



SELVITYS JOHDOTUKSEN AUTOMATISOINNISTA VALAISINKOKOONPANOSSA YHTEISTYÖROBOTILLA

Ammattikorkeakoulututkinto opinnäytetyö

Konetekniikka, insinööri (AMK)

Kevät, 2024

Aki Laurell

Konetekniikka, insinööri (AMK)

Tekijä Aki Laurell

Työn nimi Selvitys johdotuksen automatisoinnista valaisinkokoonpanossa yhteistyörobotilla

Ohjaaja Tapio Väisänen

Tiivistelmä

Vuosi 2024

Opinnäytetyön tavoitteena oli kerätä tarvittava tieto johdotuksen automatisoimiseksi valaisintuotannossa yhteistyörobotilla. Opinnäytetyössä tarkasteltiin tuotteen ja tuotannon soveltuvuutta automatisoitavaksi. Tiedonkeruun lisäksi tavoitteena oli luoda kustannustehokas ja kevytrakenteinen ratkaisukonsepti. Opinnäytetyön toimeksiantaja oli liitalassa toimiva I-Valo Oy, joka valmistaa valaistustuotteita ja ratkaisuja erittäin vaativiin teollisuuden olosuhteisiin.

Tuotannon automaation lisäämisen tärkeimpinä tavoitteina oli standardointi ja työturvallisuus. Standardoinnilla tavoiteltiin yhdenmukaista tuotantoa ja inhimillisen virheen riskin pienentämistä. Työturvallisuuden näkökulmasta automatisoinnilla tavoiteltiin kokoonpanossa sarjatyöstä aiheutuvien tuki- ja liikuntaelinrasitusten vähentämistä.

Työtä varten kerättiin aineistoa robotiikasta, koneturvallisuudesta ja Lean robotisointi -menetelmästä. Työssä perehdyttiin koneturvallisuuden standardeihin ja yhteistyörobotiikkaan. Lean robotisointi -metodia soveltaen robotisointiprojektin tavoitteet pyrittiin määrittämään maltillisesti ja tarkasti. Manuaalisen tuotantoprosessin kartoituksen pohjalta luotiin tavoitteet toteuttava robotisoitu prosessi, jossa on pienin mahdollinen määrä toimintoja. Lean robotisointi -menetelmän työkalujen avulla pystyttiin välttämään monimutkaisia, riskialttiita ja kalliita ratkaisuja.

Opinnäytetyöhön kerätyn tiedon, ja työssä luodun konseptin pohjalta on mahdollista pohtia johdotuksen robotisoinnin etuja, riskejä ja investoinnin kannattavuutta. Tulokseksi saatiin, että haastavaan robotisointiin on mahdollista löytää suhteellisen yksinkertainen ja kustannustehokas ratkaisu, kun robotisoinnille asetetut tavoitteet ovat maltilliset ja suunnittelu toteutetaan huolellisesti manuaalisen prosessin pohjalta.

Avainsanat Teollisuusautomaatio, robotisointi, yhteistyörobotit, koneturvallisuus

Sivut 47 sivua

Mechanical engineering

Author Aki Laurell

Subject Automation of Wiring in the Luminaire Assembly With a Collaborative Robot

Supervisors Tapio Väisänen

Abstract

Year 2024

The objective of this thesis was to gather the necessary information to automate the wiring process in luminaire production using a collaborative robot. The thesis examined how suitable the product itself and its production are for automation. In addition to data collection, the goal was to create a cost-effective and lightweight solution concept. The thesis was commissioned by I-Valo Oy, which operates in Iittala and manufactures lighting products and solutions for demanding industrial conditions.

The main goals of increasing automation in production were standardization and occupational safety. The aim was to standardize production and reduce the risk of human error. From the perspective of occupational safety, the aim of automation was to reduce the strain on the musculoskeletal system caused by repetitive tasks in assembly line work.

Data on robotics, machine safety and the Lean robotics methodology were collected for this thesis. It focused machine safety standards and collaborative robotics. Applying the Lean robotics methodology, the goals of the robotization project were defined in a moderate and precise manner. Based on the mapping of the manual production process, a robotic process was created that fulfills the objectives with the minimum number of functions. Using the tools of the Lean robotics methodology, it was possible to avoid complex, risky, and expensive solutions.

Based on the data collected for the thesis and the concept created in the thesis, it is possible to evaluate the benefits, risks, and profitability of the investment in the robotization of wiring. The results indicated that it is feasible to find a relatively simple and cost-effective solution for challenging robotization tasks if the goals for robotization are reasonable and the design is carefully based on the manual process.

Keywords Industrial automation, robotization, collaborative robots, machine safety

Pages 47 pages

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Robotiikka	2
2.1	Teollisuusrobotit.....	2
2.2	Yhteistyörobottien yhteistyön tasot.....	4
2.3	Investointikustannuksiin vaikuttavat tekijät	6
2.4	Suunnittelu.....	7
3	Robotiikka ja työturvallisuus	8
3.1	Yhteistyörobottien työturvallisuus	8
3.2	Konedirektiivi ja koneasetus.....	9
3.3	Riskinarviointi.....	10
3.4	Esimerkki riskimatriisista	11
4	Robottisolun suunnittelu Lean-robotisointi-metodin avulla	13
4.1	Valmistautuminen	16
4.2	Suunnittelu.....	16
4.3	Manuaalisen tuotantosolun tehtävien kartoitus.....	17
4.4	Robotisoidun solun tehtävien kartoitus.....	19
4.5	Manuaalisen tuotantosolun ja robotisoidun tuotantosolun vertailu	20
4.6	Robottisolun suunnitelman viimeistely.....	20
5	Valaisimen johdotuksen robotisointi	21
5.1	Robotisointiprojektin tavoitteiden määrittäminen	23
5.2	Manuaalisen prosessin määrittely	24
5.2.1	Manuaalisen prosessin tehtäväkartta.....	25
5.2.2	Manuaalisen tuotantosolun pohjapiirustus	26
5.3	Robotisoitu prosessi.....	27
5.3.1	Robottisolu konsepti	28
5.3.2	Robotisoidun prosessin tehtäväkartta	35
5.3.3	Robotisoidun tuotantosolun pohjapiirros	41
5.4	Manuaalisen ja robotisoidun tuotantosolun vertailu	42
6	Johtopäätökset ja pohdinta	45
	Lähteet	47

Kuvat, taulukot ja kaavat

Kuva 1. Yleisimmät robottityypit, mukaillen (Plant automation technology, n.d.).....	4
Kuva 2. Ihmisen ja robotin yhteistyön tasot. (Latokartano ym., 2023, s. 74)	5
Kuva 3. Esimerkki riskimatriisista, mukaillen (SFS-ISO/TR 14121-2, s. 30)	13
Kuva 4. Valmiin tuotteen kokoonpano (Laurell, A., 2024).....	25
Kuva 5. Manuaalisen prosessin tehtäväkartta, mukaillen (Bouchard, S., 2017, s. 98). 26	
Kuva 6. Manuaalisen tuotantosolun pohjapiirustus, luonnos (Laurell, A., 2024)	27
Kuva 7. Yksinkertainen robottikonsepti, luonnos (Laurell, A., 2024)	29
Kuva 8. Kaksoistarttuja, luonnos (Laurell, A., 2024).....	30
Kuva 9. Johtimen haku johdinpitimestä, luonnos (Laurell, A., 2024).....	31
Kuva 10. Johdin tarttujassa, luonnos (Laurell, A., 2024)	32
Kuva 11. Valokoneen paikoitus liittimestä, luonnos (Laurell, A., 2024).....	33
Kuva 12. Virtalähteen paikoitus liittimestä, luonnos (Laurell, A., 2024).....	34
Kuva 13. Pitimet alustalla, luonnos (Laurell, A., 2024)	35
Kuva 14. Manuaalisen prosessin tehtävien tarkempi kartoitus (Laurell, A., 2024)	36
Kuva 15. Simulointiohjelman rakenne (Laurell, A., 2024)	37
Kuva 16. Robottisolu 1 prosessin kartoitus (Laurell, A., 2024)	38
Kuva 17. Robottisolu 2 prosessin kartoitus (Laurell, A., 2024)	39
Kuva 18. Robottisolu 2 konsepti, luonnos (Laurell, A., 2024)	40
Kuva 19. Johtimien asennus jäähdytyslevyn läpi, luonnos (Laurell, A., 2024)	41

Kuva 20. Robotisoidun tuotantosolun pohjapiirros, luonnos (Laurell, A., 2024)	42
Kuva 21. Pohjapiirros luonnoksien vertailu (Laurell, A., 2024).....	44

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää edellytykset johdotuksen automatisoinnista valaisinkokoonpanossa yhteistyörobotilla. Tuotannon automatisoitava toiminto on tietyn valaisintuotteen kokoonpanossa tehtävä virtalähteen ja valokoneen välinen johdotus. Opinnäytetyön toimeksiantajana on I-Valo Oy, joka valmistaa valaistustuotteita ja ratkaisuita erittäin vaativiin teollisuuden olosuhteisiin.

Tuotannon automaation lisäämisellä yhteistyörobotiikan avulla on tavoitteena vähentää ihmisen kuormitusta, sekä tehostaa ja standardoida tuotantoa. Työturvallisuuden näkökulmasta automatisoinnilla tavoitellaan kokoonpanossa sarjatyöstä aiheutuvien tuki- ja liikuntaelinrasitusten vähentämistä. Tuotannon tehostamisen tavoitteena on pitää yllä kilpailukykyä. Standardoinnilla tavoitellaan yhdenmukaista tuotantoa ja inhimillisen virheen riskin pienentämistä.

Opinnäytetyön tehtäväksi tuli hankkia perustietoa yhteistyörobotiikan työturvallisuudesta, kustannuksista ja tuotannon automatisoinnin vaatimuksista. Hankitun tiedon pohjalta pohditaan tutkimuksen kohteena olevan tuotteen ja tuotannon soveltuvuus automatisoitavaksi, sekä pyritään löytämään kustannustehokas ja kevytrakenteinen ratkaisukonsepti.

Opinnäytetyön tavoitteena on koota tarvittava tieto tuotannon automatisoimiseksi yhteistyörobotiikan avulla. Opinnäytetyön tuloksena syntyvää esiselvitystä tullaan käyttämään investointipäätöksen tueksi.

2 Robotiikka

Robotit ovat ohjelmoitavia, monipuolisia, vähintään kolminivelisiä laitteita. Robotit kykenevät suorittamaan ohjausyksikköön ohjelmoidun ohjelman mukaisia tehtäviä, jotka ovat uudelleen ohjelmoitavissa. Robotin liikeradat toistetaan ohjelmassa annettujen käskyjen mukaan. Ohjelman toimintaan voidaan vaikuttaa ympäristöstä saaduilla tiedoilla esimerkiksi sensoreiden avulla. Nykyaikaisten teollisuusrobottien käsittelykyky vaihtelee kevyistä ja pienistä kappaleista isoihin useiden tuhansien kilogrammojen painoisiin kappaleisiin. Liikkeiden toistotarkkuus on mallin mukaan noin +/- 1 mm ja +/- 0.05 mm välillä. (Keinänen & Sumujärvi, 2019, s. 298)

Tehtäviä suorittaakseen robotti tarvitsee järjestelmän, joka koostuu itse robotista, sen työkaluista, tarvittavista oheislaitteista, sekä ohjaus- ja turvajärjestelmistä. Kokonaisuutena robottijärjestelmä muodostaa konedirektiivissä tarkoitetun koneen. Robotit itsessään ovat varsin luotettavia, mutta kriittisimmät osat koneen toiminnassa ovat oheislaitteet. Robotisoiduissa valmistus- ja kokoonpanotehtävissä käytettävien osien mitta- ja muotovirheet aiheuttavat helposti haasteita. Manuaaliseen kokoonpanoon verrattuna tarvitaan usein toleranssiluokkaa tarkemmat osat. (Lempiäinen, 2023, s. 19)

2.1 Teollisuusrobotit

Tavallisimpia teollisuusrobotityyppejä ja tyypillisiä käyttötarkoituksia ovat:

- suorakulmaiset robotit logistiikkasovelluksissa ja työstössä
- scara-robotit kuljetinjärjestelmissä ja elektroniikkateollisuuden kokoonpanotehtävissä
- rinnakkaisrakenteiset robotit kappaleiden käsittelyssä ja työstötehtävissä
- kiertyväniveliset robotit monipuolisesti teollisuuden eri tehtävissä.

Kiertyväniveliset teollisuusrobotit ovat teollisuudessa yleisimpiä monipuolisen käytettävyyden vuoksi. Kiertyvänivelisen robotin tukivarret liikkuvat toistensa suhteen kiertoliikkeellä. Tyypillinen kiertyvänivelinen robotti on kuusi akselinen. Robotin niveliä voidaan kutsua myös vapausasteiksi. (Keinänen & Sumujärvi, 2019, s. 299)

Teollisuusrobottien liike tapahtuu tavallisesti suorakulmaisessa koordinaatistossa.

Robottisolussa käytettäviä koordinaatistoja ja niiden käyttötarkoituksia ovat;

- robotin jalkaan sidottu peruskoordinaatisto
- robotin työskentely-ympäristöön sidottu maailman koordinaatisto

- työkalun paikkaan ja asentoon sidottu työkalukoordinaatisto.

Lisäksi voidaan käyttää työkappaleen sijaintiin perustuvaa työkohteen koordinaatistoa sekä käyttäjän määrittämään sijaintiin perustuva käyttäjän koordinaatistoa, jota voidaan hyödyntää esimerkiksi identtisen työpisteen monistamisessa. (Keinänen & Sumujärvi, 2019, s. 303)

Teollisuusrobotin ohjelmointi voidaan toteuttaa yksinkertaisissa tehtävissä online-ohjelmointina robotin käsiohjelmointilaitteelta, tai monimutkaisemmissa tehtävissä offline-ohjelmointina tietokoneohjelman avulla. Ohjelmointiin tarkoitetuissa tietokoneohjelmissa on usein lisäksi mahdollisuus testata ohjelman toimivuus simuloimalla. (Keinänen & Sumujärvi, 2019, s. 305)

Tehtäviä suorittaakseen robotti tarvitsee kasivarren päässä sijaitsevaan työkalulaippaan kiinnitetyn työkalun. Robottien yleisin työkalu on tarrain, jonka avulla robotti kykenee tarttumaan siirrettäviin kappaleisiin. Tarraimen sijasta, robotissa voidaan käyttää myös muita työkaluja, kuten hitsauspäättä, polttoleikkauspäättä, ruiskumaalaussuutinta, liimaussuutinta, jysintä, hiomalaitetta, sekä ruuvaus- tai niittaustyökalua. (Keinänen & Sumujärvi, 2019, s. 309)

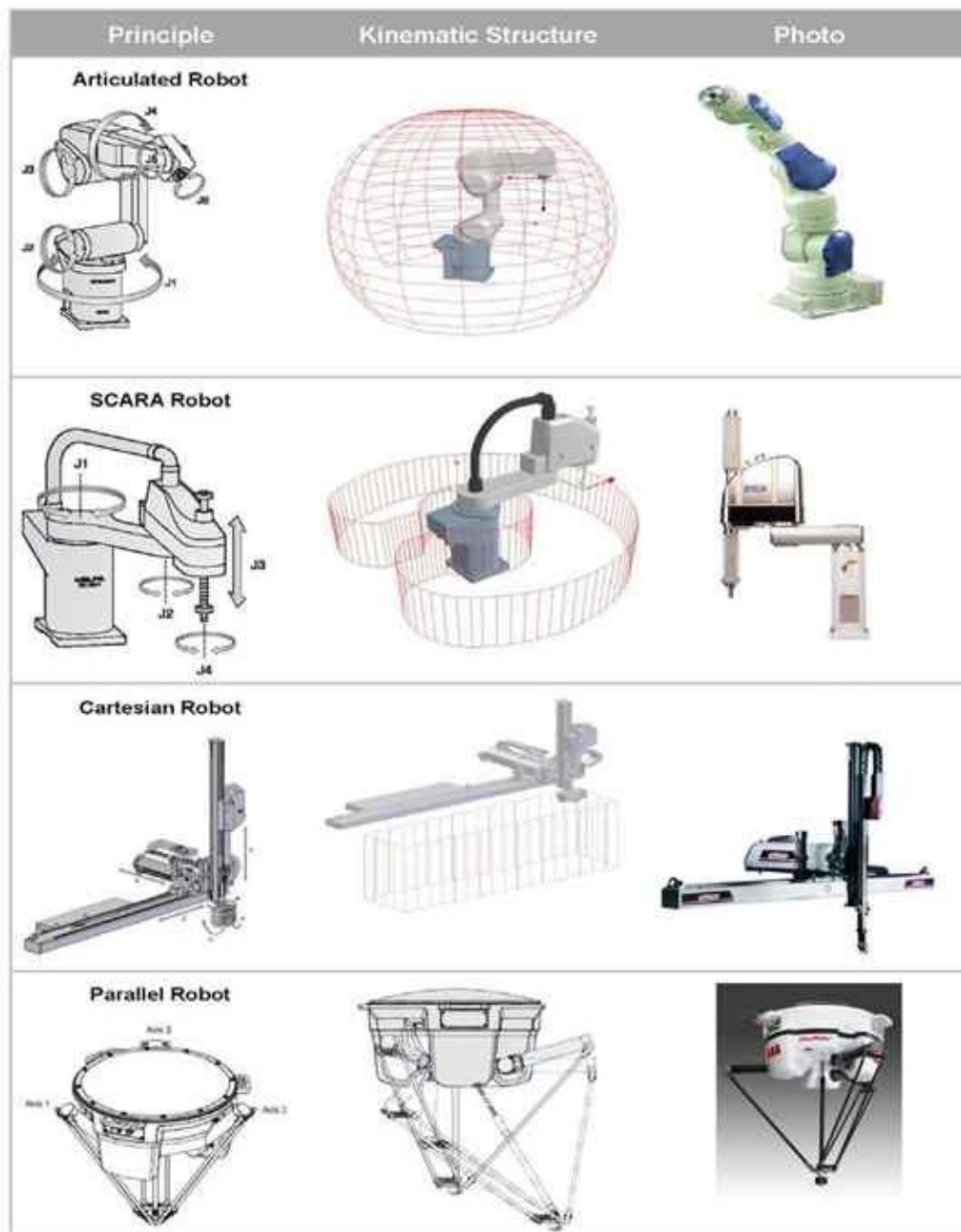
Robottijärjestelmään voidaan liittää konenäköjärjestelmä, jonka avulla voidaan tunnistaa kohteen sijainti ja asento. Robotti voi konenäköjärjestelmästä saatujen tietojen perusteella muuttaa liikeratoja. (Keinänen & Sumujärvi, 2019, s. 310)

Perinteinen teollisuusrobotti on usein suurikokoinen, voimakas ja nopea. Robotin aiheuttamia vaaroja voivat olla esimerkiksi isku- ja puristumisvaara, odottamattomat liikkeet virhetilanteissa, ja työkappaleen irtoaminen tarttujasta. Turvallisuuden takaamiseksi robottisolussa voidaan käyttää kiinteitä turvalaitteita kuten aitoja, liikkuvia ja erottavia suojalaitteita kuten ovia, ja ei-erottavia suojalaitteita kuten valoverhoja ja turvaskannereita. (Keinänen & Sumujärvi, 2019, ss. 310–311)

Yhteistoimintarobotit ovat kompakteja robottimalleja, jotka soveltuvat työskentelyyn yhdessä ihmisen kanssa. Robotin turvallisuus on huomioitu muun muassa muotoilussa, sekä voiman mittauksessa törmäyksen ja puristumisvaaran varalta. Yhteistyörobotin käyttö ei aina vaadi turva-aitoja tai turvaskannereita. Yhteistoimintarobottien ohjelmointi on pyritty tekemään helpoksi ja nopeaksi. (Keinänen & Sumujärvi, 2019, ss. 298–313)

Yleisimpien robottityyppien toimintaperiaatteet (principle), rakenteiden määrittämät toiminta-alueet (kinematic structure), sekä robottityyppien havainnekuvat (photo) ovat esitetty kuvassa 1.

Kuva 1. Yleisimmät robottityypit, mukailten (Plant automation technology, n.d.)



