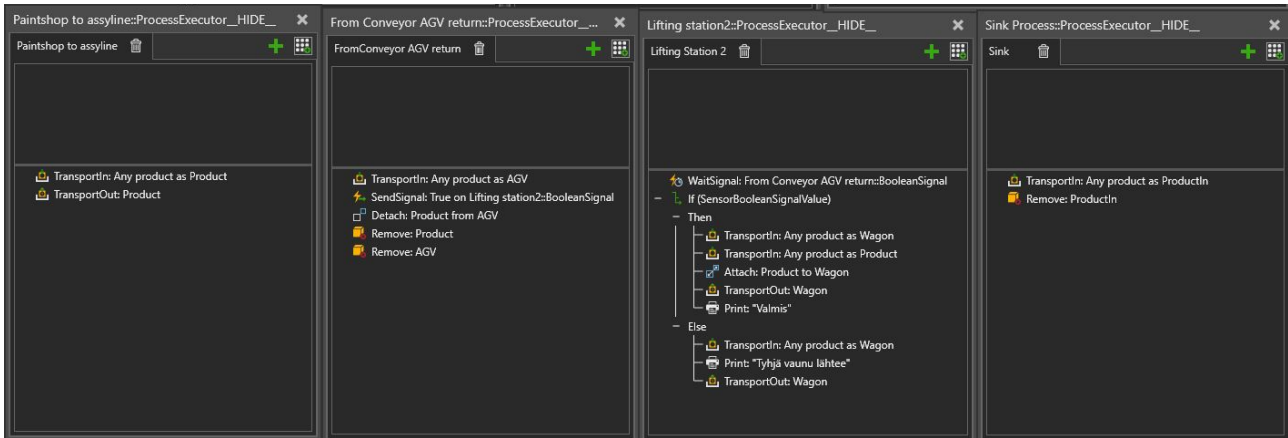
- From Conveyor Process::ProcessExecutor_HIDE_...**
 - From Conveyor
 - TransportIn: Any product as Product
 - SetNodeMaterial: Product to aluminium
 - Delay: 480s
 - TransportOut: Product
- To Conveyor Process::ProcessExecutor_HIDE_...**
 - Asseby line start
 - TransportIn: Any product as Product
 - Create: Wagon as Wagon at OutFrame
 - Attach: Product to Wagon
 - SendSignal: True on Conveyor VTAA::PowerOnSignal
 - SendSignal: True on Conveyor VTAL::PowerOnSignal
 - TransportOut: Wagon
- Lifting Station::ProcessExecutor_HIDE_...**
 - Lifting Station
 - TransportIn: Any product as Wagon
 - Detach: Product from Wagon
 - Work: for 10.00
 - TransportOut: Product
 - Delay: 2s
 - TransportOut: Wagon

The image shows two screenshots of process logic windows:

