

Juho Pasma

**LED-VALAISIMEN
AUTOMATISOINTI**

KOKOONPANOTYÖVAIHEEN

**LED-VALAISIMEN
AUTOMATISOINTI**

KOKOONPANOTYÖVAIHEEN

Juho Pasma
Opinnäytetyö
2018
Kone- ja tuotantotekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka, koneautomaatio

Tekijä: Juho Pasma
Opinnäytetyön nimi: LED-valaisimen kokoonpanotyövaiheen automatisointi
Työn ohjaaja: Timo Väyrynen
Työn valmistuslukukausi ja -vuosi: kevät 2018
Sivumäärä: 32 + 0 liitettä

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin Ledistys Oy:n LED-valaisinten kokoonpanotyövaiheen automatisointia joustavaa automaatiosovellusta hyödyntäen. Sovelluksessa tahdottiin käyttää Universal Robotsin valmistamaa UR10-yhteistyörobotia, jonka ympärille rakennettiin proof of concept -prototyypilaitteisto. Proof of concept -laitteiston valmistumisen tavoitteeksi asetettiin vuoden vaihde 2017–2018. Laitteiston tuli poimia LED-piirikortteja valmistajan toimituspakkauksesta ja asettaa ne alumiiniprofiiliin valaisinten vaatimusten mukaisesti.

Työ suoritettiin osana Oulun ammattikorkeakoulun Tuottavuutta joustavalla automaatiolla -hanketta, joka tunnetaan myös nimellä TEHOJA-hanke. Käytettävissä olivat hankkeen erinomaiset tutkimustilat ja laitteet, UR5- ja UR10-robotit sekä niiden erilaiset lisälaitteet ja tarttujat. Työn yhteydessä tutustuttiin roboteissa sovellettaviin alipainetartunnan tekniikoihin. Tarttujista rakennettiin prototyyppisiä ja haettiin sopivaa tartuntamateriaalia. Työhön kuului myös olennaisesti UR10-robotin soveltuvuuden tutkiminen annetussa tehtävässä.

Valmis proof of concept -laitteisto esiteltiin tilaajalle tammikuun 2018 alussa. Laitteistolla pystyttiin suorittamaan haluttu työvaihe tilaajan antamien vaatimusten mukaisesti. UR10-robotin todettiin olevan sovellettavissa valaisimien kokoonpanoon. Muu laitteisto antoi viitettä tuotannossa tarvittavista lisälaitteista. Yhteistyörobotin käyttö tuotannossa mahdollistaa ihmisen vapauttamisen yksitoikkoisista työtehtävistä. Robotti voidaan integroida myös useaan työpisteeseen, jolloin se on tuotannollisesti mahdollisimman tehokas, kun turhat seisonta-ajat voidaan välttää.

Asiasanat: yhteistyörobotiikka, automaatio, tarttuja, alipaine, prototyyppi

ALKULAUSE

Tämä opinnäytetyö tehtiin tiukalla aikataululla ja hyvin itsenäisesti. Käytännön tekeminen päästiin aloittamaan lokakuun puolivälissä ja tarve toimivalle proof of concept -laitteistolle oli jo vuoden vaihteessa 2017–2018. Tehokasta työskentelyaikaa oli vajaa 3 kuukautta, joten tuotekehitystä ja materiaalien vertailua tehtiin ahkerasti. Laitteisto rakennettiin saatavilla olevista materiaaleista ja komponenteista toimitusaikojen välttämiseksi. Työhön liittyi runsaasti prototyyppien suunnittelua ja itsenäistä rakentamista ilman ulkopuolista avustusta.

Suurin haaste ja onnistuminen koettiin tarttujien materiaalin määrittämisessä ja löytämisessä. Haluttua EPDM-solukumia toimitettiin tarpeeseen nähden kohtuuttoman suuria määriä ja kalliiseen hintaan. EPDM-solukumia korvaavien materiaalien soveltuvuudesta käyttöön ei ollut takeita. Etsintätyön ja yrityksiin jalkautumisen jälkeen tarkoin määritelty materiaali löytyikin ironisesti paikallisyrityksen jätelavalta.

Opinnäytetyöhöni liittyen tahdon kiittää TEHOJA-hankkeen projekti-insinöörejä Lassi Kaivosojaa ja Juho Liljamaa.

Tahdon myös esittää kiitokseni ohjaavalle opettajalleni Timo Väyryselle ja koulumme opettajalle Esa Kontiolle.

Oulussa 14.6.2018

Juho Pasma

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ALKULAUSE	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	6
2 YHTEISTYÖROBOTIIKKA	7
2.1 Ominaisuudet	8
2.2 Käytettävyys ja sovellukset	8
3 UNIVERSAL ROBOTS -YHTEISTYÖROBOTTI	9
3.1 UR10	9
3.2 Käyttöliittymä ja ohjelmointi	10
4 ALIPAINEKÄYTÖT JA EJEKTORIT	13
5 AUTOMATISOINNIN TUTKIMINEN, PROOF OF CONCEPT	14
5.1 Lähtötiedot	14
5.2 Tehtävänanto ja sen rajaus	15
5.3 Automaation työkierto	15
5.4 Tartuntatekniikka	17
5.5 Tarttujat	19
5.6 Alipainelaitteisto	23
5.7 Robotin ohjelma	24
6 PROOF OF CONCEPTIN TULOKSET	26
7 YHTEENVETO	29
LÄHTEET	31

1 JOHDANTO

Ledistys Oy on Kempeleessä toimiva LED-valaisinten valmistukseen, suunnitteluun ja myyntiin erikoistunut yritys (1, linkki Yritys). Yrityksessä heräsi tarve käsin tapahtuneen LED-valaisinten kokoonpanon automatisointiin. Opinnäytetyön tehtävänannoksi muodostui LED-valaisinten tietyn kokoonpanotyövaiheen automatisoinnin tutkiminen Universal Robots -yhteistyörobottia käyttäen.

Automatisoitavassa työvaiheessa LED-kortteja poimitaan tarjottimelta ja asetetaan haluttuun alumiiniprofiiliin, josta profiili jatkaa piirikorttien ruuvaukseen. Opinnäytetyön tutkimus- ja tuotekehitystyö on tehty Oulun ammattikorkeakoulun (Oamk) Kotkantien kampuksen koneautomaation laboratoriossa. Laboratoriossa on kehitetty Ledistyksen vaatimuksia vastaava proof of concept -automaatiosovellus.

Opinnäytetyö on toteutettu osana Oulun ammattikorkeakoulun koneosaston Tuottavuutta joustavalla automaatiolla -hanketta eli TEHOJA-hanketta. TEHOJA-hankkeen tarkoituksena on saattaa yhteen opiskelijat ja Oulun paikallis- ja lähialueen yritykset tekemällä yrityksiin opiskelijaprojekteja. Projektien tavoitteena on vastata yritysten jatkuvasti kasvavaan automaation tarpeeseen kustannustehokkaasti ja joustavin automaatiomenetelmin (2, s. 3). Yritysten haasteisiin vastaamaan Oamkin Kotkantien kampukseen on perustettu siirrettävä testi- ja koulutusympäristö, koneautomaatiolaboratorio, jonka erityiskalustoon kuuluvat UR10- ja UR5-yhteistyörobotit, sekä niissä sovellettavat mekaaniset ja pneumaattiset tarttijat ja konenäkölaitteet. (2, s. 3–4; 3, s. 2.)

Usein robotisoidut teollisuuden automaatoratkaisut ovat kiinteitä ja suunniteltu kapealle tuotekirjolle, jolloin tuotteita on valmistettava suurella tuotantovolyymillä. Pienten ja keskisuurten tuotantoerien valmistamiseen tarvitaan joustavia automaatoratkaisuja, mikä käytännössä tarkoittaa kustannustehokasta ja nopeasti mukautuvaa laitteistoa.

2 YHTEISTYÖROBOTIIKKA

Perinteinen teollisuusrobotti pystyy väsymättömästi suorittamaan sille ohjelmoitua työkiertoa raskaallakin taakalla. Perinteinen robotti ei kuitenkaan tunnista törmäystään toiseen kappaleeseen tai kun jokin jää puristuksiin sen liikkeiden vaikutuksesta eikä hallitsematonta kappaleiden sinkoilua ja kipinäsuihkuja. Teollisuusrobottien parissa tapahtuvat tapaturmat ovatkin usein puristumisia. Tästä syystä teollisuusrobotit ovat käytännössä eristetty ihmisistä turva-aidoilla tai valoverhoilla. Ihmisen saapuessa robotin työalueelle robotti keskeyttää työkiertonsa tai erillisillä turvalaitteilla robotti laskee nopeutensa alle 250 mm/s:ssa. (4, s. 7–8.)

Robottisolun käynnistys uudelleen on hidasta. Pienetkin huoltotarpeet robotin läheisyydessä laskevat sen tuotannollista tehokkuutta. Robotilta vaadittava työkierto voi olla haasteellinen ja monimutkainen automatisoida, jolloin parhaaseen tulokseen päästään robotin ja ihmisen yhteistyöllä. Turvallisuuden kannalta tämä on haasteellista ja hidasta. Teollisuusrobotin ja ihmisen yhteistyö voidaan mahdollistaa esimerkiksi välitysikkunoilla, turvavyöhykkeillä ja pyöröpöydillä, joilla ihminen saadaan eristettyä robotin välittömästä läheisyydestä. Nämä vaativat aina lisärakenteita ja nielevät tuotantotilojen arvokasta lattiapinta-alaa. (4, s. 7–13.)

