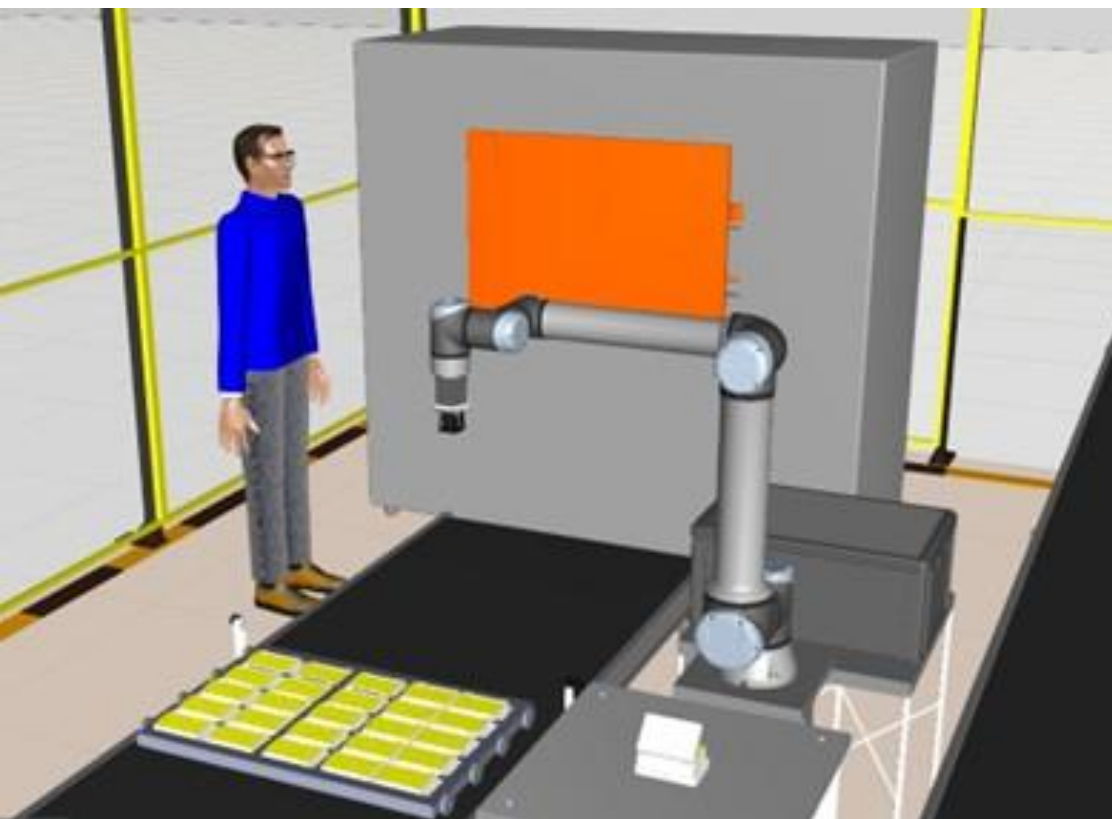


Samuli Sorsa

# Low retention tippien käsityövaiheiden automatisointi



Konetekniikka

Insinööri

Kevät 2023



**KAMK • University  
of Applied Sciences**

## Tiivistelmä

**Tekijä:** Sorsa Samuli

**Työn nimi:** Low retention tippien käsityövaiheiden automatisointi

**Tutkintonimike:** Insinööri (AMK), konetekniikka.

**Asiasanat:** robotiikka, automatiikka, koneensuunnittelu, muoviteollisuus, layout.

Opinnäytetyön aiheena oli Low retention tippien käsityövaiheiden automatisointi. Tällä hetkellä kokonaan käsityönä tehtävä tuotanto haluttiin automatisoida, jotta tuotantoa saataisiin tehostettua ja yksitoikkosista käsityövaiheista päästäisiin eroon. Low-retention tipit eroavat tavallisista tipeistä niihin laitettavan pinnoitteen osalta, jonka tarkoituksena on vähentää DNA:n, entsyymien, proteiinien, solujen ja muiden viskoosien kiinnittymistä tipin kärjen pintaan. Opinnäytetyö keskittyi tuotantosolun layout-suunnitteluun.

Tutkimusaineistona opinnäytetyötä tehdessä käytettiin Sartorius Biohitiltä saatuja tutkimustietoja Low retention -pinnoittamiseen liittyen. Yritykseltä saadut tutkimustiedot kerättiin suurilta osin haastatteleamalla pinnoittamiseen perehtyneitä kehitysinsinöörejä ja muita projektissa mukana olleita asiantuntijoita. Pinnoitusprosessissa oli haasteita alusta alkaen, mutta kaikesta huolimatta sitä haluttiin tutkia lisää. Päätelmänä voidaan todeta, että pinnoitusprosessi osoittautui kannattamattomaksi muutamien pinnoitusprosessin piirteiden takia. Merkittävin syy pinnoitusprosessin hylkäämiseen oli tuotannon hitaus, jota ei olisi saatu merkittävästi kohotettua edes automatisoimalla käsityövaiheet.

## **Abstract**

**Author:** Sorsa Samuli

**Title of the Publication:** Automation of the Working Steps of Low Retention Tips

**Degree Title:** Bachelor of Engineering, Mechanical Engineering

**Keywords:** Robotics, automation, mechanical engineering, layout

The purpose of the thesis was the automation of the craft steps of low retention tips. The production, which is currently functioning entirely manually, was to be automated to make the production more efficient and to eliminate the monotonous manual steps. Low retention tips differ from regular tips in terms of the coating that can be applied to them, which can be used to reduce the adhesion of DNA, proteins, cells and other viscose to the tip surface. The thesis focuses on the layout design of the production cell.

Research data obtained from Sartorius Biohit for low retention coating was used as research material for the thesis. Sartorius Biohit collected the data by interviewing the development engineers familiar with the coating and other experts involved in the project. There were challenges in the coating process from the beginning, but it was investigated further.

In conclusion, it can be stated that the coating process is unprofitable due to a few features of the coating process. One of the most important reasons for abandoning the coating process was the slowness of production, which could not have been significantly increased by automating the manual steps.

## **Alkusanat**

Tämä opinnäytetyö on laadittu Sartorius Biohit Liquid Handling Oy:n tarpeesta tutkia pinnoitusprosessin käsityövaiheiden automatisointia ja kannattavuutta. Tällä hetkellä edellä mainitussa yrityksessä Low retention tippien tuotanto on kokonaan käsityötä, pois lukien pinnoituskoneen tekemä pinnoitus. Aiheena tuotantosolun suunnittelu oli mielenkiintoinen ja toivon mukaan siitä on myös hyötyä kohdeyritykselle.

Haluan erityisesti kiittää Sartorius Biohit Kajaanin toimipisteen kehitysinsinööri Jari Kempaista, joka auttoi minut alkuun tämän opinnäytetyöprojektin kanssa.

