

Opinnäytetyö (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Koneautomaatio

2017

Jussi Niemelä

# ROBOTTIPAKKAUSSOLUN SUUNNITTELU

– Mauste-Sallinen Oy

Jussi Niemelä

## ROBOTTIPAKKAUSSOLUN SUUNNITTELU

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella Mauste-Sallinen Oy:lle uusi pakkaussolu, jossa hyödynnettäisiin yrityksen jo aikaisemmin hankkimaa UR3-yhteistoimintarobottia. Yhteistoimintarobotti voi toimia saumattomassa yhteistyössä henkilön kanssa, eikä tavanomaisten robottien vaatimia suojauksia useimmiten tarvita. Toimeksianto sisälsi pakkaussolun 3D-mallinnuksen, tarvittavien komponenttien valinnat sekä mittakuvien että toimilaitteiden kytkentäkuvien piirtämisen.

Työssä käsitellään koneensuunnittelun kannalta oleellisia standardeja, perehdytään robottien turvallisuuteen liittyviin standardeihin ja tarkennetaan yhteistoimintarobottien määräyksiä. Standardien jälkeen kerrotaan teollisuusrobotiikasta ja perehdytään pakkaussolussa käytettävän yhteistoimintarobotin toimintaan tarkemmin.

Lähtökohtana oli suunnitella uusi pakkaussolu UR3-yhteistoimintarobotin ympärille, jonka toteutukseen yritys antoi vapaat kädet. Aluksi suunniteltiin robotin tarttujaan työkalu, jolla nostetaan kaksi maustepurkkia kerrallaan. Robotin ympärille mallinnettiin hahmotelma pakkaussolun rakenteesta, joka toimi referenssinä tulevalle suunnittelulle. Samalla mietittiin myös laitteen tulevaa toimintaperiaatetta ja komponenttien sijoitteluja. Hahmotelman pohjalta lähdettiin työstämään mitoitettua mallia. Mallinnuksen aikana myös käytettävät toimilaitteet ja anturit alkoivat tarkentua ja niiden sovittaminen pakkaussoluun oli mahdollista. Lopullisesta versiosta tehtiin tarvittavat mittapiirroskuvat, sähkökytkentäkuvat ja komponenttien listaukset toimitettavaksi yrityksen käyttöön.

Opinnäytetyön sisältämä suunnitelma toimii ohjeistuksena yritykselle, kun rakennetaan uusi pakkaussolua. Työ kattaa myös kustannuslaskelman lukuun ottamatta robotin ja tarttujan hankintahintoja. Myöhemmässä vaiheessa kustannuksia tuo lisää rakentaminen ja käyttöönotto. Pakkaussolun tullessa käyttöön yritys pystyy vastaamaan asiakkaiden tarpeisiin entistä paremmin ja kustannustehokkaammin.

### ASIASANAT:

Automaatio, Robotti, Robotiikka, 3D-mallinnus, Mekaniikkasuunnittelu

Jussi Niemelä

## DESIGNING OF A ROBOT PACKING CELL

The purpose of this thesis was to design a new packing cell for Mauste-Sallinen Ltd. The company's previously purchased UR3 collaborative robot will be used in the designed package cell. A person can work in seamless co-operation with the collaborative robots and usually the shielding required by conventional robots is not needed. The assignment included the 3D-modeling of the packaging cell, the choices of the required components and drawings of the dimensions and coupling.

The thesis deals with the standards relevant to machine design, robotic safety standards, and clarifies the regulations for collaborative robots. The second part elaborates industrial robotics and the operation of the collaborative robot used in the packing cell.

The basis for the study was to design a new packing cell around the UR3 collaborative robot. The company provided free rein for the implementation. Initially a robot gripping tool was designed to raise two spice jars at a time. A model of the packaging cell was outlined around the robot to serve as a reference for future design. At the same time, the future operating principle of the device and the positioning of components were also contemplated. The dimension model was processed based on the sketch. During the modeling, the used components also began to be refined and their adaptation to the packing cell was possible. In the final version, the necessary drawings and schematics were made and provided to the company. Necessary mechanical and schematics drawings were made for the final version. These drawings and a list of used components were delivered to the company.

The design work made for this thesis will be the base for the company when building the new packing cell. The thesis covers also the cost of the packing cell apart from the initial cost for UR3 robot and the gripper fastened on the robot. The cost of construction and commissioning are not covered in this thesis. When the new packing cell comes into use, the company can respond to customers' needs better and more cost-effectively.

### KEYWORDS:

Automation, Robot, Robotics, 3D-modeling, Mechanical design

# SISÄLTÖ

<b>KÄYTETYT LYHENTEET</b>	<b>6</b>
<b>1 JOHDANTO</b>	<b>7</b>
<b>2 TURVALLISUUS JA STANDARDIT ROBOTISOLUN SUUNNITTELUSSA</b>	<b>9</b>
<b>3 TEOLLISUUSROBOTIIKKA</b>	<b>12</b>
3.1 Yleistä robotiikasta	12
3.2 Robotti osana tuotantoa	12
3.3 Yhteistoimintarobotti	13
<b>4 PAKKAUSSOLU</b>	<b>16</b>
4.1 Lähtökohdat pakkaussolun suunnittelulle	16
4.2 Pakattava tuote ja vaatimukset suunniteltavalle tarttujatyökalulle	17
4.3 Tavoitteet uuden pakkaussolun toteutukselle	17
4.4 Uuden pakkaussolun suunnittelu	18
4.4.1 Layout-suunnittelu	18
4.4.2 Pakkaussolun toimintaperiaatteen suunnittelu	20
4.4.3 Pakkaussolun 3D-mallinnus	20
4.4.4 Robottiin liitettävä työkalu	22
4.4.5 Antureiden sijoittuminen pakkaussolussa	23
4.4.6 Yritykselle toimitetut dokumentit	25
4.4.7 Pakkaussolun toimintakaavio	25
<b>5 PAKKAUSSOLUSSA KÄYTETTÄVÄT KOMPONENTIT</b>	<b>27</b>
5.1 Käytettävä robotti	27
5.1.1 Universal Robots	27
5.1.2 UR3 robotti	28
5.2 Robottiin liitettävät toimilaitteet	29
5.2.1 Tarttuja	29
5.2.2 Sähköiset komponentit	30
5.2.3 Pneumaattiset komponentit	32
5.2.4 Turvalaitteet	33
<b>6 PAKKAUSSOLUN KUSTANNUSARVIO</b>	<b>34</b>

<b>7 SUUNNITTELUSSA KÄYTETYT OHJELMISTOT</b>	<b>35</b>
7.1.1 Solidworks	35
7.1.2 QElectroTech	35
<b>8 YHTEENVETO</b>	<b>36</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>38</b>

## LIITTEET

- Liite 1. Esimerkki pakkaussolun mittakuvista  
 Liite 2. Esimerkki toimeksiantajalle toimitetuista sähkökuvista  
 Liite 3. Antureiden ja toimilaitteiden sijoittuminen pakkaussolussa

## KUVAT

Kuva 1. Turva-aidat robotin ympärillä (OEM 2017a).	10
Kuva 2. Turva-aidan ja valoverhon yhdistelmä (The Fabricator 2017).	10
Kuva 3. Tyypillinen robottijärjestelmä (Suomen robotiikkayhdistys Ry 1999, 13).	13
Kuva 4. Pepper-palvelurobotti (Softbank robotics 2017c).	15
Kuva 5. Nykyinen pakkauspiste linjastossa.	16
Kuva 6. Pakattavat tuotteet (Mauste-Sallinen Oy 2017a).	17
Kuva 7. Nykyisen pakkauspisteen layout.	18
Kuva 8. Ensimmäinen layout-malli.	19
Kuva 9. Uuden pakkaussolun layout.	19
Kuva 10. Ensimmäinen hahmotelma pakkaussolusta.	21
Kuva 11. Ensimmäinen mitoitettu 3D-malli.	21
Kuva 12. Pakkaussolun lopullinen 3D-malli.	22
Kuva 13. Robotti työkalulla.	23
Kuva 14. Antureiden sijoittuminen.	23
Kuva 15. Kohteesta heijastava valokenno (OEM 2017d).	24
Kuva 16. Pakkaussolun toimintakaavio.	26
Kuva 17. Universal Robots:in valmistamia robotteja (Universal Robots 2017b).	27
Kuva 18. UR3-Robotti (Universal Robots 2017b).	28
Kuva 19. Robotin ohjauskaappi sekä opetusyksikkö (Universal Robots 2017b).	29
Kuva 20. Robotic 2-sorminen tarttuja (Robotic 2017d).	29
Kuva 21. Datalogic valokennoanturi (OEM 2017g).	30
Kuva 22. Berstein kapasitiivinen anturi (OEM 2017i).	31
Kuva 23. Hihnakuljettimet.	31
Kuva 24. Festo ADN- tyyppinen sylinteri.	32
Kuva 25. Festo DFM- tyyppinen sylinteri.	33
Kuva 26. Esimerkki käytettävistä ohjausventtiileistä.	33

## KÄYTETYT LYHENTEET

3D	Kolmiulotteinen
Anturi	Tarkoitetaan laitetta jolla saadaan mitattua jotakin muuttujaa, joka välitetään sähköisenä signaalina prosessointia varten. (Ympäristötieteet 2017).
I/O	Input / Output (Techterms 2017).
IEC	International Electrotechnical Commission, eli suomeksi kansainvälinen sähköalan standardisoimisjärjestö (SFS 2017a).
ISO	International Organization for Standardization, eli suomeksi kansainvälinen standardisoimisjärjestö (SFS 2017a).
Standardi	Toistuvaan tapaukseen tarkoitettu ratkaisu, joskus sana standard käännetään sanalla normi. (SFS 2017a).
Tahtiaika	Yhden työkierron suorittamiseen käytetty aika (Suomen Robottiikkayhdistys Ry).
UR	Universal Robots (Universal Robots 2017a).

# 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tavoitteena on suunnitella automaattinen pakkaussolu osaksi tuotantolinjastoa. Pakkaussolussa tullaan hyödyntämään toimeksiantajan jo aikaisemmin hankkimaa UR3-yhteistoimintarobottia. Työtä aloittaessa tuotteet pakattiin käsin. Tämä vei resursseja muulta työltä. Suunnitellun robottiaivusteisen pakkaussolun tehtävänä on korvata tämä käsin tehtävä vaihe linjastossa. Robotti pakkaa muun automaation avustamana tuotteet laatikkoon ja siirtää valmiiksi pakatut tuotteet linjastossa eteenpäin odottamaan operaattorin tarkastusta. Pakkaussolun toimiessa itsenäisesti voi pakkaussolu jatkaa toimintaansa myös taukojen ajan. Näin saadaan optimoitua tuotannon tahtiainaa.

Alkupalaverissa toimeksiantajan kanssa käytiin läpi työn keskeinen sisältö. Opinnäytetyön sovittiin kattavan pakkaussolun 3D-mallintamisen, tarvittavien komponenttien valinnat sekä sähkö- ja pneumatiikkalaitteiden kuvien piirtämisen. 3D-mallia hyödyntäen sovittiin tehtävän myös tarvittavat kokoonpano- ja mittapiirroskuvat yrityksen käyttöön. Yrityksen sovittiin tekevän robotin ohjelmoinnin itse, eikä sitä sisällytetty opinnäytetyön toimeksiantoon. Opinnäytetyön pohjalta yrityksen on tarkoitus valmistaa käyttökelpoinen pakkaussolu osaksi nykyistä tuotantolinjaa.

Opinnäytetyön toimeksiantaja, Mauste-Sallinen Oy (jatkossa Sallinen), on Naantalissa toimiva, 1961 perustettu perheyriutus. Yrityksen liiketoimintana on tuoda maahan, valmistaa ja pakata elintarvikkeita sekä kuluttajakäyttöön että elintarviketeollisuuden tarpeisiin. Kuluttajille tuotteista tutuimpia lienevät Sallisen myymät mausteet, pähkinät ja kuivahelelmät.

Sallisella käytössä on ISO9001-laaturjestelmä sekä ISO 4001 -laatu- ja ympäristöjärjestelmä. Yrityksessä on käytössä edellisten lisäksi FSSC 2200-elintarvikelaaturjestelmä. Yritys toteuttaa myös omavalvontaa (Mauste-Sallinen 2017a). Yritys työllisti 46 henkilöä vuonna 2016. Liikevaihto oli 27,2 miljoonaa euroa, josta voittoa 1,1 miljoonaa euroa. (Kauppalehti 2017.)