Teollisuusrobotti on turvalaitteineen kankea liikuteltava ja uuden työkierron ohjelmointi ja käyttöönotto vaativat kokemusta ohjelmoinnista. Robotti on käytännössä sidottu yhteen työpisteeseen, jolloin linjan käyttökatkot laskevat robotin tuotannollista tehokkuutta ja takaisinmaksuaikaa. Robotin käyttöönotto- ja hankintakustannukset sekä tuotannollinen jäykkyys nostavat robotin hankintakynnystä ja kannattavuutta. Perinteisten teollisuusrobottien haasteisiin vastaamaan on kehitetty aktiivisella voimantunnistuksella varustettuja yhteistyörobotteja (Collaborative robot, Cobot), jotka pystyvät jatkuvaan yhteistyöhön ihmisen kanssa.

2.1 Ominaisuudet

Yhteistyörobottien tarkoituksena on mahdollistaa ihmisen ja robotin välinen yhteistyö ilman jäykkiä turvavarusteita. Tämä on mahdollistettu robottien aktiivisen voiman tunnistuksella, jolloin törmätessään kappaleeseen, esimerkiksi ihmiseen, robotti pysäyttää itsensä. Tällöin vältetään vakavilta tapaturmilta ja koneturvallisuuden standardit sallivat robotin työskentelyn ihmisen välittömässä läheisyydessä. Muita yhteistyörobottien ominaispiirteitä ovat

- huomattavasti helpompi ohjelmitavuus
- helppo integroitavuus uuteen työtehtävään
- siirrettävyys työtehtävästä toiseen, monikäyttöisyys
- pieni tilantarve. (5, s.18.)

Helppo ohjelmitavuus ja käyttömahdollisuus useammassa työtehtävässä ilman kómpe-
löitä turvajärjestelmiä laskevat yhteistyörobottien hankintakynnystä ja tuovat automa-
tisoinnin myös pienempien yritysten tavoitettavaksi.

2.2 Käytettävyys ja sovellukset

Yhteistyöroboteilla voidaan vapauttaa ihminen yksinkertaisesta ja puuduttavasta työstä. Useat sovelluskohteet ovat niin sanottuja pick and place -toimintoja, kuten tuotteiden pakkaaminen liukuhihnalta laatikkoon, työkappaleiden vaihto työstökoneissa tai tuotteiden kokoaminen. Sovellukset voivat olla myös liikeratoihin perustuvia esimerkiksi hit-
saaminen, pinnoitteiden ruiskuttaminen, jäysteen poisto ja dispensointi.

Yhteistyörobotit ovat kevyitä tai muutoin helposti siirrettävissä, mikä mahdollistaa niiden integroimisen työpisteeltä toiselle. Tämä vähentää robotin seisonta-aikaa ja nostaa ro-
botin tuotannollista tehokkuutta. Robotteihin voidaan kiinnittää erilaisia tarttujia, työkalu-
ja ja konenäkölaitteita.

3 UNIVERSAL ROBOTS -YHTEISTYÖROBOTTI

Universal Robots on tanskalainen yhteistyörobottivalmistaja, jonka mallistoon kuuluu kolme erikokoista robottia UR3, UR5 ja UR10 (kuva 1). UR-robottien tunnuspiirteitä ovat 6-akselinen käsivarsirakenne, helppo ohjelmitavuus ja monikäyttöisyys. UR-robotit ovat hankintakustannuksiltaan erittäin kilpailukykyisiä perinteisiin teollisuusrobotteihin verrattuna. Edullisuuden ja monikäyttöisyyden ansiosta ne ovatkin erityisesti pienten ja keskisuurten yritysten hankittavissa. Opinnäytetyössä käytetty robotti oli tuoteperheen suurin UR10.



KUVA 1. Universal Robots UR3, UR5 ja UR10 (6, linkki products)

3.1 UR10

UR10 on Universal Robots tuoteperheen suurin robotti. Robotin teknisiä ominaisuuksia ovat

- 6 kappaletta 360° pyörivää akselia
- käyttöjännite 240 V
- toistotarkkuus $\pm 0,1$ mm
- maksimi työkuorma 10 kg
- ulottuvuus 1 300 mm
- runkomateriaalina alumiini
- robotin massa 28,9 kg. (7.)

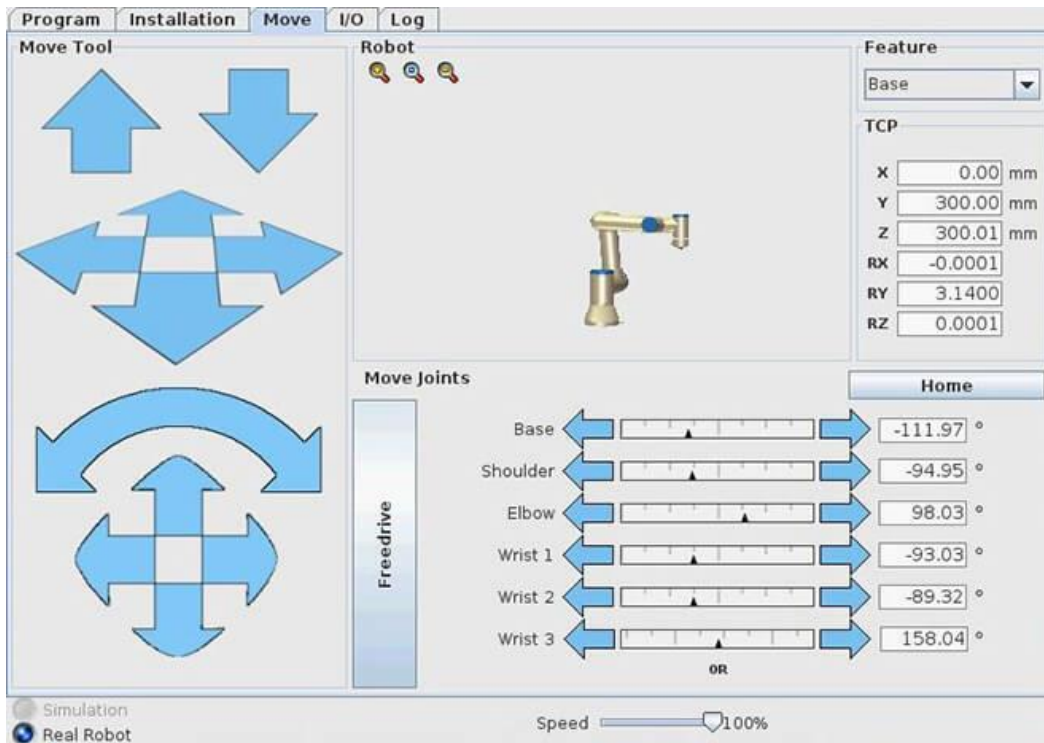
Robotin liikkeissä käyttämä maksimivoima on 150 N. Tämä on ISO 10218 -standardin asettama yläraja, mikä mahdollistaa ihmisen työskentelyn yhteistyössä robotin kanssa sen välittömässä läheisyydessä (4, s. 15; 8, s. 21). Robotin kärjessä on kiinnitysmahdollisuus eri työkaluille ja tarttujille sekä kaksi digitaalista lähtöä ja tuloa eli I/O-porttia. Kärjen virran ulosotto on 12 V tai 24 V (7).

Robotin mukana toimitetaan ohjausyksikkö (controller box), joka voidaan kytkeä verkkovirtaan. Ohjausyksikössä on 16 digitaalista tuloa ja 16 lähtöä sekä 2 analogista tuloa ja 2 lähtöä (7). Ohjausyksikköön on kaapelilla kytketty myös ohjelmointipäätte (teach pendant). Ohjelmointipäätte on kosketusnäyttö, jolla hallitaan ja ohjelmoidaan robottia. Päätteeseen voidaan liittää myös hiiri ja näppäimistö.

3.2 Käyttöliittymä ja ohjelmointi

Universal Robottien käyttöliittymä on nimeltään PolyScope (9, s.3). PolyScope on graafinen käyttöliittymä, jolla ohjelmoidaan ja hallitaan robottia ja ohjausyksikön tai robotin I/O-portteihin kytkettyjä lisälaitteita. Polyscope on suunniteltu käyttäjäystävälliseksi ja helpoksi oppia. Tätä auttavat selkeä graafinen esitys, robotin helppo liikuteltavuus ja ohjelmoinnin rakenne sekä valikosta valittavat valmiit toiminnot.