## Sisällys

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | Johdanto .....   | 1  |
| 2     | Tietoa yrityksestä.....  | 2  |
| 3     | Solulayoutin suunnittelu.....  | 3  |
| 3.1   | Solulayout-mallin kehittäminen .....                                     | 3  |
| 3.2   | Tuotannon asettamat suorituskykyvaatimukset.....                         | 4  |
| 3.3   | Puhdastilan asettamat vaatimukset.....                                   | 5  |
| 3.4   | Tuotantosolussa toimiminen puhdastilakäytännöt huomioiden .....          | 6  |
| 4     | Tuotantosolun toiminnot .....  | 7  |
| 4.1   | Työnkierto tuotantosolussa .....   | 7  |
| 4.2   | Tuotantosolussa käytettävä laitteisto .....                              | 10 |
| 4.2.1 | Universal Robots UR10e.....  | 10 |
| 4.2.2 | CD600 Europlasma Nanofics .....  | 11 |
| 4.2.3 | Hihnakuuljettimet .....  | 12 |
| 4.2.4 | Optiset anturit .....  | 12 |
| 4.3   | Mahdolliset ongelmatilanteet.....  | 12 |
| 4.4   | Erilaiset kehitysversiot .....   | 13 |
| 5     | Tuotantosolun nykytilanne ja ilmenneet ongelmat .....                    | 15 |
| 5.1   | Yritys voi soveltaa solulayout-mallia muissa automaatioprojekteissa..... | 15 |
| 5.2   | Projekti osoittautui kannattomaksi toteuttaa tuotantoasteelle.....       | 16 |
| 6     | Yhteenveto .....   | 17 |
|       | Lähteet .....  | 18 |
|       | Kuvalähteet.....   | 19 |

## Liitteet

Tuotantosolun layout-piirros

Tuotantosolu ylhäältä kuvattuna

## Symboliluettelo

|                         |   |
|-------------------------|---|
| Low retention -pinnoite | Pinnoitus, jonka tarkoituksena on vähentää DNA:n, entsyymien, proteiinien, solujen ja muiden viskoosien kiinnittymistä tipin kärkeen. |
| Tip                     | Muovinen kärki, joka kiinnitetään pipettiin näytteenottoa varten.   |
| Matriisi                | Rasian sisällä oleva tippien säilytykseen tarkoitettu muovinen kappale.   |
| Pinnoitusjigi           | Metallinen jigi, jossa matriisit ovat pinnoitusprosessin ajan.  |
| Rasiajigi               | Metallinen jigi, johon rasiat varastoidaan pinnoitusprosessin ajaksi.   |
| CD600 Europlasma        | Pinnoituskone, jolla tipit pinnoitetaan   |
| Traybox                 | Rasia, joka sisältää matriisin ja tipit   |
| Pakkaamistila           | Tuotantosolussa tapahtuva työnkierto, jossa matriisit siirretään pinnoitusjigiltä trayboxeihin.                                       |

## 1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana oli Sartorius Biohit Liquid Handling Oy. Yritys kuuluu osaksi Sartorius-konsernia, joka on Saksasta lähtöisin oleva kansainväliseksi toimijaksi kehittynyt yritys. Yritys tuli minulle tutuksi ensi kerran, kun aloitin kesätyöt 2020 muovituotannon operaattorin tehtävissä. Ensimmäinen kesä sujui niin hyvin, että pääsin töihin seuraavinakin kesinä ja hie-  
man eri tehtävissä. Seuraavana kesänä vuonna 2021 ollessa kesätyöntekijänä toimin laadunvalvojan tehtävissä ja nyt tänä vuonna olen tehnyt yritykseen puolen vuoden mittaisen insinööriharjoittelun.

Opinnäytetyöni aihe syntyi tarpeesta tehostaa tuotantoa työpisteellä, jossa aikaisemmin kaikki työvaiheet oli tehty käsin. Automatisoinnin myötä myös puhdistilan asettamiin vaatimuksiin pystytään vastaamaan paremmin ja siitä voidaan varmistua. Opinnäytetyöni keskittyy tuotantosolun layoutin suunnitteluun ja mallintamiseen. Tarkkoihin teknisiin yksityiskohtiin, kuten esimerkiksi robotin tarttujiin ei kiinnitetä niin tarkkaa huomiota, koska aika ei riitä niin laajan tutkimuksen tekemiseen.

Opinnäytetyöstä kertominen aloitetaan teorialla, josta siirryn kertomaan tarkemmin suunnittelemani automaattioratkaisusta. Teoriaa on kerätty internetistä, kirjallisuudesta ja aiheeseen liittyvistä koulutusmateriaaleista. Automaatiosuunnitelmasta kertominen pohjataan Visual components -ohjelmalla tehtyyn layout-malliin. Osa tiedoista perustuu haastattelemieni kokeneiden ruiskuvalu- ja automaatioasentajien ammattitietoon. Työskennellessäni yrityksen kehitysinsinöörin kanssa, olen saanut opinnäytetyöhöni runsaasti uusia näkökulmia ja teknisiä ratkaisuja.

## 2 Tietoa yrityksestä

Sartorius on kansainvälinen terveysteknologian yritys. Sartorius työllistää ympäri maailman noin 14 000 ihmistä ja toimipisteitä on yli 60 eri maassa. Suomessa Sartoriuksen toimipisteet ovat Helsingissä ja Kajaanissa, joissa tuotanto keskittyy pipetteihin ja pipetinkärkiin. Yrityksen pääkonttori sijaitsee Saksan Göttingenissä. Suomen toimitusjohtaja on Matti Pilviö ja Kajaanin tehtaanojohtaja Pertti Pulkkinen. Liiketoiminta jakautuu kahteen alueeseen, joita ovat LPS (laboratorio) ja BPS (bioprosessi). Sartoriuksen myyntituotto vuonna 2021 oli 3,45 miljardia euroa. [1.]

Koronapandemia oli Sartoriukselle niin sanottua sesonkiaikaa. Koronavirusrokotteita kehittäviä yrityksiä toimii maailmalla yli 200, joista suurin osa työskentelee Sartoriuksen tuotteilla. Erityisesti pipettien kärkien kysyntä räjähti 2020–2021 välisenä aikana. Kajaanin tuotantolaitoksessa tehtiin tuona aikana tuotantoennätyksiä, koska kasvaneeseen kysyntään haluttiin vastata.

Kauppalehden artikkelissa kerrottiin (15.5.2013), että saksalainen pörssi-yhtiö Sartorius osti Kajaanissa toimineen Biohit Oy joulukuussa 2011 [2]. Kainuun Sanomat uutisoi verkkoartikkelissaan (19.1.2021) Kajaanin Sartoriukseen tehdyistä suurista investoinneista, joista merkittävimpanä voidaan mainita tuotantolaitoksen uusi laajennus [3]. Uuden laajennuksen myötä tuotantolaitoksen tuotantokapasiteettia saadaan kasvatettua merkittävästi lähivuosien aikana. Haastatellessani Kajaanin tuotantolaitoksen johtohenkilöstöä ovat he arvioineet, että uuden laajennuksen täyden tuotantokapasiteetin saavuttaminen kestää arviolta vielä kuitenkin vuoden tai kaksi. Uuteen tuotantohalliin on kaavailtu näillä näkymin ainakin kaksi uutta tuotantosolua, joista sain kuulla ollessani insinööriharjoittelijana.