Luvussa kaksi käsitellään robotiikkaan ja koneen suunnitteluun standardeja sekä turvallisuusvaatimuksia. Suunniteltava pakkaussolu on automaattisesti toimiva kone. Pakkaussolun osana on yhteistoimintarobotti, joten ajantasaisten määräysten ymmärtäminen ja noudattaminen on tärkeää. Luvussa kartoitetaan yhteistoimintarobottien määräyksien eroavaisuutta verrattuna tavanomaisiin teollisuusrobotteihin

Luku kolme käsittelee teollisuusrobotiikkaa ja robotin standardin mukaista määrittämistä. Luvussa tarkennetaan myös, mitä tarkoitetaan yhteistoimintarobotilla ja miten sen toiminta eroaa tavallisesta teollisuusrobotista. Luvussa neljä käydään läpi lähtökohdat pakkaussolun suunnittelulle sekä toteutukselle ja kerrotaan laitteen suunnitellusta toimintaperiaatteesta. Osiossa käsitellään layout-suunnittelu ja 3D-mallin toteutus lopulliseksi mitoitetuksi versioksi. Yritykselle toimitettiin myös tarvittavat dokumentoinnit, joita käsitellään luvussa 4.4.6.

Viidennessä luvussa käsitellään pakkaussoluun asennettavat komponentit. Robotin, pihvitarttujan, antureiden ja toimilaitteiden osalta kerrotaan niiden valinnasta sekä tarkennetaan teknisesti muun muassa antureiden toimintatapaa. Toimeksiantajan kanssa sovittiin, että valinnoissa huomioidaan vain pääkomponentit, ei esimerkiksi kaapeleita tai painemaliittimiä.

Luvussa kuusi selvitetään pakkaussolun tähänastisen toteutuksen ja tulevien vaiheiden kustannuksia. Pakkaussoluun valitut komponentit on listattu taulukkomuotoon hintoineen ja toimittajineen. Luvussa seitsemän kerrotaan suunnitteluun käytetyistä ohjelmista.



## 2 TURVALLISUUS JA STANDARDIT ROBOTTISOLUN SUUNNITTELUSSA

Opinnäytetyössä suunnitellaan pakkaussolu, joka on automaattisesti toimiva kone. Tämän vuoksi on huomioitava erilaisia koneen rakentamiseen liittyviä normeja eli standardeja (SFS 2017a). Koneturvallisuuden standardit esitellään Suomen Standardisoimisliiton (jatkossa SFS) laatimassa julkaisussa (SFS 2017b). Ao. Standardeja on useita, joten tässä luvussa käsitellään suunnittelun kannalta oleelliset.

Standardilla tarkoitetaan yhteistä menettelytapaa toistuvassa toiminnassa. Standardin luonne on toimia lähinnä suosituksena mutta viranomaiset saattavat vaatia niiden noudattamista. Standardi on standardisoinnista vastaavan viranomaisen, järjestön tai muun tunnustetun elimen hyväksymä kirjallinen julkaisu. Standardit ovat maksullisia. Niistä saatavilla maksuilla katetaan suurin osa SFS:n ja toimialayhteisöjen standardeihin liittyvien töiden kustannuksista. Standardeja on käytössä kymmenillä aloilla, ja ne ovat selättävissä SFS:n kotisivulla. (SFS 2017c.)

Useimmat standardit ovat kansallisten standardisointijärjestöjen muodostaman International Organization for Standardization (jatkossa ISO) laatimia. ISO tekee tiivistä yhteistyötä International Electrotechnical Commission (jatkossa IEC) kanssa. Kansainväliset standardit laaditaan ISO:n ja IEC:n sääntöjä noudattaen.

Suunnitellessa ja valmistaessa koneita on niiden täytettävä eurooppalaiset turvallisuusvaatimukset. Valtioneuvosto on määrittänyt koneiden turvallisuudesta asetuksessa 400/2008, jota kutsutaan myös nimellä koneasetus. Asetus antaa yleiset turvallisuusvaatimukset ja merkinnät koneille (Tukes 2017.). Suunniteltava pakkaussolu ei tule kuluttajakäyttöön mutta turvallisuusmääräyksiä on silti noudatettava.

Pakkaussolun suunnittelussa on huomioitava yleinen koneturvallisuusstandardi- SFS-EN ISO 12100. Standardin ensisijaisena tehtävänä on antaa suunnittelijoille yleiset periaatteet sekä ohjeet koneiden kehittämiseen, jotta voidaan suunnitella koneita, jotka ovat turvallisia niille tarkoitettuun käyttöön. Kansainvälinen standardi toimii perustana kolmelle standardiryhmälle; A-, B- ja C-tyyppin standardit. A-tyyppin standardit ovat turvallisuuden peruststandardeja, joiden tehtävänä on esittää perusteet, suunnitteluperiaatteet ja yleiset näkökulmat, joita pystytään soveltamaan koneisiin. B-tyyppin standardit ovat turvallisuuden ryhmästandardeja. Ne on jaettu kahteen alaryhmään, B1 ja B2. B1-tyyppin

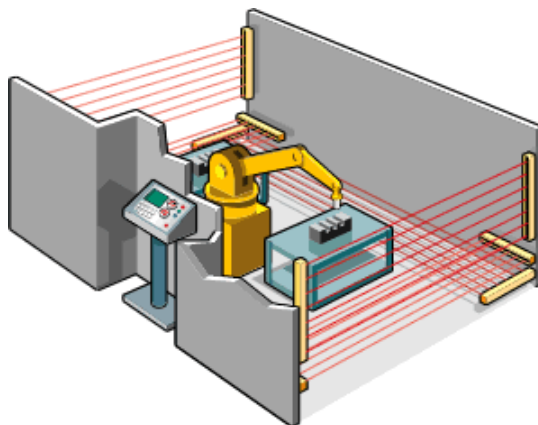
standardi käsittelee yksittäisiä turvallisuusnäkökulmia kuten turvaetäisyyksiä. B2-tyypissä perehdytään suojateknisten laitteiden, kuten koneiden toimintaan vaikuttaviin laitteisiin ja suojauksiin. C-tyyppin standardit ovat yksityiskohtaisia ja tiettyyn koneeseen laadittuja (SFS-EN ISO 12100). Pakkaussolun suunnittelussa hyödynnettiin hätäpysäytystä ja sen suunnitteluperiaatteita ohjaavaa B2-tyyppistä SFS-EN ISO 13850 -standardia (SFS- EN ISO 13850.)

### Yhteistoimintarobottien turvallisuus

Tähän mennessä teollisuusrobotit ovat tarvinneet ympärilleen erilaista suojausta kuten turva-aitoja (kuva 1) ja valoverhoja tai näiden yhdistelmiä (kuva 2). Näillä on turvattu henkilöiden työskentelyä robotin alueella ja pystytty näin estämään mekaaniset iskut sekä robotin suuresta nopeudesta aiheutuvat muut vahingot. Teollisuusrobottien kannalta olennaisia standardeja on uudistettu ja luotu uusi osa-alue, yhteistoimintarobotit.



Kuva 1. Turva-aidat robotin ympärillä (OEM 2017a).



Kuva 2. Turva-aidan ja valoverhon yhdistelmä (The Fabricator 2017).

Uudistetut, 2010 käyttöön otetut EN ISO 10218 -standardin osat 1 ja 2 sekä ISO / TS 15066 määrittelevät yhteistoiminnassa käytettävien robottien turvallisuusvaatimukset. Itse robotin lisäksi yhteistoimintarobotti sisältää toimilaitteen eli esimerkiksi robotin käsi-varteeseen sovitettua työkalua, jonka tarkoituksena on esimerkiksi siirtää kappaleita paikasta toiseen.

Yhteistoimintarobotin ja operaattorin välinen läheinen tai suora yhteys muodostaa määritelmän mahdollisesta törmäysvaarasta. Robottivalmistajan riskiarvioinnin on katettava myös aiottu teollinen työpaikka. Tämän riskiarvioinnin perustana on konedirektiivin lisäksi EN ISO 10218 -standardin osat 1 ja 2.

Yhteistoimintarobottien tultua käyttöön ovat robottien ympärillä olevat suojaukset myös poistuneet. Turvallisen käytön takaamiseksi on siis käytettävä muita teknisiä suojatoimenpiteitä. Toimenpiteiden tarkoituksena on jatkuvasti tunnistaa ja yhteistyössä robotin ohjausjärjestelmän kanssa minimoida mahdollinen törmäysriski. Tästä huolimatta riski on edelleen olemassa. Robotin ja henkilöiden törmäyksestä aiheutuva riski on todettava ja arvioitava. (IFA 2017.)

## 3 TEOLLISUUSROBOTIIKKA

### 3.1 Yleistä robotiikasta

Robotti-sana tuo monelle mieleen esimerkiksi kuluttajille saatavilla olevat robottipölynimurit ja -ruohonleikkurit. Teollisuusympäristössä robotti-sanalla tarkoitetaan hieman toisenlaisia laitteita.

Standardissa 10218-1 määritellään teollisuusrobotti seuraavasti:

*”Teollisuuden automaattisovelluksissa käytettäväksi tarkoitettu automaattisesti ohjattu, uudelleen ohjelmoitavissa oleva monikäyttöinen käsittelylaite, jonka akseleista vähintään kolme on ohjelmoitavissa ja joka voi olla kiinteästi asennettu tai liikkuva”*

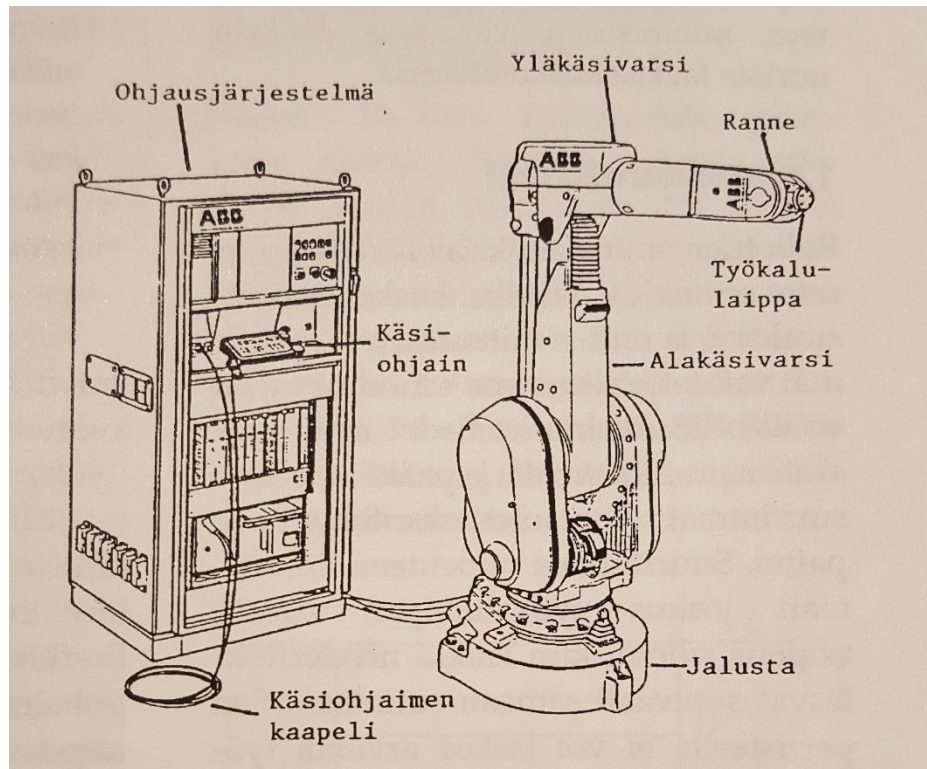
Robotilla ohjelmoidaan liikkeet, joilla liikutellaan esimerkiksi erilaisia kappaleita, työkaluja ja erikoislaitteita haluttujen toimintojen suorittamiseksi. Tällaisia toimintoja voivat teollisuudessa olla esimerkiksi hitsaaminen ja maalaaminen. Yksinkertaisimmillaan teollisuusrobotti on mekaaninen laite, joka siirtää kappaleen paikasta A paikkaan B. Monesti tarvitaan myös muita apulaitteita, kuten antureita, prosessin ohjaamiseen. Robotin toiminta perustuu tällöin antureiden antamaan tietoon sekä ohjelmoituihin liikeratoihin.

Robotin koot voivat vaihdella pienistä mikrometrien liikkeitä tekevistä roboteista jopa kahden tonnin painoisten kappaleiden siirtämiseen tarkoitettuihin hydraulisiin robotteihin. Erilaisia robottityyppejä sekä robotiikkaan liittyvää sanastoa käsitellään kansainvälisessä standardissa ISO 8373 (Suomen robotiikkayhdistys Ry 1999, 12-13.) Kirjoitushetkellä kyseisestä standardista uusin painos on vuodelta 2012 (ISO 8373.)

### 3.2 Robotti osana tuotantoa

Maallikon huomio kiinnittyy monesti vain robotin liikkuvaan käsivarteeseen. Robotin laitteisto kattaa kuitenkin käsivarren lisäksi myös ohjausyksikön, sen sisällä olevan ohjelmiston sekä ohjelmointiin tarkoitettua, yleisesti opetusyksikkönä tunnettavan käsiohjaimen. Robotin käsivarteeseen on lisäksi kiinnitetty tarvittava työkalu sekä robotin ohjauskaappiin tar-

vittavat anturit järjestelmän ohjaamiseen. Robottijärjestelmä on mahdollista liittää ulko-  
puolisiin tietokonejärjestelmiin, joiden avulla voidaan ohjata sen toimintaa. (Suomen ro-  
botiikkayhdistys Ry 1999, 15.) Tyypillinen robottijärjestelmä kuvassa 3.



