

Miikka Metsälä

# **Maalauslinjaston kapasiteetin arvioiminen simulointimallien avulla**

Opinnäytetyö

Opinnäytetyö

Kevät 2018

SeAMK Tekniikka

Automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma

**SeAMK** 

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU  
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

## Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Seinäjoen ammattikorkeakoulu

Tutkinto-ohjelma: Automaatiotekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Koneautomaatio

Tekijä: Miikka Metsälä

Työn nimi: Maalauslinjaston kapasiteetin arvioiminen simulointimallien avulla

Ohjaaja: Jarkko Pakkanen

Vuosi: 2018 Sivumäärä: 40 Liitteiden lukumäärä: 0

---

Tämän opinnäytetyön aiheena on maalauslinjaston kapasiteetin arvioiminen simulointimallien avulla. Työn toimeksiantaja on Trailander Oy. Trailander Oy on päättänyt rakentaa kuivausuunin parantaakseen maalauslinjastoansa sekä tutkiakseen maalauslinjastonsa prosesseja. Työn tavoitteena on antaa arvio maalauslinjaston tulevasta kapasiteetista kuivausuunin myötä tekemällä simulointimalleja maalauslinjastosta kahdessa eri vaiheessa.

Teoriaosuus toteutettiin pääasiassa verkkolähteiden pohjalta. Teoriaosassa käsitellään maalaamon toimintaa eri työvaiheissa sekä työn tehokkuuden arvioimista simuloimalla. Työ sisältää tietoa mm. maalaamon eri työvaiheista sekä simulointimallien hyödyntämisestä työn tehokkuuteen.

Työn toteutusosiossa simuloidaan Trailander Oy:n maalauslinjaston nykyinen tilanne sekä tuleva tilanne investoinnin myötä. Simuloitujen mallien perusteella pohditaan malleista saatuja tuloksia.

Avainsanat: jauhemaalauk, simulointi.

## SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: Seinäjoki University of Applied Sciences

Degree programme: Automation Engineering

Specialisation: Machine Automation

Author: Miikka Metsälä

Title of thesis: Evaluating the capacity of the painting line using simulation models.

Supervisor: Jarkko Pakkanen

Year: 2018      Number of pages: 40

---

The purpose of this Bachelor's thesis was to evaluate the capacity of the painting line using simulation models. The work was commissioned by Trailander Oy. Trailander Oy had decided to build a drying furnace at its painting line to improve the processes of the line. The aim of the work was to give estimations of the future capacity of the painting line improved with drying furnace by simulating the painting line at various stages.

The theoretical part was carried out mainly on the basis of on-line sources. The aim was to define how the painting line works in different stages and how work efficiency can be evaluated by simulating. The thesis includes information on the various stages of a powder painting line and on the utilization of the simulation templates for improving work efficiency.

In the implementation section the present and the future situation after Trailander Oy's investment in powder painting line are simulated. The results of the simulation models are discussed based on the simulated models.

Keywords: powder painting, simulation

## SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
SISÄLTÖ .....	4
Kuvioluettelo .....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet .....	7
1 Johdanto .....	8
1.1 Työn tausta .....	8
1.2 Työn tavoite .....	9
1.3 Työn rakenne .....	9
1.4 Yritysesittely .....	9
2 Jauhemaalauksen ohutlevytuotannossa .....	11
2.1 Maalauslinjaston yleismalli .....	11
2.2 Esikäsittely .....	12
2.2.1 Teollisuuspesukonemallit .....	12
2.2.2 Kuivausuunimallit .....	13
2.2.3 Bonderite NanoTech .....	14
2.2.4 Oksidin tai laserjäljen poisto maalattavasta metallilevystä .....	14
2.3 Sähköstaattisen maalin levittäminen sekä sen hyödyt ja haitat.....	15
2.4 Eri maalilaadut .....	17
2.5 Maalin kovetus .....	19
3 Simulointi.....	21
3.1 Simulointi käsitteenä .....	21
3.2 Simuloinnin edut ja haitat .....	22
3.3 Simulointiprojektin eri vaiheet .....	23
3.4 Simulaation jaottelu.....	24
3.5 Erilaiset simulointiympäristöt.....	25
3.6 Simulointitulosten varmentaminen .....	26
4 Toteutus .....	27
4.1 Vanha layout .....	27
4.2 Uusi layout .....	28
4.3 Simulointimallit .....	29

4.3.1	Nykyisen tilanteen simulointimalli.....	30
4.3.2	Vaiheen kaksi simulointimalli .....	34
4.4	Simulointimalleista saadut tulokset ja pohdintaa .....	37
5	Yhteenveto.....	38
	LÄHTEET .....	39

## Kuvioluettelo

Kuvio 1. Kuivattuja osia maalausammioon menossa. (Perustuu Trailander 2018). .....	13
Kuvio 2. Oksidinpoisto, oikeanpuoleinen levy käsitelty, vasemmalla oleva on käsittelemätön. (Ripatti 2018.) .....	15
Kuvio 3. Jauhemaalaustraliteisto. (Opetushallitus [Viitattu 22.3.2018].).....	16
Kuvio 4. Maalattuja osia polttouuniin menossa. (Perustuu Trailander 2018). .....	17
Kuvio 5. Valmiiksi maalattuja osia ripustustelineessä. (Trailander 2018).....	20
Kuvio 6. Simuloinnin eri vaiheet. (Shannon 1998, 9.) .....	24
Kuvio 7. Maalaamon layout ilman kuivausuunia. (Perustuu Trailander 2018).....	28
Kuvio 8. Maalaamon uusi layout. (Perustuu Trailander 2018). .....	29
Kuvio 9. Nykyisen tilanteen simulointimalli.....	30
Kuvio 10. Esimerkkinä ripustuksen vaiheajan merkitseminen.....	31
Kuvio 11. Esimerkki ohjelmakoodista työvaiheen sisällä entiteetin nimeämisestä sekä käsittelystä nimen perusteella. ....	32
Kuvio 12. Esimerkki, kuinka eri nimistä entiteettiä käsitellään. ....	33
Kuvio 13. Nykyisen tilanteen simulointimallin tulokset. ....	34
Kuvio 14. Vaiheen kaksi simulointimalli .....	35
Kuvio 15. Vaiheen kaksi simulointimalli tulokset. ....	36

## Käytetyt termit ja lyhenteet

<b>Entiteetti</b>	Entiteetillä tarkoitetaan Plant Simulation -ohjelmistossa tutkittavaa kohdetta, joka kuvaa kokonaisuutta tai asiaa simulointimallissa.
<b>Kovettaminen</b>	Jauhemaalaustermi, jolla kuvataan jauhepinnan kovettamista metallipintaan polttamalla jauhe levyyn polttouunissa.
<b>Liituuntuminen</b>	Jauhemaalaustermistöä, jolla kuvataan jo maalatun kappaleen värin haalistumista polttouunin vaikutuksesta ylipoltossa tai korroosion vaikutuksesta.
<b>Siemens Plant Simulation</b>	Siemensin valmistama tietokoneohjelma. Tämän tietokoneohjelman avulla voidaan rakentaa simulointimalli jostain tuotantojärjestelmästä tai -linjasta.
<b>Simulointimalli</b>	Simulointimalli on yleensä tietokoneella tehty malli. Simuloimalla jokin todellinen järjestelmä pystytään tutkimaan entiteettien virtausta järjestelmän läpi. Simulointimallissa entiteetti ensin saapuu järjestelmään, sille tehdään joi-tain prosesseja ja lopulta se poistuu järjestelmästä.
<b>Uunitus</b>	Jauhemaalaustermistöä, joka kuvaa maalattavalle kappaleelle tehtävää prosessivaihetta, jossa kappaleeseen levitetty jauhepinta kovetetaan polttouunissa.
<b>Validointi</b>	Simulointimallille tehtävä tarkistus, jonka avulla varmennetaan mallin oikeellisuus.

# 1 Johdanto

## 1.1 Työn tausta

RekITUotteita valmistava Trailander Oy fuusioitui ohutlevyteollisuuden sopimusvalmistusta tekevän Lapualaisen A-Steel Oy:n kanssa 2013, ja fuusioitunut yhtiö tarvitsi isommat tilat sekä toiminnan jatkamiseen että kehittämiseen. Trailander Oy aloitti uusissa tuotantotiloissa Seinäjoen teollisuusalueella keVäällä 2014. A-Steel Oy oli aiemmin ostanut jauhemaalauksen sopimusvalmistuksena ulkoa. Fuusioitumisen myötä Trailander Oy päätti kuitenkin hankkia itselleen maalauslinjaston paremman kilpailuedun saavuttamiseksi.

Jauhemaalauks voidaan jakaa kolmeen työvaiheeseen: esikäsitteily, maalin levitys sekä kovettaminen. Nykyistä uunina käytetään maalattaville kappaleille sekä kuivaus- että polttouunina. Tämä hidastaa kappaleiden kiertoa, sillä kuivaus vaatii pienempiä lämpötiloja ja vähemmän uunitusaikaa, kuin maalin kovetus. Tästä johtuen ovea avallaan usein ja lämpö karkaa polttouunista. Kun maalaamon huomattiin olevan tuotannon pullonkaulana, maalaamo on päätetty tehostaa rakentamalla itse kuivausuuni. Kuivausuunin pitäisi alustavien arvioiden mukaan nostaa tuotantokapasiteettia noin 30 %.

Kuivausuunille oli jo alun pitäen jätetty paikka polttouunin ja pesurin väliin. Jo silloin on tiedetty kuivausuunin olevan välttämätön investointi myöhemmin. Maalauslinjaston jokainen komponentti on läpiajettava. Myös tässä asiassa on ajateltu tulevaisuutta. Näin maalaamo on paljon helpompi muuttaa läpiajettavaksi, mikäli tulevaisuudessa investoidaan automaattinen kuljetinrata. Tällä hetkellä maalauslinjasto on panostyyppinen.

Kuivausuunia suunniteltaessa Trailander Oy:lle tuli tarve saada tietoonsa kuivausuunista saatava hyöty jatkoa varten. Tästä syystä päätettiin tehdä maalaamosta simulointimalleja, joilla pystytään selvittämään kuivausuunin myötä saatavaa tuotantokapasiteettia mahdollisimman tarkasti tulevaisuutta varten.



## 1.2 Työn tavoite

Tämän työn ensisijaisena tavoitteena on selvittää maalauslinjaston tulevaa kapasiteettia tekemällä simulointimalleja maalauslinjastosta. Maalauslinjaston simulointimalleista tullaan saamaan selville tärkeitä arvoja tuotantokapasiteetista, kuten läpimenoaika-, työskentelyaika- sekä seisonta-aika-arvio. Maalauslinjastoa simuloimalla saadaan arvio myös siitä, paljonko kapasiteetti nousee kuivausuunin myötä.