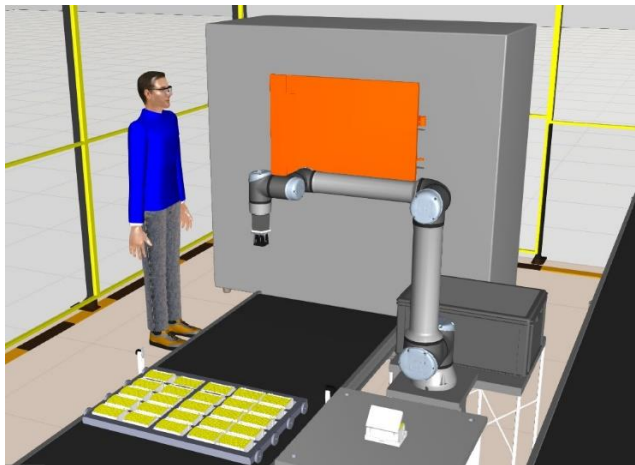
Kainuun ELY-keskuksen julkaisemasta verkkoartikkelista (23.10.2018) käy ilmi, että Kajaanin tuotantolaitoksessa työskentelee noin 120 työntekijää [4]. Kajaanin tuotantolaitos jakautuu tip-tuotantoon, pipettituotantoon, kunnossapitoon, laadunvalvontaan, tuotekehitykseen ja lähettämöön. Olen työskennellyt kolmena vuotena tip-tuotannon puolella kaikissa tuotannon tehtävissä ja erilaisten työtehtävien tekeminen on helpottanut tämänhetkisessä suunnittelutehtävässä. Erityisesti projektiopinnoista ja robotiikan kurseista on ollut minulle hyötyä harjoittelussa, mikä johtuu Sartoriuksen toimialasta, johon automatisoitu tuotanto liittyy hyvin vahvasti.

### 3 Solulayoutin suunnittelu

Solulayoutin suunnittelu lähti tarpeesta kehittää automatisoitu ratkaisu käsityövaiheiden tilalle. Suunnittelun lähtökohtina oli solun tuotannon nopeuttaminen ja yksitoikkoisten käsityövaiheiden poistaminen. Pää tavoitteiden lisäksi asetin itselleni tavoitteen suunnitella tuotantosolusta mahdollisimman autonominen. Autonomisessa tuotantosolussa operaattorin tehtäväksi jäisi pinnoittamattomien tip-rasioiden lataaminen tornimakasiiniin ja valmiiden tuotteiden siirtäminen kuormalavalle. Tuotantosolun täytyi myös täyttää ISO 8 -puhdistilavaatimukset, koska siinä käsiteltävät tuotteet tulevat lääketeollisuuden käyttöön.

#### 3.1 Solulayout-mallin kehittäminen

Ensimmäinen solulayout-malli oli ajatus cobotin ja operaattorin välisestä yhteistyöstä. Tällaisessa tuotantosolussa operaattori olisi nostanut pinnoitusjigin pinnoituskammioon ja ottanut sen pinnoituksen loputtua pois. Cobotin tehtäviin olisi kuulunut pinnoitusjigien täyttäminen ja valmiiden tuotteiden asettaminen takaisin kuljetuslaatikkoon. Operaattorin tehtävänä olisi lisäksi ollut myös asettaa tyhjt rasiat kannet avattuna rasiajigiin. Tämä tuotantosolumalli valikoitui tämän opinnäytetyön pääsuunnitelmaksi yksinkertaisuuden ja toimivuuden puolesta. Yhdellä cobotilla tuotantosolussa työnkiertoa saadaan nopeutettua merkittävästi ja operaattorille puuduttavin työvaihe saadaan automatisoitua. Kuva 1 on kuvankaappaus Visual components -ohjelmalla mallinnetusta solulayout-mallista, jossa operaattori on valmiina siirtämään pinnoitusjigin pinnoitus-koneen kammioon.



*Kuva 1. Operaattori valmiina siirtämään täyteen tulleen pinnoitusjigin.*

Toinen solulayout-malli perustui ajatukseen kokonaan automatisoidusta tuotantosolusta, jossa operaattorin ei tarvitsisi muuta kuin lastata pinnoitettavat tuotelaatikot tornimakasiiniin ja poistaa tuotannon valmistuttua valmiit tuotelaatikot toisesta tornimakasiinista. Tuotantosolussa pinnoitus- ja rasiajigit kiertäisivät kolmikerroksisella hihnakuiljettimella pinnoitusprosessin eri vaiheissa. Ylimmällä kuljettimella olisivat pinnoitukseen menevät tuotteet, toisella pinnoituksesta tulleet tuotteet ja alimmalla tasolla rasiajigit. Jigejä siirrellään hihnakuiljettimien välillä hisseillä, joita on kaksi kappaletta monikerroskuiljettimen molemmissa päissä. Tuotantosolun hyviä puolia olisi ollut sen laaja automaatio, joka olisi osaltaan mahdollistanut operaattorin toimimisen samanaikaisesti myös muissa työtehtävissä. Ideasta ei tullut tämän opinnäytetyön pääaihetta, koska sen toteuttaminen osoittautui liian monimutkaiseksi.

### 3.2 Tuotannon asettamat suorituskykyvaatimukset

Merkittävimmät tuotannon asettamat suorituskykyvaatimukset tuotantosolulle olivat tuotantoprosessin nopeuttaminen ja yksitoikkoisten sekä kontaminaatoriskiä nostavien operaattorin työtehtävien korvaaminen automaatiolla. Automaatiolla saavutettavat hyödyt olisivat näiltä osin huomattavat, koska automaation käsitellessä matriisit ja siinä olevat tipit eivät altistu niin herkästi kontaminoitumiselle.

Low retention tippien tuotanto on hidasta ja yksitoikkoista käsityötä ilman automaatiota. On kuitenkin huomioitava, että tuotantoprosessia itsessään hidastaa pinnoituskoneen pinnoitusprosessi. Pinnoitusprosessi kestää noin tunnin ja sitä ei voida nopeuttaa millään tavalla, ellei vaihdeta erilaiseen pinnoituskoneeseen. Suorituskykyvaatimukset kohdistuvat siis tuotteiden käsittelyprosessiin ja lyhentävät sitä kautta prosessiaikaa saadaan lyhennettyä. Mikäli itse pinnoitusprosessia ei oteta huomioon, aikaa vievin työvaihe on matriisien lataaminen pinnoitusjigiin. Siinä rasiakansi avataan, matriisi poistetaan ja asetetaan sitten pinnoitusjigiin. Jokaiseen pinnoitusjigiin mahtuu yhteensä 25 matriisia ja pinnoitusjigejä laitetaan pinnoituskoneen kammioon kolme kappaletta.

Kaikista ihanteellisimman automaatiotratkaisu olisi ollut täysin autonomisesti toimiva kokonaisuus, jossa operaattorin tehtäväksi olisi jäänyt tuotelaatikkojen lastaaminen tornimakasiiniin ja valmiiden tuotelaatikoiden poistaminen toisesta tornimakasiinista. Käyttämällä tämänkaltaista automaatiotratkaisua olisi operaattorilta vaadittavat työtehtävät vaatineet vain vähän aikaa ja ne olisi

voinut hoitaa muiden työtehtävien lomassa. Automaattioratkaisu, jossa tuotantoprosessiin tarvitaan operaattoria, ei ole niin autonominen, mutta on huomattavasti miellyttävämpi ja nopeampi verrattuna kokonaan käsityönä tehtävään tuotantoprosessiin.