Kuva 3. Tyypillinen robottijärjestelmä (Suomen robotiikkayhdistys Ry 1999, 13).

### 3.3 Yhteistoimintarobotti

ISO 10218-2 luvussa 5.11 kuvataan yhteistoimintarobotti. Yhteistoiminnalla tarkoitetaan erityistä ihmisen ja robotin välistä toimintaa, jossa robotti jakaa yhteisen työtilan. Yhteistoiminta on käytettävissä vain ennalta määritetyissä tehtävissä, mahdollinen vain, kun kaikki vaadittavat turvallisuustoimenpiteet ovat aktiivisia ja vain roboteille, joiden ominaisuudet ovat erityisesti suunniteltu yhteistoimintaan standardin ISO 12018 -1 mukaisesti.

Yhteistoimintarobotista käytetään usein puhekielessä myös sanaa yhteistyörobotti, jolla tarkoitetaan täysin samaa asiaa. Englannin kielessä vakiintunut termi on Cobot (**Coll**aborative **ro**bot). Sanalla tarkoitetaan ihmisen kanssa saumattomassa yhteistyössä toimivia teollisuusrobotteja. Yhteisen työprosessin on tarkoitus vapauttaa työntekijän resursseja muuhun käyttöön (IFA 2017.) Robotti määritellään teknisesti yhteistoimintarobotiksi, kun ne voivat havaita normaalista poikkeavan toiminnan työskentelyalueellaan.

Havainnointi hoidetaan voima- ja näköanturoinnin avulla. Anturit mahdollistavat ihmisen ja robotin välisen työskentelyn ilman muuten vaadittavaa suoja-aluetta (Robotic 2017a.) Tärkeintä on, että yhteistoimintarobotti vastaa turvallisen yhteistyön neljää kriteeriä; turvallisuusluokiteltua valvottua pysäytystä, käsinohjausta, nopeuden ja erottelun valvontaa sekä tehon ja voiman rajoittamista.

Turvallisuusluokitellulla pysäyttämällä tarkoitetaan robotin pysähtymistä henkilön siirtäessä määritellylle robotin työskentelyalueelle. Pysäytys tehdään usein käyttämällä yhtä tai useampaa anturia ihmisen havaitsemiseen.

Käsinohjaus antaa mahdollisuuden liikuttaa robottia taluttamalla, jota voidaan käyttää robottia ohjelmoitaessa tai siirtäessä käsivarsi toiseen paikkaan. Robotissa on edelleen virta päällä, mutta työntekijän turvallisuus on taattu robotin liikkeiden ollessa hallittuja.

Nopeuden ja erottelun valvonnan tarkoituksena on säätää robotin liikkeitä työskentelyalueella olevan henkilön sijainnin mukaan. Kun henkilö havaitaan työskentelyalueella, robotin nopeutta hidastetaan ennalta asetettuun nopeuteen. Ihmisen siirtyessä lähemmäs robotin työskentelyaluetta, robotin liike pysäytetään kokonaan. Haasteena tällaisessa järjestelmässä on ihmisen ja robotin reaaliaikainen valvonta, mahdollisen törmäyksen välttämiseksi.

Tehon ja voiman rajoitus ovat yhteistyössä toimivien robottien laajimmin käytetty sovellus. Kun kosketus havaitaan, robotti rajoittaa voimaansa, jottei henkilö vahingoittuisi. Tätä toimintoa varten käytetään erilaisia menetelmiä, kuten virran valvontaa, voiman momentin tunnistavia antureita, yhteistyöhön soveltuvia robotin niveliä tai käytetään turvalliseksi muotoiltuja pienitehoisia toimilaitteita (Robotic 2017b.)

Monissa yhteistoimintaroboteissa käytetään akseleissa voimaa tunnistavia antureita. Näiden tehtävänä on pysäyttää liike, kun törmäys havaitaan. Tämän ansiosta yhteistoimintarobottia voidaan käyttää huoletta täydellä nopeudella, olematta huolissaan kineettisen energian aiheuttamasta vaarasta. Markkinoilla on useita malleja yhteistoimintaroboteista, pienistä pöytämallisistä roboteista suuria kuormia siirtäviin robotteihin (Robotic 2017a.)

Yhteistoimintarobotti voi esimerkiksi nostaa ja asettaa raskaan kappaleen valmiiksi henkilön suorittamaa hitsaamista varten. Työtehtävän aikana henkilö työskentelee robotin käsivarren sekä työkalun välittömässä läheisyydessä, jolloin kosketus robotin ja käyttäjän välillä on mahdollinen (IFA 2017.) Teollisuuden käyttämiin yhteistoimintarobotteihin

ovat verrattavissa esimerkiksi liikkuvat palvelurobotit. Näistä esimerkkinä Pepper-robotti (Kuva 4). Pepper on interaktiivinen robottimalli, joita käytetään mm. pankeissa sekä hoivakodeissa vanhusten seurana (Softbank Robotics 2017a.) Yhteistoimintarobotin tavoin Pepper pystyy välttämään törmäystilanteet antureidensa avulla. Robotti sisältää mm. kolmiulotteisen kameranäköjärjestelmän, kaksi ultraäänianturia, kuusi lasertunnistinta, kolme esteen tunnistavaa ilmaisinta. Robottiin on myös asennettu mikrofonit ja kaiuttimet. Näiden antureiden avulla robotin on mahdollista seurata ympäristöään ja kommunikoida ihmisen kanssa vuorovaikutteisesti (Softbank Robotics 2017b.)

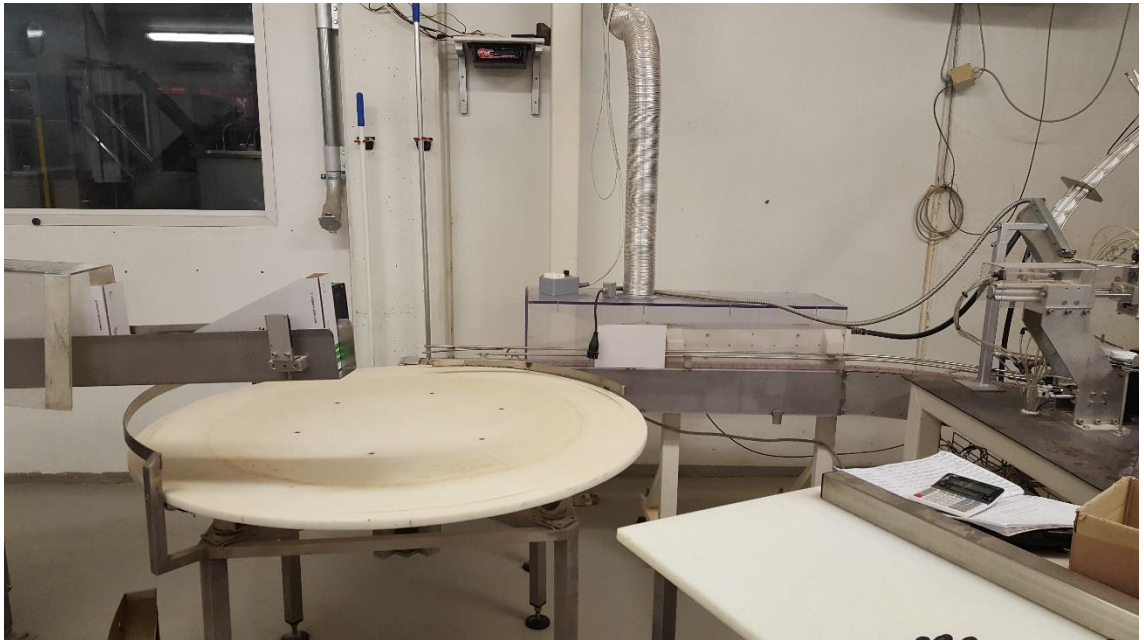


Kuva 4. Pepper-palvelurobotti (Softbank robotics 2017c).

## 4 PAKKAUSSOLU

### 4.1 Lähtökohdat pakkaussolun suunnittelulle

Suunnittelutyötä aloitettaessa maustepurkkien pakkaaminen pahvilaatikoihin toteutetaan käsityönä. Linjaston loppupäässä on hitaasti pyörivä pöytä, johon pakkaamista odottavat maustepurkit kerääntyvät (kuva 5). Työntekijä ottaa pahvilaatikkokoneesta (kuvasssa vasemmalla näkyvä kouru) tyhjän laatikon, johon hän pakkaa neljä kappaletta tarkastettuja maustepurkkeja. Tämän jälkeen hän asettaa kannen laatikon päälle ja siirtää sen linjastossa eteenpäin.



Kuva 5. Nykyinen pakkauspiste linjastossa.



#### 4.2 Pakattava tuote ja vaatimukset suunniteltavalle tarttujatyökälulle

Pakkauspisteessä pakataan erilaisia mausteita. Maustepurkkien painot vaihtelevat 40 g:n ja 900 g:n välillä (Mauste-Sallinen Oy 2017a) (kuva 6). Pakkaussolussa robotti nostaa kaksi maustepurkkia kerrallaan pahvilaatikkoon. Robotin nostokapasiteetti on kolme kg per nosto. Robottiin liitetty tarttuja painaa 900 g, kerrallaan nostettavat maustepurkit 1800 g, joten suunniteltavan työkalun paino voi olla maksimissaan 300 g.



Kuva 6. Pakattavat tuotteet (Mauste-Sallinen Oy 2017a).

#### 4.3 Tavoitteet uuden pakkaussolun toteutukselle

Alkupalaverissa toimeksiantajan kanssa käytiin läpi suunniteltavan pakkaussolun tavoitteita. Robotin optimaalisen sijoittamisen lisäksi suunnittelussa on huomioitava tuotteen paino ja se, nostetaanko robotilla yksi vai kaksi maustepurkkia, jotta päästään tavoiteltuun tahtiin. Nostoa varten on suunniteltava oikeanlainen työkalu robotissa kiinni olevaan tarttujaan. Rungon korkeudeksi sovittiin nykyisen linjaston mukainen 800 mm. Rungon leveyden ja syvyyden maksimimitoiksi asetettiin 2x3 metriä, jolloin tilaa olisi riittävästi tulevan lavausrobotisolun toteuttamiseen. Näiden lisäksi pitää suunnitella pahvilaatikon siirto nykyisestä pahvilaatikon muodostajakoneesta pakkauspisteelle.

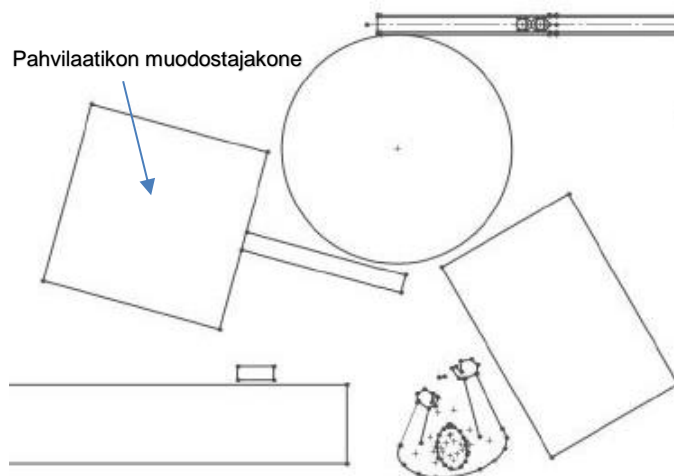
#### 4.4 Uuden pakkaussolun suunnittelu

Pakkaussolun suunnittelussa lähtökohdaksi otettiin helppo liitettävyys olemassa olevaan linjastoon sekä mahdollisimman kompakti koko. Alkuvaiheessa luonnosteltiin erilaisia layout-kuvia, jotta saatiin hahmoteltua nykyisen pahvilaatikon muodostajakoneen sijainti mahdollisimman hyväksi uuden pakkaussolun toiminnan kannalta. Tämän jälkeen pakkaussolusta luonnosteltiin ensimmäinen 3D-malli, jonka tarkoituksena oli toimia referenssinä tulevalle suunnittelulle. Hahmotelman pohjalta lähdettiin työstämään mitoitettua 3D-mallia tarvittavineen komponentteineen. Mallinnuksen aikana suunniteltiin pakkaussolun toimintaperiaatetta ja valittiin tarvittavat anturit sekä toimilaitteet. Lopullisesta mallista toimitettiin yrityksen käyttöön tarvittavat mitta- ja sähkökuvat.