Tämän työn ensisijaisena tavoitteena on tutkia kuivausuunin vaikutusta maalauslinjaston kapasiteettiin. Toisin sanoen työn tavoite on tulevan kapasiteetin koon arviointi, selvittäminen ja tarkentaminen.

## 1.3 Työn rakenne

Ensimmäisessä luvussa kerrotaan työn taustasta ja tavoitteista. Työn toisessa luvussa kerrotaan jauhemaalauksen toiminnasta. Luvussa kolme käsitellään simulointia, että saadaan käsitys jauhemaalauksen periaatteista sekä simulointimallinnuksen periaatteista.

Neljännessä luvussa kerrotaan työn toteutuksesta ja pohditaan simulointimalleista saatuja tuloksia. Viimeisessä luvussa on yhteenveto projektista.

## 1.4 Yritysesittely

Trailander Oy:n historia ulottuu vuoteen 2011. Trailander Oy fuusioitui A-Steel Oy:n kanssa vuonna 2014 ja tämän myötä yritykselle saatiin vahva osaaminen sopimusvalmistukseen. 1970-luvulla perustetun Euro-Reen tuotteiden valmistusoikeudet kuuluvat Trailander Oy:lle. Yrityksessä työskentelee 26 henkilöä. (Viertola 2018.)

Metalli-, sekä ohutlevytuotteiden sopimusvalmistus on Trailander Oy:n päätoimiala. Yritys pyrkii valmistamaan ja suunnittelemaan pitkälle vietyjä kokonaisuuksia. Yrityksellä on myös valmiudet suunnitella ja mallintaa valmiita kokonaisuuksia. Trailander Oy:llä on merkittävä osaamisalue myös henkilöautojen peräkäräryjen osavalmistukseen sekä suunnitteluun. (Viertola 2018.)

Trailander Oy:n omien tuotteiden erikoisala on lumiolosuhteissa toimiminen. Yrityksen omia tuotteita ovat moottorikelkkojen perään kiinnitettävät reet sekä latukoneet. Edellä mainittujen lisäksi yrityksellä on myös verkkokauppa, jonka kautta yritys myy Racing-rakennosia autoihin sekä moottoripyöriin ja varaosia omiin tuotteisiinsa. Yrityksen tavoitteena on laajentaa verkkokaupan toimintaa myös muihin pohjoismaihin. (Viertola 2018.)

## 2 Jauhemaalauksen ohutlevyvalmistuksessa

Jauhemaalauksella on monta erilaista nimitystä esim. pulverimaalaus, jauhelakkaus, polttomaalaus sekä jauhepinnoitus. Käytettävä termi vaihtelee sen mukaan, mistä kielestä nimitys on peräisin. (Perecolor [Viitattu 14.3.2018].)

Jauhemaalaus on kuivamaalausmenetelmä, joka on kustannustehokas sekä ympäristöystävällinen verrattuna muihin pinnoitustekniikoihin. Tämä menetelmä keksittiin jo 1960-luvulla, mutta yleistyi kuitenkin vasta 1980-luvulla parempien maalien, ruiskutus- sekä korkeajännitetekniikan ansiosta. Nykyisin jauhemaalaus on märkämaalukseen nähden ylivoimainen monissa paikoissa. (Perecolor [Viitattu 14.3.2018].)

### 2.1 Maalauslinjaston yleismalli

Jauhemaalauksessa maalattava kappale ripustetaan telineeseen, pestään teollisuuspesurissa, kuivatetaan kuivausuunissa, maalataan maalausammiossa jauhemaalilla sekä lopulta viimeistellään polttouunissa kovettamalla. Jauhemaalaukseen valitaan käyttötarkoituksen mukaan ominaisuudet, sävy, kiiltoaste, materiaali, sekä pinnanlaatu. (Perecolor [Viitattu 14.3.2018].)

Jauhemaalaus on monivaiheinen viimeistelyprosessi. Ensimmäisessä vaiheessa metalliosa putsataan ja valmistellaan päällystämistä varten. Toisessa vaiheessa osa päällystetään jauheella ja lopulta osa siirretään polttouuniin, joka sulattaa jauheen ja tekee metallituotteen päälle maalikalvon. Kun maalikalvo kovettuu ja jäähtyy, on se hyvin joustava ja kestävä metalliosan ympärillä. (Reliant Finishing Systems 2017.)

Jauhemaalaus voidaan jakaa kolmeen päävaiheeseen, jotka ovat:

- esikäsitteleminen
- maalin levitys
- kovettaminen (Reliant Finishing Systems 2017).

## 2.2 Esikäsittely

Jauhemaalauksessa esikäsittely vaikuttaa lopputulokseen vähintään yhtä paljon kuin itse maalauskin. Esikäsittely vaikuttaa maalipinnan laatuun, kestävyYTEEN, kiinnipysyvyyteen sekä muihin käyttöympäristöltä vaadittaviin ominaisuuksiin, kuten kosteuteen ja kuumuuteen. (Fineq International. [Viitattu 16.3.2018].)

Jauhemaalauksessa esikäsittelyllä tarkoitetaan:

- Ripustusta metallikoukuilla (Fineq International. [Viitattu 16.3.2018]). Hyvin suunnitelluilla ripustustuilla pystytään täyttämään maalaamon telineet mahdollisimman täyteen, että saadaan täydet neliömäärät maalattua (Korhonen 2018).
- Pesu teollisuuspesukoneessa, jossa tehdään alkalinen rasvanpoistopesu, ionipuhdistettu pesu sekä tuotteen pinnalle applikoidaan nanokeraaminen pinnoite. (Fineq International. [Viitattu 16.3.2018]).
- Ennen varsinaista maalausta kappaleet kuivuvat kuivausuunissa. Jauhemaalauksia suoritetaan, kun kappaleet ovat täysin jäähtyneet sekä kuivuneet. (Fineq International. [Viitattu 16.3.2018].)

### 2.2.1 Teollisuuspesukonemallit

Teollisuuspesukoneita on useita erilaisia. Tutkimuksessa käytetyssä maalauslinjastossa oli monivaihepesukone. Monivaihepesukoneessa on tyypillisesti automaattisesti toimivat ovet tai ovi. Monivaihepesukoneissa voi olla kahdesta neljään eri vaihetta. Tyypillisesti monivaihepesukoneen prosessit voivat olla:

- pesu-, huuhtelu-, sumuhuuhtelu
- pesu-, huuhtelu-, huuhtelu-, sumuhuuhtelu
- pesu-, huuhtelu-, huuhtelu-, maalintartuntakäsittely tai korroosionkäsittely. (T-Control 2018b.) Tässä myös viimeisenä vaiheena optiona on sumuhuuhtelu (Korhonen 2018).

Monivaihepesukoneissa on omille vaiheilleen omat säiliönsä ja kunkin vaiheen neste palaa omaan säiliöönsä lautasventtiilin kautta (T-Control 2018b).

### 2.2.2 Kuivausuunimallit

Kuivausuunia tarvitaan jauhemaalaustyössä pinnoittamisen esikäsitteilyyn sekä rasvanpoistopesun kuivausta varten. Usein esikäsitellyt kappaleet viedään kuivausuuniin erilaisilla kuljettimilla automatiikan avulla tai manuaalisesti. Kuivausuuneja on sekä läpiajettava- että panosmallisia. Kuivauksessa käytetään suurempaa ilmavirtausta ja pienempää lämpöenergiaa kuin polttouuneissa. (T-Control 2018a.)

Kuivausuuneissa hyödynnetään usein polttouunin poistoilman lämpöenergiaa linjaamalla polttouunin poistoputki kuivausuunin alle. Kun poistoputki asennetaan kuivausuunin alle, pitää kuivausuuniin lisätä vielä poistoputki käryille. (Korhonen 2018.)

Kuivausuuneihin on myös saatavilla erikoisvalmisteisia paneeleita uunin sisälle, näissä hyödynnetään kondensaatioilmiötä. Paneeli on noin neljän celsiusasteen lämpötilassa noin sata-asteisen kuivausuunin sisällä. Paneeliin kondensoituu vettä, tämä vesi valuu alaspäin poistoputkeen. Tämä nopeuttaa varsinkin paksujen ja hankalien osien kuivaamista huomattavasti. (Korhonen 2018.) Alla olevassa kuviossa yksi on kuivattuja osia maalaukseen menossa.



Kuvio 1. Kuivattuja osia maalaukseen menossa. (Perustuu Trailander 2018).

### 2.2.3 Bonderite NanoTech

Jauhemaalauksen pintakäsittelyä varten on kehitetty aine nimeltä ”Bonderite NanoTech” (NT). NT muuttaa metallikappaleen maalattavaa pintaa siten että tarttumispinta-ala maalille on suurempi kuin rautafosfatoinnissa. NT-pinnoitteet ovat nanometriluokkaa, kun taas rautafosfointipinnoitteet mitataan mikrometreissä. (Henkel Norden. [Viitattu 17.3.2018].)

NT-kontaktiaika ruiskutettaessa tai kastamalla on noin kaksikymmentä sekuntia. Koska passivointia ei tämän jälkeen enää tarvita, jää yksi prosessivaihe kokonaan pois. NT toimii huoneenlämmössä, joten teollisuuspesukoneen kylpyjäkään ei tarvitse lämmittää ainetta käytettäessä. Tämä pienentää energiakustannuksia. Rautafosfatoinnissa kylpyjen lämpötilojen tulee olla 50 – 55 °C. (Henkel Norden. [Viitattu 17.3.2018].)

### 2.2.4 Oksidin tai laserjäljen poisto maalattavasta metallilevystä

Puhuttaessa nimenomaan leikkuupintoihin syntyvästä oksidista tai laserjäljestä, poistetaan ne useimmiten peittauksella. Kappaleen pinnasta liuotetaan siis happaman kemikaalin avulla oksidit pois, mutta varsinainen perusmateriaali syöpyy mahdollisimman vähän. Peittauksessa voidaan käyttää laajasti erilaisia happoja ja niiden seoksia. Esimerkiksi suolahappo, rikkihappo ja fosforihappo ovat soveltuvia. Jos kappale maalataan oksidinpoiston jälkeen, käytetään usein fosforihappopohjaista seosta, sillä se vahingoittaa pohjamateriaalia mahdollisimman vähän ja on käyttäjäturvallinen vaihtoehto. (Ripatti 2018.)

Esimerkki fosforihappopohjaisesta pesuaineesta on tuote Gardacid P 4343. Metallikappale, josta halutaan poistaa oksidi, laitetaan Gardacid P 4343-kylpyyn noin 15 minuutin ajaksi, jonka jälkeen puhdistetut osat nostetaan pois kylvystä. Kuviossa kaksi oikeanpuoleinen kappale on upotettu Gardacid P 4343-kylpyyn noin 15 minuutin ajaksi ja vasemmanpuoleinen kappale on käsittelemätön. (Ripatti 2018.)