### 3.3 Puhdastilan asettamat vaatimukset

Puhdastilalla on tila, jonka olosuhteet on säädetty vastaamaan haluttua puhtausvaatimusta, jotta siellä työskennellessä käsiteltävät tuotteet eivät altistu kontaminoitumiselle. Virallinen puhdastilan määritelmä on kirjattu ISO 146441-1 -standardissa seuraavasti: *"Puhdastila on tila, missä ilmassa esiintyvien partikkeleiden määrää kontrolloidaan, ja joka on rakennettu sekä jota käytetään niin, että minimoidaan partikkeleiden sisäänpääsy, syntyminen ja pysyminen tilassa, ja missä kaikkia asiaan liittyviä parametreja, kuten lämpötilaa, kosteutta ja ilmanpainetta kontrolloidaan tarpeen mukaan"*. [5.] Sartoriuksen Kajaanin tuotantolaitoksessa on tuotantosoluissa yleisesti käytössä ISO 8 -standardi, jonka toteutumista tuotantosolussa valvotaan suorittamalla tilojen välisiä paine-ero ja ilmavirtamittauksia. Insinööriharjoitteluni aikana haastattelin useita kunnossapitoasentajia, joiden tehtäviin kuuluu muun muassa myös puhdastilalaitteistojen huollot ja saamani kattava puhdastilakoulutus auttoivat huomattavasti tuotantosolun suunnitteluun. Haastatteluissa lähes jokainen asentaja kertoi, että välillä on hyvä tehdä vaihtoehtoisia mittauksia, jos tila sitä vaatii. Vaihtoehtoisia mittauksia ovat HEPA-suodattimien kunnan tarkastaminen, ilmavirran visualisointi, toipumismittaukset ja kontaminaatiomittaukset. Vaihtoehtoisten mittausten avulla voidaan puhdastilan puhtausluokitus varmistaa. Kontaminaatiomittaukset hoitavat yrityksessä laadunvalvontaosasto, joka lähettää näytteet vastaavasti tutkimuksiin.

### 3.4 Tuotantosolussa toimiminen puhdastilakäytännöt huomioiden

Tuotantosolun ollessa puhdastila-alueita on siellä työskentelevien henkilöiden oltava tietoisia ja koulutettu sen asettamista vaatimuksista. Sartoriuksella kaikki työntekijät ovat saaneet puhdastilakoulutuksen, ja tuotantosoluihin kulkuluvan saaneilla on vielä syventävämpi koulutus puhdastiloissa toimimiseen. Tuotantosolun sisälle mentäessä henkilön on puettava puhdastilavaatetus, joka voi sisältää housut, takin, kengät, hiusmyssyn, suusuojaimen, nitriliikäsineet tai vaihtoehtoisesti puhdastiloissa työskentelemiseen tarkoitettua haalarin, kengänsuojat, suusuojaimen, hiusmyssyn ja nitriliikäsineet. Tässä kappaleessa esitetyt puhdastilatoimet perustuvat saamaani puhdastilakoulutukseen.

Tuotantosolu ja sen laitteistot on puhdistettava säännöllisesti, jotta ISO 8 -luokitus pysyy voimassa. Kajaanin Sartoriuksella käytäntönä on jokaiselle tuotantosolulle tehtävät viikkosiivoukset, joilla varmistetaan tilojen puhtaus. Tuotantosolujen puhtautta valvotaan muun muassa yrityksen sisäisillä laadunvalvontaosaston suorittamilla mittauksilla ja näytteiden keräämisellä. Tärkeä merkitys puhtauden varmistamisessa on myös tuotteita pakkaavilla operaattoreilla ja laitteita huoltavilla asentajilla, jotka omalla toiminnallaan edesauttavat tilojen puhtaana pysymistä. Yrityksellä on myös hyvin selvät toimintamallit tilojen puhtaana pitämiseen ja mahdollisten poikkeustilanteiden varalle.

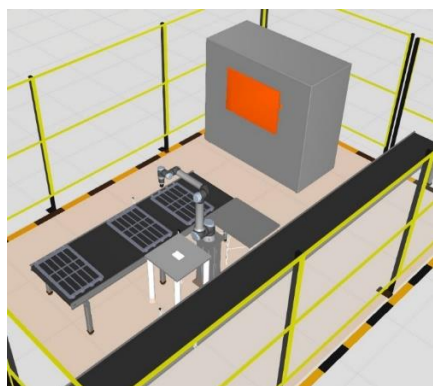
## 4 Tuotantosolun toiminnot

Logistiikan Maailman verkkosivuilla listatuista hyvän tuotannon layout-piirteistä olen työssäni kiinnittänyt erityisesti huomiota operaattoria kuluttaviin työtehtäviin ja pyrkinyt korvaamaan ne automaatiolla [6]. Automatisoidussa tuotantosolussa nämä tehtävät hoitaisivat cobotti ja muu automaatio operaattorin sijaan. Automatisoitu tuotantosolu vapauttaa operaattorin osaksi aikaa muihin työtehtäviin ja lisää työn mielekkyyttä. Isossa tuotantolaitoksessa yhdellä operaattorilla saattaa olla samanaikaisesti muitakin työtehtäviä hoidettavana taukoja unohtamatta, joten kaikki lisäaika muiden työtehtävien tekemiseen on eduksi.

Tässä kappaleessa tullaan käsittelemään tarkemmin tuotantosolun työnkiertoa, käytettävää laitteistoa, käyttöönottoa sekä mahdollisia ongelmatilanteita. Lisäksi kappaleessa tullaan esittelemään kehitysvaiheessa mukana olleita muita ideoita, jotka eivät kuitenkaan valikoituneet tämän opinnäytetyön päätyöksi.

### 4.1 Työnkierto tuotantosolussa

Tuotantosolun työnkierto alkaa operaattorin tekemillä käynnistystoimilla ja tuotantosolun tehtävillä valmisteluilla. Operaattori asettaa tuotelaatikon ilman kantta ensimmäiselle hihnakuljettimelle ja sen jälkeen kolme pinnoitusjigiä toiselle hihnakuljettimelle. Seuraavaksi operaattori valitsee tuotantosolun ohjauspaneelista tuotannon aloitusohjelman, jolla cobotti aloittaa trayboxien käsittelyn. Alla olevassa kuvassa 2 on näkyvissä tuotantosolu, jossa sen laitteisto on valmisteltu mahdollista tuotannon aloittamista varten. Kuva 2 on kuvankaappaus Visual components -ohjelmasta.



Kuva 2. Tuotantosolun laitteisto valmiina tuotannon aloittamiseen.