##### 4.4.1 Layout-suunnittelu

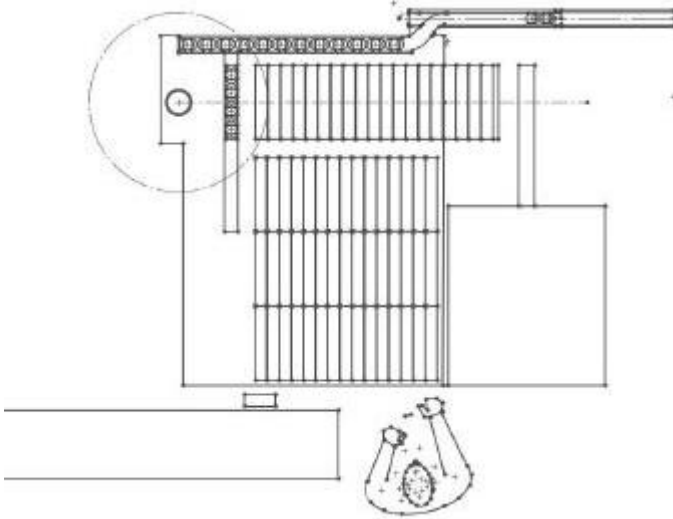
Layoutilla tarkoitetaan sitä, miten tuotannossa eri laitteet, tuotantotila, työpisteet, kulureitit, varastot ja muut tehtaaseen liittyvät toiminnot on sijoitettu. Layoutin tekemiseen kuluu usein aikaa mutta sillä on suuri merkitys tuotannon tehokkuuden ja sujuvuuden kannalta (Logistiikkamaailma 2017.)

Uutta layoutia lähdettiin pohtimaan Sallisen toimittaman nykyisen layout-kuvan pohjalta (kuva 7). Layout-suunnittelussa täytyi huomioida olemassa olevan pakkauslinjaston säilyminen muuttumattomana sekä pahvilaatikon muodostajakoneen sijoittuminen pakkaussolulle määritellyn maksimikoon (2x3 m) ohella.



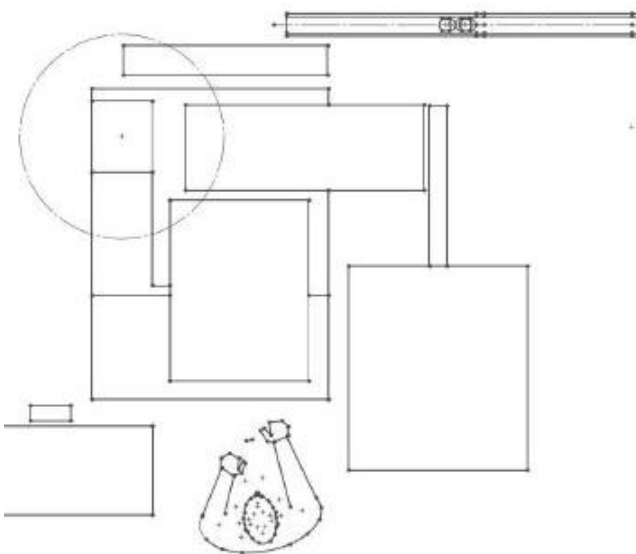
Kuva 7. Nykyisen pakkauspisteen layout.

Uudesta layoutista syntyi alkuun monia eri versioita. Sijoittamalla pahvilaatikon muodostajakone layoutissa eri paikkoihin, saatiin selvitettyä sille paras sijoitus tyhjän pahvilaatikon tuomiseksi pakkauspisteelle. Ensimmäinen luonnos syntyi uudesta layoutista heinäkuun lopulla 2017 (kuva 8).



Kuva 8. Ensimmäinen layout-malli.

Kyseisen luonnoksen pohjalta lähdettiin työstämään havainnollistavaa 3D-mallia Solidworks-ohjelmalla. 3D-mallinnuksen muokkauksena lopulliseen muotoonsa, voitiin myös layout-kuvasta tehdä lopullinen mitoitettu versio toimeksiantajalle toimitettavaksi (Kuva 9).



Kuva 9. Uuden pakkaussolun layout.

#### 4.4.2 Pakkaussolun toimintaperiaatteen suunnittelu

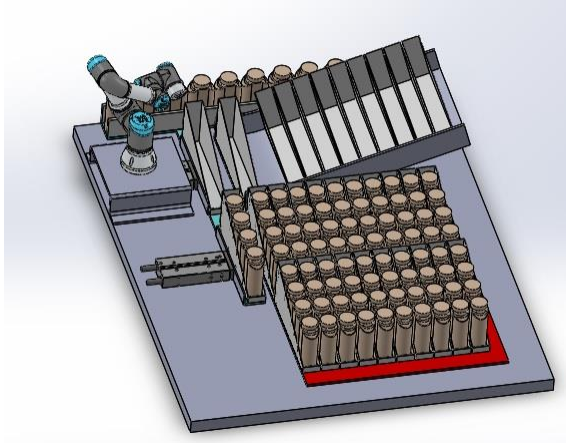
Pakkaussolun toimintaperiaatetta lähdettiin miettimään jo suunnittelun alkuvaiheessa. Toiminnan suunnittelu oli tärkeä pohjustus tulevalle 3D-mallinnukselle, jotta tiedettäisiin pakkaussoluun tulevien toimilaitteiden ja antureiden sijoittuminen. Kun tarvittavat komponentit olivat valittuna, voitiin ne sovittaa ja mitoittaa osaksi pakkaussolua. Toimeksiantajalle toimitettiin alustava toiminnankuvaus sekä 3D-mallin hahmotelma väliraportin yhteydessä. Pakkaussolun toimintaperiaate muokkautui mallinnuksen yhteydessä ja lopullinen versio käsitellään luvussa 4.7.1.

#### 4.4.3 Pakkaussolun 3D-mallinnus

3D-mallinnusta käytetään nykyään niin tuotteiden suunnitteluun kuin esimerkiksi elokuvien ja pelien tekemiseen. Tietokoneessa olevalla suunnitteluohjelmalla luodaan mittatarkka malli, jota voidaan hyödyntää ennen varsinaisen tuotteen valmistamista. Tietokonemallissa on helppo muuttaa haluttuja yksityiskohtia ja muuttaa myös osien mittoja. Nykyään on myös mahdollista tulostaa tuotteista 3D-tulostimen avulla prototyyppejä esim. muovista, jolloin kustannukset pysyvät matalina. Suunnitteluohjelmia on tarjolla monia kuten Autocad, Catia ja Solidworks. Pakkaussolun mallinnus päätettiin toteuttaa Solidworksin avulla, koska ohjelmasta löytyi jo kokemusta ja ohjelman lisenssi oli koulun kautta saatavilla.

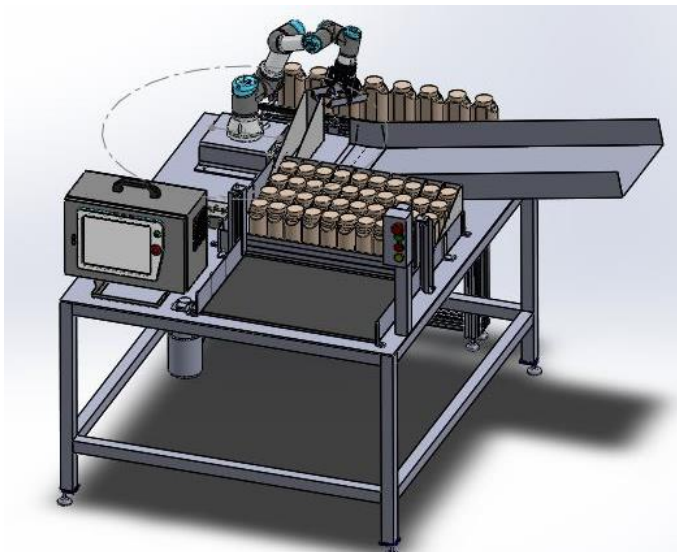
#### **Hahmotelmasta lopulliseksi malliksi**

Mallinnus aloitettiin piirtämällä ensin havainnollistava malli, joka toimi pohjana tulevalle suunnittelulle (kuva 10). Valmistajilta saatiin valmiit 3D-mallit robotista, robotin ohjauskaapista, paineilmasylinteristä ja kuljetinhihnoista. Näiden komponenttien sovittaminen suunniteltavaan pakkaussoluun oli siis helppoa. Sallisen pahvilaatikosta ja maustepurkista piirrettiin mittojen mukaan 3D-mallit pakkaussolun suunnittelun avuksi.



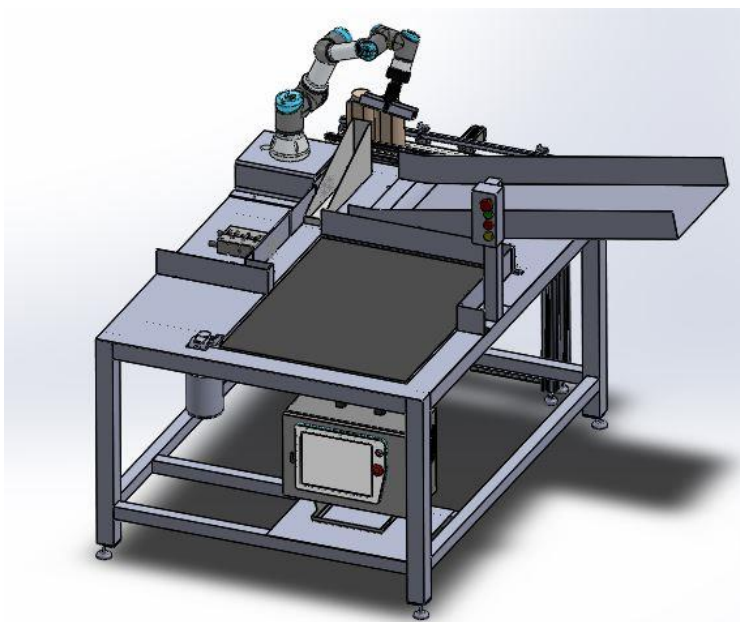
Kuva 10. Ensimmäinen hahmotelma pakkaussolusta.

Mallin pohjalta lähdettiin hahmottelemaan pakkaussolun runkoa. Rungon materiaaliksi suunniteltiin käytettäväksi alumiiniprofiilia. Runkoon tarvittavat komponentit mallinnettiin valittu alumiiniprofiilin koko huomioiden. Rungon perusrakenteen ollessa kasassa, malliin sovitettiin kuljetinhihnojen valmiit 3D-mallit. Suunniteltavaan pöytälevyyn mitoitettiin aukotukset kuljetinhihnan tarvitseman tilan mukaan. Kokoonpanoon mallinnettiin näiden lisäksi laatikoiden siirtämiseen soveltuvat laidat ja niihin sopivat kiinnikkeet, robotille asennusalusta, sylintereihin liitettävät työntölevyt ja pakkaussolun ohjaamiseen tarkoitettu painikekotelo. Painikekotelo sisältää laitteen käynnistämiseen ja pysäyttämiseen tarvittavat painikkeet, hätäpysäytyspainikkeen sekä valmiin laatikkorivin siirtämiseen tarkoitettua kuittauspainikkeen (kuva 11).



Kuva 11. Ensimmäinen mitoitettu 3D-malli.

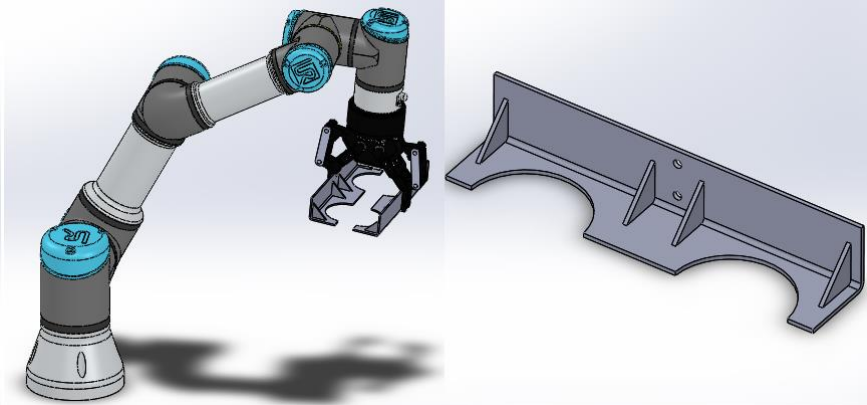
Ensimmäinen mitoitettu 3D-malli esiteltiin toimeksiantajalle loppukesästä 2017. Toimeksiantajan kanssa käytiin läpi mm. laitteen suunniteltua toimintaa sekä toiveita pakkaussolun komponenttien sijoittelun suhteen. Seuraavaksi pakkaussoluun tehtiin tarvittavat muutokset ja mm. pakkaussolun loppupäätä muokattiin siten, että siihen jää mahdollisimman paljon työskentelytilaa. Muokkausten jälkeen myös pakkaussolun ulkomittoja saatiin pienennettyä ja malli viimeistelyä (kuva 12).



Kuva 12. Pakkaussolun lopullinen 3D-malli.