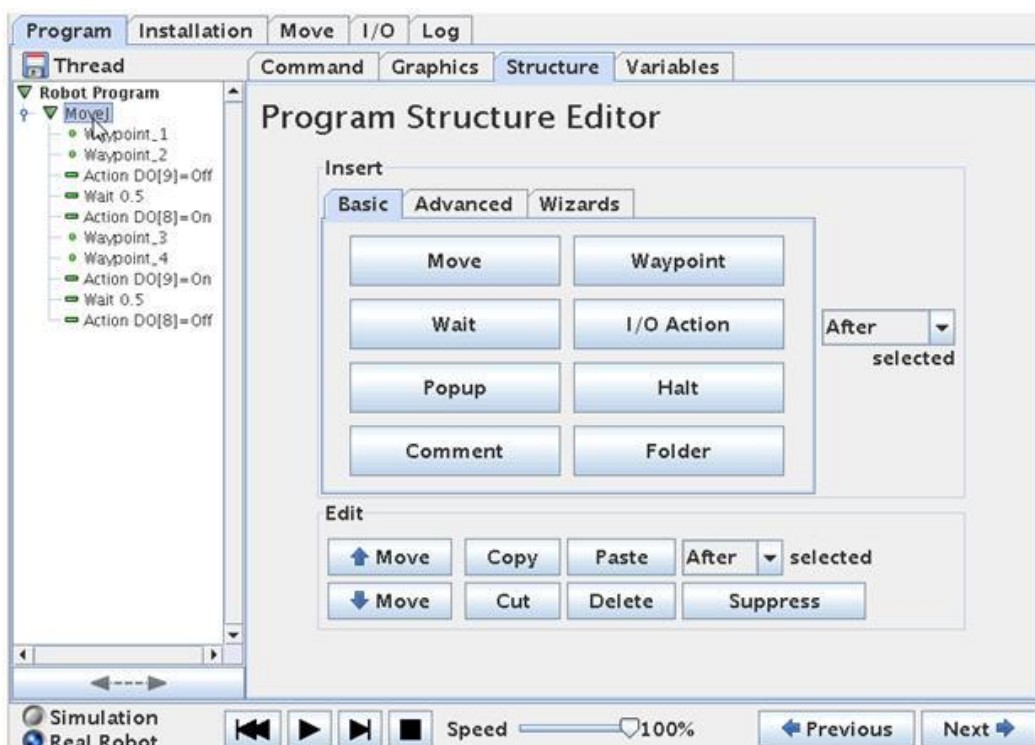
Robotin ohjelmanrunko muodostuu sille annetuista koordinaattipisteistä (waypoint), joissa robotin halutaan käyvän tai suorittavan erilaisia toimintoja. Annetuista waypointeista muodostuvat robotin liikeradat. Waypointit voidaan näyttää robotille ajamalla se haluttuun asemaan kuvan 2 nuolilla.



KUVA 2. Polyscopen grafiikkaa. Robottia voidaan ohjata kuvan nuolilla tai käsin liikuttamalla (10.)

Koordinaatisto voi olla esimerkiksi Base-tyyppinen, jolloin koordinaatisto asettuu robotin jalustan mukaan robotin seisosen sen origossa. Tool-koordinaatistossa origo on robotin tai työkalun kärjessä. Tätä on hyvä käyttää lähestyttäessä tarkasti haluttua kappaletta. Robotille voidaan määrittää myös käyttäjän omavalinnainen koordinaatisto. Tästä on hyötyä lähestyttäessä vinoja pintoja kohtisuorasti.

Universal roboteissa on käsiajotoiminto. Ohjauspäätteen käsiajokytin painetaan pohjaan, jolloin robottia ja sen niveliä voidaan liikuttaa rungosta käsin vääntämällä. Tämä on ominaisuus, joka mahdollistaa liikeratojen ja toimintojen nopean muodostamisen ja tutkimisen. Annetuissa waypointeissa voidaan suorittaa erilaisia toimintoja, kuten kytkeä päälle I/O-tuloja ja -lähtöjä lisälaitteiden käyttämiseksi (kuva 3). Ohjelmoinnin eri toimintoja voi harjoitella Universal Robotsin omassa internet-oppimisympäristössä robot academyssä, jossa ensikertalainenkin saa hyvän käsityksen ja pohjan UR-robotin ohjelmoinnista



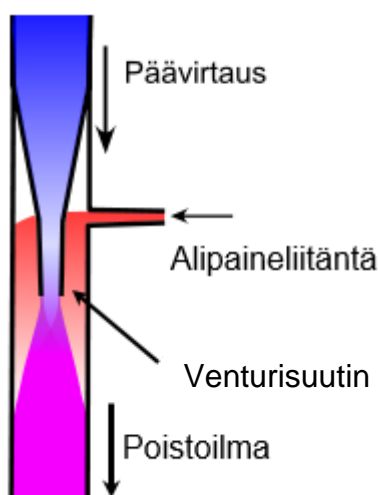
KUVA 3. Robotin valmiita toimintoja voidaan käyttää Program Structure Editor -välilehdeltä. Vasemmalla näkyy ohjelmapuu, johon ohjelma rakentuu (11.)

4 ALIPAINEKÄYTÖT JA EJEKTORIT

Alipainetekniikkaa käytetään teollisuudessa laajasti tarttumisen, muovaamiseen ja kaasujen hallintaan. Alipaineen kehittämisen tärkein komponentti on tyhjiöpumppu, jolla luodaan ja ylläpidetään haluttua alipainetta (12, s. 2). Pumput voivat olla alipainesäiliöön ja jakoverkkoon yhdistettyjä jatkuvasti haluttua alipainetta ylläpitäviä mekaanisia pumppuja tai hetkelliseen alipaineen muodostukseen tarkoitettuja pneumaattisia ejektoreita.

Ejektori on laite, jota käytetään usein imukuppien ja muiden alipainetarttujen tyhjiön eli alipaineen kehittämiseen. Ejektoreissa alipaine tehdään paineilman avulla. Yleisimpiä käyttökohteita ovat pakkaus-, elintarvike-, elektroniikka-, puu- ja lasiteollisuuden sovellukset kappaleiden siirtelyyn, pakkaamiseen ja lajitteluun. (12, s. 2.)

Ejektorin toimintaperiaate on esitetty kuvassa 4. Ejektorin läpi puhalletaan paineilmaa. Kapenevassa venturisuuttimessa ilman virtausnopeus kasvaa ja venturin päästä purkautuessaan ilmavirta saavuttaa yläääninopeuden. Purkautuva ilma imee mukaansa ilmaa alipaineliitännästä saaden näin aikaan alipaineliitännässä tyhjiön. Venturisuuttimia voidaan laittaa sarjaan ja rinnan paremman ja nopeamman tyhjiön muodostamisen saavuttamiseksi sekä hyötysuhteen parantamiseksi. (12, s. 2.)



KUVA 4. Ejektorin toimintaperiaate (14.)

5 AUTOMATISOINNIN TUTKIMINEN, PROOF OF CONCEPT

5.1 Lähtötiedot

Ledistys Oy valmistaa LED-valaisimia kahdelle eri alumiiniprofiilille. Valaisinmallit ovat Moduled ja Profiled. Moduled-valaisimia (kuva 5) valmistetaan viidessä eri pituudessa 390–1460 mm ja tehot vaihtelevat välillä 32–357 W.



Kuva 5. Moduled-valaisin (1, linkit valaisuratkaisut -> teollisuuden valaistus)

Profiled-valaisimia (kuva 6) valmistetaan pituuksissa 340–2860 mm. Profiled-valaisimien tehot vaihtelevat 32–145 W. Valaisutehon vaihtelu valaisimiin luodaan lisäämällä profiiliin rinnakkain asetettuja LED-piirikortteja, joita voi profiilissa olla 2–3 kappaletta. Piirikortteja toimitetaan kahdessa pituudessa. Valaisimien eri pituudet, tehot ja profiilit luovat laajan tuotekirjon ja varioinnin mahdollisuuden. (1, linkki Tuotteet.)



Kuva 6. Profiled-valaisin (1, linkit valaisuratkaisut -> teollisuuden valaistus)

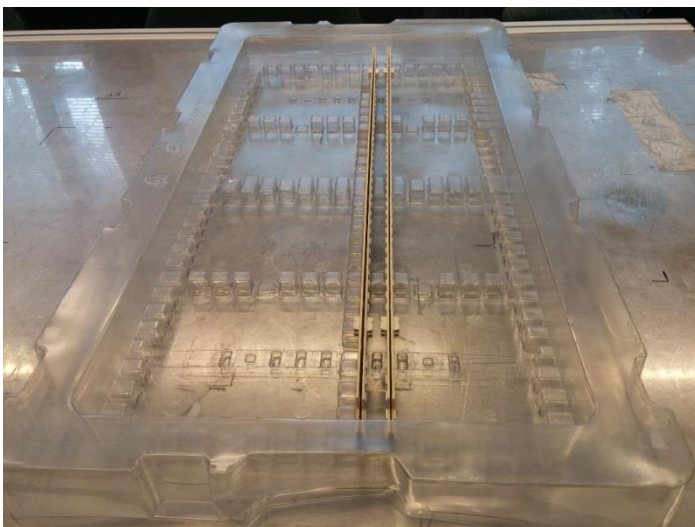
5.2 Tehtävänanto ja sen rajaus

Automatisoitavassa työvaiheessa LED-piirikortit asetetaan työpisteessä alumiiniprofiiliin, josta ne jatkavat kiinni ruuvattavaksi. Piirikortit toimitetaan ja poimitaan muovisesta tarjottimesta, jossa ne ovat kyljellään, kaksi korttia selkämukset vastakkain. Kahdesta profiilista ja valaisimien pituus- ja tehovariaatioista opinnäytetyö rajattiin suoritettavaksi Moduled-profiililla ja kolmella pitkällä piirikortilla.