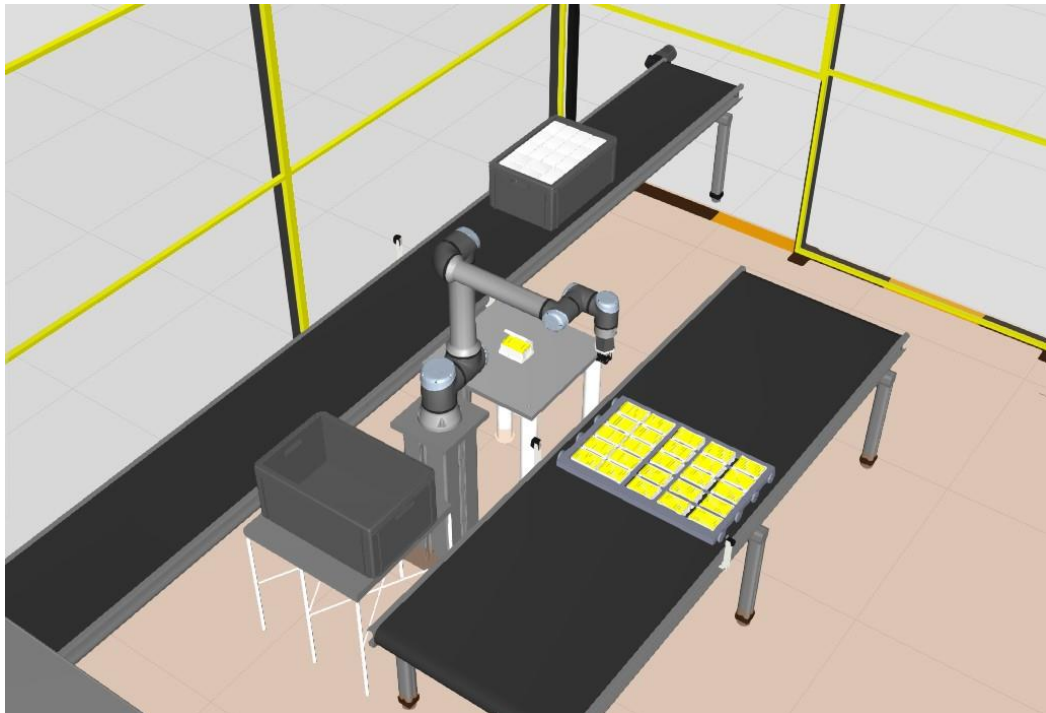
Kun tuotantosolu käynnistetään, tuotelaatikko siirtyy hihnakuuljettimella cobotin toiminta-alueelle, johon se pysäytetään optisen anturin saatua signaalin siitä, että tuotelaatikko on kohdallaan. Samalla periaatteella pinnoitusjigi siirtyy cobotin toiminta-alueelle, johon se siirtyy odottamaan matriiseja. Tuotelaatikon ja pinnoitusjigin ollessa cobotin toiminta-alueella, cobotti nostaa tuotelaatikosta trayrasian käsittelypisteelle, jossa trayrasian kansi avataan. Kannen ollessa auki matriisi nostetaan alipainetarttujalla rasiasta ja siirretään pinnoitusjigiin. Siirron ollessa menossa käsittelypisteellä olevan trayrasian kansi suljetaan käsittelypisteen kannensulkijalla. Matriisin ollessa siirrettyinä pinnoitusjigiin ja trayrasian kannen ollessa suljettuna, siirretään trayrasia tyhjään tuotelaatikkoon odottamaan uudelleenpakkausta. Nämä vaiheet toistuvat, kunnes kolme pinnoitusjigiä on täytetty. Operaattori siirtää täydet pinnoitusjigit pinnoituskoneen kammioon pinnoitettavaksi. Kuvassa 3 on nähtävissä Visual components -ohjelmalla mallinnettuja matriiseilla täytettyä pinnoitusjigejä, jotka ovat menossa pinnoituskoneen kammioon pinnoitettavaksi.



*Kuva 3. Pinnoitusjigit valmiina pinnoituskoneen kammioon siirrettäväksi*

Pinnoitusprosessin aikana operaattori siirtää kolme tyhjää pinnoitusjigiä niille tarkoitetulle hihnakuuljettimelle ja laittaa tarvittaessa uuden tuotelaatikon toiselle hihnakuuljettimelle. Näiden toimien jälkeen operaattorin tehtävänä on vielä varmistaa, että tyhjiille rasioille tarkoitettuun tuotelaatikkoon mahtuu vielä tyhjiä rasioita. Näiden valmistelujen jälkeen cobotti on valmis toimimaan ja suorittamaan tuotteiden käsittelyn. Pinnoitusprosessin ollessa käynnissä cobotti valmistelee kolme pinnoitusjigiä valmiiksi pinnoitukseen, jotta uusi tuote-erä saadaan välittömästi pinnoitukseen, kun käynnissä oleva pinnoitusprosessi päättyy.

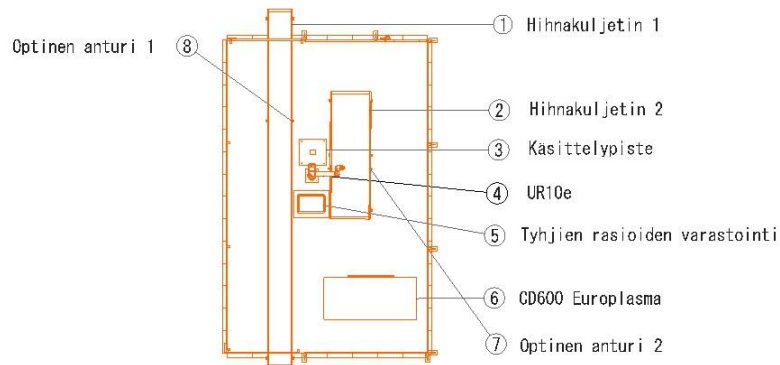
Kun tuotteet ovat valmistuneet pinnoituksesta operaattori siirtää pinnoitetut tuotteet pinnoitusjigeille tarkoitetulle hihnakuuljettimelle ja asettaa cobotin pakkaamistilaan ohjauspaneelista. Pakkaamistilassa cobotti siirtää tyhjistä tuotelaatikoista tyhjän trayboxin käsittelypisteelle, aukaisee trayboxin kannen ja nostaa matriisin pinnoitusjigistä rasiaan. Visual components -ohjelmasta otetussa kuvassa 4 nämä vaiheet on suoritettu ja cobotti on siirtämässä matriisilla varustettua trayboxia tuotelaatikkoon. Näiden vaiheiden ollessa suoritettuina, cobotti siirtää matriisin sisältävän trayboxin hihnakuuljettimella olevaan tuotelaatikkoon. Operaattorin tehtävänä on ajattaa hihnakuuljettimelle pinnoitettuja tuotteita sisältävä tuotelaatikko tai vastaavasti laittaa hihnakuuljettimelle tyhjä tuotelaatikko, johon tuotteet pakataan. Tuotelaatikon ollessa täysi, siirtyy se automaattisesti hihnakuuljettimen toiseen päähän, josta operaattori siirtää sen sille tarkoitetulle varastointipaikalle.



*Kuva 4. Cobotti aloittamassa pinnoituksesta tulleiden tuotteiden purkua pinnoitusjigiltä.*

## 4.2 Tuotantosolussa käytettävä laitteisto

Kuvassa 5 on nähtävissä tuotantosolussa käytettävä laitteisto. Tuotantosolussa käytettävä laitteisto koostuu yhdestä Universal Robotsin cobotista, CD600 Europlasma Nanofics -pinnoituskooneesta ja kahdesta hihnakuuljettimesta. Lisäksi tuotantosolussa käytetään optisia antureita tilatiedon luomiseen tuotantosolun logiikalle.



Kuva 5. Tuotantosolun layout.