2.2 Yhteistyörobottien yhteistyön tasot

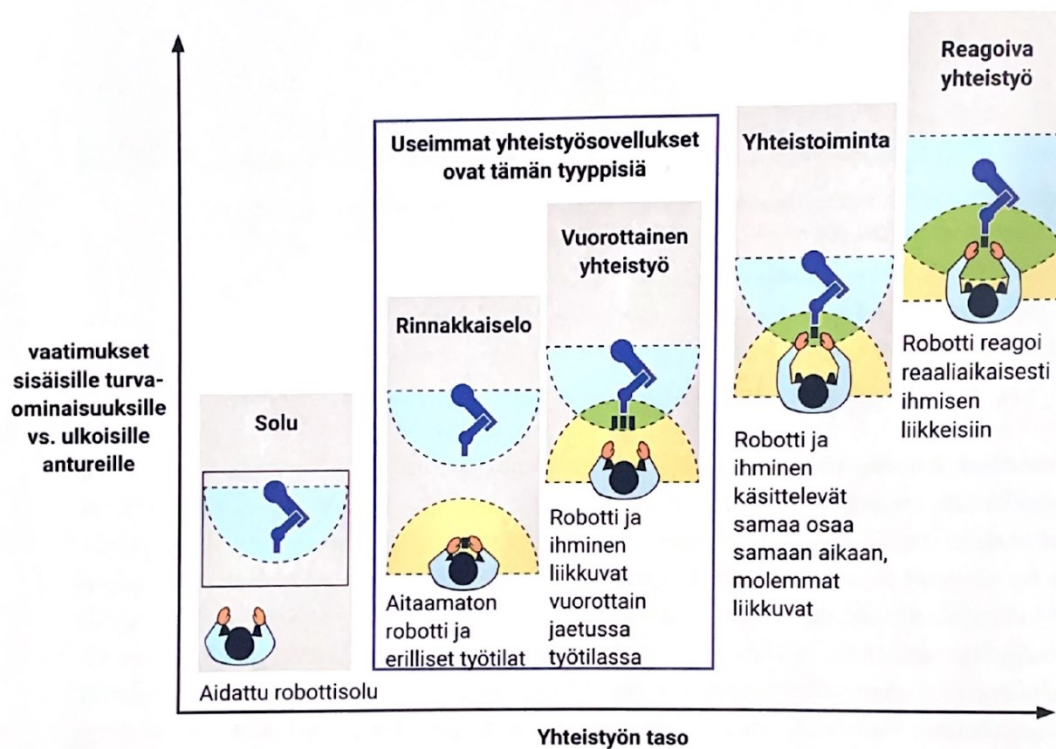
Yhteistyön tasoja on useita, joilla yhteistyötä robotin ja ihmisen välillä voidaan toteuttaa. Perinteisessä tavassa ihmiskontakti on estetty sijoittamalla robotti häkin ympäröimään soluun. Solun sisääntuloon syötetään materiaalia ja ulostulopaikasta saadaan robotin käsittelemät kappaleet ulos. Ihmisen ja robotin yhteistyötä on mahdollista kehittää ja hyödyntää esimerkiksi seuraavissa tapauksissa; kun halutaan sujuvoittaa ja nopeuttaa tuotevirtaa esimerkiksi prosessissa, joissa käytetään eri kokoisia ja muotoisia osia, tai

halutaan helpottaa monimutkaisia kokoonpanoprosesseja, myös tehtävissä, joissa vaaditaan samanaikaisia tehtäviä ihmiseltä ja robotilta. (Latokartano ym., 2023, s. 73)

Robotisoitavat tehtävät määrittävät yhteistyötason. On huomioitava, että monimutkainen ja korkea yhteistyön taso aiheuttaa korkeita kehityskustannuksia. Siksi on tärkeää analysoida ja arvioida tarkasti, minkä tyyppistä yhteistyötä kyseisessä tehtävässä todella tarvitaan. (Latokartano ym., 2023, s. 74)

Kuvassa 2 on esitetty erilaiset yhteistyön tasot ja niiden suhde turvajärjestelmiltä vaadittuihin ominaisuuksiin. Yhteistyön tasoja ovat aidattu robottisoluk, rinnakkaiselo, vuorottainen yhteistyö, yhteistoiminta ja reagoiva yhteistyö.

Kuva 2. Ihmisen ja robotin yhteistyön tasot. (Latokartano ym., 2023, s. 74)



Aidattu robottisoluk on yleisin ja yksinkertaisin tapa toteuttaa turvallinen robotisointi. Varsinaista yhteistyötä robotin ja ihmisen välillä ei aidatussa robottisolussa ole. Rinnakkaiselossa robotilla työskentelyä on helpotettu korvaamalla aidat turvaluokitelluilla antureilla ja skannereilla. Robotti ja ihminen eivät kuitenkaan jaa samaa työtilaa, joten

yhteistyön näkökulmasta tilanne on sama kuin aidatussa robottisolussa. (Latokartano ym., 2023, s. 74)

Vuorottaisessa yhteistyössä robotti ja ihminen jakavat saman työtilan vuorotellen. Turvaluokitelluilla antureilla ja skannereilla valvotaan työtilaa. Ihmisen ollessa työtilassa robotti on suojapysäytystilassa ja jatkaa työskentelyä vasta, kun ihminen poistuu työtilasta. (Latokartano ym., 2023, s. 75)

Yhteistoiminnassa robotti ja ihminen voi työskennellä vierekkäin. Työtila on yhteinen, mutta työkappale tai prosessi on molemmilla omansa. Tässä sovelluksessa tulevat kyseeseen vain yhteistyörobotit, koska niiden teho, voima ja nopeus on rajoitettu. Lisäksi yhteistyöroboteissa on voima- ja vääntöanturit, joiden havahtuessa robotti menee automaattisesti turvatilaan. (Latokartano ym., 2023, s. 75)

Reagoivassa yhteistyössä ajatuksena on riittävällä määrällä antureita varustettu robotti, joka pystyy havainnoimaan ja ymmärtämään ympäristöä, sekä operaattorin aikomuksia. Tätä tasoa voisi hyödyntää esimerkiksi painavaa kappaletta nostettaessa ihmisen ja robotin yhteistyönä. Reagoiva yhteistyö on kuitenkin vasta tutkimusasteella. (Latokartano ym., 2023, s. 75)

2.3 Investointikustannuksiin vaikuttavat tekijät

Robottijärjestelmän voi ostaa järjestelmätoimittajalta tai tuotantolaitos voi koota sen itse. Huomioitavaa on, että hankintatapa vaikuttaa siihen kenen pitää taata järjestelmän turvallisuus ja vaatimustenmukaisuus. ETA-alueella voimassa oleva konedirektiivi säätelee koneiden turvaluokituksia. Direktiivi velvoittaa kaupan kohteena ja käytössä olevalle järjestelmälle CE-merkinnän, jolla taataan järjestelmän vaatimustenmukaisuus. Tuotantolaitos voi toteuttaa arviointityön ja CE-merkinnän myös itsearvointina. (Lempiäinen, 2023, s. 20)

Tehtäviä suorittaakseen robotti tarvitsee järjestelmän, joka koostuu itse robotista, sen työkaluista, tarvittavista oheislaitteista, sekä ohjaus- ja turvajärjestelmistä. Koko järjestelmän hankintakustannukset voidaan tyypillisesti arvioida nousevan kolminkertaisiksi itse robotin hintaan nähden. (Lempiäinen, 2023, s. 19)

Luotettavan toiminnan varmistamiseksi järjestelmä tarvitsee säännöllistä huoltoa. Pitkien tuotantokatkoksien välttämiseksi erityisesti kuluviiksi todettuja osia on syytä pitää varastossa. Robottijärjestelmän tyypillinen elinkaari on 10–15 vuotta. Käyttöikää pohtiessa on hyvä

muistaa, että tarpeen tullen robotti on valjastettavissa ja ohjelmoitavissa myös muihin tehtäviin. (Holamo ym., 2023, s. 88)

2.4 Suunnittelu

Robotisointi lähtee aina tarpeesta ja sillä tavoitellaan hyötyä. Aluksi on tärkeä tunnistaa syyt, miksi halutaan robotisoida. Olennaista on myös ymmärtää mitä robotisoitavassa prosessissa tapahtuu, mitä materiaalille tehdään, mistä syntyy kustannuksia ja mistä hyötyä. On tärkeä ymmärtää robottien luonne ja mihin ne kykenevät, tällöin robotin ja ihmisen kyvykkyydet voivat täydentää toisiaan. Robotisoinnin tarkoituksena ei ole toistaa ihmisen liikkeitä, vaan luoda prosessi robotin ominaisuudet huomioiden. Tiedonhaun ja asiantuntevien partnerien avulla hankitaan ymmärrys tehtävän laajuudesta ja oleellisista työvaiheista. (Holamo ym., 2023, s. 78)

Simulointia voidaan käyttää suunnittelun apuna. Sen avulla voidaan tarkastella muun muassa sitä, kykeneekö robotti toteuttamaan sille suunniteltuja liikeratoja. Lisäksi simuloinnilla voidaan tarkastella esimerkiksi robotin ulottuvuutta, työkiertoa ja tahtiaikoja. Pitkälle viedyssä simuloinnissa voidaan tarkastella kokonaisen robottisolun tai tuotantojärjestelmän toimintaa. (Holamo ym., 2023, s. 79)

Sidosryhmät, kuten käyttäjät, tuotannon johtajat, huolto- ja turvallisuusvastaavat on tärkeää ottaa projektiin mukaan heti suunnittelun alussa. Järjestelmän sujuvan käytettävyyden takaamiseksi suunnittelu on tärkeää tehdä yhteistyössä käyttäjän kanssa työnjohdon ja turvallisuusvastaavan näkökannat huomioiden. Suunnittelijalta vaaditaan hyviä sosiaalisia taitoja. Sidosryhmien kanssa keskustelemalla ja kaikki olennainen tieto huomioimalla suunnittelijan on mahdollista toteuttaa hyödyllinen ja käytettävyydeltään sujuva järjestelmä. (Holamo ym., 2023, s. 80)

Konseptisuunnitelman, eli yleisluontoisen ehdotuksen prosessiin soveltuvasta robottijärjestelmästä tekee järjestelmätoimittaja. Ennen konseptisuunnittelua on selvitettävä prosessin nykytila ja määritettävä tavoitetila. Näiden avulla järjestelmätoimittaja kykenee luomaan konseptin tai useita konsepteja, joissa on selvitetty robottijärjestelmän perustekniset ratkaisut ja tunnistettu ratkaistavissa olevat osa-alueet. Konseptisuunnitelmassa ei ehkä kaikkeen ole ratkaisua, mutta sen avulla voidaan arvioida projektiin liittyviä riskejä, toimitusaikaa ja kustannuksia. Konseptissa on mietitty perusratkaisut järjestelmän keskeisille toiminnoille ja luotu alustava layout. Lisäksi on huomioitu järjestelmän käyttämä energia, turvaratkaisut ja materiaalivirta. Myös sanallinen kuvaus työkierrosta ja operaattorin roolista järjestelmää käytettäessä on selvitetty. (Holamo ym., 2023, ss. 84–85)

3 Robottiikka ja työturvallisuus

Ihmisen ja robotin vuorovaikutus on aiemmin ollut haasteellisempaa. Perinteiset teollisuusrobotit ovat isoja, voimakkaita ja nopeita, joten niiden soveltaminen toimimaan ihmisen kanssa yhteistyössä luo turvallisuusteknisiä haasteita. Tyypillisesti ihmisen ja robotin kohtaaminen robotin työskennellessä on estetty aitaamalla robotin työalue aidalla. Vuorovaikutusta on voitu lisätä turvajärjestelmillä, jotka sisältävät esimerkiksi optisia antureita. Niiden avulla suoja-aitaan on voitu tehdä optisella anturilla valvottu aukko esimerkiksi kappaleen panostusta varten. Nykyisellä tekniikalla on mahdollista rakentaa dynaaminen järjestelmä, jossa turvajärjestelmä huolehtii ihmisen ja robotin välisestä riittävästä turvaetäisyydestä, jolloin ihminen voi liikkua työalueella vapaasti ja turvallisesti. Tämä tekniikka avaa uusia mahdollisuuksia perinteisten robottien käyttöön. Suurimpana muutoksena nähdään uudet yhteistyörobotit. Yhteistyörobotit on suunniteltu työskentelemään samassa työpisteessä ihmisen kanssa yhteistyössä. Tyypillisesti ne ovat kevytrakenteisempia. Yhteistyörobotin turvallisuus perustuu rajoitettuun nopeuteen ja voimaan. Turvallisuus on huomioitu lisäksi robotin pyöristetyssä ja pehmenetyssä muotoilussa. Yhteistyörobottien hyvin erilaisien käyttötarkoitusten ja ihmisen vieressä työskentelyn takia robottilaitteistot on suunniteltava huolellisesti, ja standardien mukaisesti laitteistoille on tehtävä riskien arviointi. Arviointi on tehtävä uudelleen jokaisen laitteistoon tehdyn muutoksen jälkeen. Yhteistyörobottien riskien arviointi on teollisuusrobotia haastavampaa, koska yhteistyörobottien odotetaan työskentelevän ihmisen vieressä, jolloin mahdollisuus loukkaantua on suuri. (Malmi & Salmi, 2019, ss. 13–14)

3.1 Yhteistyörobottien työturvallisuus

Yhteistyörobotin turvallisuuteen vaikuttavat itse laitteisto, työtehtävä, sekä työtehtävän vaatima yhteistoiminnan muoto. Tiiviissä yhteistyössä robotti voi esimerkiksi avustaa ihmistä kokoonpanossa. Tällöin robotti ja ihminen voivat olla kosketuksissa, tai ne voivat koskettaa ja käsitellä kappaletta samanaikaisesti. Vähemmän tiiviissä yhteistyössä robotti voi työskennellä ihmisen rinnalla saman aikaisesti eri kappaleen parissa. Yhteistyö robotin kanssa voi olla myös vuorottelevaa, jolloin ihminen ja robotti työskentelevät samalla alueella, mutta eivät samanaikaisesti. Tämä on toimiva järjestely silloin, kun tehtävään sisältyy oma osuus ihmisen tekemälle työlle ja oma osuus robotin tekemälle työlle. Tällä tavalla vaarallinen työtehtävä voidaan antaa robotin tehtäväksi. Jaetun avoimen tilan yhteistyössä voi olla mahdollista käyttää matalampia turvavaatimuksia esimerkiksi ihmisen mennessä alueelle materiaalitäydennystä tai vian selvitystä varten, kunhan robotin turvallisesta pysäytyksestä huolehditaan. Turvallisuuden suhteen haasteellisissa tehtävissä voidaan robottisolu toteuttaa perinteisen robotin tapaan erottamalla ihmisen ja robotin työalueet.

Robotin liike pysäytetään ihmisen mennessä työalueelle. Robotin kanssa työskentelyä voi sujuvoittaa automaattisen valvonnan avulla ja käyttämällä muita ratkaisuita, kuten kuljettimia. (Malmi & Salmi, 2019, ss. 13–15)

3.2 Konedirektiivi ja koneasetus

Teollisuudessa käytettävät robottijärjestelmät kuuluvat koneasetuksen eli Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 400/2008 piiriin. Koneasetus saattaa voimaan Suomen alueella Euroopan unionin konedirektiivin 2006/42/EY, joka määrittää järjestelmille asetettavat tekniset vaatimukset. (Latokartano, 2023, s. 92)

Konedirektiivin mukaisesti koneen valmistajan on otettava kokonaisvastuu siitä, että markkinoille tuotu kone täyttää konedirektiivin vaatimukset. Valmistajaksi voidaan katsoa koneen valmistanut yritys tai sen Euroopan alueen maahantuoja tai jälleenmyyjä. Yrityksen itse rakentaessa kone eri valmistajien koneista tai koneenosista, katsotaan kyseinen yritys valmistajaksi. (Latokartano, 2023, s. 93)

”Vaatimuksissa on olennaista, että joku vastaa kokonaisuudesta ja antaa siitä vaatimustenmukaisuusvakuutuksen. Elleivät muut sitä tee, on se ostajan vastuulla.” (Latokartano, 2023, s. 93)

Vaatimustenmukaisuusvakuutus vaaditaan kaikilta Euroopan unionin alueella markkinoille saatetuilta koneilta. Sovelletuista standardeista riippumatta valmistajan on tehtävä kattava riskien arviointi kaikilta osin. Koneen normaalin käytön lisäksi turvallisuussuunnittelussa on huomioitava kohtuudella ennakoitavissa oleva väärinkäyttö. Allekirjoittamalla vaatimustenmukaisuusvakuutuksen koneen valmistaja takaa, että kone täyttää kaikki sitä koskevat olennaiset terveys- ja turvallisuusvaatimukset. Allekirjoittamisen jälkeen koneeseen voidaan tehdä CE-merkintä. (Latokartano, 2023, s. 93)

Vastuu koneen turvallisuudesta siirtyy ostajalle, kun ostaja on hyväksynyt käyttöönoton. Työnantaja vastaa siitä, että yrityksessä käytettävät laitteet ovat turvallisia käyttää. (Latokartano, 2023, s. 96)

Yhteistyörobottien turvallisuusvaatimukset on esitetty yleisellä tasolla harmonisoidussa standardissa SFS-EN ISO 10218-1:2011, jonka mukaisesti konedirektiivin vaatimukset tulevat täytetyiksi soveltuvin osin. (Malmi & Salmi, 2019, s. 13)

3.3 Riskinarviointi

Riskin arvioinnin ja pienentämisen periaatteet ovat olennainen osa koneturvallisuus standardia SFS-EN ISO 12100, jotka auttavat suunnittelijaa robottisolun turvallisuuden saavuttamisessa. (Latokartano, 2023, s. 97)

Koneen riskien arviointiin kuuluu riskianalyysi. Riskianalyysissä määritetään koneen raja-arvot, tunnistetaan vaarat, sekä arvioidaan riskien suuruus ja merkitys. Riskianalyysistä ja riskin merkityksen arvioinnista saadut tiedot mahdollistavat päätöksenteon siitä, tarvitaanko riskin pienentämistä. Koneen raja-arvojen määrittämisessä määritetään mihin, miten ja milloin konetta käytetään ja mihin sitä ei saa käyttää. Vaarojen tunnistaminen käsittää kaikkien koneen käyttöön liittyvien vaarojen, sekä ennakoitavissa olevan väärinkäytön tunnistamisen koko elinkaaren ajalta. Riskien suuruuden arvioinnissa riskin suuruus on vahingon vakavuuden ja esiintymistodennäköisyyden funktio. (Latokartano, 2023, ss. 97–100)

Riskien suuruuden arviointiprosessin tukena voidaan käyttää joitain siihen soveltuvia työkaluja, kuten esimerkiksi riskimatriisi, riskigraafi tai numeerinen pisteytys. Lisäksi on olemassa menetelmiä yhdistäviä työkaluja. Riskin suuruuden arvioinnissa tärkeintä on kuitenkin kurinalainen prosessi, kunhan kaikki riskin osatekijät otetaan huomioon. Riskin osatekijät on kuvattu standardissa ISO 12100:2010 kohdassa 5.5.2. (SFS-ISO/TR 14121-2:2013, s. 22)

Riskin osatekijät ovat vahingon vakavuus ja kyseisen vahingon esiintymistodennäköisyys. Vahingon esiintymistodennäköisyys saadaan funktiosta, joka koostuu tekijöistä kuten; millä todennäköisyydellä henkilö altistuu kyseiselle vaaralle, millä todennäköisyydellä vaarallinen tapahtuma esiintyy, ja onko teknistä tai henkilöstä riippuvaa mahdollisuutta välttää kyseistä vahinkoa. (SFS-EN ISO 12100:2010, s. 21)

Riskin suuruuden arvioinnin jälkeen arvioidaan riskin merkitys ja päätetään, tarvitaanko riskin pienentämistä. (SFS-EN ISO 12100, s. 26) Riskin merkityksen arvioinnissa arvioidaan mitkä vaaratilanteet vaativat riskin pienentämistä ja onko riskin pienentäminen saavutettu aiheuttamatta uusia vaaroja tai suurentamatta muita riskejä. Erittäin pienet ja vähäpätöiset riskit voidaan kirjata poissuljetuiksi jatkotarkastelusta. Merkittävän riskin aiheuttavan vaaratilanteen riskiä on pienennettävä. Suuren riskin aiheuttavalle vaaratekijöille tehdään yksityiskohtaisempi riskien arviointi. (SFS-ISO/TR 14121-2:2013, s. 42)

Riskin pienentämisen tavoite saavutetaan poistamalla tai pienentämällä riskin osatekijöitä. Riskin pienentämiseen käytetään kolmen askeleen menetelmää, joita sovelletaan

peräkkäisessä järjestyksessä. Riskin pienentämisen riittävyys määritetään jokaisen askeleen jälkeen ja arvioidaan samalla kasvavatko muut riskit tai ilmaantuuko uusia vaaroja, kun sovelletaan uusia suojaustoimenpiteitä.

Kolmen askeleen menetelmä

- Ensimmäisessä askeleessa käytetään luontaisesti turvallisia suunnittelutoimenpiteitä, joilla poistetaan tai vähennetään riskejä, valitsemalla koneen ja henkilöiden vuorovaikutusta luontaisesti tukevia ratkaisuita.
- Toisessa askeleessa otetaan käyttöön suojausteknisiä toimenpiteitä ja täydentäviä suojaustoimenpiteitä, kun luontaisesti turvallisia toimenpiteitä ei voida käyttää.
- Kolmannessa askeleessa yksilöidään luontaisista ja suojausteknisistä toimenpiteistä jäljelle jääneet riskit ja sisällytetään ne käyttöä koskeviin tietoihin. Käyttöä koskevat tiedot eivät kuitenkaan voi korvata ensimmäisessä ja toisessa askeleessa käytettyjä toimenpiteitä.