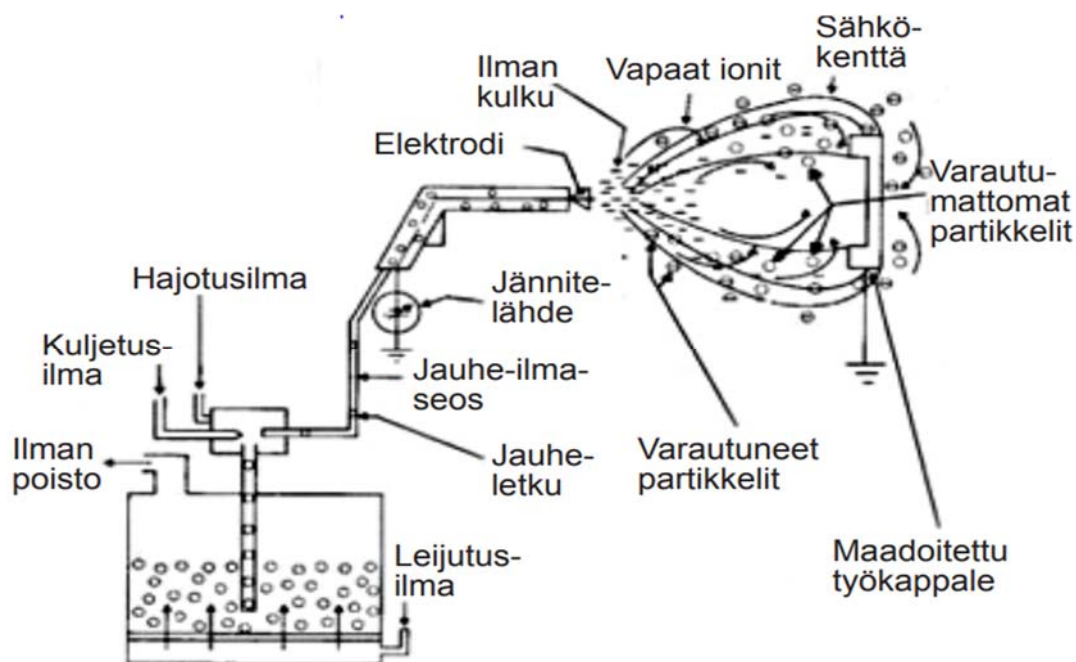


Kuvio 2. Oksidinpoisto, oikeanpuoleinen levy käsitelty, vasemmalla oleva on käsittelemätön. (Ripatti 2018.)

### 2.3 Sähköstaattisen maalin levittäminen sekä sen hyödyt ja haitat

Jauhemaalauksessa käytettävä jauhe on sähköstaattista. Kun jauhetta suihkutaan metallipintaan, vetää metalli sitä puoleensa. Näin aine levittyy ja tarttuu metallikappaleeseen tasaisesti. (Propinta. [Viitattu 16.3.2018].)

Jauheen levitys tapahtuu lähes aina erityisellä jauheenlevityspistoolilla. Metallipinnan tehokas jauheella päällystäminen vaatii sen, että jauhe on sähköisesti varautunut. Paineilma liikuttaa jauheen suoraan jauhepulverilaatikosta tai jauhepumpusta jauheenlevityspistoolin läpi, joka varaa jauheen sähköisesti. Tästä syystä jauhe tarttuu maadoitettuun metalliosaan helposti ja levittyy joka puolelle osaa. (Reliant Finishing Systems 2017.) Kuviossa kolme on periaatemalli jauhemaalauslaitteistosta.



Kuvio 3. Jauhemaalaukset. (Opetushallitus [Viitattu 22.3.2018].)

Sähköstaattisen varauksen hyviä puolia ovat:

- Suuri kapasiteetti kilogrammoina tuntia kohden yhdellä pistoolilla.
- Monipuoliset säätömahdollisuudet.
- Kaikkia maalityyppejä voidaan maalata sähköstaattisen varaamisen avulla.
- Myös teräviin reunoihin kertyy paljon maalia. (Opetushallitus [Viitattu 22.3.2018].)

Sähköstaattisella varauksella on myös huonoja puolia, alla on listattuna muutamia.

- Kerran maalatun maalipinnan päälle maalaaminen on hankalaa, mutta ei mahdotonta (Viertola 2018).
- Maalia menee paljon ohi kappaleen suoraan maalaamokopin pohjalle (Opetushallitus [Viitattu 20.3.2018]).
- Kaksivärimaalaus on mahdotonta. Jauhemaalauksella voidaan maalata ensin pohja, jonka jälkeen märkemaalauksella toinen väri maalipinnan päälle. (Viertola 2018.)
- Kappaleiden suojaaminen on työlästä. (Viertola 2018.)



Kuviossa neljä on ripustettuna osia, joihin pulveri on levitetty.



Kuvio 4. Maalattuja osia polttouuniin menossa. (Perustuu Trailander 2018).

## 2.4 Eri maalilaadut

Jauhemaalaja on useita erilaisia, joilla on erilaiset ominaisuudet. Seuraavassa on lueteltuna esimerkkejä erilaisista maaleista.

### Epoksijauhe

- Edullinen jauhe.
- Kemikaalien ja mekaanisen kuormituksen erinomainen kestävyys.
- Liituntuu ulkokäytössä.

- Kellastuu pitkissä uunituksissa tai lämpimissä olosuhteissa. (Opetushallitus. [Viitattu 17.3.2018].)

### **Polyesterijauhe**

- Kalliimpi jauhe kuin epoksijauhe.
- Kemikaalien ja mekaanisen kuormituksen kestävyys lähes samaa luokkaa kuin epoksijauheilla.
- Ei kellastu pitkissä uunituksissa tai lämpimissä olosuhteissa käytettäessä.
- Ei liitunnu ulkokäytössä. (Opetushallitus. [Viitattu 17.3.2018].)

### **Epoksipolyesteri**

- Yleisin Suomessa käytettävä jauhetyyppi.
- Tässä on yhdistelmä polyesteri- sekä epoksijauheen hyviä ominaisuuksia, eli jauhe on edullista, maalipinta ei liitunnu ulkokäytössä eikä kellastu lämpimissä olosuhteissa tai pitkissä uunituksissa. (Opetushallitus. [Viitattu 17.3.2018].)

### **Strukturimaalit**

- Operaattorilta ja esikäsittelyltä vaaditaan enemmän, sillä maalipinnan kalvonpaksuuden on oltava tasainen.
- Näitä maaleja ei voida korjausmaalata, sillä pinta on kuviomainen.
- Strukturimaaleja käytetään usein elektroniikkatuotteissa sekä huonekaluissa. (Opetushallitus. [Viitattu 17.3.2018].)

### **Muita erikoismaaleja**

- Korroosionestomaali: sinkkipölyjauhe
- Polyuretaani-, metallihohto-, akryyli- sekä rilsanmaalit. (Opetushallitus. [Viitattu 17.3.2018].)

## 2.5 Maalin kovetus

Maalattujen metallikappaleiden uunitusaikaan vaikuttavat kappaleiden materiaalipaksuudet, muodot sekä sijainti maalinpolttouunissa (Opetushallitus. [Viitattu 17.3.2018]). Maalin kovetus vaikuttaa jauhemaalaamon työvaiheista eniten maalin pinnan pysyvyyteen ja korroosionkestoon (Korhonen 2018).

Mikäli kappaleista irtoaa maalipinta, viittaa tilanne yleensä liian lyhyeen uunitusaikaan (Opetushallitus. [Viitattu 17.3.2018]). Mikäli maali tuntuu irrotessaan maalipinnasta rapealta, on se useimmiten juurikin alipoltettua (Korhonen 2018). Alipoltettu maalipinta joudutaan poistamaan kokonaan, koska se ei pysy kappaleessa kiinni. Alipolttilanteita syntyy usein, mikäli kappaleet ovat uunin alaosassa, jossa lämpötila on alempi, kuin yläosassa, tai mikäli kappaleiden materiaalipaksuus on verrattain suuri. Ylipoltossa uunitetut kappaleet saattavat tietyillä jauheilla kellastua. Alipoltto on huomattavasti suurempi virhe, kuin ylipoltto. (Opetushallitus. [Viitattu 17.3.2018].)

Maalinpolttouunit ovat hyvin eristettyjä ja käyttölämpötilaltaan noin 200 °C. Polttouuneja voidaan valmistaa halutun kokoisena. Maalinpolttouuni voi olla joko sähkölämmiteinen tai poltinkammiollinen. Maalinpolttouunit voivat olla joko läpiajettavia tai panostyyppisiä. (T-Control. [Viitattu 17.3.2018].)

Sähkölämmiteisissä uuneissa käytetään kiertopuhallinelementtejä, joiden kanavissa on sähkövastukset. Sähkölämmiteisten uunien kiertopuhallinelementeissä tyypillinen vastusteho on noin 30 kW. (T-Control 2018a.)

Poltinkammioisissa uuneissa käytetään kaasupolttimia, joiden teho on 60 – 300 kW. Toisin kuin sähkölämmiteisissä uuneissa, poltinkammiollisissa uuneissa lämpöenergian antavat kaasupolttimet. (T-Control 2018a.)

Kertainvestointina sähkölämmiteinen uuni on halvempi, mutta poltinkammiollinen uuni tulee halvemmaksi pidemmällä aikavälillä. Poltinkammiollinen uuni vaatii vuositarkastuksia kaasujen osalta. Poltinkammiollinen uuni vaatii myös useita paineantureita poistoluukkuihin sekä tuulettimiin varmentamaan näiden toiminta. Toimimaton poistoluukku aiheuttaa tulipalo- ja häikävuotoriskin. (Korhonen 2018.) Kuviossa viisi on valmiita kappaleita ripustettuna maalaustelineessä purkua odottamassa.



Kuvio 5. Valmiiksi maalattuja osia ripustustelineessä. (Trailander 2018).

### 3 Simulointi

Simulointimallintaminen on yksi tehokkaimmista työkaluista jonkin järjestelmän tai työvaiheen prosessien kuvaamiseen. Simulointimallin avulla voidaan kuvata jonkin järjestelmän käyttäytymistä tai arvioida erilaisten toimintatapojen toimivuutta tietylle järjestelmälle tai työvaiheelle. (Shannon 1998, 7.)

Menestyville yrityksille tärkeimpiä painopistealueita ovat logistiikan ja tuotannon kehittäminen. Tuotannon läpimenoajan lyhentyminen antaa yritykselle mahdollisuuden joustavuuteen ja nopeisiin reaktioihin. Simuloimalla pystytään kehittämään yrityksen sisäistä logistiikkaa sekä tuotannon prosesseja. Simulointimallintamalla voidaan edullisesti perustella tai tutkia investoinnista saatavaa hyötyä ennen varsinaista investointia. (Viertola 2018.)