### 4.2.1 Universal Robots UR10e

Tuotantosolussa käytettävä cobotti on Universal Robotsin UR10e, joka on esitetty valmistajan verkkosivuilta lainatussa kuvassa 6. Kyseinen cobotti valikoitui tähän tehtävään käytettävyyden ja hintalaatusuhteensa ansiosta, mikä kävi ilmi Universal Robotsin tuotekatalogia tarkastellessa [7]. Yrityksellä on jo entuudestaan käytössä useita UR-cobotteja, joten sen käyttöönotto ja kouluttaminen eivät tuo lisäkustannuksia. Yrityksen kunnossapitoasentajilta olen myös kuullut, että kyseisiin cobotteihin löytyy varastosta myös varaosia jo valmiiksi, joten kaikkia varaosia ei tarvitse välttämättä hankkia ainakaan välittömästi. Isoin säästö tehdään kuitenkin siinä, ettei koko henkilöstöä tarvitse uudelleen kouluttaa käyttämään järjestelmää, koska muun muassa yrityksen ruis-kuvaluasentajille laitteisto on entuudestaan tuttu. UR10e-cobotin perustoiminnot oppivat muutamassa tunnissa mittaisella koulutuksella, joten laitteiston käytön opettaminen luonnistuu esimer-

kiksi työpäivän ohessa porrastetusti. UR10e-cobotin käytön voi opetella myös katsomalla Universal Robotsin ohjevideoita, joiden avulla itse opin käyttämään myös kyseistä cobottia. Opetusvideoita löytyy muun muassa Universal Robotsin verkkosivuilta [7].



Kuva 6. Universal Robots UR10e. <https://unchainedrobotics.de/en/products/robot/cobot/universal-robots-ur10e>. Kuva liitettiin 10.1.2023

#### 4.2.2 CD600 Europlasma Nanofics

CD600 Europlasma Nanofics on tuotantosolun keskeisin laite, jonka ympärille tuotantosolun muut toiminnot rakentuvat. Pinnoituskoneella tipit pinnoitetaan, jotta tippeihin saadaan pinnoite, joka ehkäisee epäpuhtauksien kiinnittymistä tipin kärkeen ja helpottaa näytteen keräämistä esimerkiksi viskoottisista nesteistä. Olen testannut, että pinnoituskoneen kammioon mahtuu kerrallaan kolme pinnoitusjigiä, joihin kuhunkin mahtuu yhteensä 25 matriisia ja samanaikaisesti pinnoituksessa on näin ollen siis 75 matriisia. Yhdessä matriisissa on yhteensä 96 tippiä. CD600 Europlasman jälleenmyyjä Cambridge Scientificin sivuilla on ilmoitettu pinnoituskammion mitoituksi 900 x 570 x 550 mm [8]. Kyseinen pinnoituskone on esitetty valmistajan sivuilta lainatussa kuvassa 7. Työskennellessäni pinnoituskoneen parissa kelloitin, että pinnoitusprosessi kestää noin tunnin verran.



Kuva 7. CD600 Europlasma -pinnoituskone. <https://www.cambridgescientific.com/product/europlasma-cd600-nanofics-s-se-nano-coating-system>. Kuva liitetty 9.1.2023.

#### 4.2.3 Hihnakujuettimet

Tuotantosolussa tuotelaatikot ja pinnoitusjigit tullaan siirtämään cobotin toimintasäteelle hihnakujuettimilla. Operaattori laittaa ensimmäiselle hihnakujuettimelle kolme tyhjää pinnoitusjigiä ja toiselle tyhjän tuotelaatikon. Pinnoitusjigi ja tuotelaatikko siirtyvät hihnakujuettimella eteenpäin, kunnes ne pysäytetään optisilla antureilla cobotin toimintasäteelle.

#### 4.2.4 Optiset anturit

Optisilla antureilla tuotetaan tilatietoa tuotantosolun logiikalle. Optiset anturit mahdollistavat työkierron toteuttamisen, koska niiden tuottaman tiedon avulla hihnakujuettimet ja cobotti pysyvät toimimaan.

#### 4.3 Mahdolliset ongelmatilanteet

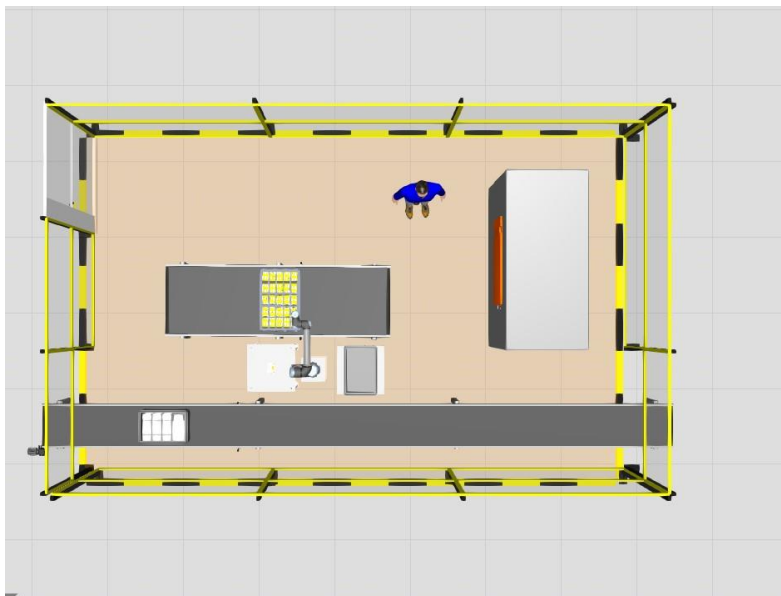
Tuotantosolun mahdolliset ongelmatilanteet liittyvät pääasiassa cobotin toimintaan. Hihnakujuettimien toiminta on yleisesti ottaen toimintavarmaa ja yleisimmät tekijät niiden vikatilaa ovat anturin toimimattomuus, jolla objekti pysäytetään haluttuun kohtaan tai logiikassa ilmenevät ongelmat, jotka voivat aiheuttaa esimerkiksi tilan, jossa logiikka ei saa anturitietoa.

Pääasialliset vikatilat johtuvat cobotin toiminnasta, koska kappaleenkäsittelyssä saattaa ilmetä muuttujia, jotka aiheuttavat cobotin menemisen vikatilaa. Tällaisia muuttujia voi olla esimerkiksi esteen tuleminen cobotin toiminta-alueelle, jolloin cobotti pysähtyy ja menee häiriötilaan. Cobotti saattaa mennä häiriötilaan myös tilanteessa, jossa se jää odottamaan hihnakujuettimen anturilta tulevaa anturitietoa. Mikäli cobotti ei saa anturitietoa ohjelmaan määritellyssä ajassa, menee cobotti vikatilaa, joka vaatii operaattorilta häiriönkuittauksen.

Mahdollisia vikatilain aiheuttajia ovat myös operaattorin väärä toiminta, joka voi aiheuttaa cobottin vikatilain. UR10e-cobotti on suunniteltu yhteistyörobotiksi, joten henkilövahinkoja ei pitäisi syntyä sen kanssa. Jos cobotti törmää liikeradallaan esteeseen, sen liike pysähtyy välittömästi ja mahdollisten törmäysvahinkojen minimoimiseksi UR10e-cobottin kaikki käsivarren kulmat on pyöristetty. Törmäystilanteen sattuessa on ensiksi tarkastettava mahdolliset henkilövahingot, mikäli sellaisia tulee. Sitten kun mahdollisten vahinkojen määrä on kartoitettu, voidaan tuotantosolu käynnistää normaalisti.