Tehtävänannoksi muodostui LED-piirikorttien automaattinen tarjottimesta poimiminen ja profiiliin asemointi UR10-robottia käyttäen joustavan automaation menetelmin. Lähtötilanteessa valaisimen runkoprofiili on tarjottu robotille. Kolmen piirikortin poimimiseen ja asemointiin tulisi mennä maksimissaan minuutti. Automaatiosovelluksen tulee olla sovellettavissa molemmille profiileille ja eri LED-kortti pituuksille. Opinnäytetyö aloitettiin lokakuun 2017 alussa ja proof of conceptin eli soveltuvuus selvityksen valmistumisen tavoitteeksi asetettiin vuodenvaihte 2017–2018.

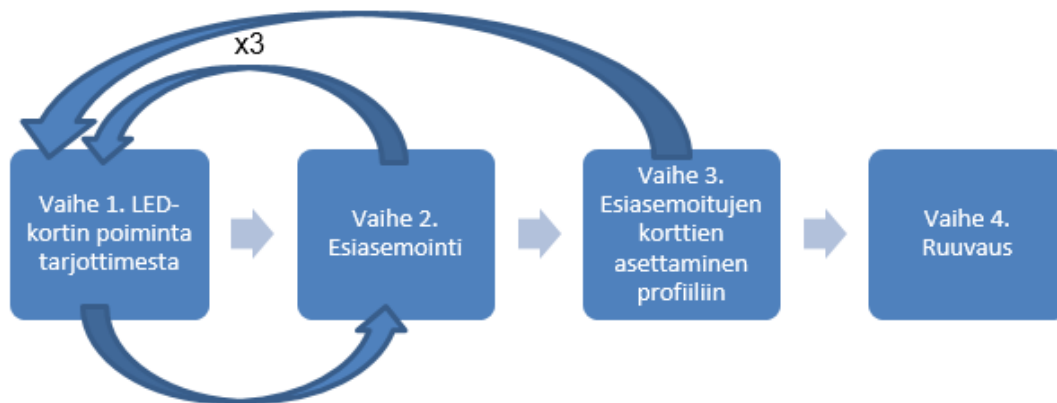
5.3 Automaation työkierto

Opinnäytetyössä käytettäviä pitkiä piirikortteja toimitetaan Ledistykselle 30 kortin tarjottimissa, jolloin kortit ovat pareittain selät vastakkain (kuva 7). Tämä oli otettava huomioon tarttujan suunnittelussa ja ohjelman laatimisessa. Profiiliin tuli asettaa kolme korttia, niin että ruuvinreiät vastaavat toisiaan ja kortit on asemoitu oikein ruuvausta varten.



Kuva 7. Tarjotin, josta LED-kortit poimitaan. Korttiparien välissä on tilaa 15mm.

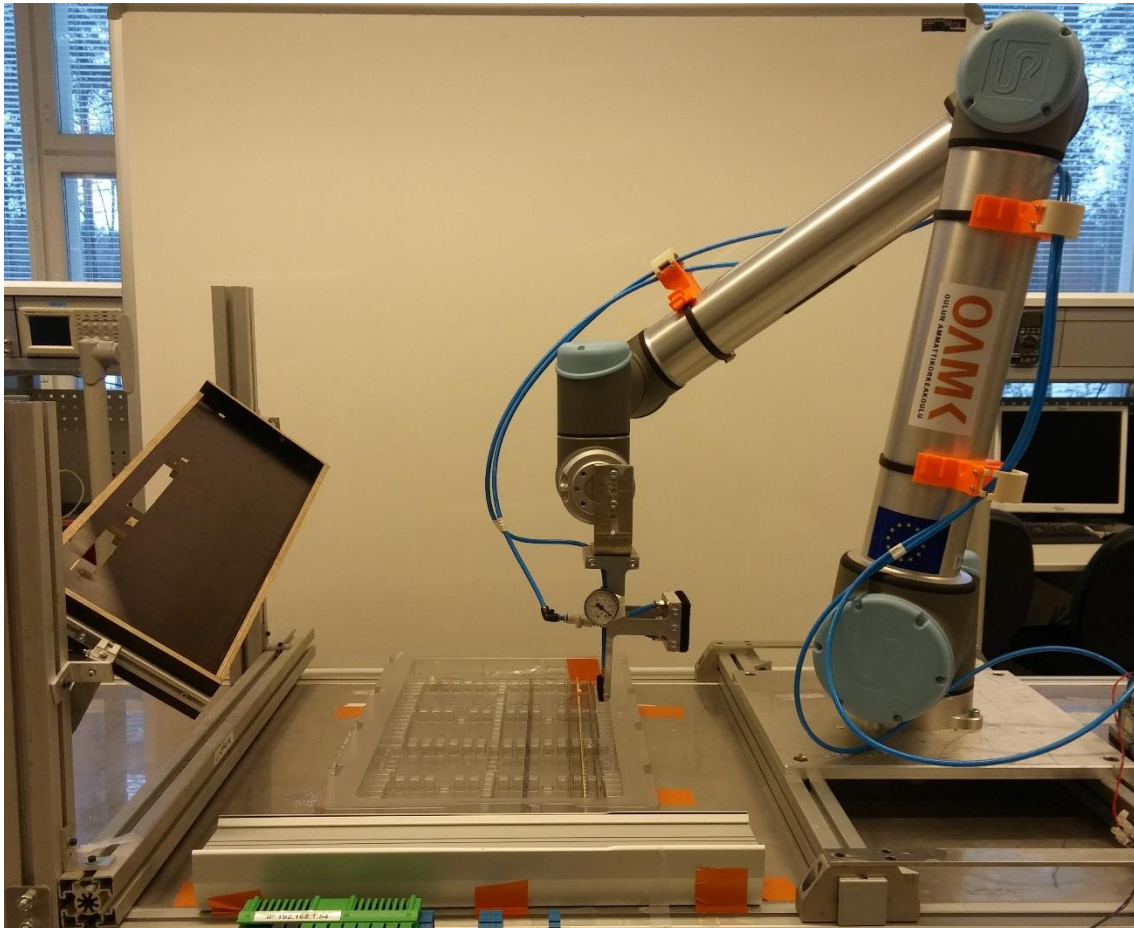
Työkierron vaatimuksia vastaamaan kehitettiin kuvan 8 prosessikaavio.



Kuva 8. Työkierron prosessikaavio

Vaiheessa 1 LED-kortti poimitaan tarjottimesta robotin päähän kiinnitetyllä tarttujalla. Piirikortti laitetaan esiasemointijigiin. Vaiheessa 2 on otettava huomioon korttien kiinnitysreikien vastaavuus. Kolme korttia profiiliin ladottaessa on keskimmäinen kortti laitettava jigisiin 180° astetta pyörytettyinä. Vaiheita 1 ja 2 toistetaan kolme kertaa. Kun jigissä on kolme korttia, poimitaan ne isolla tarttujalla ja asemoidaan profiiliin. Robotti palaa vaiheeseen 1 ja osaa jatkaa korttien poimintaa oikeassa järjestyksessä.

Ensimmäiset 15 korttia käydään läpi prosessinkaavion mukaisesti oikealta vasemmalle, minkä jälkeen robotti aloittaa samat työvaiheet 1–3 mutta vasemmalta oikealle (kuva 9). Kun tarjotin on tyhjä, robotti pysähtyy ja pyytää operaattoria vaihtamaan uuden tarjottimen.



KUVA 9. Ensimmäiset 15 korttia poimitaan oikealta vasemmalle. Kortit 16–30 poimitaan vasemmalta oikealle.

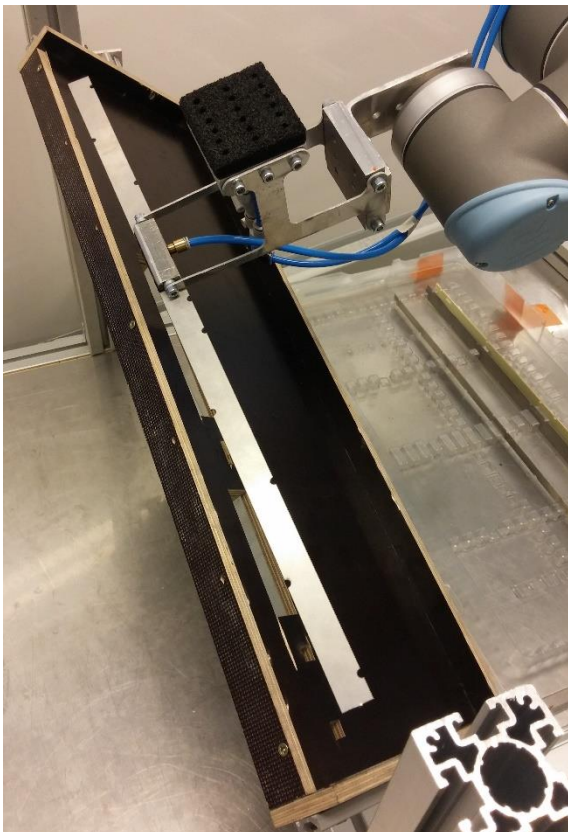
5.4 Tartuntatekniikka

Työkierrossa oli tarve kahdelle eri tarttujalle: pienelle, jolla kortit poimitaan tarjottimesta ja suurelle, jolla kortit poimitaan jigistä ja asemoidaan profiiliin. Pienessä tarttujassa toimintaperiaatteen valinta tehtiin alipaineen ja mekaanisen tarttujan välillä. Mekaanisella sormitarttujalla on helppo poimia korttipari tarjottimesta, mutta sen käyttö luo lisää työvaiheita poimitun korttiparin hallinnassa ja asemoinnissa jigiiin. Pienen tarttujan toimintaperiaatteeksi valikoitui nopeasti alipaine. Tarttujan tuli mahtua tarjottimessa korttipari-

en väliin ja tartuntavoimaa tuli olla riittävästi korttien nopeaan ja luotettavaan poimintaan.