#### 4.4.4 Robottiin liitettävä työkalu

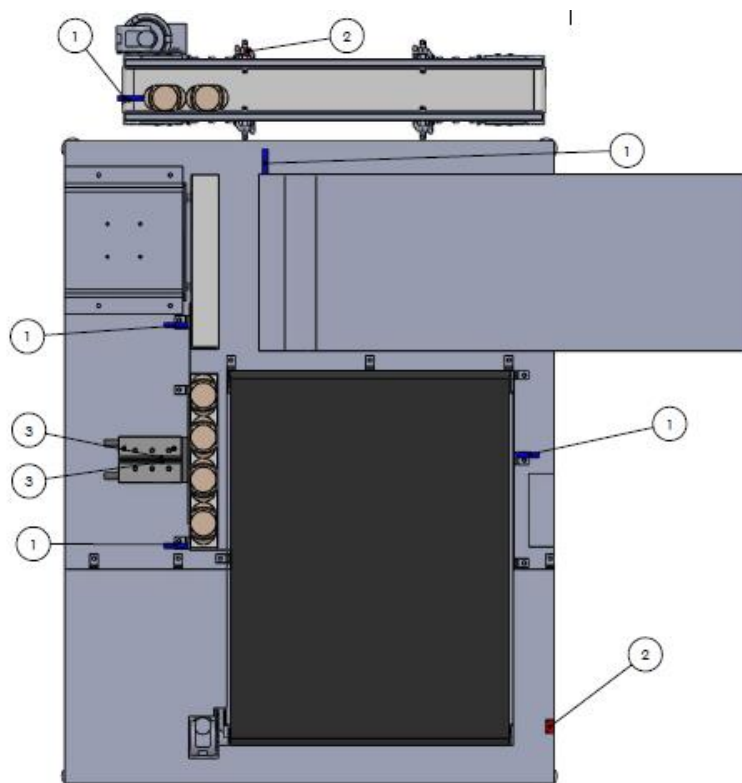
Pakkaussolun ja siihen liittyviin komponenttien lisäksi suunniteltiin robotin pihtitarttujaan soveltuva työkalu maustepurkkien nostamiseksi. Toimintasuunnitelmaa tehdessä päätettiin, että maustepurkkeja nostettaisiin 2 kerrallaan, jotta saadaan pidettyä kiinni tavoitellusta tahtiajasta. Robotin nostokapasiteetin rajoituessa vain 3 kilogrammaan, ei työkalusta tuleva massa saisi olla suuri. Laskennallisesti työkalun ehdoton maksimipaino saa olla 300 g, mutta silloin ollaan jo robotin nostokapasiteetin ääri rajoilla. Työkalusta suunniteltiin yksinkertainen, kahdesta puolikkaasta koostuva kokonaisuus joka liitetään tarttujaan ruuvikiinnityksellä. Tarttuminen tuotteeseen tapahtuu maustepurkin kauluksen alta, jolloin saadaan tukeva ote noston ajaksi (kuva 13).



Kuva 13. Robotti työkalulla.

#### 4.4.5 Antureiden sijoittuminen pakkaussolussa

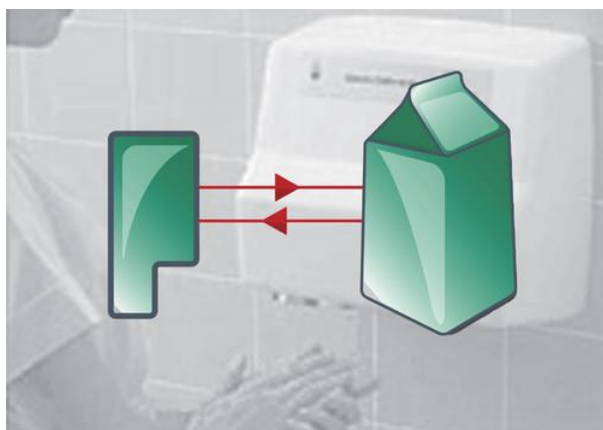
Suunniteltuun pakkaussolun ohjaukseen tarvittiin antureita yhteensä 9 kappaletta. Näistä 5 kapasitiivisia antureita, 2 valokennoantureita ja 2 induktiivisia antureita. Tarkemmin käytetyistä antureista ja toimilaitteista kerrotaan kappaleessa 6: ”Pakkaussolussa käytettävä komponentit”. Antureiden sijoittuminen kuvassa 14.



Kuva 14. Antureiden sijoittuminen.

Numerolla 1 merkityt anturit ovat kapasitiivisia antureita. Anturissa tunnistavana osana on oskilaattoriipiiri. Toiminta perustuu dielektrisyysvakioon, joka on eri materiaaleilla ominainen. Pelkän ilman vakion ollessa 1, anturi on normaali tilassa ja vakion ylittäessä arvon 3, kohde tunnistetaan. Kun kohde tulee anturin tunnistusalueelle, muuttaa se kondensaattorin kapasitanssia ja laukaisee kytkimen ulostulon ja tieto tunnistuksesta välitetään sähköisesti toimilaitteelle. Kapasitiivinen anturi sopii erilaisten nesteiden, jauhojen, pulvereiden ja kiinteiden aineiden, esim. puun tunnistukseen. (OEM 2017b.)

Numerolla 2 merkityt anturit ovat valokennoantureita. Molemmat näistä antureista ovat kohteesta heijastavia jolloin päästään pienemällä kaapeloinnilla. Anturi sisältää lähettimen sekä vastaanottimen. Kohteen tunnistaminen tapahtuu, kun anturista lähtevä valonsäde heijastuu suoraan takaisin (kuva 15). Kohteen väri vaikuttaa suuresti tunnistusetäisyyteen ja vaaleilla kohteilla se on pidempi kuin tummilla. Tunnistusetäisyydet näillä antureilla ovat lyhyet (OEM 2017c.)



Kuva 15. Kohteesta heijastava valokenno (OEM 2017d).

Numerolla 3 merkityt anturit ovat induktiivisia antureita jotka toimitetaan paineilmasylinterin mukana. Näiden tehtävänä on tunnistaa paineilmasylinterin männän asento. Anturin oskilaattoriipiirin elektronit muodostaa tunnistavaan päähän magneettikentän ja kun magneettikentän eteen tulee metallinen esine, indusoituu siihen osa magneettikentästä lisäten näin oskillaattorin kuormaa. Metallisen esineen tunnistuessa ulostulopiiri vaihtaa tilaa ja sähköinen signaali tunnistuksesta saadaan välitettyä toimilaitteelle. Induktiivisia antureita voidaan käyttää vain metallisten esineiden tunnistamiseen (OEM 2017e.)

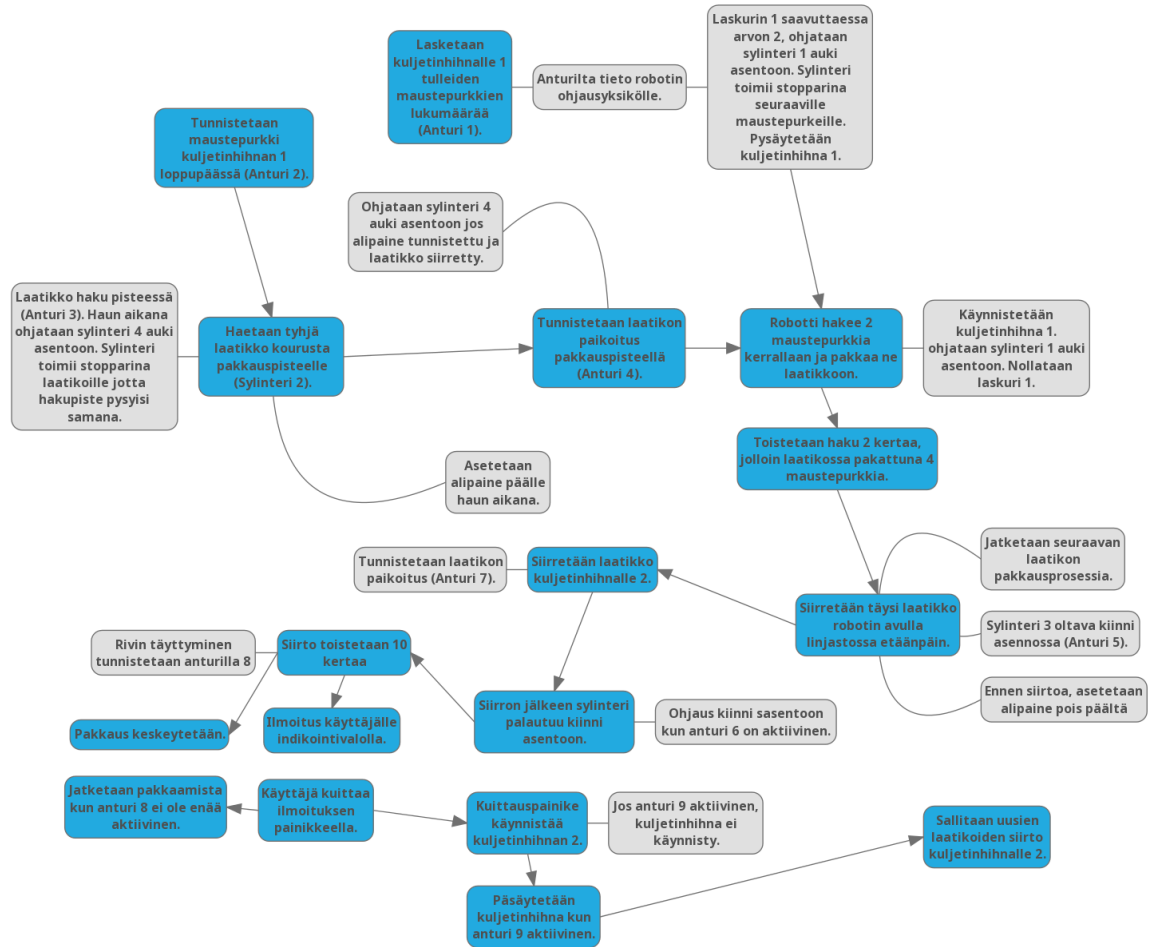


#### 4.4.6 Yritykselle toimitetut dokumentit

Lopullisen 3D-mallin valmistuttua aloitettiin Salliselle toimitettavien mitta- ja sähkökuvien piirtäminen. Solidworksilla mittakuvien toteutus onnistuu suoraan mallinnetuista kappaleista, jolloin erillistä ohjelmaa ei tarvita. Mittakuvat tehtiin standardin mukaiseen A3 kokoiseen pohjaan ja sisälsi kaikki tarvittavat mitoitukset pakkaussolun rakentamiselle. Liitteessä 1 on esimerkki yritykselle toimitetuista mittakuvista. Robotin ohjauskaappiin liitettävistä antureista ja toimilaista piirrettiin tarvittavat sähkö- ja pneumatiikkakytkennät (liite 2). Käytettävät toimilaitteet, kuljettimet, anturit sekä pakkaussolun rungon osat listattiin ja lista toimitettiin yrityksen käyttöön. Käytettävät komponentit hintatietoineen käsitellään kappaleessa 6.

#### 4.4.7 Pakkaussolun toimintakaavio

Pakkaussolun toimintaa ohjataan robotin ohjausyksikön avulla. Ohjausyksikkö lukee antureilta tulevia tietoja ja ohjaa niiden avulla eri toimilaitteita. Nämä toimenpiteet määritellään robotin ohjelmaan, jonka avulla ohjataan koko pakkausprosessia. Pakkaussolun suunniteltu toiminta esitetään kuvassa 16 ja antureiden sekä toimilaitteiden sijoittuminen liitteessä 3.



Kuva 16. Pakkaussolun toimintakaavio.

## 5 PAKKAUSSOLUSSA KÄYTETTÄVÄT KOMPONENTIT

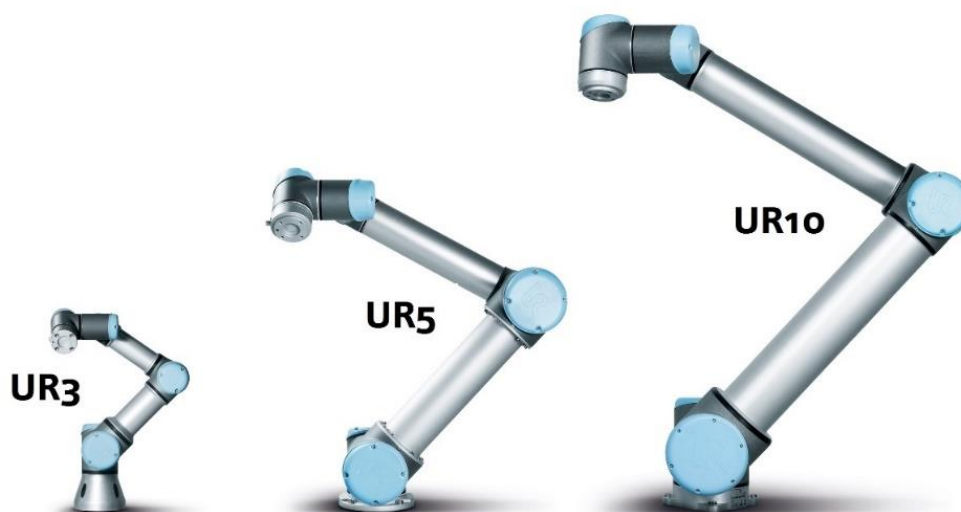
### 5.1 Käytettävä robotti

Pakkaussolussa mausteiden pakkaamiseen käytetään Sallisen jo aikaisemmin hankkima Universal Robots A/S -yrityksen valmistamaa UR3-yhteistoimintarobottia

#### 5.1.1 Universal Robots

Universal Robots A/S on tanskalainen robottivalmistaja, joka on perustettu vuonna 2005. Yrityksen perustamisen lähtökohtana oli tuoda markkinoille käyttäjäystävällinen robottivaihtoehto, joka olisi kevyt rakenteeltaan, helppo asentaa ja ohjelmoida. Yrityksen tavoitteena oli saada robottiteknologiaa laajemmin käyttöön pk-yrityksissä.

