

**SAVONIA**

ammattikorkeakoulu

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# ROBOTIN KÄYTTÄMINEN KAIUTINELEMENTIN MAGNETOINNISSA

Opinnäytetyö

TEKIJÄ    Valtteri Rönkä

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Tutkinto-ohjelma Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä(t) Valtteri Rönkä	
Työn nimi Robotin käyttäminen kaiutinelementin magnetoinnissa	
Päiväys 14.11.2023	Sivumäärä/Liitteet 49
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Genelec Oy	
Tiivistelmä <p>Työn tavoitteena oli tuottaa toimeksiantajalle valmis robottisolun, jonka tarkoitus on tehdä kaiutinelementtien magnetisointi automaattisesti. Työn toimeksiantaja oli isäntäläinen Genelec Oy, jonka toimiala on kaiuttimien tuotanto. Genelecin kaiuttimet ovat usein palkittuja maailmanlaajuisesti. Genelecin tuottamat kaiuttimet soveltuvat aina studiomonitorointiin.</p> <p>Työn tekemiseen kuului solun suunnittelu sekä toteutus. Työ toteutettiin yhteistyörobotilla eli kobotilla. Kobottia käyttämällä saadaan solu tuotua työpisteiden lähelle, sekä mahdollistettua myös manuaalisesti käsin magnetointi. Kobottiin yhdistetään I/O-liitäntöjen kautta magnetisointilaitte. Laitteella saadaan metallinen esine magneettiseksi. Solun kobotti haluttiin asentaa niin, että sitä voisi halutessaan liikuttaa sekä käyttää muihinkin työtehtäviin.</p> <p>Työ automatisoitiin, sillä työntekijät kokivat tehtävän toistuvana ja rasittavana. Lisäksi robotilla haluttiin parantaa työergonomiaa. Työergonomian parantaminen ilmeni työssä niin, että toimivan robottisolun ollessa käytössä elementtien nosteleminen väheni huomattavasti.</p> <p>Työ saatiin tehtyä onnistuneesti, ja työn tilaajalle lopputuloksena oli toimiva robottisolun. Kobotti asennettiin liikuteltavalle alustalle, joten tilaajan toive kobottin liikuttelusta sekä jatkokehittämisestä toteutui. Työn jatkokehitykseen liittyy esimerkiksi CE-merkinnän hankkiminen solulle. Jatkokehitykseen kuuluu käyttäjäkokeusten kerääminen sekä niiden pohjalta työn kehittäminen.</p>	
Avainsanat robotti, kobotti, kaiutin, tehokkuus, ergonomia	

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Degree Programme in Electrical and Automation Engineering	
Author(s) Valtteri Rönkä	
Title of Thesis Using a robot to magnetize speaker element	
Date 14.11.2023	Pages/Appendices 49
Client Organisation /Partners Genelec OY	
<p><b>Abstract</b></p> <p>The purpose of the project was to provide the client with a fully functional robot cell. The robot cell was designed to automate the magnetization of speaker elements. The project included the design and implementation of the cell. The work was carried out using a collaborative robot, also known as a cobot. Using the cobot allows the cell to be brought close to the workstations and also makes it possible to magnetize it manually when needed. The magnetization device is integrated with the cobot through I/O connections. The cobot in the cell is designed to be movable and versatile for other tasks as well.</p> <p>The commissioner was Genelec Oy, a company based in Iisalmi, Finland, specializing in speaker production. Genelec's speakers have received multiple awards globally. The speakers produced by Genelec are suitable for studio monitoring in various applications.</p> <p>The goal of the project was automation, as the employees found the task repetitive and strenuous. Additionally, the robot aimed to improve ergonomic conditions at work by reducing the need for manual lifting of elements.</p> <p>The project was successfully completed, and the client now has a functional robot cell. The cobot was installed on a movable platform, fulfilling the client's request for mobility and future development. Further development work includes obtaining the CE marking for the cell, collecting user feedback, and using it as a basis for further improvements.</p>	
<p><b>Keywords</b> robots, cobots, ergonomics, speakers, efficiency</p>	

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	8
2	TEORIAOSA .....	12
2.1	Yhteistyörobotit eli kobotit.....	12
2.2	Teollisuusrobotit .....	13
2.3	Robottisolu .....	14
2.4	Robottitarttijat .....	14
2.5	Teollisuusrobotit vai yhteistyörobotit .....	14
2.5.1	Robottisolun turvasuunnittelu .....	15
2.6	CE-merkintä .....	15
3	TYÖN TOTEUTUS JA KUVAUS.....	16
4	AIKATAULU JA RESURSSIT.....	17
4.1	Aikataulu .....	17
4.2	Kustannukset.....	17
5	EETTISET JA LUOTETTAVUUSKYSYMYKSET.....	18
5.1	Eettiset kysymykset.....	18
5.2	Luotettavuuskysymykset .....	18
5.3	Työnonnistumiseen liittyvät kysymykset?.....	18
6	TYÖN MERKITYS .....	18
7	TYÖN TOTEUTUS .....	19
7.1	Aloitus.....	19
7.2	Toteutus.....	19
7.2.1	Laitteisto.....	19
7.2.2	Demo-tilanne .....	23
7.2.3	Demo-tilanteen tulokset .....	26
7.3	Robotin paikan päättäminen .....	27
7.4	Robotin sekä kärryn paikoittaminen.....	27
8	OHJELMOINTI.....	28
8.1	Ohjelman esittely .....	28
8.2	Pääohjelma .....	29
8.3	Paikkatarkastusohjelma .....	29
8.4	Poimintaohjelma .....	31

8.5	Paletointi-wizardin käyttö .....	33
9	KYTKENTÄKAAVIO.....	36
10	TYÖN TULOKSET.....	37
10.1	Ajansäästö.....	37
10.2	Ohjelman helppokäyttöisyys .....	37
10.3	Ohjelman toimivuus .....	38
10.4	Kobotin käyttö tässä aplikaatiossa .....	38
10.5	Kommentit käyttäjiltä .....	38
10.6	Jatkokehitys .....	39
11	TYÖSSÄ TODETUT ONGELMAT .....	39
12	TYÖSSÄ TODETUT ONNISTUMISET .....	41
12.1	Ohjelmat .....	41
12.2	Tarttujan valinta .....	41
12.3	Paikoitus .....	43
13	LAITTEISTON TURVALLISUUS .....	44
13.1	Riskiarvioinnin tekeminen .....	44
14	ROBOTTISOLUN HUOLTOON LIITTYVÄT ASIAT .....	44
15	VASTAUKSET EETTISIIN KYSYMYKSIIN.....	45
15.1	Onko automatisointi oikein työntekijän näkökulmasta? .....	45
15.2	Seuraako työn automatisoinnista lisää päästöjä tai saasteita? .....	45
16	TYÖN ONNISTUMISEEN LIITTYVÄT KYSYMYKSET .....	46
16.1	Vapauttaako robotti aikaa työntekijöiltä? .....	46
16.2	Onko laitteen käyttö tarpeeksi yksinkertaista?.....	46
16.3	Onnistuiko laitteiston suunnitteluvaihe hyvin? .....	46
16.4	Onko robotista hyötyä työn ergonomiaan?.....	46
17	YHTEENVETO.....	47
18	LÄHDELUETTELO.....	48

## KUVALUETTELO

KUVA 1. Genelecin tehdas (Helsingin Sanomat 2023) .....	9
KUVA 2. Genelecin valmistama spiraalisubwoofer (Hifi kulma).....	10
KUVA 3. Genelecin F-sarjan subwoofer (POWER) .....	10
KUVA 4. 8000-sarja (Hifi Studio) .....	11
KUVA 5.The ones- sarja (Rönkä 2023).....	11
KUVA 6. Työssä käytetty kobotti (Rönkä 2023) .....	13
KUVA 7. Teollisuusrobotti (Probot) .....	13
KUVA 8. Robotiq 2F-140 Tarttuja. (Rönkä 2023.) .....	20
KUVA 9. Profeeder Flex- alusta (Rönkä 2023) .....	20
KUVA 10. UR5 CB3-sarjan kobotti (Rönkä 2023) .....	21
KUVA 11. Laitteisto valmiina (Rönkä 2023) .....	22
KUVA 12. Relekytkentä (Rönkä 2023).....	23
KUVA 13. Optinen sensori kourassa (Rönkä 2023).....	23
KUVA 14. Demo-tilanne (Rönkä 2023) .....	24
KUVA 15. pöydän paikoitus (Rönkä 2023).....	27
KUVA 16. levyyn tehdyt reiät elementtejä varten (Rönkä 2023).....	27
KUVA 17. Magnetisointikela (Rönkä 2023) .....	28
KUVA 18. Pääohjelma (Rönkä 2023).....	29
KUVA 19. Paikkatarkastusohjelma malli 1 (Rönkä 2023) .....	30
KUVA 20. Heijastinnauha paletissa (Rönkä 2023) .....	31
KUVA 21. Poimintaohjelma malli 1 (Rönkä 2023).....	32
KUVA 22. Poimintaohjelma malli 1 jatkuu (Rönkä 2023) .....	33
KUVA 23. Paletointiohjelman pohja (Rönkä 2023) .....	34
KUVA 24. Paletointiohjelman muoto vaihtoehdot (Rönkä 2023).....	35
KUVA 25. KytKentäkaavio 1 (Rönkä 2023).....	36
KUVA 26. KytKentäkaavio 2 (Rönkä 2023).....	37
KUVA 27. Remote liitäntä (Rönkä 2023) .....	40
KUVA 28. Wrist connection activation "ohjelma" (Rönkä 2023).....	41
KUVA 29. Tarttujalle tehdyt preset-asetukset (Rönkä 2023) .....	42
KUVA 30. Profiilien valinta yläpaneelistä (Rönkä 2023) .....	43

## TAULUKKOLUETTELO

TAULUKKO 1. Testin ongelmat (Rönkä 2023) .....	25
TAULUKKO 2. Tiedot testistä (Rönkä 2023).....	25
TAULUKKO 3. Testin määrät (Rönkä 2023) .....	26
TAULUKKO 4. Seuranta (Rönkä 2023) .....	38

## 1 JOHDANTO

Työssä tehdään toimeksiantajalle robottisolu, jonka tarkoitus on hoitaa ennalta määriteltyjen kaiutinelementtien magnetisointi. Tällä hetkellä magnetisoinnin tekee tuotannon työntekijä käsin, joten työssä haetaan säästöä jättämällä työntekijän odottelu-aika pois. Odottelua syntyy, kun työntekijä odottelee magnetointilaitteen latautumista. Työssä on tarkoitus käsitellä automatisointia sekä robottisolujen tekemistä. Työstä on hyötyä yritykselle, sillä se mahdollistaa työntekijöiden työajan käyttämisen järkevämmiin.

Toimeksiantajana työssä on Genelec Oy. Genelec on Iisalmessa sijaitseva studiomonitorien valmistaja. Yritys on perustettu 1978. Geneleciä työskentelee noin 250 työntekijää. Monitorit ovat maailmalla palkittuja, sekä arvostettuja.

Työskentelyn itse yrityksessä automaation parissa ja idea aiheesta nousi käytännön tekemisen kautta, sillä työvaihe on työntekijöitä puuduttava sekä paljon aikaa vievä, sillä vaiheessa suurin aika menee laitteiden odotteluun. Työvaihe oli helposti automatisoitavissa, joten toimeksiantajan kanssa pohdimme työn automatisointia. Mietimme esimerkiksi miten paljon työn toteuttaminen kustantaisi. Totesimme kustannuksien olevan hyväksyttävät. Kuluja pienensi valmiiksi toimeksiantajalla oleva kobotti projektia varten.

Genelec Oy on kaiutinmonitoreja valmistava suomalainen yritys. Genelecin monitorit on suunniteltu käytettäväksi studioissa sekä äänen monitoroinnissa. Yritys on voittanut vuosien aikana useita alan arvostettuja palkintoja. Kaikki yrityksen monitorit valmistetaan edelleen Iisalmessa sijaitsevalla tehtaalla. Lisäksi Genelec tuottaa nykyään äänenkalibrointiin käytettäviä ohjelmia, joiden avulla kuulutaja voi kuuntelupaikalla säätää ääntään haluamukseen. ”Genelec on kehittänyt useita äänentoistolle tärkeitä teknologioita, joita käytetään studioiden tarkkailukaiuttimissa ympäri maailman.” (Hifi kulma 2023)

Yritys on perustettu 1978 Iisalmessa. Yrityksen perustajat ovat Ilpo Martikainen sekä Topi Partanen. Ilpo Martikainen toimi yrityksen toimitusjohtajana aluksi. Tällä hetkellä firman toimitusjohtajana toimii Siamäk Naghian, ja tällä hetkellä yritys työllistää noin 250 henkeä. Yrityksen ainut tehdas sijaitsee edelleen Iisalmen Luuniemessä (kuva 1). Yrityksen tuotannolliset tilat ovat aina sijainneet Iisalmessa. Lisäksi yrityksellä on toimisto Helsingissä. Yrityksellä on myös tytäryhtiöitä USA:ssa, Kiinassa sekä Japanissa.





KUVA 1. Genelecin tehdas (Helsingin Sanomat 2023)

Genelecin todennäköisesti tunnetuimpia tuotteita ovat 8000- sarjan studiomonitorit (kuva 4). Näitä voi nykyään nähdä lähes missä vain. Sarjaan kuuluu lisäksi kotikäyttöön suunniteltu G- sarja sekä SAM-sarja (smart active monitor). Lisäksi Genelec valmistaa The Ones tuotemallistoa sekä subwoofereita. Genelecin subwooferit tunnistaa helposti erikoisen ulkonäön takia (kuvat 2 ja 3). The Ones on Genelecin studiomonitori mallisto (kuva 5). The Ones on kolmitiemonitori. Monitorissa käytetään kahta bassoelementtiä ja keskiääntä sekä korkeaa ääntä toistavaa elementtiä. The Ones on Genelecin uusin tuotemallisto. The Ones:n muotoilu sekä elementit ovat Genelecin itse suunnittelemissa ja toteuttamissa, joten vastaavia malleja ei ole muilla valmistajilla.