(SFS-EN ISO 12100:2010, s. 27)

Riittävä riskin pienentäminen on saavutettu, kun vaarat on poistettu tai riskejä on pienennetty alimmalle käytännössä mahdolliselle tasolle, ja käytetyillä suojaustoimenpiteillä ei ole kielteisiä vaikutuksia koneen käytettävyyteen tai työskentelyolosuhteisiin. (SFS-EN ISO 12100:2010, s. 26)

3.4 Esimerkki riskimatriisista

Kuvassa 3 on esitetty esimerkki riskimatriisista, mukailien standardia (SFS-ISO/TR 14121-2, s. 30.)

Riskimatriisia tulkitaan seuraavasti:

- Lievä vamma: tavallisesti palautuva, kyvyttömyys suorittaa samaa tehtävää ei kestä pitempään kuin kaksi päivää
- Vakava vamma: tavallisesti palautumaton, mukaan luettuna kuolema. Kyvyttömyys suorittaa samaa tehtävää kestää pitempään kuin kaksi päivää.

Vaaralle altistumisen taajuus tai kesto:

- Harvoin: Altistuminen vaaralle enintään kahdesti työvuoron aikana tai alle 15 minuutin kerääntyvä altistuminen työvuoron aikana.
- Usein: Altistuminen vaaralle useammin kuin kahdesti työvuoron aikana tai yli 15 minuutin kerääntyvä altistuminen työvuoron aikana.

Vaarallisen tapahtuman esiintymistodennäköisyys:

- Pieni: Niin epätodennäköinen, että tapahtuma ei ehkä toteudu. Luotettaviksi ja lujiksi todetut turvallisuusjärjestelyt.
- Keskimääräinen: Todennäköisesti tapahtuu joskus. Vikaantuu harvoin. Käyttäjä on hyvin koulutettu, kokenut ja riskeistä tietoinen.
- Suuri: Tapahtuu todennäköisesti usein. Vikaantuu usein (vähintään kerran kuudessa kuukaudessa). Kouluttamaton ja vähän kokenut käyttäjä työskentelee virheellisesti.

Vahingon välttämisen tai rajoittamisen mahdollisuus:

- Mahdollista joissain tilanteissa:
 - -Jos osat liikkuvat alle 0,25 m*s nopeudella ja vaaralle altistuva henkilö tuntee hyvin riskin sekä vaaratilanteen tai tulossa olevan vaarallisen tapahtuman ennusmerkit; työntekijän on myös pystyttävä havaitsemaan vaaratilanne ja kyettävä reagoimaan siihen.
 - -Riippuen kyseisen tilanteen olosuhteista (lämpötila, melu, ergonomia jne.)
- Ei mahdollista.

(SFS-ISO/TR 14121-2, s. 28.)

Kuvan 3 kaltainen riskimatriisi soveltuu pääasiassa äkillisten vahinkojen riskiluokan määrittämiseen, mutta ei sovellu kovin hyvin terveyteen liittyvien vaarojen, kuten melusta tai ergonomiasta aiheutuvien vaarojen arvioimiseen.

Riskiluokat 1–2 vastaavat pientä riskiä, 3–4 vastaavat keskimääräistä riskiä ja 5–6 vastaavat suurta riskiä. (SFS-ISO/TR 14121-2, s. 30.)

Kuva 3. Esimerkki riskimatriisista, mukailten (SFS-ISO/TR 14121-2, s. 30)

		Esiintymistodennäköisyys pieni		Esiintymistodennäköisyys keskimääräinen		Esiintymistodennäköisyys suuri	
		Välttäminen mahdollista	Välttäminen ei mahdollista	Välttäminen mahdollista	Välttäminen ei mahdollista	Välttäminen mahdollista	Välttäminen ei mahdollista
Lievä vamma	Taajuus tai kesto Harvoin	1				2	
	Taajuus tai kesto Usein	1				2	
Vakava vamma	Taajuus tai kesto Harvoin	2		3		4	
	Taajuus tai kesto Usein	3	4	5		6	

4 Robottisolun suunnittelu Lean-robotisointi-metodin avulla

Lean-robotisointi on metodi, jonka tavoitteena on yksinkertaistaa robotisointi tehtaissa. Koska robotisointia on mahdollista lähestyä monilla eri tavoilla, aiheuttaa ajatus siitä alkuun runsaasti kysymyksiä. Prosessit eri tehtaissa ovat hyvin erilaisia, joten robotisointiin ei ole olemassa yhtä kaikille sopivaa ratkaisua. Käyttämällä selkeää ja standardoitua menetelmää, sekä etenemällä askel askeleelta, on mahdollista pilkkoa suuret haasteet pienemmiksi ja hallittaviksi. (Bouchard, S., 2017, s. 18)

Haasteita robotisointiin tuovat muun muassa aiemmin totuttu ajattelutapa odotuksista robotiikkaa kohtaan ja robottiteollisuuden standardien puute. Oman haasteensa tuo digitaalisesti ohjatun robotin, sekä monimuotoisen ja sekavan fyysisen maailman yhdistämisen haasteet, ja lisäksi puute robotiikkaa osaavasta henkilöstöstä. (Bouchard, S., 2017, ss. 30–34)

Lean-robotisointi mahdollistaa kustannustehokkaan robotisoinnin. Se koostuu kolmivaiheisesta robottisolun käyttöönotosta ja neljästä periaatteesta. Käyttöönoton vaiheet muodostuvat suunnittelusta, integraatiosta ja operoinnista. Lean-robotisoinnin periaatteet ovat; ihminen ennen robottia, huomio robottisolun ulostulossa, minimoi hukka ja kehittä taitojasi. (Bouchard, S., 2017, s. 38)

Lean-tuotanto on kiteytettynä; määrittää saatava arvo asiakkaan näkökulmasta, kartoittaa arvon tuottava tuotantoketju, säästää resursseja vähentämällä hukkaa tuotantoketjussa, ja kehittää pienin vakain askelin kohti täydellistä. Usein robottisolussa asiakkaalla tarkoitetaan tuotantolinjassa seuraavaa askelta tai asemaa, ja arvolla tarkoitetaan tuotteen saapumista

asiakkaalle oikeanlaisena ja oikeaan aikaan. Arvoa tuottava ketju voi tarkoittaa operointivaiheessa robottisolun lisäarvoa tuottavaa muutosta, jonka se suorittaa tuotteelle. Suunnittelu- ja integrointivaiheessa arvo tuotetaan vasta kun robottisolu on saatettu tuotantoon. Jotta investoinnin tuotto saadaan maksimoitua, pitää hukka minimoida kaikissa robottisolun käyttöönoton vaiheissa, suunnittelussa, integroinnissa ja operoinnissa. Jatkuvan parantamisen suhteen robotti voidaan nähdä työkaluna robottisolun ja robotiikan taitojen kehittämisessä, joita voi jatkuvasti kehittää kuten muutakin tuotantoa. (Bouchard, S., 2017, ss. 39–40)

Hukan vähentämisen hyöty korostuu erityisesti toistoissa, kuten robottisolujen monistamisessa. Joskus pyrkimykset tehdä tuotannosta ”lean” robottien avulla, voivat johtaa tehtävien lisääntymiseen, jotka eivät ole lean-tuotannon mukaisia. Esimerkiksi jokin osa saapuu soluun paketissa, jota robotti ei pysty käsittelemään, tai robottisolusta tehdään liian massiivinen, jolloin tehtaan kehittämisestä tulee vaikeampaa. (Bouchard, S., 2017, ss. 42–43)

Robotisoinnilla voidaan saavuttaa etuja kuten, laadun parantuminen, ergonomian parantuminen, ajan säästö, terveyden ja turvallisuuden parantuminen, parempi keskittyminen hukan vähentämiseen, joissain tapauksissa automaattinen virheen ilmaisu ja ennen kaikkea voidaan välttyä tuhlaamasta ihmisen potentiaalia siirtämällä yksinkertaiset ja toistuvat tehtävät robotille. Robotisoinnissa saattaa tapauksen mukaan tulla lisää hukkaa ja toisaalta taas vähentyä, joten saavutukset ja haitat pitää punnita, ja arvioida saavutetaanko hyöty ja asetettu tavoite. (Bouchard, S., 2017, s. 45)

Lean-robotisoinnin yksi periaate on ”ihminen ennen robottia”. Se tarkoittaa sitä, että robottisolujen pitää olla turvallisia ihmiselle ja robottien pitää olla kaikkien käytettävissä. Robottisolujen turvallisuus on ensisijaisen tärkeää, ja voidaan hyvin pitkälti taata, kun noudatetaan työturvallisuuteen ja koneturvallisuuteen liittyviä kansallisia määräyksiä ja standardeja. Jotta robottisolut voivat olla kaikkien käytettävissä ja ymmärrettävissä, pitää suunnittelussa valita robotti, jossa on paras käyttöliittymä ja yksinkertaisimmat ohjelmointikäskyt. Mitä helpompia robottisolut ovat käyttää, sitä helpommin työntekijät voivat omaksua ne, ja halukkuus löytää uusia kehityskohteita lisääntyy. Välttämällä monimutkaisuutta välttyy samalla riskiltä, jossa vain harva omaksuu robotin käytön. (Bouchard, S., 2017, ss. 46–49)

Lean-robotisoinnin toinen periaate on ”huomio robottisolun ulostulossa”. Lean-tuotannossa on pyrkimyksenä keskittyä arvoa tuottaviin toimintoihin ja vähentää samalla arvoa tuottamatonta hukkaa. Asiakkaana on usein helppo nähdä tuotteen ostaja, joka tuotteesta

maksaa, mutta joskus täytyy keskittyä prosessin sisäiseen asiakkaaseen ensin. Sisäinen asiakas on seuraava askel, prosessi tai asema johon ulostulo luovutetaan. Leanin mukainen toiminto voidaan katsoa arvoa tuottavaksi, kun toiminto muuttaa tuotetta tai palvelua ja asiakas on halukas ”maksamaan” siitä. Lisäksi toiminnon tekeminen pitää onnistua ensimmäisellä kerralla. Robottisolun suunnittelussa ja integroinnissa tuote on tuottava robottisolu, ja kaikki tekeminen mikä ei liity robottisolun tekemiseen on arvoa tuottamatonta hukkaa. Arvoa tuottamaton toiminto ei kuitenkaan tarkoita hyödyttöä. Esimerkiksi tuotteen pakkaaminen on arvoa tuottamaton toiminto, mutta toimittamista varten välttämätön. Robottisolu voi tuottaa hyötyä tapauksissa, joissa toiminto on arvoa tuottamaton, mutta tarpeellinen. Nyrkkisääntönä voidaan pitää robottisoluissa sitä, että prosessin omaiset tehtävät kuten hitsaus, kiillotus, maalaus ja asennus, ovat arvoa tuottavia toimintoja. Materiaalin käsittely, kuten lastaus ja purku, paketointi, palletointi, tarkastus ja laadun varmistus ovat arvoa tuottamattomia toimintoja. (Bouchard, S., 2017, ss. 54–55)

Robottisolun asiakas on tuotannon seuraava vaihe, joka vastaanottaa robottisolusta valmistuneen tuotteen. Asiakas on saavuttanut hyödyn, kun robottisolu on kyennyt tuottamaan tuotteen oikeanlaisena ja oikeaan aikaan. (Bouchard, S., 2017, s. 56)

Robottisolun suunnittelun alussa on kyettävä vastaamaan kysymykseen, mikä on robottisolusta saatava hyöty asiakkaalle, eli tuotannon seuraavalle vaiheelle. Vastaus tähän kysymykseen vaikuttaa merkittävästi suunnitteluun ja integraatioon sekä siihen, tuleeko robottisolusta järkevä ja heti ensimmäisellä kerralla toimiva. (Bouchard, S., 2017, s. 56)

Toinen tärkeä näkökulma aloituksessa on tähdätä kaikkein yksinkertaisimpaan robottisoluun, joka kykenee tekemään tehtävän. Tavoite on luoda konsepti, jossa on pienin mahdollinen määrä toimintoja, ja vain ne toiminnot, jotka riittävät tuottamaan arvon asiakkaalle. On tärkeää keskittyä vain välttämättömiin toimintoihin. Tällä tavalla voidaan luoda asiakkaalle tuote minimi kustannuksilla ja ajan käytöllä. Projektia on katsottava pikemmin yhtenä kehitysaskelena, kuin lopullisena päämääränä. Jotta kaikkein yksinkertaisin robottisolu voidaan toteuttaa ja käytettävyyks todeta, pitää määrittää robottisolun antama arvo asiakkaalle, ja millä tavalla arvo voidaan mitata. (Bouchard, S., 2017, ss. 56–58)

Lean-tuotannossa hukkaa katsotaan tulevan aina, kun energiaa tai rahaa käytetään asiakkaalle arvoa tuottamattomasti. Lean-tuotannossa hukka jaetaan kolmeen kategoriaan, mura, muri ja muda. Mura tarkoittaa hukkaa, joka syntyy vaihtelusta. Muri tarkoittaa hukkaa, joka syntyy ihmisten tai laitteiden ylikuormittamisesta. Muda tarkoittaa hukkaa, joka syntyy asiakkaalle arvoa tuottamattomasta toiminnasta. Arvoa tuottamatonta hukkaa syntyy tyypillisesti, kun jotakin kuljetetaan, odotetaan, ylituotetaan, vioitetaan, inventoidaan,

siirretään tai yliprosessoidaan. Lisäksi hukkaa syntyy siitä, kun aikaa käytetään tehtäviin, joissa ihmisen potentiaalisia kykyjä ei ole huomioitu. (Bouchard, S., 2017, ss. 58–59)

Hukan vähentäminen tulee huomioida jokaisessa robotisoinnin vaiheessa. Yhtä tärkeää kuin hukan vähentäminen tuotannossa, on huomioida tuottavuus ja hukan vähentäminen suunnittelussa ja integroinnissa. Tämän laiminlyömisellä on kertautuvat vaikutukset robotisointiprojektissa tuleviin haasteisiin ja viivästyksiin. (Bouchard, S., 2017, ss. 59–60)

Jatkuva parantaminen on tärkeä osa Lean-tuotantoa. Aina on parannettavaa ja täydellisyyttä voidaan tavoitella, mutta on huomioitava, että lopullisen täydellistä ratkaisua ei ole olemassa. Täydellisyyttä ei pidä tavoitella heti. Kehityksessä on tärkeä edetä pienin askelin, sitä mukaa kun edellisistä askeleista on saatu oppia. (Bouchard, S., 2017, ss. 62–63)

4.1 Valmistautuminen

Robotisointiprojektin alussa on määritettävä projektin rajat. Valitaan manuaalisesti toimiva solu, joka halutaan automatisoida. Määritetään mitattavat arvot, joita halutaan parantaa. Määritetään projektin aikataulu. Lisäksi on määritettävä projektin vastuualueet ja -henkilöt. Vastuuhenkilöiden on huolehdittava, että kommunikaatio projektiin liittyvistä asioista on riittävä ja jokainen projektin osa-alue tulee huomioiduksi. Vastuuhenkilöitä nimittäessä on huolehdittava, että henkilöillä on riittävästi aikaa käytettävissä projektin hoitamiseen. (Bouchard, S., 2017, ss. 64–65)

On tärkeä pitää sidosryhmät tietoisina robotisointiprojektista. Jos ihmiset eivät tiedä mistä on kyse, he saattavat olettaa pahinta. Robotisoinnista syntyviin kysymyksiin voi valmistautua esimerkiksi johtoryhmän ja henkilöstöhallinnon yhteisessä aivoriihessä, joissa pohditaan yleisimpiin kysymyksiin vastauksia. (Bouchard, S., 2017, ss. 69–70)

Projektin määrittämisen jälkeen on kerättävä tietoa. On selvitettävä syy, miksi yritys haluaa investoida robotisointiin. Kun ensin ymmärretään, miksi robotisoidaan, voidaan paremmin keskittyä siihen, miten robotisointi kannattaa toteuttaa. Lisäksi tarvitaan tarkempi määrittäminen robotisoitavalle solulle, mistä solu alkaa ja mihin se päättyy. On luotava projektin päävaiheille aikataulu ja määritettävä mitkä ovat henkilöiden roolit yksityiskohtaisesti. (Bouchard, S., 2017, ss. 69–70)

4.2 Suunnittelu

Valmistautumisvaiheesta kerättyjen tietojen pohjalta suunnittelu etenee seuraavasti:

- Ensimmäisessä vaiheessa tehdään manuaalisen tuotantosolun tehtävien kartoitus.
- Toisessa vaiheessa luodaan manuaalisen tuotantosolun tehtävien kartoituksen pohjalta robotisoidun tuotantosolun tehtävänkartoitus.
- Kolmannessa vaiheessa manuaalista ja robotisoitua tuotantosolua verrataan.
- Neljännessä vaiheessa viimeistellään robotisoidun tuotantosolun konsepti.
- Viimeisessä vaiheessa integroidaan robottisolu. (Bouchard, S., 2017, s. 73)

Lean-tuotannossa jokainen kehitysprojekti aloitetaan nykyisen arvoa tuottavan ketjun kartoituksella. Ensimmäisessä vaiheessa nykyisen arvoa tuottavan ketjun kartoitus aloitetaan tunnistamalla solun asiakas ja mikä on asiakkaan määrittämä arvo, eli vaatimukset solun ulostulolle. Toisessa vaiheessa manuaalinen prosessi pilkotaan askeleiksi ja määritetään mitkä askeleet ovat arvoa tuottavia, ja mitkä askeleet ovat arvoa tuottamattomia.