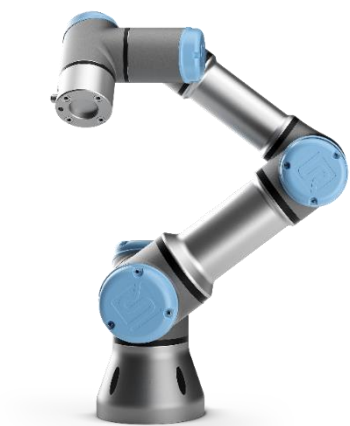
Yritys on tuonut markkinoille syyskuuhun 2017 mennessä yhteensä kolme yhteistoimintarobottimallia; UR3, UR5 ja UR10 (kuva 17). Kirjaimet "UR" mallimerkinnän alussa viittaa valmistajan nimeen ja numero lopussa nostokapasiteettiin kilogrammoissa. Ensimmäinen markkinoille lanseerattu tuote oli UR5, vuonna 2009 (Universal Robots 2017a.) Nykyään yhtiön valmistamien ja asennettujen robottien määrä on noussut yli 10 000 kappaleeseen syyskuuhun 2017 mennessä (Universal Robots 2017c).



Kuva 17. Universal Robots:in valmistamia robotteja (Universal Robots 2017b).

### 5.1.2 UR3-robotti

UR3-robotti on Universal Robots A/S yhtiön vuonna 2015 markkinoille tuoma yhteistointarobotti (kuva 18). Robotin nostokapasiteetti on nimensä mukaisesti 3 kilogrammaa ja sen maksimi työskentelysäde 500 millimetriä. Se on tarkoitettu pieniin asennustehtäviin sekä automatisoituihin työpöytätehtäviin (Universal Robots 2017a.) Robotti on 6-akselinen, tyypillisen liikkumisnopeus on 1 m/s ja toistotarkkuus  $\pm 0,1$  millimetriä. Robotin paino kaapeleineen on vain 11 kilogrammaa. Sähkönkulutus robotille on keskimäärin 125W. (Universal Robots 2017d.)



Kuva 18. UR3-Robotti (Universal Robots 2017b).

Robotin toimilaitteisiin kuuluvat myös ohjaukskaappi sekä opetusyksikkö (kuva 19), jota käytetään robotin ohjaamiseen ja ohjelmointiin. Opetusyksikkö on liitetty ohjaukskaappiin ja sitä voidaan säilyttää kaapissa vakiona olevassa telineessä. Kaapissa on valmiina I/O liitäntöjä perustarpeisiin ja se sisältää 16 digitaalista tuloa sekä 16 digitaalista lähtöä. Näiden lisäksi ohjaukskaapissa on 2 analogista sisääntuloa ja 2 analogista ulostuloa. Vakiona löytyvät myös liitännät ulkopuoliselle hätäseis-piirille sekä stop-komennolle, jota voidaan hyödyntää lisäturvallitteiden liittämiseksi järjestelmään (Universal Robots 2017e.)



Kuva 19. Robotin ohjauskaappi sekä opetusyksikkö (Universal Robots 2017b).

## 5.2 Robottiin liitettävät toimilaitteet

Robotin ohjausyksikköön liitetään kaikki pakkaussolun toimilaitteet. Tällaisia toimilaitteita ovat robotin tarttuja, paineilmasylinterit ja niiden ohjausventtiilit, kuljetinhihnat, anturit sekä ohjaukseen käytettävä painikekotelo.

### 5.2.1 Tarttuja

Robotissa käytetään Sallisen jo aikaisemmin hankkimaa Kanadalaisen Roboticin valmistajaa tarttujaa (Robotic 2017c), malliltaan 2-FINGER85 (Kuva 20). Tarttuja on 2-sorminen ja sen tartuntaetäisyys voidaan ohjelmallisesti säätää 0 – 85 mm välillä. Lisäksi tarttujan puristusvoima on mahdollista säätää 20 – 235N välille. Tarttujalla voidaan ottaa kiinni erimuotoisista kappaleista (Robotic 2017d.)



Kuva 20. Robotic 2-sorminen tarttuja (Robotic 2017d).

### 5.2.2 Sähköiset komponentit

Pakkaussoluun asennetaan yhteensä 9 anturia ohjaamaan robotin ja toimilaitteiden toimintaa. Toimilaitteita ovat; 4 kappaletta paineilmasylintereitä, joita ohjataan sähkökäyttöisen venttiilin avulla sekä kuljetinhihnat 1 ja 2. Antureista 2 ovat valokennoantureita, 5 kapasitiivisia antureita ja 2 induktiivisia antureita, jotka ovat tarkoitettu sylinterin 3 ohjaamiseen. Pakkaussolun ohjaamista varten lisätään myös painikekotelo joka sisältää painikkeet käynnistämiseksi, pysäyttämiseksi, laatikkorivin kuittaamiseksi sekä hätäseis toiminnolle.

#### **Käytettävät valokennoanturit**

Antureiksi 1 ja 9 valittiin kohteesta heijastavat, taustahäivytetyt Datalogicin valmistama valokennoanturi (kuva 21). Anturin tunnistusetäisyys on 50-250mm, ja valolähteenä toimii punainen LED. Liitäntä anturissa on 4 pinninen M8 liitin, jolloin rikkinäisen anturin vaihtaminen kiinteään kaapeliin nähden on helpompaa (OEM 2017f.)



Kuva 21. Datalogic valokennoanturi (OEM 2017g).

#### **Käytettävät kapasitiiviset anturit**

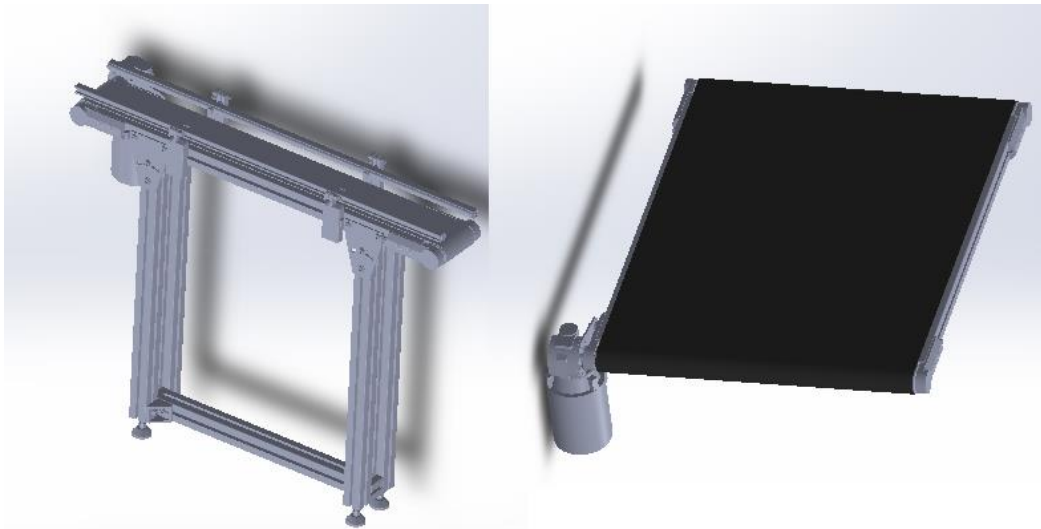
Antureina 2, 3, 4, 7 ja 9 toimivat kapasitiiviset anturit jolloin pahvilaatikoiden ja maustepurkkien tunnistaminen on mahdollista. Antureiksi valittiin OEM-toimittajan valikoimasta, Bersteinin valmistama anturi (kuva 22). Anturissa oleva kierre on M12x1, jolloin säätäminen on helpompaa. Tunnistus etäisyys on säädettävissä 0-4mm välillä. Sähköliitintänä käytetään valokennoantureiden tapaan 4 pinnistä M8 liitintä (OEM 2017h.)



Kuva 22. Berstein kapasitiivinen anturi (OEM 2017i).

### **Pakkaussoluun valitut kuljetinhihnat**

Sopivia kuljetinhihnoja kyseltiin eri valmistajilta. Lopulta päädyttiin Movetecin toimittamiin kuljettimiin. Suunnitellessa kuljetinhihnoja mietittiin niiden sijoittumista pakkaussolussa. Kuljetinhihna 1 liitettäisiin joko suoraan pakkaussolun runkoon tai käytettäisiin vaihtoehtoisesti erillistä kuljetinhihna pöytää. Kuljetin 2 integroitaisiin suoraan suunniteltavaan pakkaussoluun. Kuljetinhihna 1 osalta valinta päättyi erilliseen kuljetinhihnaan, jonka korkeus on 800 mm, pituus 1000 mm ja leveys 135 mm. Leveys on säädettävissä tuotteelle sopivaksi. Kuljettimen 2 mitat ovat pituus 900 mm ja leveys 686 mm. Toimittajalta saatiin kuljettimista valmiit 3D-mallit (kuva 23).



Kuva 23. Hihnakuuljettimet.

### 5.2.3 Pneumaattiset komponentit

Pneumaattisten toimilaitteiden osalta päädyttiin Feston valmistamiin tuotteisiin. Yrityksen sivuilta löytyvät tarvittavat työkalut oikeanlaisen sylinterien ja muiden komponenttien mitoitukseen. Suunnitellussa pakkaussolussa tullaan käyttämään neljää paineilmasylintereitä ja näiden ohjaamiseen 5/2 sähköohjattuja venttiileitä.

#### **Käytettävät sylinterit**

Kaikissa käytettävissä sylintereissä männänhalkaisijaksi valikoitui 32 mm, joka on riittävä myös kuorman ollessa suurempi. Pakkaussolun ensimmäinen sylinteri toimii kuljetinhihnassa stopparina robotin nostaessa maustepurkkeja pakattavaksi. Stopparilla estetään seuraavan purkin takertuminen nostoa tehdessä.

Toisessa sylinterissä on kiinni asennuslevy, johon on asennettu alipainetarttijat. Tämän sylinterin tehtävänä on hakea tyhjä laatikko pakkauspisteelle. Kolmannen sylinterin tehtävänä on siirtää valmiiksi pakattu laatikko toiselle kuljettimelle. Neljäs sylinteri toimii stopparina haettaville, tyhjille laatikoille, jolloin hakupiste pysyy vakiona.

Sylintereiksi 1 ja 3 valittiin Feston ADN-mallistosta sopivat sylinterit kompaktin kokonsa vuoksi. Tarvittavat liikeradat ovat lyhyitä ja sylintereihin ei tule kohdistumaan suuria voimia (kuva 24)



Kuva 24. Festo ADN- tyyppinen sylinteri.

Sylintereiksi 2 ja 4 valittiin Feston DFM-mallistosta sopivat sylinterit. Sylintereissä on vakiona ohjaustangot, jolloin kuorma jakautuu tasaisemmin siirron aikana. Sylintereiden mukana toimitetaan myös anturit, joista saadaan sähköinen tieto sylinterin asennosta (kuva 25).





Kuva 25. Festo DFM- tyyppinen sylinteri.

### Käytettävät ohjausventtiilit

Paineilmasyylinterien ohjaamiseen käytetään Feston valmistamia 5/2 suuntaventtiileitä (kuva 26). Ensimmäisellä numerolla merkitään virtausteiden lukumäärä, joka tässä tapauksessa on 5 kappaletta. Viimeisellä numerolla merkitään mahdollisten asentojen lukumäärä, joka tässä tapauksessa on 2 (Pneumatiikan piirrosmerkit 2017).



Kuva 26. Esimerkki käytettävistä ohjausventtiileistä.