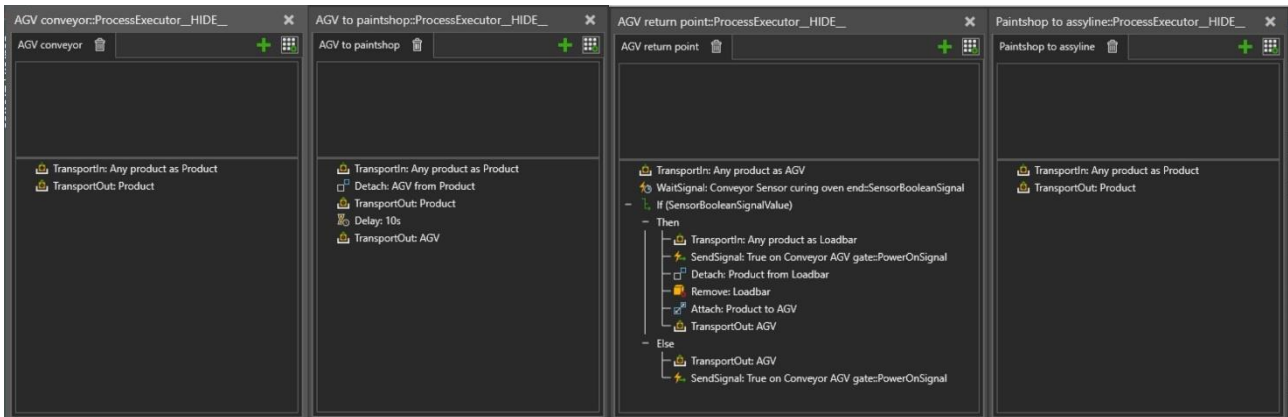
- Lifting station2::ProcessExecutor_HIDE_...**
 - Lifting Station 2
 - WaitSignal: From Conveyor AGV return::BooleanSignal
 - If (SensorBooleanSignalValue)
 - Then
 - TransportIn: Any product as Wagon
 - TransportIn: Any product as Product
 - Attach: Product to Wagon
 - TransportOut: Wagon
 - Print: "Valmis"
 - Else
 - TransportIn: Any product as Wagon
 - Print: "Tyhjä vaunu lähtee"
 - TransportOut: Wagon
- Sink Process::ProcessExecutor_HIDE_...**
 - Sink
 - TransportIn: Any product as ProductIn
 - Remove: ProductIn

Liite 6. Traktorirunkojen prosessilogiikka





Liite 7. AGV:n prosessilogiikka



Liite 8. Loadbar:in prosessilogiikka

The image displays five windows from a simulation software, each representing a different process executor. The windows are arranged in a grid-like fashion, with some overlapping. Each window has a title bar and a list of actions or events.

- Paintshop lift point node::ProcessExecutor_H...**:
 - Delay: 48s
 - Create: Loadbar as Loadbar at MainFrame
 - TransportIn: Any product as Product
 - Attach: Product to Loadbar
 - TransportOut: Loadbar
- To Conveyor Paintshop::ProcessExecutor_HIDE_**:
 - SendSignal: True on Conveyor curing oven sidemove::PowerOnSignal
 - Delay: 48s
 - TransportIn: Any product as Loadbar
 - SendSignal: True on Conveyor 1 paintshop ::PowerOnSignal
 - SendSignal: True on Conveyor blow off drying oven::PowerOnSignal
 - SendSignal: True on Conveyor sidemove::PowerOnSignal
 - SendSignal: True on Conveyor paint process::PowerOnSignal
 - SendSignal: True on Conveyor curing oven right::PowerOnSignal
 - SendSignal: True on Conveyor Curing oven left::PowerOnSignal
 - SendSignal: True on Conveyor curing oven sidemove::PowerOnSignal
 - TransportOut: Loadbar
- Process Node paint robot::ProcessExecutor_H...**:
 - TransportIn: Any product as Loadbar
 - Detach: Product from Loadbar
 - SetNodeMaterial: Product to dark_grey_matte
 - Attach: Product to Loadbar
 - TransportOut: Loadbar
- Process Curing oven siderail::ProcessExecutor_...**:
 - TransportIn: Loadbar as Loadbar
 - SendSignal: False on Conveyor AGV gate::PowerOn...
 - TransportOut: Loadbar
- From Conveyor Process curing oven::ProcessEx...**:
 - TransportIn: Any product as Loadbar
 - TransportOut: Loadbar
- AGV return point::ProcessExecutor_HIDE_**:
 - TransportIn: Any product as AGV
 - WaitSignal: Conveyor Sensor curing oven end::SensorBooleanSignal
 - If (SensorBooleanSignalValue)
 - Then
 - TransportIn: Any product as Loadbar
 - SendSignal: True on Conveyor AGV gate::PowerOnSignal
 - Detach: Product from Loadbar
 - Remove: Loadbar
 - Attach: Product to AGV
 - TransportOut: AGV
 - Else
 - TransportOut: AGV
 - SendSignal: True on Conveyor AGV gate::PowerOnSignal