Kolmen kortin poimintaan tarvittiin isoa tarttujaa, jolla kortit saatiin poimittua jigistä. Toimintaperiaatteena toimi alipaine. Isoa tarttujaa suunniteltaessa oli otettava huomioon, että poimittavien korttien määrä vaihtelee 2–3:een korttia valaisimen mallin mukaisesti.

Tarjottimesta poimitut kortit esiasemoitiin jigissä (kuva 10). Jigi haluttiin pitää mahdollisimman yksinkertaisena matalakitkaisia pintoja ja painovoimaa hyödyntäen. Jigin prototyypin materiaalina käytettiin filmivaneria sen matalakitkaisen pinnan ja helpon työstettävyyden vuoksi. Robotti tuo LED-kortit aina samaan paikkaan jigin yläreunaan ja päästää irti. LED-kortit liukuvat jigin liukasta pintaa pitkin ja asemoituvat aina jigin alimman nurkan mukaisesti. Näin kortit saadaan asemoitua valmiiksi profiiliin asemointia varten. Korttien liukumista ja asemoitumista voidaan säätää jigin kallistuskulmia muuttamalla.

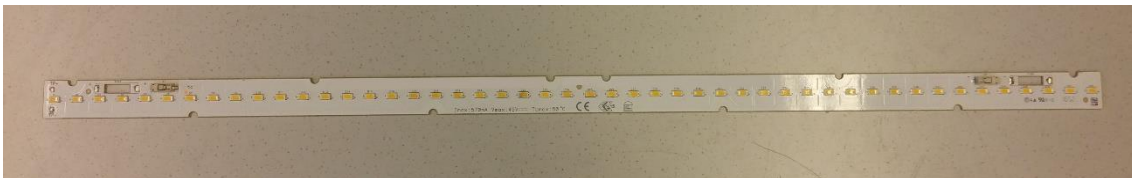


KUVA 10. Normaalitilanteessa kortit tiputetaan jigin yläreunaan, jolloin ne asemoituvat jigin alimman nurkan mukaisesti.

Kahden LED-kortin valaisimissa tulee kortteja vain profiilin reunoille. Jigissä kahden kortin optio huomioitiin tekemällä siitä 180° leveysakselinsa ympäri pyörivä. Jigin kääntöpuolella on haittalevyt ja aukotus, joilla keskimmäisen kortin poimintapaikka pysyi tyhjänä. Kahden kortin optiossa alempi kortti tiputetaan lähelle valmista asemointia kuitenkin niin, että painovoimasta se liukuu paikolleen ja asemoituu alimman nurkan mukaisesti. Ylempi kortti tiputetaan normaalisesti jigin yläreunaan. Korttien poimintakohdassa on jigissä aukotus, jotta alipainetarrain ei tartu siihen. Kahden kortin option toimintaa ei ehditty todentaa, mutta verrattuna kolmen kortin asemointiin olisi kyse ollut vain ohjelmointi muutoksista.

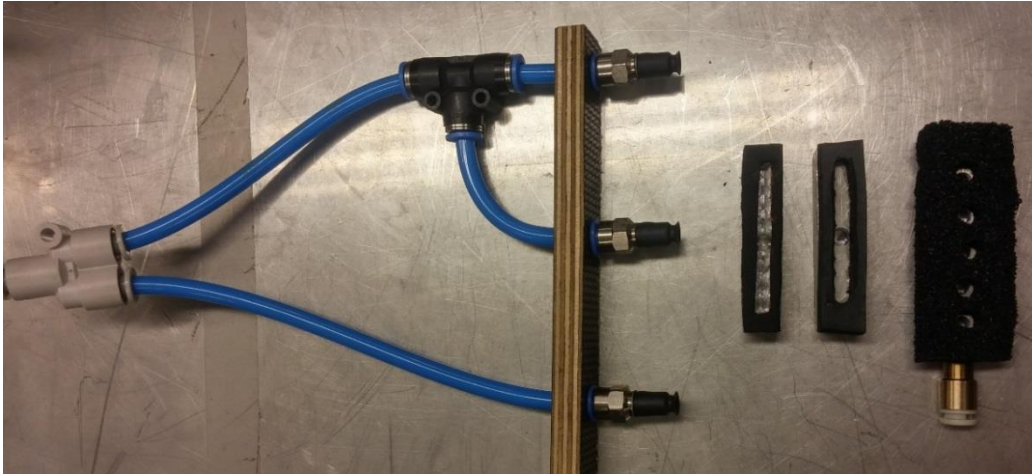
5.5 Tarttujat

Tarttujien kehittäminen alkoi oikean tartuntamateriaalin löytämisellä. Pienemmässä tarttujassa tilankäyttö oli hyvin rajallista. Tarjottimen korttien välissä on toimintatilaa 15mm. Korteissa suoraa tarttumapintaa on 7 mm (kuva 11). Tartuntaa suoraan pintaan kokeiltiin kolmella pienellä Ø 7 mm imukupilla (kuva 12). Imuteho oli varsin vaatimaton eikä imukupeilla saatu luotettavaa tartuntaa. Myös rajallisen tilankäytön vuoksi imukuppien käyttö oli pois suljettua.



KUVA 11. Ledeistä kortin reunaan on tilaa 7 mm. Tarttumapintaa on hyvin rajallisesti.

Tarttujan rakenteeksi valikoitui alumiininen imurunko ja tiivistemateriaali. Ensimmäisissä kehitysversioissa oli imurunkoon tai tiivistemateriaaliin tehty holvi, joka yhdistettiin alipainelinjaan. Tiivistemateriaaleina kokeiltiin silikonimattoa ja hiirimatton vaahtomuovia (kuva 12). Silikonimatto oli käytössä liian jäykkää, sillä onnistunut tartunta vaati kovan painamisen korttia vasten ohivuotojen välttämiseksi. Hiirimatolla tapahtui myös liikaa ohivuotoja. Molemmat materiaalit olivat riippuvaisia suorasta imupinnasta, jota oli korteissa hyvin rajallisesti.



KUVA 12. Erilaisia tarttuvia. Vasemmalta luettuna: Ø 7 mm -imukuppitarttuja, vaahtomuovitarttuja, silikonitarttuja ja EPDM-tarttuja.

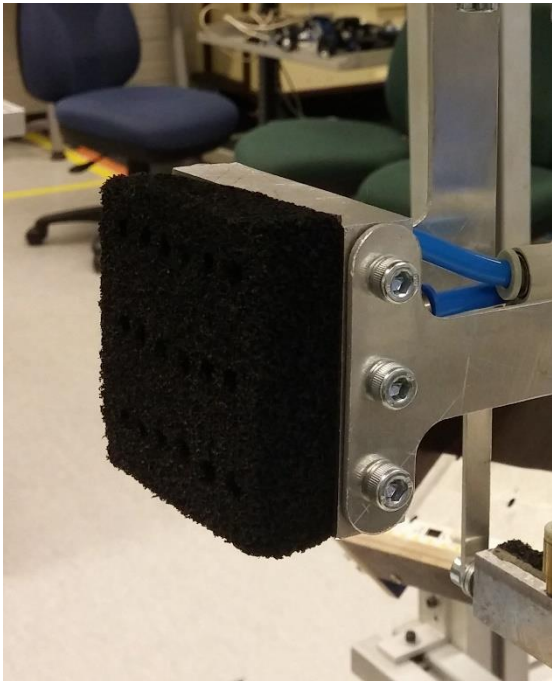
Tiivistemateriaalia haettiin umpisoluisista EPDM-solukumeista (eteeni-propeenikumi), joita tiedetään käytettävän monikäyttöisissä alipainetarraimissa. Umpisoluiset EPDM -solukumit eivät läpäise ilmaa, joten muotoon leikattuna niitä voidaan käyttää tiivisteinä ja vaahtomainen notkea rakenne mahdollistaa epätasaisista muodoista tarttumisen. Materiaalista tehdyn prototyypin tulokset olivat erinomaiset. Tarttujen rakenteeksi valikoitui alumiinista tehty imurunko ja imupinnan tiivistemateriaaliksi EPDM-umpisolukumi.

Pienen tarttujan imurunko on 60mm x 8mm x 18mm alumiinikappale, jossa on Ø 4,2 mm alipaineen runkolinja. Runkolinjasta on porattu viisi Ø 4 mm imukanavaa tarttujan pinnalle. 5 mm paksussa EPDM-tiivisteessä on imurunkoa vastaava rei'itys (kuva 13). Tarttuja mahtuu toimimaan korttien välissä ja elastisen tiivistemateriaalin ansiosta tarttujalla saa otteen keskeltä kortteja ledien päältä.