Kolmannessa vaiheessa kuvaillaan mitä tietoa arvoa tuottavassa ketjussa liikkuu, ja miten sitä käytetään. Lean-tuotannossa nykyisen arvoa tuottavan ketjun kartoituksen pohjalta luodaan uusi ihanteellisesti arvoa tuottavan ketjun kartoitus. Lean-robotiikassa nykyinen kartoitus vastaa manuaalisen tuotantosolun tehtävien kartoitusta ja ideaalinen prosessi robotisoitua tehtävänkartoitusta. Näiden kahden kartoituksen avulla pystytään tekemään prosessien vertailu, sekä päättämään mitä toimenpiteitä robotisointi vaatii. (Bouchard, S., 2017, ss. 75–76)

4.3 Manuaalisen tuotantosolun tehtävien kartoitus

Manuaalisen tuotantosolun tehtävien kartoitus selkeyttää kuvaa nykyisestä prosessista ja auttaa määrittämään ongelman. Kartoitus voi tuntua työläältä, mutta ilman sitä on suuri riski, että päädytään teknisesti monimutkaiseen ratkaisuun. (Bouchard, S., 2017, s. 77)

Manuaalisten tehtävien kartoituksessa luodaan lean-tuotannon mukainen arvovirtakartta, joka koostuu arvon tuottavan prosessin vaiheista ja tiedoista. Lean robotisoinnissa manuaalisten tehtävien kartoituksessa arvovirtakartan lisäksi tulee huomioida ja kerätä tietoa, jota tarvitaan robotisoinnin suunnittelussa. Tiedostamalla minkälaisiin ihmisen tekemiin tehtäviin robotti ei kykene, kyetään keräämään tarpeellista tietoa robotin rajoitteista. (Bouchard, S., 2017, s. 78)

Manuaalisen tuotantosolun tehtävien kartoituksen seitsemän vaihetta:

1. Tunnistetaan tuotantosolun asiakas
2. Määritetään asiakkaan arvostama ulostulo tuotantosolusta
3. Määritetään tuotantosolun sisääntulo

4. Tehdään kuvaus nykyisestä tuotantoprosessista
5. Dokumentoidaan informaation kulku tuotantosolussa
6. Mitataan tuotantosolun suorituskyky
7. Tiivistetään kartoitus

(Bouchard, S., 2017, ss. 77–79)

Aloittamalla kartoitus tuotantoprosessin lopusta, eli määrittämällä asiakas, kykenemme keskittymään oleelliseen, eli tuottamaan arvoa seuraavalle askelelle tuotannossa. Ulostulon määrittämisessä oleellisinta on asiakkaan tarpeet. On tärkeää erottaa mitkä ovat asiakkaan näkökulmasta mieluisia, ja mitkä ovat ehdottoman tärkeitä ominaisuuksia. Sisääntulon määrittämisessä kartoitetaan soluun tulevat materiaalit ja osat. On kiinnitettävä huomiota siihen, miten ja millä tavalla osat ja materiaalit saapuvat soluun, ja miten se on huomioitava robotisoinnissa. Kappaleiden paino, ulkomitat, materiaali ja tarvittava kappalemäärä ovat usein oleellisia tietoja. Lisäksi tarvitaan tieto esimerkiksi siitä, onko osat pakattu ja millä tavalla osat tarjoillaan soluun. Kartoituksessa on huomioitava osien mahdolliset variantit ja vaihtuvuus tulevaisuudessa. Joissain tapauksissa osien esiintyminen voi aiheuttaa robotisoinnissa arvoa tuottamattoman työn lisääntymistä, kuten osien asettelemista tiettyyn asentoon. Nykyisen prosessin kuvauksessa kerätään kaikki tieto prosessin tapahtumista sisääntulon ja ulostulon välillä. Tämä on haastavin tehtävä manuaalisien tehtävien kartoituksessa, mutta esimerkiksi prosessin videoimisesta voi olla apua. On tärkeää kiinnittää huomiota pienimpiinkin tehtäviin, jotka voivat olla robotille haasteellisia, kuten jonkin osan visuaalinen tarkastus ennen asennusta, lian, satunnaisien muotovirheiden, tai muun varalta. Kartoituksessa on tunnistettava mitkä tehtävät ovat arvoa tuottavia ja mitkä arvoa tuottamattomia, ja mitattava kuinka paljon aikaa menee kunkin tehtävän tekemiseen. Tiedonkulun dokumentoinnissa kerätään tieto kaikesta solussa tapahtuvasta tiedonkulusta. Oleellisia tietoja ovat esimerkiksi, mitä tietoa soluun tuodaan, mitä tietoa solun sisällä liikkuu ja mitä tietoa solusta lähtee ulkopuolelle. Lisäksi kartoitetaan mitä näillä tiedoilla tehdään ja miten ne vaikuttavat solussa tapahtuvaan toimintaan. Suorituskyvyn mittaamisessa kiinnitetään huomio tavoitteisiin, joita robotisoinnilla haetaan. Kehittämisen tavoitteet voivat liittyä tuottavuuteen, kapasiteettiin, laatuun, ergonomiaan, tai ihmisen odotusajan ja arvoa tuottamattoman ajan kohdentamiseen muihin tehtäviin. (Bouchard, S., 2017, ss. 80–87)

Kartoituksen tiivistyksessä tiivistetään olennainen tieto ja luodaan siitä visuaalinen esitys, joka selkeyttää kuvaa tuotantosolusta, jota ollaan kehittämässä. Manuaalisesta tuotantosolusta luodaan esityksen tueksi pohjapiirros solusta. (Bouchard, S., 2017, s. 89)

4.4 Robotisoidun solun tehtävien kartoitus

Robotisoidun solun tehtävien kartoituksen tavoitteena on luoda alustava konsepti, jonka avulla voidaan manuaalisten tehtävien kartoitukseen verraten pohtia, onko kannattavaa viedä kyseistä konseptia eteenpäin. Tässä vaiheessa ei ole tarkoitus tehdä yksityiskohtaista suunnittelua. Kartoitukseen riittää tiedot robottisolun tarvittavista pääkomponenteista, kuten itse robotista, tarvittavista työkaluista, antureista, turvallisuus ratkaisuksista ja ohjelmoinnin tarpeista. On tarpeellista arvioida jokaisen komponentin tekniset arvot ja millä tavalla komponentit kommunikoivat robotin kanssa. Seuraavaksi luodaan kuvaus robotisoidun solun sekvensseistä. Kuvauksesta pitää selvittää osien sisääntulo tapa, tapa millä tuotteet lähtevät ulos asiakkaalle, robotin toteuttamat prosessin vaiheet, sekä informaation kulku solussa. On huomioitava, että tapa, jolla osat tulevat robottisolun sisään, vaikuttaa omalta osaltaan solussa tarvittaviin antureihin ja robotin työkaluihin. Osien ulostulotapaa pohtiessa tulee huomioida, millä tavalla tuotteet on tarkoitus esitellä asiakkaalle, vaaditaanko esimerkiksi tarkastus ennen seuraavaa vaihetta. Lopuksi luodaan pohjapiirros robottisolusta samalla periaatteella kuin manuaalisen solun pohjapiirros, jotta niistä saadaan vertailukelpoiset. (Bouchard, S., 2017, ss. 102–105)

Samaan tapaan kuin manuaalisten tehtävien kartoitus, myös robotisoidun solun tehtävien kartoitus tapahtuu tunnistamalla solun asiakas, määrittämällä arvokas ulostulo, määrittämällä sisääntulo, kuvailemalla prosessin ja informaation kulku, määrittämällä suorituskykyymittarit, ja lopuksi tiivistämällä kartoitus. Tapauksissa, joissa ei kannata automatisoida koko prosessia, voidaan päätyä automatisoimaan vain osa prosessista. Tällöin solun asiakkaaksi saattaa määrittyä joku muu kuin manuaalisessa prosessissa. Esimerkiksi, jos asennusprosessista kyetään automatisoimaan puolet ja loput jäävät manuaaliseksi prosessiksi, katsotaan robottisolun asiakkaaksi solun operaattori. Joissain tapauksissa robotilla voidaan kyetä tekemään enemmän kuin alkuperäisessä manuaalisessa solussa, jolloin samalla tavalla määritetään solun asiakas uudelleen. (Bouchard, S., 2017, s. 106)

Ulostulon arvon määrittämiseen voi tulla muutoksia, vaikka manuaalisen ja robotisoidun solun asiakas pysyisikin samana, erityisesti silloin kun kehityskohteena on esimerkiksi ulostulon laatu. Ulostulon arvon määrittämiseen voi käyttää kysymystä, ”mitä minä solun asiakkaana tarvitsen, jotta voin...?” Robottisolun sisääntulon määrittämisessä voidaan joutua lisäämään osien käsittelyyn työvaiheita, riippuen alkuperäisestä osien esiintymistavasta. Vaihtoehtoja voivat olla lisätä robottiin konenäköä, tai lisätä manuaalinen työvaihe osien asetteluun robotille suotuisasti. Prosessikuvauksessa kuvataan sekvenssit solun toiminnasta ja arvioidaan mitkä sekvenssit ovat arvoa tuottavia ja mitkä arvoa tuottamattomia. Lisäksi arvioidaan, tai mahdollisuuksien mukaan simuloimalla mitataan kuhunkin sekvenssiin kuluva

aika. Informaation kulun dokumentoinnissa kuvataan mitä tietoa robottisolussa tarvitaan, mistä tieto tulee ja missä muodossa? Dokumentoinnissa on huomioitava soluun sisään tuleva tieto, solun sisällä liikkuva tieto ja solusta ulos menevä tieto. Lisäksi on otettava huomioon mahdollisuus alkuperäisen manuaalisen tiedonkulun muuttaminen sähköiseksi. Robottisolun suorituskyvyn mittaamiseen käytetään manuaalisten tehtävien kartoituksessa määritettyjä mittareita. Tässä on määritettävä mitkä ovat suorituskyvyn kehittämisen tavoitteet tai minimiarvot. Lisäksi on määritettävä millä tavalla ja missä vaiheessa robottisolun suorituskyvyn mittauksia tehdään. Lopuksi tiivistetään kartoitus selkeäksi visuaaliseksi esitykseksi. (Bouchard, S., 2017, ss. 107–109)

4.5 Manuaalisen tuotantosolun ja robotisoidun tuotantosolun vertailu

Manuaalisen tuotantosolun ja robotisoidun tuotantosolun vertailussa vertaillaan tuotantosolujen tehtäväkarttoja ja pohjapiirroksia, ja pohditaan mitä muutoksia robotisointi soluun tuo. Lisäksi arvioidaan mitkä ovat suorituskykyä lisääviä ja mitkä suorituskykyä vähentäviä muutoksia. Vertailusta tehdään selkeä visuaalinen esitys. (Bouchard, S., 2017, ss. 122–123)

Robotisoidun prosessin sekvenssit ovat suositeltavaa käydä läpi nykyisen prosessin asiantuntijoiden kanssa. Näitä henkilöitä voivat olla esimerkiksi prosessi insinöörit, operaattorit ja kunnossapitohenkilökunta. Läpikäynnissä tarkastellaan, puuttuuko sekvensseistä tai konseptista jotain, pystyykö robotti hoitamaan kaikki suunnitellut tehtävät ja mitä ongelmia voi esiintyä. (Bouchard, S., 2017, s. 124)

Solujen vertailussa tarkastellaan muutoksia solussa asiakkaan, ulostulon, sisääntulon, prosessikuvauksen, informaation kulun ja suorituskykymittareiden suhteen. Lisäksi arvioidaan ovatko muutokset arvoa tuottavia vai arvoa tuottamattomia. (Bouchard, S., 2017, ss. 125–128)

4.6 Robottisolun suunnitelman viimeistely

Edellisissä vaiheissa on luotu konsepti ja vertailtu sitä lähtötilanteeseen. Suunnittelun viimeistelyvaiheessa on päätettävä, onko kannattavaa viedä projekti loppuun. Päätös voidaan tehdä, kun on arvioitu investoinnin laatu ja laskettu investoinnin takaisinmaksuaika, sekä arvioitu konseptin riskit. Päätöksen jälkeen MVRC konsepti jäädytetään ja ryhdytään hankkimaan materiaalia. (Bouchard, S., 2017, ss. 131–132)

Laskettaessa investoinnin takaisinmaksuaikaa, tulee investoinnin laatu ottaa huomioon. Komponenttien ostaminen robottisolun rakentamista varten on taloudellinen investointi, mutta erityisesti ensimmäisen robottisolun kohdalla kannattaa asiaa ajatella investointina innovaatioihin. Investointina innovaatioihin voidaan ajatella myös uuden version luomista robottisolusta. Innovaatioon investoinnin kustannukset ovat usein ensimmäisellä kerralla korkeammat, mutta ideaa monistettaessa tai laajennettaessa ensimmäisestä projektista opitut seikat lyhentävät seuraavien projektien valmistumisaikaa ja kustannuksia merkittävästi. Innovaatio investoinnissa voidaan ajatella investoitavan oppimiseen ja tutkimiseen, ja usein riittää, kun investoinnista voidaan arvioida saatavan pitkällä tähtäimellä hyötyä, ja investoinnin takaisinmaksuaika on tyydyttävä, sekä sisältää hyväksyttävän määrän epävarmuutta. (Bouchard, S., 2017, ss. 133–139)

Konseptin riskien arvioinnissa kartoitetaan epävarmuutta aiheuttavat toiminnot ja kustannukset. Epävarmuutta aiheuttavat kysymykset luetteloidaan, luodaan hypoteesi, arvioidaan hypoteesin luotettavuus, arvioidaan kysymyksen kriittisyys projektin kannalta, arvioidaan keino millä asia voitaisiin varmistaa ja kirjataan ylös kuinka paljon aikaa ja rahaa asian varmistaminen ottaisi. (Bouchard, S., 2017, s. 140)

Kun investoinnin kannattavuus ja konseptin riskit on arvioitu, pitää päättää mikä osa projektista kattaa MVRC, ja jäädyttää päätös. Päätöksen jäädyttämällä varmistetaan, että huomio pidetään alkuperäisessä tavoitteessa ja vältytään liialta monimutkaisuudelta. (Bouchard, S., 2017, s. 143)

Materiaalinhankintavaiheessa luodaan suunnitelmat ja materiaalilistat. Tarvittavat suunnitelmat ovat viimeistelty robotin tehtävälister, solun pohjapiirros, asennussuunnitelma, sähköpiirustukset, materiaalilista ja ohjelmalistaus. (Bouchard, S., 2017, ss. 145–146)

5 Valaisimen johdotuksen robotisointi

Lähtötilanteessa valaisimen kokoonpano tapahtuu käsityönä. Pääkokoonpano koostuu jäähdytyslevystä, led-valokoneista, led-virtalähteestä, kytkentärimoista ja osien välisistä johdotuksista. Valaisimesta on kaksi eri kokoista variaatiota, joissa käytetään eri kokoista jäähdytyslevyä, eri määrää led-valokoneita ja osittain eri määrää eri mittaisia johtimia. Valaisimen osat kiinnitetään jäähdytyslevyyn ruuveilla. Johtimet pujotetaan jäähdytyslevyn rei'istä läpi ja johtimien päät asennetaan ruuvittomiin liittimiin pujottamalla. Johtimet tuodaan kokoonpanosoluun valmiiksi leikattuina ja kuorittuina.

Tärkeimpinä asioina valaisintuotannon automatisoimiseksi nähdään standardisointi ja työturvallisuus. Standardoinnilla halutaan tavoitella jatkuvasti laadukasta ja osaluettelon mukaista valmistusta. Käsiyönä tehty kokoonpano antaa mahdollisuuden inhimillisille virheille. Työturvallisuuden suhteen automatisoinnilla halutaan vähentää ihmiselle aiheutuvia tuki- ja liikuntaelinrasituksia. Kokoonpanotyössä toistuvia liikesarjoja vaativa johtimien pujottaminen ja liittimiin asettaminen, voidaan pitkään jatkuvana katsoa tuki- ja liikuntaelimistöä rasittaviksi.

Valaisimen kokoonpanossa tapahtuvaa tarkkuutta vaativaa johdotusta voidaan pitää jokseenkin haastavana tehtävänä robotille, koska robotti ei lähtökohtaisesti näe. Robotin työskentelyalueelle sijoitettujen kappaleiden sijainnin ja asennon havaitsemiseen on saatavilla konenäkölaitteistoja, mutta ne lisäävät väistämättä laitteiston kustannuksia ja ohjelmoinnin monimutkaisuutta. Tässä opinnäytetyössä oli pyrkimyksenä löytää kustannustehokas ja kevytrakenteinen ratkaisukonsepti.

Kustannustehokkaan ja mahdollisimman yksinkertaisen robotisointikonseptin suunnittelun tavoittelemiseksi päätettiin mukailla soveltuvien osien Lean periaatteita noudattavaa Lean robotisointi -menetelmää. Menetelmä ohjaa määrittämään robotisointiprojektin tavoitteet tarkasti ja maltillisesti. Manuaalisen prosessin kartoituksen pohjalta luodaan robotisoidun prosessin konsepti, jossa on pienin mahdollinen määrä toimintoja. Robotisoitua prosessia verrataan manuaaliseen prosessiin ja kartoitetaan robotisoinnista saatavat hyödyt ja haitat. Kartoituksen yhteydessä tutkitaan saavuttaako robotisointi projektin alussa määritetyt maltilliset tavoitteet, ja vaikuttaako robotisointi toteutuskelpoiselta.

Lean robotisoinnin tavoitteena on yksinkertaistaa robotisointiprojekti, jotta voidaan välttyä liian monimutkaisilta, häiriöalttiilta ja kalliilta robotisointiratkaisuilta. Se ohjaa määrittelemään robotisointiprojektin tavoitteet ja mitattavat arvot tarkasti, jotta tiedetään varmasti mitä ollaan tekemässä ja miksi. Tavoitteet tulee pitää maltillisina ja realistisina. Robotisoinnilla tavoiteltavia arvoja verrataan manuaalisen kokoonpanon lähtötilanteen ja robotisoidun konseptin kesken, jolloin robotisoinnista arvovirtaan saadut hyödyt ja haitat ovat selkeästi vertailtavissa.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli koota tarvittava tieto tuotannon automatisoimiseksi yhteistyörobotiikan avulla, sekä tuottaa kustannustehokas ja kevytrakenteinen ratkaisukonsepti. Lean robotisoinnissa mitattavien arvojen tarkkojen määritysten avulla robotisoinnin hyödyistä olisi laskettavissa myös investoinnin takaisinmaksuaika. Tässä opinnäytetyössä rajasimme tutkimuksen Lean robotisoinnin mukaiseen "MVRC – Minimum Viable Robotic Cell" - pienin toimiva robottisolun -konseptin pohtimiseen. Robotisoinnin

investointikustannukset nousevat jyrkästi järjestelmän monimutkaisuuden mukaan, joten MVRC-konseptin tavoittelu ohjaa kustannustehokkaimman ratkaisun löytämiseen.

5.1 Robotisointiprojektin tavoitteiden määrittäminen

Seuraavassa luettelossa on esitetty valaisimen johdotuksen robotisoinnin tavoitteet, mitattavat arvot, sekä mittarit arvojen mittaamiseen.

Arvot, joita robotisoinnilla tavoitellaan:

Laatu

- Pyritään standardisoimaan ja valmistamaan osaluettelon mukaisesti.
- Pyritään vähentämään mahdollisuuksia tehdä inhimillisiä virheitä.

Työturvallisuus

- Pyritään vähentämään sarjatyössä esiintyviä tuki- ja liikuntaelinrasituksia aiheuttavia toistuvia työvaiheita.

Tehokkuus:

- Pyritään sujuvaan ja tehokkaaseen työskentelyyn solussa.
- Tavoitellaan yhden kappaleen virtauksen mukaista tapaa työskennellä.

Mittarit, joilla arvoja mitataan:

Laatu

- Arvioidaan virheiden mahdollisuuksien määrä ja tavat.

Työturvallisuus

- Arvioidaan toistuvien työvaiheiden määrä ja laatu.

Tehokkuus

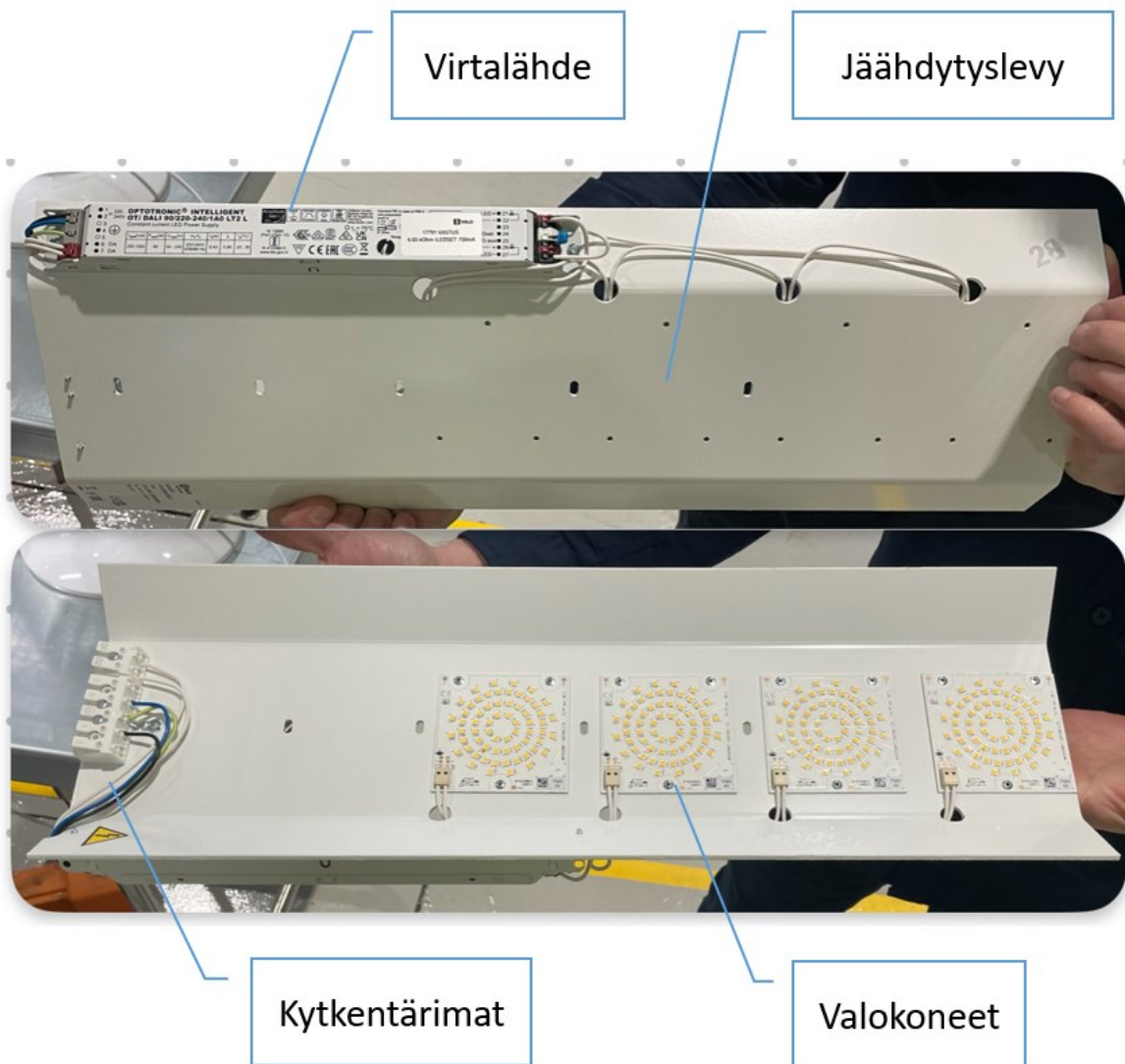
- Arvioidaan solun työkiertoon kuluva aika.