#### 5.2.4 Turvalaitteet

Yhteistoimintarobotit on suunniteltu toimimaan ihmisten kanssa. Törmäys tunnistetaan akseleissa normaalista poikkeavan momentin avulla, jonka vaikutuksesta robotti pysäytetään. Tällaisen robotin muut turvalaitteet ovat harkinnanvaraisia, riippuen suoritettavasta työtehtävästä. Pakollisena turvalaitteena pakkaussoluun lisättiin ulkopuolinen hätäseispainike, jolloin käyttäjä voi pysäyttää laitteen havaitessaan vaaratilanteen. Hätäpysäytyspainike sijaitsee painikekotelossa, joka on koneenkäyttäjän ulottuvilla. Robottiin ei suunniteltu liitettäväksi muita turvalaitteita, mutta pakkaussolun käyttöönoton ja testauksien yhteydessä niiden lisääminen on mahdollista.

## 6 PAKKAUSSOLUN KUSTANNUSARVIO

Valmiin pakkaussolun hinta muodostuu seuraavasti:

- Pöydänrunгон ja pöytälevyn materiaalit
- Robotin ja tarttujan hankintahinta
- Pakkaussoluun liitettävät komponentit
- Suunnittelu
- Rakentamiseen käytetyt työtunnit
- Ohjelmointi ja käyttöönotto

Kustannusarvioin osalta huomioidaan vain pöydän runko, siihen liitettävät toimilaitteet, anturit, paineilmalaitteet ja kuljetinhihnat. Sallinen oli jo aikaisemmin hankkinut pakkaussolussa käytettävän UR3-yhteistoimintarobotin ja pihtitarttujan, joten niiden kustannuksia ei voida huomioida. Kustannuksia tulee myöhemmässä vaiheessa pakkaussolun rakentamisesta, testaamisesta, robotin ohjelmoinnista sekä pakkaussolun käyttöönotosta. Pakkaussolun suunnitteluun on käytetty tähän mennessä 131 tuntia, joka koostuu tiedonhausta, suunnittelusta, mallintamisesta sekä tapaamisista.

Osan nimi	Valmistajan tunnus	Valmistaja	Määrä	Hinta a
Pöydän runko		Movetec	1	1050 €
Sylinteri	DFM-32-160-P-A-KF	Festo	1	610,35 €
Kuristin	GRLA-1/8-QS-8-D	Festo	2	11,17 €
5/2 venttiili	VUVG-L14-B52-ZT-G18-1P3	Festo	2	87,50 €
Sylinteri	DFM-32-200-P-A-KF	Festo	1	610,35 €
Sylinteri	ADN-12-30-I-P-A	Festo	1	36,26 €
Kuristin	GRLA-M5-QS-4-D	Festo	2	11,17 €
5/2 venttiili	VUVG-L10-B52-RT-M5-1P3	Festo	1	57,68 €
Sylinteri	ADN-32-80-I-P-A	Festo	1	65,90 €
Kuristin	GRLA-1/8-QS-8-D	Festo	2	11,17 €
5/2 venttiili	VUVG-L14-B52-ZT-G18-1P3	Festo	1	87,50 €
Kapasitiivinen kytkin	650.7919.004	Bernstein	5	235,12 €
Valokenno	S3Z	Datalogic	2	86,50 €
Kuljetin 1	Hihnakuuljetin 45 P1000 L135 K800	Movetec	1	1250 €
Kuljetin 2	Hihnakuuljetin 45 P900 L686	Movetec	1	1100 €
<b>Yhteensä</b>				<b>6458,66€</b>

## 7 SUUNNITTELUSSA KÄYTETYT OHJELMISTOT

### 7.1.1 Solidworks

Pakkaussolun mekaanisessa suunnittelussa käytetään Dassault system:in 3D-suunnitteluohjelmistoa (Solidworks 2017a). Käytössä oli ohjelmiston opiskelijaversio, joka tarjosi tarvittavat toiminnot pakkaussolun suunnitteluun. 3D-mallin lisäksi ohjelman avulla toteutettiin myös mittapiirroskuvat.

### 7.1.2 QElectroTech

Sähkö- sekä pneumatiikkakuvien piirtämiseen käytettiin QElectroTech suunnitteluohjelmaa. Ohjelma sisältää valmiit standardin mukaiset piirros pohjat sekä yleisimmät sähkökomponenttien, logiikkaohjauksien, pneumatiikan ja hydraulikan piirrosmerkit. (QElectroTech 2017)

## 8 YHTEENVETO

Tieto Mauste-Sallisen tarjoamasta opinnäytetyön toimeksiannosta tuli keväällä 2017. Sallisella oli tarjota kaksi eri aihetta, joissa käytettäisiin yrityksen jo aikaisemmin hankkimia yhteistyörobotteja. Mielenkiinto pakkaussolun rakentamiseen lähti halusta hyödyntää koulussa opiskeltuja asioita ja saada työn tuloksena aikaiseksi jotain konkreettista.

Kilpailu eri teollisuuden aloilla on kovaa ja monella yrityksellä on tarve tehostaa tuotantoon, jotta kilpailukyky säilyisi. Tämä tarve on myös Sallisella ja tuotannon automatisoinnilla voidaan parantaa kannattavuutta sekä saada tahtiaikaa pienennettyä. Monesti on mielikuva, että robotti vie ihmisen työt, mutta robottivasteisen pakkaussolun tarkoituksena ei ole viedä työpaikkoja vaan saada resursseja muihin tehtäviin.

Työn toteuttamiselle yrityksellä ei ollut tarkkoja vaatimuksia. Aikaisemmin hankitun UR3-yhteistyörobotin ympärille piti suunnitella pakkauspöytä, jonka tehtävänä on pakata maustepurkkeja 4 kappaletta pahvilaatikkoon ja täysi laatikko siirrettävä linjastossa eteenpäin. Antureiden ja toimilaitteiden toimittajasta yritys teki ehdotuksia mutta antoi niiden valinnassa vapaat kädet. Pakkaussolun rungon osalta ei myöskään asetettu vaatimuksia materiaalin tai toimittajan suhteen.

Alustava palaveri työn sisällöstä käytiin toukokuussa ja varsinainen aloituspalaveri heinäkuun alussa. Tällöin aloitettiin pakkaussolun 3D-mallintaminen sekä toiminnan suunnittelu. Ennen aloituspalaveria ja mallintamisen aloittamista ideoita pakkaussolun toteutukselle haettiin jo olemassa olevista sovelluksista.

Toimeksiantajan kanssa sovittiin työn sisältävän 3D-mallintamisen, komponenttien valinnat sekä toimintakuvauksen laatimisen. Pakkaussolusta toimitettiin toimeksiantajalle mittapiirroskuvat, joissa esitetään myös komponenttien sijoittelut. Mittakuvien lisäksi yrityksen käyttöön toimitettiin tarvittavat sähkökuvat toimilaitteiden ja anturien kytkemiseksi robotin ohjauskaappiin. Alkuperäisessä suunnitelmassa mietittiin myös mahdollista robotin ohjelmointia joka sisältyisi opinnäytetyön toimeksiantoon. Ohjelmointi sovittiin yrityksen tehtäväksi, koska varsinaista pakkaussola ei ole vielä rakennettu.

Työn tekeminen vaati alkuun paljon tiedonhakua olemassa olevista teollisuuden pakkausratkaisuksista. Idean hahmotuttua toteutettiin ensimmäinen 3D-malli joka toimi pohjana tulevalle suunnittelulle. Hahmotelmaa suunniteltaessa mietittiin myös pakkaussolun

tulevaa toimintaa, antureiden sijoittelua ja minkälaisia toimilaitteita pakkaussolun toteuttamiseen tulisi käyttää. Hahmotelma sekä alustava toiminnan kuvaus toimitettiin toimeksiantajalle väliraportin yhteydessä.

Toimeksiantajan kommentoitua suunnitelmaa aloitettiin mitoitettun pakkaussolun rungon mallintaminen. Mallinnuksen aikana päätettiin myös tehdä pakkaussolusta mahdollisimman kompakti, joka tuotti huomattavasti ajateltua enemmän lisätyötä koska jokainen osa oli mitoitettava uusiksi.

Opinnäytetyön tekeminen oli mielenkiintoinen projekti, joka avasi näkökulmia tulevaisuuden varalle suunnitellessa ja mallintaessa laitteita. Työssä pystyttiin hyödyntämään koulussa ja työkokemuksen kautta kartutettuja taitoja. Sähkösuunnittelun ja antureiden valinnan suhteen auttoi yli 10 vuoden työkokemus automaatioalalta, joten komponentit olivat pääpiirteittäin jo ennestään tuttuja. Työ täytti toimeksiannossa asetetut tavoitteet ja lopputuloksena syntyi käyttökelpoinen suunnitelma mittapiirros- ja kytkentäkuvineen pakkaussolun toteutukseen. Suunnitelma toimii hyvänä pohjana Sallisen rakentaessa uutta pakkaussolua osaksi tuotantolinjaansa.

## LÄHTEET

Kauppalehti 2017. Viitattu 12.11.2017 <https://www.kauppalehti.fi/yritykset/yritys/maustesallinen+oy/05152249>

IFA 2017. Viitattu 14.10.2017 <http://www.dguv.de/ifa/fachinfos/kollaborierende-roboter/index-2.jsp>

ISO 8373. 2012. Viitattu 14.10.2017. Robots and robotic devices

Logistiikkamaailma 2017. Viitattu 8.10.2017 <http://www.logistiikanmaailma.fi/logistiikka/tuotanto/tuotannon-layout/>

Mauste-Sallinen Oy 2017a. Viitattu 5.7.2017 <http://www.mauste-sallinen.fi/yritys>

Mauste-Sallinen Oy 2017b. Viitattu 18.8.2017 <http://www.mauste-sallinen.fi/tuotteet-4/mausteet>

OEM 2017a. Viitattu 15.10.2017 [http://media.oem.se/aut/oem\\_aut/oem\\_aut\\_fi/news/suppliers/arion\\_turva\\_aidat.jpg](http://media.oem.se/aut/oem_aut/oem_aut_fi/news/suppliers/arion_turva_aidat.jpg)

OEM 2017b. Viitattu 7.11.2017 [http://www.oem.fi/Tuotteet/Anturi/Kapasitiiviset\\_lahestymiskytkimet/kapasitiivinen\\_kytkin\\_tekniset\\_tiedot/825516-306030.html](http://www.oem.fi/Tuotteet/Anturi/Kapasitiiviset_lahestymiskytkimet/kapasitiivinen_kytkin_tekniset_tiedot/825516-306030.html)

OEM 2017c. Viitattu 21.10.2017 [http://www.oem.fi/Tuotteet/Anturi/Valokennot/Yleista/Yleista\\_Datalogic\\_valokennoista/825924-525923.html](http://www.oem.fi/Tuotteet/Anturi/Valokennot/Yleista/Yleista_Datalogic_valokennoista/825924-525923.html)

OEM 2017d. Viitattu 7.11.2017 [http://www.oem.fi/Tuotteet/Anturi/Induktiiviset\\_lahestymiskytkimet/Yleista/Induktiivisten\\_kytkimien\\_tekniset\\_tiedot/825472-305766.html](http://www.oem.fi/Tuotteet/Anturi/Induktiiviset_lahestymiskytkimet/Yleista/Induktiivisten_kytkimien_tekniset_tiedot/825472-305766.html)

OEM 2017e. Viitattu 21.10.2017 <http://media.oem.se/Archive/ProductImages/images/smallimg/69337.jpg>

OEM 2017f. Viitattu 22.10.2017 [http://www.oem.fi/Tuotteet/Anturi/Valokennot/Valokennot/S3Z\\_valokenno/825945-465877.html?searchText=S3Z](http://www.oem.fi/Tuotteet/Anturi/Valokennot/Valokennot/S3Z_valokenno/825945-465877.html?searchText=S3Z)

OEM 2017g. Viitattu 22.10.2017 <http://media.oem.se/Archive/ProductImages/images/smallimg/92573.jpg>

OEM 2017h. Viitattu 22.10.2017 [http://www.oem.fi/Tuotteet/Anturi/Kapasitiiviset\\_lahestymiskytkimet/kapasitiivinen\\_kytkin\\_M12\\_-\\_34/825516-306039.html](http://www.oem.fi/Tuotteet/Anturi/Kapasitiiviset_lahestymiskytkimet/kapasitiivinen_kytkin_M12_-_34/825516-306039.html)

OEM 2017i. Viitattu 22.10.2017 <http://media.oem.se/Archive/ProductImages/images/smallimg/89725.jpg>

Pneumatiikan piirrosmerkit 2017. Viitattu 1.10.2017 [http://www.oamk.fi/~hannul/tekn\\_dok/Luennot/12-Piirrosmerkkeja.pdf](http://www.oamk.fi/~hannul/tekn_dok/Luennot/12-Piirrosmerkkeja.pdf)

SFS 2017a. Viitattu 7.10.2017 [https://www.sfs.fi/standardien\\_laadinta/mita\\_standardisointi\\_on/lyhenteet#Standardisointiinliittyvitermejjalyhenteit](https://www.sfs.fi/standardien_laadinta/mita_standardisointi_on/lyhenteet#Standardisointiinliittyvitermejjalyhenteit)