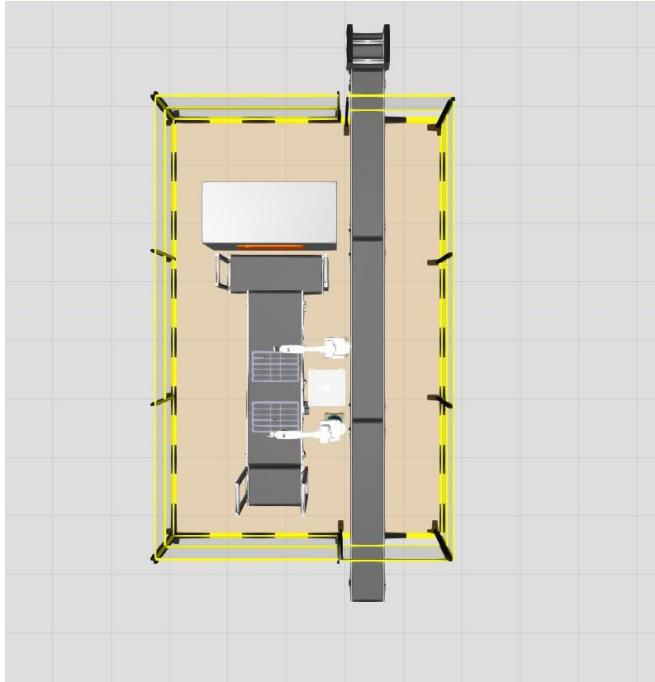
#### 4.4 Erilaiset kehitysversiot

Tuotantosolua suunnitellessa minulla heräsi kaksi jatkokehitettävää ideaa, joista lähdin tutkimaan parasta mahdollista ratkaisua. Opinnäytetyön aiheekseni valikoitui tämä tuotantosoluversio laitteiston käytettävyyden vuoksi. Suunnittelua tehdessäni ratkaisevassa tekijässä oli myös solulayoutin koko. Toinen tuotantosolu-layout olisi vienyt huomattavasti enemmän tilaa johtuen pääasiassa kolmekerroksisesta hihnakuljettimesta ja kahdesta tornimakasiineista. Tähän kehitysversioon verrattaessa yksinkertaistettu tuotantosolu-layout vie huomattavasti vähemmän tilaa. Opinnäytetyön aiheeksi valikoitui yksinkertaistettu tuotantosolu-layout myös sen vuoksi, että mallintamiseen käytetty ohjelma ei toiminut odotetulla tavalla ja aikaraja alkoi lähestyä loppuaan. Kuvassa 8 on nähtävissä tuotantosolu ylhäältä kuvattuna. Tämäkin kuva on kuvankaappaus Visual components -ohjelmasta.



Kuva 8. Tuotantosolu ylhäältä kuvattuna

Toinen kehitysversio oli suunnitelma täysin automatisoidusta ratkaisusta, jossa operaattorin tehtävät olisivat olleet hyvin vähäisiä. Kokonaan automatisoitu tuotantosolu oli minulla tavoitteena hyvin pitkään tämän opinnäytetyön aikana, mutta jouduin luopumaan suunnitelmasta. Isoimpana haasteena kehitystyössä tuli eteen oma osaaminen Visual Components -ohjelmassa, jolla oli tarkoitus animoida tuotantoprosessi. Kuvassa 9 on nähtävissä toisessa kehitysversiossa käytettävä laitteisto, joka on mallinnettu Visual Componentsilla.



*Kuva 9. Aikaisempi tuotantosolu versio ylhäältä kuvattuna*

## 5 Tuotantosolun nykytilanne ja ilmenneet ongelmat

Pinnoituskoneessa ilmenneitten ongelmien takia low retention tippien tuotanto nähtiin kannattavuuslaskelmien jälkeen kannattamattomana. Pääsyyinä projektin kuoppaamiselle oli pinnoituskoneessa ilmenneet epäpuhtaudet, joita kerääntyi pinnoituskoneen kammion seinämiin muuttaman pinnoituskerran jälkeen. Epäpuhtauksien poistaminen pinnoituskoneen kammioista vaati puhdistusajon suorittamisen pinnoituskoneen ohjelmaluettelosta, jonka kesto oli yhden tunnin. Puhdistusajon suorittaminen jokaisen pinnoitusprosessin jälkeen hidasti vuorokauden tuotantoa niin merkittävästi, että low retention -tuotteiden valmistaminen koettiin kannattamattomaksi. Osasyynä vaikuttamassa oli myös kyseisten tuotteiden kysynnän laskeminen ja tuotteen valmistamisen kokonaiskustannukset.

### 5.1 Yritys voi soveltaa solulayout-mallia muissa automaatioprojekteissa

Vaikkei opinnäytetyössä esitetty tuotantosolumalli luultavasti tule koskaan käyttöön sellaisenaan siinä tarkoituksessa, johon se luotiin, voidaan siihen suunniteltuja automaatoratkaisuja hyödyntää mahdollisesti muissa tulevilla projekteilla. Kyseistä ajatusta tukee se, että tuotantosolussa käytettävä laitteisto on yritykselle pääasiassa entuudestaan tuttua.

## 5.2 Projekti osoittautui kannattomaksi toteuttaa tuotantoasteelle

Projektia käynnistäessä pinnoituskoneen kammion epäpuhtausongelmia ei ollut havaittu. Ongelma alkoi paljastua, kun koneella suoritettiin pitkäkestoisia tuotantoajoja, jolloin puhdistusajot suoritettiin myös yöllä, kun kone ei ollut tuotantoajossa. Epäpuhtaudet pinnoituskammiossa huomattiin projektin suunnitteluvaiheessa, mutta tällöin kokeneet kehitysinsinöörit ajattelivat, että pinnoituskoneen puhdistusajo voidaan suorittaa useammin ja tuotantoa jatkaa sen jälkeen. Pinnoituskoneella tehtävä puhdistusajo on kuitenkin aikaa vievä prosessi ja epäpuhtauksien ehkäisemiseksi se jouduttaisiin tekemään jokaisen pinnoituskerran jälkeen. Tämän takia tuotteen valmistaminen on kannattamatonta, koska tuotantoaika jää vuorokauden aikana hyvin pieneksi. Tuotantokapasiteettia rajoittaa osaltaan myös pinnoituskoneen kammion koko, koska siihen mahtuu kerrallaan vaan 75 tippimatriisia pinnoitettavaksi.

Yritys päätti luopua pinnoitettujen tuotteiden myynnistä ainakin toistaiseksi, koska edellisessä kappaleessa mainituista syistä koki sen kannattamattomaksi. Näin ollen pinnoituskoneen vuokrasopimus päätettiin irtisanoa ja low retention tip -tuotteiden valmistus lakkauttaa kannattamattomana. Tämä opinnäytetyö projekti pidettiin kuitenkin voimassa, koska opinnäytetyölle nähtiin muuta painoarvoa.