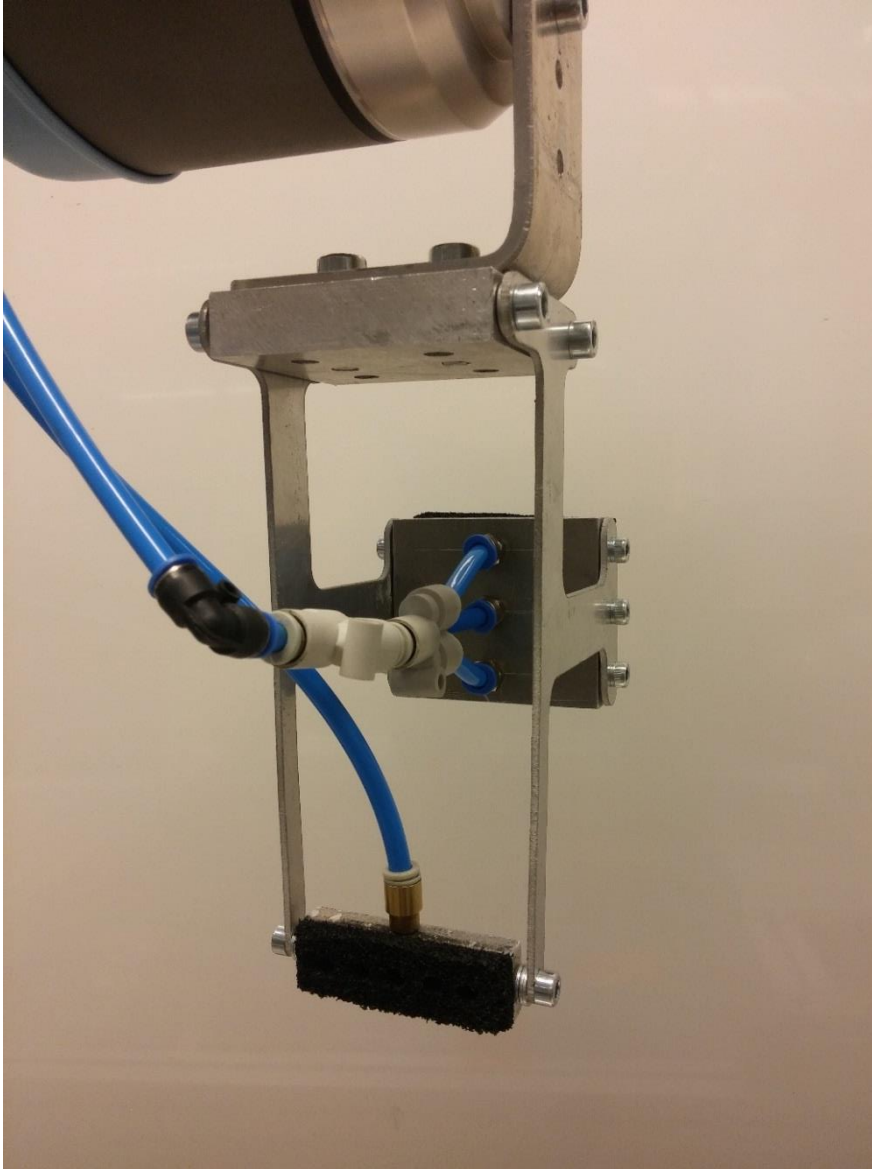
KUVA 13. Pieni EPDM-umpisolukumi -tarttuja

Ison tarttujan imurunko (kuva 14) on 70 mm x 15 mm x 60 mm. Alumiinisessa imurungossa on kolme itsenäistä Ø 4,2 mm alipaineen runkolinjaa, joissa on kuusi Ø 4 mm imukanavaa. Tiivistemateriaalin paksuus on 10mm. Poimittaessa kahta LED-korttia jää tarttujan keskimmainen runkolinja tyhjäksi. Alipaine jaetaan runkolinjoille samalta alipainelinjalta, jolloin tartunnan saamiseksi on kaikkien runkolinjojen saatava vastetta alipaineelle. Kahden kortin optiossa keskimmäiseen runkolinjaan liitettiin SMC:n alipaineensulkuventtiili (SMC ZP2V-A5-03 vacuum saving valve). Kun keskimmainen runkolinja ei saa vastetta alipaineelle, sulkuventtiili sulkee sen ja tarttuja saa kiinni muista korteista. Sulkuventtiilin toimimiseksi alipaine kytketään päälle vasta, kun tarttuja on ajettu kortteja vasten.



KUVA 14. Iso tarttuja, jolla poimitaan 2–3 korttia kerrallaan

Jotta laitteiston rakenne pysyisi mahdollisimman yksinkertaisena pieni ja iso tarttuja integroitiin samaan runkoon (kuva 15). Näin vältetään työkalujen vaihtotarpeelta, joka lisää kustannuksia ja tahtiaikaa. Vaihto tarttujen välillä tapahtuu robotin ranteen liikkeellä ja alipaineen ohjauksella tarttujasta toiseen.

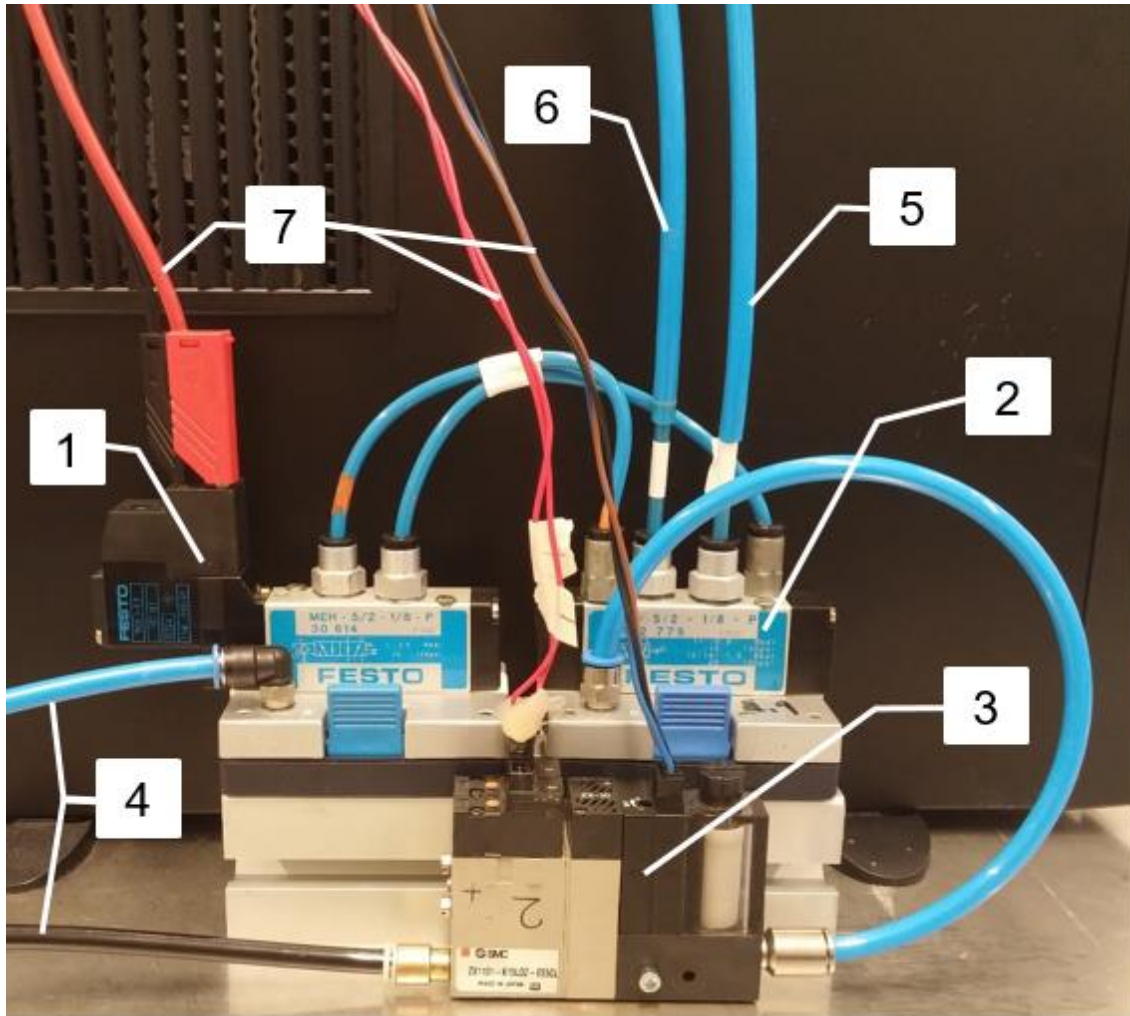


KUVA 15. Iso ja pieni tarttuja integroitiin samaan runkoon työkaluvaihtojen välttämiseksi.

5.6 Alipainelaitteisto

Alipainelaitteisto koostuu

- sähköisesti ohjatusta 5/2-suuntaventtiilistä (kuva 16, kohta 1)
- paineilmaohjatusta 5/2-alipaineenohjausventtiilistä (kuva 16, kohta 2)
- ejektorista, jossa on alipaineen tunnistus (kuva 16, kohta 3).



KUVA 16. Sovelluksessa käytetty alipaine laitteisto: 1) 5/2-suuntaventtiili, 2) alipaineenohjausventtiili, 3) ejektor, 4) paineilma tulot, 5) pienen tarttujan alipainelinja, 6) ison tarttujan alipainelinja ja 7) robotin digitaaliset tulot ja lähdöt.