#### 3.1 Simulointi käsitteenä

Simulointimalli rakennetaan tutkimalla joidenkin entiteettien virtausta jonkin järjestelmän läpi. Nämä entiteetit voivat olla esimerkiksi: asiakkaita, työmääräimiä tai vaikka metalliosia. Entiteetti voi olla mikä tahansa esine tai asia, joka:

1. menee sisään järjestelmään.
2. liikkuu läpi prosessivaiheiden.
3. poistuu ulos järjestelmästä. (Shannon 1998, 8-9.)

Näillä entiteeteillä voi olla erilaisia ominaisuuksia, joita kutsutaan määritteiksi. Määritteitä voivat olla esimerkiksi: nimi, tärkeys, toimituspäivä, tarvittava prosessorin suoritinaika tai vika. (Shannon 1998, 8-9.)

Kun entiteetti virtaa läpi järjestelmän kulutetaan siihen resursseja. Resurssit voivat olla mitä tahansa entiteetin tarvitsemia, että tilaus voidaan käsitellä. Resursseja voivat olla esimerkiksi: työntekijät, materiaalinkäsittelyvälineet, erikoistyökalut, sairaalan sänky, odotusaika tai varastotila. (Shannon 1998, 8-9.)

Simulointimallissa tietokoneohjelma kirjaa entiteetin kokonaisajan, resurssien käytön, jonotusajan sekä kerää muita haluttuja tietoja käytetyistä prosesseista. (Shannon 1998, 8-9.)

Useampi simulointimallissa tapahtuva asia on todennäköisyyksiin pohjautuvaa ja sattumanvaraista oikeassa ympäristössä. Esimerkkejä tästä ovat: aika eri prosessivaiheiden välillä tai aika kauanko entiteetti kuluttaa prosessin resurssia. Tämän tyyppisten muuttujien takia simulointimalleja on vaikea rakentaa ja hyödyntää. (Shannon 1998, 8-9.)

### **3.2 Simuloinnin edut ja haitat**

Simuloimalla jokin prosessi tai järjestelmä saadaan useita hyötyjä:

- Pystytään kokeilemaan uusia suunnitelmia tai layout-malleja käyttämättä näihin suuria määriä resursseja.
- Voidaan tutkia erilaisia henkilöstökäytäntöjä, operointikäytäntöjä ja informaation kulkua häiritsemättä jo käynnissä olevia toimintoja.
- Simuloimalla voidaan tunnistaa jonkin järjestelmän pullonkaulat tiedon-, materiaalin- tai tuotteenvirtauksessa.
- Simuloimalla voidaan kokeilla erilaisia vaihtoehtoja edellä mainituista järjestelmällä esimerkiksi prosessivaiheet eri tavalla.
- Simulaatio antaa mahdollisuuden manipuloida aikaa. Simuloimalla voidaan tutkia kuukausien tai vuosien vaikutusta ja tutkia tulokset muutaman sekunnin kuluttua. Joitain ilmiöitä on tarve tutkia myös hidastettuna, simuloimalla tämäkin on mahdollista.
- Simulointi antaa mahdollisuuden saada näkemys tai ymmärrys, kuinka jokin järjestelmä oikeasti toimii ja mitkä parametrit ovat tärkeimpiä suorituskyvyn kannalta. (Shannon 1998, 7-8.)

Simulointimalleissa on myös heikkouksia. Seuraavassa on esimerkkejä näistä.

- Simulointimallinnus on taito, joka vaatii erityistä harjoittelua ja näkemystä. Simulointimallin hyödyllisyys riippuu mallin lähtötietojen laadusta ja mallintajan taitotasosta.
- Simulointimallin rakentamiseen tarvittavien tietojen kerääminen voi kuluttaa paljon aikaa. Joskus mallia varten kerätyt tiedot saattavat olla hyvinkin kyseenalaisia. Simulointimallista ei voida suoraan nähdä, onko tieto sopimaton mallille tai saadaanko mallista luotettava tulos lopputuloksena.
- Simulointimalleihin syötetään tietoa ja ne antavat erilaista tietoa ulos. Toisin sanoen simulointimallilla tuotetaan todennäköisin tieto niillä arvoilla, jotka malliin syötetään. Mallit eivät suoraan anna optimaalista ratkaisua, vaan toimivat työkaluina, joiden avulla voidaan analysoida järjestelmän käyttäytymistä sisään syötetyillä arvoilla. (Shannon 1998, 7-8.)

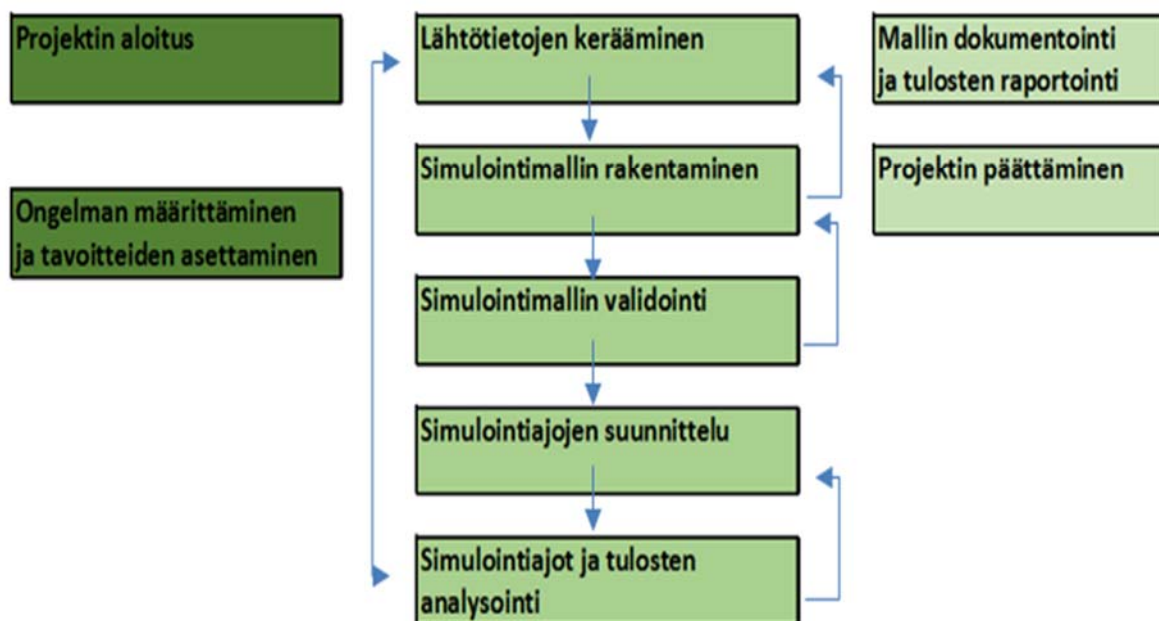
### 3.3 Simulointiprojektin eri vaiheet

Simulointiprojektiin kuuluu erilaisia vaihteita. Nämä vaiheet ovat:

- Projektin aloitus.
- Tutkimusongelman määrittäminen ja tavoitteiden asettaminen.
- Lähtötietojen kerääminen.
- Simulointimallin rakentaminen.
- Simulointimallin validointi.
- Simulointiajojen suunnittelu.
- Simulointiajot ja -tulosten analysointi.
- Simulointimallin dokumentointi ja tulosten raportointi.
- Projektin päättäminen. (Shannon 1998, 9.)

Kuviossa kuusi on kuvattuna simuloinnin eri vaiheet sekä näiden järjestys.

## Simuloinnin eri vaiheet



Kuvio 6. Simuloinnin eri vaiheet. (Shannon 1998, 9.)

### 3.4 Simulaation jaottelu

Simulaatio voidaan jakaa useilla tavoilla. Jakoperusteina ovat dynaamisuus ja staattisuus tai stokastisuus ja deterministisyys. Dynaamisessa simulaatiossa aika toimii muuttujana simuloitavaan tilanteeseen nähden. Staattisessa simulaatiossa puolestaan käytetään kertaluontoisia muuttujia tietyssä hetkessä. Stokastinen simulointi sisältää sattumaa. Deterministinen malli ei sisällä sattumaa. Dynaaminen tai staattinen simulaatio voivat kumpikin olla joko stokastista tai determinististä. (Räsänen 2004, 8.)



### 3.5 Erilaiset simulointiympäristöt

Erilaisia teknisiä ympäristöjä pystytään tutkimaan simuloinnin avulla. Esimerkiksi robottien, logiikoiden ja älykameroiden ohjelmoinnissa käytettäviä simulointityökaluja ovat:

- PLC-ohjelma Siemens S7: Manager ja TIA Portal.
- PLC-ohjelmisto Beckhoff: TwinCAT.
- Robottiohjelmisto ABB: RobotStudio.
- Robottiohjelmisto Mitsubishi: RT Toolbox2.
- Älykameraohjelmisto Cognex InSight Explorer.
- Tuotannosimulointiohjelmisto Visual Components 3DCreate 2014 SP4 (SAMk [Viitattu 20.3.2018].)
- Tuotannosimulointiohjelmisto Siemens: Plant Simulation (Siemens [Viitattu 20.3.2018]).

Edellä mainituista esimerkiksi tuotannosimulointi on nopea, edullinen ja turvallinen tapa seurata erilaisten tuotantojärjestelmien tai -linjan toimintaa. Tuotannon simulointimalleista saadaan teknisiä sekä taloudellisia tunnuslukuja tuotannonohjaukseen, tuotekustannuslaskentaan ja investointien suunnitteluun. (Delfoi [Viitattu 20.3.2018].)

Simuloimalla jokin tietty tuotantojärjestelmä tai -linja voidaan minimoida investointiriskejä, koska simulointimallista saadaan mahdollisimman tarkasti selville tuotantosolun tai -linjan toimivuus sekä tuotto. Tietokonesimuloinnilla voidaan kehittää myös ymmärrystä jo olemassa olevasta järjestelmästä paremmaksi ja kehittää näitä. Simulointimallilla voidaan myös tutkia ja suunnitella imu- ja työntöohjausta sekä näiden variaatioiden toimintaa tuotantoympäristössä. (Delfoi [Viitattu 20.3.2018].)

Tuotannon simulointimallilla pystytään:

- Osoittamaan pullonkaulat.

- Laskemaan työvoiman ja koneiden käyttöasteen.
- Selvittämään konerikkojen vaikutusta tuotantoon.
- Selvittämään puskurivarastojen koot. (Delfoi [Viitattu 20.3.2018].)

### **3.6 Simulointitulosten varmentaminen**

Simulointitulosten varmentamiseksi täytyy selvittää: Toimiiko simulointimalli oikein ja käyttäytyykö se simuloitun oikean järjestelmän tavoin. Saadakseen varmistuksen simulointimallin oikeellisuudesta, täytyy mallille suorittaa validointi. Simulointimallin validoinnissa yritetään etsiä ja poistaa mallin sisältä tahattomia ohjelmointivirheitä, jotka vaikuttavat mallista saataviin lopputuloksiin. Simulointimallin validoinnissa tutkitaan, onko simulointimallia tehdessä jätetty huomiotta jokin tärkeä asia tai yksinkertaistettu sellainen tapahtuma, jota ei mallin toimivuuden kannalta voida yksinkertaistaa tai jättää huomiotta. (Shannon 1998, 11-12.)