## 6 Yhteenveto

Koronapandemia järjestytti maailmaa vuosina 2019–2022 ja lääketeollisuuden tuotantokapasiteetti joutui rasitukselle. Epidemia sai aikaan suuren kysynnän myös Sartoriuksen valmistamille pipettien muovikärjille eli tipeille. Kasvanut kysyntä kannusti investointeihin myös Kajaanin tehtaalla, ja sitä seurasivat mittavat investoinnit tuotantokapasiteetin kasvattamiseksi. Opinnäytetyöaiheeni syntyi edellä mainittujen investointien seurauksena, ja sen avulla haluttiin lisätä low retention tippien tuotantoa.

Tuotantosolu-layout perustuu operaattorille yksitoikkoisten tuotantovaiheiden poistamiseen ja tuotantoprosessin nopeuttamiseen. Yhdellä cobotilla mahdollistetaan matriisien poistaminen trayboxista ja niiden asettaminen pinnoitusjigiin pinnoitusta varten. Cobotti myös pakkaa pinnoitetut matriisit pinnoituksen jälkeen takaisin trayboxeihin. Operaattorin työtehtäväksi tuotantosolulla jää pinnoitusjigien nostaminen pinnoituskoneen kammioon ja niiden poistaminen pinnoitusprosessin päätyttyä. Cobotilla saadaan siis hoidettua aikaa vievimät prosessit ja työn mielekkyys säilyy aiempaa paremmin.

Opinnäytetyössä esiteltävää tuotantosolua ei näillä näkymin aiota ottaa käyttöön, koska pinnoitusprosessi osoittautui liian aikaa vieväksi prosessiksi johtuen pääosin jokaisen pinnoituskerran jälkeisestä noin tunnin kestävästä puhdistusajosta. Mikäli puhdistusajo jätetään tekemättä pinnoituskammioon, muodostuu epäpuhtauksia, jotka kontaminoivat pinnoituksessa olevat tuotteet. Yrityksen johto päätti luopua kokonaan low retention tip -tuotteista ja vuokralla olleen pinnoituskoneen vuokrasopimus päätettiin, mutta tuotantosolun suunnitelma päätettiin viedä loppuun asti. Layout-suunnitelmaa pystytään luultavasti hyödyntämään tulevilla automaatioprojekteissa.

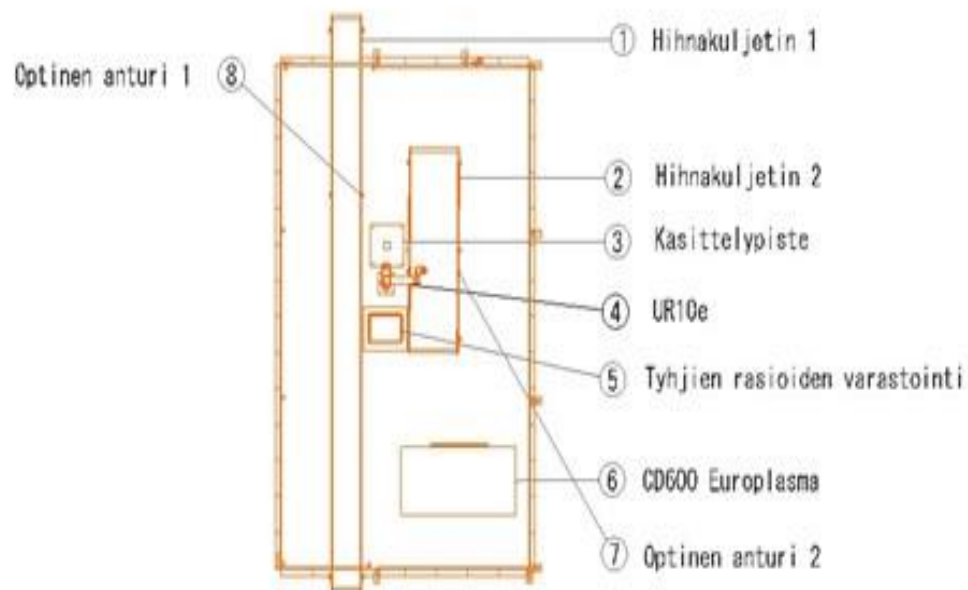
## Lähteet

- /1/ Sartorius AG – Verkkosivut. Company. About Sartorius. [https://www.sartorius.com/en/company/about-sartorius-ag?\\_gl=1\\*1p6gk5\\*\\_up\\*MQ.&gclid=EAlalQobChMI3ovEmdLB\\_AIVEZ-CyCh3tQgoQEAAAYASAAEgKlcPD\\_BwE/](https://www.sartorius.com/en/company/about-sartorius-ag?_gl=1*1p6gk5*_up*MQ.&gclid=EAlalQobChMI3ovEmdLB_AIVEZ-CyCh3tQgoQEAAAYASAAEgKlcPD_BwE/) . Luettu 26.8.2022.
- /2/ Kauppalehti – Verkoartikkeli. Uutiset. Kajaanin pipettitehdas saa miljoonainvestoinnin. <https://www.kauppalehti.fi/uutiset/kajaanin-pipettitehdas-saa-miljoonainvestoinnin/64acf66e-7fcb-3a2d-80ba-17bf3e5f3dc5/> . Luettu 7.1.2023
- /3/ Kainuun Sanomat – Verkoartikkeli. Artikkel. Korona antoi lisäpiikin Sartoriuksen tehtaalle-tuotanto kasvaa ja Petäisenniskaan nousee uusi halli. <https://www.kainuunsanomat.fi/artikkeli/korona-antoi-lisapiikin-sartoriuksen-tehtaalle-tuotanto-kasvaa-ja-petaisenniskaan-nousee-uusi-halli-194151925/> . Luettu 7.10.2022
- /4/ Kainuun ELY-keskus – Verkoartikkeli. Rekrykoulutus auttoi Sartorius Biohit liquid handling Oytä uusien työntekijöiden löytämisessä. <https://kainuunely.com/2018/10/23/rekrykoulutus-auttoi-sartorius-biohit-liquid-handling-oyta-uusien-tyontekijoiden-loytamisessa/> . Luettu 10.9.2022
- /5/ Wikipedia – Puhdastila. Artikkelia muokattu 6.tammikuuta 2023. <https://fi.wikipedia.org/wiki/Puhdastila> . Luettu 20.10.2022
- /6/ Logistiikan maailma – Tuotanto. Tuotantostrategia - Tuotannon layout. <https://www.logistiikanmaailma.fi/tuotanto/tuotantostrategia/tuotannon-layout/>. Luettu 26.10.2022
- /7/ Universal Robots – Verkkosivu. Tuotteet, UR10e tuotetiedot. <https://www.universal-robots.com/fi/tuotteet/ur10-robot/> Luettu 6.1.2023
- /8/ Cambridge Scientific – Tuotekatalogi. Europlasma CD600 Nanofics - Nano coating system. <https://www.cambridgescientific.com/used-lab-equipment/product/Europlasma-CD600-Nanofics-S-SE-Nano-Coating-System-2120/> . Luettu 26.8.2022.

## Kuvalähteet

1. Universal Robots UR10e. <https://unchainedrobotics.de/en/products/robot/cobot/universal-robots-ur10e>. Kuva liitettiin 10.1.2023
2. Europlasma CD600 Nanofics. <https://www.cambridgescientific.com/product/europlasma-cd600-nanofics-s-se-nano-coating-system>. Kuva liitettiin 9.1.2023

## Tuotantosolun layout-piirros



Tuotantosolu ylhäältä kuvattuna