5.2 Manuaalisen prosessin määrittely

Tuotevariaatioita on kaksi. Pienemmässä variaatiossa valokoneita on kolme ja isommassa variaatiossa neljä. Valokoneiden määrällä on vaikutus myös jäähdytyslevyn kokoon ja asennettavien johtimien määrään. Variaatioiden eroavaisuudet ja niistä johtuvat tuotevaihdot prosessissa on huomioitava suunnittelussa. Tässä opinnäytetyössä esitetyt prosessien määrittelyt on tehty neljän valokoneen variaation mukaisesti.

Solun operaattorin tehtäviin kuuluu kokoonpanon lisäksi materiaalien keräily, virtalähteen valmistelu, tarvikepussin lajittelu, valmiin tuotteen pakkaus, sekä valmiin erän vienti seuraavaan pisteeseen. Manuaalisen prosessin määrittelyssä keskityttiin kokoonpanoprosessiin olettaen, että materiaalit on kerätty ja valmisteltu. Tarkasteltava prosessi alkaa jäähdytyslevyn noukkimisesta ja päättyy valmiin kokoonpanon tuotekilpi- ja salamatarran kiinnitykseen. Valmis kokoonpano on esitetty kuvassa 4.

Kuva 4. Valmiin tuotteen kokoonpano (Laurell, A., 2024)



5.2.1 Manuaalisen prosessin tehtäväkartta

Manuaalisen prosessin tehtävien kartoitus laadittiin kokoonpanon työohjeen ja osaluettelon pohjalta. Manuaalisesta kokoonpanoprosessista otettiin video, jota tarkastelemalla kartoitukseen saatiin tarkennuksia. Kuvassa 5 on esitetty manuaalisen prosessin tehtäväkartta, johon on kerätty tiedot prosessin sisääntulosta (input), prosessista (process), ulostulosta (output) ja asiakkaista (customer).

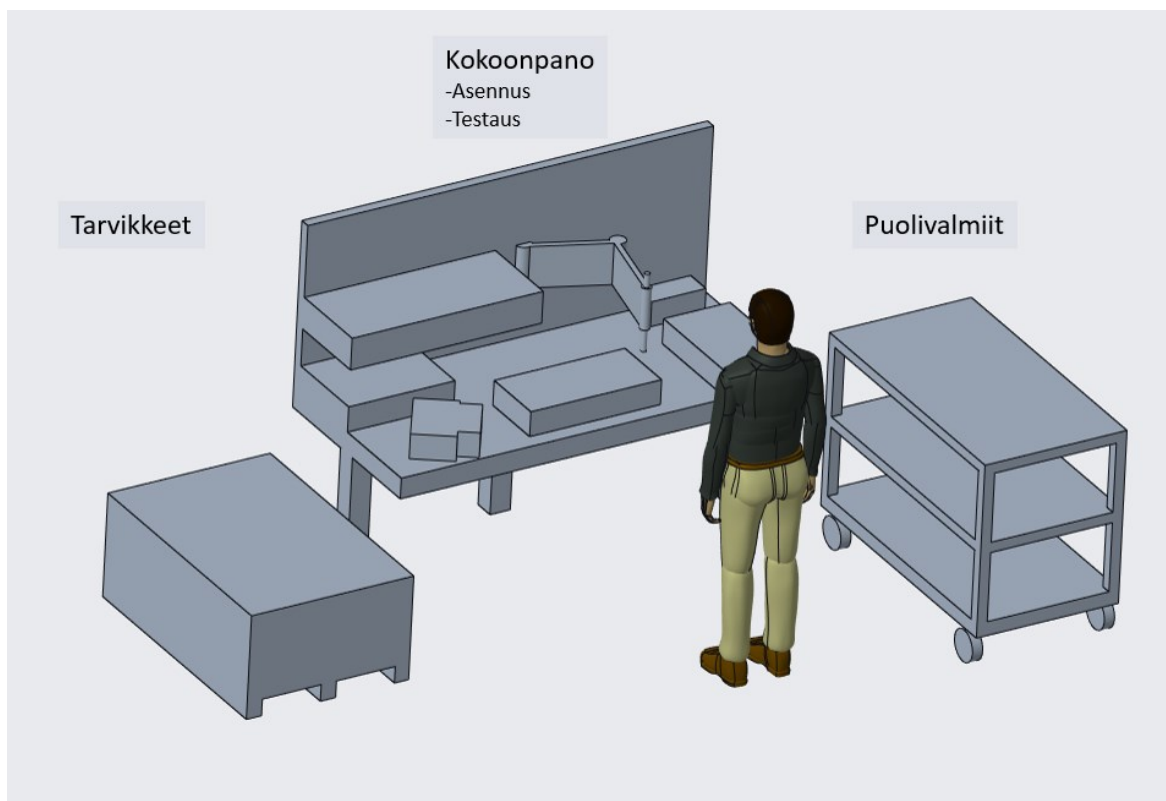
Kuva 5. Manuaalisen prosessin tehtäväkartta, mukailten (Bouchard, S., 2017, s. 98)

INPUT	PROCESS	OUTPUT	CUSTOMER
16 eri tyyppistä osaa	Levyn noukkiminen ja asettaminen työpisteelle (led ylös)	Puolivalmis tekniikkapaketti	-Lähetäjä
-Jäähdytyslevy	Rimojen 2kpl noukinta ja asettaminen levyllä	-Paketoitavaksi asiakkaalle lähettämistä varten	-Toinen kokoonpanolinja
-Valokoneita	Ruuvin 3kpl noukinta ja rimojen kiinnitys ruuveilla	-Käytettäväksi toisen kokoonpanon osana	
-Niittiruveja	Ledien 4kpl noukinta ja asetus levyllä		
-Virtalähde	Ledien kiinnitys niittiruuveilla		
-Levyruveja 3,5	Ledien johtojen 5kpl pujotus ja kiinnitys, 8 johtimen päätä		
-Levyruveja 2,9	Levyn kääntö (driver ylös)		
-KytKentärima 1	Johtimien ehostus 5kpl (led)		
-KytKentärima 2	Driverin noukkiminen ja asettaminen levyllä		
-Arvokilpitarra	Driverin kiinni ruuvaaminen		
-Salamakolmiotarra	Johtimien asennus driveriin 2kpl (led)		
-6 erilaista johtoa	Johtimien ehostus 2kpl (driver)		
	Johtimien noukinta ja kiinnitys, 5 johtimen päätä (driver)		
	Levyn kääntö (led ylös)		
	Johtojen ojennus 5kpl (driver-rimat)		
	Johtimien kiinnitys, 5 johtimen päätä (rimat)		
	Tekniikkapaketin kiinnitys testilaitteeseen ja testaus		
	Tarrojen kiinnitys 2kpl		

5.2.2 Manuaalisen tuotantosolun pohjapiirustus

Kuvassa 6 on esitetty manuaalisen tuotantosolun pohjapiirros. Prosessi etenee pääsääntöisesti vasemmalta oikealle. Kokoonpanon runkona toimiva jäähdytyslevy noukitaan vasemmalla sijaitsevalta lavalta. Muut kokoonpanossa tarvittavat tarvikkeet ja työkalut on kerätty määrättyihin pisteisiin työpöydälle, josta ne ovat sujuvasti käytettävissä. Kokoonpano tapahtuu työpöydän keskelle kiinnitetyn laatikon varassa, jonka avulla kokoonpano voidaan asetella asennuksen vaatimiin eri asentoihin kokoonpanon edetessä. Valmis kokoonpano testataan siihen tarkoitettulla laitteella ja sijoitetaan lopuksi puolivalmiita kokoonpanoja varten tarkoitettuun karryyn. Tilauksen mukaan puolivalmiit tuotteet paketoidaan, tai siirretään toiseen kokoonpanoon käytettäväksi.

Kuva 6. Manuaalisen tuotantosolun pohjapiirustus, luonnos (Laurell, A., 2024)



5.3 Robotisoitu prosessi

Robotisoituun prosessiin oli tavoitteena löytää mahdollisimman toimintavarmoja, yksinkertaisia ja kustannustehokkaita ratkaisuita. Lähtökohtaisesti johdotusta voidaan pitää jokseenkin haastavana tehtävänä robotille. Moniin haasteisiin on saatavilla teknisiä ratkaisuita kuten esimerkiksi konenäkölaitteita, mutta ne lisäävät väistämättä robottilaitteiston hankintahintaa ja monimutkaisuutta. Teknisesti monimutkaista ja kallista laitteistoa oli tarkoitus välttää, joten kappaleiden paikoituksiin liittyviin mahdollisiin haasteisiin pyrittiin löytämään ratkaisuita muun muassa kappaleenpitimien muotoilulla.

Manuaaliseen kokoonpanoon verrattuna robotisoidussa prosessissa tarvitaan usein toleranssiluokkaa tarkemmat osat. Tästä syystä kappaleiden paikoitukseen pyrittiin löytämään ratkaisuita liittimen sijainnin mukaan. Jäähdytyslevyn rei'itys on tehty levytyökeskuksessa, liepeet on särmätty ja lopuksi tuote on pintakäsittely maalaamalla. Jäähdytyslevy vaatii robotisointia varten väistämättä joitain muutoksia, mutta rei'ityksen, särmäyksen, sekä pintakäsittelyn tarpeettoman toleroimisen välttämiseksi haluttiin tutkia vaihtoehtoisia tapoja suorittaa kokoonpano. Paikoitus pitää tapahtua kappaleen liittimistä, jotta kappaleiden liittimien reikien paikoitus robotin koordinaatiston suhteen olisi mahdollisimman tarkka. Alkuperäisessä kokoonpanomenetelmässä kappaleet ovat kiinnitetty

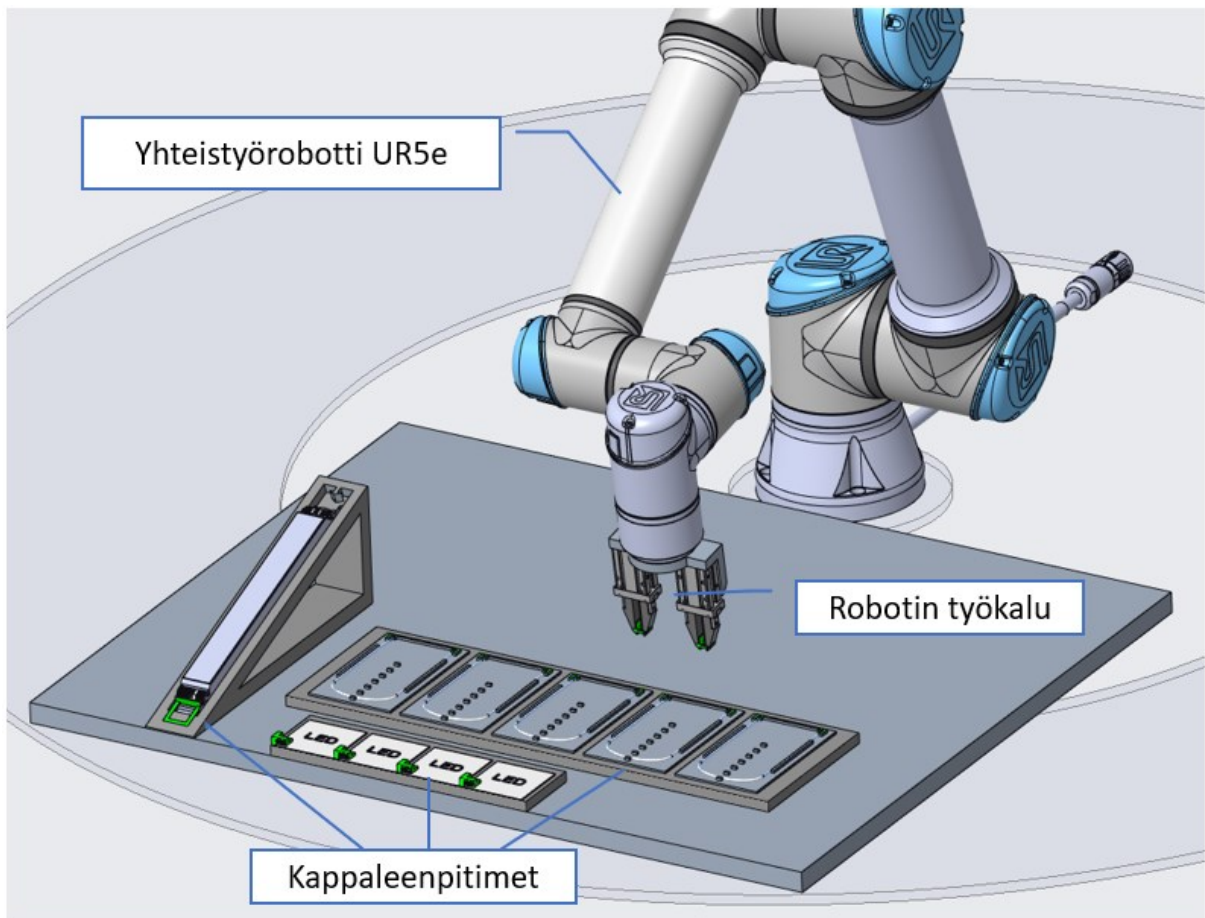
ensin jäähdytyslevyyn ruuveilla, jonka jälkeen valmiiksi leikatut ja kuoritut johtimet on asennettu kappaleen liittimiin paikoilleen pistämällä. Vaihtoehtoiseksi robotisointiin soveltuvaksi kokoonpanomenetelmäksi muodostui kappaleiden välisen johdotuksen tekeminen robotilla, jossa robotin tekemä johtosarja siirretään jäähdytyslevylle kiinnitettäväksi.

Tässä opinnäytetyössä esitetyt 3D-ympäristön avulla luodut havainnekuvat ovat luonnoksia, joiden avulla voidaan pohtia ja havainnollistaa suunnittelussa huomioon otettavia seikkoja. Luonnokset ovat mittasuhteiltaan realistisia. Joitain luonnoksien ideoita voidaan mahdollisesti hyödyntää prototyypeissä sellaisenaan. Osa ideoista on vasta ajatuksen tasolla, mutta teknisesti toteutettavissa. Yksityiskohtaisen suunnittelun aika on konseptin hyväksymisen jälkeen.

5.3.1 Robottisolu konsepti

Lean robotisoinnissa tavoitellaan MVRC-konseptia, jossa on pienin mahdollinen määrä toimintoja. Teknisesti yksinkertaisinta robottikonseptia pohtiessa päädyttiin ratkaisuun, jossa virtalähde, valokoneet ja johtimet sijoitetaan niitä varten suunniteltuihin kappaleenpitimiin. Kappaleenpitimet pyrittiin sijoittamaan niin, että kappaleiden paikalleen laittaminen ja pois ottaminen kävisi sujuvasti. Kappaleenpitimien tarkoituksena on paikoittaa liittimet ja johtimen päät tarkasti robotin koordinaatistoon nähden. Valmiiksi leikattujen ja kuorittujen johtimien sijoittamisesta robotille noudettavaksi pyrittiin tekemään helppoa. Johtimenpitimen tarkoituksena on mahdollistaa johtimen noutaminen kaksoistarttujalla, sekä paikoittaa johtimen päät tarttujan kynsiin nähden oikealle etäisyydelle. Yksinkertaisimman robottikonseptin luonnos on esitetty kuvassa 7.

Kuva 7. Yksinkertainen robottikonsepti, luonnos (Laurell, A., 2024)

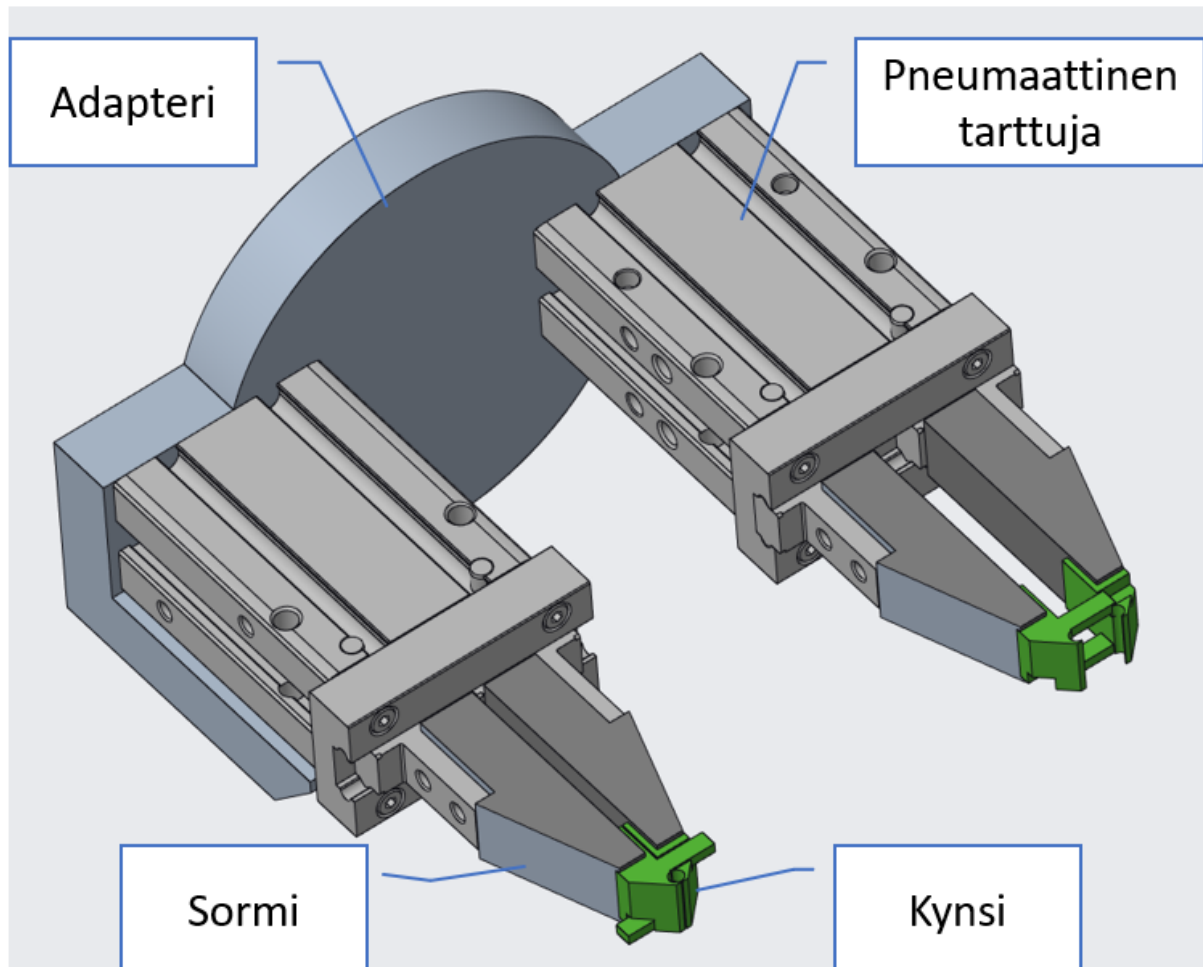


Johtojen asentamista varten robottiin tarvitaan johtojen käsittelyyn soveltuva tarttuja. Markkinoilla on tarjolla valmiita kaksisormitarttuvia ja kaksoistarttuvia, mutta ne ovat lähtökohtaisesti suunniteltu karkeasti kappaleen käsittelyyn, kuten kappaleenvaihtoon työstökoneelle. Valmiissa kaksoistarttujissa tarttujen suunta on pääsääntöisesti 90 astetta toisiinsa nähden. Tässä konseptissa johtimeen halutaan tarttua johtimen molemmista päistä samaan aikaan, joten robotin työkalussa on oltava kaksisormitarttuvia kaksi, ja ne on sijoitettava robotin työkalulaippaan nähden saman suuntaisesti ja vierekkäin. Yleiskäyttöiset kaksisormitarttumat vaativat räätälöidyn kiinnityksen robottiin, sekä räätälöidyt tarttujen kynnet.

Kaksoistarttujan luonnos koostuu kiinnitysadapterista, kahdesta kaksisormitarttujasta, neljästä sormesta ja neljästä tarttujan kynnestä. Koska kaksisormitarttuvia tulee kaksi, eli sormia sekä kynsiä neljä, pyrittiin luonnoksissa hyödyntämään symmetriaa konseptissa tarvittavien osien minimoimiseksi. Kaksoistarttujan luonnoksessa sormet sekä kynnet ovat keskenään yhteensopivia. Luonnoksen sormet on valmistettu jäykästä materiaalista ja toimivat pitiminä erillisille tarttujan kynsille. Tarttujankynsien muotoilulla voidaan vaikuttaa moneen asiaan johtimeen tartuttaessa ja johdinta asentaessa, joten mahdollisia muutoksia

silmällä pitäen ne on ajateltu valmistettavan 3D-tulostamalla. 3D-tulostamalla osista voidaan saada monimuotoisempia, perinteisiin valmistusmenetelmiin verrattuna. Kaksoistarttujassa suunnittelua vaativat osat ovat adapteri, sormi ja kynsi. Lopullisessa versiossa sormi ja kynsi voi koostua yhdestä osasta, mutta testaamiseen tarkoitettu prototyyppi on ajateltu koostuvan erillisestä sormesta ja helposti vaihdettavasta kynnestä. Pneumaattiset tarttujat voi hankkia pneumatiikkaan erikoistuneelta toimittajalta. Kaksoistarttujan luonnos on esitetty kuvassa 8.