”The Ones –tuoteperheen tarkkailukaiuttimien äänikuva on erittäin tarkka. Kun tämä yhdistetään äärimmäisen neutraaliin toistoon sekä akustisella akselilla että sivukentissä, käyttäjät voivat luottaa kuulemaansa ja tehdä nopeasti oikeita miksauspäätöksiä myös työskennellessä pitkään.” (Genelec 2023)



KUVA 2. Genelecin valmistama spiraalisubwoofer (Hifi kulma)



KUVA 3. Genelecin F-sarjan subwoofer (POWER)



KUVA 4. 8000-sarja (Hifi Studio)



KUVA 5. The ones- sarja (Rönkä 2023)

## 2 TEORIAOSA

### 2.1 Yhteistyörobotit eli kobotit

Kobotti on robotti, joka kykenee työskentelemään ihmisten rinnalla ilman, että robotille rajataan aluetta esimerkiksi turvaseinillä. Kobotit on varustettu ominaisuuksilla, jotka tekevät työskentelystä ihmisten rinnalla turvallista. Näitä ominaisuuksia ovat muun muassa virtuaaliset seinät, törmäystunnistimet, rajattu liikkumisnopeus sekä voimantunnistus. Näiden ominaisuuksien avulla saavutetaan tila, jolloin vahingon tapahtuminen ei aiheuta ihmiselle hengenvaaraa. Kobotit ovat kooltaan pienempiä kuin keskiverto teollisuusrobotit. Kuvassa 6 esitellään työssä käytetty kobotti.

Kobotteja käytetään pääasiassa työtehtävissä, joita ihmiset tekevät. Esimerkkejä tästä on esimerkiksi terveydenhoitoalalla. Kobotit käsittelevät näytteitä terveydenhoitoalalla jo monessa paikassa nykypäivänä. Lisäksi kobotit tekevät paljon Pick & Place töitä, joissa käsiteltäviä objekteja siirrellä esimerkiksi pöydällä. ” Cobottien ansiosta yrityksen henkilökunnan osaamista voidaan hyödyntää paremmin monimutkaisempiin, arvoa tuottaviin tehtäviin.” (OAMK)

Kobotteihin on alettu panostaa usean robottivalmistajan toimesta, sillä kobotit ovat monelle yritykselle helppo tapa aloittaa automatisointi, sillä varsin pienellä sijoituksella saa automaatioastetta nostettua merkittävästi. Lisäksi kobottejen ohjelmointi on todella nopeaa ja helppoa, jos työ on yksinkertainen. Näin ollen ihmistä rasittavat yksinkertaisen edestakaisin liikkeet saadaan nopeasti automatisoitua. Lisäksi usea kobotteja hyödyntävä yritys valitsee liikuteltavan alustan, jotta kobottia pystyy tarvittaessa siirtelemään usean työn ja työpisteen välillä.

Kobottien valmistukseen on siirtynyt usea yritys, jotka ovat tunnettuja ennestään teollisuusrobottien valmistuksesta. Näistä hyviä esimerkkejä on KUKA, Omron sekä ABB. Lisäksi kobotteja ovat alkaneet valmistaa täysin uudet yritykset. Näistä hyvä esimerkki on Universal Robots, jonka valmistamaa kobottia työssä käytetään.

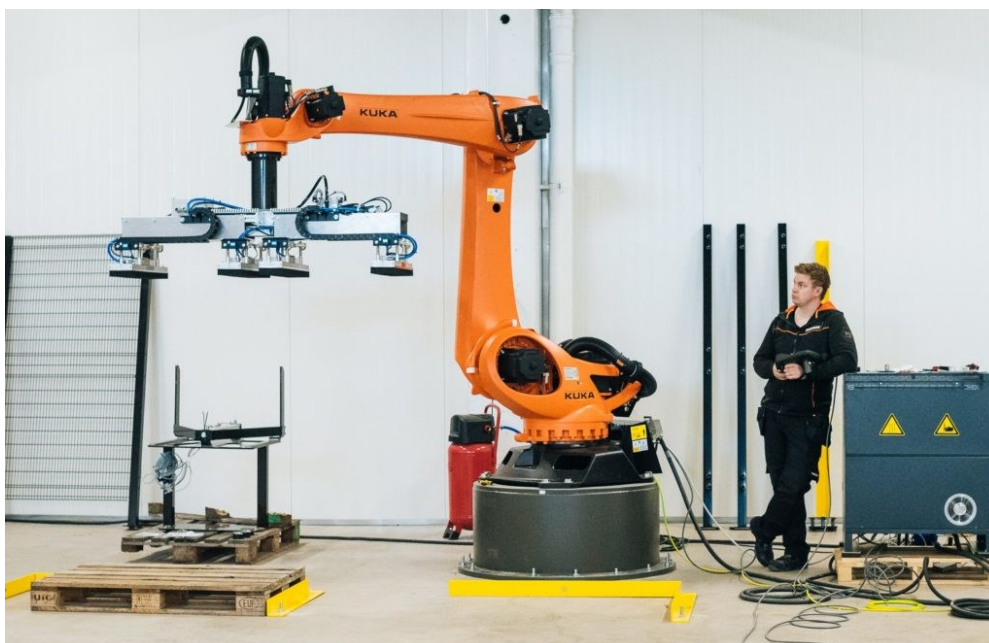




KUVA 6. Työssä käytetty kobotti (Rönkä 2023)

## 2.2 Teollisuusrobotit

Teollisuusrobotit ovat teollisuudessa yleisesti paljon käytettyjä robotteja. Nämä eroavat koboiteista, sillä nämä vaativat turvaseinät sekä tarkat turvallisuusmäärittelyt, jotta henkilövahinkoja ei synny. Tällaisten robottisolujen valmistaminen sekä toteuttaminen maksaa yleisesti paljon, ja vaatii suuria muutoksia esimerkiksi tehtaan layouttiin. Teollisuusrobotteja käytetään yleisesti tehtävissä, joissa halutaan nopeita liikkeitä tai/ja halutaan käsitellä painavia esineitä. Näiden robottien ottaminen käyttöön on huomattavasti vaikeampaa, sillä tarvittavat ohjelmat ja ominaisuudet täytyy lisätä itse. Kuvassa 7 esimerkki teollisuusrobotista.



KUVA 7. Teollisuusrobotti (Probot)

### 2.3 Robottisolu

Robottisolulla tarkoitetaan aluetta, jolla perinteisiä teollisuusrobotteja käytetään. Yleensä nämä alueet ovat seinin tai aitojen avulla rajattu, jotta alue on turvallinen. Robottisoluissa on yleensä myös paljon kuljettimia, ilmanpoistoja sekä muita automaation osia, joten kaikki täytyy hyväksyä ennen käyttöönottoa. Yleensä robottisoluissa esineet ovat painavia sekä liikkuvat nopeasti, joten esimerkiksi suojaseinillä saadaan rajattua suurimmat riskit pois alueelta.

### 2.4 Robottitarttijat

Tarttija on robottien sekä kobottien osa, jolla vaikutetaan haluttuun objektiin. Tarttujia on olemassa pihittarttujia sekä paineilmalla toimivia imutarttujia. Tarttujasta käytetään myös yleistermiä "end-effector". Tarttujan valinta suoritetaan sen perusteella minkälaista tai mistä materiaalista valmistettua esinettä halutaan liikutella tarttujalla.

Tarttujen valikoima on nykypäivänä todella laaja, joten niiden valinnassa kriteerit on oltava selvät, sillä näin ollen saadaan rajattua tarttujia nopeasti.

### 2.5 Teollisuusrobotit vai yhteistyörobotit

Teollisuusrobotteja on käytetty teollisuudessa useita vuosia, kun taas yhteistyörobotit ovat alkaneet lisääntyä vasta lähivuosina. Tämän takia kobottien käyttöalueet ovat vielä rajattuja sekä niille valmistetut "end-effectorit" eli tarttijat ovat rajalliset. Kuitenkin teollisuusrobotteja varten valmistetut tarttijat käyvät monesti myös yhteistyörobotteihin.

Kobotit sekä teollisuusrobotit eroavat toisistaan turvallisuusmääräysten osalta monella tavalla. Teollisuusrobotteihin on aina aidattava työalue, jolle henkilöt eivät voi vahingossa päästä, kun taas kobotin voi sijoittaa kiireisellekin tuotantolinjalle. Kuitenkin maalaisjärkeä on tässäkin hyvä käyttää, jotta vältytään turhilta henkilövahingoilta.

Kobotti- ja teollisuusrobottisolun suunnittelu eroaa sillä, että kobotin voi suunnitella toteuttamaan useaa työtä, kun taas teollisuusrobotit suunnitellaan yleensä yhdelle työlle. Kobottien käyttöönotto on paljon nopeampaa, jonka ansiosta kobottien käyttöönottokustannukset ovat yleensä todella paljon pienemmät kuin teollisuusroboteilla.

Kun yritykset alkavat miettiä sopiiko heille teollisuusrobotit vai yhteistyörobotit tulee määritellä, käytetäänkö robottia ihmisten välittömässä läheisyydessä ja onko alueella tilaa aidata aluetta. Jos yhteistyörobotit ovat tämän jälkeen parempi vaihtoehto tulee selvittää kykenevätkö kobotit itsenäisesti haluttuun tehtävään.

### 2.5.1 Robottisolun turvasuunnittelu

Robottisolun turvasuunnittelussa yleensä tärkeimpiä standardeja ovat seuraavat:

EN ISO 13849:2008 PL d – Koneturvallisuus standardi (SFS 2023)

EN ISO 10218-1:2011 – Robotiikka standardi (SFS 2013)

ISO/TS 15066:2016 – Kobotti standardi (SFS 2016)

EN ISO 12100 (SFS 2011)

Lisäksi esimerkiksi robotiikkastandardista on toinen osa, jota voi tarvittaessa joutua käyttämään tehdessä robottisolun turva-arviointia.

Kobotille turvasuunnitelmaa tehdessä ei tarvita välttämättä turva-aitoja/seiniä, sillä kobotilla tehtävät liikkeet ovat hitaampia ja niissä on vähemmän voimaa, jolloin standardeihin on määritelty, ettei kaikkia samoja turvaominaisuuksia tarvita, kun esimerkiksi nopeasti liikkuvalla teollisuusrobotilla.

Teollisuusrobotilla voimat ovat usein niin kovia ja nopeudet nopeita, että esimerkiksi ihmisen jäädessä puristuksiin sen väliin on tulokset yleensä jopa tappavia. Vastaavasti kobotin voimat on rajattu niin, että vain kehon herkimpiin paikkoihin osuessa kobotti voi aiheuttaa vahinkoa. Kuitenkin vaikka kobottejen oletetaan olevan todella turvallisia käyttää, niin kannattaa muistaa silti tarkkuus aina automaatiota käytettäessä tai suunnitellessa.

Kuitenkin vaikka kobotit ovat turvallisia ja kaikkiin niihin liittyviin osiin on yleisesti erillisinä tehty CE-merkintä, konedirektiivi 2006/42/EY vaatii yhdistämisen jälkeen CE-merkinnän uudestaan hakemista sekä kaikkien muiden turvallisuuden määrittelyyn liittyvien toimien tekemistä.

”Robottien turvallistamiseksi on kaksi standardia EN ISO 10218-1 ja EN ISO 10218-2. Tapauskohtaisesti kyseeseen tulee useasti vähintään koneyhdistelmien standardin EN ISO 11161 soveltaminen ja Häätäpysäytys EN ISO 13850.” (Blueplan 2023)

### 2.6 CE-merkintä

CE-merkinnällä valmistaja tai rakentaja vahvistaa tuotteen olevan turvallinen sekä täyttävän standardit sekä muut viralliset ohjeistukset. CE-merkintä saadaan laittaa tuotteeseen, kun on varmistettu, että tuote täyttää kaikki sille asetetut vaatimukset. Tarvittaessa ulkopuolinen laitos suorittaa tarkastuksen laitteelle, jotta se täyttää vaatimukset. ”CE-merkintä on merkintä, jolla tuotteen valmistaja tai valtuutettu edustaja vakuuttaa, että tuote täyttää tuotetta koskevien EU:n direktiivien ja asetusten olennaiset vaatimukset.” (Tukes 2023)

CE-merkintä pitää olla muun muassa seuraavissa tuotteissa: lelut, koneet, hissit, sähkölaitteet ja mittauslaitteet. CE-merkinnän saamiseksi tuotteeseen, on siihen tehtävä riskiarviointi, tarkistettava käytettyjen tuotteiden CE-merkinnät sekä tuotteesta on oltava tarvittaessa esimerkiksi piirikaaviot. Lisäksi tuotteesta on koottava kasaan kaikki dokumentointi. Tässä työssä CE-merkinnän hommaamiseen ei paneuduta mutta työtä tehdessä on otettava huomioon, että esimerkiksi osat täyttävät siihen tarvittavat säännökset.

### 3 TYÖN TOTEUTUS JA KUVAUS

Kyseessä on kehittämistyö. Tarkoituksena kehittää jo toiminnassa olevan prosessin automaatiota. Työssä aluksi kerätään materiaalia kuluista sekä mahdollisista ongelmista toteutuksessa. Materiaalin kerääminen tapahtuu internetin välityksellä sekä haastattelemalla työkavereilta. Työni koostuu seuraavista osista: suunnittelu, investoiminen, projektin toteutus, sähköistäminen, ohjelmoiminen, dokumentointi sekä CE-merkinnän vaatimat toimet.