5/2-suuntaventtiili ja ejektor on kytketty paineilmaverkkoon (kuva 16, kohta 4) ja robotin digitaalisiin tuloihin ja lähtöihin (kuva 16, kohta 7). Kun robotin lähdöistä annetaan käsky, ejektor (kuva 16, kohta 3) menee päälle tehden noin -0,8 bar alipaineen. Ilman ohjausjännitettä suuntaventtiili (kuva 16, kohta 1) pitää alipaineenohjausventtiilin (kuva 16,

kohta 2) normaali-asennossa. Alipaine ohjautuu ilman eri käskyä alipaineenohjausventtiiliin kautta alipainelinjaan (kuva 16, kohta 5), joka on yhdistetty pieneen tarttujaan. Ejektorin alipaineentunnistus antaa robotin tuloihin signaalin, kun tarttuja on tarttunut LED-kortista.

Kun robotin lähdöistä (kuva 16, kohta 7) annetaan suuntaventtiilille (kuva 16, kohta 1) ohjausjännite, suuntaventtiilin kara siirtyy. Alipaineenohjausventtiiliin (kuva 16, kohta 2) ohjauspaineen suunta muuttuu ja ejektorin alipaine saadaan ohjattua alipainelinjaan (kuva 16, kohta 6), joka on yhdistetty isoon tarttujaan.

5.7 Robotin ohjelma

Robotti suorittaa 15 kortin poimintaa tarjottimesta profiiliin ensin oikealta vasemmalle. Tarjottimesta poiminnassa käytetään alipaineen tunnistusta, jolla robotti tietää tarttuneensa korttiin. Jos robotti ei saa tunnistusta, tekee se 2 mm lisäliikkeen korttia vasten. Mikäli tartuntaa ei vielääkään saavuteta pyytää robotti operaattoria paikalle.

Esiaseointijigin keskimäinen kortti on pyöräytettävä 180° ympäri ruuvinreikien sopimiseksi yhteen (kuva 17). Kolmen kortin esiasemoinnin jälkeen robotti tekee alipaineen ohjauksen isoon tarttujaan, poimii kortit jigistä ja asemoi ne profiiliin.

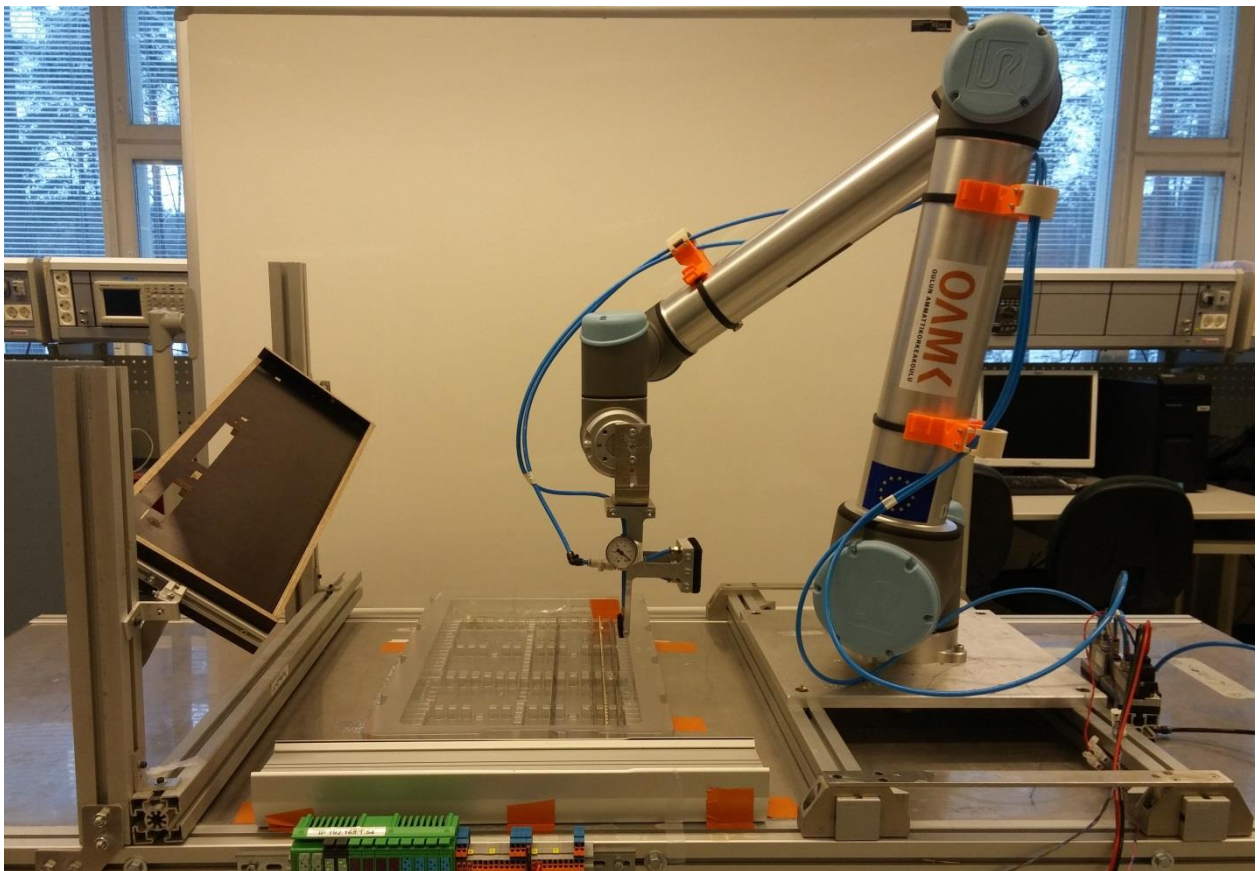
Robotin ohjelman on osattava jatkaa korttien poimintaa oikeasta kohtaa tarjottimesta, vaihdettava tarttujaa ja huomioitava korttien oikea esiasemointi. Kun robotti on poiminut kortit oikealta vasemmalle, poimitaan loput kortit vasemmalta oikealle. Kyseinen poiminta toimii samoin kuin oikealta vasemmalle, mutta sisältää enemmän pyöräytyksiä ja robotin liikkeitä. Molemmissa poimintasuunnissa robotti pystyi sille annettuun yhden minuutin aikarajaan.



KUVA 17. Keskimäinen kortti laitetaan jigiin 180° pyöräytettynä, jotta ruuvien reiät vastaisivat toisiaan. Vertaa kuvaan 10.

6 PROOF OF CONCEPTIN TULOKSET

Proof of concept -laitteisto koostui UR10-robotin lisäksi itse kehitetyistä tarttujasta ja esiasemointijigistä sekä alipainelaitteistosta (kuva 18). Tarvittava laitteisto rakennettiin ja valmisteltiin katselmoitavaksi noin kolmessa kuukaudessa. Robotin ohjelmointi ja tarttujen sopivan tiivistemateriaalin löytäminen ja hankkiminen olivat projektin haastavimmat työvaiheet. Työskentelystä 2/3 oli laitteiston rakentamista ja 1/3 robotin ohjelmointia.

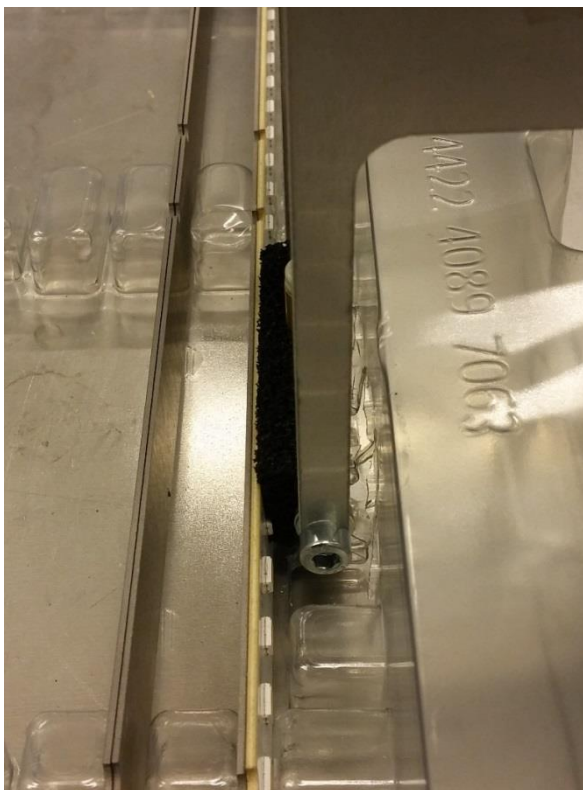


KUVA 5. Valmis proof of concept -laitteisto

LED-valaisinten kokoamisessa tarttijat toimivat luotettavasti ja LED-kortit kestivät tarttujen käsittelyssä. Tarttujia voidaan tarpeen vaatiessa skaalata eri kortti- ja valaisinmallille ilman, että niiden toiminnallista rakennetta pitää merkittävästi muokata. Alipainelaitteisto rakennettiin nopean aikataulun vuoksi saatavilla olevista laitteista ja materiaaleista. Suunta- ja alipaineenohjausventtiilin sijasta olisi tarttujilla voitu käyttää

myös omia ejektoreita. Tällöin olisi tarvittu vähemmän alipainekomponentteja, mikä laskee laitteiston kustannuksia ja yksinkertaistaa sitä.

Reunimmaisten korttien poimimiseksi oli tarjottimeen tehtävä muutoksia (kuva 19). Tarjottimen reunoista poistettiin tukirakenteet tarttujan mahtumiseksi tarjottimeen. Tarjottimen muokkaaminen ei ole toivottua, koska se lisää työvaiheita valaisinten valmistusketjussa. Muokkausten välttäminen nykyisellä tarttujalla edellyttää ohjelmointimuutoksia ja lisää työvaiheita työkiertoon.