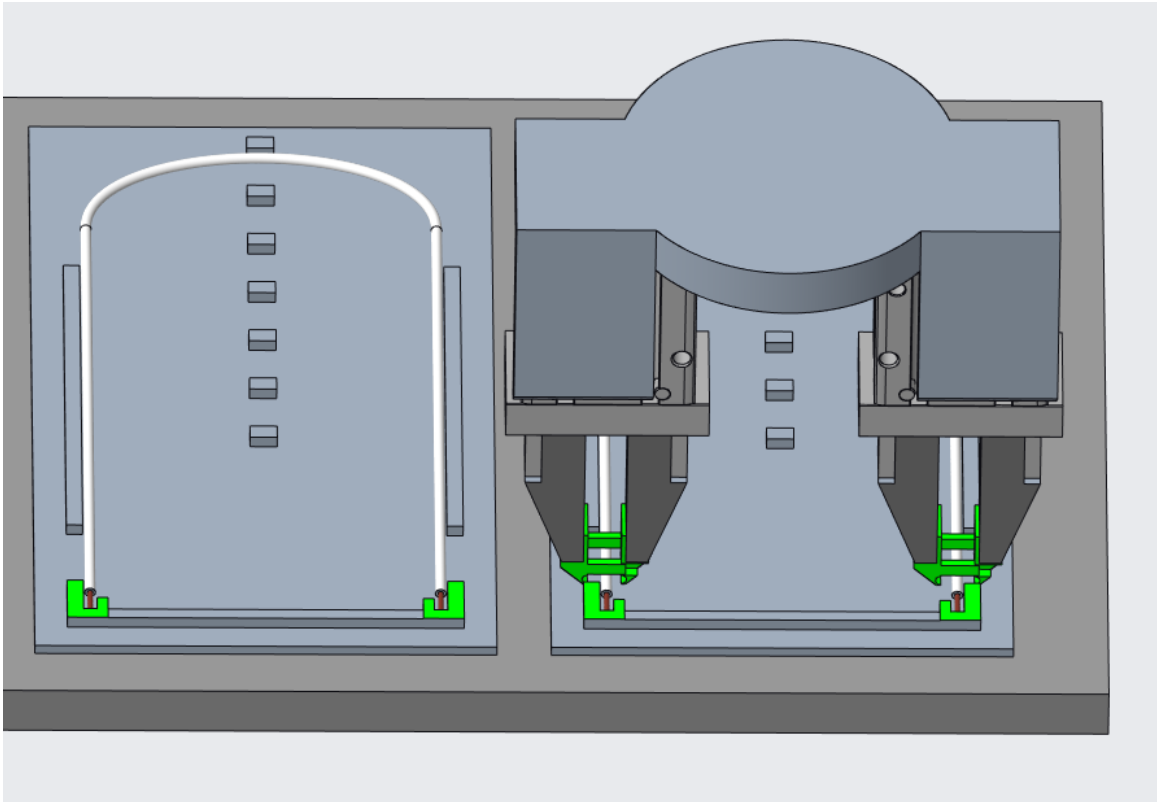
Kuva 8. Kaksoistarttuja, luonnos (Laurell, A., 2024)



Johtoihin tarttumista varten robotti tarvitsee johtimenpitimet. Johtimenpitimen tärkein tehtävä on pitää johdin sekä johtimen päät määrättyssä paikassa, josta tarttuja voi sen noutaa. Tartuttaessa johtimen päät tulee olla määrätyn etäisyyden päässä tarttujan kynnestä. Johtimen asettaminen pitimeen tulee olla mahdollisimman helppoa robotin käyttäjälle. Pitimestä pyrittiin suunnittelemaan valmistus ja varaosat huomioiden monikäyttöinen. Kussakin hakupisteessä käytetään siihen määrättyä johtimen pituutta. Väärän mittaisen johtimen asettaminen estetään pitimen muotoilulla. Kuvassa 9 näytetään luonnos johtimenpitimestä, joka soveltuu kaikille kokoonpanossa käytetyille johtimen pituuksille. Johtimenpidin on konfiguroitavissa kuhunkin hakupaikkaan määrätyn johtimen pituuden

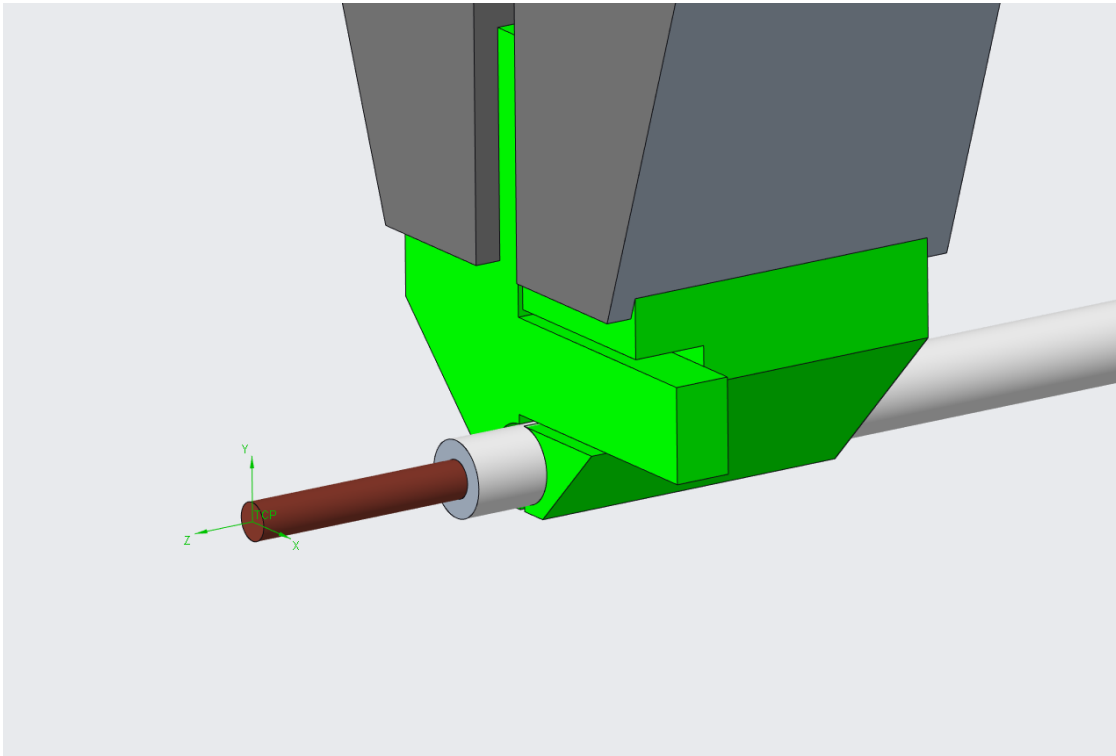
mukaisesti poistamalla ylimääräiset nystyrät. Pitimen muotoilu varmistaa johtimen päiden pysymisen määrättyssä pisteessä. Johtimenpidin on suunniteltu valmistettavaksi 3D-tulostamalla, jolloin testausvaiheessa havaitut mahdolliset muutostarpeet on helposti toteutettavissa. Luonnos johtimen hausta johdinpitimestä on esitetty kuvassa 9.

Kuva 9. Johtimen haku johdinpitimestä, luonnos (Laurell, A., 2024)



Johtimen pään etäisyys tarttujankynnestä määräytyy johtimenpitimen ja hakupaikan mukaan. Johtimen pään etäisyyden ja tarttujan kynnen uran suunnan perusteella voidaan robotille määrittää kumpaankin johtimen päähän TCP eli työkalun keskipiste. Tässä tapauksessa työkalun keskipisteen määrittämisen avulla robotin liikkeet johdinta asentaessa voidaan määrittää robotin ohjelmaan johtimen suunnan ja kärjen etäisyyden mukaan. Luonnos johtimesta tarttujassa, sekä johtimen oletettuun kärkipisteeseen määritetty TCP on esitetty kuvassa 10.

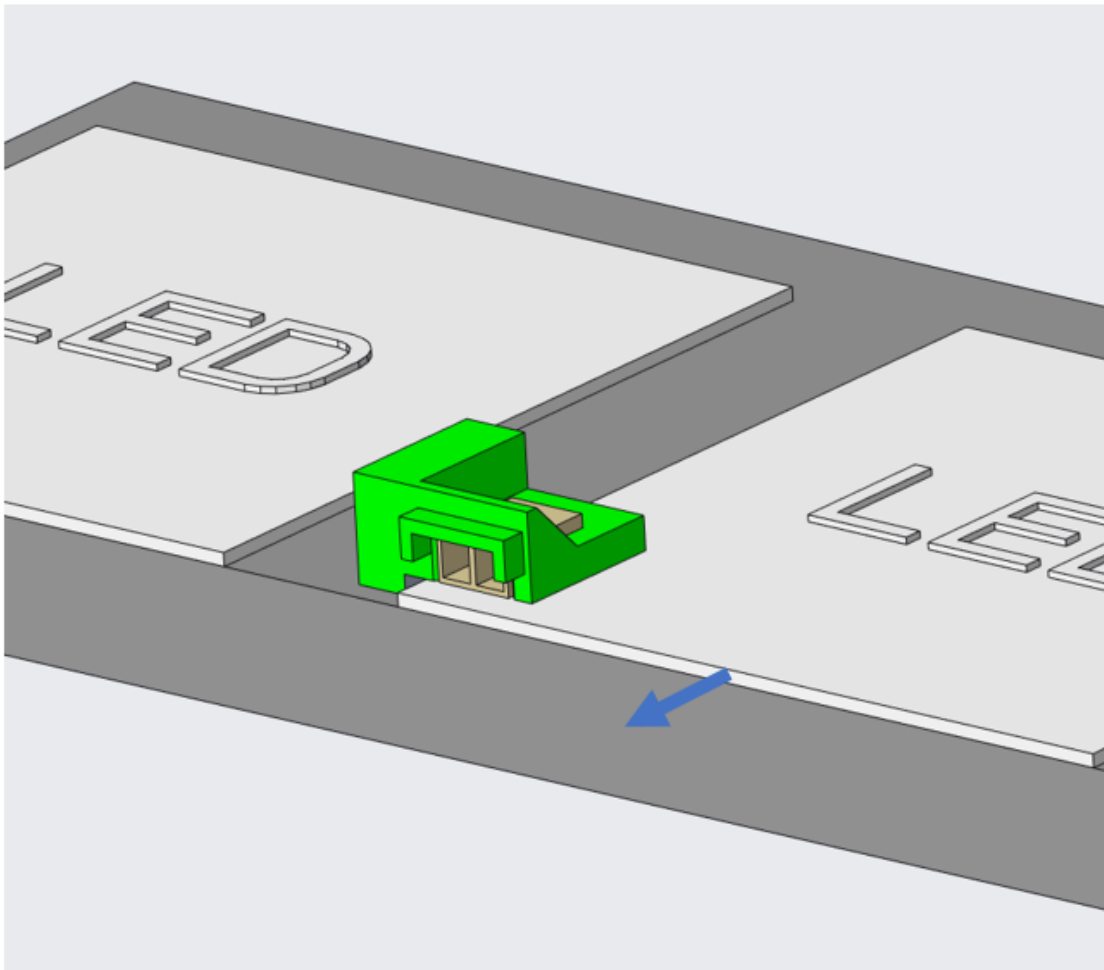
Kuva 10. Johdin tarttujassa, luonnos (Laurell, A., 2024)



Johtimen päätä voidaan liikuttaa robotin koordinaatistossa työkalun keskipisteeseen määritetyn koordinaatiston suuntaisesti. Suunnittelussa on huomioitava, että määritetty työkalun keskipiste on absoluuttinen paikka, mutta johtimen pään pisteen todellinen sijainti on suhteellinen riippuen johtimen muodosta. Ennen tämän konseptin varsinaiseen suunnitteluun viemistä tulisi tutkia, kuinka paljon johtimen pään todellisen pisteen ja työkalun absoluuttisen keskipisteen välillä voi olla heittoa. Jos tutkimukset osoittavat, että tarkkuus ei ole riittävä, on suunnittelussa huomioitava mahdollinen johtimen pään pisteen korjaus. Jos johtimen pään pisteen korjaus osoittautuu tarpeelliseksi, sen voi pyrkiä huomioimaan kappaleenpitimen muotoilussa.

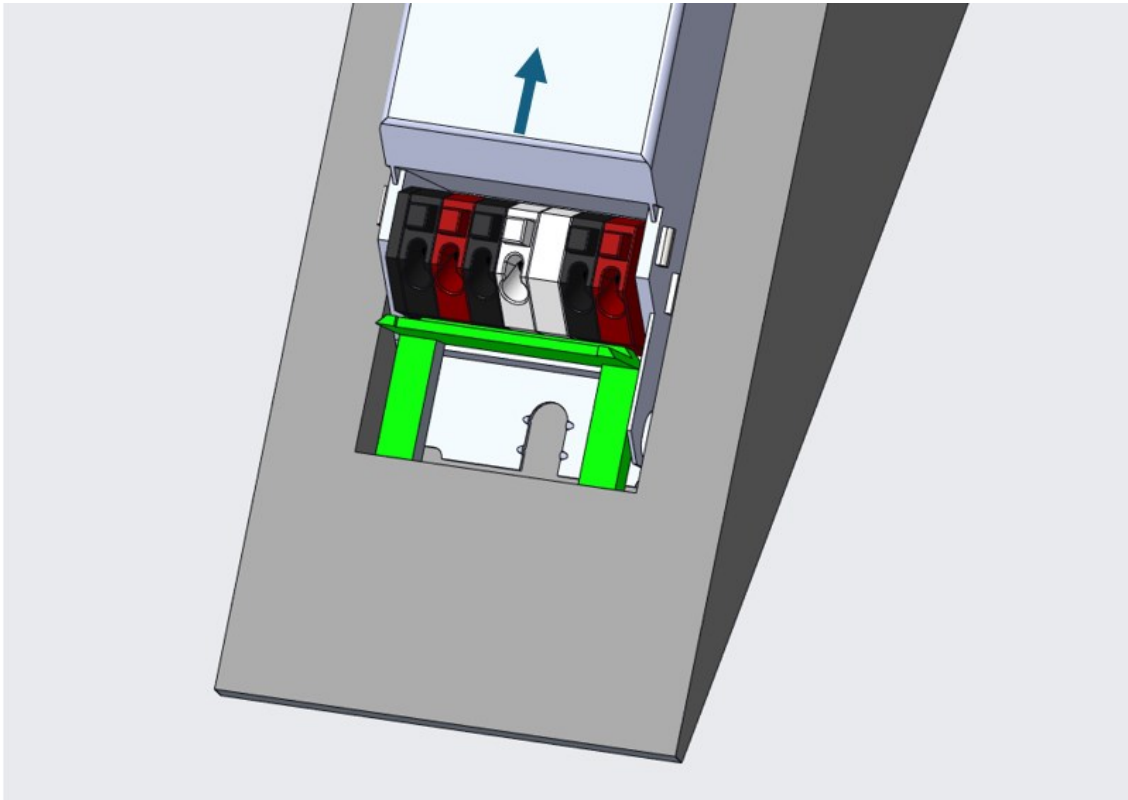
Käsiteltävät kappaleet tulee kiinnittää robotin koordinaatistoon nähden tarkasti ja riittävän tukevasti. Osista valmistettujen kappaleiden toleransseista johtuvien heittojen minimoimiseksi kappaleen paikoitus suunniteltiin toteutettavaksi tarkalla sovituksella liittimestä, johon johtimet asennetaan. Kappale liu'utetaan paikalleen pitimen tasoa pitkin niin pitkälle, että liitin pohjaa pitimen syvennykseen. Tehtävän kannalta kappaleiden oleellisin osa liitin voidaan paikoittaa tarkasti, ja samalla tukea liitintä asennettaessa johdinta. Kappaleenpitimen muotoilussa voidaan tarvittaessa pyrkiä huomioimaan aiemmin mainittu heitto johtimen pään sijainnissa. Kuvassa 11 on esitetty havainnollistava luonnos liittimen keskittävästä pitimestä, sekä mahdollisesta pitimen otsan muotoilusta, jota vasten nojaamalla johtimen päätä voi ohjata.

Kuva 11. Valokoneen paikoitus liittimestä, luonnos (Laurell, A., 2024)



Kuvassa 12 on esitetty luonnos toisen kokoonpanossa käytettävän kappaleen paikotuksesta liittimestä. Tässä kappaleessa liittimen sijoituksesta ja muodosta johtuen liittimen paikoitus tarkalla sovitteella voi olla hankalampi, tai se voi vaatia mekanismin. Kuvan 12 luonnoksessa kappale on ajateltu sijoitettavan pitimeen, jossa kappaletta ja liittintä painetaan kuvassa vihreäksi värjättyä kiinteää tukea vasten. Tässä tapauksessa voimanlähteeksi tarvitaan jousivoimalla, pneumatiikalla tai käsikäyttöisellä mekaniikalla toteutettu mekanismi kappaleen kiinnitystä varten. Kiinteän tuen muotoilussa voidaan tarvittaessa huomioida mahdollinen johtimen pään ohjaus nojaamalla tukea vasten.

Kuva 12. Virtalähteen paikoitus liittimestä, luonnos (Laurell, A., 2024)

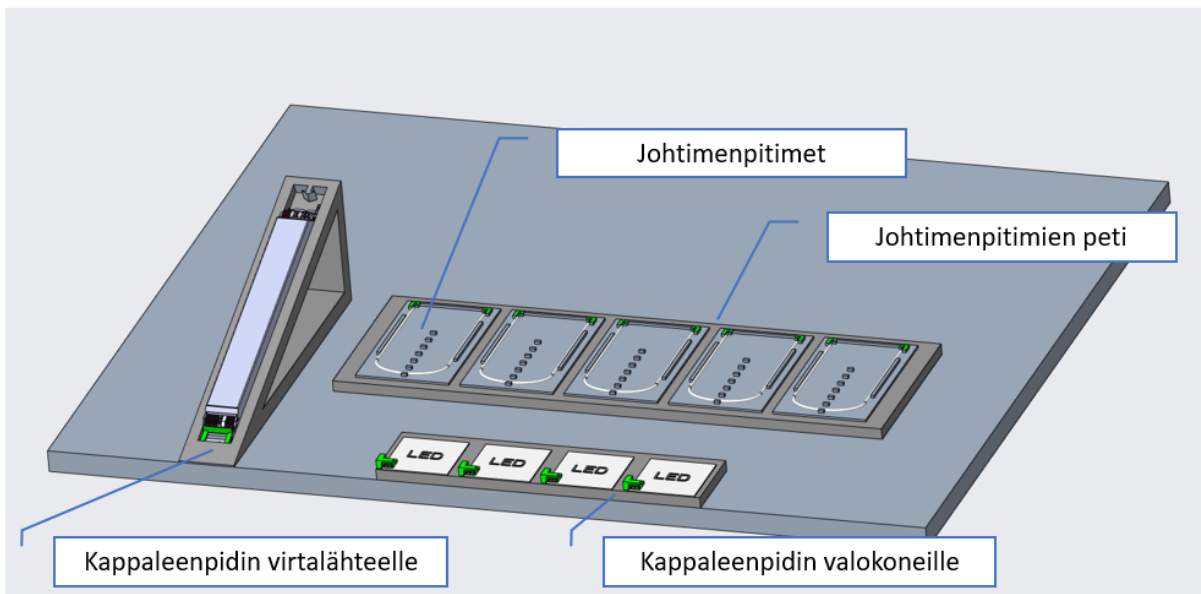


Robotti ja kappaleenpitimet tulee kiinnittää yhtenäiselle tukevalle alustalle. Prototyypin testaamista varten alustassa tulee olla monipuoliset kiinnitysmahdollisuudet alustan muokkaamista varten. Robotisointeihin perehtyneillä laitetoimittajilla on tarjolla monipuolisia ja muokattavia työpöytäratkaisuita roboteille. Tuotevaihtoja ajatellen alustassa voidaan käyttää tarkkoja ohjaustappeja, joiden avulla eri variaatioiden edellyttämät kappaleenpitimet voidaan vaihdon yhteydessä paikoittaa tarkasti. Ohjaustappinen käyttö voi tarvittaessa mahdollistaa myös palettien käytön. Pitimien sijoituksen ja kiinnitystavan on palveltava ensisijaisesti käyttäjää, robotin ominaisuudet huomioiden.