## 4 Toteutus

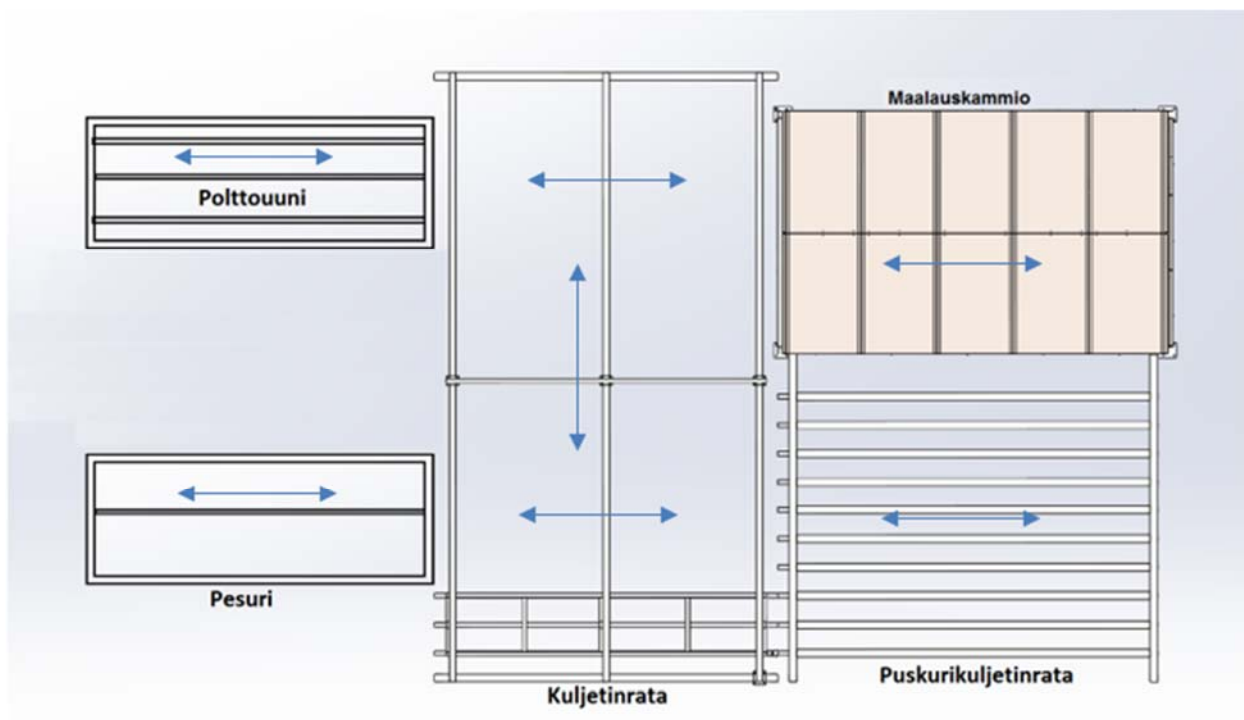
Maalauslinjaston simulointimalleja varten kerättiin kahden viikon ajalta tietoa eri prosessivaiheista. Maalauslinjaston operaattorit keräsivät tiedon. Operaattorit täyttivät Excel-taulukkoa, jonka avulla kerättiin tieto telineiden koosta sekä eri prosessivaiheiden vaiheajoista. Eri prosessivaiheet olivat: ripustus, pesu, kuivaus, maalaus sekä poltto. Tästä saatiin tuloksena jokaisen prosessin vaiheajojen keskiarvo. Kahden viikon tiedonkeräysjaksolta saatiin tarpeeksi tietoa maalauslinjastossa tapahtuvista prosesseista.

Simulointimallien validoinnin vuoksi kahden viikon ajalta kerättiin myös läpimenneiden telineiden todellinen määrä. Myös tässä tapauksessa maalauslinjaston operaattorit täyttivät Excel-taulukkoa. Läpimenneiden telineiden määrä laskettiin yhteen ja jaettiin ajankeräysjakson päivien summalla. Tästä saatiin tuloksena läpimenneiden telineiden keskiarvo päivää kohden. Näin pystyttiin varmentamaan simulointimallien oikeellisuus.

Näiden tietojen pohjalta pystyttiin rakentamaan Siemens Plant Simulation -ohjelmistolla simulointimallit maalaamosta. Simulointimalleja tehtiin nykyisestä tilanteesta sekä tulevasta tilanteesta kuivausuunin myötä. Nykyisen tilanteen malli tehtiin prosessien vaiheajojen keskiarvojen perusteella. Kuivausuuni ja polttouuni ohjelmoitiin saman prosessivaiheen taakse. Myös tulevan tilanteen mallissa käytettiin prosessivaiheiden vaiheajojen keskiarvoa, mutta lisättiin tähän simulointimalliin myös kuivausuuni yhdeksi erilliseksi prosessivaiheeksi.

### 4.1 Vanha layout

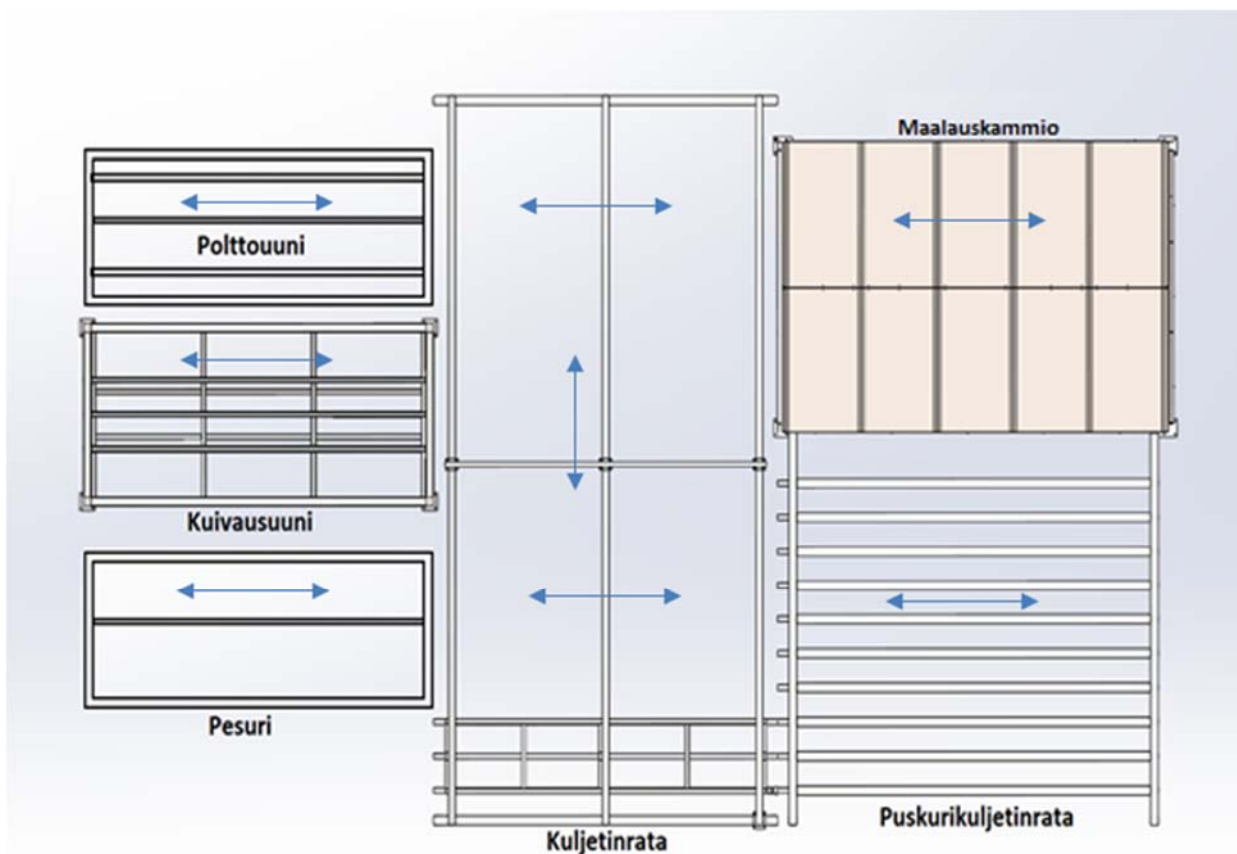
Trailander Oy:n jauhemaalaukselinjastoon kuuluvat esikäsitteilylinjasto, polttouuni, sekä maalausammio. Tämän maalauslinjaston kuljetinradat ovat täysin manuaalisia eli kuljettimia liikutetaan käsivoimin aputyökalua käyttäen. Maalauslinjaston ala on noin 200 m<sup>2</sup>. Maalauslinjaston komponentit on aseteltu kuvion seitsemän mukaan.



Kuvio 7. Maalaamon layout ilman kuivausuunia. (Perustuu Trailander 2018).

## 4.2 Uusi layout

Uutta layout-mallia suunniteltaessa kiinnitettiin huomiota maalauslinjaston virtaukseen. Panostyypisessä maalauslinjastossa kuivausuunin looginen paikka on pesurin ja polttouunin välissä, koska kuivaus on prosessivaiheena pesun ja polton välissä. Maalauslinjaston layout-malli muuttui vain kuivausuunin osalta. Kuviossa kahdeksan näkyy, mihin kuivausuuni rakennetaan sekä miten kuljetinradalla liikkuvat telineet kulkevat nuolten mukaisesti.