Työ aloitetaan toteuttamalla vaatimusten määrittely. Kun määrittely on tehty, aloitetaan varsinainen suunnittelu, jonka aikana kerätään tarvittavat resurssit sekä määritellään valmiin solun hinta. Suunnittelun aikana tilataan tarvittavat laitteet työn toteutumisen kannalta. Kun laitteisto on saapunut sekä suunnittelu tehty loppuun asti, aloitetaan solun rakentaminen. Solun rakentaminen pitäisi olla nopea ja pieni työ, sillä työssä käytettyä kobottia ei tarvitse aidata. Kun rakentaminen on tehty, tehdään sähköistäminen sekä sen dokumentointi. Sähköistämisen jälkeen aloitetaan robottiohjelman kirjoittaminen sekä mahdollisten muutosten tekeminen laitteelle. Viimeisenä solusta tehdään riskikartoitus sekä muut soluun liittyvät dokumentoinnit.

Tarvittavat dokumentit soluun ovat

- riskikartoitus
- sähkökuvat
- ohjelman kommentointi
- CE-merkintään tarvittavat dokumentit
- käyttöohjekirja
- huolto-ohjelma.

Kun työ on valmis, tulee robotin toimia näin:

Robotti poimii kaiutinelementin. Samalla robotti varmistaa, että elementti on varmasti ennalta määritellyssä paikassa.

Robotti asettaa elementin magnetointilaitteelle.

Robotti varmistaa magnetointilaitteen latautumisen.

Latautumisen jälkeen suorittaa magnetoinnin.

Magnetoinnin jälkeen robotti nostaa elementin takaisin kärryyn. Samalla robotti varmistaa, että elementti on varmasti ennalta määritellyssä paikassa.

Robotti suorittaa saman uudelleen niin monesti kuin elementtejä on.



## 4 AIKATAULU JA RESURSSIT

Aikataulutus on vaikea tehdä tämänhetkisen maailmantilanteen takia tarkasti, sillä emme voi olla varmoja tarvittavien osien sekä laitteiden saatavuudesta. Käytän aikataulu osiossa siis varovaisia arvioita työn välietappien valmistumisajoista. Resursseina työhön tarvitaan vain hieman ulkopuolisten apua, joten resurssien puolesta työn tekeminen on kiinni siitä, kuinka saan työn tehtyä.

### 4.1 Aikataulu

Työnvaihe	Valmis
Työn aloittaminen	Tammikuu 2023
Projektin suunnitelma	Toukokuu 2023
Työn suunnittelu	Toukokuu 2023
Projektin toteutus	Kesäkuu 2023
Opinnäytetyö raportti valmis	Elokuu 2023

Aikataulu on alustava ja siihen vaikuttavat muun muassa tilattavien materiaalien saatavuus sekä mahdolliset toimittajista johtuvat viiveet. Myös projektissa tulevat ongelmat voivat venyttää aikataulua. Valmistumisajat on asetettu pitkällä aikajanelalla, sillä suunnitelma vaiheessa ei ollut tietoa, kuinka projektin implementointi onnistuu tuotantoon. Tässä täytyy ottaa huomioon tuotannon omat vaatimuksensa.

### 4.2 Kustannukset

Työssä syntyvät kustannukset koostuvat robotista sekä muista projektiin liittyvistä osista. Osa kuluista syntyy yritykselle työntekijöiden käyttämästä ajasta. Työssä työtunteja kuluu suurimmaksi osaksi suunnitteluun sekä dokumentointiin.

Kustannuksia syntyy seuraavista: robotti, robotin tarttuja, liityntälaitteet magnetointi järjestelmälle, johdot sekä työntekijöiden palkat.

## 5 EETTISET JA LUOTETTAVUUSKYSYMYKSET

### 5.1 Eettiset kysymykset

Onko automatisointi oikein työntekijän näkökulmasta?

Työ on puuduttavaa työntekijän näkökulmasta, sillä työssä tulee paljon turhia odotuksia sekä työ on vain yksitoikkoista edestakaisin nostelua. Työntekijöille juteltuani, sekä netistä asiaa tutkittuani tulin siihen tulokseen, että puuduttavan työn automatisointi on juuri se mitä tuotannollisissa töissä kannattaa tehdä, jos saatavilla on oikeat välineet.

Seuraako työ automatisoinnista lisää päästöjä tai saasteita?

Työn automatisoinnista ei seuraa juurikaan päästöjä. Kaikki päästöt, jotka työn automatisoinnista lisääntyvät ovat sähkökulutuksen muodossa. Tästä myöhemmissä osioissa tarkempaa tietoa.

### 5.2 Luotettavuuskysymykset

Lähdekritiikki:

Robotteihin liittyen on paljon erilaisia lähteitä sekä keskusteluja, joten on arvioitava kriittisesti mitkä ovat hyviä lähteitä käyttää työssä. Osaan keskusteluihin vaikuttaa kirjottajan omat kokemukset sekä ajatukset asioista. Tässä kuitenkin on paljon mahdollisia oikeita vaihtoehtoja, sillä esimerkiksi ohjelmoinnissa on niin paljon erilaisia tyylejä, kun on tekijöitäkin alalla.

### 5.3 Työnonnistumiseen liittyvät kysymykset?

Vapauttaako aikaa työntekijöiltä?

Onko laitteen käyttö tarpeeksi yksinkertaista?

Onnistuiko laitteiston suunnitteluvaihe hyvin?

Onko robotista hyötyä työn ergonomiaan?

## 6 TYÖN MERKITYS

Opinnäytetyöni antaa toimeksiantajalle valmiin robottisolun, joka automatisoi toistavan sekä hitaan työvaiheen. Työn toimeksiantaja saa myös heille arvokasta kokemusta kobottien käyttämisestä tuotannon yhteydessä. Lisäksi opinnäytetyön tarkoitus on hyödyntää nykyaikaisia automaatiojärjestelmiä ja näin ollen kehittää toimeksiantajan tuotantoa.

Itse voin opinnäytetyön tekemisen avulla saada arvokasta kokemusta roboteista sekä niistä koostuvien solujen rakentamisesta sekä rakentamisesta. Lisäksi dokumentoinnin avulla voin jatkossa samantyyllisiä projekteja tehdessä katsoa mallia, kuinka olen opinnäytetyöprojektini kanssa edennyt.

## 7 TYÖN TOTEUTUS

Työ toteutetaan useassa osassa. Työ aloitettiin suunnittelemalla projekti ja sen kannattavuus, kun kannattavuus oli varmistettu, alkoi projektiin tarvittavien resurssien sekä materiaalien kartoitus. Osien tilaamisen sekä resurssien kartoituksen jälkeen siirryttiin laitteiden kasaamis- vaiheeseen. Tässä vaiheessa kobottiin liitettiin tarttuja sekä alusta. Tämän jälkeen työn demovaiheen pääsi aloittamaan. Tässä vaiheessa kobotti kokonaisuutta kokeiltiin erillisissä tiloissa, jotta kobotti ei ole tuotannon tiellä ja saamme selville mahdolliset ongelmat sekä muutokset.

### 7.1 Aloitus

Työ aloitettiin kartoittamalla elementtien magnetisoinnin tarve sekä mahdolliset kulut projektin toteuttamisesta. Kun totesimme, että mahdolliset kulut ovat hyväksyttävät projektia varten oli vuorossa osien tarkempi kartoitus sekä projektin tarkempi suunnittelutyö.

Suunnitteluvaiheessa päätettiin vanhan kobotin hyötykäytöstä sekä siitä, kuinka projekti tulotisiin todellisuudessa toteuttamaan. Vaihtoehtoja ennen tätä vaihetta oli useampi mutta päädyimme suunnitelmaan, jossa kobotin viereen tuodaan vain yksi kärry, josta kobotti poimii elementin ennen magnetisointia ja magnetisoinnin jälkeen sijoittaa elementin samaan kärryyn. Työssä myös tärkeänä elementtinä oli suunnitella kobotti ratkaisu niin, että kobottia pystytään tulevaisuudessa liikuttelemaan sekä käyttämään mahdollisesti muissa työtehtävissä.

Kun suunnitelma oli valmis tarvittavat osat ja laitteet tilattiin ja odotellessa osien saapumista suunnitelmia päiviteltiin ideoiden mukaan.

Ennen työn aloitusta laitteiston ostamiseen liittyen toteutettiin takaisinmaksulaskelmat. Näiden laskelmien perusteella päätettiin, onko työn tekeminen yritykselle kannattavaa. Laskelmien perusteella työ on kannattava, joten työn tekemistä jatkettiin.

### 7.2 Toteutus

Toteutus-kappaleessa tullaan käsittelemään työn erivaiheet sekä niiden tulokset. Lisäksi aluksi esitellään käytettyä laitteistoa, jotta lukijan on helpompi sisäistää laitteen toimintaa.

#### 7.2.1 Laitteisto

Tässä kappaleessa esitellään työssä käytetty laitteisto sekä niiden merkitys työlle ja syy miksi juuri kyseinen laite/malli valittiin juuri tähän projektiin.

Työssä käytettiin Robotiqin tarttujaa, jonka malli on 2F-140. Tämä tarttuja valittiin, koska tarttumiinseen tarvittiin yli 12 cm aukeava tarttuja, jotta pystyttäisiin tarttumaan kaikkiin elementteihin, joita laitteella halutaan magnetoida. Tarttuja kuvassa 8.



KUVA 8. Robotiq 2F-140 Tarttuja. (Rönkä 2023.)

Työhön valittiin EasyRobotics:in Profeeder Flex alusta. Tämä valinta tehtiin, sillä robotti haluttiin sijoittaa alustalle, jota pystytään tarvittaessa siirtämään nopeasti mutta tarkasti. Alustassa on paikoituslevyt (kuvassa näkyvät keltaiset levyt), jonka avulla saadaan alusta paikoitettua nopeasti. Näiden avulla robottia pystytään jatkossa käyttämään myös muihin työtehtäviin. Alusta kuvassa 9.



KUVA 9. Profeeder Flex- alusta (Rönkä 2023)

Työssä käytettiin Universal Robotsin UR5 mallia. Kobotti on vanhempaa CB3-sarjaa mutta tämäkin sarja on todella riittävä kyseiseen työtehtävään. Robotti valittiin, sillä yrityksellä oli valmiina kyseinen robotti, näin ollen säästyttiin lisäkuluilta robotin suhteen. Kobotti kuvassa 10.



KUVA 10. UR5 CB3-sarjan kobotti (Rönkä 2023)

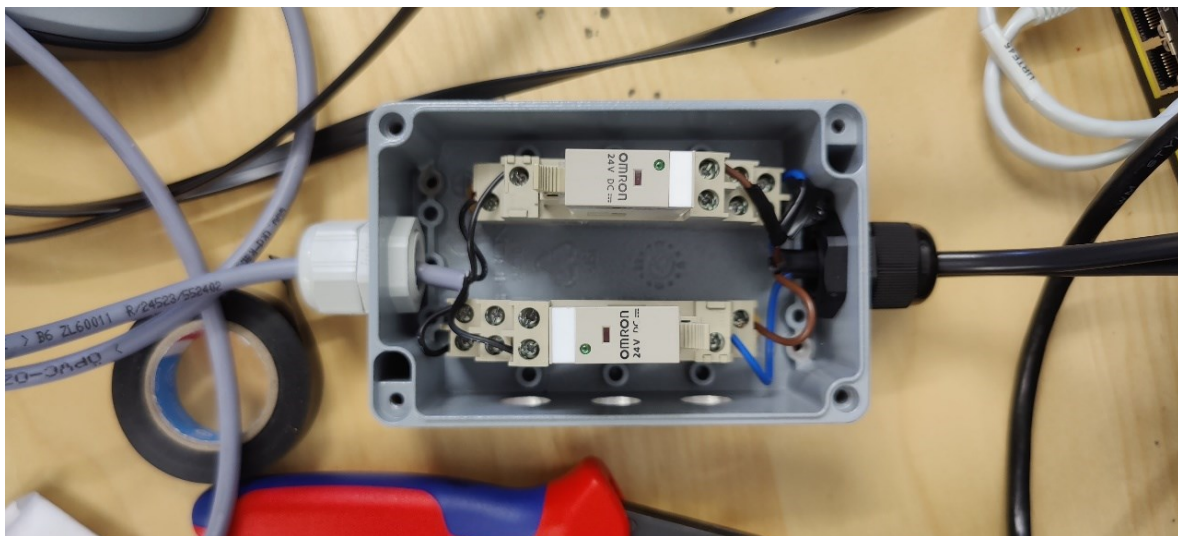


Kuvassa 11 nähdään työssä käytetty laitteisto kasattuna sekä liitettynä robottiin. Myös jatkokehityksen kartoitus on tärkeä osa kasausvaihetta, sillä tässä vaiheessa voidaan tehdä helppoja muutoksia suunnitelmaan, mikäli tarvittavaa.



KUVA 11. Laitteisto valmiina (Rönkä 2023)

Robottiin liitetään kaksi releettä, joiden avulla voimme ohjata magnetointilaitetta sekä saamme signaalin, milloin magnetointilaite on latautunut. Relekytkentä valmiina kuvassa 12.



KUVA 12. Relekytkentä (Rönkä 2023)

Kouraan kiinnitettiin optinen sensori, jonka avulla voidaan tarkistaa elementtien määrä. Näin ollen magnetoitavaksi voidaan viedä vajaa kärry. Tämä helpottaa tilannetta, jolloin elementtejä ei ole tarpeeksi täyttää kärryjä, näin ollen käyttäjän ei tarvitse määrittellä elementtejä tietyille paikalle, vaan elementit voivat olla satunnaisesti paikoitettu. Optinen sensori kuvassa 13.