Pitimiin liittyvät nimitykset on esitetty kuvassa 13. Konseptiluonnoksessa yksittäiset johdonpitimet kiinnitetään ruuveilla johdonpitimien petiin tarkoille paikoilleen. Johdonpitimien peti on ajateltu helposti tuotevaihdossa vaihdettavaksi ja tarkasti peruslevyyn paikoittuvaksi.

Virtalähteen ja valokoneiden kappaleenpitimissä eri variaatioihin ja mahdollisiin kokemuksen osoittamiin muutoksiin varaudutaan samalla tavalla kuin johtojenpitimissä. Pitimien peti on sujuvasti vaihdettava ja tarkasti paikoituva. Pitimet on suunniteltu valmistettavaksi 3D-tulostamalla, joten niiden vaihto, sekä kokemuksesta saatujen muutostarpeiden toteuttaminen on mahdollista.

Kuva 13. Pitimet alustalla, luonnos (Laurell, A., 2024)



5.3.2 Robotisoidun prosessin tehtäväkartta

Robotisoidun prosessin tehtäväkartta luotiin manuaalisen prosessin tehtäväkartan pohjalta. Manuaalisesta kokoonpanoprosessista otettiin video, jonka avulla kartoitukseen saatiin tarkennuksia, sekä arvioitua prosessin eri vaiheisiin kuluvia aikoja. Arvioituja aikoja käytettiin uuden robotisoidun prosessin sujuvaan vaiheistukseen, sekä manuaalisen ja robotisoidun prosessin vertailuun. Kartoituksessa arvioituja aikoja ei pidä käyttää manuaalisen tuotantosolun tehokkuuden arvioimiseen, koska arvioidut ajat ovat suhteellisia ja vaihtelevat jonkin verran olosuhteiden mukaan. Eri prosessien vertailukelpoisuuden säilyttämiseksi manuaalisen prosessin aikoja käytettiin pohjana robotisoidun prosessin aikojen arvioinnissa. Manuaalisen prosessin tehtävien tarkempi kartoitus on esitetty kuvassa 14.

Kuva 14. Manuaalisen prosessin tehtävien tarkempi kartoitus (Laurell, A., 2024)

Manuaalinen tuotantosolu		
No. Askel	Aika	
1	Levyn noukkiminen ja asettaminen työpisteelle (led ylös)	00:05,0
2	Rimojen 2kpl noukinta ja asettaminen levyille	00:05,0
3	Ruuvien 3kpl noukinta ja rimojen kiinnitys ruuveilla	00:22,0
4	Ledien 4kpl noukinta ja asetus levyille	00:06,0
5	Ledien kiinnitys ruuveilla	00:22,0
6	Ledien johtojen 5kpl pujotus ja kiinnitys, 8 johtimen päätä	00:30,0
7	Levyn kääntö (driver ylös)	00:02,0
8	Johtimien ehostus 5kpl (led)	00:05,0
9	Driverin noukkiminen ja asettaminen levyille	00:05,0
10	Driverin kiinni ruuvaaminen	00:11,0
11	Johtimen asennus driveriin 2kpl (led)	00:11,0
12	Johtimien ehostus 2kpl (driver)	00:06,0
13	Johtimien noukinta ja kiinnitys, 5 johtimen päätä (driver)	00:16,0
14	Levyn kääntö (led ylös)	00:02,0
15	Johtojen ojenus 5kpl (driver-rimat)	00:02,0
16	Johtimien kiinnitys, 5 johtimen päätä (rimat)	00:15,0
17	Tekniikkapaketin kiinnitys testilaitteeseen ja testaus	00:15,0
18	Tarrojen kiinnitys 2kpl	00:30,0
Työkiertoon kuluva aika		03:30,0

Robotin työkieroon kuluva aika arvioitiin URSim – offline simulator ohjelmalla, johon luotiin viiden johtimen noukkimisen ja asentamisen toteuttava ohjelma. Ohjelmassa siirryttävät etäisyydet arvioitiin karkeasti johtosarjan kokoonpanon etäisyyksien mukaan. Etäisyyksiä huomattavasti merkittävämmän aikaa kului pysähtymisiin ja suunnanvaihtoihin, jotka pyrittiin huomioimaan ohjelmassa todenmukaisesti. Ohjelmassa käytettiin oletusasetuksia robotin työkalun maksimi liikenopeuksina ja kiihtyvyyksinä. Oletusasetuksena työkalun liikenopeus on 250 mm/s ja kiihtyvyys 1200 mm/s². Simulointiohjelman rakenne on esitetty kuvassa 15.

Kuva 15. Simulointiohjelman rakenne (Laurell, A., 2024)

```

Kotiasema
Ajastin päälle
Toisto 5 kertaa:
    Siirtyminen noutopaikan ylle
    Lähestyminen 50 mm
    Tarttuminen (1 s)
    Paluu 50 mm

    Siirtyminen asennuspaikan ylle 300 mm
    (Tarttuja 1)
    Lähestyminen Z 100 mm
    Lähestyminen X 50 mm (asennus)
    Vapautus (1 s)
    Paluu X 50 mm
    (Tarttuja 2)
    Lähestyminen Y 100 mm
    Lähestyminen X 50 mm
    Vapautus (1 s)
    Paluu X 50 mm
    Paluu Z 100 mm

Kotiasema
Ajastimen pysäytys
  
```

Opinnäytetyötehtävään ryhdyttäessä ajatuksena oli pyrkiä löytämään kustannustehokas robotisointiratkaisu virtalähteen ja valokoneiden väliseen johdotukseen. Alkuperäisen tehtävän rajoittaminen vain kyseisiin johdotuksiin johtui lähtöajatuksena olleesta johdotusrobotista, joissa johdin syötetään kelalta robotin erikoisvalmisteiseen työkaluun, joka leikkaa, kuorii ja asentaa johtimen päät. Kyseisen työkalun rajoitteena olisi ollut korkeiden suunnittelu ja valmistuskustannuksien lisäksi rajoitus vain yhden värisen johtimen käyttöön kerrallaan. MVRC- konseptin mukaisessa robotisoinnissa käytettävä kaksoiskaksisormitarttuja antaa mahdollisuuden myös virtalähteen ja kytkentärimojen välisiin eri värisiin johdotuksiin robotilla.

Robottisolun tehtävien kartoituksia tehtiin kaksi. Tehtävät on jaoteltu robotin työkierron lisäksi kolmeen eri vaiheeseen, robotin panostus, robotin purku ja loppukokoonpano. Kuvissa 16 ja 17 esitetyissä tehtävien kartoituksissa prosessin sarakkeen "Vertailu No." numero osoittaa manuaalisen prosessin askeleen numeron, johon robotisoidun prosessin askelta on ajallisesti verrattu. Sarakkeesta "1kpl" on pääteltävissä työvaiheiden järjestys ja kulunut aika yhden kokoonpanon tuottamiseen. Sarakkeesta "Sarja" on pääteltävissä työvaiheiden järjestys ja kulunut aika toisesta tuotetusta kokoonpanosta alkaen. Robotisoidun prosessin kokoonpanossa yhden kokoonpanon tuottamiseen aikaa menee hieman enemmän, koska panostuksen jälkeen pitää odottaa robotin työkierron valmistumista. Kun ensimmäinen työkierto on valmistunut, voidaan robotin valmistama tuotos siirtää seuraavaan vaiheeseen

odottamaan, panostaa robotti uudelleen, käynnistää robotti ja suorittaa loppukokoonpano robotin työkierron aikana.

Robottisolu 1 tehtävien kartoitus kuvassa 16 kuvaa alkuperäisen ajatuksen mukaista robottisolua, jossa robotilla tehdään ainoastaan virtalähteen ja valokoneiden välinen johdotus. Tuotannon käynnistyttyä toisesta kokoonpanosta alkaen ajan säästöä syntyy noin 9 % työkiertoa kohden.

Kuva 16. Robottisolu 1 prosessin kartoitus (Laurell, A., 2024)

Robottisolu 1		Vertailu	1 kpl	Sarja	
No.	Askel	No.	Aika	Aika	
1	Ledien 4kpl noukinta ja asetus jigisiin	4	00:06,0	00:06,0	2. Panosta ja käynnistä robotti
2	Driverin noukkiminen ja asetus jigisiin	9	00:05,0	00:05,0	
3	Led johtojen 5 kpl noukinta ja asetus jigisiin	6	00:15,0	00:15,0	
4	Robotin työkierto n. 52 sek		00:52,0		
5	Levyn noukkiminen lavalta ja asettaminen työpisteelle (driver ylös)	1	00:05,0	00:05,0	1. Kun robotti on saanut johtosarjan valmiiksi, siirrä johtosarja jäähdytyslevylle ja seuraavaan asemaan (ja panosta robotti)
6	Driverin noukinta ja asetus jigistä levyille (johtosarja)	9	00:02,5	00:02,5	
7	Ledien noukinta jigistä (johtosarja)	4	00:03,0	00:03,0	
8	Levyn ja johtosarjan siirto seuraavaan asemaan		00:03,0	00:03,0	00:13,5
9	Driverin kiinni ruuvaaminen	10	00:11,0	00:11,0	3. Robotin työskennellessä tee kokoonpano loppuun
10	Johtimien ehostus 2kpl (driver)	12	00:06,0	00:06,0	
11	Johtimien noukinta ja kiinnitys, 5 johtimen päätä (driver)	13	00:16,0	00:16,0	
12	Levyn kääntö (led ylös)	14	00:02,0	00:02,0	
13	Johtojen ojennus 5kpl (driver-rimat)	15	00:02,0	00:02,0	
14	Rimojen 2kpl noukinta ja asettaminen levyille	2	00:05,0	00:05,0	
15	Ruuvien 3kpl noukinta ja rimojen kiinnitys ruuveilla	3	00:22,0	00:22,0	
16	Johtimien kiinnitys, 5 johtimen päätä (rimat)	16	00:15,0	00:15,0	
17	Ledien kiinnitys ruuveilla	5	00:22,0	00:22,0	
18	Tekniikkapaketin kiinnitys testilaitteeseen ja testaus	17	00:15,0	00:15,0	
19	Tarrojen kiinnitys 2kpl	18	00:30,0	00:30,0	
20	Johtimien ehostus 5kpl (led)	8	00:05,0	00:05,0	02:31,0
	Työkiertoon kuluva aika		04:02,5	03:10,5	Arvioitua aikaa
	Manuaaliseen soluun vertailu			00:19,5	
				9 %	Säästettyä aikaa

Robottisolu 2 tehtävien kartoitus kuvassa 17 kuvaa kaksoiskaksisormitarttujan mahdollistamaa työkiertoa, jossa robotilla johdotetaan virtalähteen ja valokoneen välisen johdotuksen lisäksi virtalähteen ja kytkentärimojen välinen johdotus. Tuotannon käynnistyttyä toisesta kokoonpanosta alkaen ajan säästöä syntyy noin 16 % työkiertoa kohden.

Kuva 17. Robottisolu 2 prosessin kartoitus (Laurell, A., 2024)

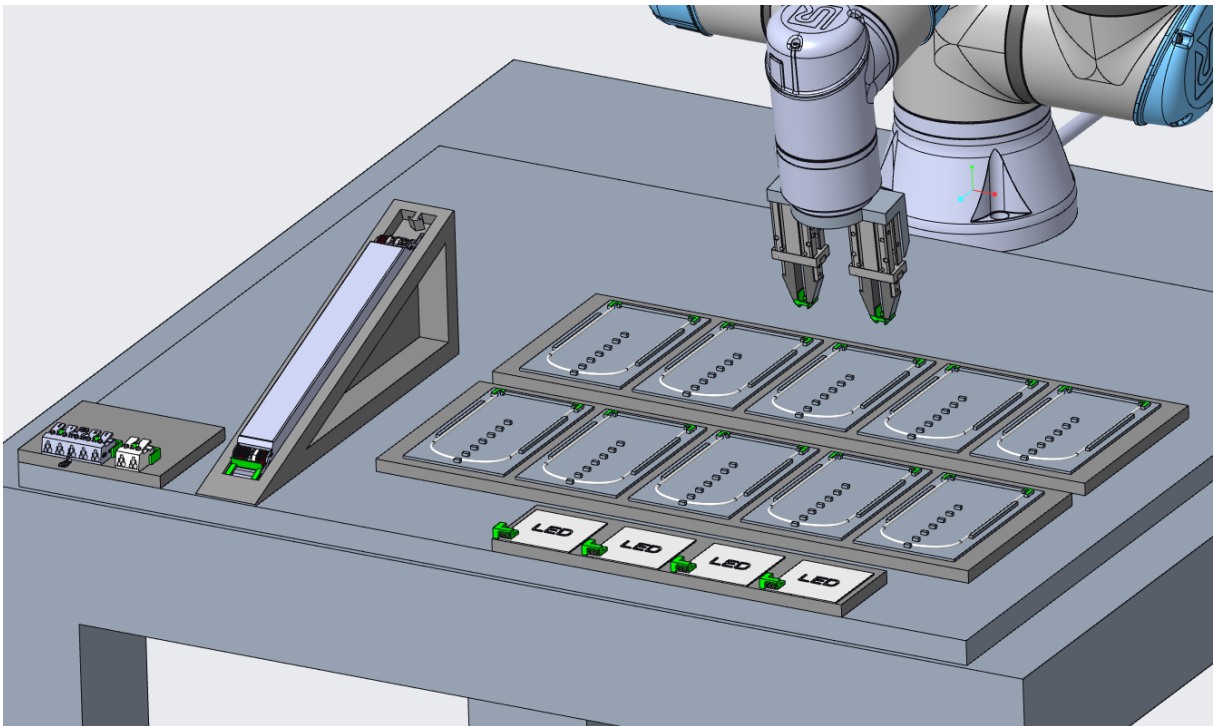
Robottisolu 2		Vertailu	1 kpl	Sarja		
No	Askel	No.	Aika	Aika		
1	Ledien 4kpl noukinta ja asetus jigiin	4	00:06,0	00:06,0	2. Panosta ja käynnistä robotti	
2	Driverin noukkiminen ja asetus jigiin	9	00:05,0	00:05,0		
3	Rimojen 2kpl noukinta ja asettaminen jigiin	2	00:05,0	00:05,0		
4	Led johtojen 5 kpl noukinta ja asetus jigiin	6	00:15,0	00:15,0		
5	Driver johtojen 5kpl noukinta ja asetus jigiin	13	00:15,0	00:15,0		
6	Robotin työkierto n. 1 min 44 sek		01:44,0	00:46,0		
7	Levyn noukkiminen laivalta ja asettaminen työpisteelle (driver ylös)	1	00:05,0	00:05,0	1. Kun robotti on saanut johtosarjan valmiiksi, siirrä johtosarja jäähdytyslevylle ja seuraavaan asemaan (ja panosta robotti)	
8	Driverin noukinta ja asetus jigistä levyille (johtosarja)	9	00:02,5	00:02,5		
9	Ledien noukinta jigistä (johtosarja)	4	00:03,0	00:03,0		
10	Rimojen 2kpl noukinta jigistä (johtosarja)	2	00:02,5	00:02,5		
11	Levyn ja johtosarjan siirto seuraavaan asemaan		00:03,0	00:03,0		
12	Driverin kiinni ruuvaaminen	10	00:11,0	00:11,0	3. Robotin työskennellessä tee kokoonpano loppuun	
13	Johtimien ehostus (led)	12	00:06,0	00:06,0		
14	Levyn kääntö (led ylös)	14	00:02,0	00:02,0		
15	Johtojen ojennus 5kpl (driver-rimat)	15	00:02,0	00:02,0		
16	Ledien kiinnitys ruuveilla	5	00:22,0	00:22,0		
17	Ruuvien 3kpl noukinta ja rimojen kiinnitys ruuveilla	3	00:22,0	00:22,0		
18	Tekniikkapaketin kiinnitys testilaitteeseen ja testaus	17	00:15,0	00:15,0		
19	Tarrojen kiinnitys 2kpl	18	00:30,0	00:30,0		
20	Johtimien ehostus 5kpl (led)	8	00:05,0	00:05,0		
				01:55,0		
			Työkiertoon kuluva aika	04:41,0	02:57,0	Arvioitua aikaa
			Manuaaliseen soluun vertailu		00:33,0	
					16%	Säästettyä aikaa

Robottisolussa 1 robotti asentaa viisi johdinta, eli kymmenen johtimen päätä. Operaattorin tehtävänä on asettaa neljä valokonetta, virtalähde ja viisi johdinta robotin kappaleenpitimiin, sekä asentaa loppukokoonpanossa viisi muuta johdinta, eli kymmenen johtimen päätä. Robottisolussa 2 robotti asentaa kaikki kymmenen johdinta, eli kaksikymmentä johtimen päätä. Operaattorin tehtävänä on asettaa neljä valokonetta, virtalähde, kaksi kytkentärimaa ja kymmenen johdinta robotin kappaleenpitimiin.

Arvioista voidaan päätellä, että robottisolu 2 on sarjatuotannossa tehokkaampi. Kokoonpanon sujuvuuden kannalta robottisolun 2 prosessista kannattaa kuitenkin harkita vielä vaihtoehtoa, jossa virtalähteelle kytkettävät kaksi valokoneen johdinta jättäisi operaattorin kytkettäväksi. Tällöin robotti kytkisi 18 johtimen päätä ja operaattori loput kaksi. Robotti tekisi yhden johtosarjan, johon kuuluu virtalähde ja kytkentärimat, sekä toisen johtosarjan, johon kuuluu valokoneet. Tämän etuina voidaan katsoa olevan johtosarjojen helpompi käsiteltävyys, sekä virtalähteen paikoitus robotille.

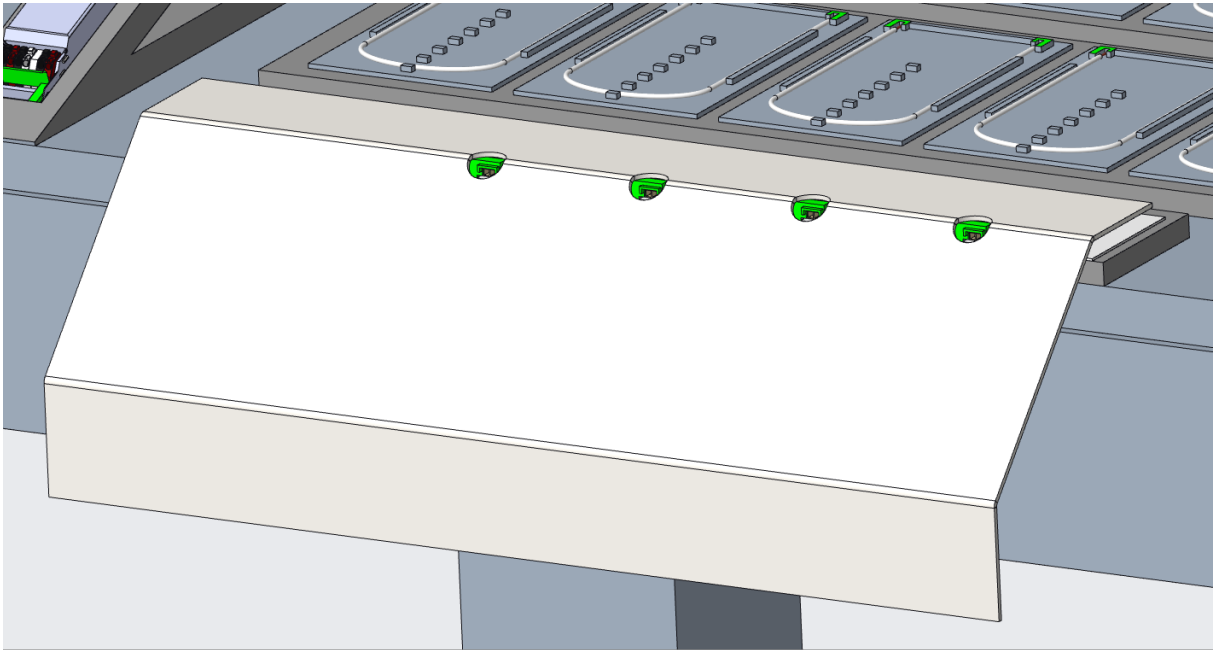
Robottisolu 2 konseptin luonnos on esitetty kuvassa 18. Konsepti sisältää kappaleenpitimet rimoille, virtalähteelle, valokoneille ja johtimille. Johtimenpitimissä on huomioitava johtimien pituuksien lisäksi eri värit. Valkoisien johtimien lisäksi tässä konseptissa asennetaan sinisiä, mustia ja keltavihreitä johtimia. Väärän värisen johtimen käyttämisen riskiä on pienennettävä lisäämällä pitimeen varmasti havaittava merkintä tai maalaus vaaditusta johtimen väristä.