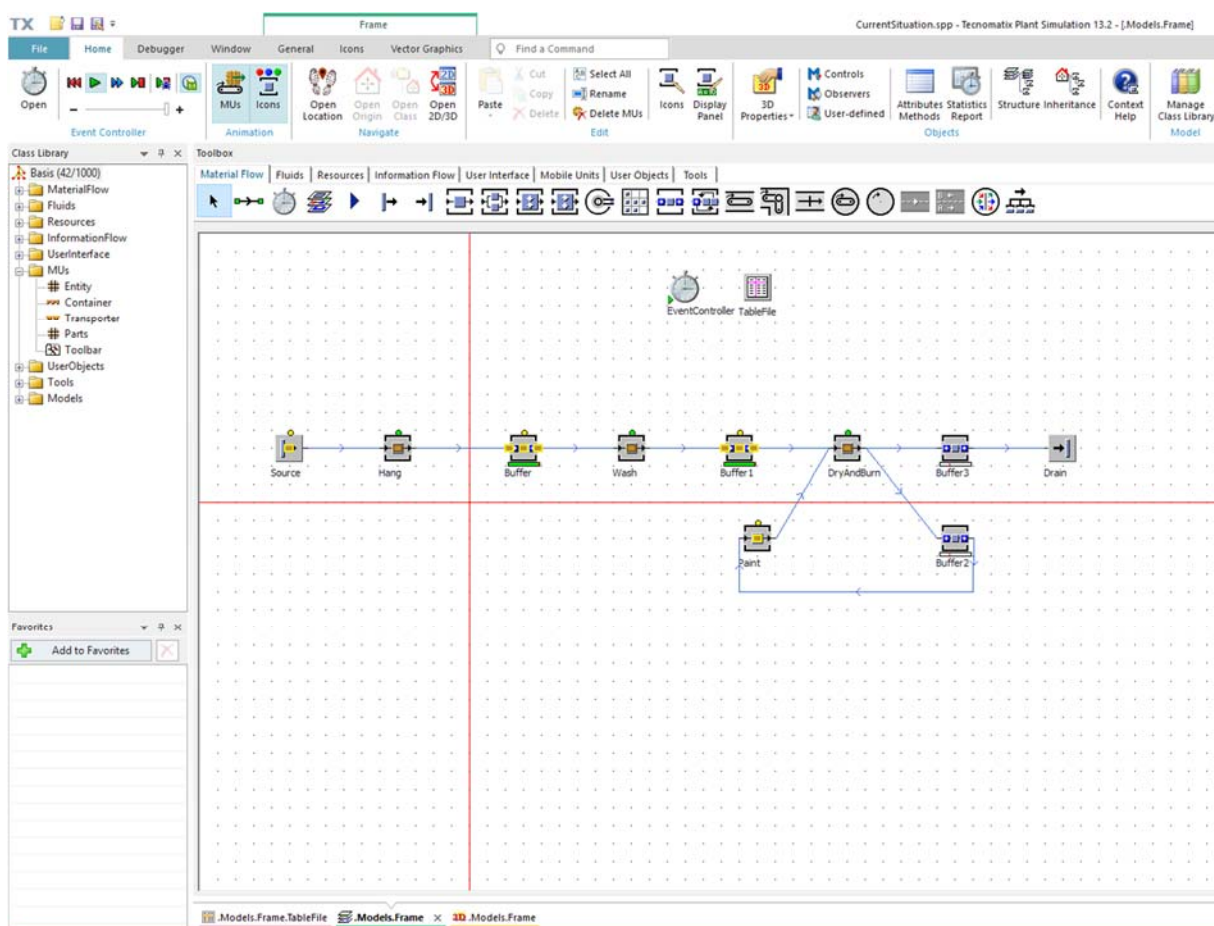
Kuvio 8. Maalaamon uusi layout. (Perustuu Trailander 2018).

### 4.3 Simulointimallit

Tätä opinnäytetyötä varten ohjelmoitiin kaksi erilaista simulointimallia maalauslinjastosta. Seuraavat kolme alalukua käsittelevät näitä kahta mallia ja niiden pohjalta tehtyjä päätelmiä. Siemens Plant Simulation -ohjelmistolla prosessivaiheiden simulointia pystytään esittämään niin 3D- kuin 2D-ympäristössä. Seuraavat mallit esitetään 2D-ympäristössä, sillä tämän järjestelmän prosessivaiheiden kuvaamiseen 2D-ympäristö on riittävä prosessivaiheiden yksinkertaisuuden vuoksi. Toimeksiantaja piti malleista saatavaa tietoa tärkeämpänä, kuin mallien ulkonäköä.

### 4.3.1 Nykyisen tilanteen simulointimalli

Nykyisen tilanteen simulointimallin rakentamiseen tarvittiin tieto eri prosessivaiheiden vaiheajojen kestosta. Kerätyn tiedon perusteella laskettiin keskiarvo jokaiselle vaiheajalle. Näitä keskiarvoisia vaiheajoja käytettiin nykyisen tilanteen simulointimallin prosessointiaikoina. Tässä mallissa on kuvattuna seuraavat prosessivaiheet: ripustus, pesu, kuivaus, maalaus sekä poltto. Poltto sekä kuivaus ovat saman prosessivaiheen sisällä. Mallissa on käytetty myös puskureita, sillä kuljetinlinjastossa on myös puskuripaikkoja. Näihin puskuripaikkoihin on käytetty neljän kappaleen täyttömääriä, jotka vastaavat lähimpänä todellista tilannetta. Kuviossa yhdeksän näkyy nykyisen tilanteen simulointimallin rakenne.

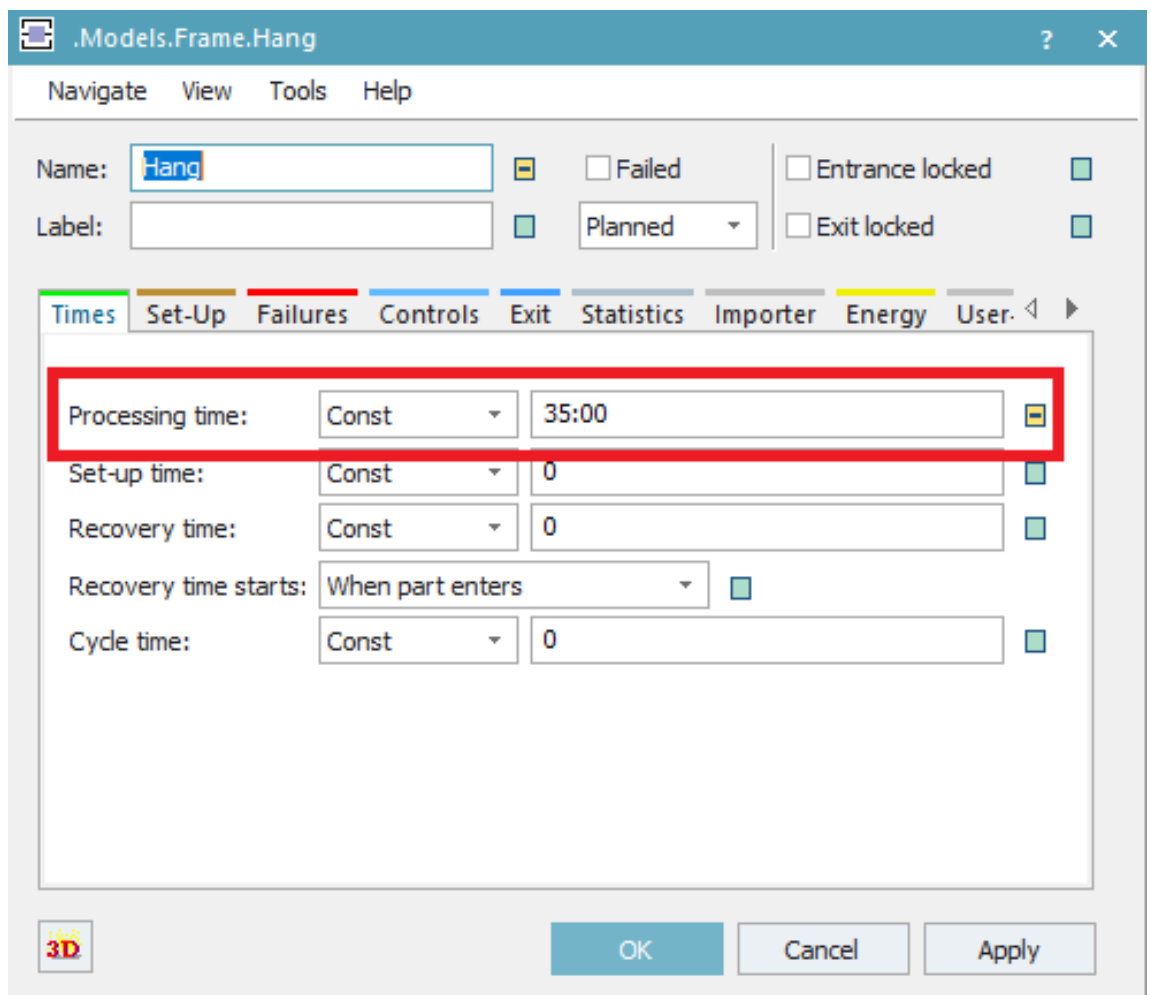


Kuvio 9. Nykyisen tilanteen simulointimalli.

Nykyisen tilanteen simulointimallin ohjelmoinnissa eri prosessien sisään asetettiin aika eri vaiheiden keskiarvoisesta prosessointiajasta. Tämän mallin simuloinnissa prosessien vaiheajoina on käytetty seuraavia arvoja:

- Ripustus: 35 minuuttia
- Pesu: 15 minuuttia
- Kuivaus: 15 minuuttia
- Maalaus: 13,25 minuuttia
- Poltto: 39 minuuttia.

Kuviossa 10 näkyy korostettuna, mihin kohtaan ohjelmassa merkitään eri prosessivaiheiden vaiheaika.



Kuvio 10. Esimerkkinä ripustuksen vaiheajan merkitseminen.

Tässä mallissa kuivausuuni sekä polttouuni hyödyntivät samaa prosessivaihetta. Tästä syystä tätä työvaihetta ohjelmoitaessa entiteetit piti nimetä sen mukaan, mitä työvaiheita näille on jo tehty. Nimen avulla entiteetit tunnistettiin, olivatko ne menossa kuivaukseen, polttoon vai ulos järjestelmästä. Kuviossa 11 on esimerkki entiteetin nimeämisestä ohjelmakoodissa sekä miten sitä käsitellään nimen perusteella.

```

- |if @.Name = "Parts_Hanged_Washed"
  |  @.Name:=@.Name+ "_Dried"
  |  else
  |  @.Name:=@.Name+"_Burned"
  |  END
- |if @.Name = "Parts_Hanged_Washed_Dried"
  |  @.move(Paint)
  |  else
  |  @.move(Disassemble)
  |  end

```

Kuvio 11. Esimerkki ohjelmakoodista työvaiheen sisällä entiteetin nimeämisestä sekä käsittelystä nimen perusteella.

Koodi ylhäältä alaspäin luettuna tarkoittaa:

1. Mikäli kappaleen nimi on "Parts\_Hanged\_Washed", lisätään nimen loppuun "\_Dried". Jos kappaleen nimi ei ole kuten yllä on kuvattu, nimeen loppuun lisätään "\_Burned"
2. Mikäli kappaleen nimi on "Parts\_Hanged\_Washed\_Dried", siirretään entiteetti vaiheeseen (Paint), muussa tapauksessa se siirtyy vaiheeseen (Disassemble). Samalla logiikalla entiteetit ovat saaneet nimen jokaisessa eri prosessivaiheessa.

Kuviossa 12 esitetään, kuinka pitkän prosessointiajan entiteetti vaatii tietyllä nimellä. "Parts\_Hanged\_Washed" kuluttavat prosessia 15 minuuttia, kun taas "Parts\_Hanged\_Washed\_Dried\_Painted" kuluttavat prosessia 39 minuuttia.