KUVA 13. Optinen sensori kourassa (Rönkä 2023)

### 7.2.2 Demo-tilanne

Tässä vaiheessa työtä oli tehty sen verran, että pystymme toteamaan, onko mahdollista viedä projekti loppuun onnistuneesti. Lisäksi tässä vaiheessa kartoitetaan mahdolliset muutokset sekä testataan laitteiston toiminta. Demotesteissä heräsi idea siitä, että voisimme kerätä dataa ylös yrityksessä olevan Siemensin logiikan avulla käyttäen OPC UA:ta. Näin saisimme magnetoitujen elementtien sekä magnetointiin käytetyn ajan talteen.



KUVA 14. Demo-tilanne (Rönkä 2023)

Demo-tilanteessa käytettiin aluksi kärryn sijasta pöytää (kuva 14). Tässä vaiheessa kokeiltiin tilanteita, joissa arveltiin olevan mahdollisia ongelmia. Pöydälle tehtiin pahvista alusta, jotta pystyttiin mittaamaan alue kärryä vastaavaksi sekä tekemään mahdollisia merkintöjä testin edetessä.

Demo-tilanteesta täytetään taulukko (taulukot 1 ja 2), jossa mahdolliset ongelmat tulee esille ja niistä kerrotaan tarkemmat tiedot. Lisäksi tehdään testi, kuinka monta kertaa demo vaiheessa voidaan tehdä magnetointi ilman, että ongelmia tulee prosessiin. Tässä vaiheessa tulee ottaa kuitenkin huomioon, että paikoituksen sekä ”kärryn” toteutus ovat vajavaisia, sillä paikoitus on tehty vain käyttäen pahviin piirrettyjä viivoja elementtien rajoiksi.



TAULUKKO 1. Testin ongelmat (Rönkä 2023)

Testi	Ei ongelmaa	Ongelma
Robotin ulottuvuus	X	
Elementtien yhteen tarttuminen	x	
Ohjelman käyttämisen helppous	x	
Saako tarttuja riittävän hyvän otteen	x	
Elementtien paikoittaminen		x
Riittääkö tarttujan joustavuus	x	

TAULUKKO 2. Tiedot testistä (Rönkä 2023)

Testi	Tulos
Robotin ulottuvuus	Robotti ulottuu tarvittavalle alueelle
Elementtien yhteen tarttuminen	Elementit ei tehtyjen testien mukaan tartu toisiinsa
Ohjelman käyttämisen helppous	Ohjelma voidaan laittaa käynnistymään automaattisesti
Saako tarttuja riittävän hyvän otteen	Tarttuja saa riittävän hyvän otteen vaikka ei saisi aivan suoraan kiinni
Elementtien paikoittaminen	Elementeille on tehtävä paikat, jossa ovat kärryssä jotta tarttuja saa otteen
Riittääkö tarttujan joustavuus	Jos robotti törmää esimerkiksi maahan ottaessa otetta elementistä, tarttuja saa otteen

Testissä on kuusi ongelmaa, joiden epäiltiin vaikuttavan työhön. Testin tuloksena tuli ilmi, että kunnan elementit saadaan kohtuullisesti paikoitettua, projekti onnistuu hyvin. Paikoitukselle tarkkuus on noin puoli senttiä. Tällä tarkkuudella tarttuja saa aina elementistä hyvän otteen. Tällä tarkkuudella paikoittaessa vaara, että tarttuja törmää elementtiin sitä poimissa on vähäinen, mutta tätäkin tulee tarkistella ennen solun käyttöönottoa.

Testin ensimmäisessä vaiheessa robotti ajettiin ääriasentoon ja tarkasteltiin, ylettykö robotin tarttuja kaikkiin elementteihin. Tämän testin tuloksena saimme tuloksen, että robotti ylettää jopa suuremmalle alueelle mitä tarve olisi, joten voimme kasvattaa poiminta-alueetta. Tässä demotestin hyöty nousi esille, sillä työtä oli simuloitu simulaatio-ohjelmalla, jonka tuloksena oletimme tartunta-alueen olevan huomattavasti pienempi. Kuitenkin nyt alueen kasvaessa pystyimme tilaamaan isommat kärryn, johon elementit voidaan laittaa.

Toisen testin tarkoitus on kartoittaa mahdollisuutta magnetoinnin jälkeen, että elementti tarttuu toiseen metalliseen elementtiin kiinni magneettisuuden avulla. Tämän testin tuloksena tuli se, että elementit eivät tartu suurella todennäköisyydellä toisiinsa. Lisäämällä elementeille paikat saadaan pienennettyä tätä mahdollisuutta.

Kolmannen testin ideana oli kokeilla demo-ohjelman käynnistystä ja katsoa olisiko se mahdollisesti liian vaikeaa ilman ohjelman tietämistä. Tämän testin tuloksena tuli tieto, että ohjelma on helppo käynnistää, sillä robotin saa laitettua tekemään lähes kaiken automaattisesti käynnistykseen yhteydessä.

Neljäs testi oli tarttujan otteen tarkastelua. Tarttujassa on hieman joustava pinta, joten otteen saadessaan tarttuja pysyy todella hyvin kiinni esineessä. Riski, että esine liukuu irti tarttujasta, on todella pieni, sillä pinta on kumimaista kovaa materiaalia.

Viides testi toteutettiin asettamalla elementit silmämääräisesti samalle alueelle ja katsottiin, saako tarttuja otteen ja onko paikoitus riittävä. Testin tuloksena saimme tuloksen, että paikoitusta on

syitä parantaa asentamalla suunnitelmassa kerrottu elementtien paikoituslevy. Tämän avulla saamme paikoituksen oletettavasti tarpeeksi tarkaksi.

Viimeinen testi liittyi tarttujan joustavuuteen ja siihen onko se hyvä. Tarttuja joustaa osuessaan esteeseen, joten esimerkiksi jos tarttuja törmää elementtiin se joustaa hieman. Tämä on hyvä ominaisuus, sillä näin ollen pienen törmäyksen sattuessa elementti ei mahdollisesti vaurioidu. Tarvittaessa tarttuja pystytään jäykentämään lisäämällä tarttujaan pultit, jotka poistavat tarttujalta mahdollisuuden joustaa.

TAULUKKO 3. Testin määrät (Rönkä 2023)

Testien määrä	Onnistuneet	Epäonnistuneet	Käytetty aika(s)	Onnistumis-%
16	14	2	478	87,5
16	14	2	478	87,5
16	15	1	478	93,8
16	16	0	479	100,0
64	59	5	1913	92,2

Demoajossa tehtiin 4 täyttä testiajoa. Demoajot toteutettiin sijoittamalla elementit alueelle, josta niiden poiminta tapahtuu. Sen jälkeen ohjelma käynnistetään ja tarkkaillaan, tapahtuuko testien aikana virheitä ja jos tapahtuu, niin onko virheet millaisia ja montako virhetilannetta tapahtuu. Tämän demon avulla saadaan selville mahdollisia virheitä ohjelmassa sekä ongelmia poiminnassa. Virheiden kirjaamisen jälkeen voidaan analysoida viat ja tehdä tarvittavat muutokset. Taulukossa 3 dataa testin tuloksista.

Näiden kuuden testin aikana ilmestyi muutamia viallisia poimintoja, joista kaikki johtuivat huonosta elementin paikoittamisesta. Tässä kohti paikoitusta ei tehdä muuten kuin silmämääräisesti.

Lisäksi tämän testiajon perusteella voimme havaita robotin käyttämän ajan olevan joka ajokerralla sama. Tämän perusteella voimme sanoa robotin ohjelman toimivan luotettavasti sekä tekevän joka kerta samat halutut liikkeet.

Testi-ajot toistetaan uudelleen, kunhan kokoonpanovaihe on saatu vietyä loppuun. Tärkeimpänä lisänä edelliseen vaiheeseen on parempi paikoitus.

### 7.2.3 Demo-tilanteen tulokset

Demo-tilanteen tuloksien perusteella voidaan jatkaa projektia I/O-liittymien liittämiseen sekä oikean kärryn etsintään. Kun I/O-liitännät on tehty voimme tehdä laitteistolle seuraavat testit.

Ennen seuraavia testejä olisi tärkeää saada myös elementtien paikoitusta parannettua, jotta aikaisemmin havaitut ongelmat voitaisiin korjata ja parantaa näin ollen testien tuloksia.

### 7.3 Robotin paikan päättäminen

Robotin paikan määrittämisessä täytyy ottaa huomioon elementtien liikuttelun sujuvuus sekä se, että robotti ei saa olla työntekijöiden tiellä.

### 7.4 Robotin sekä kärryn paikoittaminen

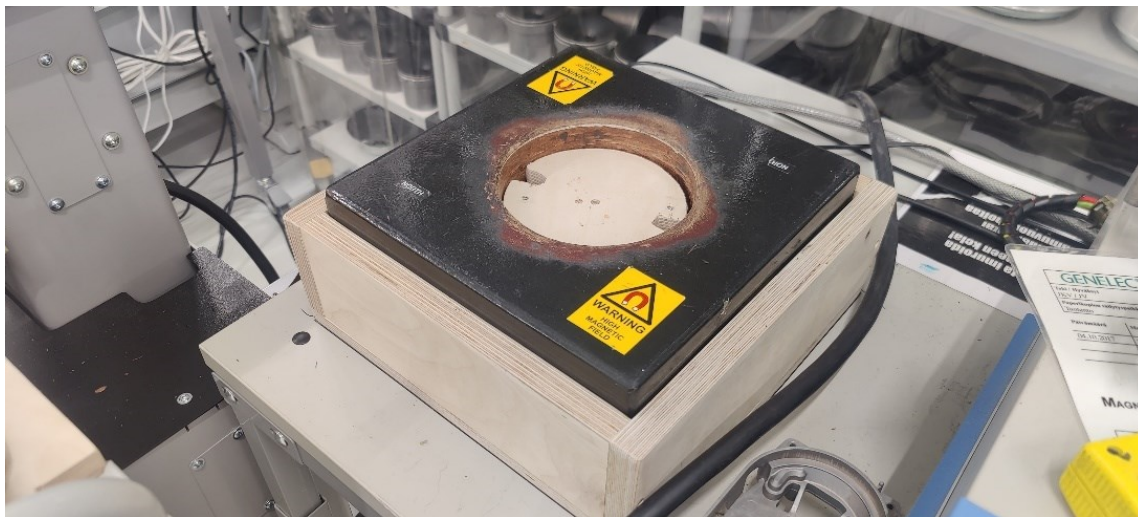
Robotti sekä kärry täytyy paikoittaa, jotta elementtien sekä magnetointikelan paikka ei muutu. Tämä saadaan aikaan robotin alustassa olevalla paikoituksella sekä kärryn kylkeen rakennetulla kärryn paikoitusmekanismilla (kuva 15). Robotin alustan paikoittamiseen tarvittavat metalliset levyt kiinnitetään lattiaan käyttämällä siihen sopivaa massaa, jolloin lattiaan ei tarvitse porata tai tehdä muita jälkiä. Lisäksi kärry kiinnitetään robottiin itsetehdyllä paikoittimella. Tämän avulla elementit ovat aina samalla paikalla, jolloin poiminta on luotettavaa. Lisäksi kärryyn tehtiin reikälevy, jonka avulla elementtien paikoittaminen helpottuu. Levy näkyvässä kuvassa 16. Magnetisointikelaan tehtiin puolelta korotin, jonka avulla elementti saadaan kelaan halutulle tasolle. Korotuspalikka näkyvässä kuvassa 17.



KUVA 15. pöydän paikoitus (Rönkä 2023)



KUVA 16. levyyn tehdyt reiät elementtejä varten (Rönkä 2023)



KUVA 17. Magnetisointikela (Rönkä 2023)

## 8 OHJELMOINTI

Osa työstä on ohjelmoida robotti tekemään haluttu tehtävä. Lisäksi robotille on ohjelmitava I/O-liittymien oikea toiminta. Robotille kirjoitetaan yksi ohjelma, jonka avulla voidaan valita mallikohtaisesti minkä kokoinen elementti on milloinkin kyseessä.

Ohjelmoinnissa käytetään Universal Robotsin omaa ohjelmointitapaa, jonka avulla voimme ohjelmoida robotin suoraan sen omalta teach pendantilta. Ohjelmaa tehdessä täytyy ottaa huomioon sen helppokäyttöisyys, sillä ohjelma tullaan laittamaan vain nopeasti päälle, jonka jälkeen jatketaan muita työtehtäviä.

Kun ohjelma on saatu tehtyä, siihen on lisättävä muuttujat, joiden avulla voidaan tehdä laitteesta tiedon keruuta. Näitä tietoja on muun muassa magnetoitujen elementtien määrä sekä robotilla ajettu aika. Näiden tietojen avulla voimme jatkossa tehdä mahdollista jatkokehitystä.

Ohjelma kirjoitetaan useampaan aliohjelmaan, jotta ohjelma, joka laitetaan päälle, on selkeä seurata. Esimerkiksi elementtien määrän tarkastus tehdään yhdeksi aliohjelmaksi sekä mallikohtaiset ohjelmat.

### 8.1 Ohjelman esittely

Tässä kappaleessa esitellään ja käydään läpi ohjelma ja sen toiminta. Ohjelma on siirretty Universal Robots:ilta varmuuskopion muodossa tietokoneelle, josta ohjelma on tähän kuvankaappauksien avulla liitetty. Ohjelmaa on hieman siistitty sekä sensuroitu, jotta yritykselle salaisia tietoja ei paljastu.

## 8.2 Pääohjelma

Pääohjelman tarkoitus on keskittää halutut aliohjelmat yhden ohjelman alle. Näin ollen saadaan yksi ohjelma käynnistämällä kaikki halutut ohjelman vaiheet oikeaan järjestykseen. Pääohjelmasta osa kuvassa 18.