Kuva 18. Robottisolu 2 konsepti, luonnos (Laurell, A., 2024)



Suunnittelussa tulee ottaa huomioon jäähdytyslevy. Alkuperäisessä kokoonpanossa johtimet pujotetaan jäähdytyslevyssä olevien reikien läpi. Robotisointia varten jäähdytyslevyyn tarvitaan tämän osalta muutoksia. Järkevänä ratkaisuna voitaisiin pitää reikien suurentamista ja tarttujankynnen suunnittelua niin, että johtimet voidaan asentaa reiän läpi myös robotilla. Kuvassa 19 on esitetty luonnos jäähdytyslevyn sijoittamisesta valokoneiden yläpuolelle niin, että johtimet voidaan asentaa jäähdytyslevyn reikien läpi.

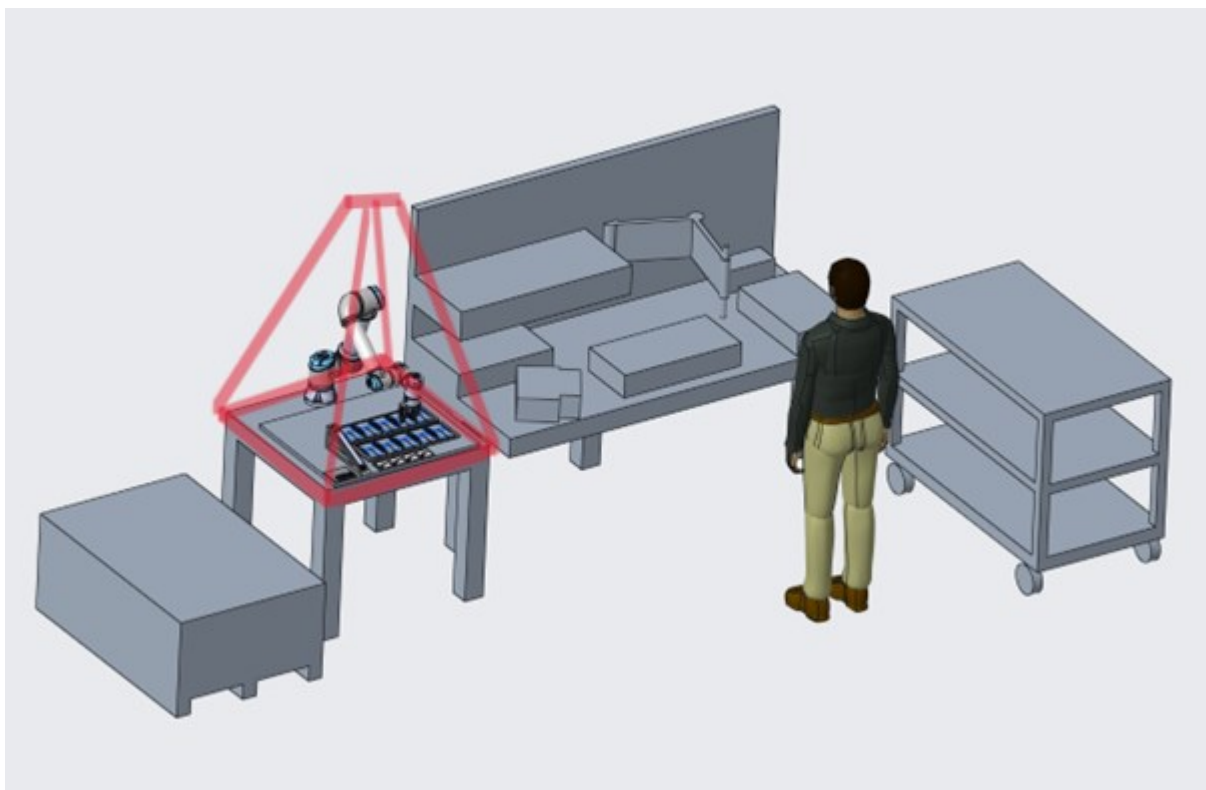
Kuva 19. Johtimien asennus jäähdytyslevyn läpi, luonnos (Laurell, A., 2024)



5.3.3 Robotisoidun tuotantosolun pohjapiirros

Kuvassa 20 on esitetty robotisoidun tuotantosolun pohjapiirros. Lavapaikkaa on siirretty sijansa vasemmalle ja robotti jalustoineen on sijoitettu aiemmalle lavapaikalle. Manuaalisen kokoonpanon työpiste pysyy melko samana. Suurta osaa työpöydälle sijoitetuista tarvikkeista tarvitaan robotin panostukseen, joten tarvikkeet kannattaa sijoittaa työpöydän vasempaan päättyyn robotin lähetyville. Loppukokoonpanossa tarvittavat tarvikkeet, työkalut ja testilaitteisto kannattaa sijoittaa työpöydän oikeaan reunaan.

Kuva 20. Robotisoidun tuotantosolun pohjapiirros, luonnos (Laurell, A., 2024)



Yhteistyörobotiikan yhteistyötasojen suhteen tässä konseptissa on kyse rinnakkaiselosta robotin kanssa. Työskentelyä voidaan helpottaa korvaamalla aitoja turvaluokitelluilla antureilla ja skannereilla. Robotti ja ihminen eivät jaa samaa työtilaa, joten yhteistyön näkökulmasta tilanne on sama kuin aidatussa robottisolussa. Turvallisuuden suhteen yhteistyörobotti itsessään ei aiheuta todennäköistä riskiä loukkaantumiselle. Riskiä lisää terävät muodot robotin työkalussa, tarttujan mukana kulkevan johtimen terävät päät, sekä puristumisvaara johtimen noudossa ja asennuksessa. Näistä aiheutuva riski voidaan riskimatriisin avulla arvioida pieneksi. Koska riski on kuitenkin tunnistettu, tulee riski poistaa tai pienentää alimmalle käytännössä mahdolliselle tasolle. Käytännöllisimmäksi ratkaisuksi voidaan arvioida robotin työskentelyalueen valvonta robotin yläpuolelle sijoitettavalla turvaskannerilla. Työskentelyalueelle sijoitettavissa turvalaitteissa on huomioitava koneen sujuva käytettävyys.

5.4 Manuaalisen ja robotisoidun tuotantosolun vertailu

Manuaalista ja robotisoitua tuotantosolua vertaillaan tehtävien kartoitusten pohjalta, sekä simulaatiosta saatujen aikojen avulla. Vertailussa käytetään numeroarvoja robottisolun 2 prosessista, jossa robotti asentaa kymmenen johdinta. Vertailussa tarkastellaan

tuotantosolussa tapahtuvia muutoksia asiakkaan, ulostulon, sisääntulon, prosessin, tiedonkulun ja suorituskyvyn suhteen.

Vertailun huomiot:

- Asiakas ja ulostulo on sama robotisoidussa ja manuaalissa tuotantosoluissa.
- Sisään tulevassa materiaalissa on huomioitava tuotteiden laatu ja mahdolliset muutokset. Muutokset kappaleissa aiheuttavat muutoksia myös robottisolussa. Operaattorin on robottia panostaessa tarkkailtava silmämääräisesti osien laatua ja kelpoisuutta robotille.
- Prosessiin tulee uutena tehtävänä robotin panostaminen eli kappaleiden asettaminen määrätyille paikoilleen. Käsien tehtävään loppukokoonpanoon robotisointi vaikuttaa siten, että yksittäisien kappaleiden sijaan käsitellään kappaleista ja johtimista koostuvia johtosarjoja. Laskelmien mukaan työkiertoon kuluva aika on 16 % lyhyempi.
- Tiedonkulkuun tulee lisäyksenä robotin tuotevaihtoon liittyvä tiedonkulku. Operaattorin täytyy vaihtaa robotille variaation mukainen ohjelma, sekä kappaleenpitimet. Jokaisessa työkierrossa operaattorin pitää antaa robotille käynnistyskäsky ja robotin pitää antaa operaattorille merkki työkierron valmistumisesta.
- Suorituskyky paranee laadun, työturvallisuuden ja tehokkuuden suhteen. Kappaleenpitimien muotoilulla voidaan määrätä oikeiden osien käyttöä, jolloin inhimillisten virheiden riskit vähenevät. Käsiä ja erityisesti sormia rasittava johtimien asentaminen robotisoidaan, jolloin tuki- ja liikuntaelinrasitukset vähenevät. Robotisointi lyhentää työkiertoon kuluva aikaa, mutta on huomioitava, että kokonaisuhyötyyn vaikuttaa sarjakokojen ja tuotevaihtojen määrä.

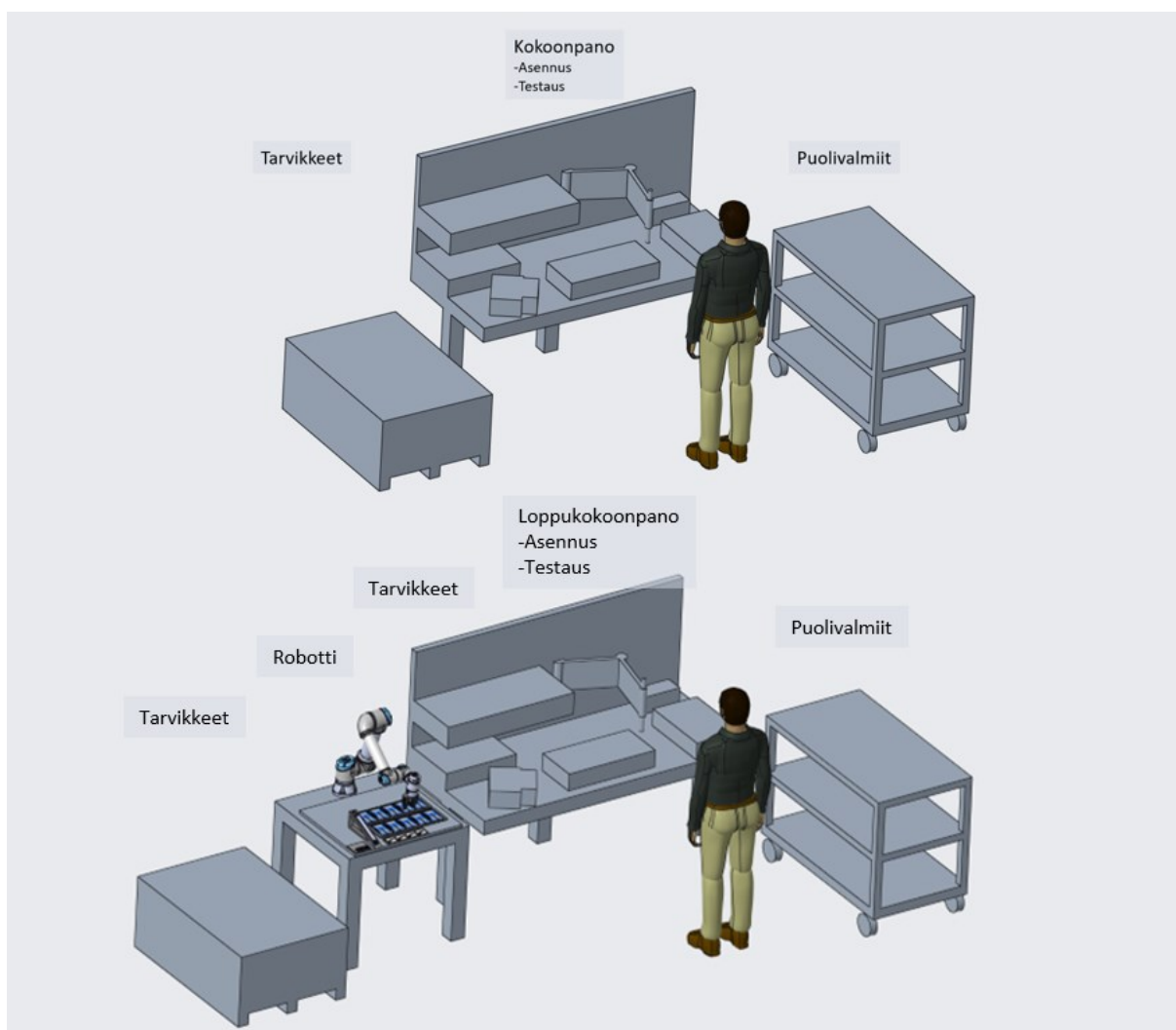
Kuvassa 21 vertaillaan manuaalisen ja robotisoidun tuotantosolun pohjapiirroksia.

Pohjapiirroksissa on käytetty alkuperäisiä kalusteita, joiden väliin on sijoitettu noin metrin levyinen robotin jalusta. Kuvasta on pääteltävissä, että käytettäessä kokoonpanossa vanhaa työpöytä työskentelyalueen leveys ja työpisteiden välinen etäisyys kasvaa.

Työskentelyalueen kasvaminen tarkoittaa askeleiden lisääntymistä työkiertoa kohden.

Optimaalisempi työpiste voisi koostua kapeammasta loppukokoonpanon työpöydästä ja robotin panostukseen optimoidusta tarviketasoista robotin vasemmalla puolella.

Kuva 21. Pohjapiirros luonnoksien vertailu (Laurell, A., 2024)



Konseptin mahdollisia riskejä ja lisätutkimuksia vaativia seikkoja ovat:

- Kappaleenpitimien käytännöllisyys. Vaikuttaa panostukseen käytettyyn aikaan. Asian voi varmistaa tekemällä prototyyppejä ja testaamalla.
- Valmiiden johtimien johtimenpään muoto. Muodon toleranssien varmistamiseksi voi tehdä asennustilannetta simuloivan mittaustyökalun, jonka avulla johtimien muodon riittävä tarkkuus voidaan mittauksilla varmistaa.
- Muutokset kappaleissa. Kappaleiden standardit ja mallien pysyvyys kannattaa varmistaa. Muutokset kappaleissa aiheuttavat muutoksia robotisolussa.
- Jäähdytyslevyyn tarvittavat muutokset. Vaihtoehtoja voivat olla esimerkiksi johtimien reikien suurennus, tai railot johtimien pujottamista varten. Asia vaatii pohdintaa halutun lopputuloksen ja robotisoinnin ehtojen mukaan.

- Tuotettavat sarjakoot. Kappaleenpitimien suunnittelussa on huomioitava mahdollisimman helppo tuotevaihto. Helposta tuotevaihdosta huolimatta suurin hyöty saadaan riittävän isoista sarjoista.

6 Johtopäätökset ja pohdinta

Opinnäytetyön tehtävänä oli kerätä tietoa yhteistyörobotiikan työturvallisuudesta, kustannuksista ja tuotannon automatisoinnin vaatimuksista. Työn tavoitteena oli koota tarvittava tieto tuotannon automatisoimiseksi yhteistyörobotiikan avulla. Hankitun tiedon pohjalta oli tarkoitus pohtia tutkimuksen kohteena olevan tuotteen ja tuotannon soveltuvuutta automatisoitavaksi, sekä pyrkimyksenä löytää kustannustehokas ja kevytrakenteinen ratkaisukonsepti. Automatisoitava toiminto oli tietyn valaisintuotteen virtalähteen ja valokoneen välinen johdotus.

Opinnäytetyössä kerättiin robotisointiin tarvittavaa aineistoa robotiikasta, yhteistyörobotiikasta, koneturvallisuudesta ja järjestelmälliseen robotisointiin ohjaavasta Lean robotisoinnista. Tuotteen ja tuotannon soveltuvuutta, sekä kustannustehokasta ja kevytrakenteista ratkaisukonseptia pohdittiin Lean robotisoinnin menetelmien avulla, joita hyödynnettiin tähän tehtävään soveltuvien osien. Menetelmien avulla manuaalisen tuotantosolun tehtävät kartoitettiin tarkasti ja kartoituksen pohjalta luotiin robotisoidun tuotantosolun konsepti, jossa on pienen mahdollinen määrä toimintoja. Lisäksi tehtiin tuotantosolujen vertailu, jossa robotisoitua tuotantosolukonseptia verrattiin manuaaliseen tuotantosoluun, sekä robotisoinnille asetettuihin tavoitteisiin.

Tehtävään ryhdyttäessä alkuajatuksena oli robotti, joka syöttää, leikkaa, kuorii ja asentaa automaattisesti virtalähteen ja valokoneen väliset viisi valkoista johdinta. Käytännössä tämä olisi vaatinut kokonaisuudessaan räätälöidyn robotin työkalun, jossa on suuri riski korkeille suunnittelu- ja valmistuskustannuksille, sekä työkalun toimintavarmuudelle lyhyellä ja pitkällä aikavälillä. Vaihtoehtoiseksi ratkaisuksi osoittautui Lean robotisoinnin konsepti, jossa on pienin mahdollinen määrä toimintoja.

Yksinkertaisimmaksi ja tavoitteet täyttäväksi robotisoinniksi osoittautui konsepti, jossa robotti käyttää kahdella kaksisormitarttujalla varustettua työkalua. Kappaleet asetetaan määrätuille paikoilleen robotin työalueelle. Kaksoiskaksisormitarttujan avulla robotti tarttuu johdonpitimessä olevaan johtimeen ja käy asentamassa johtimen päät kappaleiden liittimiin paikoilleen. Kaksoiskaksisormitarttujakonsepti tuo lisäksi mahdollisuuden viiden muun johtimen asentamiseen, joka vaikuttaa prosessin vaiheet ja laskelmat huomioiden kannattavalta ratkaisulta. Simulaation avulla arvioitu robotin työkiertoon kuluva aika sovitettiin

robotisoituun tuotantoprosessiin ja tehtiin laskelmat robotisoidun tuotannon ajankäytöstä. Laskelmien perusteella voitiin arvioida, että kokoonpanon kaikkien kymmenen johtimen asennus robotilla koko työkierto huomioiden vaikuttaa järkevältä.

Johdotuksen automatisointia voidaan pitää robotisoinnin näkökulmasta haastavana tehtävänä, joten ilman huolellista ja harkittua suunnittelua on olemassa suuri riski, että robotisoinnista tulee monimutkainen ja kallis. Haastavasta tehtävästä huolimatta onnistuttiin löytämään suhteellisen yksinkertainen ja laskelmien perusteella varteenotettava ratkaisuvaihtoehto. Työ selkeytti ajatusta siitä, että robotisoitaviksi kohteiksi kannattaa ensisijaisesti valita helpot ja prosessissa arvoa tuottamattomat tehtävät. Kokemuksen kartuttua haastetta voi lisätä. Opinnäytetyöhön kerätyn tiedon, ja työssä luodun konseptin pohjalta toimeksiantajan on mahdollista pohtia johdotuksen robotisoinnin etuja, riskejä ja investoinnin kannattavuutta. Tehtävään perehtyminen lisäsi ymmärrystä robotiikasta, koneturvallisuudesta ja järjestelmällisen suunnittelun tärkeydestä.

Lähteet

- Bouchard, S. (2017). *Lean robotics: a guide to making robots work in your factory*. Samuel Bouchard, (2017).
- Holamo, O., Ahonen, T. & Liuha, A. (2023). *Teollisuuden robotiikka*. Suomen robotiikkayhdistys ry.
- Keinänen, T., Sumujärvi, M. (2019). *Automaatiotekniikka*. Sanoma Pro Oy.
- Latokartano, J. (2023). *Teollisuuden robotiikka*. Suomen robotiikkayhdistys ry.
- Latokartano, J., Karvonen, H., Skriko, T., Holamo, O., Christophe, F., Ahonen, T., Haapakoski, T., Partanen, A., Lempiäinen, J., Kapiainen, P., Paasio, L., Liljamo, J. & Närhi, J. (2023). *Teollisuuden robotiikka*. Suomen robotiikkayhdistys ry.
- Lempiäinen, J. (2023). *Teollisuuden robotiikka*. Suomen robotiikkayhdistys ry.
- Malmi, T., Salmi, T. (2019). Yhteistyörobotit tulevat – oletko valmis?. *Automaatioväylä*, (35), 12–15.
- Plant automation technology. (n.d.). Types of Robots Based on Configuration. [kuva] <https://www.plantautomation-technology.com/articles/types-of-robots-based-on-configuration>
- SFS-ISO/TR 14121-2:2013. (2013). *Koneturvallisuus. Riskin arviointi. Osa 2: Käytännön opastusta ja esimerkkejä menetelmistä*. SFS Online.
- SFS-ISO/TR 14121-2:2013. (2013). *Koneturvallisuus. Riskin arviointi. Osa 2: Käytännön opastusta ja esimerkkejä menetelmistä*. Suomen standardisoimisliitto SFS ry.
- SFS-EN ISO 12100:2010. (2010). *Koneturvallisuus. Yleiset suunnitteluperiaatteet, riskin arviointi ja riskin pienentäminen*. SFS Online.
- SFS-EN ISO 12100:2010. (2010). *Koneturvallisuus. Yleiset suunnitteluperiaatteet, riskin arviointi ja riskin pienentäminen*. Suomen standardisoimisliitto SFS ry.