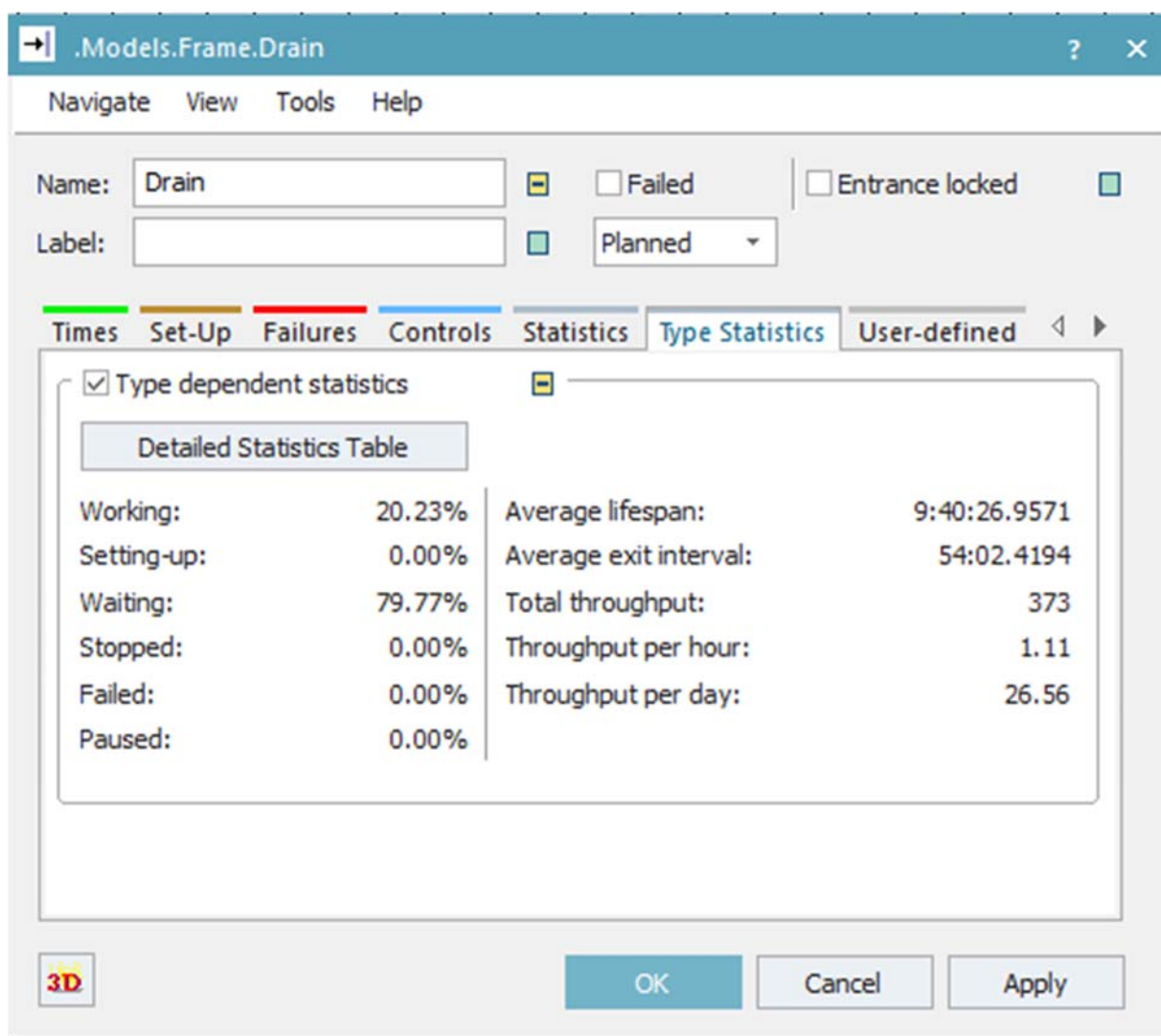
Parts_Hanged_Washed		
	string 1	time 2
string	MU type	Time
1	Parts_Hanged_Washed	15:00.0000
2	Parts_Hanged_Washed_Dried_Painted	39:00.0000
3		
4		
5		

Kuvio 12. Esimerkki, kuinka eri nimistä entiteettiä käsitellään.

Simulointimallista saatujen tulosten perusteella selviää maalaamon seisonta-aika-arviot sekä työskentelyaika-arviot. Tuloksista pystytään näkemään myös maalauslinjaston läpimenneiden telien määrä. Tämän mallin tulosten perusteella maalauslinjaston eri prosessivaiheet käyttävät noin 36 % järjestelmän käyntiajasta. Tämä aika on eri prosessivaiheiden työskentelyajasta laskettu keskiarvo. Odotusaikaa järjestelmässä on 64 % käyntiajasta. Eri vaiheiden kuormitus entiteetin liikkuessa läpi järjestelmän ovat:

- Ripustus: 67 %.
- Pesu: 28 %.
- Kuivaus: 100 %.
- Maalaus: 25 %.
- Poltto: 100 %.

Maalauslinjaston tulokset ovat esitettynä kuviossa 13.

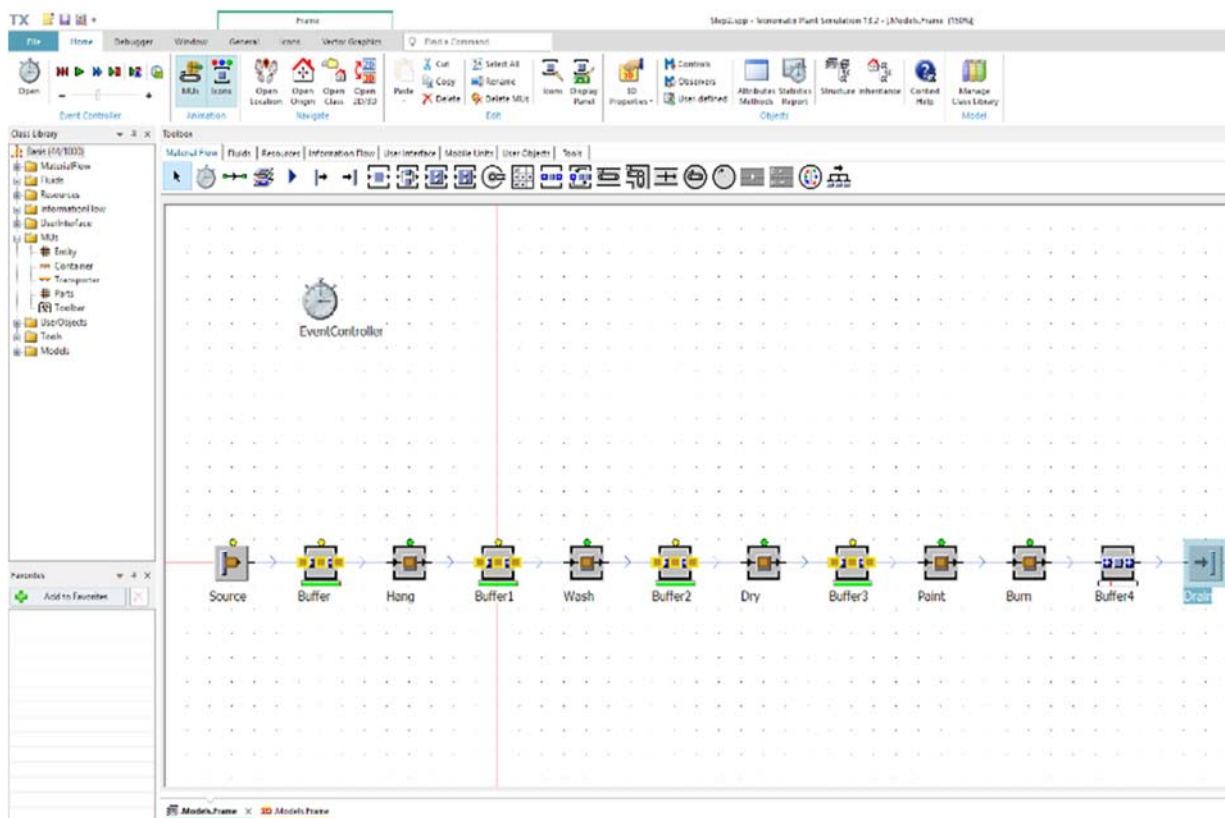


Kuvio 13. Nykyisen tilanteen simulointimallin tulokset.

#### 4.3.2 Vaiheen kaksi simulointimalli

Vaiheen kaksi simulointimallissa on kuvattuna seuraavat vaiheet: ripustus, pesu, kuivaus, maalaus sekä poltto. Vaiheen kaksi simulointimalli eroaa nykyisen tilanteen mallista siten että kuivaus ja poltto ovat omina työvaiheinaan. Tässä mallissa kuivauksen keskiarvoaikana käytetään 15 minuuttia.

Vaiheen kaksi mallin ohjelmoinnissa työvaiheet laitettiin jonoon, eikä kappaleita ollut tarvetta nimetä, sillä tässä mallissa entiteetit liikkuvat jatkuvasti eteenpäin. Alla olevissa kuviossa 14 on simulointimallin rakenne.