Pääohjelmassa on kysely käyttäjälle, josta käyttäjä valitsee haluamansa mallin kolmesta vaihtoehdosta. Tämän jälkeen ohjelma tarkistaa halutut paikat kärryiltä riippuen valitusta mallista. Tämän jälkeen ohjelma käynnistää poiminta/magnetointi ohjelman, joka hoitaa kärryssä olevien elementtien magnetoinnin.

```
$ 13 "malli□'valitse malli!"
global malli=request_float_from_primary_client("valitse malli!")
if (malli == 1):
    movej(get_inverse_kin(p[.240764285680, -.814966628367, .3364635450
    paikkatarkastus()
    poiminta()
else:
    if (malli == 2):
        movej(get_inverse_kin(p[.240764285680, -.814966628367, .33646354
        paikkatarkastus()
        poiminta()
    else:
        if (malli == 3):
            movej(get_inverse_kin(p[-.145973815647, -.457837071390, .14404
            paikkatarkastus2()
            poiminta2()
        end
```

KUVA 18. Pääohjelma (Rönkä 2023)

## 8.3 Paikkatarkastusohjelma

Paikkatarkastusohjelman tarkoituksena on käydä kaikki paletilla olevat paikat läpi, jotta robotti voi poimia ainoastaan paikoilta, joilla on elementtejä. Paikkatarkastusohjelman avulla saadaan siis elementtien magnetisoinnin ohjelman kestoa lyhennettyä. Näin ollen saadaan säästöjä sähkössä sekä elementtien läpimenoajassa. Paikkatarkastus ohjelmasta osa kuvassa 19.

Ohjelman ideana on se, että käydään palettiohjelman avulla läpi kaikki paletissa olevat paikat. Kun robotin end-effectorissa oleva optinen sensori osoitetaan paletissa olevia heijastinnauhoja päin, saadaan robotille digitaalisen sisääntulon kautta signaali 1, jos elementti ei ole paikallaan ja vastaavasti signaali 0, jos elementti on paikalla. Heijastinnauhasta kuva 20. Tämän avulla voidaan kirjoittaa listamuuttujaan tieto ylös, josta se saadaan myöhemmin käyttöön, kun poiminta halutaan tehdä.



```

def paikkatarkastus():
    $ 202 "Loop 15 times"
    Loop_1 = 0
    while (Loop_1 < 15):
        $ 203 "Pallet"
        cnt_1_x = cnt_1 % 5
        cnt_1_y = floor(cnt_1 / 5)
        pose_1 = interpolate_pose(interpolate_pose(p[.240879281583,
        if (cnt_1 >= 14):
            cnt_1 = 0
        else:
            cnt_1 = cnt_1 + 1
        end
        $ 210 "PatternPoint_1" "noBreak"
        movel(pose_1, a=1.2, v=0.25)
        set_standard_digital_out(1, True)
        sleep(1.0)
        if (get_standard_digital_in(1) != True ):
            L_paletti[i_index]=1
        end
        global i_index=i_index+1
        set_standard_digital_out(1, False)
        Loop_1 = Loop_1 + 1
    end
    $ 217 "Loop 10 times"
    Loop_2 = 0
    while (Loop_2 < 10):
        $ 218 "Pallet"
        cnt_2_x = cnt_2 % 5
        cnt_2_y = floor(cnt_2 / 5)
        pose_2 = interpolate_pose(interpolate_pose(p[.218054523110,
        if (cnt_2 >= 9):
            cnt_2 = 0
        else:
            cnt_2 = cnt_2 + 1
        end
        movel(pose_2, a=1.2, v=0.25)
        set_standard_digital_out(1, True)
        sleep(1.0)
        if (get_standard_digital_in(1) != True ):
            L_paletti[i_index]=1
        end
        global i_index=i_index+1
        set_standard_digital_out(1, False)
        Loop_2 = Loop_2 + 1
    end
end

```

KUVA 19. Paikkatarkastusohjelma malli 1 (Rönkä 2023)



KUVA 20. Heijastinnauha paletissa (Rönkä 2023)

#### 8.4 Poimintaohjelma

Poimintaohjelman ideana on tuoda erillinen aliohjelma, jolla poiminta suoritetaan pääohjelmaan. Näin ollen pystytään määrittelemään mitkä mallit halutaan poimia tiettyä aliohjelmaa käyttäen. Poimintaohjelmasta osa kuvassa 21 sekä 22.

Tässä poimitaan pienemmät mallit, joita on täysi paletti mahdollista magnetisoida kerrallaan. Erillinen aliohjelma kirjoittaa elementeille, jotka ovat isompia ja näin ollen vievät paletilta enemmän tilaa ja poiminta joudutaan suorittamaan eri tyylillä.

Ohjelma aloittaa tarkastamalla onko L\_paletti listan halutulla paikalla muuttuja 1, jos tämä toteutuu robotti käy poimimassa elementin ensimmäiseltä paikalta. Jos muuttuja on 0, niin robotti lisää vain

`i_picked` muuttuun yhden, jolloin seuraavalla kerralla samaa looppia tarkastellessa tarkastetaan `L_paletti` listalta paikka 2. Tätä toistetaan niin kauan, kunnes on saavutettu viimeinen palettipaikka.

```
def poiminta():
    $ 115 "Loop 5 times"
    Loop_2 = 0
    while (Loop_2 < 5):
        movej(get_inverse_kin(p[.287169387761, -.472982489081, .12766352
        if (L_paletti[i_picked] == 1):
            pose_2 = interpolate_pose(p[.294714916254, -.834462415501, -.1
            if (cnt_2 >= 4):
                cnt_2 = 0
            else:
                cnt_2 = cnt_2 + 1
            end
            movel(pose_trans(pose_2, pose_trans(pose_inv(p[.294739239739,
            movel(pose_2, a=1.2, v=0.25)
            end
            move_thread_flag_127 = 0
            move_thread_han_127 = run move_thread_127()
            while (True):
                sleep(1.0E-10)
                if (move_thread_flag_127 > 1):
                    join move_thread_han_127
                    break
                end
            sync()
            end
            SubProgram_1()
            movel(pose_trans(pose_2, pose_trans(pose_inv(p[.294739239739,
            movel(pose_trans(pose_2, pose_trans(pose_inv(p[.294739239739,
            movel(pose_trans(pose_2, pose_trans(pose_inv(p[.294739239739,
            end
            Loop_2 = Loop_2 + 1
        end
    global i_picked=i_picked + 1
    Loop_3 = 0
    while (Loop_3 < 20):
        if (L_paletti[i_picked] != 1):
            $ 137 "Pallet"
            cnt_3_x = cnt_3 % 5
            cnt_3_y = floor(cnt_3 / 5)
            pose_3 = interpolate_pose(interpolate_pose(p[.218054523110, -.
            if (cnt_3 >= 24):
                cnt_3 = 0
            else:
                cnt_3 = cnt_3 + 1
            end
            movel(pose_trans(pose_3, pose_trans(pose_inv(p[.218077663814,
            movel(pose_3, a=1.2, v=0.25)
```

KUVA 21. Poimintaohjelma malli 1 (Rönkä 2023)



```

$ 147 "Direction: Base Z+" "noBreak"
  enter_critical
  local towardsPos=calculate_point_to_move_towards(p[0.0,0.0,0.0],
  move1(towardsPos, a=1.2, v=0.25)
  move_thread_flag_147 = 2
  exit_critical
end
  break
end
  sync()
end
SubProgram_1()
  move1(pose_trans(pose_3, pose_trans(pose_inv(p[.218077663814,
  move1(pose_trans(pose_3, pose_trans(pose_inv(p[.218077663814,
  set_tool_digital_out(0, rq_get_io0_value_from_preset(3))
  set_tool_digital_out(1, rq_get_io1_value_from_preset(3))

  move1(pose_trans(pose_3, pose_trans(pose_inv(p[.218077663814,
end
  Loop_3 = Loop_3 + 1
end
global i_picked=i_picked + 1
end

```

KUVA 22. Poimintaohjelma malli 1 jatkuu (Rönkä 2023)

Kun elementti on magnetoitipaikalla robotin I/O-kortti kytkee releen kiinni, jolloin elementti magnetoituu. Kun magnetointi on tehty, elementti viedään takaisin kärryyn. Kun ensimmäinen elementti on magnetoitu, robotti toistaa saman kaikille 25 elementtipaikalle.

## 8.5 Paletointi-wizardin käyttö

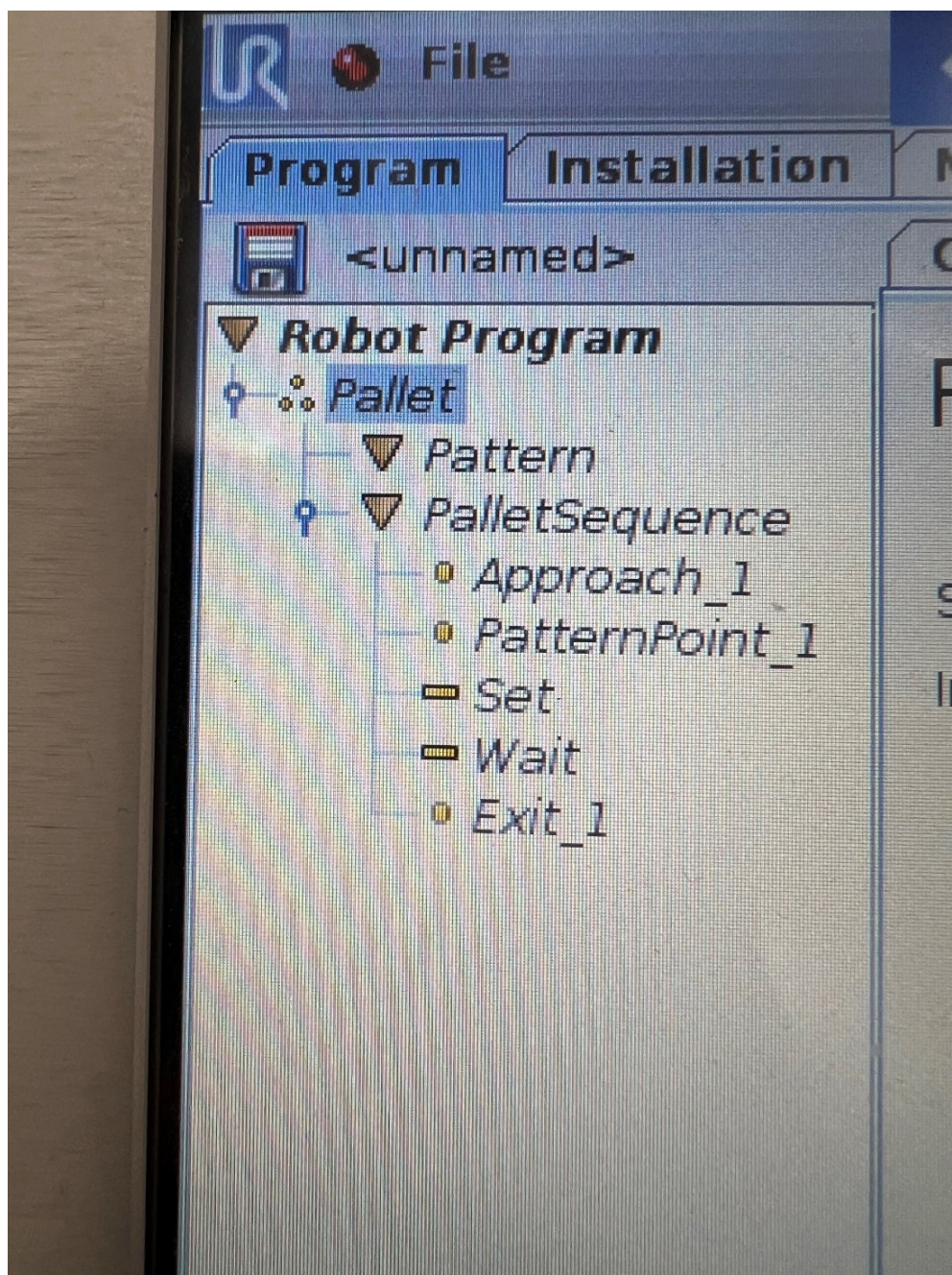
Käyttämällä valmista Universal Robotsin tarjoamaa palletizing wizardia saadaan tehtyä useamman esineen symmetrinen tarkastaminen sekä poimiminen paljon nopeammin kuin tekemällä vain normaaleja yksittäisiä paikkapisteitä. Paletointia käytettäessä on tärkeää, että paikat ovat symmetrisesti.

Ensimmäinen versio tästä ohjelmasta tehtiin tekemällä yksittäisiä paikkapisteitä, kuitenkin ohjelmaan tehtiin muutos myöhemmin, jolloin kaikki tehtävät tehtiin paletointi-wizardin avulla. Tämän ansiosta ohjelmaa saadaan jatkossa muokattua nopeammin tarvittaessa.

Kuitenkin paletointi ohjelmaa kirjoittaessa kannattaa ottaa huomioon se, että operaatio on aina tehtävä samalla tarttujan asennolla. Näin ollen kannattaa aluksi tehdä asennon tarkastus, jonka avulla voidaan päättää missä asennossa tarttujan on oltava, jotta operaatio saadaan tehtyä onnistuneesti.