SFS 2017b. Viitattu 7.10.2017 [https://www.sfs.fi/files/1478/koneturvallisuusstandardit2017\\_web.pdf](https://www.sfs.fi/files/1478/koneturvallisuusstandardit2017_web.pdf)

SFS 2017c. Viitattu 8.10.2017 [https://www.sfs.fi/usein\\_kysyttya](https://www.sfs.fi/usein_kysyttya)

SFS EN ISO 12100. 2010. Viitattu 7.10.2017. Koneturvallisuus. Yleiset suunnitteluperiaatteet, riskin arviointi ja riskin pienentäminen

SFS EN ISO 10218-1. 2011. Viitattu 7.10.2017. Robotit ja robotiikkalaitteet. Turvallisuusvaatimukset. Osa 1: Teollisuusrobotit

SFS EN ISO 10218-2. 2011. Viitattu 7.10.2017. Robotit ja robotiikkalaitteet. Turvallisuusvaatimukset. Osa 2: Robottijärjestelmät ja niiden yhdistelmät

SFS EN ISO 13850. 2015. Viitattu 7.10.2017. Koneturvallisuus. Häätäpysäytys. Suunnitteluperiaatteet

Softbank robotics 2017a. Viitattu 14.10.2017 <https://www.ald.softbankrobotics.com/en/robots/pepper>

Softbank Robotics. Viitattu 13.11.2017 <https://www.ald.softbankrobotics.com/en/robots/pepper/find-out-more-about-pepper>

Softbank robotics 2017c. Viitattu 14.10.2017 <https://www.ald.softbankrobotics.com/sites/aldebaran/files/images/pepper-b2b-2.png>

Solidworks 2017a. Viitattu 30.9.2017 [http://www.solidworks.com/sw/183\\_ENU\\_HTML.htm](http://www.solidworks.com/sw/183_ENU_HTML.htm)

Solidworks 2017b. Viitattu 30.9.2017 <http://www.solidworks.com/sw/images/interface/newredtranslogo.png>

Suomen Robotiikkayhdistys Ry. 1999. Robotiikka. Helsinki: Tallentum

Universal Robots 2017a. Viitattu 15.7.2017 <https://www.universal-robots.com/about-universal-robots/our-history/>

Universal Robots 2017b. Viitattu 15.7.2017 <https://www.universal-robots.com/media/downloads/>

Universal Robots 2017c. Viitattu 15.7.2017 <https://www.universal-robots.com/about-universal-robots/news-centre/universal-robots-keeps-delivering-high-double-digit-growth/>

Universal Robots 2017c. Viitattu 18.8.2017 [https://www.universal-robots.com/media/1514546/101081\\_199901\\_ur3\\_technical\\_details\\_web\\_a4\\_art03\\_rls\\_eng.pdf](https://www.universal-robots.com/media/1514546/101081_199901_ur3_technical_details_web_a4_art03_rls_eng.pdf)

Universal Robots 2017d. Viitattu 30.9.2017 [https://www.universal-robots.com/media/1514546/101081\\_199901\\_ur3\\_technical\\_details\\_web\\_a4\\_art03\\_rls\\_eng.pdf](https://www.universal-robots.com/media/1514546/101081_199901_ur3_technical_details_web_a4_art03_rls_eng.pdf)

Universal Robots 2017e. Viitattu 30.9.2017 [https://www.universal-robots.com/media/207442/ur3\\_user\\_manual\\_en\\_global.pdf](https://www.universal-robots.com/media/207442/ur3_user_manual_en_global.pdf)

Robotic 2017a. Viitattu 15.10.2017 <https://blog.robotiq.com/what-is-a-cobot>

Robotic 2017b. Viitattu 12.11.2017. <https://blog.robotiq.com/bid/66790/Safety-Standards-for-Collaborative-Robots>

Robotic 2017c. Viitattu 18.8.2017 <https://robotiq.com/press-kit-robotiq.pdf>

Robotic 2017d. Viitattu 18.8.2017 <http://support.robotiq.com/pages/viewpage.action?pageId=5963876&preview=/5963876/10849906/Robotiq-2-Finger-Adaptive-Gripper-Specifications-EN-May26-2017.pdf>

Techterms 2017. Viitattu 7.10.2017 <https://techterms.com/definition/io>

The Fabricator 2017. Viitattu 15.10.2017 <http://image.thefabricator.com/a/articles/photos/946/lead.gif>

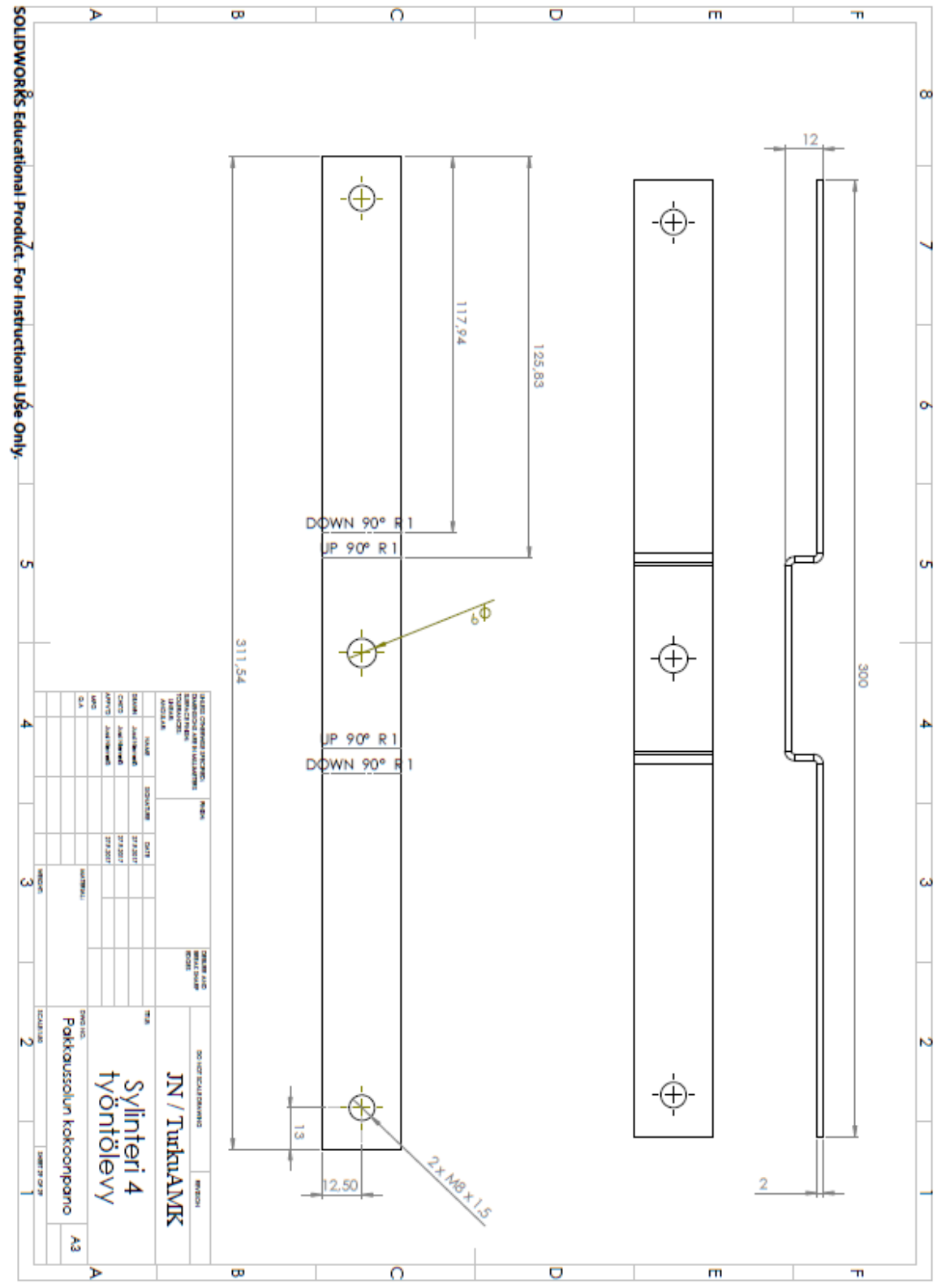
Tukes 2017. Viitattu 15.11.2017 [http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Kuluttajaturvallisuus/Kulutustavarat/Tavaroiden-turvallisuusvaatimuksia/Kuluttajakayttoiset\\_koneet/](http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Kuluttajaturvallisuus/Kulutustavarat/Tavaroiden-turvallisuusvaatimuksia/Kuluttajakayttoiset_koneet/)

Ympäristötieteet 2017. Viitattu 8.10.2017 <http://tieteentermi-pankki.fi/wiki/Ymp%C3%A4rist%C3%B6tieteet:anturi>

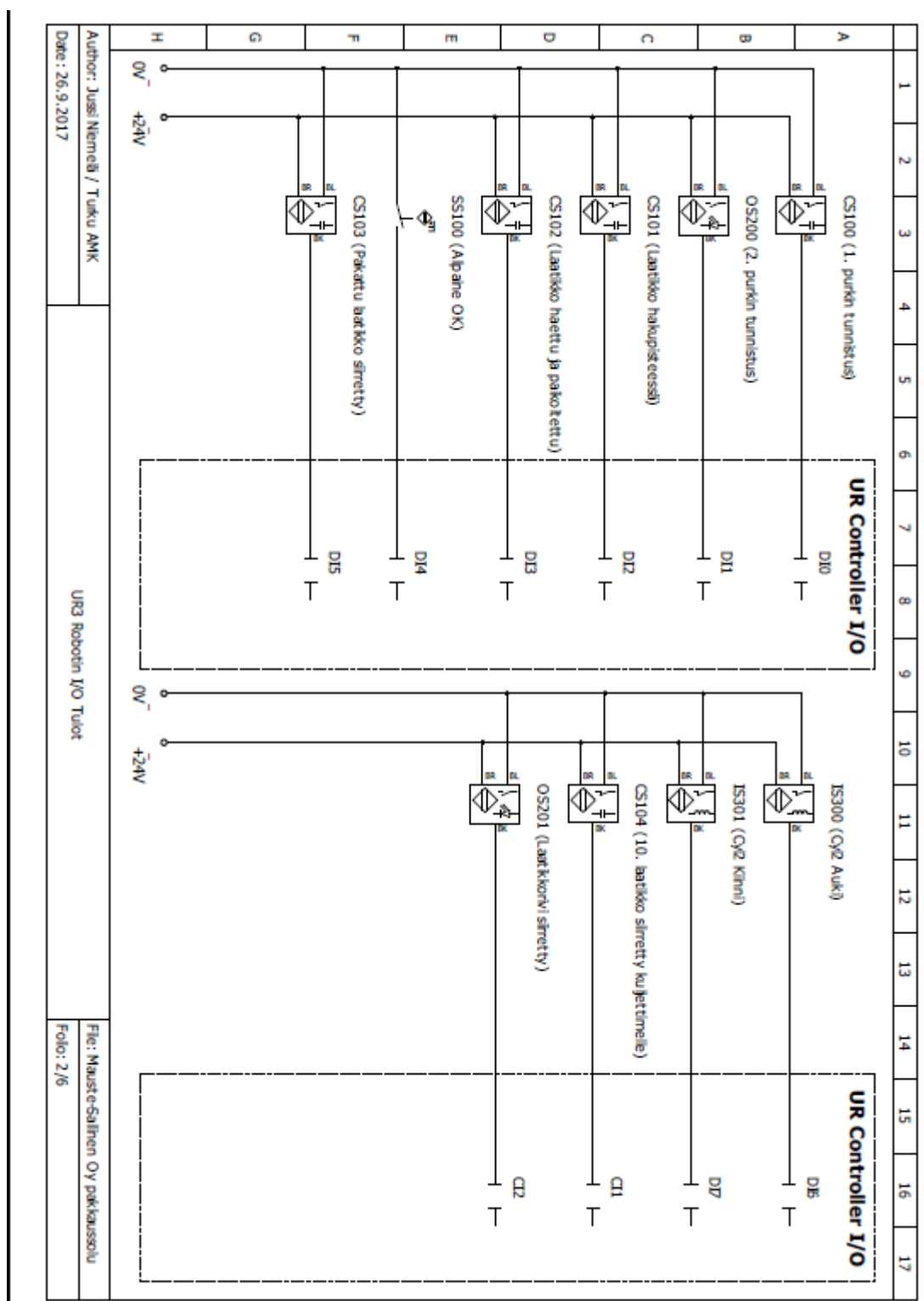
QElectroTech 2017. Viitattu 14.8.2017 <https://qelectrotech.org/>







## Esimerkki toimeksiantajalle toimitetuista sähkökuvista



Author: Jussi Niemelä / Tuisku AMK  
Date: 26.9.2017

UR3 Robotin I/O Tuulet

File: Muist-e-Gallinen Oy pakkausolu  
Folio: 2/6

## Antureiden ja toimilaitteiden sijoittuminen pakkaussolussa