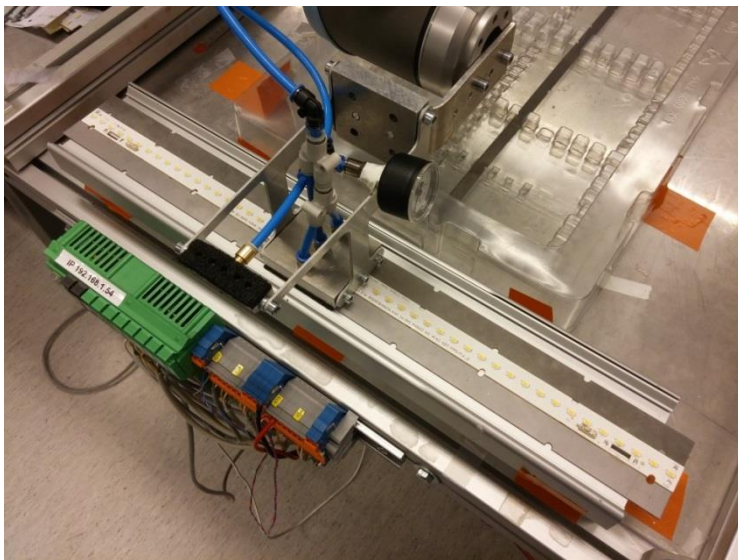


KUVA 19. Reunimmaisten korttien poimimiseksi tarjottimen reunarakenteita jouduttiin muokkaamaan.

Kolmen kortin poimintaan ja asemointiin laadittu ohjelma oli proof of conceptin käyttöön riittävä. Sillä pystyttiin todentamaan, että Universal Robotsin UR10-robotti kykenee tutkittujen työvaiheiden suorittamiseen. Kahden kortin optiota ei ehditty todentamaan, mutta kyse olisi ollut vain ohjelma muutoksista. Pääpiirteittäin ohjelma olisi ollut hyvin samankaltainen kolmen kortin option kanssa.

Kortit asemoitiin filmivanerista rakennetussa jigissä. Asemoitaessa kolmea korttia saattoi toinen tai kolmas kortti liukua alempien korttien yli, jolloin alimpia kortteja oli kaksi päällekkäin. Tilanteeseen pystyi vaikuttamaan hillitsemällä korttien liukumisnopeutta muutamalla jigin kallistuskulmia. Lisäksi käytössä oli vain yksi tuotannossa käytettävä LED-kortti, kun loput todentamisessa käytetyistä korteista oli itse mallinnettu ja vesileikattu ruostumattomasta teräksestä. Huomattavasti painavimpina niillä oli suurempi riski liukua toistensa päälle.

Proof of concept -laitteisto todettiin Ledistys Oy:n edustuksen kanssa tarkoituksen mukaiseksi. Laitteisto pystyi poimimaan ja asemoimaan kortit profiiliin annetussa minuutin tavoiteajassa (Kuva 20). Laitteisto pystyy tyhjentämään täyden tarjottimellisen kortteja ilman häiriöitä ja korttien ruuvausreiät pysyvät ruuvausurissaan tarttujan irrotuksen jälkeen.



KUVA 20. Kolme korttia asemoitaessa profiiliin.

7 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tehtävänanto oli tutkia LED-valaisinten kokoonpanotyövaiheen joustavaa automatisointia Universal Robots -yhteistyörobottia käyttäen. Kehitystyö aloitettiin lokaan 2017 alussa. Valmis laitteisto esiteltiin tilaajalle tammikuun 2018 alussa ja se saavutti sille asetetut tavoitteet. Laitteisto oli proof of concept -tarkoituksessa rakennettu, ei siis valmis tuotantoon, vaan tutkimus prototyypilaitteiston soveltuvuudesta annettuun tehtävään. Opinnäytetyön myötä yritys sai kokemusta UR10-robotin ominaisuuksista ja käyttömahdollisuuksista omassa tuotannossaan.

UR10-robotilla ihminen voidaan vapauttaa yksitoikkoisesta valmistusvaiheesta tuotantolinjan ylläpito- ja tarkastustehtäviin. Linjasto voi toimia joustavammin nykyistä vähemmällä työntekijäresursseilla, kun robottia voidaan myös tarpeen mukaan siirtää työpisteeltä toiselle. Yrityksen tulee ottaa huomioon robotin uuteen työvaiheeseen integroimisen vaatima ohjelmointi- ja automaation ylösajotyö, joka sitoo robotin hetkellisesti pois tuotannosta. Muu tuotantolinja on myös suunniteltava siten, että robotti voidaan nopeasti siirtää työpisteeltä toiselle. Telakoitumisen linjaan on oltava luotettava ja tarkka, koska robotin työskentelykoordinaatisto saattaa olla tarkasti riippuvainen robotin asemoinnista linjaan nähden.

Tarttujan prototyyppi on käsin rakennettu ja tarkoitukseen nähden toimiva. Tuotantoversion tulee olla mittoihin koneistettu. Käytetyn EPDM-tiivistemateriaalin saatavuutta, muokattavuutta ja kestävyyttä tulisi tutkia. Tarttujien tiivisteiden vaihtotarpeen määrittämiseksi tulee selvittää, milloin materiaalissa tapahtuu käytön myötä plastista muodonmuutosta tai repeilyä.

Valaisimien konfiguraatioit luovat mukautumisvaatimuksia asemoinnissa käytetyille jigille. Korttien pituudet vaihtelevat 20–56 cm ja määrät 2–3 korttiin. Konfiguraatioiden hallintaan tarvitaan nykyistä prototyyppiä huomattavasti monimutkaisempi ja mukautuvampi laite. Esiasemointijigi olisi voinut olla laitteistoon sisällytetty oma TEHOJA-hankeprojektinsa.

Opinnäytetyö sisälsi runsaasti prototyyppien suunnittelua ja rakentamista. Opin paljon uutta pneumaattisista komponenteista, erityisesti alipaineen hallitsemisesta ja ohjauksesta halutusti. Opinnäytetyö todisti myös Universal Robots -yhteistyörobotin käytön helppouden. Robotin ohjelmoinnin perusteet oppii hallitsemaan nopeasti ja opastuksella myös haastavampia toimintoja oppii käyttämään itsenäisesti. Opinnäytetyö oli opettava kokemus tuote- ja prosessinkehitystyöstä, jossa yhdistettiin niin käytännön kädentaidot ja kokemus kuin teoreettinen suunnittelutyö ja materiaalitutkimus.

LÄHTEET

1. Ledistys Oy. Saatavissa: <https://www.ledistys.fi>. Hakupäivä 13.2.2018.
2. Tuottavuutta joustavalla automaatiolla - Tehoja. 2018. Powerpoint-diasarja. Sisäinen dokumentti. Oulun Ammattikorkeakoulu Oy.
3. Hanke-esittely_markkinointi. 2016. Powerpoint-diasarja. Sisäinen dokumentti. Oulun Ammattikorkeakoulu Oy.
4. Ihmisen ja robotin yhteistyö, haasteita ja mahdollisuuksia. 2014. Powerpoint-diasarja. VTT.
5. Robotiikka. 2016. Powerpoint-diasarja. Sisäinen dokumentti. Internatiol collaborative robots workshop.
6. Universal Robots. Saatavissa: <https://www.universal-robots.com/>. Hakupäivä 16.5.2018.
7. UR10 technical details. Saatavissa: https://www.universal-robots.com/media/1801323/eng_199901_ur10_tech_spec_web_a4.pdf. Hakupäivä 16.5.2018.
8. Collaborative robot Ebook. Robotiq 2015. Saatavissa: https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/144202/mod_resource/content/1/Yhteisk%C3%A4ytt%C3%B6robotiikka.pdf. Hakupäivä 16.5.2018.
9. Polyscope. UR10 user manual version 3.1. Part 2. Saatavissa: https://www.universal-robots.com/media/8764/ur10_user_manual_en_global.pdf. Hakupäivä 22.5.2018.
10. Universal-robots-polyscope-UI. 2007-2018. Screenshot of the PolyScope Universal Robots UI. Saatavissa: <https://www.thomasdeneuville.com/universal-robots-cobots/universal-robots-polyscope-ui/>. Hakupäivä 22.5.2018.

11. Universal-robots-zacobria-thread-1. 2012. Screenshot of the PolyScope Program structure editor. Saatavissa: <http://www.zacobria.com/universal-robots-zacobria-forum-hints-tips-how-to/thread/universal-robots-zacobria-thread-1/>. Hakupäivä 22.5.2018
12. Hulkkonen, Veli 2006. Tyhjiötekniikka, Pumput. Fluid klinikka no15. Saatavissa: <https://www.salhydro.fi/files/PDF/14.tyhjioetekniikka-pumput.pdf>. Hakupäivä 15.5.2018.
13. Hulkkonen, Veli 2007. Tyhjiötekniikka, Ejektorit. Fluid klinikka no16. Saatavissa: <https://www.salhydro.fi/files/PDF/2.tyhjioetekniikkaejektorit.pdf>. Hakupäivä 15.5.2018.
14. Ejektori. 2011. Wikipedia. Saatavissa: <https://fi.wikipedia.org/wiki/Ejektori>. Hakupäivä 15.5.2018