Paletointiohjelman pohjasta voidaan muokata itselle sopiva. Siinä on kuitenkin valmiiksi kolme määriteltävää paikkapistettä sekä "set"- ja "wait"-komennot. "Approach" paikka pisteellä voidaan määritellä esimerkiksi poimimista varten paikkapiste, jonka kautta robotti lähestyy tartuntapistettä. "Exit"-

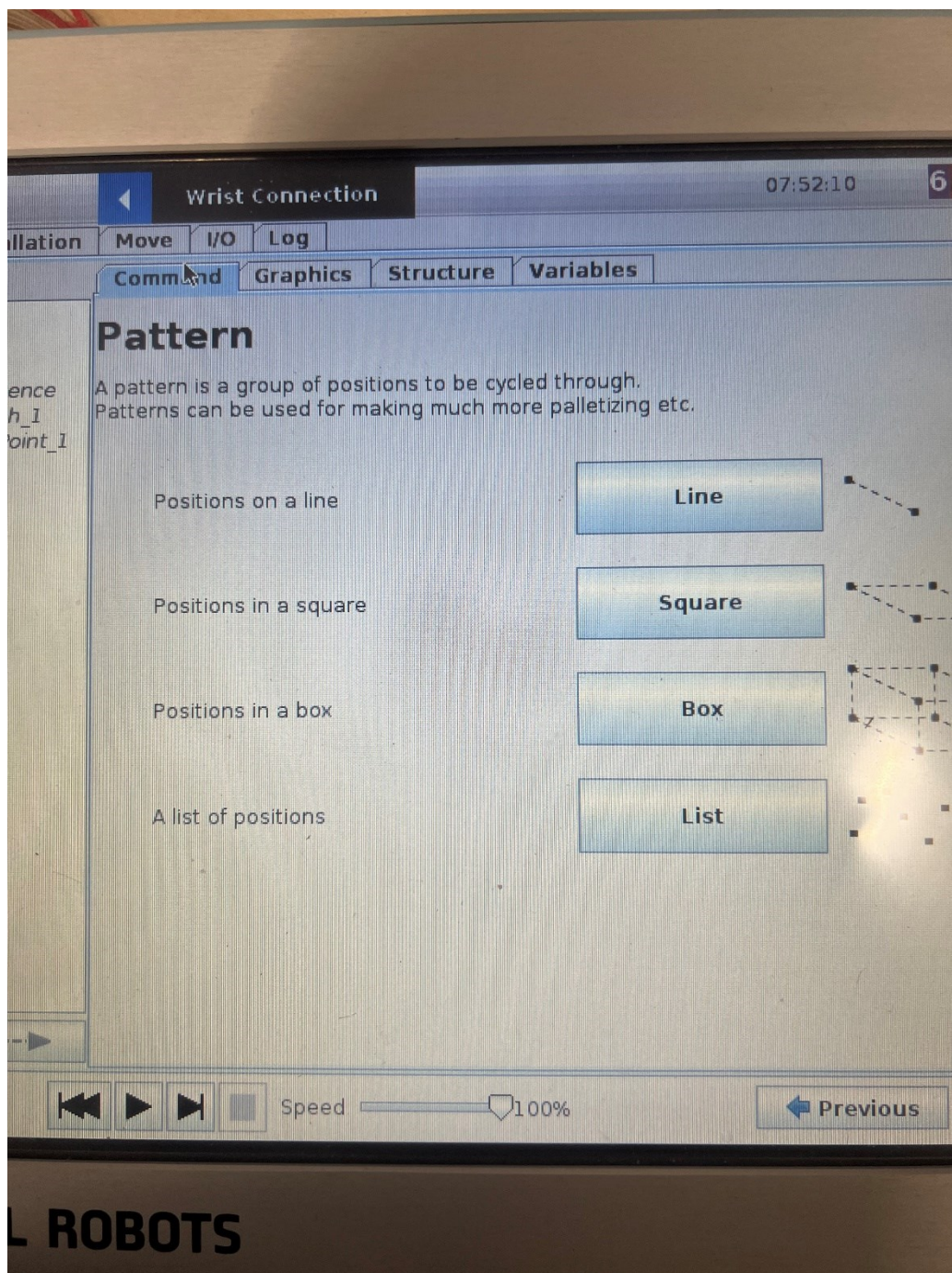
piste toimii samalla idealla mutta poistumista varten. "Patternpoint" pisteeseen määritellään ensimmäinen poimintapiste. Ohjelmapohjasta esimerkki kuva 23.



KUVA 23. Paletointiohjelman pohja (Rönkä 2023)



Paletointi ohjelmaa tehdessä voidaan määrittellä muoto, jossa paletointi tehdään. Linja vaihtoehdolla saadaan tehtyä yksinkertainen linja, jonka pääpisteet määritellään sekä kerrotaan, kuinka monta pistettä näiden pääty pisteiden sisälle sijaitsee, jonka jälkeen robotti osaa paikat. Neliö sekä laatikko vaihtoehdoilla saa määriteltyä nelikulmaisia alueita, joille ilmoitetaan kuinka monta pistettä, minnekin suuntaan on. Listamuuttujaa voidaan käyttää, jos pisteet ovat epäsymmetrisesti. Paletointiohjelman muodoista vaihtoehdot kuvassa 24.



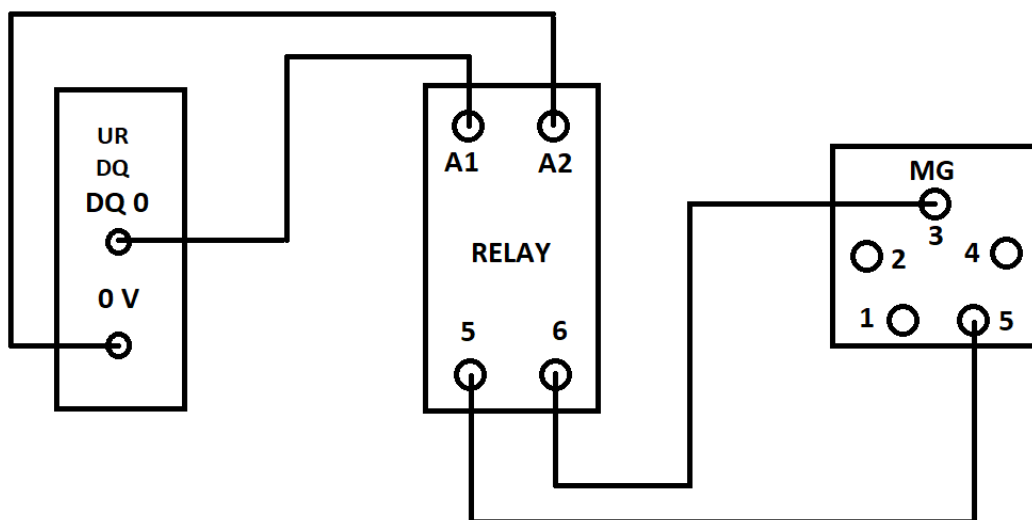
KUVA 24. Paletointiohjelman muoto vaihtoehdot (Rönkä 2023)

## 9 KYTKENTÄKAAVIO

Tässä kappaleessa käsitellään työhön liittyvät kytkentäkaaviot. Kytkentäkaavioita on magnetointilaitteen kytkennästä sekä optisen anturin liitännästä (OJ5037).

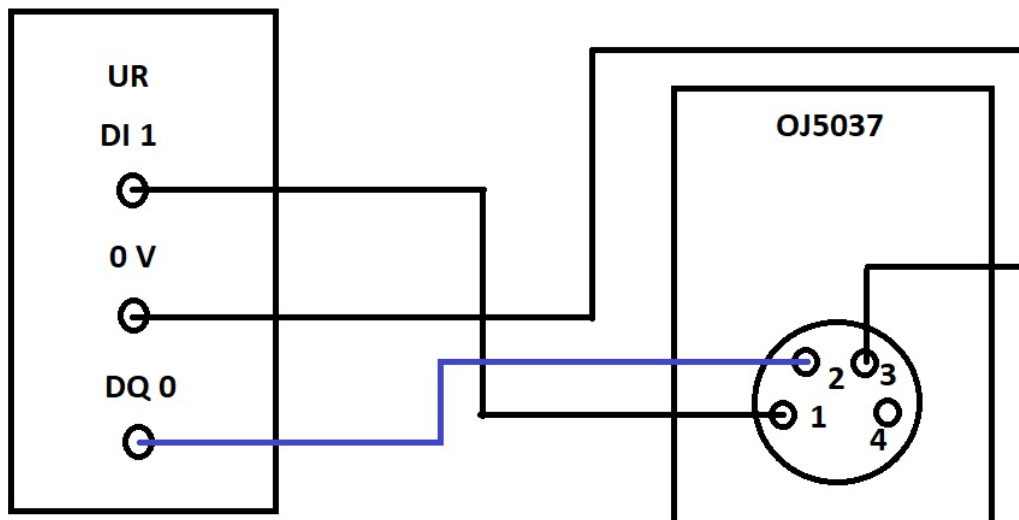
Kuvassa 25 esitetään magnetointiliitännän kytkentäkaaviota. Kytkennän avulla saadaan robotin digitaalisella ulostulolla käytettyä magnetointilaitetta ilman, että käyttäjän tarvitsee olla painamassa nappia.

Laitteen toiminta perustuu siihen, että laitteen latauduttua digitaalinen ulostulo 0 menee johtavaan tilaan, jonka ansiosta rele alkaa vetää. Kun rele on vetävässä tilassa magnetointilaitteelta, tuleva jännite pääsee releestä läpi ja näin ollen magnetointilaitteelle takaisin. Tämän seurauksena magnetointi tapahtuu.



KUVA 25. Kytkentäkaavio 1 (Rönkä 2023)

Kuvassa 26 esitetään optisen sensorin kytkentäkaaviota. Optinen sensori on kytketty robottiin, jonka ansiosta työssä voidaan tarkastaa ensiksi tasolta elementtien määrä. Tämän ansiosta robotti ei poimi elementtejä turhaan tasolta.



KUVA 26. KytKentäkaavio 2 (Rönkä 2023)

## 10 TYÖN TULOKSET

Tässä kappaleessa käsitellään työn tuloksiin liittyviä asioita, kuten työn onnistumista sen eri osa-alueilla.

### 10.1 Ajansäästö

Työstä tuloksena tulleen robotin ansiosta työntekijöiltä väheni magnetointiin käytettävä työaika huomattavasti. Lisäksi työntekijät kokivat robotin hyödyllisenä apuvälineenä työntekemiseen, joten sen vastaanotto oli positiivinen sekä halu opetella vastaavien laitteiden käyttöä jatkossakin lisääntyi.

Kun robotti saadaan käyttöön täysin, ajankäyttö magnetointiin vähenee huomattavasti, sillä robotti voi suorittaa operaationsa yksin sillä aikaa, kun työntekijä pystyy tekemään muita työtehtäviä.

### 10.2 Ohjelman helppokäyttöisyys

Ohjelman tekemiseen edellytyksenä oli se, että kaikkien työntekijöiden on osattava käyttää ohjelmaa. Aloitin siis ohjelman kirjoittamisen siitä, että tein todella yksinkertaisesti käytettävän

ohjelmapohjan. Ohjelman käynnistämisvaiheessa työntekijä käynnistää robotin, jonka jälkeen oikea robottiohjelma aukeaa automaattisesti. Käyttäjän tulee valita ainoastaan halutun magnetoitavan elementin malli, jonka jälkeen robottiohjelma tekee kaiken automaattisesti.

### 10.3 Ohjelman toimivuus

Ohjelma toimi hyvin sekä oli luotettava. Kun robotti otettiin käyttöön, tehtiin aluksi koeajoja, joissa käyttäjä kirjoitti ajon jälkeen ylös, onnistuiko ohjelman ajo ja jos tässä oli joku vika niin mistä se johtui. Näiden testien aikana todettiin todella vähän ongelmia. Kuten alla olevasta taulukosta (taulukko 4) nähdään, niin koneen testikäytössä ei ongelmia huomattu.

TAULUKKO 4. Seuranta (Rönkä 2023)

	Magnetointi robotti seuranta				
	Elementtien määrä	Malli 1	Malli 2	Malli 3	Onnistuminen?(K/E)
1	10			x	K
2	10			x	K
3	20		x		K
4	20		x		K
5	10			x	K
6	10			x	K
7	10			x	K
8	9			x	K
9	5 x				K
10	20		x		K
11	4		x		K
12	10			x	K
13	10			x	K
14	10			x	K
15	10			x	K
16	2			x	K

### 10.4 Kobotin käyttö tässä aplikaatiossa

Tässä aplikaatiossa kobotti oli oikea valinta, sillä näin ollen saadaan vähennettyä tilaa, jonka robotti tarvitsee. Lisäksi nyt työalueella pystyy helposti työskentelemään silloin kun robotti ei ole käytössä tai halutaan muusta syystä tehdä magnetoinnit manuaalisesti.

### 10.5 Kommentit käyttäjiltä

Robotin käyttäjiltä kerättiin kommentteja robotin toiminnasta sekä sen käytettävyydestä. Näillä halutaan saada aidot kokemukset robottien käytöstä tällaisissa tilanteissa.

Kommentit olivat seuraavanlaisia:

-”Robotti on toiminut hyvin ja sen tehdessä magnetointia itse voi tehdä muuta.”

-”Robotti on toiminut hyvin.”

-”Robotti toimii hyvin ja on vapauttanut työaikaa muuhun.”

Kommenttien perusteella käyttäjät ovat siis tyytyväisiä toteutettuun työhön.

## 10.6 Jatkokehitys

Jatkossa tässä sovelluksessa käytettyä robottia yritetään soveltaa muihinkin käyttöihin. Lisäksi jatkossa harkitsemme tiedonsiirtämistä OPC UA:n yli. Tiedonsiirto tehtäisiin ensin robotilta PLC:lle ja tästä yrityksen serverille, josta tarvittaessa tiedot saadaan tuotua ohjelmille, jolla esimerkiksi työnjohto saa seurattua magneitoituja määriä sekä käytettyjä aikoja.

Käyttäjiltä tuli idea kärrypalettia varten, jolloin elementit istuisivat paremmin sekä niitä mahtuisi mahdollisesti enemmän kuin nyt. Isompia elementtimalleja mahtuu tällä hetkellä palettiin vain 10.