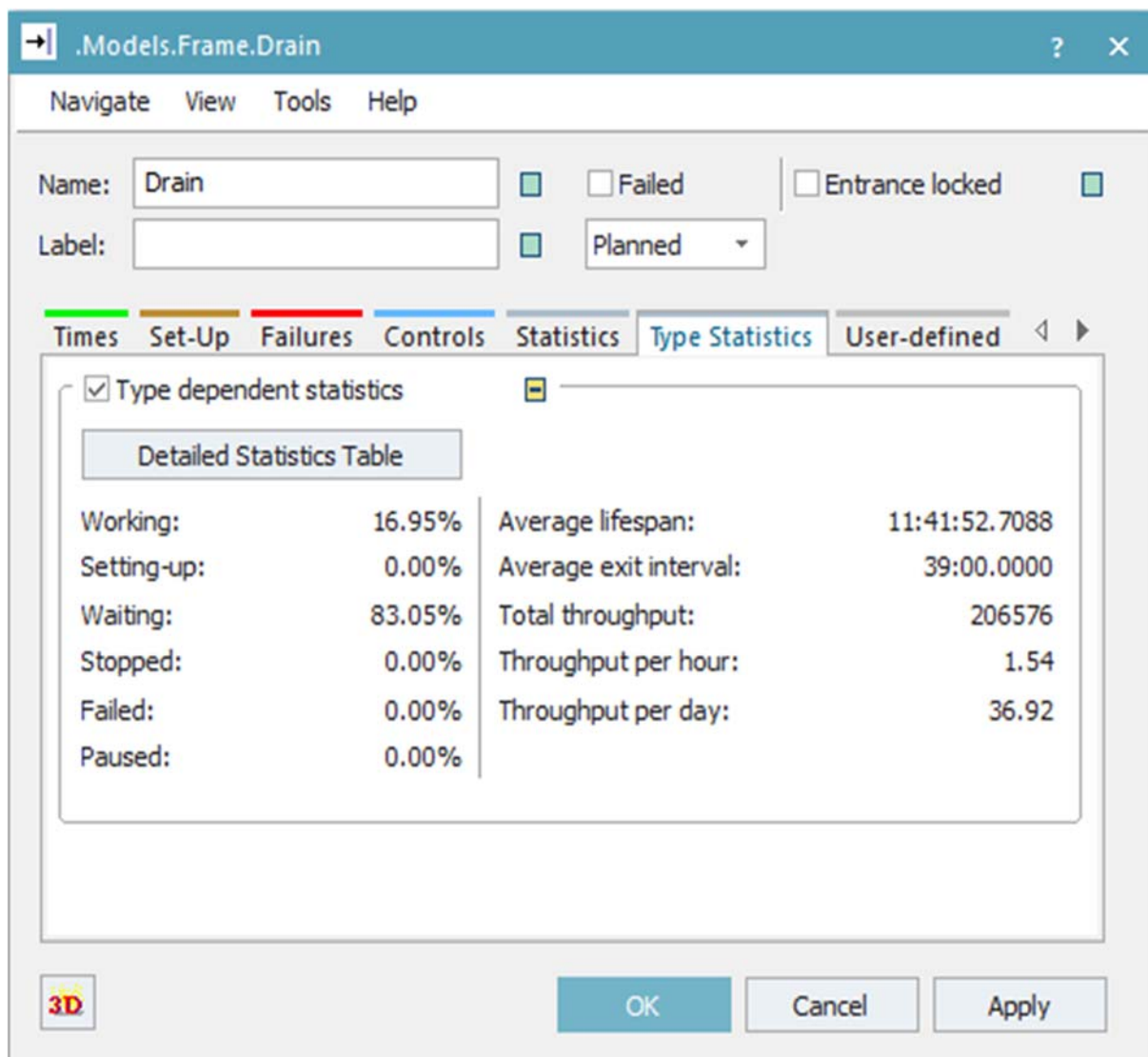
Kuvio 14. Vaiheen kaksi simulointimalli

Myös tästä mallista saatiin tulokset, joista selviää maalaamon seisonta-aika-arviot, sekä työskentelyaika-arviot. Tuloksista pystytään näkemään myös maalauslinjaston läpi menneiden telineiden määrän. Tämän mallin tulosten perusteella tulevassa tilanteessa eri prosessivaiheiden työskentelyajan keskiarvo on noin 39 %. Odotusaika vaiheiden välillä on siis noin 61 % järjestelmän käyntiajasta. Seuraavassa on eri vaiheiden kuormitus:

- Ripustus: 89 %.
- Pesu: 38,5 %.
- Kuivaus: 38,5 %.
- Maalaus: 38,5 %.

- Poltto: 100 %.

Kuviossa 15 on vaiheen kaksi simulointimallin tulokset.



Kuvio 15. Vaiheen kaksi simulointimalli tulokset.

#### 4.4 Simulointimalleista saadut tulokset ja pohdintaa

Simulointimalleista saatiin tarvittavat tulokset investoinnin hyödyllisyyden perusteeksi. Nykyisen tilanteen simulointimallissa telineitä kulki järjestelmän läpi 1,11 telinettä tuntia kohden. Tämä tarkoittaa 8,325 telinettä 7,5 tunnin työpäivän aikana. Tämä vastaa keskiarvoa, joka kerättiin varmistamaan simulointimallin oikeellisuus. Kerättyjen tietojen perusteella telineitä kulki päivän aikana läpi järjestelmän keskimäärin 9,1 kappaletta. Nykyisen tilanteen mallissa kuivausuunina käytettävän polttouunin kuormitus järjestelmän käyntiajasta on noin 100 %. Tästä nähdään uunin olevan pullonkaulana maalaamossa.

Vaiheen kaksi simulointimallissa telineitä kulki simulointimallin läpi 1,54 telinettä tuntia kohden. Tämä tarkoittaa 11,55 telinettä 7,5 tunnin työpäivän aikana. Myös vaiheen kaksi mallista selviää polttouunin edelleen olevan pullonkaulana maalaamossa, sillä polttouunin kuormitusasteena on edelleen noin 100 %. Maalaamon tehostamiseksi toimeksiantajalle onkin ehdotettu myös suuremman polttouunin investointia. Tämä ei kuitenkaan nykyisellä tilaratkaisulla ole mahdollista.

Näiden kahden simulointimallin perusteella pystytään antamaan arvio kuivausuunin kannattavuudesta investointina. Kuivausuuni tulee nostamaan maalauslinjaston kapasiteettia arviolta noin 39 %. Tämä arvio on lähellä toimeksiantajan alkuperäistä arviota 30 %:n kasvusta läpimenneiden telineiden määrässä. Laskukaavana käytettiin  $1,54 / 1,11 = 1,3878$ .

## 5 Yhteenveto

Projekti oli kokonaisuutena kohtuullinen vaatimustasoltaan. Työ tehtiin päivätyön ohessa. Tämän työn tekijä oppi työn etenemisen aikana, millaisia tietoja tarvitaan, että voidaan rakentaa toimiva simulointimalli sekä miten tutkitaan mallin oikeellisuus. Tämä työ oli luonteva itselle omien kokemuksien ja taitojen perusteella.

Haasteita työhön toi kuivausuunin valmistumisen aikataulun venyminen. Kuivausuunia ei siis saatu valmiiksi aikataululla, joka oli alun perin sovittu ja suunniteltu. Uunin myöhästyminen johtui suurelta osin erikoisesta nosto-ovesta, joka tätä kuivausuunia varten täytyi erikseen räätälöidä. Nosto-oven täytyi aueta alaspäin. Toisaalta myöskään simulointimalleja ei tarvittu alkuperäisen aikataulun mukaan, tämä toi hieman helpotusta mallien valmistamista varten.

Yritys oli kokonaisuudessaan tyytyväinen tehtyyn työhön ja miettii jatkoa varten simulointimallien rakentamista myös muista eri prosessivaiheista. Yritys harkitsee myös jatkossa simulointimallinnuksen hyödyntämistä maalaamon kapasiteetin seurantaan.

## LÄHTEET

- Delfoi. Ei päiväystä. Tuotannon simulointi. [www-dokumentti]. Delfoi Oy. [Viitattu 20.3.2018]. Saatavissa: [https://www.delfoi.com/web/solutions/Tuotanto/fi\\_FI/tuotannosimulointi/](https://www.delfoi.com/web/solutions/Tuotanto/fi_FI/tuotannosimulointi/)
- Fineq International. Ei päiväystä. Esikäsittely:. [www-dokumentti]. Fineq International Oy. [Viitattu 16.3.2018]. Saatavissa: <http://www.fineq.fi/fi/pintakasittely>
- Henkel Norden. Ei päiväystä. Suuri läpimurto pintakäsittelyssä. [www-dokumentti]. Henkel Norden Oy. [Viitattu 17.3.2018]. Saatavissa: [http://www.henkel-adhesives.com/com/content\\_data/46455\\_5444\\_BonderiteMailing\\_approved160107.pdf](http://www.henkel-adhesives.com/com/content_data/46455_5444_BonderiteMailing_approved160107.pdf)
- Korhonen, T. 2018. Toimitusjohtaja. T-Control Oy. Haastattelu 21.3.2018.
- Opetushallitus. Ei päiväystä. Jauhemaalalaus. [www-dokumentti]. Opetushallitus. [Viitattu 17.3.2018]. Saatavissa: <http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/metallituotemaalalaus/osa5.pdf>
- Perecolor. Ei päiväystä. Yleistä jauhemaalauksesta. [www-dokumentti]. Perecor Works Oy. [Viitattu 14.3.2018]. Saatavissa: <http://www.perecolor.fi/fi/yleista-jauhemaalauksesta.html>
- Propinta. Ei päiväystä. Jauhemaalalaus. [www-dokumentti]. Propinta Oy. [Viitattu 16.3.2018]. Saatavissa: <http://propinta.fi/jauhemaalaus/>
- Reliant Finishing Systems. 2017. Beginner's Guide To Powder Coating Equipment. [www-dokumentti]. Reliant Speciality Equipment Corporation. [Viitattu 15.3.2018]. Saatavissa: <http://www.reliantfinishingsystems.com/a-beginners-guide-to-powder-coating-equipment/>
- Ripatti, V. 2018. Oksidin tai laserjäljen poistoaine. [Henkilökohtainen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Miikka Metsälä 22.3.2018. [Viitattu 22.3.2018].
- Räsänen, S. 2004. Verkko-opetuksen tietotekniikkaa – Simulaatio opetuksessa. Kuopio: Kuopion yliopisto.
- SAMK. Ei päiväystä. Simulointiympäristöjen soveltaminen opetuksessa. [www-dokumentti]. Satakunnan Ammattikorkeakoulu Oy. [Viitattu 20.3.2018]. Saatavissa: [http://automaatio.samk.fi/wp-content/uploads/2016/12/SAMK\\_simulointi-seminaari\\_simulointi\\_opetuksessa.pdf](http://automaatio.samk.fi/wp-content/uploads/2016/12/SAMK_simulointi-seminaari_simulointi_opetuksessa.pdf)
- Shannon, R. 1998. Introduction To The Art And Science Of Simulation. Texas A&M University. Proceedings Of The 1998 Winter Simulation Conference.

Siemens. 2018. Plant Simulation. [www-dokumentti]. Siemens Product lifecycle Management Software Inc. [Viitattu 20.3.2018]. Saatavissa: <https://www.plm.automation.siemens.com/en/products/tecnomatix/manufacturing-simulation/material-flow/plant-simulation.shtml>

Trailander. 2017. Sopimusvalmistus. [www-dokumentti]. Trailander Oy. [viitattu 13.2.2018]. Saatavissa: <http://trailander.com/pages/fi/sopimusvalmistus.php>

Trailander. 2018. Layout. [pdf-tiedosto]. Yrityksen sisäistä materiaalia. [Viitattu 20.3.2018]. Saatavissa: Vain yrityksen sisäisessä käytössä.

T-Control. 2018a. Jauhemaalaus. [www-dokumentti]. T-Control Oy. [Viitattu 17.3.2018]. Saatavissa: <http://www.tcontrol.fi/>

T-Control. 2018b. Teollisuuspesukoneet. [www-dokumentti]. T-Control Oy. [Viitattu 16.3.2018]. Saatavissa: <http://www.tcontrol.fi/>

Viertola, E. 2018. Toimitusjohtaja. Trailander Oy. Haastattelu 5.2.2018.

VKT-Tuotanto. 2018. Trukkivaaka. [www-dokumentti]. VKT-Tuotanto Oy. [Viitattu 21.3.2018]. Saatavissa: <http://www.vkt-tuotanto.fi/tuotteet/trukkivaaka/>