## 11 TYÖSSÄ TODETUT ONGELMAT

Työn toteutuksessa suurin ongelma tuli aikataulun kanssa, sillä jouduin teon aikana yllättäen leikkaukseen, joka viivästytti työn tekemistä. Lisäksi työtä viivästytti kobotin yhden servomoottorin sensorin rikkoutuminen, jonka seurauksena kobotti jouduttiin toimittamaan huoltoon sekä ohjelmaa täytyi tämän jälkeen muokata.

Työssä todettiin kiitettävän vähän ongelmia ja lähes kaikki niistä saatiin ohitettua suunnittelemalla asiat toisella tavalla. Ongelmia työssä tuotti magnetointilaitteessa olevan remote-liitännän toiminta.

Työn suunnittelu vaiheessa oletettiin liitännän olevan samanlainen kuin yrityksen toisessa laitteessa. Kuitenkin testiajoa tehtäessä liitäntä ei toiminut. Magnetointilaitteen avauksen jälkeen selvisi, että remote liitäntään tulikin vain magnetointinapin johdot, eikä magnetointilaitteen valmiuden kertovia johtoja. Tämän seurauksena muutimme liityntää lähettämään ainoastaan magnetoinnin signaalin. Kuva 27 on otettu remote liitännästä.

Työn tarkastus vaiheessa tämän seurauksena täytyi kiinnittää erityistä huomiota siihen, että magnetointi käämi ehtii latautua kobotin tehdessä normaalia sykliänsä.



KUVA 27. Remote liitäntä (Rönkä 2023)



## 12 TYÖSSÄ TODETUT ONNISTUMISET

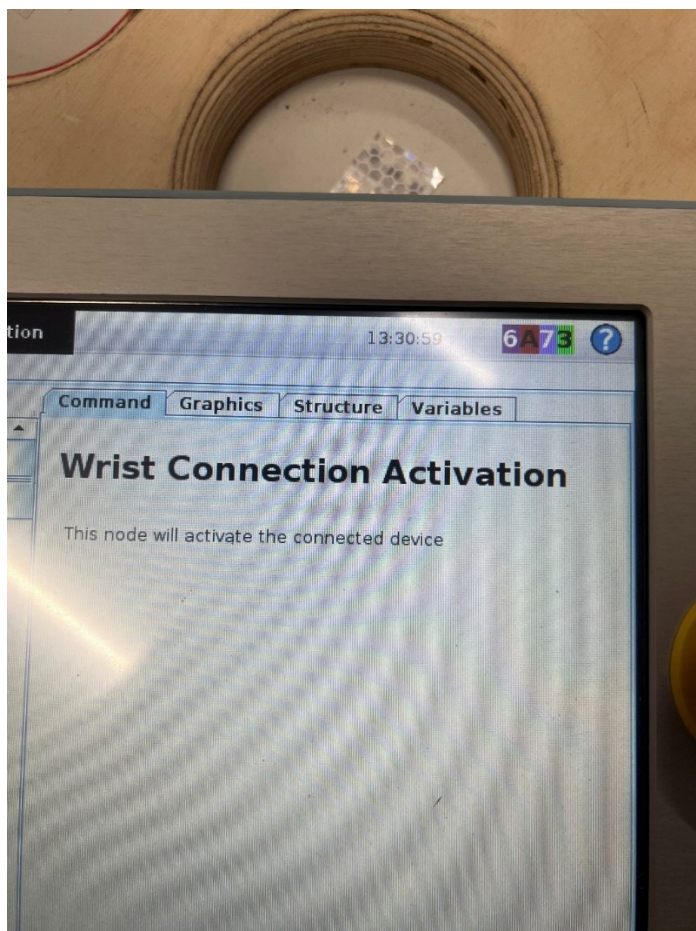
Työssä onnistuneita asioita oli todella paljon. Seuraavassa kappaleessa listattuna työssä onnistuneet asiat sekä niiden käsittely.

### 12.1 Ohjelmat

Työssä isossa osassa on ohjelman toiminta. Ohjelma toimi käytössä juuri niin kuin sen oli suunniteltu tekevän. Ohjelma oli käyttäjien mielestä helppo sekä sujuva käyttää eikä siinä ollut sekavia kohtia, joiden kanssa olisi tullut ongelmia.

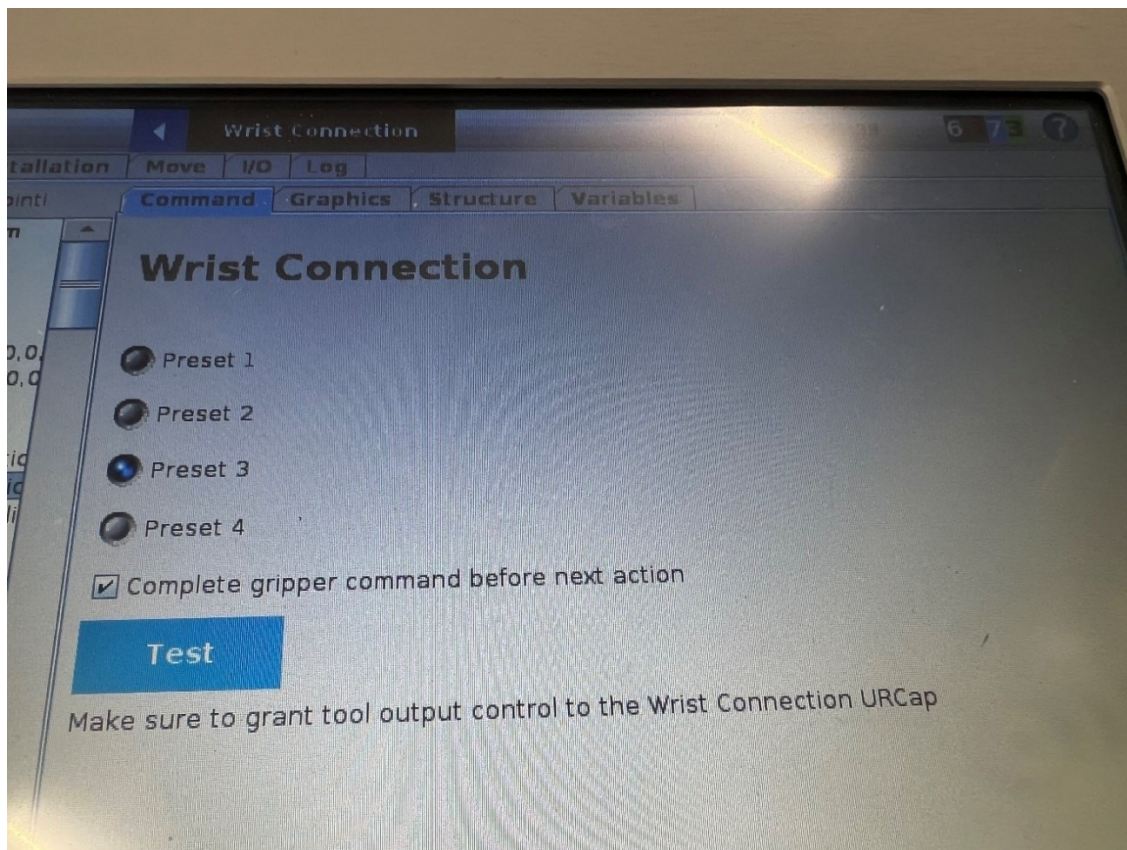
### 12.2 Tarttujan valinta

Projektiin valikoitui Robotiqin 2F-140 tarttuja, sillä tämä oli harvoja tarttujia, jotka avautuivat tarpeeksi paljon tähän käyttötarkoitukseen sekä oli omaisuuksiltaan sopiva. Tarttujassa on "sormet", jotka joustavat esimerkiksi osuessaan johonkin. Tästä ominaisuudesta on hyötyä, kun käsittelemme herkkiä elementtejä. Tarttujaa käyttäessä on kuitenkin tärkeää muistaa laittaa ohjelman alkuun "wrist connection activation" ohjelma, jolla tarttuja aktivoi itsensä. Ilman tämän lisäämistä tarttuja ei ole aktivoitu ja ei esimerkiksi pysty tarttumaan. Aktivoinnista kuva 28.



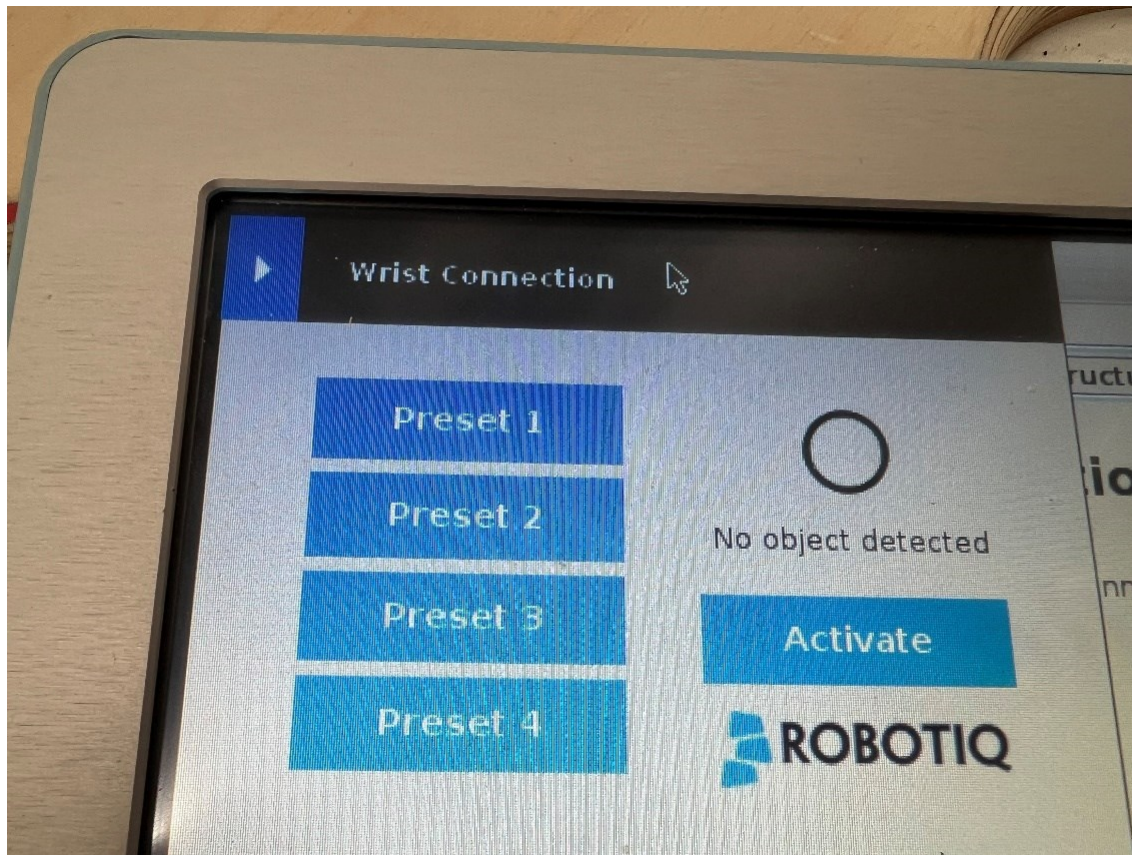
KUVA 28. Wrist connection activation "ohjelma" (Rönkä 2023)

Tarttujan sormet osoittautuivat hyväiksi, sillä ne olivat pitkät sekä kumimaista materiaalia, jolloin elementin luiskahtaminen tarttujasta ei tapahdu helposti. Lisäksi tarttujalle oli helppoa asettaa 4 eri tarttunta preset-asetusta, joihin saatiin määriteltyä tarttumisen määrä prosentteina sekä voiman käyttö. Näin ollen kaikille elementeille saatiin määriteltyä omat profiilit. Tämän ansiosta ohjelmointi oli nopea tempoista. Preset-asetuksista kuva 29.



KUVA 29. Tarttujalle tehdyt preset-asetukset (Rönkä 2023)

Tarttujan testikäytössä helpottaa UR:n näytölle tuleva paneeli, josta saadaan valittua mikä preset-asetus halutaan käyttöön. Näin ollen tarttujan säätäminen kesken ohjelmoinnin nopeutuu todella paljon. Paneelista kuva 30.



KUVA 30. Profiilien valinta yläpaneelista (Rönkä 2023)

### 12.3 Paikoitus

Elementtien paikoitus onnistui kätevästi kärryyn puulevyllä, johon tehtiin elementeille sopivat reiät. Kuitenkin jatkokehitystä varten alusta voisi olla esimerkiksi jonkinlaista muovia, jotta elementit luisuvat hieman paremmin osuessaan hieman tähän. Elementtien magnetisointilaite täräyttää elementtiä hieman, joten paikoitusta ei voi tehdä aivan millien tarkkuudella mutta kuitenkin tarpeeksi tarkasti tätä käyttöä varten.

## 13 LAITTEISTON TURVALLISUUS

Laitteistossa tulee ottaa huomioon standardien määrittämät asiat turvallisuuden kannalta. Laitteistolle täytyy suorittaa riskiarviointi sekä CE-merkinnän hyväksyntä, jotta laitteistoa voidaan käyttää tuotannon yhteydessä.

Standardeja, joita työssä noudatetaan, on muun muassa:

EN ISO 13849:2008 PL d

EN ISO 10218-1:2011

ISO/TS 15066:2016

Laitteiston turvallisuus ympärillä oleville henkilöille on asetettava pääprioriteetiksi työn testaus ja käyttöönottovaiheessa. Näin ollen turvallisuusriskejä havaittaessa on niihin puututtava välittömästi. Lisäksi työtekijöiden ohjeistus laitteiston käyttöön on tärkeää, jotta voidaan välttää ylimääräiset riskit.

### 13.1 Riskiarvioinnin tekeminen

Riskiarviointiin liittyy ensiksi tehtävä riskienkartoitus, jonka jälkeen riskit voidaan arvioida vakavuusasteikolla. Riskiarviointi sekä muu CE-merkintään liittyvä selvittäminen tehdään työn jatkovaiheena.

## 14 ROBOTTISOLUN HUOLTOON LIITTYVÄT ASIAT

Robottisolun huolto-ohjelma täytyy tehdä robottisolun valmistumisen yhteydessä. Näin ollen ennakkoiva huolto voidaan aloittaa heti ja kunnosta johtuvia vikatilanteita saadaan karsittua mahdollisimman paljon pois.

Robottisolussa ei ole hirveästi huollettavia osia mutta yleistä kulumista on silti syytä tarkkailla robotin normaalin käytön yhteydessä. Lisäksi robotille tulee suorittaa valmistajien huolto-ohjeiden mukaiset huoltotoimet.

## 15 VASTAUKSET EETTISIIN KYSYMYKSIIN

### 15.1 Onko automatisointi oikein työntekijän näkökulmasta?

Työstä annettiin ennen automaation tekemistä palautetta, että työ on puuduttavaa ja turhan tuntuista, joten automaatiota lähdettiin tekemään työntekijän työn mielekkyyden parantamiseksi sekä jalostavan työn lisäämiseksi. Jos työntekijästä tuntuu, että hänen tekemä työ on turhaa tai puuduttavaa laskee se yleistä työtehokkuutta, jolloin myös muiden työvaiheiden tekemisen laatu laskee ja lopputuotteen laatu mahdollisesti laskee. Työntekijöiden osaaminen kehittyy työskennellessä robotien kanssa, sillä he oppivat käyttämään uudenlaista laitteistoa.

### 15.2 Seuraako työn automatisoinnista lisää päästöjä tai saasteita?

Työn automatisoinnista syntyy päästöjä vain sähkönkulutuksen kautta, sillä laitteistoon ei ole liitetynä mitään lisälaitteita, jotka aiheuttaisivat päästöjä ilmastolle. Päästöjä ennen automatisointia ja automatisoinnin jälkeen voidaan verrata laskemalla robotin kuluttama sähkö.

Sähkönkulutuksen määrää laskettaessa käytettiin yritykselle luottamuksellisia tietoja elementtien määristä sekä malleista.

UR sähkönkulutus		200W
Sähkönkulutus (robotti)	Sähkönkulutus vuodessa(kWh)	
<b>Malli 1</b>	8,56	
<b>Malli 2</b>	9,97	
<b>Malli 3</b>	6,93	
<b>Yhteensä(kWh)</b>	25,46	

Magnetointilaitteen sähkönkulutus		150W
Sähkönkulutus(magnetointilaitte)	Sähkönkulutus vuodessa (kWh)	
<b>Malli 1</b>	6,42	
<b>Malli 2</b>	7,48	
<b>Malli 3</b>	5,20	
<b>Yhteensä(kWh)</b>	19,09	

Sähkönkulutuksesta voimme nähdä, että kulutus hieman yli kaksinkertaistuu. Kuitenkin käytetty sähkön määrä on todella pieni, kun otetaan huomioon koko vuosittaisen sähkönkulutuksen



teollisuudenalalla. Vertailukohtana esimerkiksi tunnin saunominen omakotitalossa kuluttaa sähköä noin 6–9 kWh.

## 16 TYÖN ONNISTUMISEEN LIITTYVÄT KYSYMYKSET

### 16.1 Vapauttaako robotti aikaa työntekijöiltä?

Kyllä. Robotin käyttöönoton jälkeen työntekijöille on jäänyt magnetoinnin ajaksi aikaa hoitaa muita työtehtäviä. Työntekijöiden sanojen mukaan nyt he voivat viedä elementit magnetoitavaksi samalla kun tekevät muuta, jolloin magnetoinnille ei tarvitse enää varata aikaa.

### 16.2 Onko laitteen käyttö tarpeeksi yksinkertaista?

Kyllä. Elementtialueen työntekijöiltä saaman palautteen mukaan laitteen käyttö on helppoa ja sulaavaa, joten sen käyttöönotto luonnistuu hyvin ohjeistuksen avulla. Kun laitteen käyttö on ker-  
ran neuvottu laitteen käyttäjille, he osaavat itseksensä käyttää laitetta.

### 16.3 Onnistuiko laitteiston suunnitteluvaihe hyvin?

Kyllä. Suunnitteluvaiheessa otettiin hyvin huomioon mahdolliset työn vaikeat kohdat, jonka seurauksena työn aikana ei tullut suuria vastoinkäymisiä, joita ei ollut ennakoitu. Suunnitteluvaiheessa ainut tapahtunut ongelma oli optisen sensorin kiinnitys, sillä sitä ei ollut suunniteltu etukäteen mutta onneksi se onnistu helposti jällempäin.

### 16.4 Onko robotista hyötyä työn ergonomiaan?

Robotista on hyötyä työn ergonomiaan. Ennen robotin käyttöönottoa työntekijän täytyi nostaa elementti laitteelle useasti, joka oli toistuva rasittava liike. Työntekijöiltä saaman palautteen mukaan ennen työn automatisointia heidän kätensä saattoi puutua, sillä jatkuva ylöspäin nostaminen rasitti kättä. Automatisoinnin jälkeen ainut työ, jossa nostavaa liikettä täytyy tehdä, on elementtien nostaminen kärrylle. Tämä liike kuitenkin täytyi tehdä aikaisemminkin.

## 17 YHTEENVETO

Työn tekeminen onnistui todella hyvin. Työssä suurimpia hankaluuksia tuottivat magnetointilaitteelle tehtävät liitännät, jotka olivat erilaisia kuin alun perin suunniteltiin. Kuitenkin liittimen muuttaminen toimivaksi oli todella nopea ja helppo työ.

Opin itse työn tekemisestä paljon. Opin automaationsuunnittelua, robottisolun toteutusta sekä niiden lopullista testaamista sekä turvallisuuden tarkastelua. Työssä isossa osassa oli robotin ohjelmointi. Tästä itselläni oli hiukan kokemusta aikaisemmin, kuitenkin työssä pyrin viemään ohjelmointia syvällisemmäksi käyttämällä hiukan vaikeampia ohjelmaratkaisuja. Tämän avulla oli mahdollista tehdä ohjelmasta hieman helpompi robotin keskusyksikölle. Lisäksi opin jatkoa varten paljon dokumentoinnista sekä koneen tuotantoon tuomisesta.

Yritys, johon työn tein on itselleni tuttu ennestään, jonka ansioista oli helppoa saada apua työn suorittamiseen sekä sen suunnitteluun. Tämän ansioista työni eteni todella sujuvasti. Yritys on todella mielenkiintoinen, sillä olen itse todella kiinnostunut äänentoistosta sekä automaatiosta, joten pääsen työssä yhdistämään molemmat.

Työni etenemisessä suurimmat ongelmat olivat oma vähäinen käytettävä työaika työn alkuvaiheessa sekä pitkät laitteiston toimitusajat. Työn loppupuolella opinnäytetyön kirjoittamista hidasti loukkaantumiseni, jonka seurauksena opinnäytetyön julkistaminen viivästyi.

Jos toteuttaisin työn uudestaan, käyttäisin ohjelmapohjana heti alusta asti valmiita paletointipohjia. Lisäksi harkitsisin toisen yhteistyörobotin valmistajan laitteistoa.

## 18 LÄHDELUETTELO

Blueplan julkaisuaika tuntematon. Robottisolun riskiarviointi. Verkkajulkaisu. <https://www.blueplan.fi/shop/koneturvallisuus-palvelut/robottisolun-riskinarviointi/>. Viitattu 18.10.2023.

Easy robotics julkaisuaika tuntematon. Verkkajulkaisu. <https://easyrobotics.biz/product/profeeder-flex/>. Viitattu 21.2.2023.

Genelec julkaisuaika tuntematon. The ones. Osoitteesta <https://www.genelec.fi/theones>. Viitattu 15.6.2023.

Genelec julkaisuaika tuntematon. Smart Active Monitor (SAM™) Systems. Verkkajulkaisu. <https://www.genelec.com/key-technologies/smart-active-monitor-systems> Viitattu 18.10.2023.

Helsingin Sanomat. Julkaistu 6.3.2023. Juuret tiukasti Iisalmen mullassa – ”Emme ole jääneet yksittäisen keksinnön varaan”. Verkkajulkaisu. Valokuva. Osoitteesta <https://www.hs.fi/mainos/genelec/art-2000009426496.html>

Helsingin Sanomat. Julkaistu 6.3.2023. Juuret tiukasti Iisalmen mullassa – ”Emme ole jääneet yksittäisen keksinnön varaan”. Verkkajulkaisu. Käytetty lähteenä. <https://www.hs.fi/mainos/genelec/art-2000009426496.html>. Viitattu 18.10.2023.

Hifi kulma julkaisuaika tuntematon. Genelec. Verkkajulkaisu. <https://www.hifikulma.fi/genelec>. Viitattu 18.10.2023.

Hifi kulma julkaisuaika tuntematon. Valokuva. <https://www.hifikulma.fi/Genelec-7270A>. Viitattu 18.10.2023.

Hifi Studio julkaisuaika tuntematon. Valokuva. <https://hifistudio.fi/collections/myydyimmat-tuotteet?page=27>. Viitattu 6.11.2023.

Machine Tool julkaistu 23.11.2022. Verkkajulkaisu. <https://www.machinetool.fi/blogi/kuinka-kannustaa-henkilostoa-ottamaan-kaikki-irti-yhteistyörobotiikasta>. Viitattu 22.5.2023.

Machine Tool julkaisuaika tuntematon. Yhteistyörobotit vastaan teollisuusrobotit. Verkkajulkaisu. [https://www.machinetool.fi/blogi/yhteisty%C3%B6robotit-vastaan-teollisuusrobotit?utm\\_medium=ppc&utm\\_campaign=Robotiikka&utm\\_source=adwords&utm\\_term=&hsa\\_net=adwords&hsa\\_ver=3&hsa\\_cam=1771068848&hsa\\_kw=&hsa\\_ad=591648444195&hsa\\_src=g&hsa\\_tgt=dsa-1669907190154&hsa\\_grp=136734276473&hsa\\_mt=&hsa\\_acc=9878829649&gclid=EAiaIQob-ChMIqPO6x\\_r-gQMVkU-RBR1NBwXpEAAAYASAAEgI2f\\_D\\_BwE](https://www.machinetool.fi/blogi/yhteisty%C3%B6robotit-vastaan-teollisuusrobotit?utm_medium=ppc&utm_campaign=Robotiikka&utm_source=adwords&utm_term=&hsa_net=adwords&hsa_ver=3&hsa_cam=1771068848&hsa_kw=&hsa_ad=591648444195&hsa_src=g&hsa_tgt=dsa-1669907190154&hsa_grp=136734276473&hsa_mt=&hsa_acc=9878829649&gclid=EAiaIQob-ChMIqPO6x_r-gQMVkU-RBR1NBwXpEAAAYASAAEgI2f_D_BwE). Viitattu 22.5.2023.

OAMK julkaisuaika tuntematon. Mitä ovat cobotit. Verkkajulkaisu. <https://www.oamk.fi/fi/tutkimus-ja-kehitys/tki-ja-hanketoiminta/rokka/rokka-mita-ovat-cobotit>. Viitattu 18.10.2023.

Omron julkaisuaika tuntematon. Collaborative robots. <https://industrial.omron.fi/fi/products/collaborative-robots>. Viitattu 22.5.2023.



Power julkaisuaika tuntematon. Valokuva. <https://www.power.fi/tv-ja-audio/hifi-kodin-aanentoisto/kaiuttimet-ja-subwooferit/subwoofer/genelec-f-one-b-subwoofer-valkoinen/p-1035422/>. Viitattu 18.10.2023.

Probot julkaisuaika tuntematon. Valokuva. <https://probot.fi/>. Viitattu 18.10.2023.

Robotiq Julkaisuaika tuntematon. Adaptive robot gripper. <https://ro-botiq.com/products/2f85-140-adaptive-robot-gripper>. Viitattu 21.2.2023.

SFS julkaistu 2023. Safety of machinery. Safety-related parts of control systems. Part 1: General principles for design (ISO 13849-1:2023). Verkkojulkaisu. <https://sales.sfs.fi/en/index/tuotteet/SFS/CENISO/ID2/1/1294785.html.stx> Viitattu 18.10.2023.

SFS julkaistu 2013. Robotit ja robotiikkalaitteet. Turvallisuusvaatimukset. Osa 1: Teollisuusrobotit. Verkkojulkaisu. <https://sales.sfs.fi/en/index/tuotteet/SFS/CENISO/ID2/1/235190.html.stx> Viitattu 18.10.2023.

SFS julkaistu 2016. Robots and robotic devices — Collaborative robots. Verkkojulkaisu. <https://sales.sfs.fi/en/index/tuotteet/ISO/ISO/ID9998/1/402851.html.stx> Viitattu 18.10.2023.

SFS julkaistu 2011. Safety of machinery. General principles for design. Risk assessment and risk reduction (ISO 12100:2010) Verkkojulkaisu. <https://sales.sfs.fi/en/index/tuotteet/SFS/CENISO/ID2/1/164706.html.stx> Viitattu 18.10.2023.

Tukes julkaisuaika tuntematon. CE-merkintä. <https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/ce-merkinta#cb5f5cbb>. Viitattu 10.5.2023.

Universal Robots julkaisuaika tuntematon. Verkkojulkaisu. [https://www.universal-robots.com/media/50588/ur5\\_en.pdf](https://www.universal-robots.com/media/50588/ur5_en.pdf). Viitattu 21.2.2023.